



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)

ปริญญา

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การรับประกันคุณภาพจากต้นทางถึงปลายทางบนเครือข่ายไร้สายแบบผสม: บลูทูธและ
แลนไร้สาย

End-to-End QoS Guarantee on Heterogeneous Wireless Network: Bluetooth and WLAN

นามผู้วิจัย นายศรณัฐ เจนถนอมม้า

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์อนันต์ ผลเพิ่ม, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยพร ใจแก้ว, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เขมะทัต วิภาตะวินิจ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การรับประกันคุณภาพจากต้นทางถึงปลายทางบนเครือข่ายไร้สายแบบผสม: บลูทูธและแลนไร้สาย

End-to-End QoS Guarantee on Heterogeneous Wireless Network: Bluetooth and WLAN

โดย

นายศรณัฐ เจนถนอมม้า

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)

พ.ศ. 2553

ศรณัฐ เจนถนอมมี 2553: การรับประกันคุณภาพจากต้นทางถึงปลายทางบนเครือข่าย
ไร้สายแบบผสม: บลูทูธและแลนไร้สาย ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
(วิศวกรรมคอมพิวเตอร์) สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์อนันต์ ผลเพิ่ม, Ph.D. 72 หน้า

เครือข่ายไร้สาย เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมแพร่หลายในปัจจุบัน อีกทั้งมีมาตรฐานที่
หลากหลาย ซึ่งมาตรฐานที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันก็คือ บลูทูธและแลนไร้สาย โดยเทคโนโลยีทั้งสองมี
วัตถุประสงค์ในการใช้งานที่แตกต่างกัน แนวคิดการรวมมาตรฐานทั้งสองให้ทำงานร่วมกันได้นั้นเป็น
สิ่งที่น่าสนใจ แต่ด้วยความแตกต่างของมาตรฐาน จึงเกิดความท้าทายในการรวมมาตรฐานทั้งสองหลาย
ประการ เช่น ขนาดแบนด์วิธของบลูทูธที่น้อยกว่าฝั่งแลนไร้สายมาก การทำงานของชั้นเชื่อมโยง
ข้อมูลหรือชั้นแม็คที่แตกต่างกันทำให้ไม่สามารถส่งข้อมูลข้ามกันโดยตรงได้

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอเครือข่ายไร้สายแบบผสมบลูทูธและแลนไร้สาย ที่รองรับการให้บริการ
แบบรับประกันคุณภาพจากต้นทางถึงปลายทาง โดยมีสะพานเชื่อมเป็นศูนย์กลางของระบบควบคุมการ
เข้าใช้สื่อทั้งฝั่งบลูทูธและแลนไร้สาย เพื่อรองรับการทำงานแบบรับประกันคุณภาพของสถานีที่มีการ
เชื่อมโยงแบบไวต่อค่าหน่วยเวลา ซึ่งในเครือข่ายไร้สายแบบผสมที่นำเสนอ สะพานเชื่อมสามารถ
ควบคุมการเข้าใช้สื่อของสถานีฝั่งบลูทูธ ด้วยวิธีการปรับอัตราส่วนเวลาการอยู่ในสถานะหยุดนิ่งและ
การอยู่ในโหมดทำงานของสถานีบลูทูธที่มีการเชื่อมโยงแบบไม่ไวต่อค่าหน่วยเวลา โดยขนาดอัตราส่วน
เวลาในการหยุดนิ่งและทำงานจะตัดสินใจจากค่าความยาวแถวคอยของข้อมูล

หลังจากการทดสอบโครงสร้างที่นำเสนอบนระบบทดสอบจริง โดยส่งข้อมูลจากสถานีในฝั่ง
แลนไร้สายเข้ามายังสถานีฝั่งบลูทูธทั้งแบบการเชื่อมโยงแบบไวต่อค่าหน่วยเวลาและแบบไม่ไวต่อค่า
หน่วยเวลา จากผลการทดลองพบว่าสำหรับสถานีบลูทูธที่ทำงาน โปรแกรมประยุกต์แบบไวต่อค่าหน่วย
เวลา จะได้รับแบนด์วิธเฉลี่ยสูงกว่าการใช้วิธีการมาตรฐาน รวมทั้งค่าเวลาการรอระหว่างแพคเกจเฉลี่ยและ
ร้อยละของแพคเกจที่สูญหายเฉลี่ยลดลงอย่างเห็นได้ชัด

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Soranat Jenthnomma 2010: End-to-End QoS Guarantee on Heterogeneous Wireless Network: Bluetooth and WLAN. Master of Engineering (Computer Engineering), Major Field: Computer Engineering, Department of Computer Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Anan Phonphoem, Ph.D. 72 pages.

Wireless network is a well-accepted technology which has been widely deployed. Currently, two major wireless technologies are WLAN and Bluetooth. Implementing both technologies in the same coverage area is an irregular condition. The coexisting of both technologies creates many challenge issues such as inequality of bandwidth: Bluetooth bandwidth is much lower than WLAN and the different of MAC layers, made it cannot send the data directly.

In this thesis, The end-to-end QoS guarantee on heterogeneous wireless network: Bluetooth and WLAN has been proposed. In this method the bridge is the control center of network. It controls the media access of all stations, both WLAN stations and Bluetooth's stations. Focusing on the REAL TIME traffic. In the Bluetooth side, I use the adaptive tuning of park and active time method by the feedback of the REAL TIME station's queue length value which apply this park and active ratio method to the NON-REAL TIME station.

After the implementing this proposed heterogeneous wireless network on the real testbed, by sending the REAL TIME and NON-REAL TIME traffics from the WLAN station to the Bluetooth stations. The empirical result shows that, for the REAL TIME station, the bandwidth has increase better than the standard protocol and the average of inter-packet time and the percentage of packet drop have decrease.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่สาว และเพื่อนๆ ทุกท่าน เป็นกำลังใจ เป็นที่ปรึกษา คอยแนะนำสิ่งต่างๆ ในการเล่าเรียนตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.อนันต์ ผลเพิ่ม ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักที่ให้ความช่วยเหลือ คอยชี้แนะแนวทางหลักการ และช่วยตรวจแก้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชัยพร ใจแก้ว ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ช่วยแนะนำและตอบคำถาม ขอขอบพระคุณ อาจารย์อภิรักษ์ จันทร์สร้าง ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำเกี่ยวกับวิธีและการเทคนิค การทำงานวิจัย และขอขอบคุณ คุณสุธรรม จินดาอุดม ที่ช่วยแนะนำวิธีการทำงานวิจัยของ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ที่ห้องปฏิบัติการวิจัยเครือข่ายไร้สายและเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ MCEP สำหรับคำแนะนำและกำลังใจที่ดีเสมอมา

ศรณัฐ เจนถนอมม้า

มีนาคม 2553

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	25
อุปกรณ์	25
วิธีการ	27
ผลและวิจารณ์	35
ผล	35
วิจารณ์	65
สรุปและข้อเสนอแนะ	67
สรุป	67
ข้อเสนอแนะ	68
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	69
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	72

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ชนิดของรูปแบบแพคเกจของบลูทูธขนาดและแบนด์วิดท์ที่ได้รับ	13
2	กลุ่มของสถานีแลนไร้สายที่จำแนกลำดับความสำคัญในมาตรฐาน IEEE 802.11e	18
3	เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
4	ค่าตัวแปรสำหรับการส่งข้อมูลที่ใช้การทดลองที่ 1	38
5	รายละเอียดอัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงานของการทดลองที่ 1	38
6	ค่าตัวแปรสำหรับการส่งข้อมูลที่ใช้การทดลองที่ 2	42
7	ค่าตัวแปรสำหรับการส่งข้อมูลที่ใช้การทดลองที่ 3	45
8	ค่าตัวแปรสำหรับการส่งข้อมูลที่ใช้การทดลองที่ 4	54
9	สรุปเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัดผลตัวแปรต่างๆ ของการทดลองที่ 3 และ 4 สำหรับการเชื่อมโยงแบบทีซีพี	63
10	สรุปเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัดผลตัวแปรต่างๆ ของการทดลองที่ 3 และ 4 สำหรับการเชื่อมโยงแบบยูดีพี	64

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ประเภทของเครือข่ายไร้สายจำแนกตามระยะครอบคลุมการเชื่อมต่อ	5
2	ลักษณะการเชื่อมต่อของพิกเนท โดยมีบลูทูธสเลฟตั้งแต่ 1-7 สถานี	7
3	โครงสร้างแพคเกจของบลูทูธ	7
4	ลักษณะการเชื่อมต่อของบลูทูธสแกทเทอร์เนท	8
5	สถานะและโหมดต่างๆของสถานีบลูทูธ	9
6	ลักษณะของช่วงเวลารอฟัง (T_{sniff})	10
7	การทำงานแบบการโพลของบลูทูธ	11
8	แผนภาพเวลาการส่งข้อมูลแบบ 1, 3 และ 5 ช่อง	12
9	เปรียบเทียบรูปแบบแพคเกจของบลูทูธแบบ 1/1, 3/1 และ 5/1	12
10	การเข้าสู่สถานะหยุดนิ่งและการกลับเข้าสู่สถานะทำงานของบลูทูธสเลฟ	14
11	โพรโตคอลสแตคของบลูทูธ	15
12	การห่อหุ้มแพคเกจอีเทอร์เน็ตของชั้นบีเอ็นอีพี	16
13	การเข้าใช้สื่อแบบต่างๆในมาตรฐาน IEEE 802.11 และ IEEE 802.11e	17
14	แถวคอยตามกลุ่มการเข้าใช้สื่อแบบอีดีซีเอในมาตรฐาน IEEE 802.11e	18
15	สรุปขอบเขตของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและขอบเขตของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้	24
16	การโพลของบลูทูธมาสเตอร์	28
17	โครงสร้างรวมของระบบ	29
18	แถวคอยของบลูทูธสเลฟแต่ละสถานีภายในชั้นบีเอ็นอีพีของบลูทูธมาสเตอร์	30
19	วิธีการปรับอัตราส่วนเวลาการ Park:Active แบบ 2:4 วินาที	31
20	วิธีการปรับค่าอัตราส่วนเวลาการ Park:Active ของบลูทูธสเลฟโดยตัดสินใจจากค่าความยาวแถวคอย	32
21	แผนภูมิการทำงานของอัลกอริทึมการตัดสินใจในการสั่ง Park:Active	34
22	โครงสร้างระบบทดสอบที่ใช้ในการวัดผล	35
23	รูปแบบเครือข่ายในการทดลองที่ 1	37

