



วิทยานิพนธ์

การทำมัลติคาสต์แบบทรานสแพเรนท์ในเครือข่ายแลนไร้สายแบบ
โครงสร้างพื้นฐาน

**TRANSPARENT MULTICAST PROTOCOL (TMCP) OVER
INFRASTRUCTURE WIRELESS LAN**

นางสาวสุชัยศรี ใลออน

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)

ปริญญา

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การทำมัลติคาสต์แบบทราฟฟิคในเครือข่ายแลนไร้สายแบบโครงสร้างพื้นฐาน

Transparent Multicast Protocol (TMCP) over Infrastructure Wireless LAN

นามผู้วิจัย นางสาวสุชัยศรี ไกลอน

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์อนันต์ ผลเพิ่ม, Ph.D.)

กรรมการ

(อาจารย์ชัยพร ใจแก้ว, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์สุรศักดิ์ สงวนพงษ์, M.Eng.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เจมะทัต วิภาตะวนิช, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อางคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ๙ เดือน มกราคม พ.ศ. ๒๕๕๓

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การทำมัลติคาสต์แบบทรานสแพเรนท์ในเครือข่ายแลนไร้สายแบบโครงสร้างพื้นฐาน

Transparent Multicast Protocol (TMCP) over Infrastructure Wireless LAN

โดย

นางสาวสุชัยศรี ไลออน

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)

พ.ศ. 2551

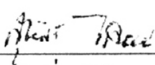
สุชัยศรี โลออน 2551: การทำมัลติคาสต์แบบทรานสแพเรนท์ในเครือข่ายแลนไร้สายแบบโครงสร้างพื้นฐาน ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์) สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ปรธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์อนันต์ ผลเพิ่ม, Ph.D.
87 หน้า

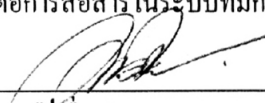
จากข้อกำหนดความต้องการของสื่อสารข้อมูลประเภทสตรีมมิงมีเดีย เช่นการถ่ายทอดสัญญาณสดของสถานีโทรทัศน์ และการให้บริการส่งข้อมูลระหว่างสถานีบริการและผู้รับที่เป็นการสื่อสารแบบยูนิคาสต์ แม้ว่าจะเป็นการส่งจากสถานีบริการเดียวกันถึงผู้รับมากกว่าหนึ่งคนก็ตาม ทำให้เกิดการใช้งานแบนด์วิดท์อย่างไม่มีประสิทธิภาพ และไม่สามารถรับประกันความพึงพอใจการใช้งานของผู้รับข้อมูลในเครือข่ายที่ต้องใช้สื่อร่วมกัน เมื่อมีจำนวนผู้ใช้งานในเครือข่ายเพิ่มมากขึ้น ดังเช่นเครือข่ายแลนไร้สาย งานวิจัยนี้จึงได้เสนอวิธีการทำมัลติคาสต์แบบทรานสแพเรนท์ในเครือข่ายแลนไร้สายแบบโครงสร้างพื้นฐาน

วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้ 1) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างประสิทธิภาพในเชิงปริมาณของการสื่อสารแบบมัลติคาสต์กับยูนิคาสต์ 2) เพื่อออกแบบขอบข่ายงานที่สามารถรองรับผู้ใช้งานด้านสื่อหลายแบบประเภทถ่ายทอดสัญญาณสดในเครือข่ายแลนไร้สาย 3) เพื่อสร้างตัวแบบมาคอฟที่สามารถวัดประสิทธิภาพของเครือข่ายแลนไร้สายสำหรับการสื่อสารในเครือข่ายแลนไร้สายที่มีการสื่อสารแบบยูนิคาสต์และมัลติคาสต์

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย คือข้อมูลสตรีมมิงมีเดียประเภทการถ่ายทอดสัญญาณสดจากสถานีบริการถ่ายทอดสัญญาณสดในเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งจะมีการวิเคราะห์ขั้นต้น เพื่อสนับสนุนแนวคิดการออกแบบขอบข่ายงานวิธีการสื่อสารแบบทีเอ็มซีพีที่ผู้วิจัยนำเสนอ และใช้โปรแกรมจำลองสเนิฟเฟอร์ในการตรวจจับข้อมูลของโมบายโฮสต์ เพื่อนำข้อมูลไปประกอบการตัดสินใจในอัลกอริทึมวิธีการสื่อสารที่เอ็มซีพีในการให้บริการข้อมูลแบบมัลติคาสต์แก่โมบายโฮสต์ที่ร้องขอข้อมูลปกติแบบยูนิคาสต์ โดยต้นแบบที่เป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาการใช้งานจริง อ้างอิงการใช้งานจากระบบปฏิบัติการลินุกซ์เคอร์เนล สำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ ใช้โปรแกรมประยุกต์การคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในแก้สมการต่างๆ เช่น การแก้สมการสัญลักษณ์ และสมการเชิงตัวเลข รวมถึงการคำนวณค่าดัชนีชี้วัดต่างๆ ของงานวิจัยนี้ และใช้โปรแกรมภาษาจาวาในการคำนวณการแจกแจงจำนวนมัลติคาสต์เซสชันที่ใช้จริง

ผลการวิจัยพบว่าเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างระหว่างการสื่อสารแบบมัลติคาสต์กับยูนิคาสต์ในเชิงปริมาณสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยตัวแบบทางคณิตศาสตร์อย่างง่าย โดยกรอบแนวคิดการออกแบบขอบข่ายงานวิธีการสื่อสารที่เอ็มซีพีสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับเครือข่ายที่มีสถานีบริการที่เป็นเกตเวย์ ได้โดยไม่กระทบกับการทำงานของระบบที่ใช้งานเดิม ซึ่งสามารถเพิ่มสมรรถนะของระบบเครือข่ายแลนไร้สายแบบมีแอ็กเซสพอยต์เป็นศูนย์กลางเชื่อมต่อการสื่อสารในระบบที่มีการติดตั้งสถานีบริการที่เอ็มซีพี


ลายมือชื่อนิติต


ลายมือชื่อประธานกรรมการ

3 / ๒๕ / 2551

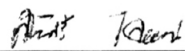
Suchaisri Li-On 2008: Transparent Multicast Protocol (TMCP) over Infrastructure Wireless LAN.
Doctor of Engineering (Computer Engineering), Major Field: Computer Engineering, Department of
Computer Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Anan Phonphoem, Ph.D. 87 pages.

Due to the specification requirements of multimedia communications such as a live streaming media of televisions that transmits data stream by using unicast communication, even though same streams from a single media server are transmitted to many receivers concurrently, the server must send separate data streams to such receivers. This event lowers the efficiency of the bandwidth utilization and the capability of providing quality of service guarantee for high traffic loading in the sharing media networks such as wireless LANs. In this research, the designed framework of Transparent Multicast Protocol (TMCP) over infrastructure wireless LANs has been proposed.

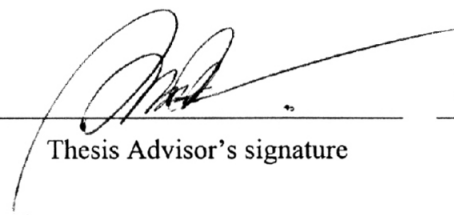
The objectives of this research are 1) to quantitatively compare the performance of multicast and unicast over infrastructure wireless LANs; 2) to design the framework for supporting a live streaming media communication of a variable number of mobile hosts accessing to one or more concurrent streams; 3) to develop a simple Stochastic Markov Model for evaluating the performance of infrastructure wireless LANs, comprising both multicast and unicast transmissions.

The data used in this research is a live streaming media from a media server on the Internet. Such data has been used for the preliminary analysis of the framework design concept of TMCP. This concept has provided the multicast transmission for the requested concurrent unicast streams from mobile hosts while the sniffer program has been used for monitoring the traffic. The prototype is based on the Linux kernel. The symbolic equation and the numerical analysis have been solved by mathematical applications; and the JAVA programming language has been used for calculating the distribution of active multicast sessions.

It is found from the research that the study on the quantitative comparison and the performance analysis between multicast and unicast can be completely done by a simple Mathematical Queueing Model. The designed framework of TMCP can be easily implemented on the gateway server in the realistic network environment. In addition, deploying the TMCP designed framework can improve the performance of the infrastructure wireless LANs efficiently.



Student's signature



Thesis Advisor's signature

3 / JAN / 2008

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. อนันต์ ผลเพิ่ม ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
ดร.ชัยพร ใจแก้ว และ รศ. สุรศักดิ์ สงวนพงษ์ กรรมการที่ปรึกษาสาขาวิชาเอก ที่ให้คำปรึกษาใน
ด้านการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และ
กราบขอบพระคุณ รศ.ดร. ชัยยงค์ วงศ์ชัยสุวัฒน์ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้ความกรุณาตรวจ
แก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ที่ได้อบรมสั่งสอนและ
มอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

สุชัยศรี ไกลอน

ธันวาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	6
การตรวจเอกสาร	7
อุปกรณ์และวิธีการ	20
อุปกรณ์	20
วิธีการ	20
ผลและวิจารณ์	59
ผล	59
วิจารณ์	66
สรุปและข้อเสนอแนะ	67
สรุป	67
ข้อเสนอแนะ	69
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	70
ภาคผนวก	76
ภาคผนวก ก รายละเอียดการแก้ปัญหาสมการที่ (29)	77
ภาคผนวก ข โปรแกรมคำนวณการแจกแจงจำนวนมัลติคาสต์เซตชั้นที่ใช้จริง ด้วยภาษาจาวา	81

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	พารามิเตอร์ที่ใช้ในตัวแบบมาคอฟ	48
2	จำนวนสมาชิกมัลติคาสต์ใน BSS โดยเฉลี่ย	57
3	การแจกแจงสมาชิกมัลติคาสต์ในแต่ละมัลติคาสต์เซตชั้น	57
4	จำนวนมัลติคาสต์เซตชั้นที่ใช้จริงใน BSS โดยเฉลี่ย	58
5	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ	63

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 การสื่อสารแบบยูนิคาสต์	2
2 การสื่อสารแบบมัลติคาสต์	3
3 แผนภาพเวลาระหว่างการสื่อสารแบบยูนิคาสต์และมัลติคาสต์	4
4 หลักการจัดการกับข้อมูลที่ซ้ำซ้อนกัน	9
5 การสื่อสารแบบมัลติคาสต์ตามหมวดระดับชั้นการใช้งาน	10
6 หลักการให้บริการสตรีมมิ่งมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดโดยใช้สถานีตัวแทน บริการ	11
7 การส่งข้อมูลมัลติคาสต์จากสถานีผู้ส่งไปยังผู้รับ	12
8 รูปแบบเฟรมข้อความโพรโทคอลไอจีเอ็มพี	13
9 การส่งไอจีเอ็มพีรีพอร์ตเพื่อสมัครเข้ากลุ่มมัลติคาสต์	13
10 การตอบกลับข้อความไอจีเอ็มพีควิรี	14
11 การเข้าใช้สื่อแบบพื้นฐานตามมาตรฐาน IEEE 802.11(IEEE Std. 802.11-1999, 2003)	15
12 โครงสร้างทางกายภาพของเครือข่ายแลนไร้สายที่มีตัวกลางในการสื่อสาร	16
13 การเชื่อมต่อไปยังสถานีบริการสื่อหลายแบบ	19
14 แผนภาพสถานะของการสื่อสารแบบยูนิคาสต์	22
15 แผนภาพแสดงการวิธีการคำนวณสมการสมดุลของสถานะ (0,0)	22
16 แผนภาพสถานะของการสื่อสารแบบมัลติคาสต์	23
17 แผนภาพการเปลี่ยนสถานะการสื่อสารแบบยูนิคาสต์ กรณี $M = 1$	26
18 แผนภาพการเปลี่ยนสถานะการสื่อสารแบบมัลติคาสต์ กรณี $M = 1$	27
19 แผนภาพการเปลี่ยนสถานะการสื่อสารแบบยูนิคาสต์ กรณี $M = 2$	28
20 แผนภาพการเปลี่ยนสถานะการสื่อสารแบบมัลติคาสต์ กรณี $M = 2$	28
21 แผนภาพการเปลี่ยนสถานะการสื่อสารแบบยูนิคาสต์ กรณี $M = 3$	29
22 แผนภาพการเปลี่ยนสถานะการสื่อสารแบบมัลติคาสต์ กรณี $M = 3$	29
23 การร้องขอเมด้าไฟล์จากสถานีโมบายโฮสต์	30

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
24 การตอบกลับการร้องขอเมต้าไฟล์จากสถานีบริการเว็บ	31
25 ผลการประมวลผลจากสถานีบริการชื่อโดเมน	32
26 การกำหนดวิธีการสื่อสารในการควบคุมการทำสตรีมมิง (RTSP Setup)	33
27 การส่งคำสั่งให้แสดงผลข้อมูลสตรีมมิงมีเดีย (RTSP Play)	33
28 ขอบข่ายงานวิธีการสื่อสารแบบทีเอ็มซีพี	34
29 โทโพลยีของทีเอ็มซีพี	35
30 แนวคิดการแปลงข้อมูลแบบยูนิคาสต์เป็นมัลติคาสต์	36
31 แผนภาพสถานะของสถานีบริการทีเอ็มซีพีกรณีเส้นทางการสื่อสารข้อมูลจาก เครือข่ายท้องถิ่นออกไปยังเครือข่ายอินเทอร์เน็ต	39
32 แผนภาพสถานะของสถานีบริการทีเอ็มซีพีกรณีเส้นทางการสื่อสารข้อมูลจาก เครือข่ายอินเทอร์เน็ตมายังเครือข่ายท้องถิ่น	39
33 แผนภาพการเปลี่ยนสถานะของโมบายโฮสต์	40
34 อัลกอริทึมการค้นหาการร้องขอที่เป็นสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสด	41
35 รูปแบบเมต้าไฟล์ (Matefile) จากสถานีบริการทีเอ็มซีพี	42
36 ไอจีเอ็มพีรีพอร์ทของการร้องขอข้อมูลแบบมัลติคาสต์	42
37 การร้องขอการเชื่อมต่อไปยังสถานีบริการสื่อหลายแบบในอินเทอร์เน็ต	44
38 การตอบสนองการร้องขอการรับข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสด	45
39 ข้อมูลถ่ายทอดสัญญาณสดจากสถานีบริการสื่อหลายแบบในอินเทอร์เน็ต	46
40 ตัวแบบมาคอฟของการส่งข้อมูลของสถานีเอกเซสพอยต์	47
41 ค่าเฉลี่ยเบนต์วีดท์กับจำนวนเซสชัน	61
42 ความน่าจะเป็นที่ไม่สามารถเข้าใช้งานในระบบ ที่ $M=2, N=30, \mu=1/30$	62
43 ค่าเฉลี่ยเวลาการบริการของสถานีเอกเซสพอยต์ ใน IEEE 802.11b	64
44 ค่าเฉลี่ยเวลาการบริการของสถานีเอกเซสพอยต์ ใน IEEE 802.11g	65

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ACK	=	Acknowledgement
AP	=	Access Point
ARQ	=	Automatic Repeat reQuest
ASF	=	Advanced Systems Format
ASX	=	Advanced Stream Redirector
BGMP	=	Border Gateway Multicast Protocol
BSS	=	Basic Service Set
CBT	=	Core Based Trees Multicast Routing
CS	=	Carrier-Sense
CSMA/CA	=	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
CW	=	Contention Window
DCF	=	Distributed Coordination Function
DIFS	=	Distributed Coordination Function Inter Frame Space
DSSS	=	Direct Sequence Spread Spectrum
DVMRP	=	Distance Vector Multicast Routing Protocol
EIFS	=	Extended Inter Frame Space
FEC	=	Forward Error Correction
GW	=	Gateway
HMTTP	=	Host Multicast Tree Protocol
HTTP	=	Hypertext Transfer Protocol
IBSS	=	Independent BSS
IEEE	=	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ICMP	=	Internet Control Message Protocol
IGMP	=	Internet Group Management Protocol
IFS	=	Inter Frame Space
IP	=	Internet Protocol
LAN	=	Local Area Network
MAC	=	Medium Access Control

MBone	=	Multicast Backbone
mcMIT	=	Multicast MIT
MH	=	Mobile Host
MIT	=	Multicast Information Table
MMS	=	Microsoft Media Server
MOSPF	=	Multicast extension to OSPF
MPDU	=	MAC Protocol Data Unit
OFDM	=	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSPF	=	Open Shortest Path First
RFC	=	Request for Comments
PCF	=	Point Coordination Function
PIM	=	Protocol Independent Multicast
RAM	=	Real Audio Metadata
RM	=	RealMedia
RTSP	=	Real Time Streaming Protocol
RTT	=	Round Trip Time
SIFS	=	Short Inter Frame Space
STA	=	Station
TMCP	=	Transparent Multicast Protocol
URI	=	Uniform Resource Identifier
VGDM	=	Virtual Group Detection Module
VLAN	=	Virtual Local Area Network
WAN	=	Wide Area Network
WLAN	=	Wireless Local Area Network

การทำมัลติคาสต์แบบทรานสแพเรนต์ในเครือข่ายแลนไร้สายแบบโครงสร้างพื้นฐาน

Transparent Multicast Protocol (TMCP) over Infrastructure Wireless LAN

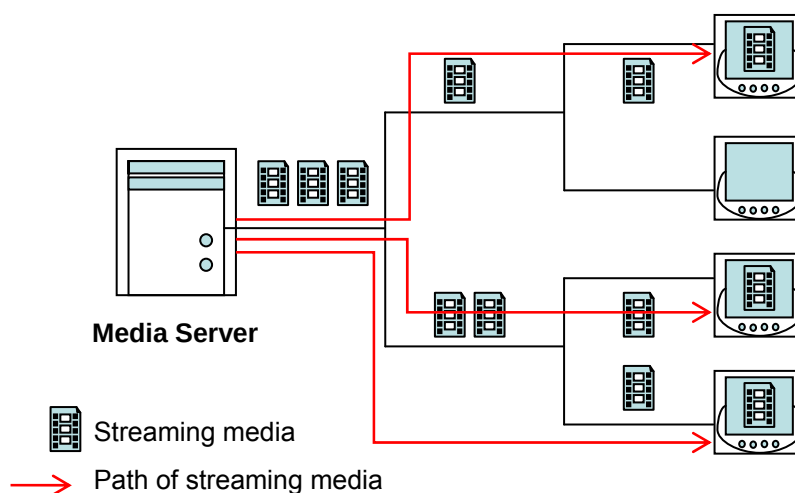
คำนำ

เนื่องด้วยความนิยมของผู้บริโภคในโลกของอินเทอร์เน็ตในปัจจุบันจะเป็นบริการแบบสื่อหลายแบบ (Multimedia service) ทำให้เกิดการขยายตัวของภาคธุรกิจทางด้านนี้อย่างรวดเร็ว ได้แก่ การให้บริการถ่ายทอดสัญญาณของสถานีวิทยุและโทรทัศน์ และการให้บริการด้านโสตและวิดีโอแบบออนดีมานด์ เป็นต้น สาเหตุของการขยายตัวของธุรกิจก็เนื่องมาจากการที่ผู้บริโภคมีความสะดวกในการเข้าถึงสื่อหลายแบบดังกล่าวในทุกๆ สถานที่ที่สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานศึกษา และสถานที่ทำงานขององค์กรหรือบริษัทต่างๆ ได้มีการให้บริการแบบเครือข่ายไร้สาย ยิ่งเพิ่มความสะดวกในการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตของผู้บริโภค รวมถึงการขยายตัวของการให้บริการเครือข่ายไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN) ที่เรียกว่า ฮอตสปอต (Hot Spot) ในสถานที่ต่างๆ อาทิเช่น สนามบิน โรงแรม และร้านค้าต่างๆ ในห้างสรรพสินค้า เป็นต้น เราจะได้เห็นได้ว่าการขยายตัวของการสื่อสารไร้สาย มีผลทำให้จำนวนผู้ใช้งานที่เป็นโมบายโฮสต์ (Mobile Host: MH) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นกัน

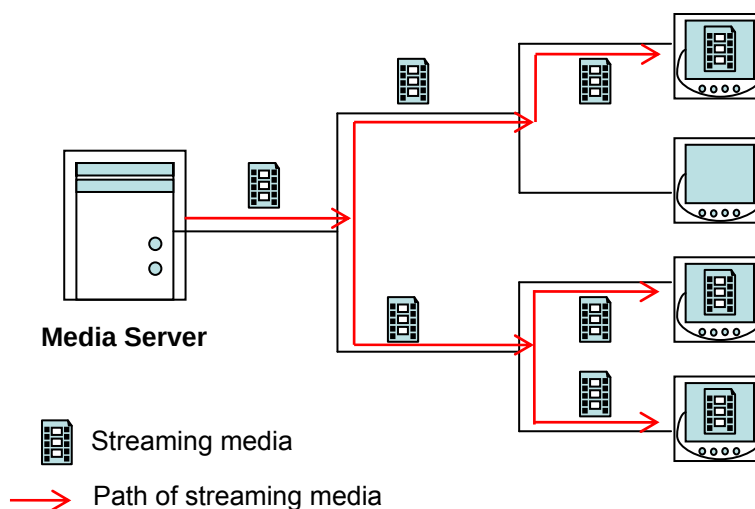
การให้บริการแบบสื่อหลายแบบที่เป็นการถ่ายทอดสัญญาณสด โดยเฉพาะการถ่ายทอดสัญญาณสดรายการพิเศษต่างๆ เช่น การแข่งขันกีฬา การรับพระราชทานปริญญาบัตร หรือการประกวดนางงามจักรวาล เราจะพบว่าการรับชมการถ่ายทอดสัญญาณสดดังกล่าวจากสถานีโทรทัศน์หนึ่งๆ จะมีจำนวนผู้รับชมรายการดังกล่าวมากกว่าหนึ่งคน นั่นหมายความว่าสถานีบริการ (Media Server) การถ่ายทอดสัญญาณสดของสถานีโทรทัศน์นั้นๆ จะมีการแพร่ภาพสดมีเดียเดียว การถ่ายทอดสัญญาณสด ถึงผู้รับแต่ละคนแยกจากกัน ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบยูนิคาสต์ (Unicast) คือหนึ่งผู้ส่งต่อหนึ่งผู้รับ (One-to-One) ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยสมมติว่ามีจำนวนผู้ที่ต้องการรับสดมีเดีย (Streaming media) จำนวน 3 สถานี สถานีบริการสดมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดจะต้องส่งสดมีเดียตัวเดียวกันไปยังสถานีผู้รับถึง 3 ครั้งด้วยกัน ซึ่งสดมีเดียแต่ละสดมีเดียต้องการความกว้างของแถบความถี่หรือแบนด์วิดท์ที่คงที่จำนวนหนึ่ง ทำให้เกิดการใช้แบนด์วิดท์อย่างไม่มีประสิทธิภาพ และถ้ามีปริมาณจำนวนผู้รับชมการถ่ายทอดสัญญาณสดจากสถานีเดียวกันเพิ่มมากขึ้น อาจทำให้ไม่สามารถรับประกันคุณภาพการให้บริการเพื่อให้สถานีผู้รับได้รับชมภาพการ

ถ่ายทอดสัญญาณสดได้อย่างต่อเนื่อง ฉะนั้นเทคนิควิธีที่จะแก้ปัญหาดังกล่าวคือ เทคนิคมัลติคาสต์ (Multicast) ซึ่งเป็นวิธีการสื่อสารจากผู้ส่งไปยังผู้รับมากกว่าหนึ่งผู้รับ (One-to-Many) ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งมีการส่งสตรีมมิงมีเดียจากสถานีบริการถ่ายทอดสัญญาณสดไปยังสถานีผู้รับทุกสถานีเพียงหนึ่งสตรีมเท่านั้น หรือหากจะเปรียบเทียบการสื่อสารทั้งแบบด้วยแผนภาพเวลา สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3 ซึ่งจะเปรียบเทียบให้เห็นว่าถ้าสถานีเอ และบี ต้องการรับข้อมูลสตรีมมิงมีเดียจากสถานีบริการ (Server) เดียวกัน ณ ที่เวลา t_0 สถานีเอเริ่มส่งคำร้องขอข้อมูลสตรีมมิงมีเดียผ่านสถานีแอ็กเซสพอยต์ (Access Point: AP) ซึ่งทำหน้าที่ในการส่งต่อคำร้องขอไปยังสถานีเกตเวย์ (Gateway: GW) เพื่อทำการหาเส้นทางในการส่งคำร้องขอดังกล่าวไปยังสถานีบริการในเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยสถานีเอจะเริ่มได้รับข้อมูลสตรีมมิงมีเดีย ณ เวลา t_2 ซึ่งค่าเวลานี้จะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่มีการส่งคำร้องขอจากเกตเวย์ถึงสถานีบริการจนถึงเวลาที่เกตเวย์ได้รับข้อมูลจากสถานีบริการ แทนด้วย อาร์ทีที (Round Trip Time: RTT) ซึ่งจะมีค่าแปรผันตามความหนาแน่นของการสื่อสารในเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

ณ ที่เวลา t_4 สถานีบีเริ่มส่งคำร้องขอข้อมูลสตรีมมิงมีเดียไปยังสถานีบริการเดียวกับสถานีเอ ถ้าเป็นการสื่อสารแบบยูนิคาสต์ จะพบว่าเวลาในการเริ่มต้นรับข้อมูลของสถานีบี (ที่เวลา t_7) จะช้ากว่าสถานีเอในการสื่อสารแบบมัลติคาสต์ (ณ ที่เวลา t_6) นั่นคือสถานีบีได้รับข้อมูลสตรีมมิงมีเดียพร้อมกับสถานีเอ และอาจเกิดความไม่คงที่ของเวลาที่จะได้รับข้อมูลแต่ละสตรีมในการสื่อสารแบบยูนิคาสต์หากมีจำนวนสถานีผู้ใช้งานในเครือข่ายเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดปัญหาด้านคุณภาพการให้บริการได้เช่นเดียวกัน



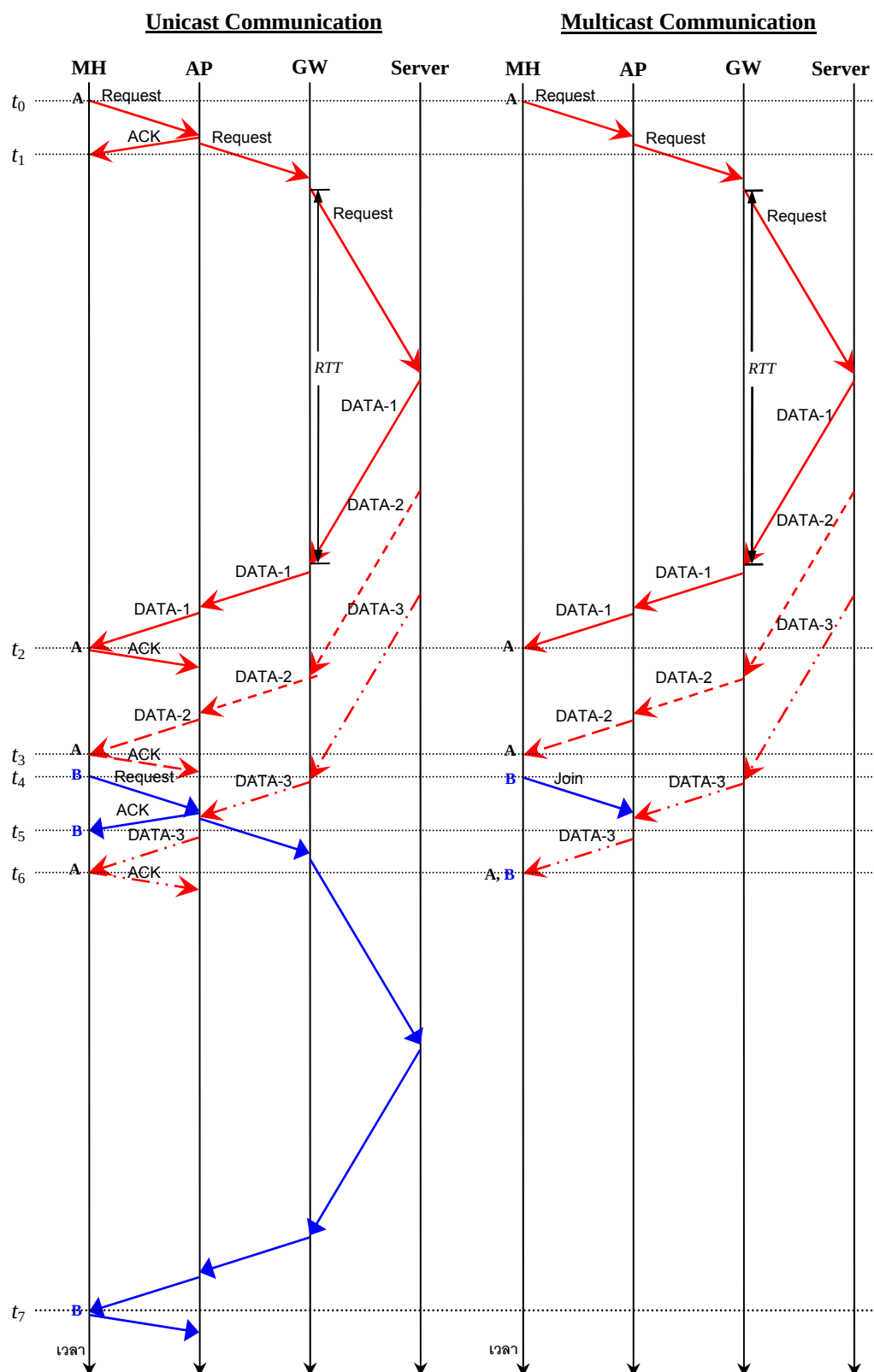
ภาพที่ 1 การสื่อสารแบบยูนิคาสต์



ภาพที่ 2 การสื่อสารแบบมัลติคาสต์

จากข้อกำหนดความต้องการของข้อมูลประเภทสตรีมมิงมีเดียด้านคุณภาพการให้บริการ นั้นคือระหว่างสถานีบริการกับสถานีรับต้องสามารถสนับสนุนปริมาณแบนด์วิดท์ที่คงที่ตามความต้องการของสตรีมมิงมีเดียอื่นๆ ซึ่งโดยส่วนมากแล้วข้อมูลประเภทนี้มีความต้องการแบนด์วิดท์ที่คงที่ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง อีกทั้งจากความไม่แน่นอนของความหนาแน่นการใช้งานในเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทำให้ไม่สามารถรับประกันความคาดหวังของสถานีผู้ใช้งานที่เป็นสถานีรับในด้านเวลาการรอรับข้อมูลจากสถานีบริการสตรีมมิงมีเดียได้ ซึ่งถือได้ว่าเป็นประเด็นหัวข้อที่นักวิจัยให้ความสนใจและมีงานวิจัยทางด้านนี้น่าสนใจจำนวนมาก

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการออกแบบขอบข่ายงานวิธีการสื่อสารแบบทีเอ็มซีพี (Transparent Multicast Protocol: TMCP) เพื่อให้โบบายโฮสต์ในเครือข่ายแลนไร้สายที่ต้องการรับข้อมูลสตรีมมิงมีเดียจากสถานีบริการสื่อหลายแบบในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วยวิธีการสื่อสารแบบยูนิคาสต์สามารถรับข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดแบบมัลติคาสต์ได้ ซึ่งเป็นแนวคิดการออกแบบวิธีการสื่อสารที่สามารถสนับสนุนการทำงานของสถานีบริการสื่อหลายแบบและสถานีโบบายโฮสต์ที่ใช้งานตามมาตรฐานการสื่อสารปกติ โดยแนวคิดการออกแบบจะยึดหลักการออกแบบความเป็นโมดูลและความเป็นอิสระด้านฮาร์ดแวร์ รวมถึงวิธีการสื่อสารที่ไม่ขึ้นกับโปรแกรมสำเร็จรูปประยุกต์สำหรับแสดงผลข้อมูลประเภทสตรีมมิงมีเดีย และแพลตฟอร์มของสถานีบริการสตรีมมิงมีเดีย ซึ่งงานวิจัยนี้เน้นข้อมูลสตรีมมิงมีเดียประเภทการถ่ายทอดสัญญาณสด (Live streaming media)