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
24	แบนด์วิดท์ที่บลูทูธสเลฟได้รับจากการใช้งานวิธีการกำหนดอัตราส่วนเวลา การหยุดนิ่งและทำงานแบบต่างๆ (ขนาดแพคเกจ=1,514 ไบต์)	39
25	รูปแบบเครือข่ายในการทดลองที่ 2	41
26	แบนด์วิดท์ที่ BTS1 และ BTS2 ได้รับเมื่อขนาดแพคเกจแตกต่างกัน เมื่อใช้งานวิธีการกำหนดอัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงาน	43
27	รูปแบบเครือข่ายในการทดลองที่ 3	45
28	แบนด์วิดท์ที่สถานีปลายทางได้รับของการทดลองที่ 3, รอบที่ 1 เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับโพรโตคอลมาตรฐาน	47
29	แบนด์วิดท์เฉลี่ยที่สถานีปลายทางได้รับของการทดลองที่ 3 เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับโพรโตคอลมาตรฐาน	48
30	ความยาวแถวคอยของการทดลองที่ 3, รอบที่ 1 เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับโพรโตคอลมาตรฐาน	49
31	ความยาวแถวคอยเฉลี่ยของการทดลองที่ 3 เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับโพรโตคอลมาตรฐาน	50
32	ร้อยละของจำนวนแพคเกจที่สูญหายเฉลี่ยของการทดลองที่ 3 เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับโพรโตคอลมาตรฐาน	51
33	เวลารอระหว่างแพคเกจของการทดลองที่ 3 เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับโพรโตคอลมาตรฐาน	52
34	รูปแบบเครือข่ายการทดลองที่ 4	53
35	แบนด์วิดท์ที่สถานีปลายทางได้รับของการทดลองที่ 4, รอบที่ 1 เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับโพรโตคอลมาตรฐาน	55
36	แบนด์วิดท์เฉลี่ยที่สถานีปลายทางได้รับของการทดลองที่ 4 เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับโพรโตคอลมาตรฐาน	56

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
37	ความยาวแถวคอยของการทดลองที่ 4, รอบที่ 1 เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับ โพรโตคอลมาตรฐาน	57
38	ความยาวแถวคอยเฉลี่ยของการทดลองที่ 4 เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับ โพรโตคอลมาตรฐาน	58
39	ร้อยละของจำนวนแพคเกจที่สูญหายเฉลี่ยของการทดลองที่ 4 เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับ โพรโตคอลมาตรฐาน	59
40	เวลารอระหว่างแพคเกจของการทดลองที่ 4 เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับ โพรโตคอลมาตรฐาน	59
41	เปรียบเทียบแบนด์วิดท์ที่สถานีปลายทางได้รับจากการทดลองที่ 3 และ 4	60
42	เปรียบเทียบความยาวแถวคอยเฉลี่ยจากการทดลองที่ 3 และ 4	61
43	เปรียบเทียบร้อยละของการสูญหายของแพคเกจเฉลี่ยของสถานีปลายทางที่เชื่อมต่อแบบยูติพีจากการทดลองที่ 3 และ 4	62
44	เปรียบเทียบเวลารอระหว่างแพคเกจเฉลี่ยจากการทดลองที่ 3 และ 4	62

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

AC_BE	=	Access Category – Best Effort
AC_BK	=	Access Category - Background
AC_VI	=	Access Category - Video
AC_VO	=	Access Category - Voice
ACL	=	Asynchronous Connection-Less
AFH	=	Adaptive Frequency Hopping
AP	=	Access Point
AR_ADDR	=	Access Request Address
BCS	=	Bluetooth Carrier Sense
BD_ADDR	=	Bluetooth Device Address
BNEP	=	Bluetooth Network Encapsulation Protocol
BWG	=	Bluetooth Wireless Gateway
BWIG	=	Bluetooth Web Internet Gateway
CBR	=	Constant Bit Rate
CIFQ	=	Channel state Independent Fair Queuing
CRC	=	Cyclic Redundancy Check
CSMA/CA	=	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
DCF	=	Distributed Coordination Function
DH	=	Data Height rate
DM	=	Data Medium rate
EDCA	=	Enhanced Distributed Channel Access
FEC	=	Forward Error Correction
FHSS	=	Frequency Hopping Spread Spectrum
FIFO	=	First In First Out
FTP	=	File Transfer Protocol
HCCA	=	HCF Controlled Channel Access
HCF	=	Hybrid Coordination Function
HCI	=	Host Controller Interface

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

IEEE	=	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISM	=	Industrial, Scientific and Medical
IPv4	=	Internet Protocol version 4
IPv6	=	Internet Protocol version 6
L2CAP	=	Logical Link Control and Adaptation Protocol
LAP	=	LAN Access Profile
LMP	=	Link Manager Protocol
LT_ADDR	=	Logical Transport Address
MAC	=	Media Access Control
MTU	=	Maximum Transmission Unit
OHCI	=	Open Host Controller Interface
PCF	=	Point Coordination Function
PDA	=	Personal Digital Assistant
PER	=	Packet Error Rate
PM_ADDR	=	Park Member Address
QoS	=	Quality of Service
RA	=	Resource Allocation
SCO	=	Synchronous Connection-Oriented
SDP	=	Service Discovery Protocol
STA	=	Station
T_{Sniff}	=	Sniff slot time
TCP	=	Transmission Control Protocol
TCP/IP	=	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
UDP	=	User Datagram Protocol
UHCI	=	Universal Host Controller Interface
UP	=	User Priority
WAP	=	Wireless Application Protocol
WiFi	=	Wireless Fidelity

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

WiMAX	=	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	=	Wireless Local Area Network
WMAN	=	Wireless Metropolitan Area Network
WPAN	=	Wireless Personal Area Network
WRT	=	Wireless Router
WWAN	=	Wireless Wide Area Network

การรับประกันคุณภาพจากต้นทางถึงปลายทาง
บนเครือข่ายไร้สายแบบผสม: บลูทูธและแลนไร้สาย

**End-to-End QoS Guarantee on
Heterogeneous Wireless Network: Bluetooth and WLAN**

คำนำ

ปัจจุบันระบบเครือข่ายกลายเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวัน ทั้งการใช้งานอินเทอร์เน็ต อินทราเน็ต และด้วยระบบเครือข่ายที่เป็นแบบไร้สายสามารถรองรับความคล่องตัวในการใช้งาน ทำให้ระบบเครือข่ายไร้สายนี้เป็นที่นิยมใช้งานมากในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless Personal Area Network: WPAN) ซึ่งจะครอบคลุมพื้นที่ไม่เกิน 10 เมตร มีวัตถุประสงค์เพื่อทดแทนสายเคเบิล เช่น บลูทูธ (Bluetooth) และ ซิกบี (Zigbee) ส่วนเครือข่ายแลนไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN) ซึ่งจะรองรับการเชื่อมต่อในรัศมี 100 เมตร เช่น ไวไฟ (Wireless Fidelity: WiFi) มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เชื่อมต่อกับเครือข่ายแลนโดยไม่ต้องใช้สาย เครือข่ายไร้สายระดับเมือง (Wireless Metropolitan Area Network: WMAN) ครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง ระดับเขตเมืองหรือจังหวัด เช่น ไวมัคซ์ (Worldwide Interoperability for Microwave Access : WiMAX) และสุดท้ายเครือข่ายไร้สายระดับกว้าง (Wireless Wild Area Network: WWAN) ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ที่สุด เช่นระดับครอบคลุมประเทศหรือทวีป เช่น การสื่อสารผ่านดาวเทียม เป็นต้น โดยมาตรฐานเครือข่ายไร้สายดังกล่าวข้างต้น ได้ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อรองรับการทำงานในวัตถุประสงค์และรูปแบบที่แตกต่างกันไป

ในวิทยานิพนธ์นี้สนใจเครือข่ายบลูทูธและแลนไร้สาย เนื่องจากเป็นมาตรฐานที่ได้รับความนิยมสูง ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย และมีราคาถูก โดยสำหรับแลนไร้สาย ใช้งานส่วนมากใช้สำหรับการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต ในสถานที่ที่มีจุดพร้อมโยง (Hotspot) เช่น ร้านกาแฟ โรงแรม หรือสนามบิน ซึ่งสามารถเชื่อมต่อใช้งานอินเทอร์เน็ตได้ง่ายและรองรับการเชื่อมต่อได้พร้อมกันหลายสถานี สำหรับบลูทูธส่วนใหญ่จะใช้งานเพื่อแทนที่การเชื่อมโยงด้วยสายเคเบิล เช่น หูฟังบลูทูธไร้สาย หรือการเชื่อมต่อโทรศัพท์เคลื่อนที่กับคอมพิวเตอร์แทนสายยูเอสบี นอกจากนี้ อาจใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ทำการเชื่อมโยงกับอินเทอร์เน็ต แล้วเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ผ่านการเชื่อมโยงแบบบลูทูธเพื่อให้อุปกรณ์นั้นสามารถใช้งานอินเทอร์เน็ตผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นได้ เป็นต้น ด้วยความนิยมใช้งานที่แพร่หลายนี้ จึงทำให้เกิดแนวคิดรวมการทำงานทั้งสองมาตรฐานนี้ให้ทำงานบน

เครือข่ายไร้สายเดียวกัน สามารถส่งและรับข้อมูลกันได้ โดยอาศัยสะพานเชื่อมที่รองรับการเชื่อมต่อทั้งบลูทูธและแลนไร้สาย แต่ด้วยความแตกต่างของมาตรฐาน จึงทำให้เกิดความท้าทายในการวิจัยขึ้นหลายหัวข้อ เช่น การทำงานของชั้นเชื่อมโยงข้อมูลหรือชั้นแม็ค (MAC layer) ของมาตรฐานทั้งสองที่ต่างกัน ขนาดแบนด์วิดท์ที่ไม่เท่ากัน เป็นต้น

ชั้นแม็คของบลูทูธและแลนไร้สายมีความแตกต่างกันคือ ชั้นแม็คของแลนไร้สายเป็นลักษณะการแย่งกันเข้าใช้งานสื่อ โดยก่อนที่สถานีแลนไร้สายจะส่งข้อมูลจะต้องมีการตรวจสอบว่าสื่อว่างหรือไม่ก่อนส่ง (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance: CSMA/CA) ถ้าว่างจะสามารถส่งได้ แต่ถ้าไม่ว่างต้องรอเป็นระยะเวลาหนึ่งและทำการตรวจสอบสื่ออีกที เพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูลเมื่อมีสถานีแลนไร้สายหลายสถานีส่งข้อมูลออกไปพร้อมๆกัน ซึ่งแตกต่างกับการทำงานของชั้นแม็คของบลูทูธซึ่งเป็นลักษณะที่เรียกว่าการ โพล (Polling) คือเครือข่ายบลูทูธหรือพีโคเน็ต จะมีสถานีบลูทูธตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นหัวหน้าของเครือข่ายเรียกว่าบลูทูธมาสเตอร์ (Bluetooth Master) ทำการ โพลถามสถานีบลูทูธอื่นๆภายในเครือข่ายซึ่งเรียกว่าบลูทูธสเลฟ (Bluetooth Slave) โดยในหนึ่งรอบของการ โพล บลูทูธมาสเตอร์จะสามารถส่งข้อมูลไปยังบลูทูธสเลฟเหล่านั้นและอนุญาตให้สถานีบลูทูธสเลฟเหล่านั้นส่งข้อมูลกลับมายังบลูทูธมาสเตอร์ นอกจากนี้ลักษณะเฟรมข้อมูลของทั้งสองมาตรฐานก็มีความแตกต่างกัน ดังนั้นทั้งสองมาตรฐานจะไม่สามารถส่งและรับข้อมูลข้ามกันได้โดยตรง

ตัวอย่างโปรแกรมประยุกต์ที่เป็นการส่งข้อมูลข้ามเครือข่ายไร้สายทั้งสองมาตรฐาน เช่น การถ่ายทอดวิดีโอทัศน์ (Video streaming) จากสถานีฝั่งแลนไร้สายมายังฝั่งบลูทูธ ซึ่งเป็นโปรแกรมประยุกต์ที่ส่งข้อมูลในลักษณะแบบอัตราบิตคงที่หรือซีบีอาร์ (Constant Bit Rate: CBR) และใช้การเชื่อมโยงแบบเวลาจริง (Real time connection) โดยเป็นการส่งข้อมูลวิดีโอทัศน์จากสถานีแลนไร้สายข้ามมายังสถานีบลูทูธสถานีหนึ่ง ในขณะเดียวกัน มีสถานีบลูทูธอีกสถานีกำลังดาวน์โหลดข้อมูลด้วยโปรแกรมประยุกต์เอฟทีพี (File Transfer Protocol: FTP) จากสถานีในฝั่งแลนไร้สายไปพร้อมๆกัน จะพบว่าสถานีบลูทูธทั้งสองสถานีจะต้องแย่งกันใช้งานแบนด์วิดท์ของฝั่งบลูทูธ ซึ่งมีขนาดน้อยกว่าฝั่งแลนไร้สายมาก นอกจากนี้สำหรับการเชื่อมโยงของโปรแกรมประยุกต์การถ่ายทอดวิดีโอทัศน์จะเกิดภาวะที่แฉกคอยภายในสะพานเชื่อม มีจำนวนแพคเกจสูงจนอาจเต็มและเกิดการละทิ้งแพคเกจขึ้น ทำให้คุณภาพของภาพและเสียงของวิดีโอไม่สมบูรณ์ ทั้งนี้เป็นเพราะระบบดังกล่าวไม่มีการรับประกันคุณภาพของโปรแกรมประยุกต์ที่มีลักษณะเป็นการเชื่อมโยงแบบเวลาจริง

จากตัวอย่างดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการทำงานของเครือข่ายไร้สายแบบผสมบลูทูธและแลนไร้สายที่ทำงานด้วยโพรโทคอลมาตรฐานไม่สามารถรองรับการรับประกันคุณภาพได้

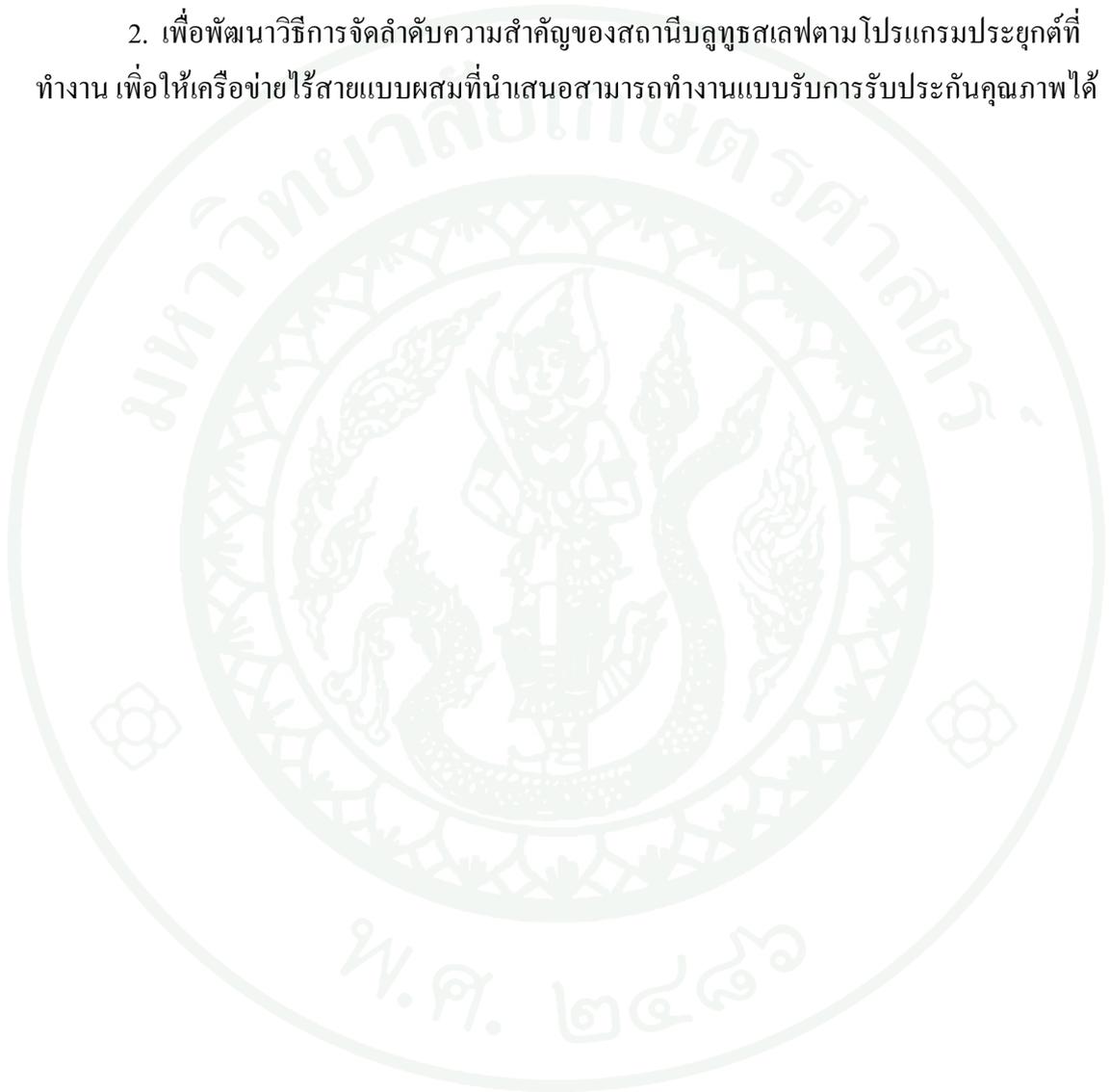
โดยเฉพาะ โปรแกรมประยุกต์ที่ต้องการการทำงานแบบเวลาจริง ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้ จึงนำเสนอ โครงสร้างเครือข่ายไร้สายแบบผสม บลูทูธและแลนไร้สาย ที่รองรับการรับประกันคุณภาพจากต้นทางถึงปลายทาง โดยให้สะพานเชื่อมเป็นผู้ควบคุมการเข้าใช้เครือข่ายฝั่งบลูทูธด้วยการปรับอัตราส่วนเวลาระหว่าง การอยู่ในสถานะหยุดนิ่ง (Park State) และการอยู่ในโหมดทำงาน (Active Mode) หรือเรียกว่า Park:Active ของสถานีบลูทูธปลายทางที่เป็นฝั่งรับข้อมูล โดยอัตราส่วนเวลาในการหยุดหรือทำงานของวิธีการดังกล่าวจะตัดสินใจจากค่าความยาวแถวคอยของข้อมูล ซึ่งข้อมูลจะมีการแบ่งชั้นความสำคัญ (Priority base) ไว้ การใช้งานวิธีดังกล่าวนี้จะช่วยให้เกิดการรับประกันคุณภาพตามลำดับความสำคัญของข้อมูล โดยระบบที่นำเสนอจะสนใจเฉพาะแถวคอยของสถานีที่รับส่งข้อมูลที่ไวต่อค่าหน่วงเวลา (Real-time) นำไปใช้ในการตัดสินใจปรับอัตราส่วนการ Park:Active ของสถานีที่ทำงานแบบไม่ไวต่อค่าหน่วงเวลา (Non real-time) ทำให้สามารถรับประกันคุณภาพสถานีที่ทำงานแบบเวลาจริงได้