ภาพที่ 3 แผนภาพเวลาระหว่างการสื่อสารแบบยูนิคาสต์และมัลติคาสต์

ประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัย

1. ทำให้ได้ตัวแบบวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์อย่างง่าย ที่สามารถแสดงการเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างระหว่างการสื่อสารแบบยูนิคาสต์กับมัลติคาสต์ในเชิงปริมาณได้
2. กรอบแนวคิดการออกแบบขอบข่ายงานวิธีการสื่อสารแบบที่เอ็มซีพีสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับเครือข่ายที่มีสถานีบริการที่เป็นเกตเวย์ได้โดยไม่กระทบกับประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่ใช้งานเดิม
3. วิธีการคำนวณหาจำนวนเซสชันที่ใช้จริงในเครือข่ายที่มีการสื่อสารแบบมัลติคาสต์ เพื่อแสดงถึงจำนวนสถานีที่แย่งใช้สื่อในเครือข่ายแลนไร้สายที่แท้จริง
4. ตัวแบบการตรวจสอบสมรรถนะของระบบเครือข่ายแลนไร้สายแบบมีแอ็กเซสพอยต์เป็นตัวกลางเชื่อมต่อการสื่อสาร (Infrastructure Wireless LAN) ซึ่งมีการสื่อสารแบบยูนิคาสต์และมัลติคาสต์ ในระบบเครือข่ายที่มีการติดตั้งสถานีบริการที่เอ็มซีพี ด้วยตัวแบบมาคอฟ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพในเชิงปริมาณของการสื่อสารแบบมัลติมีเดียกับยูนิคาสต์
2. เพื่อออกแบบข้อบ่งชี้งานที่สามารถรองรับผู้ใช้งานด้านสื่อหลายแบบ (Multimedia) ประเภทถ่ายทอดสัญญาณสดในเครือข่ายแลนไร้สาย จากการสื่อสารแบบเดิมคือแบบยูนิคาสต์
3. เพื่อสร้างตัวแบบมาคอฟที่สามารถวัดประสิทธิภาพของเครือข่ายแลนไร้สายสำหรับการสื่อสารในเครือข่ายแลนไร้สายที่มีการสื่อสารแบบยูนิคาสต์และมัลติมีเดีย

การตรวจเอกสาร

การสื่อสารแบบมัลติคาสต์

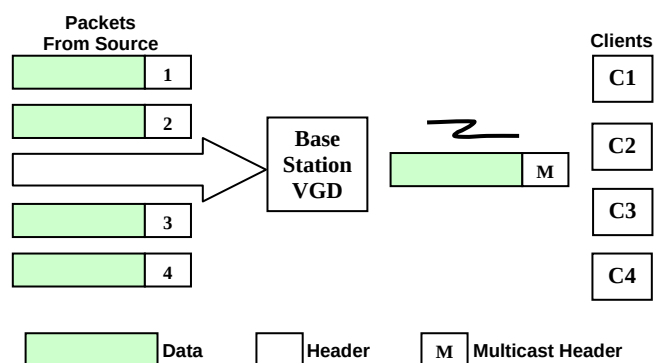
การสื่อสารแบบมัลติคาสต์สามารถใช้งานได้ทั้งข่ายงานบริเวณกว้าง (Wide Area Network: WAN) และข่ายงานบริเวณเฉพาะที่หรือแลน (Local Area Network: LAN) ในใช้งานการสื่อสารมัลติคาสต์บนเครือข่ายแบบกว้าง เช่นเครือข่ายอินเทอร์เน็ตนั้นมีย่อจำกัดที่ว่าอุปกรณ์เราเตอร์ในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตต้องสนับสนุนการทำงานการสื่อสารแบบมัลติคาสต์ ซึ่งมีวิธีการจัดหาเส้นทางในการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์โดยเฉพาะ

จากการตรวจสอบเอกสารงานวิจัยที่ได้แนะนำมานั้น ส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับวิธีการจัดหาเส้นทางในการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์ ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็นสองกลุ่มคือ การวิธีการจัดหาเส้นทางภายในโดเมน และระหว่างโดเมนของเครือข่าย โดยการนำเสนอวิธีการจัดหาเส้นทางภายในโดเมนของเครือข่ายวิธีแรกเมื่อปี ค.ศ. 1998 เพื่อการใช้งานมัลติคาสต์สำหรับการสื่อสารประเภทเสียงในการประชุมขององค์กรไออีทีเอฟ คือโพรโทคอลดีวีเอ็มอาร์พี (Distance Vector Multicast Routing Protocol: DVMRP) (Waitzman and Deering, 1988; Deering, 1988) การจัดหาเส้นทางวิธีถัดมาคือ เอ็มโอเอสพีเอฟ (Multicast extension to OSPF: MOSPF) (Moy, 1994) แต่การจัดหาเส้นทางทั้งสองวิธียังมีข้อด้อยในด้านประสิทธิภาพ เนื่องจากเส้นทางที่ได้จะเป็นเส้นทางต่อสถานีต้นทาง ดังนั้นจึงได้มีงานวิจัยที่ได้ปรับปรุงประสิทธิภาพการหาเส้นทางดังกล่าวโดยการใช้เส้นทางร่วมกันได้แก่ โพรโทคอลซีบีที (Core Based Trees (version 2) Multicast Routing: CBT) (Ballardie, 1997) โพรโทคอลพีม (Protocol Independent Multicast: PIM) (Deering *et al.*, 1994; 1996) ซึ่งเป็นวิธีการหาเส้นทางที่ได้รับความนิยมของโพรโทคอลซีบีทีและอัลกอริทึมการหาเส้นทางที่สั้นที่สุด และสามารถใช่วิธีการทำงานแบบหนาแน่น (Dense mode) (Adams *et al.*, 2005) หรือวิธีการแบบไม่หนาแน่น (Sparse mode) (Estrin *et al.*, 1998) สำหรับโพรโทคอลการหาเส้นทางระหว่างโดเมนของระบบเครือข่าย เช่นโพรโทคอลบีจีเอ็มพี (Border Gateway Multicast Protocol: BGMP) (Thaler *et al.*, 1998, 2004) เป็นวิธีการหาเส้นทางสำหรับข้อมูลแบบมัลติคาสต์ระหว่างโดเมนโดยใช้หลักการพื้นฐานอัลกอริทึมแผนภาพต้นไม้

จากวิธีการจัดหาเส้นทางในการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์วิธีต่างๆ ดังที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น พบว่าในการใช้งานจริงในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในปัจจุบันจะมีความเป็นไปได้ยากมากที่ทุกๆ เส้นทางในการสื่อสารจะมีอุปกรณ์ในการทำงานจัดหาเส้นทางหรือเราเตอร์ที่สามารถสนับสนุนการทำงานการจัดหาเส้นทางในการส่งข้อมูลมัลติคาสต์ ดังนั้นในทางปฏิบัติที่จะจัดส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์ในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่ตลอดเส้นทางในการสื่อสารไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์มัลติคาสต์เราเตอร์ นั่นคือวิธีการสื่อสารแบบท่อ (Tunneling protocol) ซึ่งได้ติดตั้งใช้งานมัลติคาสต์ที่เรียกว่า เอ็มโบน (Multicast Backbone: MBone) (Casner and Deering, 1992; Eriksson, 1994) เป็นวิธีการที่ต้องการอุปกรณ์มัลติคาสต์เราเตอร์เฉพาะที่ต้นทางและปลายทางในการสื่อสารแบบมัลติคาสต์เท่านั้น โดยอุปกรณ์มัลติคาสต์เราเตอร์ต้นทางจะทำการผนึกหรือการหุ้มห่อ (Encapsulation) ข้อมูลมัลติคาสต์ลงในยูนิคาสต์แพ็กเก็ต เพื่อจัดส่งด้วยวิธีการสื่อสารแบบยูนิคาสต์ผ่านเครือข่ายการใช้งานปกติไปยังมัลติคาสต์เราเตอร์ปลายทาง นั่นคือระหว่างเส้นทางในเครือข่ายที่มีเป็นการสื่อสารแบบยูนิคาสต์จะถูกมองเปรียบเสมือนเป็นท่อที่จัดส่งข้อมูลมัลติคาสต์ระหว่างมัลติคาสต์เราเตอร์ต้นทางกับปลายทางโดยตรง ดังนั้นเอ็มโบนจึงถือว่าเป็นเครือข่ายเสมือน (Virtual network) ที่ถูกสร้างขึ้นบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตอีกทีหนึ่ง จึงเป็นข้อจำกัดการทำงานของเอ็มโบนที่ไม่สามารถทำงานได้ครอบคลุมเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ ส่วนงานวิจัยที่ไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์มัลติคาสต์เราเตอร์ (Chu *et al.*, 2000; Pendarakis *et al.*, 2001; Castro *et al.*, 2002) ได้นำเสนอวิธีการสื่อสารแบบมัลติคาสต์โดยการจัดการการทำงานแบบมัลติคาสต์ที่สถานีรับปลายทาง แต่วิธีการจัดหาเส้นทางในการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์อาศัยหลักการทำงานของมัลติคาสต์อินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (IP multicast) ซึ่งมีข้อจำกัดในการใช้งานภายในหนึ่งโดเมนของเครือข่ายเท่านั้น ดังนั้นจึงได้มีผู้วิจัยเสนอโพรโทคอลเฮสม์ทีพี (Host Multicast Tree Protocol: HMTP) (Zang *et al.*, 2002) ซึ่งทำงานโดยใช้หลักการของมัลติคาสต์อินเทอร์เน็ตโพรโทคอล และสามารถสื่อสารข้ามโดเมนได้โดยการให้สถานีผู้รับปลายทางบริหารจัดการการส่งข้อมูลมัลติคาสต์

การใช้งานการสื่อสารมัลติคาสต์ในเครือข่ายเฉพาะที่ เช่นเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และเครือข่ายไร้สาย สามารถใช้งานการสื่อสารแบบมัลติคาสต์ได้โดยการปรับปรุงโปรแกรมขับอุปกรณ์ของการ์ดเครือข่ายของสถานีให้รู้จักเฟรมมัลติคาสต์ แต่เนื่องจากเป็นระบบเครือข่ายเฉพาะที่ทั้งสองแบบเป็นระบบเครือข่ายแบบแย่งกันเข้าใช้สื่อ ดังนั้นการใช้งานการสื่อสารแบบมัลติคาสต์อาจจะมีอัตราการสูญหายของเฟรมข้อมูล และมีผลต่อความเชื่อถือได้ของการสื่อสารในกรณีที่มีแบนด์วิดท์ไม่เพียงพอต่อการสื่อสารที่ใช้งานขณะนั้นได้ทั้งหมด ปัญหาดังกล่าวนี้นี้ยังทวีความรุนแรงถ้าเป็นการใช้งานในเครือข่ายไร้สาย เพราะไม่เพียงแต่เครือข่ายไร้สายจะมีข้อจำกัดในเรื่อง

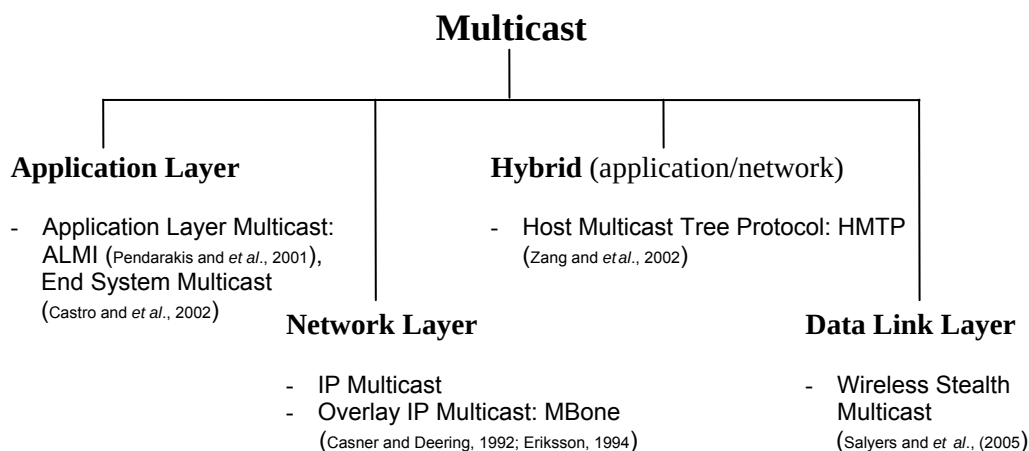
ของแบนด์วิดท์เมื่อเทียบกับในเครือข่ายอินเทอร์เน็ต แล้วยังมีปัจจัยที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือของการสื่อสาร ได้แก่ คลื่นรบกวนต่างๆ และสถานีในเครือข่ายที่เป็นสถานีซ่อน (Hidden terminal) ทำให้ไม่สามารถรับทราบการสื่อสารจากสถานีอื่น แล้วมีการส่งข้อมูลออกไป ทำให้เกิดการชนกันของข้อมูล และจากข้อจำกัดการใช้งานการสื่อสารแบบมัลติคาสต์ดังกล่าว Salyers *et al.*, (2005) ได้เสนองานวิจัยที่ทำให้ประหยัดแบนด์วิดท์สำหรับเครื่องลูกข่ายไร้สายในระดับระยะการสื่อสารที่ห่างกันเพียงหนึ่งระยะ โดยออกแบบโมดูลการทำงานวีจีดีเอ็ม (Virtual Group Detection Module: VGDM) ที่สามารถตรวจสอบเฟรมที่ส่งมายังสถานีฐาน (Base station) ถ้าเป็นเฟรมข้อมูลเดียวกันที่ต้องการส่งต่อไปให้กับสถานีผู้รับต่างสถานีกัน ให้ดำเนินการต่อโดยการสร้างกลุ่มของมัลติคาสต์สำหรับข้อมูลที่ซ้ำซ้อนกันดังกล่าว และสร้างเป็นเฟรมข้อมูลแบบมัลติคาสต์จากเฟรมข้อมูลเดิมที่เป็นยูนิคาสต์ เพื่อจัดส่งให้ทุกสถานีที่รองรับข้อมูลดังกล่าวแสดงในภาพที่ 4 อย่างไรก็ตามแม้ว่างานวิจัยนี้จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพใช้แบนด์วิดท์เช่นเดียวกับแนวคิดในการออกแบบขอบข่ายงานที่เอ็มซีพี แต่การใช้งานจะต้องมีการปรับปรุงการทำงานโปรแกรมขับอุปกรณ์ของการ์ดเครือข่ายของสถานีโมบายโฮสต์ เพื่อให้สามารถแปลงเฟรมข้อมูลแบบมัลติคาสต์เป็นยูนิคาสต์ตามที่โปรแกรมประยุกต์สำหรับแสดงผลข้อมูลประเภทสตรีมมิงมีเดีย



ภาพที่ 4 หลักการจัดการกับข้อมูลที่ซ้ำซ้อนกัน

ที่มา: Salyers and *et al.*, (2005)

การใช้งานการสื่อสารมัลติคาสต์ของงานวิจัยต่างๆ ตามที่ได้ตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปวิธีการสื่อสารหรือโพรโทคอลตามระดับชั้นของเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ดังภาพที่ 5 ซึ่งประกอบด้วยระดับชั้นโปรแกรมประยุกต์ (Application Layer) ระดับชั้นเครือข่าย (Network Layer) แบบผสมระดับชั้นโปรแกรมประยุกต์และเครือข่าย (Hybrid: Application and Network) และระดับชั้นเชื่อมโยงข้อมูล (Data Link Layer)

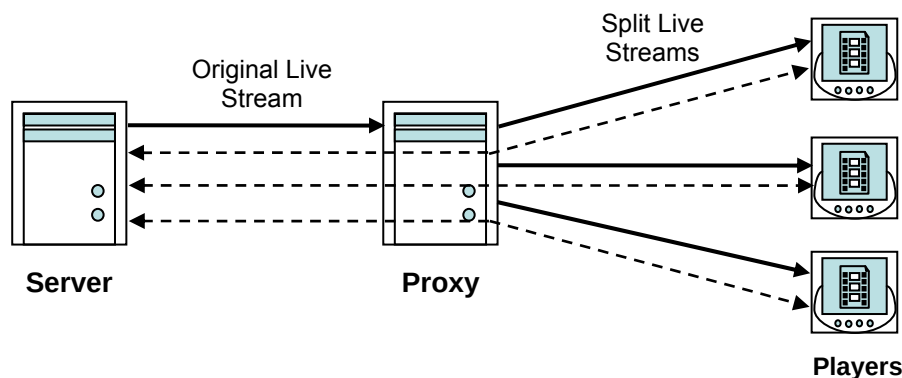


ภาพที่ 5 การสื่อสารแบบมัลติคาสต์ตามหมวดระดับชั้นการใช้งาน

วิธีการประเมินการสื่อสารแบบมัลติคาสต์ในงานวิจัยที่ผ่านจะเป็นการประเมินบนเครือข่ายแบบกว้าง ซึ่งจะเน้นในเรื่องการวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการหาเส้นทางสื่อสาร (Mieghem *et al.*, 2001; Mieghem and Janic, 2002) และต้นทุนค่าใช้จ่ายในทางด้านการสื่อสาร (Phillips *et al.*, 1999; Chuang and Sirbu, 2001) เช่น แบนด์วิดท์ เป็นต้น สำหรับการสื่อสารแบบมัลติคาสต์ในเครือข่ายท้องถิ่นจะเน้นประเด็นความเชื่อถือได้ของการสื่อสาร (Floyd *et al.*, 1995; Kuri and Kasera., 2001; Gupta *et al.*, 2003; Fujisawa *et al.*, 2004; Bao and Liao, 2005) ในด้านการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการสื่อสารแบบมัลติคาสต์กับยูนิคาสต์จะมีงานวิจัยของ Aaltonen *et al.* (2002) ได้ทำการเปรียบเทียบอัตราการควบคุมการเข้าใช้เครือข่ายเซลล์ลาร์ของการสื่อสารทั้งสองแบบ โดยวัดจากค่าความน่าจะเป็นในการปฏิเสธการรับในระดับการเรียก (Call level)

การเปรียบเทียบหลักการมัลติคาสต์ข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดตามแนวคิดในการออกแบบขอบข่ายงานที่เอ็มซีพี กับหลักการของตัวแทนบริการ (Proxy server) ในการบริการข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดที่ได้พัฒนาชุดการให้บริการทั้งสถานีบริการและโปรแกรมประยุกต์สำหรับแสดงผล เช่นชุดผลิตภัณฑ์ตัวแทนบริการเฮลิคซ์ยูนิเวอร์ซอล (Helix Universal Proxy) ของบริษัทเรียลเน็ตเวิร์ค (RealNetworks, 2002) โดยมีรูปแบบการเชื่อมต่อเชิงตรรกะดังภาพที่ 6 ซึ่งจะพบว่าหลักการการจัดส่งข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดนี้มีการลดจำนวนการส่งข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสด (Original Live Stream) สตรีม

เดียวกันจากสถานีบริการสตรีมมิงมีเดีย (Helix Universal Server) มายังสถานีตัวแทนบริการ (Helix Universal Proxy) เท่านั้น แต่ระหว่างสถานีตัวแทนบริการกับสถานีผู้รับ (End user) ยังคงเป็นการส่งข้อมูลสตรีมมิงมีเดียแบบยูนิคาสต์ โดยสถานีตัวแทนบริการทำหน้าที่ในการสำเนาข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสด (Split Live Streams) เพื่อจัดส่งให้ผู้รับข้อมูลแต่ละคน (Players)



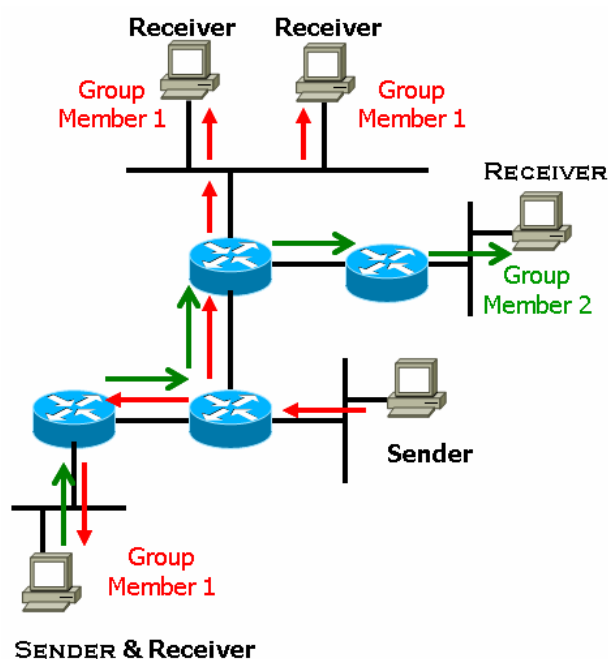
ภาพที่ 6 หลักการให้บริการสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดโดยใช้สถานีตัวแทนบริการ
ที่มา: บริษัทเรียลเน็ตเวิร์ค (RealNetworks, 2002)

แม้ว่าการให้บริการสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดโดยใช้สถานีตัวแทนบริการนี้จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพคุณภาพการบริการได้ในระดับหนึ่ง แต่ก็มีข้อจำกัดปริมาณแบนด์วิดท์ที่สามารถรองรับได้ของสถานีตัวแทนบริการ อีกทั้งการบริการสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดแบบมัลติคาสต์โดยใช้สถานีตัวแทนบริการอาทิเช่นของบริษัทเรียลเน็ตเวิร์ค (RealNetworks, 2002) และบริษัทไมโครซอฟต์ (Nelson, 2007) จะสามารถให้บริการได้ก็ต่อเมื่อในเครือข่ายที่จะใช้งานต้องมีอุปกรณ์เราเตอร์ที่สนับสนุนการทำงานแบบมัลติคาสต์

หลักการมัลติคาสต์พื้นฐาน (Multicast Fundamentals)

สถานีใดๆ ในเครือข่ายแลนที่ต้องการรับข้อมูลแบบมัลติคาสต์ จะมีการส่งการร้องขอด้วยหมายเลขไอพีมัลติคาสต์ ซึ่งเป็นหมายเลขของกลุ่มมัลติคาสต์ที่ต้องการเข้าร่วมเป็นสมาชิกไปยังมัลติคาสต์เราเตอร์ในเครือข่ายเดียวกัน (Local multicast router) เมื่อการร้องขอสำเร็จ สมาชิกมัลติคาสต์ทุกสถานีจะได้รับข้อมูลจากสถานีที่เป็นผู้ส่งเดียวกันตามกลุ่มมัลติคาสต์ที่ได้ร้องขอไป สำหรับมัลติคาสต์เราเตอร์จะทำหน้าที่ในการเลือกเส้นทางในการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์ตาม

อัลกอริทึมการหาเส้นทางของเราเตอร์นั้นๆ และตัดสินใจในการทำสำเนาข้อมูลมัลติคาสต์เพื่อส่งออกไปแต่ละส่วนต่อประสาน (Interface) ของเราเตอร์ ดังตัวอย่างในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การส่งข้อมูลมัลติคาสต์จากสถานีผู้ส่งไปยังผู้รับ

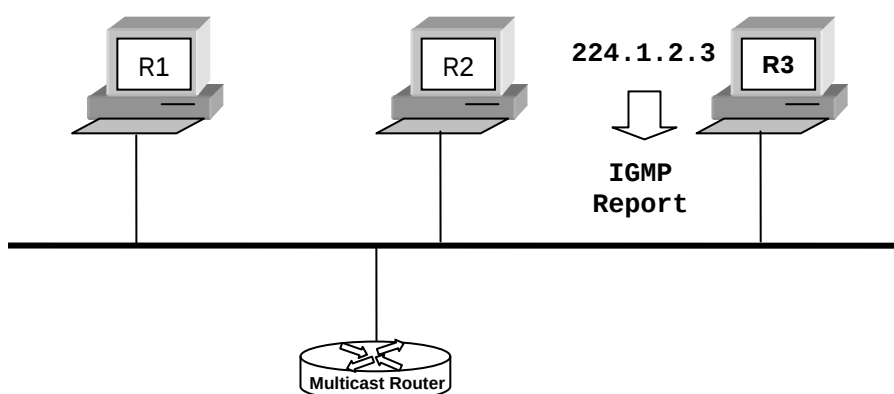
ในการแลกเปลี่ยนข่าวสารการคงสภาพการเป็นสมาชิกมัลติคาสต์แต่ละกลุ่ม ซึ่งใช้สื่อสารระหว่างมัลติคาสต์เราเตอร์ และระหว่างสถานีที่เป็นสมาชิกมัลติคาสต์กับมัลติคาสต์เราเตอร์ในเครือข่ายเดียวกัน จะใช้โปรโตคอลไอจีเอ็มพี (Internet Group Management Protocol: IGMP) (Deering, 1989) ซึ่งเป็นโปรโตคอลที่ได้ถูกกำหนดขึ้นมาให้เป็นโปรโตคอลสนับสนุนการทำงานของอินเทอร์เน็ตโปรโตคอล (Internet Protocol: IP) เช่นเดียวกับโปรโตคอลไอซีเอ็มพี (Internet Control Message Protocol: ICMP) และมีรูปแบบข้อความดังแสดงในภาพที่ 8 ซึ่งมีรายละเอียดส่วนที่สำคัญดังนี้

หมายเลขกลุ่มไอพีมัลติคาสต์ (Group Address) คือหมายเลขอินเทอร์เน็ตโปรโตคอลหมวดหมู่ดี (Class D) โดยมีค่าหมายเลขอยู่ระหว่าง 224.0.0.0 ถึง 239.255.255.255 แต่จะมีค่าบางหมายเลขที่สงวนไว้ใช้เฉพาะ ซึ่งได้กำหนดไว้ใน อาร์เอฟซี (Request for Comments: RFC) 1700 (Reynolds and Postel, 1994)

0	4	8	16	31
Version	Type	Unused	Checksum	
Group Address				

ภาพที่ 8 รูปแบบเฟรมข้อความโพรโทคอลไอจีเอ็มพี

ประเภท (Type) ข้อความไอจีเอ็มพีมี 2 รูปแบบคือ รีพอร์ต (Report) และ คิวรี (Query) ซึ่งข้อความไอจีเอ็มรีพอร์ตจะใช้โดยสถานีที่ต้องการเป็นสมาชิกมัลติคาสต์เพื่อร้องขอข้อมูลแบบมัลติคาสต์ และใช้ตอบกลับเพื่อคงสภาพการเป็นสมาชิกกรณีได้รับข้อความไอจีเอ็มพีคิวรี ดังตัวอย่างในภาพที่ 9 ซึ่งเป็นการแสดงการร้องขอเข้าร่วมรับข้อมูลมัลติคาสต์ในกลุ่มมัลติคาสต์หมายเลขไอพี 224.1.2.3 ของสถานีอาร์สาม

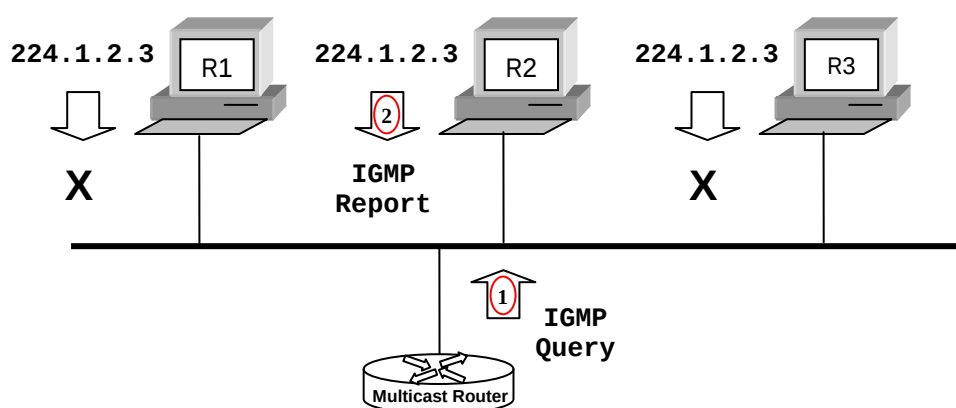


ภาพที่ 9 การส่งไอจีเอ็มพีรีพอร์ตเพื่อสมัครเข้ากลุ่มมัลติคาสต์

สำหรับข้อความไอจีเอ็มพีคิวรีจะใช้โดยมัลติคาสต์เราเตอร์เพื่อใช้ติดต่อสื่อสารการคงสภาพการเป็นสมาชิกของมัลติคาสต์แต่ละกลุ่ม ดังตัวอย่างในภาพที่ 10 ซึ่งเป็นการแสดงการตอบกลับการคงสภาพของการเป็นสมาชิกมัลติคาสต์ของสมาชิกในกลุ่มมัลติคาสต์ โดยมีลำดับขั้นตอนการทำงานคือ

1. มัลติคาสต์เราเตอร์ในเครือข่ายจะส่งข้อความไอจีเอ็มพีคิวรีเพื่อตรวจสอบเช็คการคงสภาพการเป็นสมาชิกในกลุ่มมัลติคาสต์ (หมายเลขไอพี 224.1.2.3) ที่ประกอบด้วยสมาชิก 3 สถานีคืออาร์หนึ่งถึงสาม

2. สถานีผู้รับที่เป็นสมาชิกมัลติคาสต์ทั้งสามสถานีจะสุมเวลาในการส่งไอจีเอ็มพีรีพอร์ตเพื่อตอบกลับ เมื่อมีสถานีใดในกลุ่มสมาชิกมัลติคาสต์ได้ส่งไอจีเอ็มพีรีพอร์ต สถานีที่เหลือจะยกเลิกการส่งไอจีเอ็มพีรีพอร์ต เพราะมัลติคาสต์เราเตอร์ต้องการทราบว่าส่วนต่อประสานที่ต่อเชื่อมอยู่กับเครือข่ายนี้ยังคงมีสมาชิกมัลติคาสต์ที่ต้องการรับข้อมูลมัลติคาสต์อยู่หรือไม่เท่านั้น ไม่ได้ต้องการทราบจำนวนการเป็นสมาชิกจึงไม่มีความจำเป็นต้องตอบกลับทุกสถานี

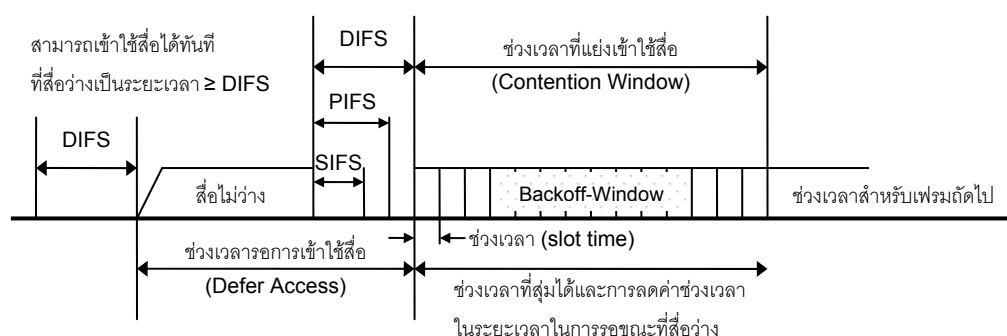


ภาพที่ 10 การตอบกลับข้อความไอจีเอ็มพีควิรี

กระบวนการเข้าใช้สื่อแบบกระจาย (Distribution Coordination Function Access Procedure)

สถาปัตยกรรมการควบคุมการเข้าใช้สื่อในเครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 (IEEE Standard 802.11, 2007) ประกอบด้วยการควบคุมการเข้าใช้สื่อแบบกระจาย (Distributed Coordination Function: DCF) และการควบคุมการเข้าใช้สื่อโดยตัวกลางควบคุม (Point Coordination Function: PCF) โดยวิธีการเข้าใช้สื่อแบบกระจายจะเป็นวิธีที่ถูกกำหนดโดยปริยายในการใช้งานเครือข่ายแลนไร้สายทั้งสองแบบ คือ เครือข่ายไร้สายที่มีตัวกลางในการสื่อสารระหว่างสถานีในเครือข่าย (Infrastructure network) และในเครือข่ายไร้สายที่แต่ละสถานีสามารถติดต่อสื่อสารกันได้โดยตรง (Ad hoc network or Independent Basic Service Set: IBSS) และอัลกอริทึมที่ใช้ในการควบคุมการเข้าใช้สื่อเครือข่ายไร้สายคือ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ (Carrier Sense Media Access / Collision Avoidance: CSMA/CA) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่มีการตรวจสอบสถานะสื่อก่อนการส่งข้อมูล และลดโอกาสการชนกันของข้อมูลระหว่างสถานีต่างๆ โดยการสุมค่าตัวนับเวลาเพื่อรอส่งข้อมูลนั้นๆ

การเข้าใช้สื่อโดยวิธีพื้นฐาน (Basic Access) เป็นวิธีที่ถูกกำหนดโดยปริยายในการเข้าใช้งานเครือข่ายไร้สายที่มีการตรวจสอบการรับส่งข้อมูลระหว่างสถานีแบบสองทาง นั่นคือเมื่อสถานีใดๆ มีข้อมูลพร้อมส่ง จะเริ่มต้นโดยการตรวจสอบสถานะของสื่อ แล้วจะดำเนินการส่งข้อมูลทันทีที่ตรวจสอบสถานะของสื่อเป็นช่วงระยะเวลา ดิไอเอฟเอส (Distributed Interframe Space: DIFS) หรือช่วงระยะเวลา อีไอเอฟเอส (Extended IFS: EIFS) ด้วยกลไกการตรวจสอบสื่อ (Carrier-Sense: CS) ที่จะอนุมานว่าสถานะสื่อว่าง นั่นคือไม่มีสถานีอื่นๆ ส่งข้อมูล แต่ถ้าสถานะของสื่อไม่ว่าง สถานีจะทำการสุ่มจำนวนช่วงเวลาในรอเพื่อส่งข้อมูล ซึ่งมีการแจกแจงแบบยูนีฟอร์มในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง CW โดยตัวแปร CW (Contention Window) คือเลขจำนวนเต็มบวกที่มีค่าอยู่ในช่วงใดๆ ตามข้อกำหนดคุณลักษณะทางกายภาพของชั้นการสื่อสารฟิสิคอลลซึ่งจะกำหนดค่าต่ำสุด (aCW_{min}) และสูงสุด (aCW_{max}) ของเลขจำนวนเต็มดังกล่าว นั่นคือ $aCW_{min} \leq CW \leq aCW_{max}$



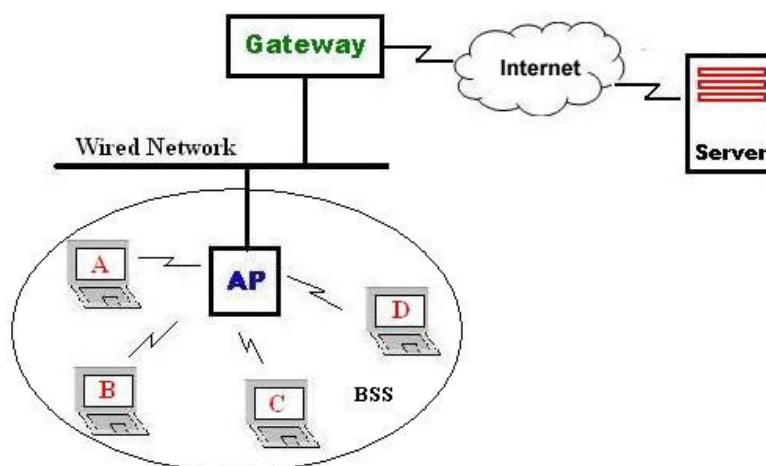
ภาพที่ 11 การเข้าใช้สื่อแบบพื้นฐานตามมาตรฐาน IEEE 802.11(IEEE Std. 802.11-1999, 2003)

ค่าจำนวนช่วงเวลาในรอเพื่อส่งข้อมูลที่สุ่มได้ จะเรียกว่าช่วงของการนับถอยหลังหรือกระบวนการแบ็กออฟ (Backoff-Window) ซึ่งกระบวนการทำงานนับถอยหลังจะใช้กลไกการตรวจสอบสื่อในการลดค่าจำนวนช่วงเวลาในการรอเพื่อส่งข้อมูล นั่นคือถ้ากลไกการตรวจสอบสื่อส่งค่าแสดงสถานะว่าสื่อไม่มีการใช้งาน กระบวนการนับถอยหลังดำเนินการลดค่าจำนวนช่วงเวลาในการรอเพื่อส่งข้อมูลที่ละช่วงเวลา (Slot time) จนกว่าสื่อจะไม่ว่าง กระบวนการนับถอยหลังจะหยุดการทำงาน แล้วจะเริ่มกระบวนการทำงานใหม่เมื่อสถานะสื่อว่างเป็นช่วงระยะเวลา ดิไอเอฟเอส ดังนั้นสถานีจะเริ่มทำการส่งข้อมูลได้ก็ต่อเมื่อค่าจำนวนช่วงเวลาในการรอมีค่าลดลงเท่ากับศูนย์ นั่นคือกลไกการทำงานการเข้าใช้สื่อโดยวิธีพื้นฐานสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 11

การปรับค่าช่องหน้าต่างในกระบวนการแบ็กออฟ (อนันต์, 2550) มีทำงานเช่นเดียวกับการทำงานในอินเทอร์เน็ต โดยจะมีการกำหนดค่าตัวเลขช่องที่ใช้ในการสุ่มเรียกว่า *ขนาดของช่องหน้าต่าง* (Window size) โดยใช้ค่าเป็น $2^n - 1$ ถ้าค่าช่องหน้าต่างจะมีค่าต่ำสุด 31 ช่อง นั่นคือ n เริ่มต้นที่ 5 แต่ถ้ามีการชนกันของข้อมูลเกิดขึ้น (คือนับถอยหลังได้ค่าเป็นศูนย์ในเวลาเดียวกัน) ก็จะทำให้การขยายช่องหน้าต่างเพิ่มขึ้นในครั้งที่หนึ่ง ขนาดของช่องหน้าต่างจะเพิ่มเป็น $2^6 - 1 = 63$ ช่อง และจะเพิ่มไปเรื่อยๆ จนถึงค่าสูงสุด 1,023 ช่อง การเพิ่มตัวเลขของช่องหน้าต่างนี้เพื่อเป็นการลดความน่าจะเป็นที่แต่ละสถานีจะสุมได้ตัวเลขเดียวกัน และเกิดการชนไปเรื่อยๆ แม้ว่าจะสามารถลดโอกาสการเกิดการชนกันของข้อมูล แต่ช่องในการรอที่เพิ่มขึ้นก็เพิ่มค่าหน่วงเวลาในการส่ง (Delay)

มัลติคาสต์บนเครือข่ายแลนไร้สายที่มีตัวกลางในการสื่อสารระหว่างสถานีในเครือข่าย (Multicast over Infrastructure Wireless LAN)

ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 (IEEE Standard 802.11, 2007) ซึ่งเป็นมาตรฐานนิยมเครือข่ายแลนไร้สายที่มีการติดตั้งใช้งานเครือข่ายที่มีตัวกลางในการเชื่อมต่อที่เรียกว่าแอ็กเซสพอยต์ (Access Point: AP) ไม่ว่าจะเป็นการติดต่อสื่อสารระหว่างสถานีโมบายโฮสต์ในบริเวณกลุ่มการให้บริการเดียวกันหรือบีบีเอส (Basic Service Set: BSS) หรือระหว่างบีบีเอส และระหว่างสถานีโมบายโฮสต์กับสถานีอื่นๆ ในเครือข่ายอินเทอร์เน็ต แอ็กเซสพอยต์จะทำหน้าที่เป็นบริดจ์ (Bridge) ในการเชื่อมต่อจากเครือข่ายแลนไร้สายไปยังเครือข่ายแบบใช้สาย ดังที่ได้สรุปภาพโครงการทางกายภาพดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 โครงสร้างทางกายภาพของเครือข่ายแลนไร้สายที่มีตัวกลางในการสื่อสาร

หลักการทำงานมัลติคาสต์ในเครือข่ายแลนไร้สายกรณีทีสถานีโมบายโฮสต์ที่เป็นสมาชิกมัลติคาสต์และสถานีบริการมัลติคาสต์อยู่ในบริเวณบีบีเอสเดียวกัน สถานีบริการมัลติคาสต์จะส่งข้อมูลมัลติคาสต์แบบยูนิคาสต์ไปยังสถานีแอกเซสพอยต์ ถ้าการส่งข้อมูลสำเร็จสถานีแอกเซสพอยต์จะส่งเฟรมยืนยันการได้รับข้อมูล (Acknowledgement frame) ทำให้สถานีบริการมัลติคาสต์ไม่ต้องส่งข้อมูลดังกล่าวใหม่ หลังจากนั้นสถานีแอกเซสพอยต์จะส่งข้อมูลมัลติคาสต์ไปยังสถานีโมบายโฮสต์ที่เป็นสมาชิกมัลติคาสต์โดยใช้การสื่อสารแบบมัลติคาสต์ ซึ่งจะไม่มีการแจ้งการตอบกลับจากสถานีโมบายโฮสต์ที่เป็นสมาชิกเพื่อยืนยันการได้รับข้อมูล จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้การสื่อสารแบบมัลติคาสต์ไม่มีความน่าเชื่อถือว่าสถานีผู้รับจะได้รับข้อมูลครบถ้วนทุกครั้ง

ในกรณีที่สถานีบริการมัลติคาสต์อยู่นอกในบริเวณบีบีเอสที่สถานีโมบายโฮสต์นั้นเป็นสมาชิกมัลติคาสต์ ข้อมูลมัลติคาสต์จะถูกส่งจากสถานีบริการมัลติคาสต์ผ่านมายังสถานีแอกเซสพอยต์ เพื่อให้ส่งต่อแบบมัลติคาสต์ และจะไม่มีการยืนยันการตอบรับจากสถานีโมบายโฮสต์ที่เป็นสมาชิกมัลติคาสต์เช่นกัน

เพื่อแก้ปัญหาคือความไม่น่าเชื่อถือของการสื่อสารแบบมัลติคาสต์ดังกล่าว โดยการนำเสนอโปรโตคอลมัลติคาสต์ที่มีความน่าเชื่อถือ อาทิเช่น การร้องขอการส่งข้อมูลใหม่โดยอัตโนมัติ (Automatic Repeat Request: ARQ) (Floyd *et al.*, 1995; Bao and Liao, 2005) การแก้ไขความผิดพลาด (Forward Error Correction: FEC) (Nikaein *et al.*, 2000; S. Choi *et al.*, 2006) และการจองช่องสัญญาณ (Channel Reservation) (Kuri, 2001; Gupta *et al.*, 2003) เป็นต้น

สตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสด (Live Streaming Media)

การร้องขอการรับข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดจากสถานีบริการในเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ของสถานีโมบายโฮสต์ใดๆ สามารถแสดงขั้นตอนในการเชื่อมต่อเพื่อรับชมการถ่ายทอดสัญญาณสดได้ดังภาพที่ 13 และมีคำอธิบายรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ส่งคำร้องขอการรับข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดไปยังสถานีบริการให้บริการเว็บ (Web Server) โดยใช้โปรโตคอลการสื่อสารเอชทีทีพี (Hypertext Transfer Protocol: HTTP) เพื่อขอเมตาไฟล์ (Metafile) ซึ่งมีข้อมูลตัวบอกที่อยู่ในการเชื่อมต่อไปยังสถานีบริการสื่อ

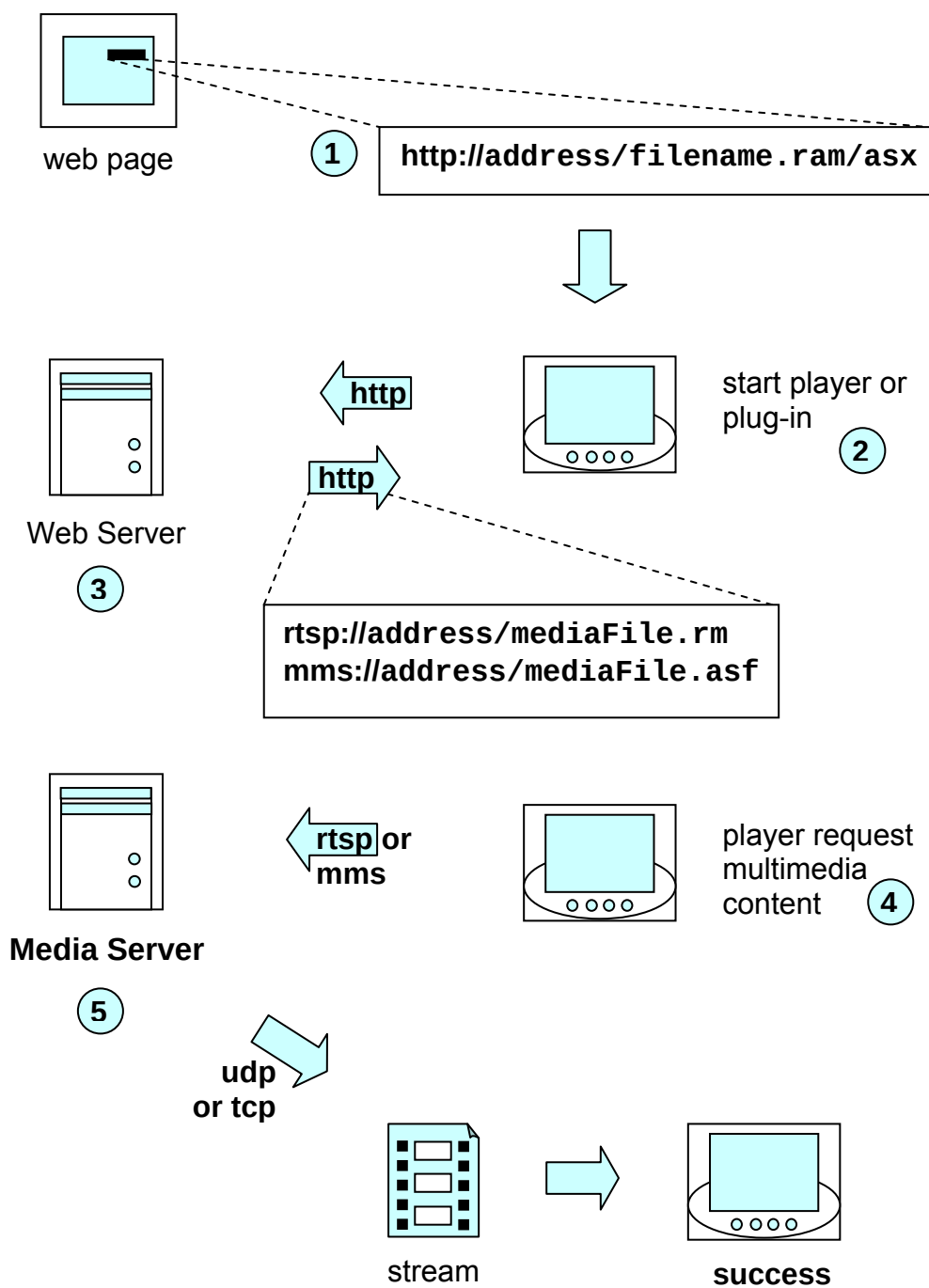
หลายแบบ (Media Server) ในที่นี้คือค่า “http://address/filename.ram” หรือ “http://address/filenam.asx” เป็นต้น

2. เรียกใช้งาน โปรแกรมประยุกต์หรือโปรแกรมเพิ่มเติม (Plug-in) สำหรับแสดงข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสด

3. สถานีบริการเว็บส่งเมต้าไฟล์ อาทิเช่น “rtsp://address/media/mediaFile.rm” หรือ “mms://address/mediaFile.asf” กลับมายังสถานีที่ส่งคำร้องขอ เพื่อให้โปรแกรมประยุกต์สำหรับแสดงข้อมูลสตรีมมิงมีเดียใช้ในการเชื่อมต่อไปยังสถานีบริการสื่อหลายแบบที่ให้บริการสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสด

4. โปรแกรมประยุกต์สำหรับแสดงข้อมูลสตรีมมิงมีเดียส่งคำร้องขอการรับข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดไปยังสถานีบริการสื่อหลายแบบ โดยใช้โพรโทคอลการสื่อสารสำหรับข้อมูลสื่อหลายแบบ ขึ้นอยู่กับสถานีบริการนั้นๆ จะใช้เครื่องให้บริการสื่อหลายแบบ เช่น โพรโทคอลเอ็มเอ็มเอส (Microsoft Media Server: MMS) และ อาร์ทีเอสพี (Real Time Streaming Protocol: RTSP) เป็นต้น

5. การร้องขอสำเร็จเมื่อมีข้อมูลสตรีมมิงมีเดียส่งมาจากสถานีบริการสื่อหลายแบบ



ภาพที่ 13 การเชื่อมต่อไปยังสถานีบริการสื่อหลายแบบ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

ในการดำเนินการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรมประยุกต์การคำนวณทางคณิตศาสตร์ และโปรแกรมภาษาจาวา เป็นเครื่องมือในการคำนวณ โปรแกรมจำพวกสไนฟเฟอร์ (Sniffer) และการ์ดเครือข่ายไร้สายซิสโก้ แอโรเน็ต ซีรี่ 350 ในการตรวจจับข้อมูลของโมบายโฮสต์ในเครือข่ายแลนไร้สายที่เชื่อมต่อกับ แอ็กเซสพอยต์ ซิสโก้ ซีรี่ 1100 และสำหรับแนวคิดในการพัฒนาวิธีการสื่อสารที่เอเอ็มซีพีในการใช้งานจริงบนระบบปฏิบัติการที่สามารถเพิ่มเติมฟังก์ชันได้นั้น ผู้วิจัยอ้างอิงตามระบบปฏิบัติการลินุกซ์เคอร์เนล เวอร์ชัน 2.6.18

วิธีการ

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยดำเนินการวิจัยได้ทำการวิเคราะห์ขั้นต้น (Preliminary analysis) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเชิงปริมาณระหว่างการสื่อสารแบบยูนิคาสต์กับมัลติคาสต์ ทำให้สามารถอธิบายค่าความแตกต่างได้ว่าการสื่อสารแบบมัลติคาสต์มีประสิทธิภาพดีกว่าการสื่อสารแบบยูนิคาสต์ และสนับสนุนแนวความคิดการออกแบบขอบข่ายงาน (Framework design) วิธีการสื่อสารมัลติคาสต์แบบทรานสแพเรนท์หรือทีเอเอ็มซีพี (Transparent multicast protocol: TMCP) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานในเครือข่ายแลนไร้สาย และนำเสนอตัวแบบมาคอฟเพื่อใช้ในการประเมินประสิทธิภาพ (Performance analysis) ของเครือข่ายแลนไร้สายที่ใช้งานภายใต้ระบบเครือข่ายที่มีการติดตั้งการใช้งานทีเอเอ็มซีพีตามแนวคิดออกแบบขอบข่ายงานดังกล่าว โดยมีรายละเอียดดังนี้

การวิเคราะห์ขั้นต้น (Preliminary Analysis)

การประยุกต์ใช้การสื่อสารแบบมัลติคาสต์ในการรับส่งข้อมูลประเภทสตรีมมิงมีเดียทำให้ประสิทธิภาพการใช้แบนด์วิดท์ดีกว่าการสื่อสารแบบยูนิคาสต์ดังที่กล่าวไปแล้วในบทนำ ดังนั้นในการวิเคราะห์ขั้นต้นนี้เพื่อแสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบในเชิงปริมาณระหว่างการสื่อสารทั้งสองแบบกับข้อมูลประเภทสตรีมมิงมีเดียของการถ่ายทอดสัญญาณสด

ตัวแบบสุ่มตามเวลา (Stochastic Model) เป็นตัวแบบอย่างง่ายที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณเปรียบเทียบเชิงปริมาณ ได้แก่ แบบจำลองที่ใช้โดยเฉลี่ย และอัตราการรองรับจำนวนผู้รับการถ่ายทอดสัญญาณสด ภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดด้านจำนวนแบบจำลอง โดยกำหนดให้ตัวแปร M แทนจำนวนสตรีมมิงมีเดียของถ่ายทอดสัญญาณสด และตัวแปร N แทนจำนวนเซสชันที่ร้องขอสตรีมมิงมีเดียพร้อมๆ กัน ดังนั้นกระบวนการสุ่มที่แทนจำนวนสถานีถ่ายทอดสัญญาณสดที่ถ่ายทอดอยู่ $M(t)$ และจำนวนสตรีมมิงมีเดียเซสชัน $N(t)$ ณ เวลา t ใดๆ

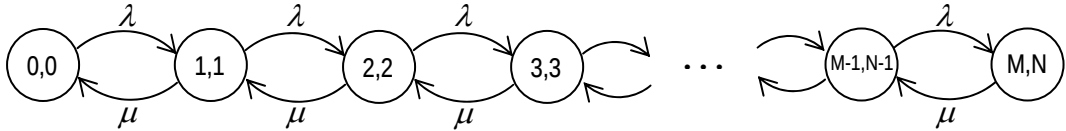
สมมติฐานเบื้องต้น

- อัตราการเข้าชมการถ่ายทอดสัญญาณสดมีกระบวนการแบบพัซซอง (Poisson)
- $M(t)$ และ $N(t)$ เป็นอิสระต่อกัน
- จำนวนโมบายโฮสต์ตามมาตรฐานที่แอกเซสพอยต์สามารถรองรับได้สูงสุด 30 สถานี
- ไม่มีผลกระทบของคลื่นรบกวน และทุกสถานีรับทราบการสื่อสารจากสถานีอื่นๆที่เกิดขึ้นใน BSS ได้เหมือนกัน

การสื่อสารแบบยูนิคาสต์ จะมีตัวแบบที่มีตัวแปรสถานะ 2 ตัวแปร คือ M และ N ถ้าสมมติให้ λ เป็นอัตราการเข้าชมการถ่ายทอดสัญญาณสดโดยเฉลี่ย และ μ เป็นอัตราการออกจากการชมการถ่ายทอดสัญญาณสดโดยเฉลี่ย นั่นคือเวลาที่ใช้ในการชมของแต่ละเซสชันใช้เวลาโดยเฉลี่ย $1/\mu$ จะได้ตัวแบบการสื่อสารแบบยูนิคาสต์ดังภาพที่ 14 โดยกำหนดให้ความน่าจะเป็นที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัวคือ $P_{i,j} = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{M(t) = i, N(t) = j\}$ กำหนดให้ λ และ μ เป็นอัตราการเข้าและออกที่สถานะ (i,j) นั่นคือถ้าไม่มีการสื่อสารเกิดขึ้นในระบบ ระบบจะอยู่ในสถานะว่าง หรือที่สถานะ $(M,N) = (0,0)$ ถ้ามีการเพิ่มขึ้นของการเข้าชมการถ่ายทอดสัญญาณสด ณ สถานะใดๆ ที่ระบบจะมีการเปลี่ยนสถานะไปทางขวา จากสถานะ (i,j) ไปที่สถานะ $(i+1,j+1)$ แต่ถ้ามีใครออกจากระบบหรือยกเลิกการรับชมการถ่ายทอดสัญญาณสด ณ สถานะใดๆ ที่ $(i=j > 0)$ ระบบจะมีการเปลี่ยนสถานะไปทางซ้าย จากสถานะ (i,j) ไปที่สถานะ $(i-1,j-1)$ ดังนั้นพารามิเตอร์ของตัวแบบสามารถนิยามได้ดังสมการที่ (1) และ (2)

$$\lambda_{m,n} = \begin{cases} \lambda, & m = n = 0, 1, 2, \dots, N-1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

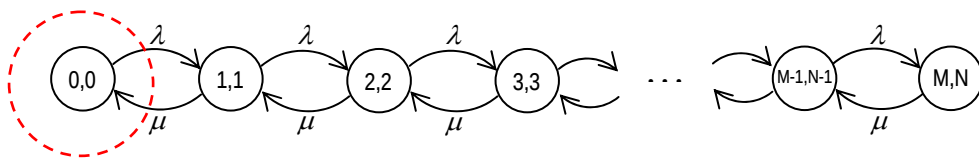
$$\mu_{m,n} = \mu, \quad m = n = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$



ภาพที่ 14 แผนภาพสถานะของการสื่อสารแบบยูนิคาสต์

จากแผนภาพสถานะของการสื่อสารแบบยูนิคาสต์ (ภาพที่ 14) ถ้าเราวงกลมรอบสถานะใดๆ เช่น กรณีที่ $i = j = 0$ คือสถานะ (0,0) ดังภาพที่ 15 แล้วเราสามารถเขียนสมการสมดุลของสถานะที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัวได้ว่าอัตราการเข้าสู่สถานะ *เท่ากับ* อัตราออกจากสถานะ ได้ดังสมการที่ (3) สำหรับกรณีอื่นๆ ก็ใช้วิธีการเดียวกันนี้จึงขอยกภาพแสดงตัวอย่างเพียงกรณีเดียว สำหรับกรณีที่เหลืออีก 2 กรณีจะแสดงเฉพาะสมการสมดุลของสถานะดังสมการที่ (4) และ (5) รวมถึงกรณีของการสื่อสารแบบมัลติคาสต์ที่จะกล่าวถึงต่อไปด้วยเช่นกัน

กรณีที่ $i = j = 0$



ภาพที่ 15 แผนภาพแสดงการวิธีการคำนวณสมการสมดุลของสถานะ (0,0)

$$\lambda P_{0,0} - \mu P_{1,1} = 0 \quad (3)$$

กรณีที่ $0 < i = j < N$

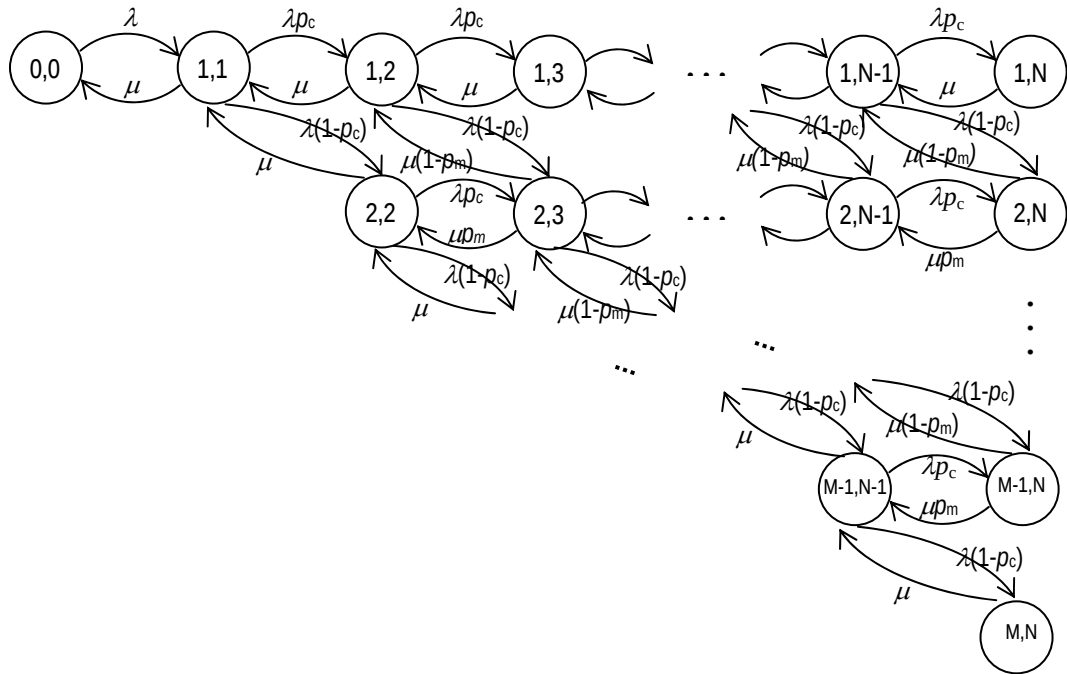
$$(\lambda + \mu) P_{i,i} - \lambda P_{i-1,i-1} - \mu P_{i+1,i+1} = 0 \quad (4)$$

กรณีที่ $i = M, j = N$

$$\mu P_{M,N} - \lambda P_{M-1,N-1} = 0 \quad (5)$$

ผลรวมของความน่าจะเป็นของสถานะทั้งหมดมีค่าเป็น 1 ดังสมการที่ (6)

$$\sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N P_{i,j} = 1 \quad (6)$$



ภาพที่ 16 แผนภาพสถานะของการสื่อสารแบบมัลติคาสต์

สำหรับการสื่อสารแบบมัลติคาสต์ ตัวแบบมาคอฟที่ได้จะมีความซับซ้อนมากกว่าตัวแบบยูนิคาสต์ นั่นคือถ้ามีการจำกัดจำนวนแบนด์วิดท์ และกำหนดให้ p_c แทนความน่าจะเป็นที่สถานีโมบายโฮสต์เลือกรับชมสถานีถ่ายทอดสัญญาณที่กำลังแพร่ภาพอยู่ และ p_m แทนความน่าจะเป็นที่สถานีโมบายโฮสต์ออกจากรับชมสถานีที่กำลังถ่ายทอดสัญญาณสดที่มีจำนวนโมบายโฮสต์ในสถานินั้นๆ มากกว่าหรือเท่ากับสองสถานี โดยการสื่อสารแบบมัลติคาสต์สามารถแสดงเป็นแผนภาพดังภาพที่ 16 ซึ่งจะมีสถานะเริ่มต้นเช่นเดียวกับตัวแบบยูนิคาสต์ คือสถานะที่ระบบว่าง

($M, N = 0, 0$) ณ ที่ระบบมีการเพิ่มขึ้นของการเข้าชมการถ่ายทอดสัญญาณสดเป็นเซสชันแรก ระบบจะมีการเปลี่ยนไปที่สถานะ (1,1) ต่อมาถ้ามีการเพิ่มขึ้นของการเข้าชมเป็นเซสชันถัดไป และเป็น การเข้าชมสถานีเดียวกับสถานีที่กำลังถ่ายทอดอยู่แล้ว (ด้วยความน่าจะเป็น p_c) ระบบจะมีการ เปลี่ยนสถานะไปทางขวา จากสถานะ (i, j) ไปที่สถานะ ($i, j+1$) แต่ถ้าเป็นการเข้าชมสถานีใหม่ (ด้วยความน่าจะเป็น $1 - p_c$) ระบบจะมีการเปลี่ยนสถานะจากบนลงล่าง คือจากสถานะ (i, j) ไปที่ สถานะ ($i+1, j+1$) ซึ่งการเปลี่ยนสถานะการเพิ่มขึ้นของการเข้าชมการถ่ายทอดสัญญาณสดของ ระบบจะสิ้นสุดลงที่ความจุของแบนด์วิธที่สามารถรองรับได้ และ/หรือจำนวนเซสชันมีค่าสูงสุดที่ กำหนดไว้ตามสมมติฐานเบื้องต้น สำหรับอัตราการออกจากระบบ ถ้าเซสชันที่ออกจากระบบ ณ สถานะใดๆ ที่ และไม่เป็นเซสชันสุดท้ายที่รับชมการถ่ายทอดสด (ด้วยความน่าจะเป็น $1 - p_m$)

จากแผนภาพสถานะของการสื่อสารแบบมัลติคาสต์ (ภาพที่ 12) สามารถเขียนสมการแสดงความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะไปยังสถานะข้างเคียงเพียง 1 สถานะได้ดังสมการที่ (7)

$$\left. \begin{aligned} P\{i+1, j+1|i, j\} &= \lambda & i = j = 0 \\ P\{i, j+1|i, j\} &= \lambda p_c & i \in [1, M-1], j \in [1, N-1] \\ P\{i+1, j+1|i, j\} &= \lambda(1-p_c) & i \in [1, M-1], j \in [1, N-1] \\ P\{i-1, j-1|i, j\} &= \mu & i = j \\ P\{i, j-1|i, j\} &= \mu & i = 1, j \in [1, N] \\ P\{i, j-1|i, j\} &= \mu p_m & i \in [2, M], j \in [2, N] \\ P\{i-1, j-1|i, j\} &= \mu(1-p_m) & i \in [2, M-1], j \in [2, N] \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

สมการสมดุลของอัตราการเข้าสู่สถานะ เท่ากับ อัตราออกจากสถานะ ที่ได้จากการวงกลม รอบสถานะใดๆ เช่นเดียวกับการสื่อสารแบบยูนิคาสต์ ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังต่อไปนี้

กรณีที่ $1 < i < j < N$

$$(\lambda + \mu)P_{i,j} - \lambda(1-p_c)P_{i-1,j-1} - \lambda p_c P_{i,j-1} - \mu p_m P_{i,j+1} - \mu(1-p_m)P_{i+1,j+1} = 0 \quad (8)$$

กรณีที่ $i = j = 0$

$$\lambda P_{0,0} - \mu P_{1,1} = 0 \quad (9)$$

กรณีที $i=j=1$

$$(\lambda + \mu)P_{1,1} - \lambda P_{0,0} - \mu P_{1,2} - \mu P_{2,2} = 0 \quad (10)$$

กรณีที $i=1, j=N$

$$\mu P_{1,N} - \lambda p_c P_{1,N-1} = 0 \quad (11)$$

กรณีที $i=1, 1 < j < N$

$$(\lambda + \mu)P_{i,j} - \lambda p_c P_{i,j-1} - \mu P_{i,j+1} - \mu(1-p_m)P_{i+1,j+1} = 0 \quad (12)$$

กรณีที $1 < i < M, j=N$

$$\mu P_{i,j} - \lambda(1-p_c)P_{i-1,j-1} - \lambda p_c P_{i,j-1} = 0 \quad (13)$$

กรณีที $1 < i=j < M$

$$(\lambda + \mu)P_{i,j} - \lambda(1-p_c)P_{i-1,j-1} - \mu p_m P_{i,j+1} - \mu P_{i+1,j+1} = 0 \quad (14)$$

กรณีที $i=M, M < j < N$

$$(\lambda + \mu)P_{M,j} - \lambda(1-p_c)P_{M-1,j-1} - \lambda p_c P_{M,j-1} - \mu p_m P_{M,j+1} = 0 \quad (15)$$

กรณีที $i=j=N$

$$\mu P_{N,N} - \lambda(1-p_c)P_{N-1,N-1} = 0 \quad (16)$$

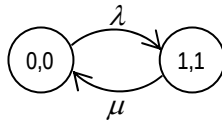
ผลรวมของความน่าจะเป็นของสถานะทั้งหมดมีค่าเป็น 1 ดังสมการที่ (17)

$$\sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N P_{i,j} = 1 \quad (17)$$