วิทยานิพนธ์นี้วัดผลด้วยระบบทดสอบ (Testbed) ซึ่งประกอบด้วยสถานีแลนไร้สาย 1 สถานี, สะพานเชื่อม 1 สถานี และสถานีบลูทูธ 2 สถานี เชื่อมต่อกันเป็นเครือข่ายไร้สายแบบผสม โดยมีสะพานเชื่อมเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายบลูทูธและแลนไร้สาย ในการทดลองจะส่งข้อมูลจากสถานีแลนไร้สาย ผ่านสถานีสะพานเชื่อมแล้วส่งต่อมายังสถานีบลูทูธทั้งสอง สำหรับการทดลองที่ 1 วัดผลที่มีต่อค่าแบนด์วิดท์จากการปรับอัตราส่วนเวลา Park:Active แบบต่างๆ ส่วนการทดลองที่ 2 วัดผลกระทบต่อแบนด์วิดท์ที่เกิดจากการปรับขนาดแพคเกจของข้อมูล และสำหรับการทดลองที่ 3 และ 4 วัดผลค่าแบนด์วิดท์ที่ได้รับและค่าเวลารอระหว่างแพคเกจที่สถานีบลูทูธปลายทาง และวัดผลค่าความยาวแถวคอย และค่าร้อยละการสูญหายของแพคเกจที่สถานีสะพานเชื่อม โดยเปรียบเทียบค่าที่ได้ระหว่างการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายตามโพรโตคอลมาตรฐานกับการส่งข้อมูลด้วยวิธีการที่นำเสนอ

จากผลการทดลองพบว่า สถานีบลูทูธปลายทางที่ทำงาน โปรแกรมประยุกต์แบบเวลาจริง จะได้รับแบนด์วิดท์ที่สถานีปลายทางเพิ่มขึ้น ส่วนค่าเวลารอระหว่างแพคเกจมีค่าลดลงหมายความว่าข้อมูลที่ไวต่อค่าหน่วงเวลาจะสามารถส่งได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ภายในสะพานเชื่อม ความยาวแถวคอย และร้อยละการสูญหายของแพคเกจมีค่าลดลง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาโครงสร้างเครือข่ายไร้สายที่สามารถรองรับการทำงานได้ทั้งบลูทูธและแลนไร้สาย
2. เพื่อพัฒนาวิธีการจัดลำดับความสำคัญของสถานีบลูทูธสเลฟตามโปรแกรมประยุกต์ที่ทำงาน เพื่อให้เครือข่ายไร้สายแบบผสมที่นำเสนอสามารถทำงานแบบรับการรับประกันคุณภาพได้

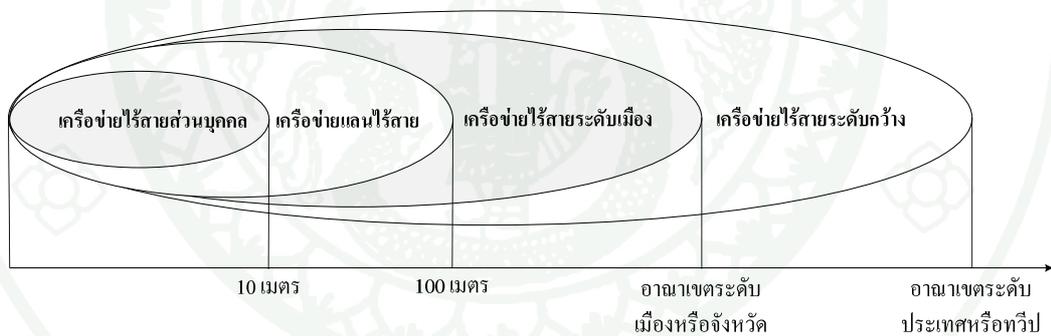


การตรวจเอกสาร

1. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย

เครือข่ายไร้สายคือระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อและส่งรับข้อมูลกัน โดยไม่มีการใช้สายหรือตัวนำทางไฟฟ้า แต่ใช้สื่อในการส่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) เช่น คลื่นวิทยุ (Radio wave) ซึ่งถือเป็นเทคโนโลยีในชั้นกายภาพ (Physical layer) ของมาตรฐานการจำแนกชั้นของระบบเครือข่าย (OSI layer model) โดยระยะทางที่ส่งออกไปนั้นอาจเป็นระยะทางไกลๆ แต่ละระดับ 5-10 เมตร (เช่น หูฟังบลูทูธ หรือ รีโมทคอนโทรลของโทรทัศน์) หรืออาจส่งเป็นระยะไกลๆ หลายพันกิโลเมตร (เช่นการส่งข้อมูลถ่ายทอดสดผ่านดาวเทียม) ซึ่งการจำแนกประเภทของเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายนั้น จะจำแนกตามขนาดพื้นที่ที่สามารถให้บริการครอบคลุม ดังภาพที่ 1

1.1 ประเภทของเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายจำแนกตามขนาดพื้นที่ครอบคลุมให้บริการ



ภาพที่ 1 ประเภทของเครือข่ายไร้สายจำแนกตามระยะครอบคลุมการเชื่อมต่อ

1.1.2 เครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล คือ เครือข่ายไร้สายที่มีอาณาเขตครอบคลุมพื้นที่ขนาดเล็กไม่เกิน 10 เมตร เช่น บลูทูธ (IEEE 802.15.1) และ ซิกบี (Zigbee, IEEE 802.15.4)

1.1.3 เครือข่ายแลนไร้สาย คือ เครือข่ายแลน (LAN) ที่ไม่ต้องใช้สายในการเชื่อมต่อ และมีอาณาเขตครอบคลุมพื้นที่ขนาด 50-100 เมตร เช่น พื้นที่ของบ้าน สำนักงาน หรือสถานศึกษา ซึ่งจะมีพื้นฐานอยู่บนมาตรฐาน IEEE 802.11 เช่น ไวไฟ และ ไฮเปอร์แลน (HyperLAN)

1.1.4 เครือข่ายไร้สายระดับเมือง คือ เครือข่ายไร้สายที่มีอาณาเขตครอบคลุมพื้นที่ระดับเมือง เช่น ไวแมกซ์ (IEEE 802.16d/e) หรืออาจเป็นการเชื่อมต่อเครือข่ายแลนไร้สายจำนวนหลายเครือข่ายเข้าด้วยกันจนกลายเป็นเครือข่ายไร้สายที่ครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง

1.1.5 เครือข่ายไร้สายระดับกว้าง คือ เครือข่ายไร้สายที่ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ที่สุด อาจครอบคลุมทั้งจังหวัดหรือประเทศ เช่น ระบบเครือข่ายของโทรศัพท์เคลื่อนที่ การส่งข้อมูลผ่านดาวเทียม เป็นต้น

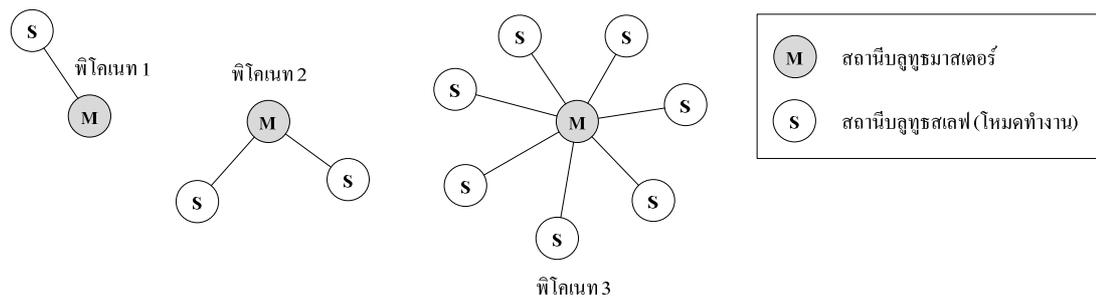
2. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับบลูทูธ

บลูทูธเป็นมาตรฐาน โพรโตคอลแบบรหัสเปิด ใช้ในการเชื่อมต่อไร้สายสำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลในระยะใกล้ๆ ใช้พลังงานน้อย โดยอาศัยผ่านสื่อคลื่นวิทยุความถี่สั้นในย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ จัดอยู่ในประเภทเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล แรกเริ่มนั้นบลูทูธสร้างขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์เพื่อทดแทนการใช้สายเคเบิล แต่ปัจจุบันสามารถประยุกต์การใช้งานได้หลายแบบ เช่น หูฟังบลูทูธไร้สาย หรือใช้เป็นอุปกรณ์ในการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต เป็นต้น

2.1 ลักษณะเครือข่ายของบลูทูธ

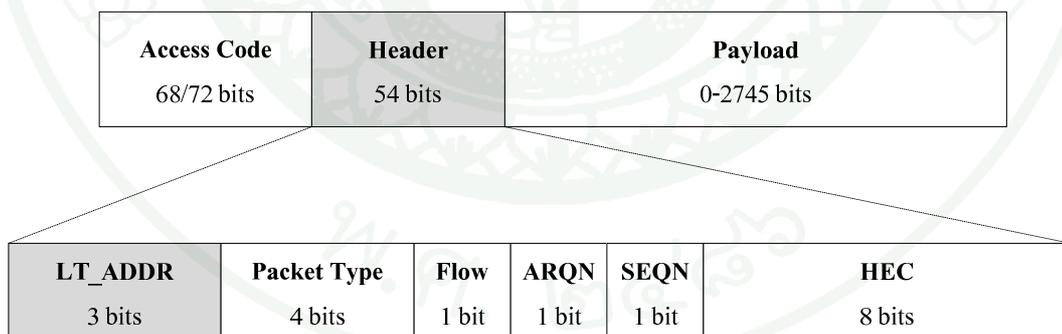
2.1.1 บลูทูธพีโคเนท

รูปแบบเครือข่ายของสถานีบลูทูธจะเรียกว่าพีโคเนท (Piconet) โดยสมาชิกภายในพีโคเนทจะประกอบด้วย สถานีบลูทูธทำหน้าที่เป็นบลูทูธมาสเตอร์จำนวน 1 สถานีและสามารถเชื่อมต่อกับสถานีบลูทูธสเลฟได้พร้อมกันตั้งแต่ 1-7 สถานี เป็นการเชื่อมต่อในรูปแบบดาว (Star topology) ดังภาพที่ 2 และเนื่องจากบลูทูธมาสเตอร์จะเป็นสถานีที่คอยจัดการการเข้าใช้งานสื่อทั้งพีโคเนท ดังนั้นการส่งข้อมูลกันระหว่างบลูทูธสเลฟ จะต้องส่งผ่านทางบลูทูธมาสเตอร์เท่านั้น โดยจะมีการแบ่งช่องสัญญาณ (Channel) และแบนด์วิดท์ของเครือข่ายให้กับสมาชิกทุกๆ สถานีในพีโคเนท



ภาพที่ 2 ลักษณะการเชื่อมต่อของพีโคเน็ตโดยมีบลูทูธสเลฟตั้งแต่ 1-7 สถานี

ในเครือข่ายพีโคเน็ต 1 เครือข่าย บลูทูธมาสเตอร์สามารถรองรับการเชื่อมต่อบลูทูธสเลฟได้สูงสุด 7 สถานีพร้อมกัน โดยสถานีบลูทูธมาสเตอร์และบลูทูธสเลฟที่ทำงานพร้อมกันนี้จะอยู่ในสถานะเชื่อมโยง (Connection state) ทั้งหมด โดยสถานีบลูทูธเหล่านี้จะมีหมายเลขประจำสถานีซึ่งแทนด้วยเลขฐานสองจำนวน 3 บิต ($2^3 = 8$, บ้างเป็นหมายเลขสำหรับบลูทูธมาสเตอร์ใช้ในการ Broadcast 1 หมายเลขส่วนที่เหลืออีก 7 หมายเลขสำหรับบลูทูธสเลฟ) เรียกหมายเลขนี้ว่า LT_ADDR (Logical Transport Address) ซึ่งจะปรากฏอยู่ในส่วนหัว (Header) ของแพคเกจของบลูทูธ ดังในภาพที่ 3 โดยบลูทูธสเลฟทั้ง 7 สถานีนี้ จะต้องติดต่อกับบลูทูธมาสเตอร์เพื่อทำการประสานเวลา (Synchronization) และสามารถรับส่งข้อมูลได้



ภาพที่ 3 โครงสร้างแพคเกจของบลูทูธ

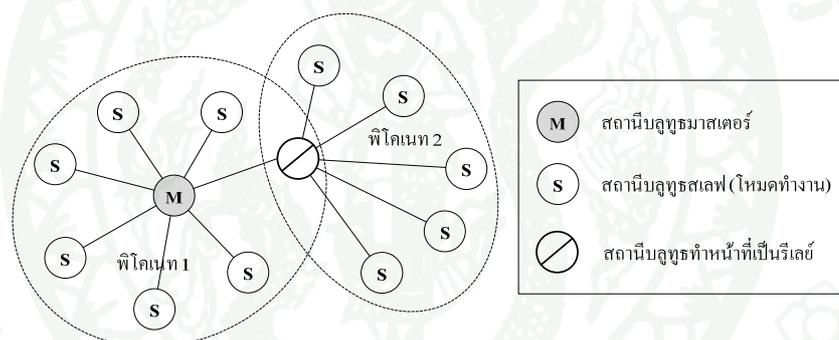
ที่มา: Bluetooth Specification 2.1 (2007)

ในพีโคเน็ตสามารถมีบลูทูธสเลฟได้มากกว่า 7 สถานีแต่จะอยู่ในสถานะอีกแบบที่เรียกว่าสถานะหยุดนิ่ง (Park state) ซึ่งบลูทูธสเลฟที่อยู่ในสถานะหยุดนิ่งนี้ จะทำแค่เพียงการประสานเวลากับบลูทูธมาสเตอร์เท่านั้น แต่จะไม่มีกรับและส่งข้อมูลใดๆ สำหรับบลูทูธสเลฟที่

อยู่ในสถานะหยุดนิ่งนี้จะได้รับหมายเลขประจำสถานีที่เรียกว่า PM_ADDR (Park Member Address) ซึ่งแทนด้วยเลขฐานสองจำนวน 8 บิต ดังนั้นพิกอนทหนึ่งๆ สามารถมีบลูทูลสเลฟในสถานะหยุดนิ่งได้ถึง 256 สถานี ($2^8 = 256$)

2.1.2 บลูทูลสแกทเทอร์เนท

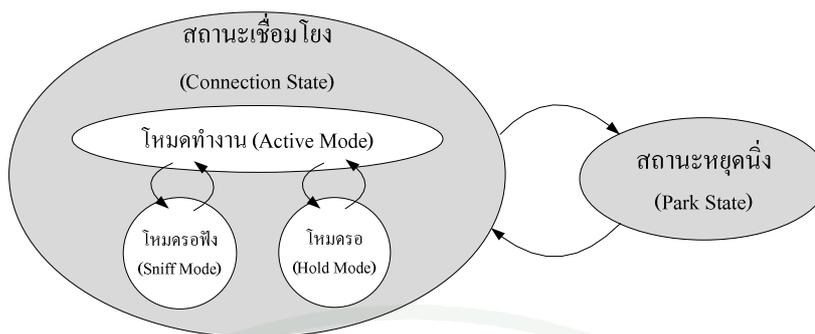
เป็นเครือข่ายของสถานีบลูทูลที่มีเกิดขึ้นจากพิกอนทตั้งแต่ 2 วงขึ้นไปทำการเชื่อมต่อกัน โดยจะมีจุดเชื่อมต่อที่เรียกว่ารีเลย์ (Relay) โดยสถานีบลูทูลที่ทำหน้าที่เป็นรีเลย์จะต้องทำหน้าที่เป็นบลูทูลมาสเตอร์ของพิกอนทหนึ่งและเป็นบลูทูลสเลฟของอีกพิกอนท ดังภาพที่ 4 พบว่าสถานีบลูทูลที่ทำหน้าที่เป็นรีเลย์จะเป็นบลูทูลมาสเตอร์ของพิกอนทวงที่ 2 และเป็นบลูทูลสเลฟของพิกอนทวงที่ 1



ภาพที่ 4 ลักษณะการเชื่อมต่อของบลูทูลสแกทเทอร์เนท

2.2 สถานะและโหมดของสถานีบลูทูล

สถานะของสถานีบลูทูลมีด้วยกัน 2 สถานะคือ สถานะเชื่อมต่อ (Connection state) และสถานะหยุดนิ่ง (Park state) ซึ่งภายในสถานะเชื่อมต่อนั้นจะแบ่งเป็นโหมดย่อยได้อีก 3 โหมดคือ โหมดทำงาน (Active mode), โหมดรอฟัง (Sniff mode) และโหมดรอ (Hold mode) ดังภาพที่ 5



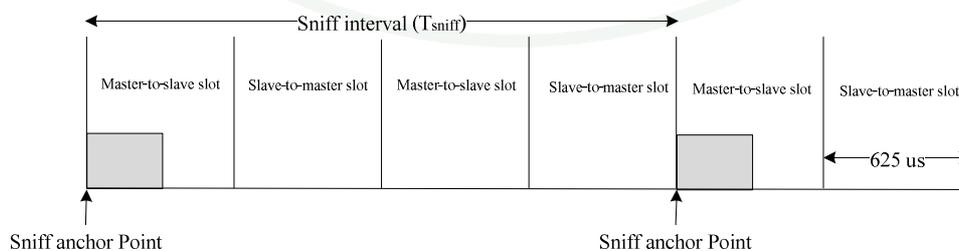
ภาพที่ 5 สถานะและโหมดต่างๆของสถานีบลูทูธ

รายละเอียดของสถานะต่างๆของสถานีบลูทูธเป็นดังนี้

2.2.1 สถานะเชื่อมต่อ

ก. โหมดทำงาน สถานีบลูทูธสเลฟที่ทำงานในโหมดนี้จะสามารถส่งและรับข้อมูล และประสานเวลากับสถานีบลูทูธมาสเตอร์ทุกๆช่องเวลา (Slot time) โดยใน 1 พิคเนทจะ มีบลูทูธสเลฟที่ทำงานในโหมดนี้เป็นสมาชิกได้ 7 สถานีพร้อมกันเท่านั้น

ข. โหมดรอฟัง เป็นโหมดการทำงานที่ลดจำนวนการติดต่อกันระหว่างบลูทูธมาสเตอร์และบลูทูธสเลฟ โดยจะไม่มีกรติดต่อกันในทุกช่องเวลา แต่จะมีการกำหนดการติดต่อกันเป็นรอบช่วงเวลาที่กำหนดไว้ เรียกรอบการติดต่อดังกล่าวนี้ว่าช่วงเวลารอฟัง (Sniff interval: T_{sniff}) ดังในภาพที่ 6 ช่วงเวลารอฟังถูกตั้งค่าให้มีระยะเวลาครอบคลุมทั้งหมด 4 ช่องเวลา (โดยใน 1 ช่องเวลาเท่ากับ 625 ไมโครวินาที) ดังนั้นสำหรับโหมดรอฟังในภาพที่ 6 นี้จะมีการติดต่อกันในทุกๆ 4 ช่องเวลา



ภาพที่ 6 ลักษณะของช่วงเวลารอฟัง (T_{sniff})

ค. โหมดรอ ในโหมดนี้จะไม่รองรับการเชื่อมต่อแบบเอซีแอล (Asynchronous Connectionless: ACL) แต่จะรองรับการเชื่อมต่อแบบเอสซีโอ (Synchronous Connection-oriented: SCO) และเมื่อเข้าสู่โหมดรอ สถานีบลูทูธสเลฟจะสามารถทำการกราดตรวจ (scan), การตามตัว (page) และการสอบถาม (inquiry) หรือเริ่มทำการเชื่อมต่อกับพีโคเนทรอบข้างได้ โดยบลูทูธสเลฟจะตกลงกับบลูทูธมาสเตอร์ว่าจะทำงานในโหมดรอ เป็นเวลานานเท่าไร

2.2.2 สถานะหยุดนิ่ง ใช้สำหรับเมื่อบลูทูธสเลฟไม่ต้องการที่จะติดต่อกับพีโคเนท แต่ต้องการเฉพาะการประสานเวลาช่องสัญญาณเท่านั้น โดยบลูทูธสเลฟจะยกเลิกการใช้งาน LT_ADDR แต่จะได้รับหมายเลขประจำสถานีใหม่ ซึ่งมี 2 ประเภทคือ