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพ เป็นการวิเคราะห์ผลจากตัวแบบมาคอฟที่ได้แสดงในภาพที่ 14 และ 16 และเพื่อแสดงให้เห็นผลการวิเคราะห์ที่เข้าใจได้ง่าย โดยการสมมติให้สตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดแต่ละเซสชันมีค่าเท่ากับ 1 เมกะบิตต่อวินาที และระบบสามารถสนับสนุนสตรีมมิงมีเดียได้พร้อมกันมากที่สุด 5 เซสชัน นั่นคือเราสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสื่อสารระหว่างยูนิคาสต์กับมัลติคาสต์ได้ 3 กรณี ดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 สตรีมมิงมีเดียของถ่ายทอดสัญญาณสดจำนวน 1 สตรีม ($M = 1$)

เป็นการพิจารณาในกรณีที่แบนด์วิดท์ของระบบสามารถรองรับสตรีมมิงมีเดียของการถ่ายทอดสัญญาณสดได้เพียงหนึ่งสตรีมคือ 1 เมกะบิตต่อวินาที ดังนั้นจำนวนเซสชันในการสื่อสารแบบยูนิคาสต์จะรองรับได้เพียง 1 เซสชันเท่านั้น ถ้ามีการร้องขอของเซสชันใหม่ เซสชันดังกล่าวจะถูกปฏิเสธการร้องขอสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสด



ภาพที่ 17 แผนภาพการเปลี่ยนสถานะการสื่อสารแบบยูนิคาสต์ กรณี $M = 1$

โดยสามารถแสดงการสื่อสารแบบยูนิคาสต์สามารถแสดงเป็นแผนภาพดังภาพที่ 17 ซึ่งพบว่าจะมีเพียง 2 สถานะคือ (0,0) และ (1,1) เท่านั้น และความน่าจะเป็นที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัวสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (18)

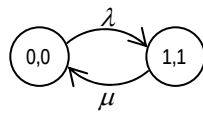
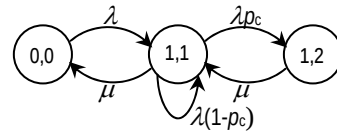
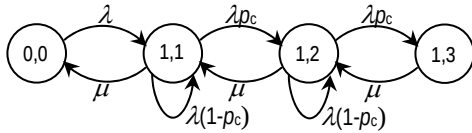
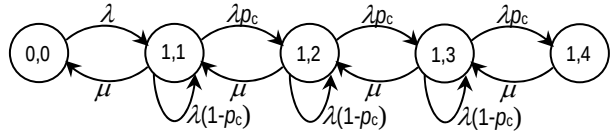
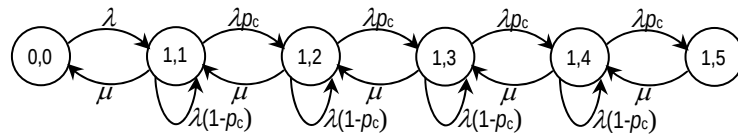
$$P_{0,0} = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad ; \quad P_{1,1} = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \quad (18)$$

สำหรับการสื่อสารแบบมัลติคาสต์นั้นสามารถแสดงเป็นแผนภาพได้ดังภาพที่ 13 แม้ว่าระบบสามารถรองรับสตรีมมิงมีเดียได้เพียงหนึ่งสตรีม แต่ระบบจะสามารถรองรับการร้องขอ

เซตชั้นใหม่ที่เป็นสตรึมเดียวกันนี้จนกว่าจะถึงจำนวนที่ระบบกำหนดไว้ ซึ่งในกรณีนี้ได้สมมติให้มีค่าได้ไม่เกิน 5 เซตชั้น สำหรับแผนภาพการเปลี่ยนสถานะสามารถแสดงได้ 5 กรณีย่อย ภาพที่ 18(ก) ถึง (จ) ค่าความน่าจะเป็นที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัวของกรณีที่มี 1 เซตชั้น ($N=1$) จะมีค่าเท่ากับกรณีของการสื่อสารแบบยูนิคาสต์ ส่วนกรณีที่มี 2 เซตชั้น พบว่ามีเพียง 3 สถานะคือ (0,0), (1,1) และ (1,2) และค่าความน่าจะเป็นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (19)

$$P_{0,0} = \frac{\mu^2}{\beta} \quad ; \quad P_{1,1} = \frac{\lambda\mu}{\beta} \quad ; \quad P_{1,2} = \frac{\lambda^2 p_c}{\beta} \quad (19)$$

$$\text{โดยที่ } \beta = \lambda^2 p_c + \lambda\mu + \mu^2$$

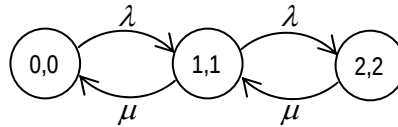
(ก) $N = 1$ (ข) $N = 2$ (ค) $N = 3$ (ง) $N = 4$ (จ) $N = 5$

ภาพที่ 18 แผนภาพการเปลี่ยนสถานะการสื่อสารแบบมัลติคาสต์ กรณี $M = 1$

กรณีที่จำนวนเซตชั้นเท่ากับ 3 ถึง 5 เซตชั้น รวมถึงกรณีถัดไปที่จะกล่าวถึงของการสื่อสารแบบมัลติคาสต์ สามารถคำนวณได้ด้วยวิธีเดียวกัน โดยใช้โปรแกรมประยุกต์การคำนวณทางคณิตศาสตร์ แต่ไม่ได้นำเสนอไว้ในงานวิจัยนี้เนื่องจากสมการที่ได้ประกอบด้วยสัญลักษณ์จำนวนมากที่จัดรูปแล้วแสดงให้เห็นว่าค่อนข้างซับซ้อน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำเสนอเฉพาะแผนภาพการ

เปลี่ยนสถานะของการสื่อสารแบบมัลติคาสต์กรณีที่จำนวนสตรีมมิ่งมีเดียของการถ่ายทอดสัญญาณสดเท่ากับ 2 สตรีม และ 3 สตรีม ดังแสดงในภาพที่ 20 และ 22 ตามลำดับ

กรณีที่ 2 สตรีมมิ่งมีเดียของการถ่ายทอดสัญญาณสดจำนวน 2 สตรีม ($M = 2$)



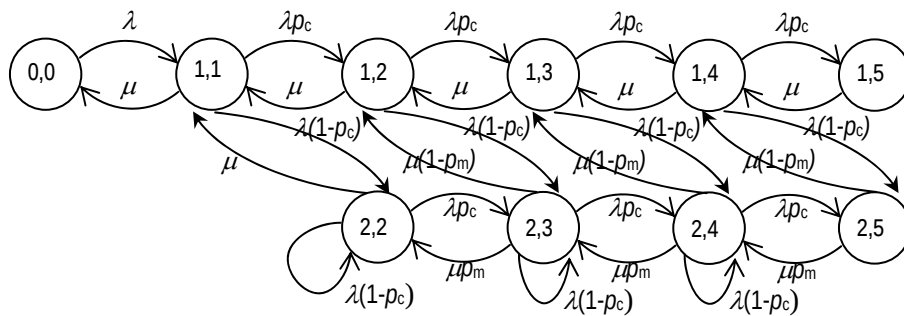
ภาพที่ 19 แผนภาพการเปลี่ยนสถานะการสื่อสารแบบยูนิคาสต์ กรณี $M = 2$

ระบบคิวของการสื่อสารแบบยูนิคาสต์ในกรณีนี้สามารถรองรับสตรีมมิ่งมีเดียของการถ่ายทอดสัญญาณสดได้ 2 สตรีม โดยสามารถแสดงเป็นแผนภาพการเปลี่ยนสถานะของการสื่อสารนี้แสดงได้ดังภาพที่ 19 และความน่าจะเป็นที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัวสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (20)

$$P_{0,0} = \frac{\mu^2}{\delta} \quad ; \quad P_{1,1} = \frac{\lambda\mu}{\delta} \quad ; \quad P_{2,2} = \frac{\lambda^2}{\delta} \quad (20)$$

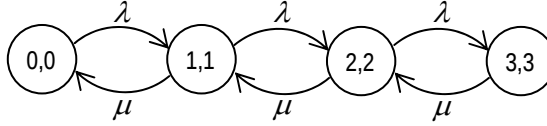
$$\text{โดยที่ } \delta = \lambda^2 + \lambda\mu + \mu^2$$

สำหรับการสื่อสารแบบมัลติคาสต์สามารถแสดงเป็นแผนภาพดังภาพที่ 20 ซึ่งพบว่ามีสถานะทั้งหมด 10 สถานะ



ภาพที่ 20 แผนภาพการเปลี่ยนสถานะการสื่อสารแบบมัลติคาสต์ กรณี $M = 2$

กรณีที่ 3 สตรีมมิงมีเดียของถ่ายทอดสัญญาณสดจำนวน 3 สตรีม ($M=3$)



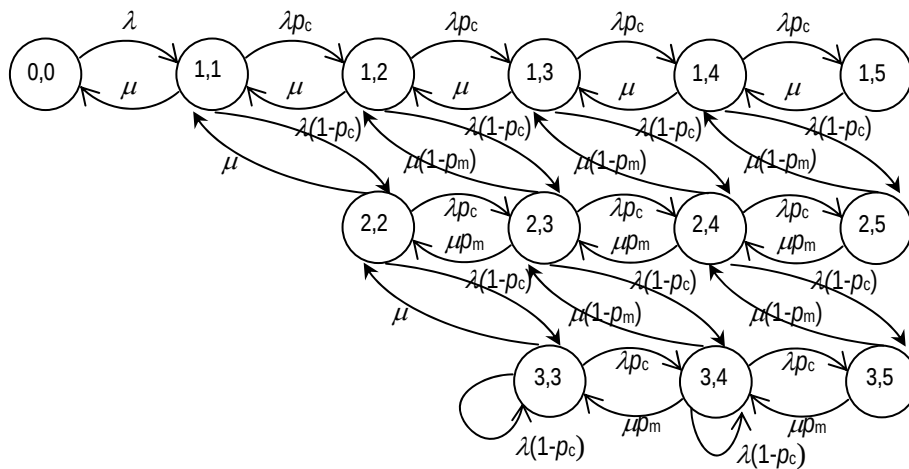
ภาพที่ 21 แผนภาพการเปลี่ยนสถานะการสื่อสารแบบยูนิคาสต์ กรณี $M=3$

กรณีสุดท้ายนี้ระบบสามารถรองรับสตรีมมิงมีเดียของการถ่ายทอดสัญญาณสดสำหรับการสื่อสารแบบยูนิคาสต์ได้พร้อมกัน 3 สตรีม โดยสามารถแสดงเป็นแผนภาพการเปลี่ยนสถานะได้ดังภาพที่ 21 ซึ่งพบว่าจะมีสถานะทั้งหมด 4 สถานะ และความน่าจะเป็นที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัวของแต่ละสถานะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (21)

$$P_{0,0} = \frac{\mu^3}{\gamma} \quad ; \quad P_{1,1} = \frac{\lambda\mu^2}{\gamma} \quad ; \quad P_{2,2} = \frac{\lambda^2\mu}{\gamma} \quad ; \quad P_{3,3} = \frac{\lambda^3}{\gamma} \quad (21)$$

$$\text{โดยที่ } \gamma = \lambda^3 + \lambda^2\mu + \lambda\mu^2 + \mu^3$$

สำหรับการสื่อสารแบบมัลติคาสต์สามารถแสดงเป็นแผนภาพดังภาพที่ 22 ซึ่งพบว่า มีสถานะทั้งหมด 13 สถานะ

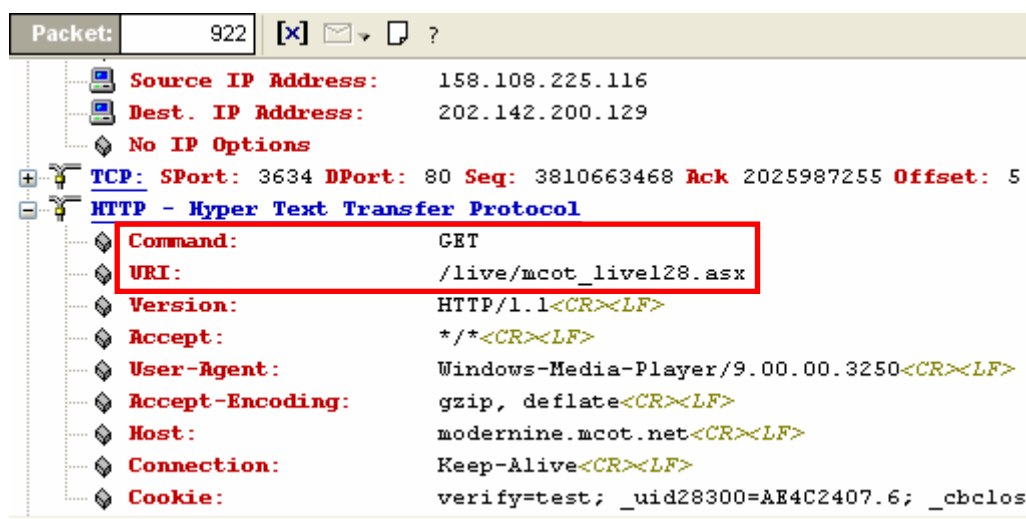


ภาพที่ 22 แผนภาพการเปลี่ยนสถานะการสื่อสารแบบมัลติคาสต์ กรณี $M=3$

การออกแบบขอบข่ายงาน (Framework Design)

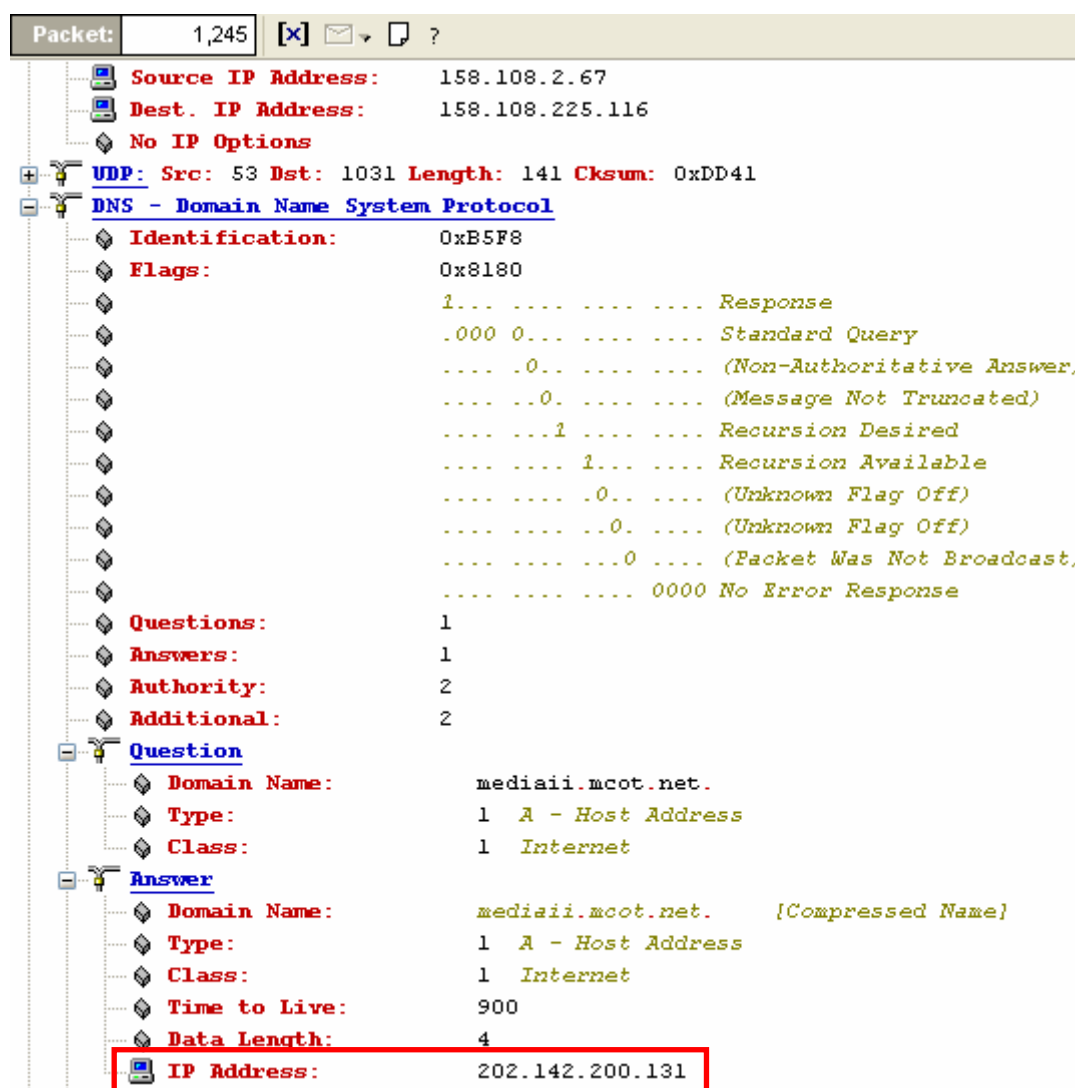
เพื่อจะนำไปสู่การออกแบบขอบข่ายงานวิธีการสื่อสารแบบที่เอ็มซีพี จะขอกำลังตัวอย่าง ขั้นตอนในการร้องขอข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดจากสถานีบริการสื่อหลายแบบ ในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตจากสถานีโมบายโฮสต์ดังที่ได้อธิบายในภาพที่ 13 ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ได้จากการใช้โปรแกรมจำพวกสไนฟเฟอร์ในการตรวจจับข้อมูลจากการสื่อสารระหว่างสถานีโมบายโฮสต์ กับสถานีโทรทัศน์ช่อง 9 จะพบว่าการติดต่อสื่อสารช่วงแรกจะเป็นการสื่อสารระหว่างสถานีโมบายโฮสต์ กับสถานีบริการเว็บด้วยโพรโทคอลเอชทีทีพี หลังจากนั้นจะเป็นการสื่อสารด้วยโพรโทคอลการสื่อสารสำหรับข้อมูลสื่อหลายแบบ โดยสามารถแสดงภาพตัวอย่างในขั้นตอนสำคัญดังต่อไปนี้

1. การร้องขอเมต้าไฟล์ของสถานีโมบายโฮสต์ (หมายเลขไอพี 158.108.225.116) จาก สถานีบริการเว็บ (หมายเลขไอพี 202.142.200.129) ด้วยคำสั่ง “GET” และส่วนของข้อมูลตัวบอกที่อยู่ (Uniform Resource Identifier: URI) ของเมต้าไฟล์ “/live/mcot_live128.asx” ในชั้นโปรแกรมประยุกต์ ดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 การร้องขอเมต้าไฟล์จากสถานีโมบายโฮสต์

2. สถานีบริการเว็บจะมีการตอบกลับการร้องขอดังกล่าว หรือทีซีพี-แอ็ค (Transport control protocol Acknowledgement: TCP Ack) ดังภาพที่ 24 พร้อมกับข้อมูลเมต้าไฟล์ในระดับชั้น



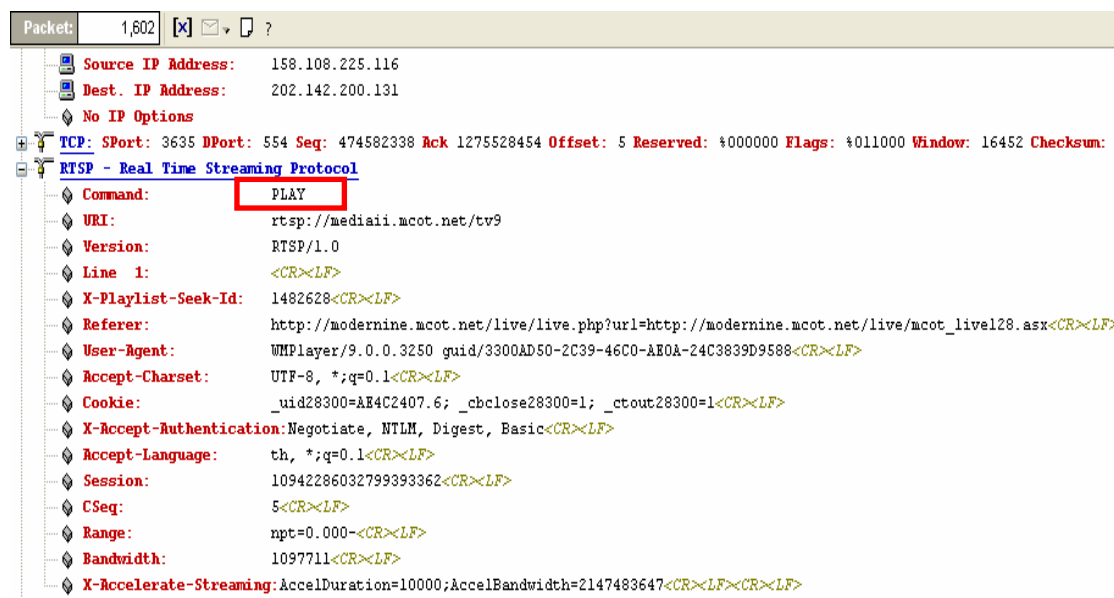
ภาพที่ 25 ผลการประมวลผลจากสถานีบริการชื่อโดเมน

4. สถานีโมบายโฮสต์เริ่มต้นร้องขอข้อมูลสตรีมมิงมีเดียจากสถานีบริการสื่อหลายแบบ โดยใช้ข้อมูลเมตาไฟล์ในชั้นโปรแกรมประยุกต์ที่ได้จากภาพที่ 26 ด้วยโปรโตคอลเอ็มเอ็มเอส คือ “mms://mediaiii.mcot.net/tv9WMcontentBitrate=128000” แต่ผลที่ได้จากการใช้โปรแกรมจำพวก สนิฟเฟอร์ในการตรวจจับข้อมูลพบว่าใช้โปรโตคอลอาร์ทีเอสพี เนื่องจากทางไมโครซอฟต์ได้ เปลี่ยนฟังก์ชันในโปรแกรมแสดงผลข้อมูล (Windows Media Services) ตั้งแต่เวอร์ชัน 9 (Microsoft, 2007a, 2007b) ให้สามารถสนับสนุนการควบคุมการใช้งานสตรีมมิงโดยใช้โปรโตคอล อาร์ทีเอสพี และถูกเลือกใช้งานเป็นอันดับแรก

5. สถานีโมบายโฮสต์จะส่งคำสั่งการแสดงผลข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสด ด้วยคำสั่ง “PLAY” ไปยังสถานีบริการสตรีมมิงมีเดีย ดังแสดงในภาพที่ 27

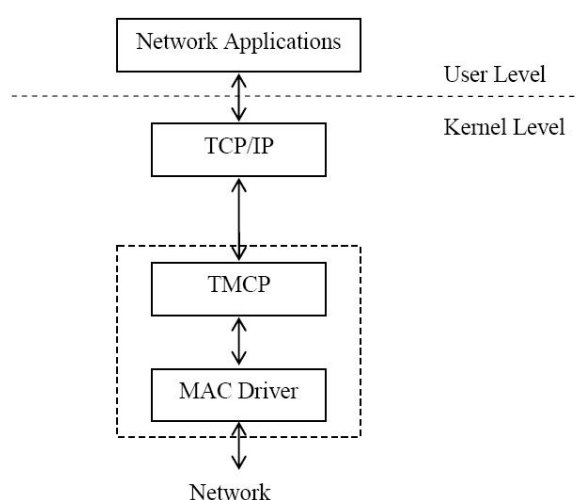


ภาพที่ 26 การกำหนดวิธีการสื่อสารในการควบคุมการทำสตรีมมิง (RTSP Setup)



ภาพที่ 27 การส่งคำสั่งให้แสดงผลข้อมูลสตรีมมิงมีเดีย (RTSP Play)

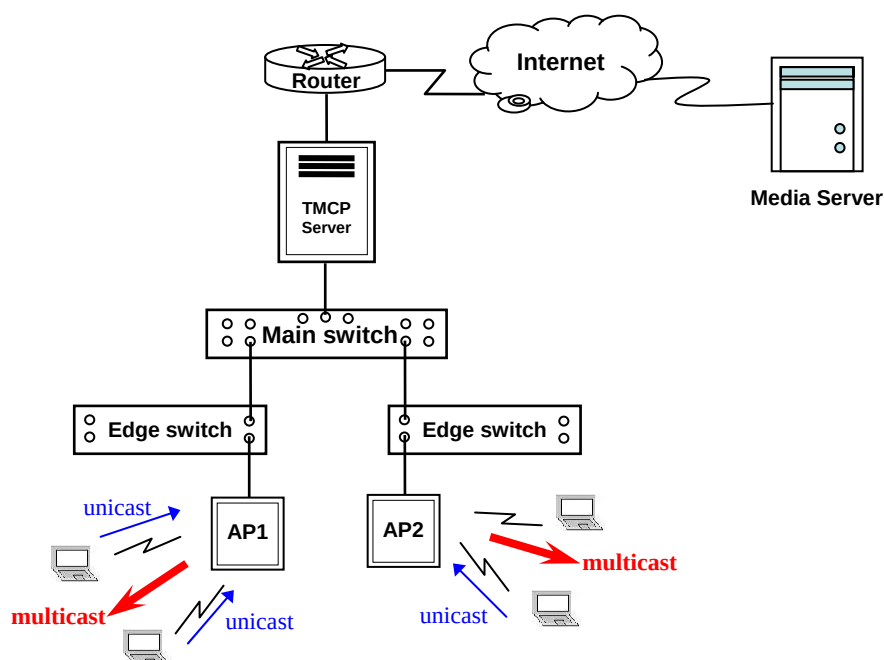
การออกแบบวิธีการสื่อสารที่เอเอ็มซีพีเพื่อให้โมบายโฮสต์ในเครือข่ายแลนไร้สายที่ต้องการรับข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดจากสถานีบริการสื่อหลายแบบในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วยวิธีการสื่อสารแบบยูนิคาสต์สามารถรับข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดแบบมัลติคาสต์ โดยมีสถานีบริการที่เอเอ็มซีพีทำหน้าที่เป็นตัวแทนบริการข้อมูลถ่ายทอดสัญญาณสดที่รับจากสถานีบริการสื่อหลายแบบในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่เป็นการสื่อสารแบบยูนิคาสต์ ซึ่งวิธีการสื่อสารที่เอเอ็มซีพีดังกล่าวจะทำงานอยู่ในระดับชั้นแม่ข่ายของสถานีบริการที่เอเอ็มซีพีดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 ขอบข่ายงานวิธีการสื่อสารแบบที่เอเอ็มซีพี

สถานีบริการที่เอเอ็มซีพีเป็นสถานีบริการประตูสัญญาณหรือเกตเวย์ (Gateway) ที่ต่อเชื่อมระหว่างเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่ใช้กับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งสามารถให้บริการข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดแบบมัลติคาสต์จากข้อมูลเดิมที่รับจากสถานีบริการถ่ายทอดสัญญาณสดในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบยูนิคาสต์ นอกจากนั้นสถานีบริการที่เอเอ็มซีพียังทำหน้าที่เป็นมัลติคาสต์เราเตอร์ด้วยเช่นกัน นั่นคือแนวความคิดการออกแบบจะยึดหลักการออกแบบระบบ 2 หลักการคือ

1. ความเป็นโมดูลและความเป็นอิสระด้านฮาร์ดแวร์ เพื่อให้สามารถเพิ่มเติมฟังก์ชันการบริการต่างๆ ได้สะดวก ไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของระบบ
2. วิธีการสื่อสารจะไม่ขึ้นกับโปรแกรมสำเร็จรูปประยุกต์สำหรับแสดงผลข้อมูลประเภทสตรีมมิงมีเดีย และแพลตฟอร์มของสถานีบริการสื่อหลายแบบ

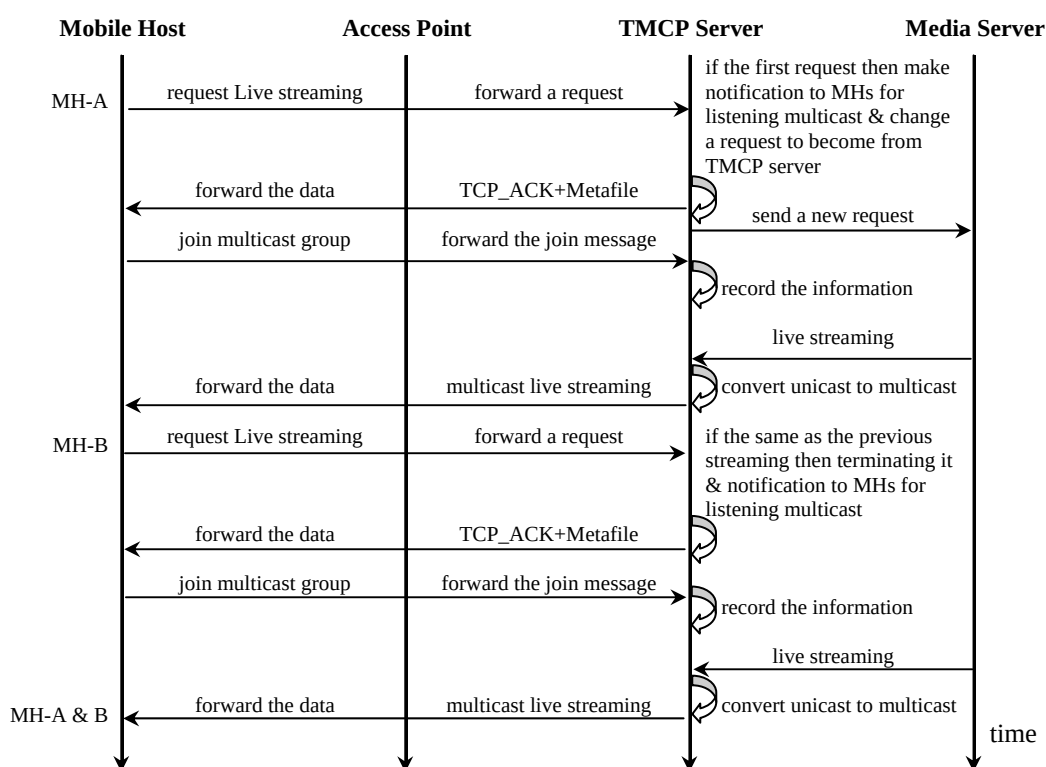


ภาพที่ 29 โทโพโลยีของทีเอ็มซีพี

ดังนั้นแนวคิดการออกแบบโทโพโลยีของทีเอ็มซีพีเพื่อสนับสนุนการใช้งานแลนไร้สายในเครือข่ายขององค์กรใดๆ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 29 ซึ่งสถานีโมบายโฮสต์ส่งการร้องขอเริ่มต้นเป็นแบบยูนิคาสต์ และการส่งข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดกลับมาหลังจากกระบวนการที่เอ็มซีพีจะเป็นแบบมัลติคาสต์ โดยมีแนวคิดการติดต่อสื่อสารที่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสถานีต่างๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลการถ่ายทอดสัญญาณสดแบบมัลติคาสต์ดังภาพที่ 30 โดยสมมติให้สถานีโมบายโฮสต์ MH-A ส่งคำร้องขอข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดแบบยูนิคาสต์ผ่านสถานีแอ็กเซสพอยต์ และถูกส่งต่อมาถึงสถานีบริการทีเอ็มซีพี ถ้าเป็นคำร้องขอนั้นเป็นการร้องขอข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดที่เป็นเซสชันแรกของสถานีบริการถ่ายทอดสัญญาณสด คำร้องขอดังกล่าวจะถูกเปลี่ยนแปลงผู้ร้องขอจากสถานีโมบายโฮสต์เป็นการร้องขอจากสถานีบริการทีเอ็มซีพีแทน ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวแทนบริการในการร้องขอข้อมูลแบบยูนิคาสต์จากสถานีบริการถ่ายทอดสัญญาณสด พร้อมทั้งมีการแจ้งกลับไปยังสถานีโมบายโฮสต์ MH-A เพื่อให้ส่งคำร้องขอแบบมัลติคาสต์มายังสถานีบริการทีเอ็มซีพีในการเข้าเป็นสมาชิกมัลติคาสต์ของกลุ่มสถานีบริการถ่ายทอดสัญญาณสดดังกล่าว หลังจากที่สถานีบริการทีเอ็มซีพีได้รับข้อมูล

สตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดแบบยูนิคาสต์จากสถานีบริการถ่ายทอดสัญญาณสด ข้อมูลดังกล่าวจะถูกแปลงให้เป็นข้อมูลแบบมัลติคาสต์เพื่อส่งไปให้กลุ่มสมาชิกมัลติคาสต์ในเครือข่ายแลนไร้สาย

ในเวลาต่อมา มีสถานีโมบายโฮสต์ MH-B ต้องการรับข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดจากสถานีเดียวกันกับ MH-A โดยส่งคำร้องขอแบบยูนิคาสต์ผ่านสถานีแอ็กเซสพอยต์ เมื่อคำร้องขอดังกล่าวมาถึงสถานีบริการทีเอ็มซีพี คำร้องขอนั้นจะถูกทิ้งไป พร้อมกันนั้น สถานีบริการทีเอ็มซีพีจะมีการแจ้งกลับไปยังสถานีโมบายโฮสต์ MH-B ให้ส่งคำร้องขอการเข้าร่วมเป็นสมาชิกมัลติคาสต์ในกลุ่มเดียวกับสถานีโมบายโฮสต์ MH-A หลังจากนั้น สถานีโมบายโฮสต์ MH-B ก็จะสามารถรับข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดแบบมัลติคาสต์ได้ทันทีที่มีข้อมูลของกลุ่มที่เป็นสมาชิกมัลติคาสต์ส่งเข้ามาในเครือข่ายแลนไร้สาย



ภาพที่ 30 แนวคิดการแปลงข้อมูลแบบยูนิคาสต์เป็นมัลติคาสต์

ความต้องการของระบบ

1. สวิตช์ที่สามารถสนับสนุนการทำงานแบบวีแลน (Virtual LAN: VLAN) ทั้งสวิตช์หลัก (Main switch) และสวิตช์ที่ต่อเชื่อมกับแอ็กเซสพอยต์ (Edge switch) ซึ่งในปัจจุบันมีราคาไม่แพง
2. การ์ดเครือข่ายไร้สายของโมบายโฮสต์สามารถสนับสนุนการทำงานกับข้อมูลแบบมัลติคาสต์

สถาปัตยกรรมหน้าที่ของสถานีบริการทีเอ็มซีพี (Function Architecture on TMCP Server)

ฟังก์ชันการทำงานของสถานีบริการทีเอ็มซีพี ซึ่งทำหน้าที่เป็นสถานีตัวแทนบริการข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดแบบมัลติคาสต์ รวมถึงหน้าที่ของมัลติคาสต์เราเตอร์ในการบริหารจัดการการคงสภาพการเป็นสมาชิกมัลติคาสต์ การทำสำเนาข้อมูลมัลติคาสต์เพื่อส่งออกไปยังแต่ละส่วนต่อประสานที่มีกลุ่มสมาชิกมัลติคาสต์ ประกอบด้วยฟังก์ชันดังต่อไปนี้

1. การค้นหา (Detection) คำร้องขอที่ต้องการข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดจากสถานีโมบายโฮสต์ในวีแลนของเครือข่ายแลนไร้สาย โดยตรวจสอบจากประเภทคำสั่ง “GET” และส่วนของข้อมูลตัวบอกที่อยู่ในชั้นโปรแกรมประยุกต์ส่วนของชื่อแฟ้มข้อมูลเมต้าไฟล์ ซึ่งมีนามสกุล (File type) เช่น “asx” และ “ram” เป็นต้น ดังตัวอย่างภาพที่ 23
2. สร้างตัวแทนคำร้องขอไปยังสถานีบริการถ่ายทอดสัญญาณสด โดยการแทนที่ไอพีผู้ส่งคำร้องขอด้วยไอพีของสถานีบริการทีเอ็มซีพี ดังตัวอย่างต่อไปนี้

จากภาพที่ 23 เปรียบการร้องขอข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดที่ได้จากการใช้โปรแกรมประเภทสไนฟเฟอร์ในการตรวจจับข้อมูลจะพบว่าหมายเลขไอพีของผู้ร้องขอ (Source IP Address) ในส่วนหัวของไอพีแพ็กเก็ต (IP Header) ของสถานีโมบายโฮสต์ที่ร้องขอคือ 158.108.225.116 ซึ่งจะถูกแทนที่ด้วยหมายเลขไอพีของส่วนต่อประสานของสถานีบริการทีเอ็มซีพีที่ต่อเชื่อมกับเครือข่ายฝั่งขาออกไปเครือข่ายอินเทอร์เน็ต สมมติให้เป็นหมายเลข 158.108.225.100 พร้อมทั้งคำนวณค่าผลรวมของส่วนหัวไอพีแพ็กเก็ต (Head Checksum) ค่าใหม่แทนที่ค่าเดิมคือ 0x0FCF

3. สร้างกลุ่มข้อมูลตอบรับของระดับชั้นเคลื่อนย้าย (Transport layer) คือ ทีซีพี-แอ็ก พร้อมกับแนบ (Piggyback) เมต้าไฟล์ ที่แจ้งข้อมูลกลุ่มมัลติคาสต์ที่สถานีโมบายโฮสต์นั้นจะต้องส่งคำร้องขอเข้ามาเป็นสมาชิกในการรับข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดแบบมัลติคาสต์

4. ทำการแปลงข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดแบบยูนิคาสต์เป็นมัลติคาสต์ พร้อมทำสำเนาข้อมูลมัลติคาสต์เพื่อส่งออกไปยังแต่ละส่วนต่อประสานที่ต่อเชื่อมกับเครือข่าย ภายในที่มีกลุ่มสมาชิกมัลติคาสต์ในวิเลนของเครือข่ายแลนไร้สาย

5. ปรับปรุงข้อมูลในตารางข้อมูลมัลติคาสต์ (Multicast Information Table: MIT) เมื่อได้รับข้อความไอดีเอ็มพีจากสถานีโมบายโฮสต์ในการขอเข้าร่วมหรือการคงสภาพการเป็นสมาชิกของกลุ่มมัลติคาสต์ใดๆ

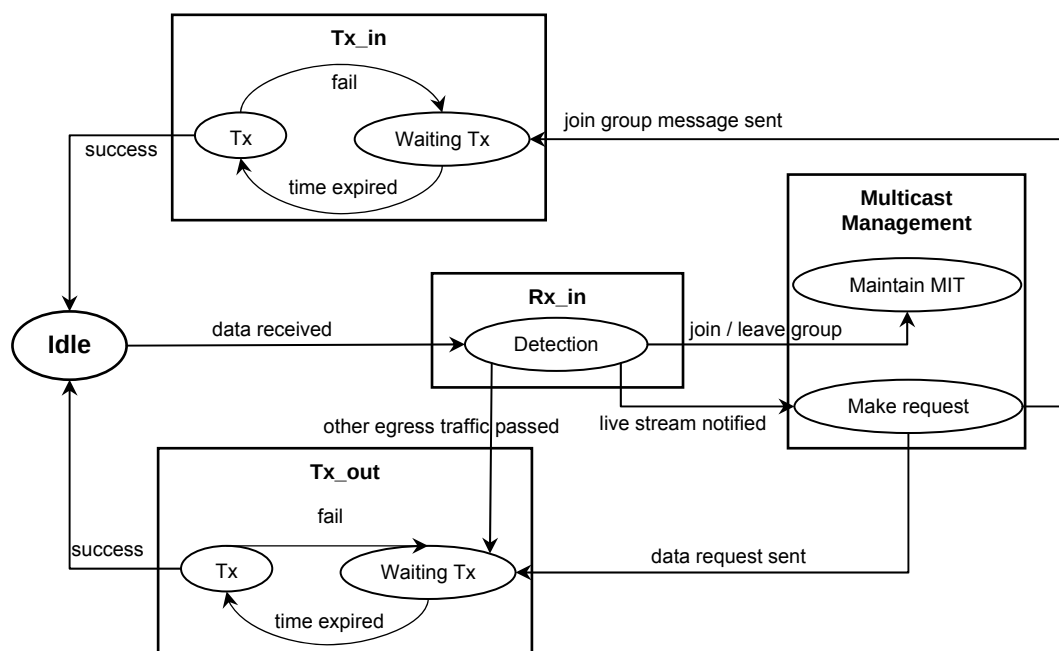
แผนภาพแสดงการเปลี่ยนสถานะ (State Transition Diagram)

เพื่อแสดงให้เห็นถึงความชัดเจนของแนวความคิดการออกแบบขอบข่ายงานวิธีการสื่อสารมัลติคาสต์แบบทรานสแพเรนท์ โดยการอธิบายถึงคุณลักษณะของสถานะที่เป็นไปได้ของสถานีบริการทีเอ็มซีพี และสถานีโมบายโฮสต์ ดังแสดงในภาพที่ 31 ถึง 33 โดยมีรายละเอียดดังนี้

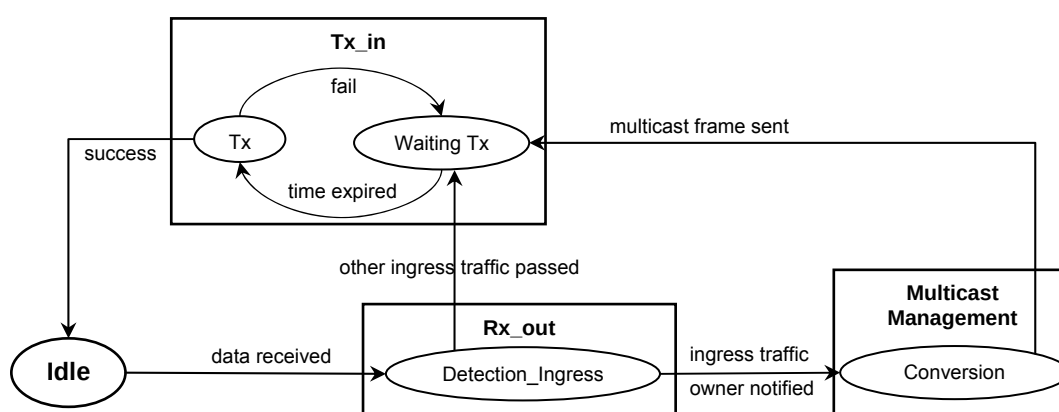
ภาพที่ 31 แสดงขั้นตอนการทำงานของสถานีบริการทีเอ็มซีพีจากการสื่อสารการร้องขอข้อมูลสตรีมมิงมีเดียจากสถานีโมบายโฮสต์ โดยสถานีบริการทีเอ็มซีพีจะมีสถานะว่าง (Idle) เป็นสถานะเริ่มต้น เมื่อได้รับข้อมูลการร้องขอข้อมูลจากโมบายโฮสต์จะมีการเปลี่ยนสถานะไปเป็นสถานะการค้นหา (Detection) โดยการตรวจสอบว่าข้อมูลการร้องขอในระดับชั้นโปรแกรมประยุกต์ หากพบว่าเป็นการร้องขอข้อมูลประเภทสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสด และเปลี่ยนจากสถานะการค้นหาเป็นสถานะการจัดการมัลติคาสต์ (Multicast management) แต่ถ้าหากไม่ใช่จะเปลี่ยนสถานะไปยังสถานะส่งข้อมูลฝั่งขาออกเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Tx_out)

เมื่อสถานีบริการทีเอ็มซีพีเข้าสู่สถานะการจัดการมัลติคาสต์แล้วจะมีความทำงานย่อย 2 งาน โดยงานแรกคือการสร้างข้อมูลตอบกลับของการเข้าร่วมกลุ่มมัลติคาสต์ไปยังสถานีโมบายโฮสต์ทางฝั่งขาออกสู่เครือข่ายแลน (Tx_in) และงานที่สองคือการแทนที่การร้องขอจากสถานีโมบาย

โสตค์ให้เป็นการร้องขอจากสถานีบริการที่เอ็มซีพีไปยังสถานีบริการสตรีมมิงมีเดียในเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ถ้าการส่งข้อมูลสำเร็จจะกลับไปสู่สถานะว่างใหม่

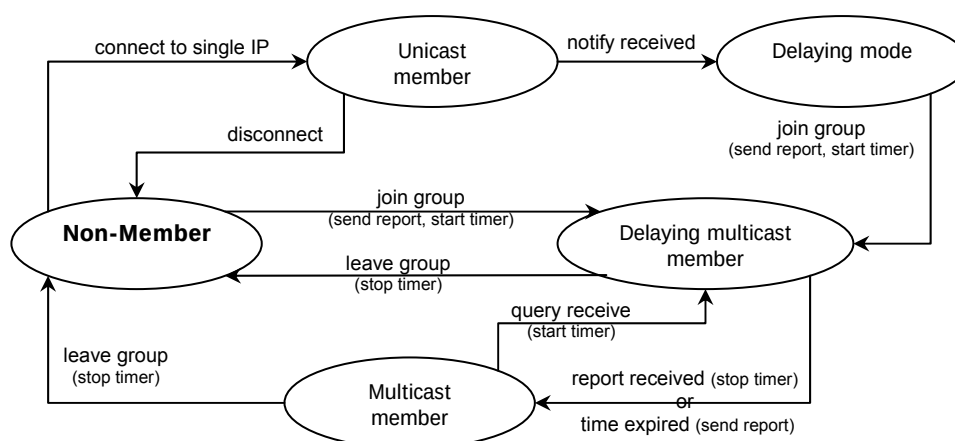


ภาพที่ 31 แผนภาพสถานะของสถานีบริการที่เอ็มซีพีกรณีเส้นทางการสื่อสารข้อมูลจากเครือข่ายท้องถิ่นออกไปยังเครือข่ายอินเทอร์เน็ต



ภาพที่ 32 แผนภาพสถานะของสถานีบริการที่เอ็มซีพีกรณีเส้นทางการสื่อสารข้อมูลจากเครือข่ายอินเทอร์เน็ตมายังเครือข่ายท้องถิ่น

ภาพที่ 32 แสดงขั้นตอนการทำงานของสถานีบริการที่เอ็มซีพีจากการได้รับข้อมูลสตรีมมิงมีเดียแบบยูนิคาสต์จากสถานีบริการในเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Rx_out) โดยจะเริ่มต้นที่สถานะว่าง เมื่อได้รับข้อมูลสตรีมมิงมีเดีย สถานีบริการที่เอ็มซีพีจะเปลี่ยนสถานะไปเป็นสถานะการค้นหา (Detection ingress) ถ้าเป็นข้อมูลสตรีมมิงมีเดียที่ส่งถึงสถานีบริการที่เอ็มซีพี จะเปลี่ยนสถานะไปยังสถานะการจัดการมัลติคาสต์เพื่อแปลงข้อมูลดังกล่าวจากยูนิคาสต์เป็นมัลติคาสต์ และเปลี่ยนไปสู่สถานะการส่งข้อมูลฝั่งขาออกสู่เครือข่ายแลน แต่ถ้าไม่ใช่จะเปลี่ยนไปสู่สถานะการการส่งข้อมูลฝั่งขาออกสู่เครือข่ายแลนเช่นกัน หากการส่งข้อมูลสำเร็จก็จะกลับไปสู่สถานะเริ่มต้น



ภาพที่ 33 แผนภาพการเปลี่ยนสถานะของโบบายโฮสต์

ภาพที่ 33 แสดงขั้นตอนการเปลี่ยนสถานะของสถานีโบบายโฮสต์ เริ่มต้นจะอยู่สถานะไม่ได้เป็นสมาชิก (Non member) ของทั้งยูนิคาสต์และมัลติคาสต์ เมื่อมีการร้องขอข้อมูลสตรีมมิงมีเดียเกิดขึ้นจะมีการเปลี่ยนเป็นสถานะของการเป็นสมาชิกยูนิคาสต์ (Unicast member) หลังจากได้รับการตอบกลับของการร้องขอข้อมูลดังกล่าว โบบายโฮสต์จะเปลี่ยนไปสู่สถานะการรอเปลี่ยนแบบการเป็นสมาชิก (Delaying mode) ระหว่างการร้องขอเข้าร่วมเป็นสมาชิกกลุ่มมัลติคาสต์และการได้รับข้อมูลการตรวจสอบการเป็นสมาชิกสถานะของโบบายโฮสต์จะเปลี่ยนไปสู่สถานะการรอการเป็นสมาชิกกลุ่มมัลติคาสต์ (Delaying multicast member) และจะเปลี่ยนไปสู่สถานะสมาชิกมัลติคาสต์ก็ต่อเมื่อได้รับข้อมูลสตรีมมิงมีเดีย แต่ถ้าหากยกเลิกการรับชมข้อมูลสตรีมมิงมีเดียก็จะกลับไปสู่สถานะเริ่มต้นใหม่

แนวคิดในการสร้างทีเอ็มซีพี (Implementation concept)

จากกรอบขอบข่ายงานการออกแบบทีเอ็มซีพีที่ได้นำเสนอนั้นสามารถนำมาสร้างโมดูลทีเอ็มซีพี เพื่อใช้งานในระบบการทำงานจริงที่สามารถเพิ่มฟังก์ชันให้กับสถานีให้บริการได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอแนวคิดในการสร้างทีเอ็มซีพีเพื่อเป็นแนวทางในการใช้งานจริงบนระบบปฏิบัติการที่สามารถเพิ่มเติมฟังก์ชันได้ ซึ่งก็คือระบบปฏิบัติการลินุกซ์ โดยมีอัลกอริทึมแสดงการทำงานวิธีการสื่อสารของทีเอ็มซีพีดังภาพที่ 34

```

1: for each packet arrival
2:   if ip_protocol AND http_dest_port
3:     if live_request
4:       if first live_request
5:         record src_ip, dest_ip, seq#, #membership_ch_i ;
6:         replace src_ip with eth1_ip ;
7:         calculate new ip_checksum ;
8:         forward live request to server ;
9:         generate TCP ack to src_ip AND piggyback METAFILE_ch_i ;
10:      else
11:        record src_ip, seq# AND update #membership_ch_i
12:        drop the arriving packet
13:        generate TCP ack to src_ip AND piggyback METAFILE_ch_i
14:      else
15:        pass the arriving packet to the default gateway
16:    else
17:      pass the arriving packet to the default gateway

```

ภาพที่ 34 อัลกอริทึมการค้นหาการร้องขอที่เป็นสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสด

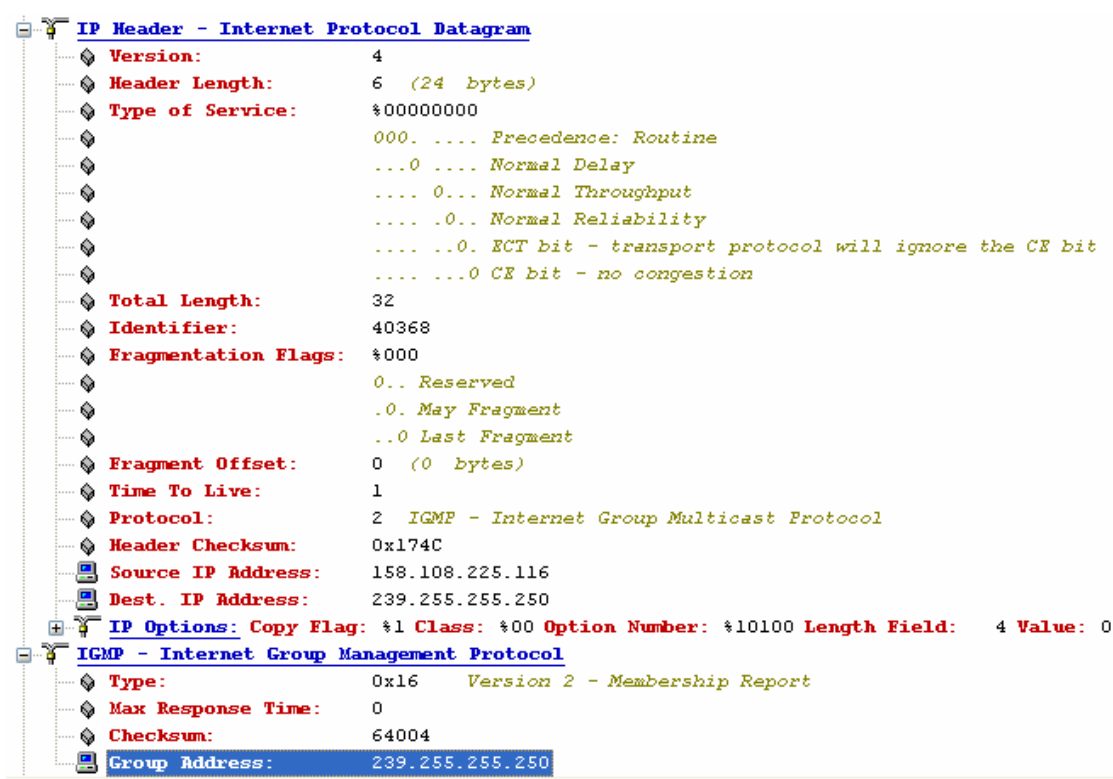
ไฟล์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลหรือเมตาไฟล์ (Metafile) ในตัวอย่างภาพที่ 35 ส่วนของข้อมูลตัวบอกที่อยู่ที่จะให้โปรแกรมประยุกต์ใช้ในการเชื่อมต่อไปยังสถานีบริการทีเอ็มซีพีที่ให้บริการถ่ายทอดสัญญาณสดแบบมัลติคาสต์ คือส่วนของข้อความ “multicast group address of channel *i*” ซึ่งเป็นหมายเลขไอพีมัลติคาสต์ใดๆ ที่กำหนดให้กับแต่ละสถานีบริการสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสด และตัวอย่างในภาพที่ 36 เป็นตัวอย่างแสดงการร้องขอข้อมูลแบบมัลติคาสต์โดยสถานีโมบายโฮสต์ (หมายเลขไอพี 158.108.225.116) ไปยังกลุ่มมัลติคาสต์หมายเลข 239.255.255.250

```

<ASX version = "3.0">
  <Entry>
    <ref HREF = "multicast group address of channel i"/>
  </Entry>
</ASX>

```

ภาพที่ 35 รูปแบบเมตาไฟล์ (Matefile) จากสถานีบริการทีเอ็มซีพี



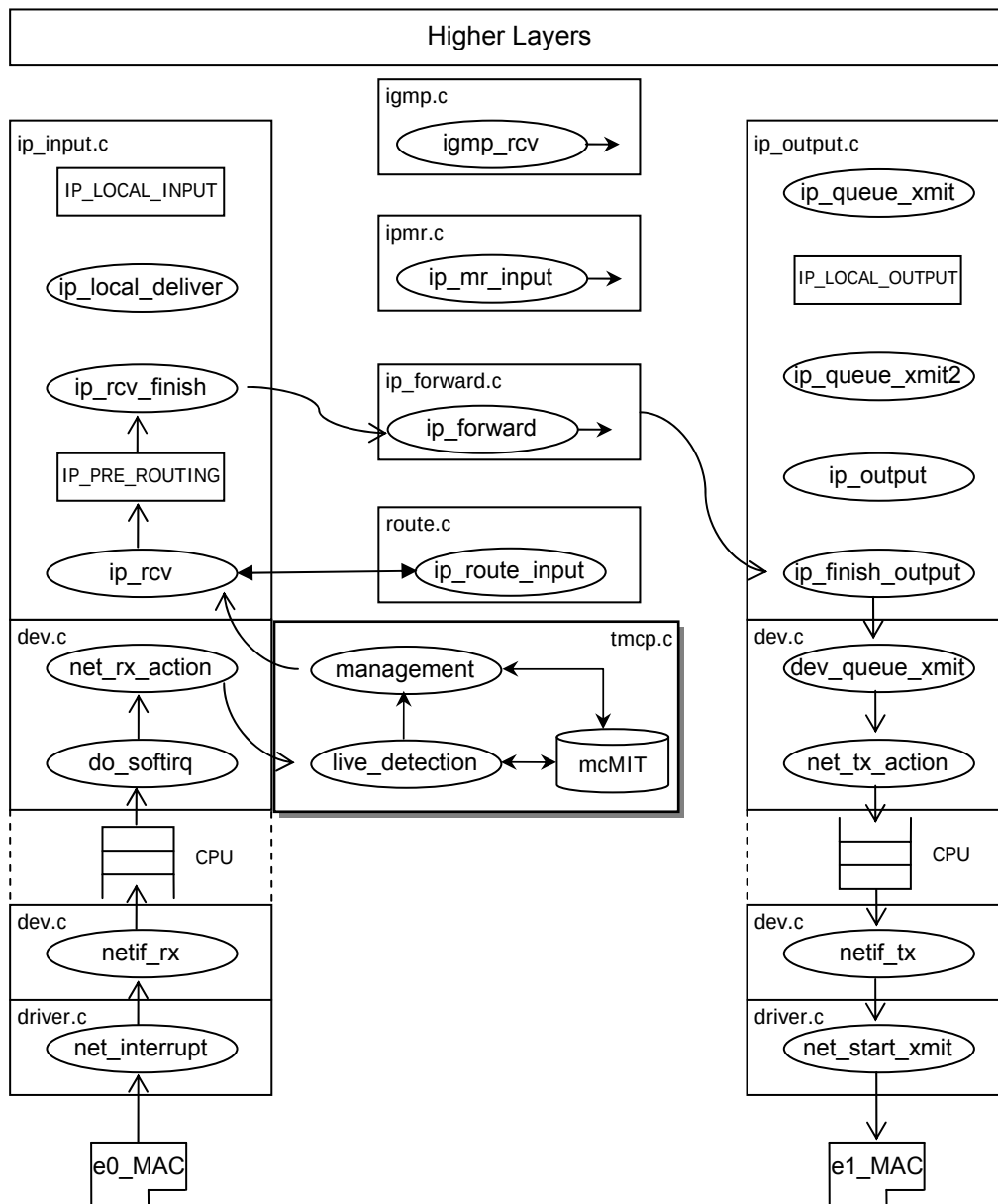
ภาพที่ 36 ไอจีเอ็มพีรีพอร์ตของการร้องขอข้อมูลแบบมัลติคาสต์

สำหรับแนวทางที่เป็นไปได้ของฟังก์ชันต้นแบบที่จะเพิ่มเติมการทำงานในเคอร์เนลของระบบปฏิบัติการลินุกซ์คือ ฟังก์ชันการตรวจสอบการร้องขอการเชื่อมต่อไปยังสถานีบริการสื่อหลายแบบในอินเทอร์เน็ตของโมบายโฮสต์จากเครือข่ายแลนไร้สาย ซึ่งถูกส่งผ่านเข้ามายังส่วนต่อประสานฝั่งที่ต่อเชื่อมกับเครือข่ายภายใน แทนด้วยส่วนต่อประสานอีเทอร์เน็ตศูนย์ (e0_MAC) โดยจะตรวจสอบเฉพาะการร้องขอที่เป็นาร้องขอการรับข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสด (Live detection) ซึ่งจะทำการตรวจสอบ(ในฟังก์ชัน “net_rx_action”) ก่อนที่การร้องขอนั้นจะถูกส่ง

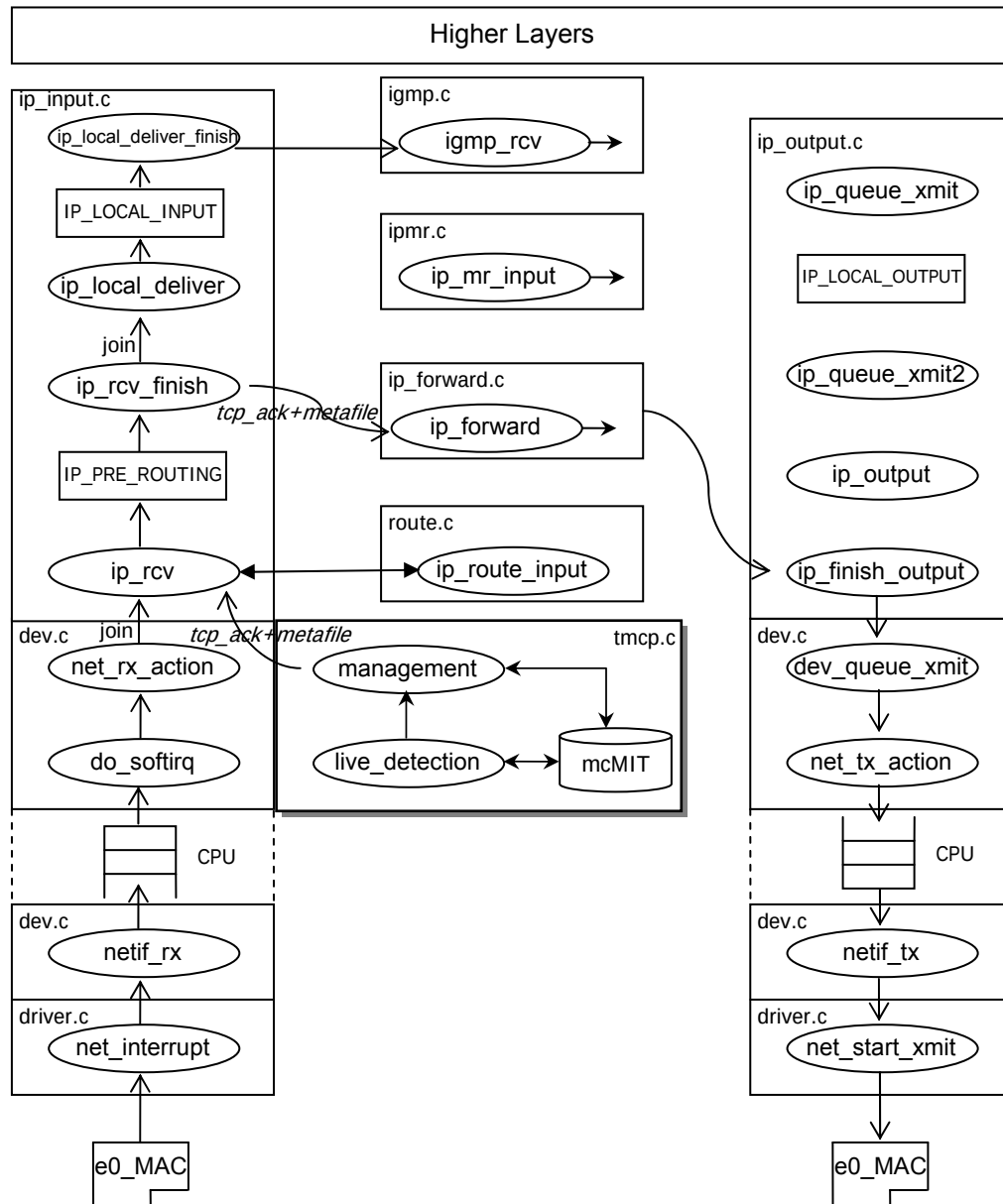
ต่อไปยังระดับชั้นเครือข่าย (ฟังก์ชัน “ip_rcv”) รวมถึงการจัดการเปลี่ยนแปลงให้สถานีบริการที่เอ็มซีพีเป็นตัวแทนในการร้องขอการรับข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสด หลังจากนั้นการร้องขอดังกล่าวจะผ่านสู่การทำงานปกติต่อไป เพื่อส่งออกไปยังส่วนต่อประสานของสถานีบริการที่เอ็มซีพีที่สามารถเชื่อมต่อไปยังสถานีบริการสื่อหลายแบบในเครือข่ายอินเทอร์เน็ต แทนด้วยส่วนต่อประสานอินเทอร์เน็ตหนึ่ง (e1_MAC) ดังแสดงในภาพที่ 37

เพื่อให้สถานีโมบายโฮสต์ที่ร้องขอดังกล่าวสามารถรับข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดแบบมัลติคาสต์ได้ สถานีบริการที่เอ็มซีพีจะต้องแจ้งข้อมูลหมายเลขมัลติคาสต์ของสถานีถ่ายทอดสัญญาณสดที่ร้องขอโดยการแนบเมตาไฟล์ที่แสดงข้อมูลที่อยู่ในการเชื่อมต่อ ไปกับการตอบกลับการร้องขอ (หรือที่ซีพี-แอ็ค) ของชั้นเคลื่อนย้าย (Transport layer) ซึ่งจะถูกส่งไปยังส่วนต่อประสานอินเทอร์เน็ตศูนย์ ดังแสดงในภาพที่ 38 หลังจากนั้นสถานีโมบายโฮสต์ที่ร้องขอจะส่งการร้องขอการรับข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดแบบมัลติคาสต์เข้ามาใหม่ (แทนด้วยข้อความ “join”) โดยส่งมายังสถานีบริการที่เอ็มซีพี ซึ่งจะเข้าสู่กระบวนการทำงานปกติของระบบต่อไป