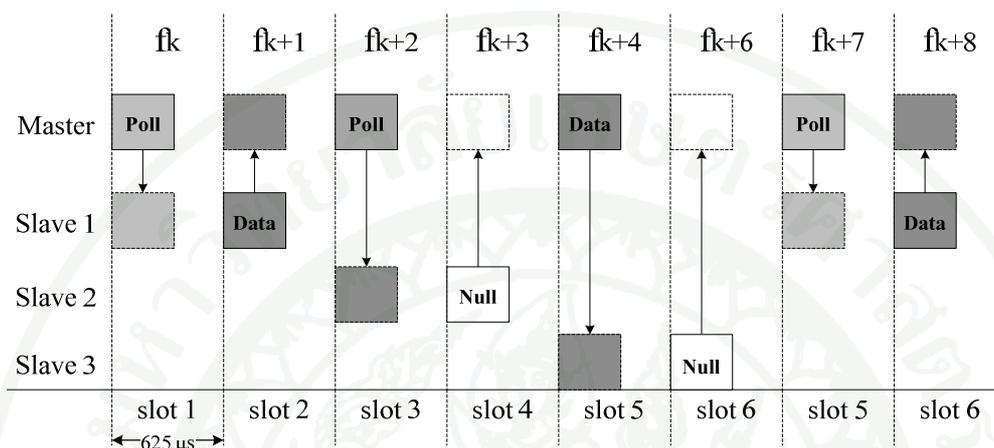
ก. PM_ADDR (Park Member Address) คือ หมายเลขประจำสถานีของสถานีบลูทูธสเลฟในสถานะหยุดนิ่ง ใช้สำหรับเมื่อสถานีต้องการกลับมาอยู่ในสถานะเชื่อมโยงโดยบลูทูธมาสเตอร์เป็นผู้สั่งการ (Master-initiated Unparking)

ข. AR_ADDR (Access Request Address) คือ หมายเลขประจำสถานีของสถานีบลูทูธสเลฟในสถานะหยุดนิ่ง ใช้สำหรับเมื่อสถานีต้องการกลับมาอยู่ในโหมดเชื่อมโยงโดยบลูทูธสเลฟเป็นผู้ร้องขอ (Slave-initiated Unparking)

2.3 การทำงานแบบการโพลของบลูทูธ

ในพีโคเนท 1 วงจะประกอบด้วยบลูทูธมาสเตอร์ 1 สถานีและบลูทูธสเลฟในโหมดทำงาน ตั้งแต่ 1-7 สถานี รวมทั้งพีโคเนทจะมีสถานีบลูทูธไม่เกิน 8 สถานี ซึ่งทั้งหมดจะมีการแบ่งช่องสัญญาณและแบนด์วิดท์กัน บลูทูธมาสเตอร์จะทำหน้าที่ควบคุมการเข้าใช้สื่อของสมาชิกทั้งหมดภายในพีโคเนท โดยการเข้าใช้สื่อของสถานีบลูทูธใดๆพีโคเนทเป็นแบบการโพลนั้นคือบลูทูธมาสเตอร์จะวนรอบติดต่อกับบลูทูธสเลฟทุกตัว ซึ่งรอบการติดต่อรหว่างบลูทูธมาสเตอร์และบลูทูธสเลฟนี้เรียกว่าเฟรม (Frame) ซึ่งในแต่ละเฟรมจะแบ่งเป็น 2 ช่อง (Slot) โดยช่องแรกของแต่ละเฟรมจะเป็นการส่งข้อมูลจากบลูทูธมาสเตอร์ไปยังบลูทูธสเลฟ ส่วนช่องหลังเป็นการส่งข้อมูลจากบลูทูธสเลฟกลับมายังบลูทูธมาสเตอร์ ซึ่งบลูทูธมาสเตอร์จะวนรอบโพลแบบนี้กับบลูทูธสเลฟตั้งแต่สถานีแรกจนถึงสถานีสุดท้ายจนครบ แล้ววนกลับมาโพลบลูทูธสเลฟสถานีแรกใหม่อีกอย่างนี้ไปเรื่อยๆ ดังภาพที่ 7

การส่งแพ็คเกจแต่ละช่องของบลูทูธจะใช้คลื่นความถี่ไม่ซ้ำค่ากัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงคลื่นความถี่ไปเรื่อยๆ ลักษณะแบบนี้เรียกว่าการกระโดดข้ามช่องสัญญาณ (Frequency Hopping) จากภาพที่ 7 คลื่นความถี่จะเปลี่ยนไปเรื่อยๆ จาก f_k เปลี่ยนเป็น f_{k+1} , f_{k+2} , ... ไปเรื่อยๆ



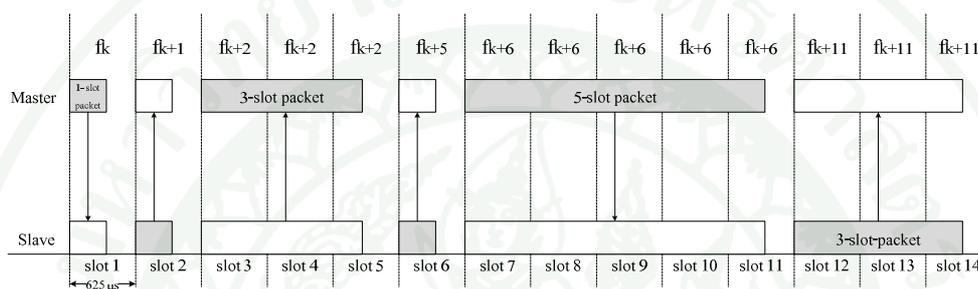
ภาพที่ 7 การทำงานแบบการโพลของบลูทูธ

ในแต่ละรอบการโพล แบ่งได้เป็น 2 แบบคือ 1) การโพลเพื่อตรวจสอบบลูทูธสเตลฟว่า มีข้อมูลที่ต้องการส่งหรือไม่เท่านั้น ดังในภาพที่ 7 ในช่องที่ 1 บลูทูธมาสเตอร์โพลบลูทูธสเตลฟ 1 ว่า มีข้อมูลที่ต้องการส่งหรือไม่ ต่อมาในช่องที่ 2 บลูทูธสเตลฟต้องการส่งข้อมูลจึงตอบกลับด้วยการส่งข้อมูลกลับไปให้บลูทูธมาสเตอร์ ส่วนในช่องที่ 3 บลูทูธมาสเตอร์โพลบลูทูธสเตลฟ 2 ลักษณะเดียวกับในช่องที่ 1 แต่ในรอบการโพลนี้บลูทูธสเตลฟ 2 ไม่มีข้อมูลที่ต้องการส่งจึงตอบกลับด้วยแพ็คเกจว่าง (Null packet) ในช่องที่ 4

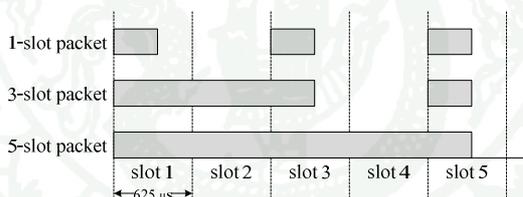
การโพลแบบต่อมาคือ 2) การโพลเพื่อตรวจสอบและส่งข้อมูลไปยังบลูทูธสเตลฟ ดังในภาพที่ 7 ในช่องที่ 5 บลูทูธมาสเตอร์โพลบลูทูธสเตลฟ 3 พร้อมกับส่งข้อมูลไปด้วยและบลูทูธสเตลฟ 3 ไม่มีข้อมูลที่ต้องการส่งจึงตอบกลับด้วยแพ็คเกจว่าง

สังเกตว่าการทำงานแบบการโพลนั้นจะไม่มี การส่งรับข้อมูลระหว่างบลูทูธสเตลฟด้วยกันเอง ดังนั้นสำหรับบลูทูธสเตลฟสถานีใดๆ ถ้าต้องการส่งให้บลูทูธสเตลฟอื่นๆ ภายในฟิโคโนท จะต้องส่งข้อมูลผ่านบลูทูธมาสเตอร์เท่านั้น และบลูทูธมาสเตอร์จะทำการส่งต่อแพ็คเกจ (Packet forwarding) ไปยังบลูทูธสเตลฟที่เป็นจุดปลายทางในรอบการโพลต่อไป

นอกจากนี้บลูทูธสามารถปรับช่วงเวลาของการส่งข้อมูลของบลูทูธมาสเตอร์ในเฟรมให้ยาวขึ้นได้ เรียกว่ามัลติสล็อตเฟรมมิ่ง (Multi-slot Framing) จากเดิมสามารถส่งข้อมูลได้ 1 ช่องต่อการรับข้อมูล 1 ช่อง (1/1, DM1 และ DH1) สามารถเพิ่มเป็นส่งข้อมูล 3 ช่องต่อการรับข้อมูล 1 ช่อง (3/1, DM3 และ DH3) หรือส่งข้อมูล 5 ช่องต่อการรับข้อมูล 1 ช่อง (5/1, DM5 และ DH5) ดังภาพที่ 8 ได้ เรียกอัตราส่วนการส่งและรับข้อมูลนี้ว่ารูปแบบแพ็คเกจ (Packet type) และภาพที่ 9 เป็นการเปรียบเทียบความยาวของรูปแบบแพ็คเกจต่างๆ



ภาพที่ 8 แผนภาพเวลาการส่งข้อมูลแบบ 1, 3 และ 5 ช่อง



ภาพที่ 9 เปรียบเทียบรูปแบบแพ็คเกจของบลูทูธแบบ 1/1, 3/1 และ 5/1

สำหรับการปรับความยาวช่องในการส่งข้อมูลของบลูทูธมาสเตอร์นั้นจะช่วยทำให้สามารถส่งข้อมูลได้มากขึ้นต่อการ โพลของบลูทูธมาสเตอร์รอบนั้นๆ โดยรูปแบบแพ็คเกจที่ให้แบนด์วิดท์สูงสุดคือแบบดีเอช 5 (DH5) ซึ่งจะทำแบนด์วิดท์ได้เท่ากับ 723.2 กิโลบิตต่อวินาที ดังในตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 รูปแบบแพ็คเกจแบบดีเอ็ม (Data Medium rate: DM) นั้นจะมีการตั้งค่าการใช้งานซีอาร์ซี (Cyclic Redundancy Check: CRC) 16 บิตแบบเอพีซี (Forward Error Code: FEC) ซึ่งใช้สำหรับแก้ไขข้อมูลเมื่อเกิดกรณีข้อมูลผิดพลาด ด้วยอัตรา 2/3 ซึ่งมีความหมายว่าใน