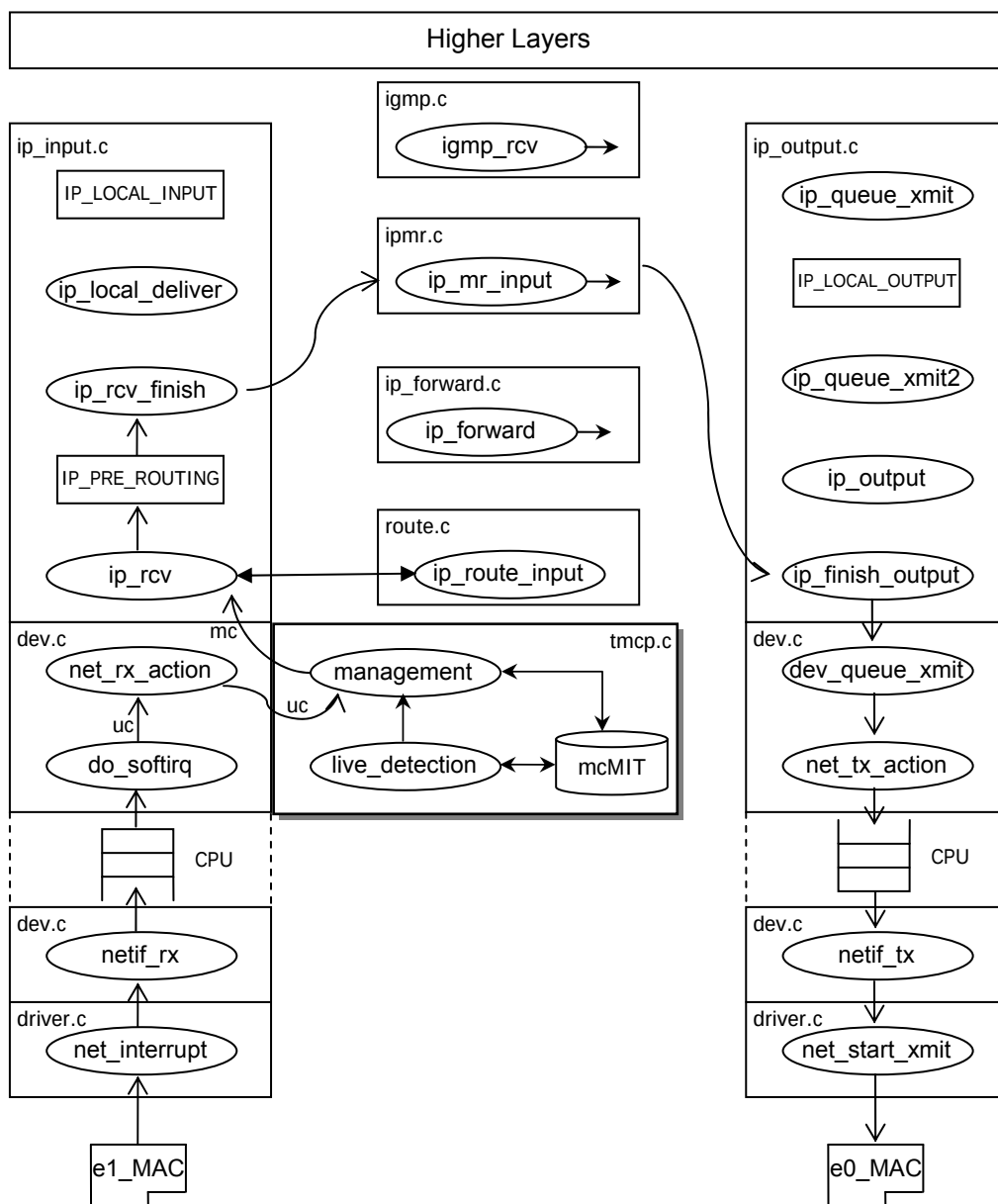
สำหรับข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดแบบมัลติคาสต์ที่ส่งจากสถานีบริการที่เอ็มซีพีให้กับสถานีร้องขอ จะเป็นข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดที่ได้จากการแปลงจากข้อมูลแบบยูนิคาสต์ที่ส่งจากสถานีถ่ายทอดสัญญาณสดในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตมายังส่วนต่อประสานอินเทอร์เน็ตหนึ่งของสถานีบริการที่เอ็มซีพี (แทนด้วยข้อความ “uc”) เมื่อข้อมูลดังกล่าวถูกส่งมาถึงฟังก์ชัน “net_rx_action” ในระดับชั้นเชื่อมโดยข้อมูล และถูกส่งต่อมายังฟังก์ชัน “management” ของโมดูลที่เอ็มซีพี เพื่อดำเนินการแปลงข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลแบบมัลติคาสต์ (แทนด้วยข้อความ “mc”) โดยใช้ข้อมูลจากตารางข้อมูลการจัดการมัลติคาสต์ (Multicast Management Information Table: mcMIT) ก่อนส่งต่อไปยังฟังก์ชันการทำงานปกติของระบบที่จะส่งให้กับสถานีโมบายโฮสต์ที่เป็นสมาชิกมัลติคาสต์ทางส่วนต่อประสานอินเทอร์เน็ตศูนย์ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 39



ภาพที่ 37 การร้องขอการเชื่อมต่อไปยังสถานีบริการสื่อหลายแบบในอินเทอร์เน็ต



ภาพที่ 38 การตอบสนองการร้องขอการรับข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสด

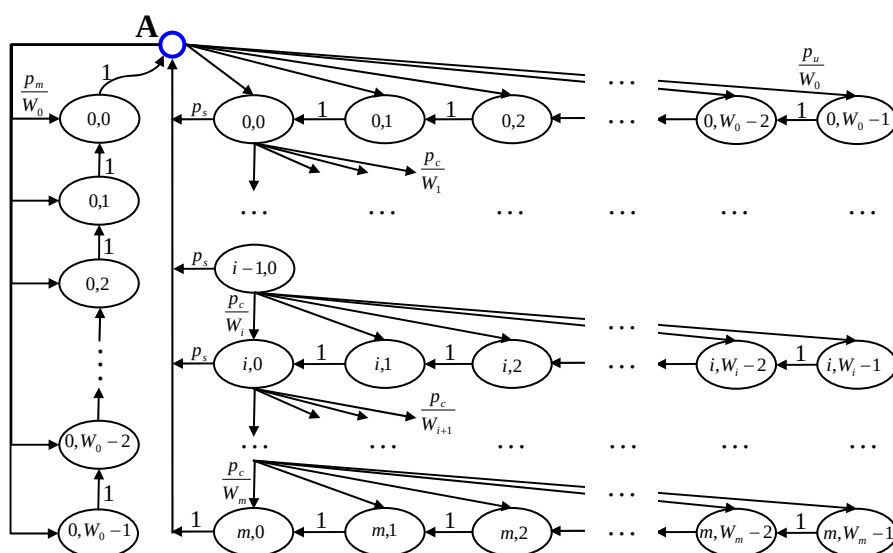


ภาพที่ 39 ข้อมูลถ่ายทอดสัญญาณสดจากสถานีบริการสื่อหลายแบบในอินเทอร์เน็ต

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ (Performance Analysis)

สมมติฐาน

- ไม่มีผลกระทบของคลื่นรบกวน และทุกสถานีรับทราบการสื่อสารจากสถานีอื่นๆที่เกิดขึ้นใน BSS ได้เหมือนกัน
- สถานีแอกเซสพอยต์มีการส่งข้อมูลทั้งสองประเภทคือ ยูนิคาสต์ และมัลติคาสต์
- สถานีโมบายโฮสต์มีการส่งข้อมูลประเภทเดียวคือ ยูนิคาสต์
- การส่งข้อมูลยูนิคาสต์ หรือมัลติคาสต์ ของสถานีต่างๆ มีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม
- การเพิ่มจำนวนครั้งในการส่งข้อมูล ณ เวลา t ใดๆ เป็นอิสระกับตัวนับเวลาเพื่อรอส่งข้อมูล ณ เวลา t ใดๆ
- จำนวนสถานีใน BSS มีได้มากที่สุด 31 สถานี โดยนับรวมสถานีแอกเซสพอยต์



ภาพที่ 40 ตัวแบบมาคอฟของการส่งข้อมูลของสถานีแอกเซสพอยต์

ตัวแบบมาคอฟ (Markov Model) เป็นตัวแบบที่สร้างขึ้นเพื่อที่จะประเมินประสิทธิภาพของเครือข่ายแลนไร้สายที่มีการทำงานภายใต้ระบบเครือข่ายที่มีการติดตั้งการใช้งานที่เอ็มซีพี ที่ได้ออกแบบไว้ดังกล่าวรายละเอียดไปแล้วในหัวข้อก่อนหน้านี้ ทางผู้วิจัยได้ปรับปรุงตัวแบบมาคอฟในงานวิจัยของ Rodolfo (2006) โดยการเปลี่ยนเซตของระยะเวลาที่รอเพื่อส่งข้อมูลแบบบอร์คาสต์เป็นเซตของระยะเวลาที่รอส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์ โดยมีสมมติฐานเบื้องต้นเช่นเดียวกับ Bianchi (2000) คือภายใต้เงื่อนไขที่ว่าทุกสถานีมีข้อมูลที่จะส่งอยู่ตลอดเวลา และมีการเพิ่มการจำกัดจำนวนครั้งในการส่งข้อมูลใหม่ดังเช่นในงานวิจัยของ Wu (2001) โดยขอเสนอตัวแบบมาคอฟของงานวิจัยนี้ได้ดังภาพที่ 40 และตัวแปรหรือพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในตัวแบบนี้อธิบายไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในตัวแบบมาคอฟ

พารามิเตอร์	คำอธิบาย
A	จำนวนเส้นทางการไหลของการสิ้นสุดการส่งข้อมูล และการเริ่มต้นส่งข้อมูลใหม่
p_m	ความน่าจะเป็นที่สถานีจะสุ่มค่าตัวนับเวลาเพื่อรอส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์
p_u	ความน่าจะเป็นที่สถานีจะสุ่มค่าตัวนับเวลาเพื่อรอส่งข้อมูลแบบยูนิคาสต์
p_c	ความน่าจะเป็นที่สถานีเอกเซสพอยต์ส่งข้อมูลไม่สำเร็จ
p	ความน่าจะเป็นที่สถานีโมบายโฮสต์ส่งข้อมูลไม่สำเร็จ
aCW_{min}	ค่าต่ำสุดของจำนวนช่วงเวลาในรอเพื่อส่งข้อมูล
aCW_{max}	ค่าสูงสุดของจำนวนช่วงเวลาในรอเพื่อส่งข้อมูล
m'	ค่าสูงสุดของจำนวนครั้งในการสุ่มจำนวนช่วงเวลาในรอเพื่อส่งข้อมูล
m	ค่าสูงสุดของจำนวนครั้งในการส่งข้อมูลใหม่
τ	ความน่าจะเป็นที่สถานีโมบายโฮสต์ได้ส่งข้อมูลในช่วงเวลาใดๆ
χ	ความน่าจะเป็นที่สถานีเอกเซสพอยต์ได้ส่งข้อมูลในช่วงเวลาใดๆ
P_{busy}	ความน่าจะเป็นที่มีการสื่อสารเกิดขึ้นใน BSS
P_s	ความน่าจะเป็นที่มีการส่งข้อมูลใน BSS สำเร็จ
T_s	เวลาเฉลี่ยในการส่งข้อมูลสำเร็จ
T_c	เวลาเฉลี่ยในการส่งข้อมูลไม่สำเร็จ
T_{sm}	เวลาเฉลี่ยในการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์สำเร็จ
T_{su}	เวลาเฉลี่ยในการส่งข้อมูลแบบยูนิคาสต์สำเร็จ
T_{cm}	เวลาเฉลี่ยในการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์ไม่สำเร็จ
T_{cu}	เวลาเฉลี่ยในการส่งข้อมูลแบบยูนิคาสต์ไม่สำเร็จ
σ	ช่วงเวลา (Slot time)
δ	เวลาที่เฟรมข้อมูลถึงที่หมายครบทั้งเฟรม (Propagation time)

จากตัวแบบมาคอฟการส่งข้อมูลของสถานีเอกเซพอยด์จะมีการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์และยูนิคาสต์ โดยให้ s แทนครั้งที่ในการส่งข้อมูลพร้อมทั้งกำหนดให้ B และ b แทนตัวนับเวลาเพื่อรอส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์ และยูนิคาสต์ตามลำดับ และแทนกระบวนการแบบสุ่ม ณ เวลา t ใดๆ ของพารามิเตอร์ดังกล่าวด้วย $s(t)$, $B(t)$ และ $b(t)$ ตามลำดับ นั่นคือเราสามารถกำหนดตัวแปรสถานะของตัวแบบมาคอฟเป็นเซตของกระบวนการสองมิติ {ครั้งที่ในการส่งข้อมูล ณ เวลา t , ตัวนับเวลาเพื่อรอส่งข้อมูล ณ เวลา t } ดังนั้นถ้าเป็นการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์ แทนด้วยคู่ลำดับ $\{s(t), B(t)\}$ แต่ถ้าเป็นการส่งข้อมูลแบบยูนิคาสต์ จะแทนด้วยคู่ลำดับ $\{s(t), b(t)\}$ ฉะนั้นความน่าจะเป็นของการส่งข้อมูลทั้งสองแบบ ณ ที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัวหรือเข้าสู่สถานะสมดุล สามารถกำหนดได้ดังนี้

ข้อมูลแบบมัลติคาสต์

$$\text{กำหนดให้ } B_{0,k} = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{s(t) = 0, B(t) = k\} \quad , k \in [0, W_0 - 1]$$

ข้อมูลแบบยูนิคาสต์

$$\text{กำหนดให้ } b_{i,k} = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{s(t) = i, b(t) = k\} \quad , i \in [0, m] \text{ and } k \in [0, W_i - 1]$$

เมื่อสถานีเอกเซพอยด์มีข้อมูลที่จะส่ง เอกเซพอยด์จะเริ่มต้นโดยการสุ่มค่าตัวนับเวลาเพื่อรอส่งข้อมูล B ในกรณีที่ข้อมูลแบบมัลติคาสต์ จะมีค่าความน่าจะเป็น p_m ส่วนในกรณีของยูนิคาสต์จะมีค่าตัวนับเวลาเพื่อรอส่งข้อมูล b ด้วยความน่าจะเป็น p_u โดยที่ $p_m + p_u = 1$ และถ้าในระบบไม่มีการส่งข้อมูลในช่วงระยะเวลา $DIFS$ ค่าตัวนับเวลาเพื่อรอส่งข้อมูลนี้จะมีค่าลดลงทีละหนึ่งช่วงเวลาคับด้วยความน่าจะเป็นเท่ากับหนึ่ง นั่นคือถ้าเป็นการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์ระบบจะมีการเปลี่ยนสถานะจากล่างขึ้นบน จากสถานะ $(0, k)$ ไปสถานะ $(0, k-1)$ แสดงได้ดังภาพที่ 40 แต่ถ้าเป็นแบบยูนิคาสต์สถานะจะเปลี่ยนจากขวาไปซ้าย จากสถานะ (i, k) ไปสถานะ $(i, k-1)$ จนถึงสถานะที่จะได้ส่งข้อมูลคือ $B_{0,0}$ หรือ $b_{i,0}$ ตามลำดับ หากช่วงเวลาที่ได้ส่งข้อมูลนั้นมีการส่งข้อมูลมากกว่าสองสถานี ข้อมูลดังกล่าวของเอกเซพอยด์จะเกิดการชนกันกับข้อมูลของโบบายโฮสต์ด้วยความน่าจะเป็น p_c และข้อมูลนั้นจะถูกทิ้งไปถ้าเป็นข้อมูลแบบมัลติคาสต์ แต่ถ้าเป็นข้อมูลแบบยูนิคาสต์จะมีการส่งข้อมูลใหม่โดยการสุ่มค่าตัวนับเวลาเพื่อรอส่งข้อมูลใหม่ในช่วงที่กว้างขึ้นเป็นสองเท่า นั่นคือจะมีการเปลี่ยนสถานะจากบนลงล่าง จากสถานะ $(i, 0)$ ไปสถานะ $(i+1, k)$ จนกระทั่งถึงจำนวนครั้งสูงสุดที่สามารถส่งข้อมูลใหม่ได้ หากยังส่งไม่สำเร็จข้อมูลดังกล่าวก็จะถูก

ทิ้งไปเช่นกัน แต่ถ้การส่งข้อมูลนั้นสำเร็จ (ด้วยความน่าจะเป็น $1 - p_c$) และค่าตัวแปร CW จะถูกกำหนดค่าเริ่มต้นใหม่สำหรับข้อมูลที่จะถูกส่งถัดไป

จากแผนภาพตัวแบบมาคอฟภาพที่ 40 ถ้ากำหนดให้ $W = aCW_{\min} + 1$ จะได้ว่า

$$W_i = \begin{cases} 2^i W & , i \in [0, m'] \\ 2^{m'} W & , i > m' \end{cases} \quad (22)$$

ในกรณีของการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์ จากตัวแบบมาคอฟ เราสามารถเขียนแสดงความสัมพันธ์ของสถานะที่จะได้ส่งข้อมูลดังนี้

$$B_{0,0} = p_m A \quad (23)$$

ในทำนองเดียวกัน สถานะอื่นๆ ก็สามารถเขียนแสดงความสัมพันธ์ได้เป็น

$$B_{0,k} = \frac{W_0 - k}{W_0} p_m A \quad , k \in [0, W_0 - 1] \quad (24)$$

และในกรณีของการส่งข้อมูลแบบยูนิคาสต์ จากตัวแบบมาคอฟ เราสามารถเขียนแสดงความสัมพันธ์ของสถานะที่จะได้ส่งข้อมูลในครั้งแรกดังนี้

$$b_{0,0} = p_u A \quad (25)$$

สำหรับสถานะอื่นๆ ที่จะได้ส่งข้อมูลในครั้งถัดไปสามารถเขียนแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (26) โดยสามารถจัดให้อยู่ในรูปของสมการทั่วไปได้ดังสมการที่ (27)

$$b_{i,0} = p_c^i b_{0,0} = p_c^i p_u A = p_u (1 - p_s)^i A \quad , i \in [0, m] \quad (26)$$

$$b_{i,k} = \frac{W_i - k}{W_i} b_{i,0} \quad , i \in [0, m] \quad \text{and} \quad k \in [0, W_i - 1] \quad (27)$$

ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าความน่าจะเป็นที่เอกเซพอยด์จะส่งข้อมูลในช่วงเวลาใดๆ สามารถคำนวณได้จากความน่าจะเป็นที่จะส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์ หรือยูนิคาสต์ ซึ่งสามารถแสดงสมการคำนวณได้ดังนี้

$$\chi = B_{0,0} + \sum_{i=0}^m b_{i,0} = p_m A + \sum_{i=0}^m p_u (1-p_s)^i A = \left(p_m + p_u \frac{1-(1-p_s)^{m+1}}{p_s} \right) A$$

นั่นคือ

$$\chi = \left(p_m + p_u \frac{1-p_c^{m+1}}{1-p_c} \right) A \quad (28)$$

ซึ่งค่าของ A สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (30) โดยใช้เงื่อนไขสัจพจน์ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่แยกจากกันโดยเด็ดขาด แล้วจะได้ว่าผลรวมของความน่าจะเป็นของสถานะทั้งหมดมีค่าเป็น 1 ดังสมการที่ (29) ซึ่งสามารถดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ก

$$\sum_{j=0}^{W_0-1} B_{0,j} + \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} b_{i,k} = 1 \quad (29)$$

ดังนั้น

$$A = \left(p_m \frac{W+1}{2} + p_u \left\{ \begin{array}{ll} \frac{(1-p_c)W \sum_{i=0}^m (2p_c)^i + (1-p_c^{m+1})}{2(1-p_c)}, & m \leq m' \\ \frac{(1-p_c)W \sum_{i=0}^{m'} (2p_c)^i + 2^{m'} W p_c^{m'+1} (1-p_c^{m-m'}) + (1-p_c^{m+1})}{2(1-p_c)}, & m > m' \end{array} \right\} \right)^{-1} \quad (30)$$

สำหรับโมบายโฮสต์การคำนวณต่างๆ จากงานวิจัยนี้พบว่าเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็น $p_m = 0$ จะได้ค่าเช่นเดียวกับตัวแบบมคอฟที่ได้จากงานวิจัยของ Wu (2001) คือ

$$\tau = \sum_{i=0}^m b_{i,0} = \frac{1-p^{m+1}}{1-p} b_{0,0} \quad (31)$$

โดยที่

$$b_{0,0} = \begin{cases} \frac{2(1-2p)(1-p)}{W(1-(2p)^{m+1})(1-p) + (1-2p)(1-p^{m+1})}, & m \leq m' \\ \frac{2(1-2p)(1-p)}{W(1-(2p)^{m'+1})(1-p) + (1-2p)(1-p^{m+1}) + W 2^{m'} p^{m'+1}(1-2p)(1-p^{m-m'})}, & m > m' \end{cases} \quad (32)$$

ในสถานะที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัว จะได้ว่าความน่าจะเป็นที่แอกเซสพอยต์และโมบายโฮสต์จะได้ส่งข้อมูลมีค่าเท่ากับ χ และ τ ตามลำดับ ดังนั้นความน่าจะเป็นที่สถานีใดๆ ส่งข้อมูลแล้วเกิดการชนกันของข้อมูลขึ้น ณ ช่วงเวลาที่ได้ส่งข้อมูลนั้นๆ จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีสถานีอื่นๆ ใน BSS มีการส่งข้อมูลอย่างน้อย 1 สถานี จากจำนวนสถานีทั้งหมด n สถานี นั่นคือเราสามารถคำนวณค่าความน่าจะเป็นของการเกิดการชนกันของข้อมูลกรณีที่สถานีแอกเซสพอยต์เป็นผู้ส่งด้วยความน่าจะเป็นเท่ากับ p_c ดังแสดงในสมการที่ (33) แต่ถ้ากรณีที่สถานีที่เป็นผู้ส่งคือโมบายโฮสต์ ค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดการชนกันของข้อมูล แทนด้วย p และสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (34)

$$p_c = 1 - (1 - \tau)^{n-1} \quad (33)$$

$$p = 1 - [(1 - \chi)(1 - \tau)^{n-2}] \quad (34)$$

สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าทั้ง 4 ตัวนั้น เราสามารถหาได้จากสมการ (28), (31), (33) และ (34) โดยใช้วิธีการหาผลลัพธ์ทางตัวเลข (Numerical method)

การวิเคราะห์เวลาให้บริการเฉลี่ย (Average Service Time Analysis) เป็นการคำนวณเวลาเฉลี่ยที่สถานีแอกเซสพอยต์ใช้ในการส่งข้อมูลในแต่ละครั้ง โดยในที่นี้หมายถึงเวลาที่ข้อมูลพร้อมส่งในชั้นแม็คใช้ในการแย่งเข้าใช้สื่อเพื่อส่งข้อมูลจนถึงเวลาที่ส่งข้อมูลได้สำเร็จ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากผลคูณของความยาวของช่วงเวลาที่ใช้โดยเฉลี่ย กับจำนวนช่วงเวลาโดยเฉลี่ยสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (35)

$$\text{เวลาเฉลี่ยในการให้บริการ} = \text{ค่าเฉลี่ยความยาวของช่วงเวลา} \times \text{ค่าเฉลี่ยจำนวนช่วงเวลา} \quad (35)$$

สำหรับความยาวของช่วงเวลาที่ใช้โดยเฉลี่ยเป็นค่าที่พิจารณาจากเวลาที่สถานีแอคเซสพอยต์
ไม่ได้ส่งข้อมูล (Idle time) ด้วยความน่าจะเป็น $(1 - P_{busy})$ บวกกับเวลาที่รอสถานีอื่นส่งข้อมูล
(Defer access time) ด้วยความน่าจะเป็น $P_s P_{busy}$ และบวกกับเวลาที่ส่งข้อมูลได้สำเร็จ
(Transmission time) ได้สำเร็จด้วยความน่าจะเป็น $P_s P_{busy}$ หรือส่งข้อมูลได้ไม่สำเร็จด้วยความ
น่าจะเป็น $(1 - P_s) P_{busy}$ โดยที่ค่าความน่าจะเป็น P_{busy} และ P_s สามารถหาคำนวณค่าได้จากสมการ
ที่ (36) และ (37) ตามลำดับ

$$\begin{aligned} P_{busy} &= P [\text{มีสถานีที่ได้ส่งข้อมูลอย่างน้อย 1 สถานี}] \\ &= 1 - P [\text{ไม่มีสถานีใดได้ส่งข้อมูล}] \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$P_{busy} = 1 - [(1 - \chi)(1 - \tau)^{n-1}] \quad (36)$$

$$P_s = P [\text{มีสถานีที่ส่งข้อมูลเพียง 1 สถานี} \mid \text{มีสถานีที่ได้ส่งข้อมูลอย่างน้อย 1 สถานี}]$$

ดังนั้น

$$P_s = \frac{(1 - \chi)(n - 1)\tau(1 - \tau)^{n-2} + \chi(1 - \tau)^{n-1}}{1 - [(1 - \chi)(1 - \tau)^{n-1}]} \quad (37)$$

นั่นคือเราสามารถเขียนสรุปสมการในการคำนวณค่าความยาวของช่วงเวลาที่ใช้โดยเฉลี่ย
ได้ดังสมการที่ (38)

$$\begin{aligned} E [\text{ความยาวของช่วงเวลาที่ใช้}] &= E [\text{เวลาที่สถานีไม่ได้ส่งข้อมูล}] \\ &\quad + E [\text{เวลาที่รอสถานีอื่นส่งข้อมูล}] + E [\text{เวลาที่ส่งข้อมูลสำเร็จ}] \end{aligned} \quad (38)$$

โดยที่

$$E [\text{เวลาที่สถานีไม่ได้ส่งข้อมูล}] = (1 - P_{busy})\sigma \quad (39)$$

$$\begin{aligned} E [\text{เวลาที่รอสถานีอื่นส่งข้อมูล}] &= \text{เวลาเฉลี่ยที่โอมบายโฮสต์ใช้ส่งข้อมูลสำเร็จ} \\ &= (n - 1)P_s P_{busy} T_{su} \end{aligned} \quad (40)$$

กำหนดให้ BP เป็นช่วงเวลาที่รอส่งข้อมูล (Backoff period) ที่สุ่มได้ในการส่งแต่ละครั้ง และ B เป็นจำนวนครั้งที่ใช้ในการส่งข้อมูลจนกระทั่งสามารถส่งข้อมูลได้สำเร็จ นั่นคือตัวแปรสุ่ม BP มีการแจกแจงแบบยูนีฟอร์ม $(0, CW)$ และตัวแปรสุ่ม B มีการแจกแจงแบบจีโอเมตริก $(1 - p_c)$ ดังนั้นจำนวนช่วงเวลาโดยเฉลี่ยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (44)

$$E[\text{เวลาที่ส่งข้อมูลสำเร็จ}] = \text{เวลาที่ส่งข้อมูลได้สำเร็จ} (T_s) + \text{เวลาที่ส่งข้อมูลไม่สำเร็จ} (T_c)$$

โดยที่

$$T_s = (p_m T_{sm} + p_u T_{su}) P_s P_{busy} \quad (41)$$

$$\begin{aligned} T_c &= [p_m T_{cm} + E[B] p_u T_{cu}] (1 - P_s) P_{busy} \\ &= \left[p_m T_{cm} + \left(\frac{1}{1 - p_c} - 1 \right) p_u T_{cu} \right] (1 - P_s) P_{busy} \end{aligned} \quad (42)$$

เนื่องด้วยในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาการจัดการเข้าใช้สื่อด้วยวิธีพื้นฐาน ซึ่งเป็นมาตรฐานในการเข้าใช้สื่อของการสื่อสารข้อมูลแบบยูนีคาสต์ และมัลติคาสต์ นั่นคือเราจะได้สมการในการคำนวณเวลาต่างๆ ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} T_{su} &= DIFS + H + E[payload] / \text{dataRate} + \delta + SIFS + ACK + \delta \\ T_{sm} &= DIFS + H + E[payload] / \text{dataRate} + \delta \\ T_{cu} &= DIFS + H + E[payload] / \text{dataRate} + \delta + ACK_timeout \\ T_{cm} &= T_{sm} \end{aligned} \right\} \quad (43)$$

โดยที่ $H = PHY \text{ header} + MAC \text{ header}$

$E[payload]$ = ค่าเฉลี่ยของเฟรมข้อมูลที่ยาวที่สุด โดยในที่นี้ได้สมมติให้มีค่าเท่ากับค่าสูงสุดของเฟรมที่ระบบเครือข่ายรองรับได้

$$ACK_timeout = EIFS$$

$$\begin{aligned} E[\text{จำนวนช่วงเวลา}] &= p_m \frac{W_0 + 1}{2} + p_u \left(\sum_{i=0}^m E[BP_i] \cdot P[B = i] \right) \\ &= p_m \frac{W_0 + 1}{2} + p_u \left(\sum_{i=0}^m \frac{W_i + 1}{2} \cdot p_c^i (1 - p_c) \right) \end{aligned} \quad (44)$$

นั่นคือเราสามารถคำนวณหาค่าเฉลี่ยความยาวของช่วงเวลาที่ได้ได้โดยการแทนที่สมการ (39), (40), (41) และ (42) ในสมการที่ (38) และค่าเฉลี่ยเวลาการให้บริการของสถานีเอกเซพอยต์สามารถคำนวณได้จากผลคูณของสมการที่ (38) และ (44)

การคำนวณจำนวนมัลติคาสต์เซสชันที่ใช้จริงใน BSS เป็นการคำนวณหาจำนวนมัลติคาสต์เซสชันที่ใช้งานจริงโดยเฉลี่ย เนื่องจากอาจมีโมบายโฮสต์มากกว่าหนึ่งสถานีที่รับการถ่ายทอดสัญญาณสดจากสถานีเดียวกัน โดยในงานวิจัยนี้ได้สมมติให้การเข้ามาของโมบายโฮสต์ใน BSS มีการแจกแจงแบบพัวซองด้วยค่าเฉลี่ย λ และต้องการรับการถ่ายทอดสัญญาณสดแบบมัลติคาสต์ด้วยค่าความน่าจะเป็น p_m และแต่ละสมาชิกของมัลติคาสต์จะเลือกชมสถานีถ่ายทอดสัญญาณสดแต่ละสถานีด้วยความน่าจะเป็นที่เท่าๆ กัน ดังนั้นอัตราการเข้าของมัลติคาสต์เซสชัน และยูนิคาสต์เซสชัน ใน BSS มีค่าเป็น λp_m และ $\lambda(1 - p_m)$ ตามลำดับ โดยกำหนดให้จำนวนสถานีที่เป็นมัลติคาสต์ แทนด้วยพารามิเตอร์ M และพารามิเตอร์ U เป็นจำนวนสถานีที่เป็นยูนิคาสต์ และกำหนด N แทนจำนวนสถานีโมบายโฮสต์ทั้งหมดใน BSS นั่นคือเราสามารถคำนวณหาความคาดหวังของจำนวนสถานีที่เป็นมัลติคาสต์ โดยกำหนดว่าจำนวนสถานีที่เป็นมัลติคาสต์และยูนิคาสต์ มีค่าเท่ากับจำนวนสถานีโมบายโฮสต์ใน BSS ทั้งหมด ซึ่งนิยามได้ดังสมการที่ (45)

$$E[M \mid M + U = N] = \sum_k kP(M = k \mid M + U = N) \quad (45)$$

ซึ่งฟังก์ชันความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขในสมการที่ (45) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} P(M = k \mid M + U = N) &= \frac{P(M = k, M + U = N)}{P(M + U = N)} \\ &= \frac{P(M = k, U = N - k)}{P(M + U = N)} \\ &= \frac{P(M = k)P(U = N - k)}{P(M + U = N)} \end{aligned} \quad (46)$$

โดยสมการสุดท้ายในสมการที่ (46) สามารถคำนวณความน่าจะเป็นได้จากสมมติฐานความเป็นอิสระซึ่งกันและกันของจำนวนสถานีที่เป็นมัลติคาสต์ และยูนิคาสต์ นั่นคือเราจะได้ความน่าจะเป็นของผลรวมของตัวแปรสุ่มที่เป็นอิสระกัน ดังแสดงในสมการที่ (47)

$$\begin{aligned}
 P(M + U = N) &= \sum_{k=0}^N P(M = k, U = N - k) \\
 &= \frac{e^{-(\lambda p_m + \lambda p_u)}}{N!} (\lambda p_m + \lambda p_u)^N
 \end{aligned} \tag{47}$$

ดังนั้นการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในสมการที่ (46) สามารถหาค่าได้โดยการแทนค่าความน่าจะเป็นต่างๆ ดังแสดงในสมการที่ (48)

$$\begin{aligned}
 P(M = k | M + U = N) &= \frac{e^{-\lambda p_m} (\lambda p_m)^k}{k!} \frac{e^{-\lambda p_u} (\lambda p_u)^{N-k}}{N-k!} \left[\frac{e^{-(\lambda p_m + \lambda p_u)} (\lambda p_m + \lambda p_u)^N}{N!} \right]^{-1} \\
 &= \binom{N}{k} \left(\frac{\lambda p_m}{\lambda p_m + \lambda p_u} \right)^k \left(\frac{\lambda p_u}{\lambda p_m + \lambda p_u} \right)^{N-k}
 \end{aligned} \tag{48}$$

จากผลลัพธ์ที่ได้ในสมการที่ (48) เราจะพบว่าความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของจำนวนสถานีที่เป็นมัลติคาสต์ มีการแจกแจงแบบไบนอมียล ที่มีพารามิเตอร์ N และ $\lambda p_m / (\lambda p_m + \lambda p_u)$ ดังนั้นเราสามารถคำนวณหาค่าความคาดหวังแบบมีเงื่อนไขของจำนวนสถานีที่เป็นมัลติคาสต์ที่ได้นิยามไว้ในสมการที่ (45) นั่นคือ

$$E[M | M + U = N] = N \frac{\lambda p_m}{\lambda p_m + \lambda p_u} = \lceil N p_m \rceil \tag{49}$$

กำหนดให้ตัวแปร X แทนจำนวนมัลติคาสต์ที่ใช้จริงใน BSS จากจำนวนสมาชิกมัลติคาสต์จำนวน M สถานี ดังนั้นตัวแปรสุ่ม X มีค่าที่เป็นไปได้ตั้งแต่ 1 ถึง M ซึ่งสามารถนิยามค่าความหวังได้ดังสมการที่ (50)

$$E[X_M] = \sum_x x P(X = x) \tag{50}$$

ในการคำนวณค่าเฉลี่ยแบบมีเงื่อนไขของจำนวนสถานีที่เป็นมัลติคาสต์ใน BSS ผู้วิจัยได้กำหนดให้จำนวนโมบายโฮสต์มีค่าคงที่ค่าหนึ่ง และค่าสัดส่วนของจำนวนสมาชิกมัลติคาสต์ใน 3 กรณี คือ ที่สัดส่วนของจำนวนสมาชิกมัลติคาสต์มีค่าน้อยๆ คือ $p_m = 20\%$ ค่าสัดส่วนที่เท่ากัน คือ $p_m = 50\%$ และค่าสัดส่วนที่มีค่ามากๆ คือ $p_m = 80\%$ โดยผลการคำนวณค่าเฉลี่ยดังกล่าวในกรณีต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จำนวนสมาชิกมัลติคาสต์ใน BSS โดยเฉลี่ย

N	p_m	M	N	p_m	M
5	0.2	1	10	0.2	2
	0.5	3		0.5	5
	0.8	4		0.8	8
15	0.2	3	20	0.2	4
	0.5	8		0.5	10
	0.8	12		0.8	16
25	0.2	5	30	0.2	6
	0.5	13		0.5	15
	0.8	20		0.8	24

ตัวอย่างการคำนวณค่าเฉลี่ยของจำนวนมัลติคาสต์เซสชันที่ใช้จริง ($E[X_M]$) ใน BSS กรณีที่มีจำนวนสมาชิกมัลติคาสต์ (M) 2 สถานี แทนด้วย M_1 และ M_2 ดังนั้นจำนวนมัลติคาสต์เซสชันที่เป็นไปได้สูงสุดมีค่าเท่ากับสองเซสชัน โดยแทนแต่ละเซสชันด้วย C_1 และ C_2 นั่นคือเหตุการณ์ที่แต่ละสถานีจะเลือกชมการถ่ายทอดสัญญาณสดแต่ละมัลติคาสต์เซสชัน มีจำนวนทั้งหมด 4 เหตุการณ์ ประกอบเหตุการณ์ที่ทั้งสองสมาชิกมัลติคาสต์เลือกชมมัลติคาสต์เซสชันจากสถานีถ่ายทอดสัญญาณสดสถานีเดียวกัน อาจจะเป็นมัลติคาสต์เซสชันจากสถานีที่ 1 ($M_1M_2, 0$) หรือสถานีที่ 2 ($0, M_1M_2$) หรือทั้งสองสมาชิกมัลติคาสต์เลือกชมต่างมัลติคาสต์เซสชัน คือ (M_1, M_2) หรือ (M_2, M_1) โดยโอกาสที่จะเกิดแต่ละเหตุการณ์มีค่าความเป็นไปได้เท่าๆ กัน คือ $1/4$ ดังได้แสดงการแจกแจงในตารางที่ 3

ดังนั้นตัวแปรสุ่ม X_M จะมีค่าที่เป็นไปได้สองค่า ได้แก่ หนึ่งมัลติคาสต์เซสชัน คือ $\{X_2 = 1\} = \{(M_1M_2, 0), (0, M_1M_2)\}$ และสองมัลติคาสต์เซสชัน คือ $\{X_2 = 2\} = \{(M_1, M_2), (M_2, M_1)\}$

ตารางที่ 3 การแจกแจงสมาชิกมัลติคาสต์ในแต่ละมัลติคาสต์เซสชัน

มัลติคาสต์เซสชัน C_1	มัลติคาสต์เซสชัน C_2
M_1M_2	0
M_1	M_2
M_2	M_1
0	M_1M_2

เนื่องจากแต่ละเหตุการณ์ในตารางที่ 3 มีค่าความน่าจะเป็นเท่ากัน คือ $1/4$ ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นเหตุการณ์ที่จะมีจำนวนมัลติคาสต์เซสชัน ที่เป็นไปได้ 2 เหตุการณ์ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$P\{X_2 = 1\} = P\{(M_1 M_2, 0), (0, M_1 M_2)\} = 1/2 \quad (51)$$

$$P\{X_2 = 2\} = P\{(M_1, M_2), (M_2, M_1)\} = 1/2 \quad (52)$$

นั่นคือเราสามารถแสดงฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของทั้งสองเหตุการณ์ดังกล่าวได้ดังสมการที่ (53)

$$p_{X_2}(x) = \begin{cases} 1/2, & x = 1 \\ 1/2, & x = 2 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (53)$$

ดังนั้นค่าเฉลี่ยของจำนวนมัลติคาสต์เซสชัน ในกรณีที่มีจำนวนสมาชิกมัลติคาสต์เท่ากับสองสถานีมีค่าเท่ากับ $3/2$ เซสชัน

$$E[X_2] = 1 \cdot p_{X_2}(1) + 2 \cdot p_{X_2}(2) = \frac{3}{2} \quad (54)$$

และสำหรับค่าเฉลี่ยของจำนวนมัลติคาสต์เซสชันในกรณีที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนสมาชิกมัลติคาสต์ค่าต่างๆ ตามตารางที่ 2 ผู้วิจัยใช้โปรแกรมภาษาจาวา โดยมีรายละเอียดในภาคผนวก ข เป็นเครื่องมือช่วยคำนวณหาการแจกแจงมัลติคาสต์เซสชัน และได้สรุปผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 จำนวนมัลติคาสต์เซสชันที่ใช้จริงใน BSS โดยเฉลี่ย

M	$E[X_M]$	M	$E[X_M]$	M	$E[X_M]$	M	$E[X_M]$
1	1	2	1.5	3	2.11	4	2.73
5	3.36	6	3.99	8	5.25	10	6.51
12	7.78	13	8.41	15	9.67	16	10.3
20	12.83	24	15.33				

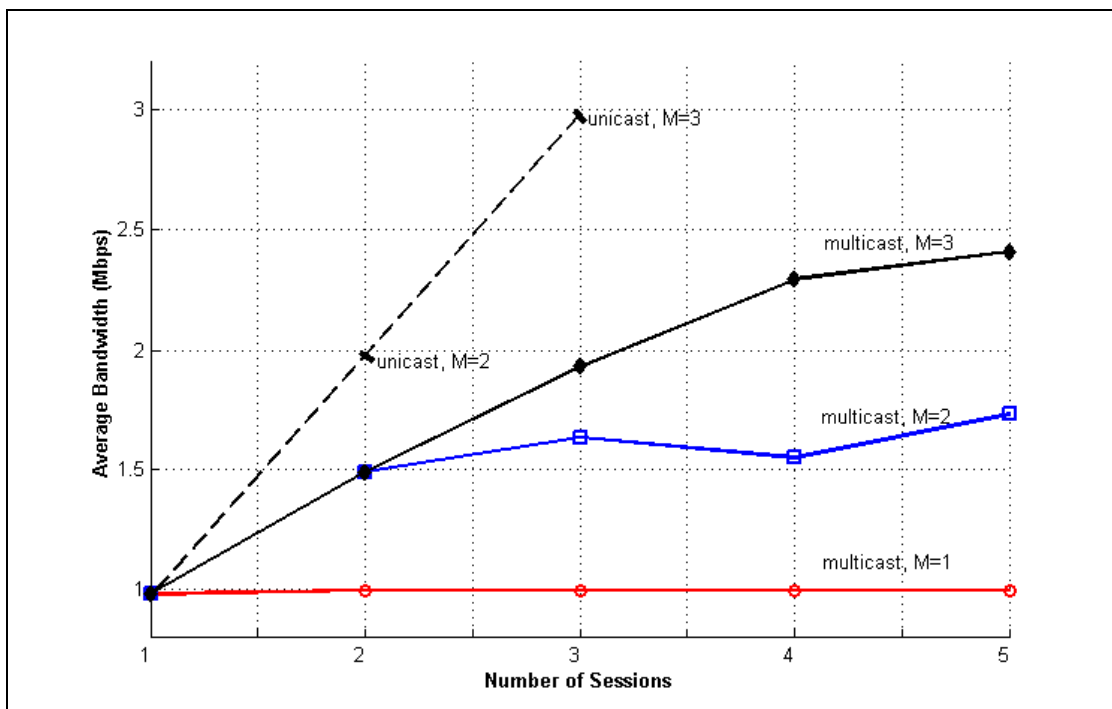
ผลและวิจารณ์

ผล

การวิเคราะห์ขั้นต้น (Preliminary analysis)

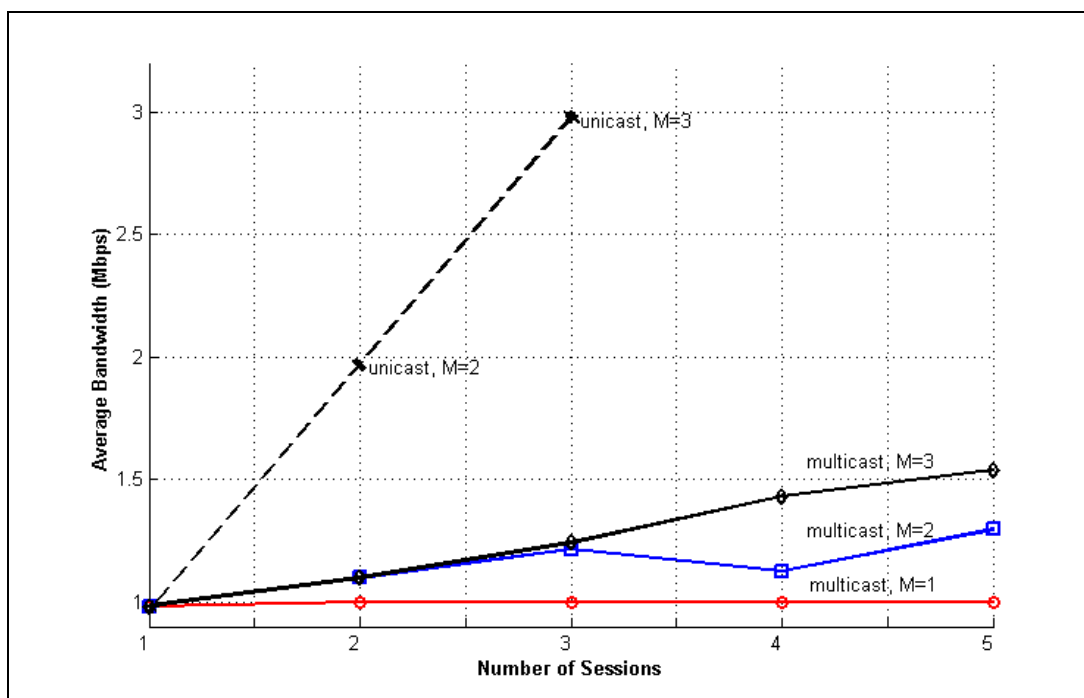
ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการสื่อสารแบบยูนิคาสต์กับมัลติคาสต์ โดยการคำนวณเชิงตัวเลข ซึ่งมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์อัตราการออกจากระบบ (μ) มีค่าเป็น 1/30 นาฬิกานั้นคือโดยเฉลี่ยแล้วแต่ละเซสชันจะใช้เวลารับบริการในระบบประมาณ 30 นาฬิก อัตราการเข้ามาในระบบ (λ) มีค่าเป็น 2 เซสชันต่อนาที และแบนด์วิดท์ที่ใช้ต่อสตรีมเท่ากับ 1 เมกะบิตต่อวินาที

ค่าเฉลี่ยจำนวนแบนด์วิดท์ที่ใช้ต่อเซสชัน (The Average Bandwidth per Session)

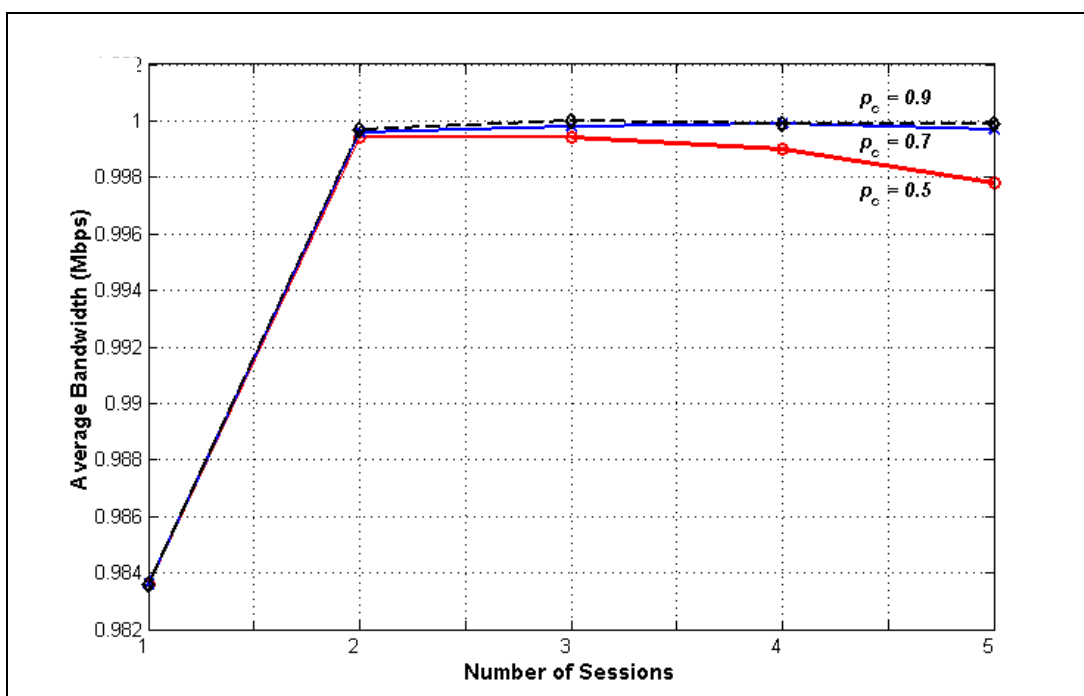


(ก) $p_c = 0.5$

ภาพที่ 41 ค่าเฉลี่ยแบนด์วิดท์กับจำนวนเซสชัน

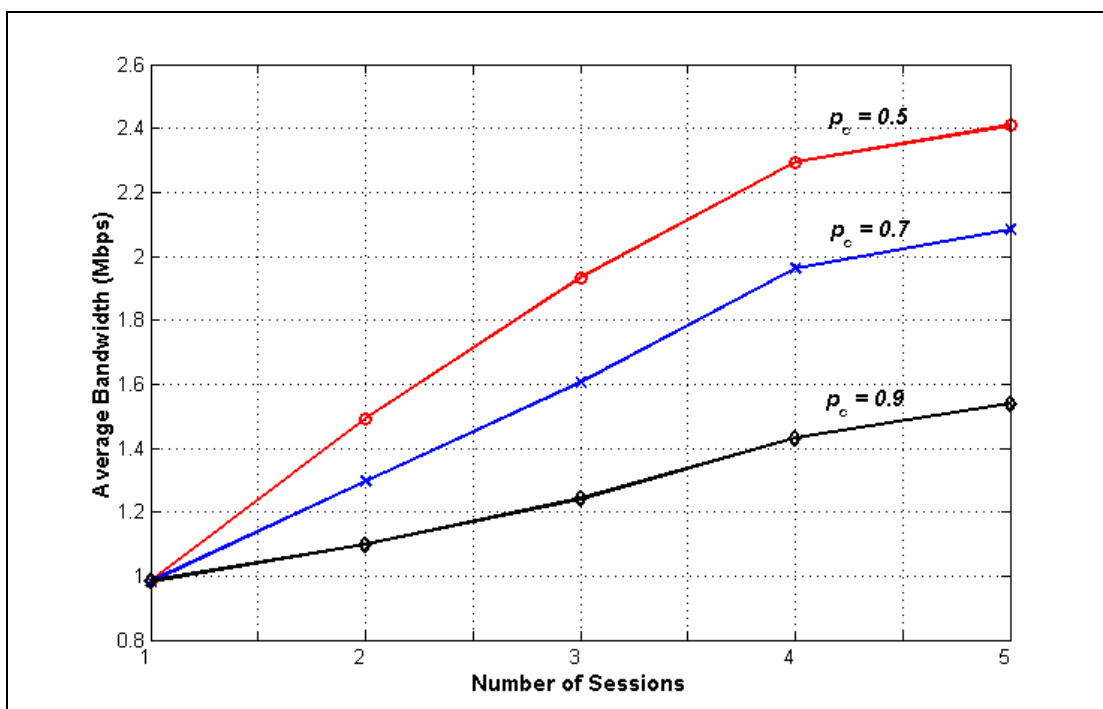


(จ) $p_c = 0.9$



(ค) $M = 1$

ภาพที่ 41 (ต่อ)



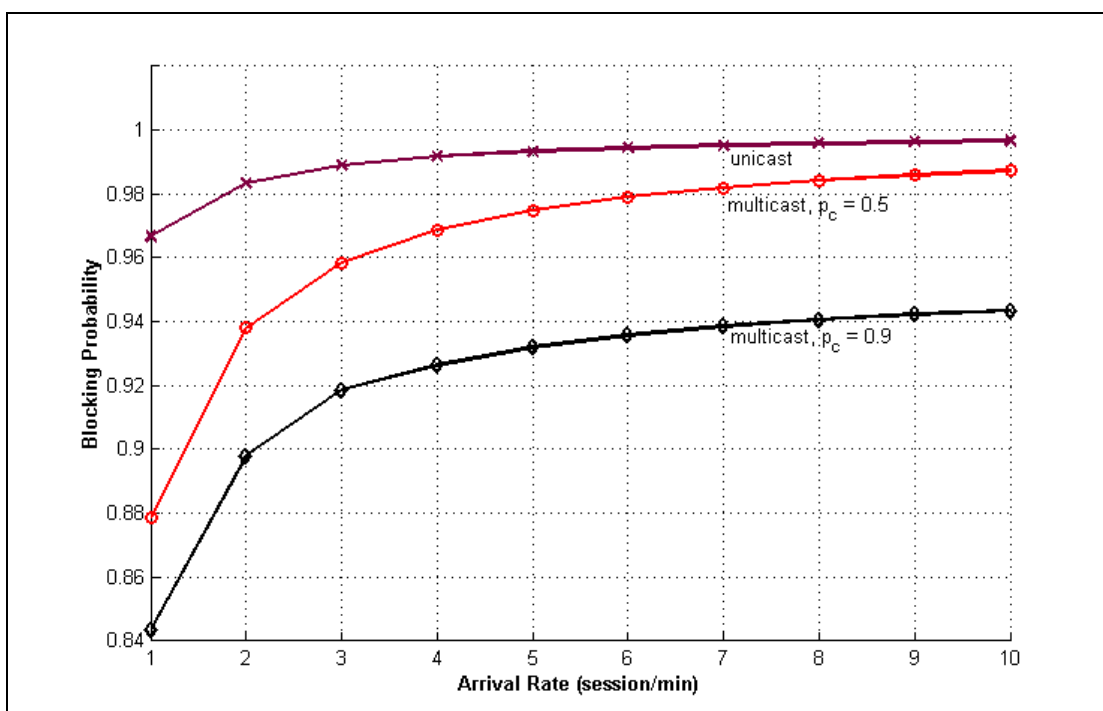
(ง) $M = 3$

ภาพที่ 41 (ต่อ)

จากภาพที่ 41 แสดงผลที่ได้จากการคำนวณเชิงตัวเลขของปริมาณแบนด์วิดท์ที่ใช้ต่อจำนวนเซสชันโดยเฉลี่ย ถ้าเป็นการสื่อสารแบบยูนิคาสต์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนเซสชันที่เพิ่มขึ้น เช่นมีจำนวนเซสชันการสื่อสารแบบยูนิคาสต์ 2 เซสชัน จะใช้แบนด์วิดท์โดยเฉลี่ยเท่ากับ 2 เมกะบิตต่อวินาที แต่ถ้าเป็นการสื่อสารแบบมัลติคาสต์พบว่าค่าเพิ่มขึ้นของค่าแบนด์วิดท์ที่ใช้โดยเฉลี่ยจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนความน่าจะเป็นที่การเพิ่มขึ้นของเซสชันนั้นๆ เป็นเซสชันที่ต้องการรับข้อมูลสตรีมมิ่งมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดสตรีมที่มีการรับชมอยู่ก่อนแล้ว (ด้วยค่าความน่าจะเป็น p_c) หรือเป็นการร้องขอสตรีมใหม่ ในกรณีที่ $p_c = 0.5$ และจำนวนสตรีม (M) = 1 สตรีม ดังภาพที่ 41(ก) แบนด์วิดท์ที่ใช้โดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1 เมกะบิตต่อวินาที ซึ่งจะไม่มีการเพิ่มขึ้นตามจำนวนเซสชันที่เพิ่มขึ้น ในกรณีที่เพิ่มจำนวนสตรีมเป็น 2 และ 3 สตรีม จะพบว่าจำนวนแบนด์วิดท์ที่ใช้โดยเฉลี่ยยังคงมีค่าน้อยกว่าการสื่อสารแบบยูนิคาสต์ที่มีการเพิ่มจำนวนสตรีม และการใช้แบนด์วิดท์โดยเฉลี่ยของการสื่อสารแบบมัลติคาสต์จะมีค่าน้อยกว่าแบบยูนิคาสต์อย่างมีนัยสำคัญถ้าสัดส่วนความน่าจะเป็นการเพิ่มขึ้นของจำนวนเซสชันเป็นเซสชันที่ต้องการรับข้อมูลสตรีมเดียวกันมีค่าสูงๆ คือ $p_c = 0.9$ ดังภาพที่ 41(ข)

ในกรณีที่มีการจำกัดจำนวนสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสด (M) ที่ 1 และ 3 สตรีมมิง ดังภาพที่ 41(ค) และ (ง) ตามลำดับ จะพบว่าถ้าโอกาสที่สถานีโมบายโฮสต์ในระบบต้องการรับข้อมูลสตรีมเดียวกันยังมีค่ามากๆ จะทำให้แบนด์วิดท์ที่ใช้โดยเฉลี่ยต่อเซสชันมีค่าน้อย

ค่าความน่าจะเป็นของการเข้าใช้งานในระบบไม่ได้ (The Blocking Probability)



ภาพที่ 42 ความน่าจะเป็นที่ไม่สามารถเข้าใช้งานในระบบ ที่ $M=2, N=30, \mu=1/30$

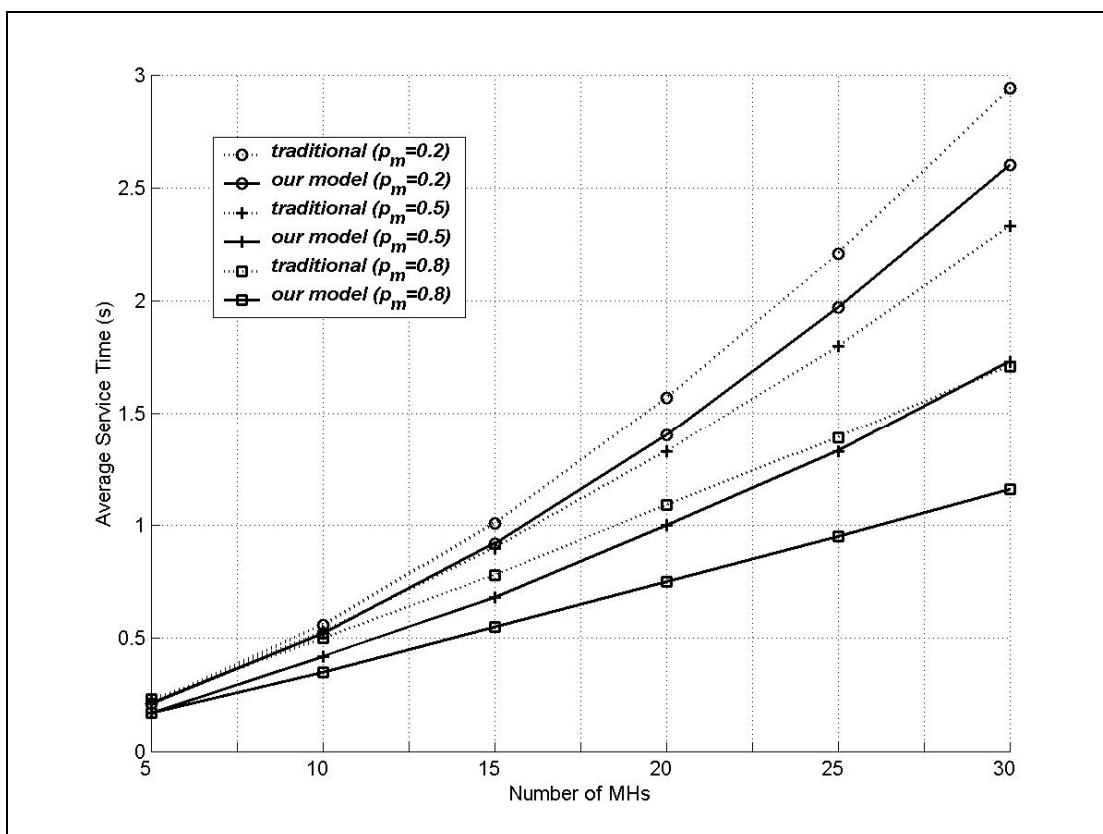
ในการสื่อสารแบบยูนิคาสต์พบว่าการเพิ่มขึ้นของจำนวนเซสชันที่มีการจำกัดจำนวนสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดเพียงแค่ 2 สตรีมมิงนั้น แสดงว่าระบบสามารถรองรับจำนวนเซสชันได้เพียง 2 เซสชันเท่านั้น ทำให้จำนวนเซสชันที่เข้ามาใหม่ในระบบถูกจำกัดการเข้าใช้งาน แต่สำหรับการสื่อสารแบบมัลติคาสต์ที่จำนวนสตรีมมิงมีเดียที่เท่ากัน สามารถรองรับจำนวนสถานีโมบายโฮสต์ที่เพิ่มขึ้น ทรายใดที่สถานีที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นสถานีที่ต้องการรับข้อมูลสตรีมมิงมีเดียเดียวกัน จนกว่าจะถึงขีดจำกัดของจำนวนสถานีโมบายโฮสต์ที่ระบบสามารถรองรับได้ ดังนั้นโอกาสที่สถานีโมบายโฮสต์จะถูกจำกัดการเข้าใช้งานมีค่าน้อยกว่าการสื่อสารแบบยูนิคาสต์ โดยเฉพาะในกรณีที่ค่าความน่าจะเป็น p_c มีค่ามากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 42

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ (Performance analysis)

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครือข่ายแลนไร้สายแบบโครงสร้างพื้นฐานโดยวัดจากเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการบริการของสถานีเอกเซสพอยต์ในการบริการข้อมูลแบบยูนิคาสต์และมัลติคาสต์ ที่มีการใช้งานตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และ IEEE 802.11g

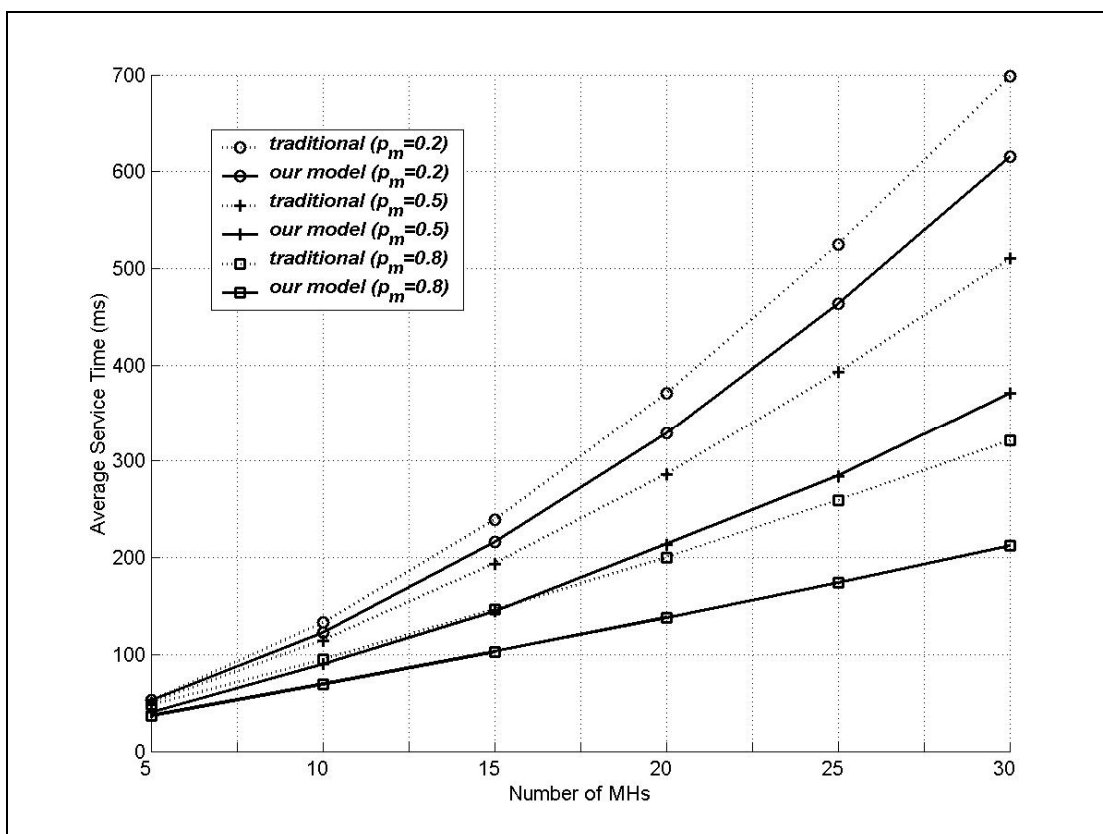
ตารางที่ 5 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ

Parameters	802.11b (DSSS)	802.11g (ERP-OFDM)
$CW_{\min}$	31	16
$CW_{\max}$	1023	1023
Slot time (σ)	20 μ s	9 μ s
SIFS	10 μ s	10 μ s
DIFS	50 μ s	28 μ s
Propagation time (δ)	1 μ s	1 μ s
Short retry limit (m)	7	7
Data Rate	2 Mbps	6 Mbps
PHY Header	192 μ s	20 μ s
MAC Header	28 octets	28 octets
Payload	1500 octets	1500 octets
ACK frame	304 μ s	44 μ s



ภาพที่ 43 ค่าเฉลี่ยเวลาการบริการของสถานีแอ็กเซสพอยต์ ใน IEEE 802.11b

ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการบริการของสถานีแอ็กเซสพอยต์ที่มีการใช้งานตามมาตรฐาน IEEE 802.11b แสดงดังภาพที่ 43 พบว่าเวลาเฉลี่ยที่ได้จากสมการในตัวแบบเดิม (Traditional model) ซึ่งใช้ค่าจำนวนสถานีในเครือข่ายแลนไร้สาย (n) โดยไม่ได้สนใจว่าจะมีจำนวนเซสชันที่ใช้งานจริงเท่าไร จะได้ค่าเวลาที่ใช้โดยเฉลี่ยมากกว่าค่าที่ได้จากตัวแบบของงานวิจัยนี้ (Our model) ซึ่งค่า n ที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยของจำนวนเซสชันที่มีการใช้งานจริงในเครือข่าย เพราะในการสื่อสารแบบมัลติคาสต์อาจมีบางสถานีโมบายโฮสต์รับข้อมูลสตรีมมิงมีเดียจากสถานบริการเดียวกัน และค่าดังกล่าวจะมีความแตกต่างมากขึ้นตามสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของจำนวนสถานีโมบายโฮสต์ที่เป็นมัลติคาสต์ (p_m) และสำหรับผลการสนับสนุนคุณภาพการบริการสตรีมมิงมีเดียโดยจะวิเคราะห์ผลจากตัวแบบที่ได้จากงานวิจัยนี้ นั่นคือสามารถสนับสนุนได้ที่อัตราบิตต่อเวลา 56 กิโลบิตต่อวินาที ในกรณีที่จำนวนสถานีในเครือข่ายแลนไร้สายน้อยกว่า 5 สถานี แต่ถ้าสัดส่วนของสถานีโมบายโฮสต์ที่เป็นมัลติคาสต์มีค่าตั้งแต่ 50 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนสถานีในเครือข่ายแลนไร้สาย จะสามารถสนับสนุนคุณภาพการให้บริการได้ไม่เกิน 5 สถานี



ภาพที่ 44 ค่าเฉลี่ยเวลาการบริการของสถานีแอ็กเซสพอยต์ ใน IEEE 802.11g

ค่าความแตกต่างของเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการบริการของสถานีแอ็กเซสพอยต์ใน IEEE 802.11g ดังภาพที่ 44 พบว่ามีรูปแบบการเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับที่มีการใช้งานตามมาตรฐาน IEEE 802.11b แต่ต่างกันตรงเวลาที่ใช้โดยเฉลี่ยจะน้อยกว่า เนื่องจากอัตราการติดต่อวินาทีที่มีค่าสูงกว่า ซึ่งผลการวิเคราะห์จากตัวแบบที่ได้จากงานวิจัยนี้พบว่า การสนับสนุนคุณภาพการบริการสตรีมมิงมีเดียสามารถสนับสนุนที่อัตราติดต่อเวลาสูงสุดถึง 128 กิโลบิตต่อวินาที และสามารถรองรับจำนวนสถานีในเครือข่ายแลนไร้สายได้มากที่สุดถึง 15 สถานี ที่ค่าสัดส่วนของสถานีโมบายโฮสต์ที่เป็นมัลติคาสต์มีค่าเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนสถานีในเครือข่ายแลนไร้สาย แต่ถ้าค่าสัดส่วนลดลงเป็น 50 เปอร์เซ็นต์จะสามารถรองรับได้ไม่เกิน 10 สถานี