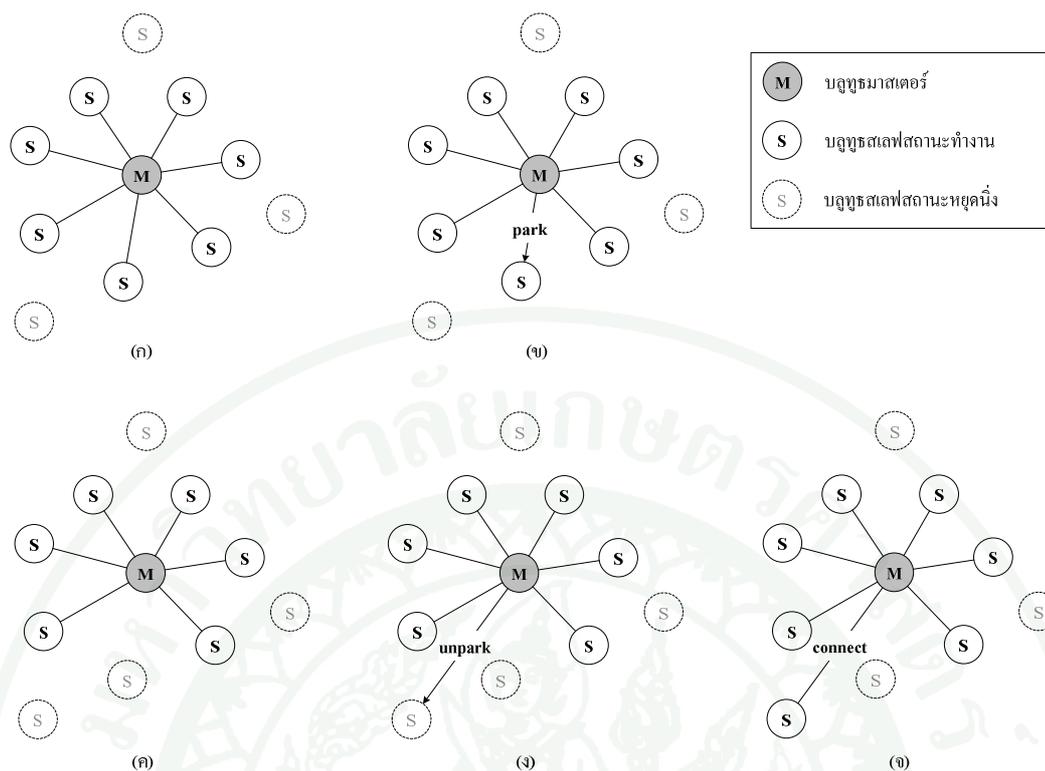
แพ็คเกจหนึ่งจะมีส่วนที่เป็นข้อมูลจริง 2 บิตและส่วนที่เหลือใช้สำหรับการแก้ไขความผิดพลาดของข้อมูล ดังนั้นค่าอัตราการส่งสูงสุดที่รูปแบบแพ็คเกจแบบดีเอ็มทำได้จึงมีค่าต่ำกว่าแบบดีเอช (Data High rate: DH) ซึ่งไม่มีการใช้งานเอพไอซี

ตารางที่ 1 ชนิดของรูปแบบแพ็คเกจของบลูทูธขนาดและแบนด์วิดท์ที่ได้รับ

Type	Payload	User			Symmetric	Asymmetric Max	
	Header	Payload	FEC	CRC	Max Rate	Rate (kbps)	
	(bytes)	(bytes)			(kbps)	Forward	Reverse
DM1	1	0-17	2/3	yes	108.8	108.8	108.8
DH1	1	0-27	no	yes	172.8	172.8	172.8
DM3	2	0-121	2/3	yes	258.1	387.2	54.4
DH3	2	0-183	no	yes	390.4	586.6	86.4
DM5	2	0-224	2/3	yes	286.7	477.8	36.3
DH5	2	0-339	no	yes	433.9	723.2	57.6

2.4 การเข้าสู่สถานะหยุดนิ่ง (Park) และการกลับสู่โหมดทำงาน (Unpark)

ในพีโคเน็ต 1 วงสามารถรองรับการทำงานของสถานีบลูทูธที่อยู่ในสถานะเชื่อมต่อโยงได้มากที่สุดพร้อมกัน 8 สถานีเท่านั้น (บลูทูธมาสเตอร์ 1 สถานีและบลูทูธสเลฟ 7 สถานี) ดังนั้นถ้าต้องการจะให้พีโคเน็ตนี้รองรับสถานีบลูทูธได้มากขึ้นจะต้องอาศัยวิธีการที่เรียกว่า การเข้าสู่สถานะหยุดนิ่งหรือการพาร์ค (Park) โดยบลูทูธมาสเตอร์จะสั่งให้บลูทูธสเลฟตัวที่ต้องการหยุดการรับส่งข้อมูลชั่วคราว มีผลให้บลูทูธสเลฟตัวนั้นเข้าสู่สถานะหยุดนิ่ง ทั้งนี้สำหรับพีโคเน็ตที่มีสถานีบลูทูธสเลฟทำงานอยู่ครบ 7 สถานีแล้ว เมื่อมีสถานีบลูทูธสเลฟตัวหนึ่งเข้าสู่สถานะหยุดนิ่ง จะทำให้เหลือที่ว่างสำหรับสถานีบลูทูธสเลฟตัวอื่นสามารถเข้ามาร่วมวงพีโคเน็ตเพิ่มได้ ดังภาพที่ 10



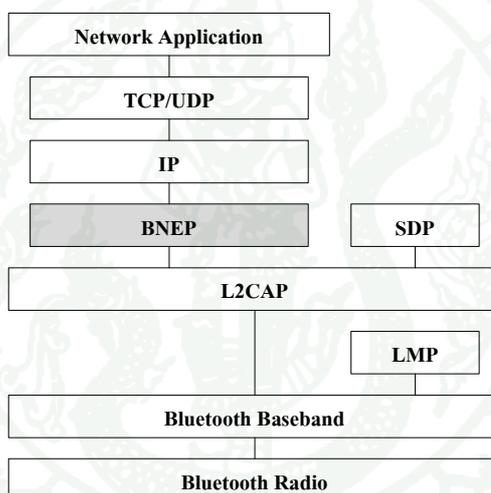
ภาพที่ 10 การเข้าสู่สถานะหยุดนิ่งและการกลับเข้าสู่สถานะทำงานของรถโดยสาร

การสั่งให้สถานีรถโดยสารเข้าสู่สถานะหยุดนิ่ง รถโดยสารแม่ข่ายจะส่งคำสั่งให้หยุดนิ่ง (Park command) ไปยังสถานีรถโดยสารที่ต้องการ (ภาพที่ 10 ข) สถานีรถโดยสารดังกล่าวจะหยุดการรับส่งข้อมูลต่างๆ เหลือเพียงแต่การประสานเวลาช่องสัญญาณเท่านั้น และเปลี่ยนหมายเลขประจำสถานีจาก LT_ADDR เป็น PM_ADDR ซึ่งจะเรียกสถานะแบบนี้ว่า สถานะหยุดนิ่ง (ภาพที่ 10 ค) โดยสถานีรถโดยสารแม่ข่ายจะสามารถสั่งให้สถานีรถโดยสารดังกล่าวกลับเข้าสู่สถานะทำงานได้โดยการส่งคำสั่งให้เข้าสู่สถานะเชื่อมโยง (Unpark Command) (ภาพที่ 10 ง) รถโดยสารดังกล่าวก็จะกลับเข้ามาสู่สถานะเชื่อมโยง (ภาพที่ 10 จ)

การสั่งให้สถานีรถโดยสารใดๆ เข้าสู่สถานะหยุดนิ่ง จะทำให้รถโดยสารนั้นไม่สามารถเข้ามาใช้สื่อและแบนด์วิธในพีโคเน็ตได้ ทำให้ไม่ต้องมีการแบ่งช่องสัญญาณและแบนด์วิธของระบบไปให้ โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะนำวิธีการนี้ไปประยุกต์ใช้ในการจัดการแบนด์วิธในด้านฝั่งรถโดยสาร

2.5 การทำงานของชั้นบีเอ็นอีพี

ชั้นบีเอ็นอีพี (Bluetooth Network Encapsulation Protocol: BNEP) ทำหน้าที่จัดการแพ็คเกจจากชั้นเครือข่าย (Network Layer) ซึ่งสามารถจัดการได้ทั้งโพรโทคอลไอพีรุ่นที่ 4 (Internet Protocol version 4: IPv4) และโพรโทคอลไอพีรุ่นที่ 6 (Internet Protocol version 6: IPv6) หลักการทำงานของชั้นบีเอ็นอีพีคือเมื่อรับแพ็คเกจมาจากชั้นเครือข่าย แพ็คเกจจะถูกห่อหุ้ม (Encapsulate) โดยใส่ส่วนหัว (Header) ของเครือข่ายบลูทูธ แล้วส่งต่อไปชั้นแอลทูแคป (L2CAP) ซึ่งสำหรับชั้นแอลทูแคปนี้จะทำหน้าที่เปรียบเสมือนชั้นแมค (MAC Layer) ของบลูทูธ ดังนั้นอุปกรณ์บลูทูธจะสามารถติดต่อกันโดยผ่านชั้นเครือข่ายหรือกล่าวคือ สถานีบลูทูธจะสามารถติดต่อกันผ่านโพรโทคอลไอพีได้ โดยชั้นบีเอ็นอีพีจะอยู่ระหว่าง ชั้นไอพีและชั้นแอลทูแคปดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 โพรโทคอลสแตคของบลูทูธ

ที่มา: Bluetooth Encapsulation Protocol (BNEP) Specification (2003)