วิจารณ์

จากผลการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่าโอกาสที่สถานีโมบายโฮสต์ในระบบต้องการรับข้อมูลสตรีมเดียวกันยังมีค่ามากๆ จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แบนด์วิดท์ ดังนั้นพฤติกรรมการใช้งานของสถานีโมบายโฮสต์ในแต่ละพื้นที่การให้บริการหรือบีบีเอส มีผลต่อประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเนื่องถ้าในระบบเครือข่ายแลนไร้สายนี้มีการติดตั้งใช้งานภายใต้การทำงานของสถานีบริการที่เอ็มซีพีที่จะให้บริการการสื่อสารข้อมูลสตรีมมิงมีเดียแบบมัลติคาสต์จะทำให้สามารถรองรับจำนวนสถานีที่ใช้งานในเครือข่ายแลนไร้สายได้เพิ่มมากขึ้นจากการที่ใช้เฉพาะการสื่อสารแบบยูนิคาสต์ และสามารถให้บริการข้อมูลสตรีมมิงมีเดียในที่คุณภาพที่ดีขึ้น (คือที่อัตราบิตสูงๆ)

สำหรับผลการคำนวณค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการให้บริการของสถานีเอกเซสพอยต์ที่ได้จากวิเคราะห์ด้วยแบบของงานวิจัยนี้จะ ได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องมากกว่าในงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ในเครือข่ายมีการสื่อสารจากหนึ่งผู้ส่ง ไปยังผู้รับมากกว่าหนึ่งคน เนื่องจากในงานวิจัยดังกล่าวจะใช้ค่าจำนวนสถานีในเครือข่ายแลนไร้สาย (n) โดยไม่ได้สนใจว่าจะมีจำนวนเซสชันที่ใช้งานจริงเท่าไร โดยในงานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการคำนวณหาจำนวนสถานีที่เป็นมัลติคาสต์ และคำนวณหาค่าเฉลี่ยของจำนวนเซสชันที่มีการใช้งานจริงในเครือข่ายแลนไร้สาย ซึ่งหมายถึงจำนวนเซสชันที่แย่งใช้สื่อไร้สาย

ประโยชน์ที่ได้จากผลการวิจัยคือแนวทางการออกแบบขอบเขตงานวิธีการสื่อสารที่เอ็มซีพีที่จะทำให้ระบบเครือข่ายแลนไร้สายสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานได้เพิ่มมากขึ้น และสามารถเพิ่มคุณภาพการบริการข้อมูลสตรีมมิงมีเดีย ทำให้ผู้ใช้งานพึงพอใจมากขึ้น รวมถึงได้ตัวแบบเพื่อใช้ประเมินประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายแลนไร้สายที่มีการสื่อสารแบบมัลติคาสต์และยูนิคาสต์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากผลและการวิจารณ์ที่ได้ศึกษาจากงานวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

การเปรียบเทียบเชิงปริมาณระหว่างการสื่อสารแบบยูนิคาสต์และมัลติคาสต์ จากกรณีศึกษา กับข้อมูลสื่อหลายแบบประเภทสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสด สามารถจำลองด้วยแบบ มาคอฟสุ่มตามเวลา (Stochastic markov model) แบบ 2 มิติ ประกอบด้วยตัวแปรสถานะ 2 ตัวแปร คือ จำนวนสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสด และจำนวนเซสชันที่ร้องขอข้อมูลสตรีมมิงมีเดีย การถ่ายทอดสัญญาณสด โดยมีดัชนีชี้วัดคือแบนด์วิดท์ที่ใช้โดยเฉลี่ยต่อเซสชัน และความน่าจะเป็น ที่จะถูกปฏิเสธการร้องขอรับข้อมูลสตรีมมิงมีเดีย ผลที่ได้คือการเพิ่มขึ้นของแบนด์วิดท์ที่ใช้เป็น สัดส่วนโดยตรงกับการเพิ่มขึ้นของจำนวนเซสชัน แต่ความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการร้องขอจะ มีโอกาสมากขึ้นถ้าจำนวนแบนด์วิดท์ที่ระบบสามารถรองรับมีค่าน้อยๆ และจะมีค่าเป็น 100 เปอร์เซนต์ทันทีที่แบนด์วิดท์ที่ใช้ถึงขอบเขตที่สามารถให้บริการได้ แต่สำหรับการสื่อสารแบบ มัลติคาสต์แล้วอัตราการเพิ่มขึ้นของแบนด์วิดท์ที่ใช้ และความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการร้อง ขอจะขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นขอเซสชันที่ร้องขอข้อมูลสตรีมมิงการถ่ายทอดสัญญาณสดสตรีม เดียวกันกับสตรีมก่อนหน้านี้หรือไม่ ทำให้การเพิ่มขึ้นของแบนด์วิดท์ที่ใช้จะไม่เป็นสัดส่วนโดยตรง กับจำนวนสถานีโมบายโฮสต์ที่เพิ่มขึ้น และจะสามารถรองรับได้เพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงขอบเขต จำนวนสถานีที่ในเครือข่ายแลนไร้สายสามารถรองรับได้ และทราบได้ที่สถานีที่ร้องขอเซสชันใหม่ เป็นการร้องขอสตรีมเดียวกับสตรีมก่อนหน้านี้ ก็จะไม่ถูกปฏิเสธการร้องขอทราบจนถึงขอบเขต จำนวนสถานีที่ในเครือข่ายแลนไร้สายสามารถรองรับได้เช่นกัน

แนวความคิดการออกแบบขอบข่ายงานวิธีการสื่อสารแบบทีเอ็มซีพี (Transparent Multicast Protocol: TMCP) ในการให้บริการข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดแบบ มัลติคาสต์แก่สถานีโมบายโฮสต์ในเครือข่ายแลนไร้สายที่มีการร้องขอข้อมูลแบบยูนิคาสต์ ผลที่ได้ จากการออกแบบขอบข่ายงาน คือแนวคิดวิธีการสื่อสารที่สามารถให้สถานีโมบายโฮสต์สามารถรับ ข้อมูลแบบมัลติคาสต์ได้โดยไม่ต้องมีการปรับปรุงแก้ไขส่วนหนึ่งส่วนใดไม่ว่าจะเป็นทางด้าน ฮาร์ดแวร์หรือซอฟต์แวร์ อีกทั้งสามารถรองรับจำนวนสถานีโมบายโฮสต์ที่ใช้งานในเครือข่ายแลน ไร้สายได้เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการบริการตามปกติที่เป็นยูนิคาสต์ทุกเซสชัน

การวัดประสิทธิภาพของเครือข่ายแลนไร้สายสำหรับการสื่อสารในเครือข่ายแลนไร้สายที่มีการสื่อสารแบบยูนิคาสต์และมัลติคาสต์ ซึ่งใช้งานภายใต้ระบบเครือข่ายที่มีการติดตั้งการใช้งานที่เอ็มซีพี ที่ให้บริการข้อมูลสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสดแบบมัลติคาสต์ โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือการวัดประสิทธิภาพด้านการให้บริการของสถานีแอ็กเซสพอยต์ พบว่าถ้าเป็นการใช้งานเครือข่ายแลนไร้สายที่มีสถานีโมบายโฮสต์ใช้งานการสื่อสารข้อมูลตามมาตรฐาน IEEE 802.11b จะสามารถรองรับข้อมูลสตรีมมิงมีเดียที่อัตราบิต 56 กิโลบิตต่อวินาที สำหรับโมบายโฮสต์ต่อหนึ่งขอบเขตการให้บริการหรือบีบีเอสที่สูงสุด 5 สถานี ที่สัดส่วนของสถานีโมบายโฮสต์ที่เป็นมัลติคาสต์มีค่าตั้งแต่ 50 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนสถานีในเครือข่ายแลนไร้สาย แต่ถ้าทุกสถานีโมบายโฮสต์ใช้งานตามมาตรฐาน IEEE 802.11g ซึ่งมีอัตราการส่งข้อมูลพื้นฐานในเครือข่ายสูงกว่า IEEE 802.11b ทำให้สามารถรองรับข้อมูลสตรีมมิงมีเดียในอัตราบิตที่สูงขึ้นคือ 128 กิโลบิตต่อวินาที สำหรับโมบายโฮสต์ต่อบีบีเอสที่มีจำนวนสูงกว่าคือ 15 สถานี ที่ค่าสัดส่วนของสถานีโมบายโฮสต์ที่เป็นมัลติคาสต์มีค่าเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนสถานีในเครือข่ายแลนไร้สาย

แม้ว่าในภาพรวมของแนวความคิดการออกแบบขอบข่ายงานวิธีการสื่อสารแบบที่เอ็มซีพี เพื่อให้โมบายโฮสต์ในเครือข่ายแลนไร้สายที่ต้องการรับข้อมูลสตรีมมิงมีเดียจากสถานีบริการสื่อสารหลายแบบในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วยวิธีการสื่อสารแบบยูนิคาสต์สามารถรับข้อมูลการถ่ายทอดสัญญาณสดแบบมัลติคาสต์ได้ ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานเครือข่ายแลนไร้สาย ทำให้สามารถสนับสนุนคุณภาพการให้บริการสื่อสารหลายแบบประเภทสตรีมมิงมีเดียการถ่ายทอดสัญญาณสด (Live Streaming Media) แต่เนื่องจากในทางปฏิบัติที่จะติดตั้งการใช้งานจริงของสถานีบริการที่เอ็มซีพีได้ ยังคงมีความยุ่งยากของการพัฒนาโปรแกรมการใช้งานในระดับเคอร์เนลของระบบปฏิบัติการลินุกซ์ รวมถึงความซับซ้อนของการควบคุมการทำงานในการบริการเซชันที่ติดต่อไปยังสถานีบริการสตรีมมิงมีเดียในเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทำให้งานวิจัยนี้มีจุดอ่อนในประเด็นด้านการติดตั้งใช้งานจริง

ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้ได้ประโยชน์ในการนำงานวิจัยนี้ไปปรับใช้ ดังนั้นในการวิจัยขั้นต่อไปควรพัฒนากรอบแนวความคิดการขยายงานวิธีการสื่อสารแบบทีเอ็มซีพีที่สามารถนำไปใช้ได้ในระบบจริง และเพิ่มส่วนการควบคุมการจำกัดจำนวนสตรีมมิงมีเดียที่สามารถให้บริการในปริมาณที่สามารถรับประกันคุณภาพการให้บริการ ซึ่งจะส่งผลให้ระบบสามารถสนับสนุนข้อมูลสตรีมมิงมีเดียในอัตราบิตของข้อมูลที่สูงขึ้น ทำให้แสดงผลได้ในคุณภาพที่ดีขึ้น และสามารถสนับสนุนความพึงพอใจของผู้ใช้งานในเครือข่ายแลนไร้สายมากขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

อนันต์ พลเพิ่ม, 2550. **แลนไร้สาย (Wireless LAN)**. ครั้งที่ 1. ซีเอ็ดดูเคชั่น, กรุงเทพฯ.

Aaltonen, J., J. Karvo and S. Aalto. 2002. Multicasting vs. Unicasting in Mobile Communication Systems, pp. 104-108. *In* **WoWMoM**.

Adams, A. and W. Siadak. 2005. Protocol Independent Multicast-Dense Mode (-DM): Protocol Specification. **RFC-3973**

Ballardie, A., 1997. Core Based Trees (CBT version 2) Multicast Routing. **RFC-2189**

Bao, C.-W and W. Liao. 2005. Performance Analysis of Reliable MAC-Layer Multicast for IEEE 802.11 Wireless LANs, pp. 1378-1382. *In* **IEEE International Conference on Communications**.

Bianchi, G. 2000. Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function. **IEEE Journal on Selected Areas in Communications** 2 (12): 318-320.

Casner, S. and S. Deering. 1992. First IETF internet audiocast, pp. 92-97. *In* **ACM SIGCOMM Computer Communication Review**.

Castro, M., P. Druschel, A.-M. Kermarrec and A. Rowstron. 2002. A large-scale and decentralized application-level multicast infrastructure. **IEEE Journal on Selected Areas in Communications** (20): 1489-1499.

Choi, S., Y. Choi and I. Lee. 2006. IEEE 802.11 MAC-Level FEC with Retransmission Combining. **IEEE Transaction on Wireless Communication** (5): 203-211.

- Chu, Y.-H, S. G. Rao and H. Zhang. 2000. A case for end system multicast, pp. 1-12. *In* **ACM SIGMETRICS international conference on Measurement and modeling of computer systems**.
- Chuang, J. and M. Sirbu. 2001. A Cost-Based Approach. **Telecommunication Systems** (17): 281-297.
- Deering, S., 1998. Multicast routing in internetworks and extended LANs, pp. 55-64. *In* **ACM SIGCOMM Computer Communication Review**.
- Deering, S. 1989. Host Extensions for IP Multicasting. **RFC-1112**
- Deering, S. and C. David. 1990. Multicast Routing in Datagram Networks and Extended LANs. **ACM Transaction on Computer Systems** (18): 85-110.
- Deering, S., D. Estrin, D. Farinacci, V. Jacobson, C. Liu and L. Wei. 1996. The PIM Architecture for Wide-Area Multicast Routing. **IEEE/ACM Transaction on Networking** (4): 153-162.
- Deering, S., D. Estrin, D. Farinacci , V. Jacobson, C. Liu and L. Wei. 1994. An architecture for wide-area multicast routing, pp. 125-135. *In* **ACM SIGCOMM Computer Communication Review**.
- Eriksson, Hans. 1994. MBONE: The Multicast Backbone. **ACM Transaction Communications** (37): 54-60.
- Estrin, D., D. Farinacci, A. Helmy, D. Thaler, S. Deering, M. Handely, V. Jacobson, C. Liu, P. Sharma and L. Wei. 1998. Protocol independent multicast-sparse mode (PIM-SM): Protocol specification. **RFC-2362**

- Floyd, S., V. Jacobson, S. McCanne, C.G. Liu and L. Zhang. 1995. A reliable multicast framework for light-weight sessions and application level framing, pp. 342-356. *In* **ACM SIGCOMM**.
- Fujisawa, H., K. Aoki, M. Yamamoto and Y. Fujita. 2004. Estimation of Multicast Packet Loss Characteristic due to Collision and Loss Recovery using FEC on Distributed Infrastructure Wireless LANs, pp. 399-404. *In* **Wireless Communications and Networking Conference**.
- Gupta, S.K.S., V. Shankar and S. Lalwani. 2003. Reliable Multicast MAC Protocol for Wireless LANs, pp. 93-97. *In* **IEEE ICC**.
- Kleinrock, Leonard. 1975. **Queueing systems**. 1 ed. Wiley, New York.
- Kuo, Franklin, Wolfgang Effelsberg and J.J. Garcia-Luna-Aceves. 1998. **Multimedia Communications: Protocol and Applications**. 1 ed. Prentice-Hall, United States of America.
- Kuri, J. and S.K. Kasera. 2001. Reliable Multicast in Multi-Access Wireless LANs. **Transaction on Wireless Network** (7): 359-369.
- Microsoft. 2007. **Windows Media Networking Protocols Compatibility**. Windows Media Services FAQ. Available Source:
<http://www.microsoft.com/windows/windowsmedia/licensing/netprokit.aspx#TechnicalSpecificationDelivery>, November 20, 2007.
- Microsoft. 2007. **Protocol Rollover**. Windows Media Format. Available Source:
<http://msdn2.microsoft.com/en-gb/library/aa390673.aspx>, November 20, 2007.

Mieghem, P.V., G. Hooghiemstra and R. Hofstad. 2001. On the efficiency of multicast.
IEEE/ACM Transaction on Networking (9): 719-732.

Mieghem, P.V. and M. Janic. 2002. Stability of a Multicast Tree, pp. 1099-1108. *In*
INFOCOM.

Moy, J. 1994. Multicast extensions to OSPF. **RFC-1584**

Nalin K. Sharda. 1999. **Multimedia Information Networking**. 1 ed. Prentice-Hall, United
 States of America.

n.d. 2003. IEEE Standard 802.11-1999 for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and
 Physical Layer (PHY) specifications. : 1-513.

n.d. 2007. IEEE Standard 802.11-2007 for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and
 Physical Layer (PHY) specifications. : 1-1184.

Nelson, David. 2007. **Delivering content as a multicast stream**. Getting Started with
 Windows Media Services 9 Series. Available Source:
<http://www.microsoft.com/windows/windowsmedia/howto/articles/IntroHosting.aspx>,
 November 20, 2007.

Oliveira, Rodolfo, Luis Bernardo and Paulo Pinto. 2006. Performance Analysis of the IEEE
 802.11 Distributed Coordination Function with Unicast and Broadcast Traffic, pp. 1-5.
In IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio
Communications 17. ed.

Pendarakis, D., S. Shi, D. Verma and M. Waldvogel. 2001. ALMI: An application level
 multicast infrastructure, pp. 49-60. *In USENIX Symposium on Internet Technologies*
and Systems.

- Phillips, G., S. Shenker and H. Tangmunarunkit. 1999. Scaling of Multicast trees: Comments on the Chuang Sirbu Scaling law, pp. 41-51. *In* **ACM SIGCOMM**.
- Phonphoem, Anan and Suchaisri Li-On. 2006. Performance Analysis and Comparison Between Multicast and Unicast over Infrastructure Wireless LAN. **LNCS** (4311): 75-89.
- RealNetworks. 2002. **Chapter 2: Overview (Concepts and features)**. Helix Universal Proxy Administration Guide. Available Source:
<http://service.real.com/help/library/guides/helixuniversalproxy/proxy9.htm>, November , 2007.
- Reynolds, J. and J. Postel. 1994. ASSIGNED NUMBERS. **RFC-1700**
- Salzer, D., X. Li, A. Striegel and S. Chandra. 2005. Wireless Stealth Multicast: Bandwidth Conservation for Last-Mile Wireless Clients, *In* **poster INFOCOM**.
- Sheldon M. Ross. 2004. **Stochastic processes**. 2 ed. Wiley, Singapore.
- Sheldon M. Ross. 2007. **Introduction to Probability Models**. 9 ed. Elsevier, USA.
- Thaler, D. 2004. Border Gateway Multicast Protocol (BGMP): Protocol Specification. **RFC-3913**
- Thaler, D., D. Estrin and D. Meyer. 1998. Border Gateway Multicast Protocol (BGMP): Protocol Specification. **Internet draft**
- Waitzman, D. and S. Deering. 1998. Distance Vector Multicast Routing Protocol. **RFC-1075**
- Wu, Haitao, Yong Peng, Keping Long and Shiduan Cheng. 2001. A simple model of IEEE 802.11 Wireless LAN, pp. 514-519. *In* **International Conference on Info-tech and Info-net (ICII)**.

Wu, Haitao, Yong Peng, Keping Long, Shiduan Cheng and Jian Ma. 2002. Performance of reliable transport protocol over IEEE 802.11 wireless LAN: analysis and enhancement, pp. 599-607. *In* **Twenty-First Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies 21. ed.**

Zhang, B., Jamin S. and L. Zhang. 2002. Host Multicast: A Framework for Delivering Multicast to End Users, pp. 1366-1375. *In* **INFOCOM.**

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายละเอียดการแก้ปัญหาสมการที่ (29)

จากเงื่อนไขสัจพจน์ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่แยกจากกันโดยเด็ดขาด แล้วจะได้ว่า
ผลรวมของความน่าจะเป็นของสถานะทั้งหมดมีค่าเป็น 1

$$\begin{aligned}
 1 &= \sum_{j=0}^{W_0-1} B_{0,j} + \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} b_{i,k} \\
 &= p_m A \sum_{j=0}^{W_0-1} \frac{W_0 - j}{W_0} + \sum_{i=0}^m b_{i,0} \sum_{k=0}^{W_i-1} \frac{W_i - k}{W_i} \\
 &= p_m A \frac{W_0 + 1}{2} + \sum_{i=0}^m b_{i,0} \frac{W_i + 1}{2} \\
 &= p_m A \frac{W_0 + 1}{2} + \sum_{i=0}^m p_c^i b_{0,0} \cdot \frac{W_i + 1}{2} \\
 &= p_m A \frac{W_0 + 1}{2} + \sum_{i=0}^m p_c^i p_u A \cdot \frac{W_i + 1}{2} \\
 &= p_m A \frac{W_0 + 1}{2} + p_u A \sum_{i=0}^m p_c^i \cdot \frac{W_i + 1}{2} \\
 &= A \left(p_m \frac{W_0 + 1}{2} + p_u \sum_{i=0}^m p_c^i \cdot \frac{W_i + 1}{2} \right) \\
 A &= \left(p_m \frac{W_0 + 1}{2} + p_u \sum_{i=0}^m p_c^i \cdot \frac{W_i + 1}{2} \right)^{-1}
 \end{aligned}$$

โดยค่า A สามารถหาค่าได้ใน 2 กรณีคือ

กรณีที่ 1: $m \leq m'$

$$\begin{aligned}
 A &= \left(p_m \frac{W_0 + 1}{2} + p_u \sum_{i=0}^m p_c^i \cdot \frac{W_i + 1}{2} \right)^{-1} \\
 &= \left(p_m \frac{W + 1}{2} + \frac{p_u}{2} \left[W \sum_{i=0}^m (2p_c)^i + \sum_{i=0}^m p_c^i \right] \right)^{-1} \\
 &= \left(p_m \frac{W + 1}{2} + \frac{p_u}{2} \left[W \cdot \frac{1 - (2p_c)^{m+1}}{1 - 2p_c} + \frac{1 - p_c^{m+1}}{1 - p_c} \right] \right)^{-1} \\
 &= \left(p_m \frac{W + 1}{2} + \frac{p_u}{2} \left[\frac{W(1 - (2p_c)^{m+1})(1 - p_c) + (1 - 2p_c)(1 - p_c^{m+1})}{(1 - 2p_c)(1 - p_c)} \right] \right)^{-1} \\
 &= \left(p_m \frac{W + 1}{2} + p_u \left(\frac{\frac{(1 - p_c)W(1 - (2p_c)^{m+1})}{1 - 2p_c} + (1 - p_c^{m+1})}{2(1 - p_c)} \right) \right)^{-1} \\
 &= \left(p_m \frac{W + 1}{2} + p_u \left(\frac{(1 - p_c)W \sum_{i=0}^m (2p_c)^i + (1 - p_c^{m+1})}{2(1 - p_c)} \right) \right)^{-1}
 \end{aligned}$$

กรณีที่ 2: $m > m'$

$$\begin{aligned}
 A &= \left(p_m \frac{W_0 + 1}{2} + p_u \sum_{i=0}^m p_c^i \cdot \frac{W_i + 1}{2} \right)^{-1} \\
 &= \left(p_m \frac{W + 1}{2} + \frac{p_u}{2} \left(\sum_{i=0}^m p_c^i W_i + \sum_{i=0}^m p_c^i \right) \right)^{-1} \\
 &= \left(p_m \frac{W + 1}{2} + \frac{p_u}{2} \left(\sum_{i=0}^{m'} p_c^i W_i + \sum_{i=m'+1}^m p_c^i W_i + \sum_{i=0}^m p_c^i \right) \right)^{-1} \\
 &= \left(p_m \frac{W + 1}{2} + \frac{p_u}{2} \left(W \sum_{i=0}^{m'} (2p_c)^i + 2^{m'} W \sum_{i=m'+1}^m p_c^i + \sum_{i=0}^m p_c^i \right) \right)^{-1} \\
 &= \left(p_m \frac{W + 1}{2} + \frac{p_u}{2} \left(W \cdot \frac{1 - (2p_c)^{m'+1}}{1 - 2p_c} + 2^{m'} W p_c^{m'+1} \cdot \frac{1 - p_c^{m-m'}}{1 - p_c} + \frac{1 - p_c^{m+1}}{1 - p_c} \right) \right)^{-1} \\
 &= \left(p_m \frac{W + 1}{2} + \frac{p_u}{2} \left(\frac{W(1 - (2p_c)^{m'+1})(1 - p_c) + 2^{m'} W p_c^{m'+1}(1 - 2p_c)(1 - p_c^{m-m'}) + (1 - 2p_c)(1 - p_c^{m+1})}{(1 - 2p_c)(1 - p_c)} \right) \right)^{-1} \\
 &= \left(p_m \frac{W + 1}{2} + p_u \left(\frac{\frac{W(1 - p_c)(1 - (2p_c)^{m'+1})}{(1 - 2p_c)} + 2^{m'} W p_c^{m'+1}(1 - p_c^{m-m'}) + (1 - p_c^{m+1})}{2(1 - p_c)} \right) \right)^{-1} \\
 &= \left(p_m \frac{W + 1}{2} + p_u \left(\frac{(1 - p_c)W \sum_{i=0}^{m'} (2p_c)^i + 2^{m'} W p_c^{m'+1}(1 - p_c^{m-m'}) + (1 - p_c^{m+1})}{2(1 - p_c)} \right) \right)^{-1}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นเราสามารถเขียนสมการการคำนวณค่า A ในสมการที่ (30) ได้เป็น

$$A = \left(p_m \frac{W + 1}{2} + p_u \left\{ \begin{array}{ll} \frac{(1 - p_c)W \sum_{i=0}^m (2p_c)^i + (1 - p_c^{m+1})}{2(1 - p_c)}, & m \leq m' \\ \frac{(1 - p_c)W \sum_{i=0}^{m'} (2p_c)^i + 2^{m'} W p_c^{m'+1}(1 - p_c^{m-m'}) + (1 - p_c^{m+1})}{2(1 - p_c)}, & m > m' \end{array} \right. \right)^{-1}$$

ภาคผนวก ข

โปรแกรมคำนวณการแจกแจงจำนวนมัลติคาสต์เซตชั้นที่ใช้จริงด้วยภาษาจาวา

Counting.java

```

package comp.count;

import java.util.ArrayList;
import java.util.Arrays;
import java.util.Collections;
import java.util.Iterator;

import comp.count.bean.ChannelAllocationBean;

public class Counting {

    private ArrayList list = new ArrayList();
    private int station;
    private int channel;

    /**
     * @param args
     */
    public static void main(String[] args) {
        // TODO Auto-generated method stub
        int station = Integer.parseInt(args[0]);
        int maxChannel = Integer.parseInt(args[1]);

        Counting c = new Counting(station, maxChannel);
        c.startCal();
        c.print();
    }

    public Counting(int station, int channel){
        this.station = station;
        this.channel = channel;
    }

    public void startCal(){
        int digitIdx;

        for (int i = 2; i <= channel; i++) {
            //Init the first alloc station.
            int maxStation = station - (i - 1);

            for (int j = maxStation; j >= 1 ; j--) {
                System.out.println("channel = " + i + " max
station = " + j);
                Integer[] alloc = new Integer[i];
                //Init the first channel station number.
                alloc[0] = new Integer(j);
                digitIdx = 1;
                //usedStation = j;
                fillDigit(alloc, digitIdx, j);
            }
        }
    }
}

```

```

        public void fillDigit(Integer[] alloc, int digitIdx, int
usedStation){
            //Calculate the maximum possible for this digit.
            if(digitIdx == (alloc.length - 1)){
                //just fill the last one, add to list, and return.
                alloc[digitIdx] = new Integer(station -
usedStation);
                Integer[] newAlloc = (Integer[])alloc.clone();

                Arrays.sort(newAlloc, Collections.reverseOrder());
                ChannelAllocationBean bean = new
ChannelAllocationBean(station, channel, newAlloc);
                if(list.indexOf(bean) == -1)
                    list.add(bean);

                return;
            }else{
                int max = station - usedStation - (alloc.length -
digitIdx);

                for (int i = max; i >= 1; i--) {
                    alloc[digitIdx] = new Integer(i);
                    fillDigit((Integer[])alloc.clone(), digitIdx
+ 1, usedStation + i);
                }
            }

            public void print(){
                for (Iterator i = list.iterator(); i.hasNext();) {
                    ChannelAllocationBean bean =
(ChannelAllocationBean) i.next();
                    Arrays.sort(bean.getValue(),
Collections.reverseOrder());

                    System.out.println(bean);
                }
            }
        }
    }
}

```

ChannelAllocationBean.java

```

package comp.count.bean;

import java.nio.channels.Channel;
import java.util.ArrayList;
import java.util.Arrays;
import java.util.Collections;
import java.util.Comparator;
import java.util.List;
import java.util.SortedMap;

import javax.crypto.SecretKey;

public class ChannelAllocationBean{

    private Integer value[];
    private int station = 0;
    private int channel = 0;

    private static final Integer ONE = new Integer(1);

    public ChannelAllocationBean(int station, int channel){
        this.channel = channel;
        this.station = station;

        if(station > 0)
            value = new Integer[channel];
    }

    public ChannelAllocationBean(int station, int channel, int
firstNo){
        this.channel = channel;
        this.station = station;

        if(station > 0)
            value = new Integer[channel];

        value[0] = new Integer(firstNo);
    }

    public ChannelAllocationBean(int station, int channel,
Integer[] value){
        this.channel = channel;
        this.station = station;
        this.value = value;
    }

    public void initAlloc(){
        for (int i = 0; i < value.length; i++) {

            //Allocate the maximum station to the first
channel, the other will assign only 1.
            if(i == 0)
                value[i] = new Integer(station - (channel -
1));
            else
                value[i] = new Integer(1);
        }
    }
}

```



```

    }
}

public void fillAlloc(){
    //Find the first null value to fill.
    int nullIdx = -1;
    int sum = 0;

    for(int i = 0; i < value.length; i++){
        if(value[i] == null){
            nullIdx = i;
            break;
        }
        sum += value[i].intValue();
    }

    //If blank exists, fill it.
    if(nullIdx != -1){
        for (int i = nullIdx; i < value.length; i++) {
            //Fill the first one
            if(i == nullIdx){
                int fillVal = (station - sum) -
((channel - 1) - nullIdx);
                value[i] = new Integer(fillVal);
            }else
                value[i] = new Integer(1);
        }
    }
    Collections.reverseOrder());
}

public boolean isEndOfChannelSubSeries(){
    if (value == null)
        return true;
    else if((value.length == 1) && (channel == 1))
        return true;
    else{
        //Create new list, which only contains the second
value to the end.
        ArrayList tempList = new
ArrayList(Arrays.asList(value).subList(1, channel));

        Integer max = (Integer)Collections.max(tempList);
        Integer min = (Integer)Collections.min(tempList);
        int diff = max.intValue() - min.intValue();

        return !(diff > 1);
    }
}

public ChannelAllocationBean genNextInSubSeries(){
    //If it's already at the end of the series, return null.
    if(isEndOfChannelSubSeries())
        return null;

    //Find the largest value that larger than 1.
    Integer[] newValue = (Integer[])value.clone();

```

```

        int idx = -1;
        for (int i = 1; i < newValue.length; i++) {
            Integer integer = newValue[i];
            if((integer.intValue() - 1) > 1){
                idx = i;
                break;
            }
        }

        ChannelAllocationBean next = null;

        if(idx != (newValue.length - 1)){
            newValue[idx] = new Integer(newValue[idx].intValue() -
1);
            //Clear new value as null, wait to be generate.
            for (int i = idx + 1; i < newValue.length; i++) {
                newValue[i] = null;
            }

            next = new ChannelAllocationBean(this.station,
this.channel, newValue);
            next.fillAlloc();
        }
        return next;
    }

    public ChannelAllocationBean genNextInSeries(){

        ChannelAllocationBean next = null;
        int curFirstInt = value[0].intValue();
        if (curFirstInt > 1) {
            next= new ChannelAllocationBean(this.station,
this.channel, curFirstInt - 1);
            next.fillAlloc();
        }
        return next;
    }

    protected int getChannel() {
        return channel;
    }

    protected void setChannel(int channel) {
        this.channel = channel;
    }

    protected int getStation() {
        return station;
    }

    protected void setStation(int station) {
        this.station = station;
    }

    public Integer[] getValue() {
        return value;
    }
}

```

```

protected void setValue(Integer[] value) {
    this.value = value;
}

public String toString(){
    StringBuffer buff = new StringBuffer();
    for (int i = 0; i < value.length; i++) {
        buff.append(value[i]);
        if(i != (value.length - 1)){
            buff.append(', ');
        }
    }
    return buff.toString();
}

public boolean equals(Object obj) {
    if (!(obj instanceof ChannelAllocationBean)) {
        return false;
    }

    ChannelAllocationBean other = (ChannelAllocationBean)obj;

    List oList =
Arrays.asList((Integer[])other.getValue().clone());
    List tList =
Arrays.asList((Integer[])getValue().clone());

    Collections.sort(oList);
    Collections.sort(tList);

    boolean result = tList.equals(oList);

    return result;
}
}

```