หลักการทำงานของชั้นบีเอ็นอีพีคือเมื่อได้รับแพ็คเกจอีเทอร์เน็ต (Ethernet packet) มา จะทำการปลดส่วนหัวของแพ็คเกจอีเทอร์เน็ตออก เหลือแต่ส่วน Payload ซึ่งก็คือแพ็คเกจชั้นไอพี จากนั้นห่อ (Encapsulate) ด้วยส่วนหัวของชั้นบีเอ็นอีพี ดังภาพที่ 12

Ethernet Header 14 ไบต์		Ethernet Payload 0-1500 ไบต์
L2CAP Header 4 ไบต์	BNEP Header อย่างน้อย 1 ไบต์	Ethernet Payload 0-1500 ไบต์

ภาพที่ 12 การห่อหุ้มแพคเกจอินเทอร์เน็ตของชั้นบีเอ็นอีพี

ที่มา: Bluetooth Encapsulation Protocol (BNEP) Specification (2003)

3. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการรับประกันคุณภาพ

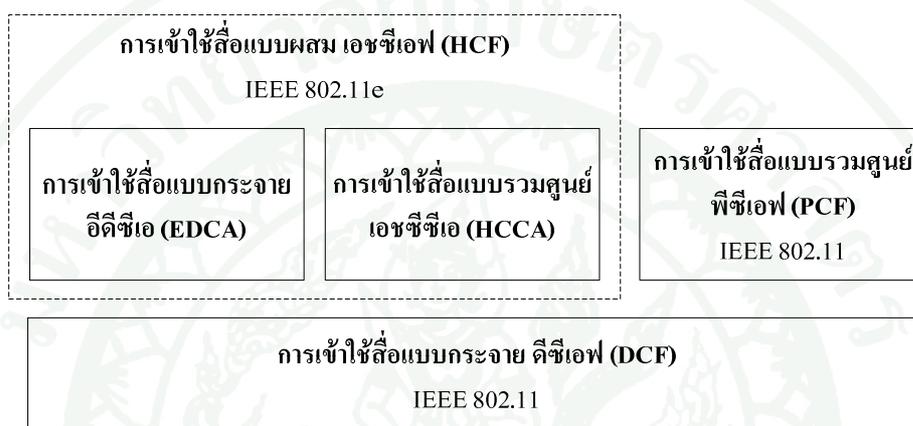
คุณภาพของการให้บริการ (Quality of Service: QoS) คือกระบวนการการควบคุมปริมาณทรัพยากรของเครือข่ายให้มีค่าสูงกว่าปริมาณความต้องการทรัพยากรจากผู้ใช้งานเครือข่าย มีการจัดลำดับตามความสำคัญของโปรแกรมประยุกต์หรือตามผู้ใช้งานระบบ เช่น ในสภาพเครือข่ายที่มีการใช้งานหนาแน่น จะมีการรับประกันว่าค่าแบนด์วิดท์สำหรับการส่งข้อมูลจะไม่น้อยกว่าค่าที่ตกลงไว้ ค่าหน่วงเวลาจะไม่มากไปกว่าค่าที่ตกลงไว้ หรือจำนวนการละทิ้งแพคเกจจะไม่มากไปกว่าค่าที่ตกลงไว้ เป็นต้น ซึ่งค่าต่างๆที่ตกลงไว้อาจตั้งค่าไว้ตั้งแต่ก่อนเริ่มการใช้งานเครือข่าย หรือปรับไปตามสภาพของเครือข่ายก็ได้ ซึ่งอาจมีการเฝ้าสังเกตติดตามค่าตัวแปรต่างๆของเครือข่ายเพื่อให้สามารถจัดการการรับประกันคุณภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

3.1 การรับประกันคุณภาพบนเครือข่ายแลนไร้สาย

การรับประกันคุณภาพบนเครือข่ายแลนไร้สายมีการตั้งเป็นมาตรฐาน IEEE802.11e เป็นมาตรฐานการรับประกันคุณภาพบนเครือข่ายแลนไร้สาย โดยทำการปรับการทำงานของชั้นเชื่อมโยงข้อมูล (Data link layer) ของมาตรฐานแลนไร้สายเดิม ซึ่งจะสนใจโปรแกรมประยุกต์ที่ไวต่อค่าหน่วงเวลา เช่น โปรแกรมส่งข้อมูลเสียงบนชั้นเครือข่าย (Voice over IP) หรือการส่งข้อมูลมัลติมีเดียผ่านเครือข่ายแลนไร้สายแบบเวลาจริง (Wireless Streaming Multimedia)

วิธีเข้าใช้สื่อของมาตรฐาน IEEE 802.11e นี้จะมีการแบ่งประเภทของสถานี (Station: STA) ที่ต้องการเข้าใช้สื่อกับแอคเซสพอยต์ (Access Point: AP) ซึ่งเรียกการเข้าใช้สื่อแบบนี้ว่า การ

เข้าใช้สื่อแบบผสมหรือเอชซีเอฟ (Hybrid Coordination Function: HCF) โดยมีรูปแบบการเข้าใช้สื่อแบบย่อย 2 แบบคือ 1) การเข้าใช้สื่อแบบกระจายหรืออีดีซีเอ (Enhanced Distributed Channel Access: EDCA) และ 2) การเข้าใช้สื่อแบบรวมศูนย์ (HCF Control Channel Access: HCCA) โดยทั้งสองแบบนี้ได้ปรับปรุงมาจากการเข้าใช้สื่อแบบดีซีเอฟ (Distributed Coordination Function: DCF) และแบบพีซีเอฟ (Point Coordination Function: PCF) ของมาตรฐาน IEEE 802.11 เดิม สรุปได้ดังในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 การเข้าใช้สื่อแบบต่างๆในมาตรฐาน IEEE 802.11 และ IEEE 802.11e

ที่มา: รศ.ดร. อนันต์ ผลเพิ่ม (2550)

3.1.1 การเข้าใช้สื่อแบบกระจาย อีดีซีเอ

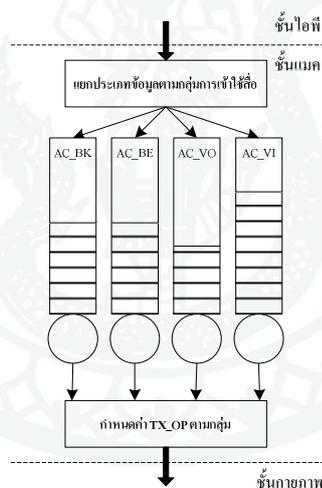
การเข้าใช้สื่อแบบอีดีซีเอจะมีการแบ่งกลุ่มสถานีตามค่าความสำคัญของผู้ใช้งาน (User Priority: UP) ซึ่งกำหนดจากชั้น โปรโตแกรมประยุกต์ โดยแบ่งเป็น 4 กลุ่มคือ 1) กลุ่มการเข้าใช้สื่อที่มีความสำคัญต่ำสุด (Access Category Background: AC_BK) 2) กลุ่มการเข้าใช้สื่อที่มีความสำคัญระดับต่ำ (Access Category Best Effort: AC_BE) 3) กลุ่มการเข้าใช้สื่อที่ไวต่อค่าหน่วงเวลา (Access Category Video: AC_VI) และ 4) กลุ่มการเข้าใช้สื่อที่ไวต่อค่าหน่วงเวลามากที่สุด (Access Category Voice: AC_VO) รายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 กลุ่มของสถานีแลนไร้สายที่จำแนกลำดับความสำคัญในมาตรฐาน IEEE 802.11e

ลำดับความสำคัญ	ค่าความสำคัญตามผู้ใช้งาน (UP)	กลุ่มการเข้าใช้สื่อ (IEEE 802.11e)
ต่ำที่สุด	1 และ 2	AC_BK
ต่ำ	0	AC_BE
สูง	3,4 และ 5	AC_VI
สูงที่สุด	6 และ 7	AC_VO

ที่มา: รศ.ดร. อนันต์ ผลเพิ่ม (2550)

ข้อมูลจากสถานีแต่ละกลุ่มจะเข้าสู่ระบบแถวคอย ซึ่งจะมีการจัดแถวคอยเป็นประเภทตามกลุ่มการเข้าใช้สื่อเช่นเดียวกัน ซึ่งจะมีอยู่ 4 ประเภทและแต่ละแถวคอยทำงานแบบเข้าก่อนออกก่อน (Fist In First Out: FIFO) ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 แถวคอยตามกลุ่มการเข้าใช้สื่อแบบอีดีซีเอในมาตรฐาน IEEE 802.11e

ที่มา: รศ.ดร. อนันต์ ผลเพิ่ม (2550)

3.1.2 การเข้าใช้สื่อแบบรวมศูนย์ เอชซีซีเอ

การเข้าใช้สื่อแบบเอชซีซีเอพัฒนาต่อมากจากการเข้าใช้สื่อแบบพีซีเอฟในมาตรฐาน IEEE 802.11 ซึ่งเป็นการเข้าใช้สื่อแบบรวมศูนย์เหมือนกัน โดยแอกเซสพอยต์จะเป็นผู้ควบคุมสื่อตัดสินใจการเข้าใช้สื่อของระบบโดยใช้วิธีการ โพล (Poll)

ปกติแล้วในวิธีการเข้าใช้สื่อแบบพีซีเอฟจะกำหนดช่วงเวลการเข้าสู่กระบวนการใช้สื่อแบบรวมศูนย์ไว้เฉพาะในช่วงเวลาที่ไม่มีการแข่งขัน แต่สำหรับแบบเอชซีซีเอ แอกเซสพอยต์จะสามารถเข้าสู่กระบวนการใช้สื่อแบบรวมศูนย์ได้ตลอดเวลา นอกจากนี้เอชซีซีเอยังอนุญาตให้สถานีส่งข้อมูลถึงกันได้โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านแอกเซสพอยต์อีกด้วย

3.2 การรับประกันคุณภาพบนเครือข่ายบลูทูธ

การรับประกันคุณภาพบนเครือข่ายบลูทูธ ปัจจุบันมีงานวิจัยในด้านนี้เป็นจำนวนมาก เช่น ในเอกสาร QoS in Bluetooth Part1 (2001) ได้เสนอเฟรมเวิร์ก (Frame work) และแนวทางการออกแบบ ในลักษณะของการทำกระบวนการจองทรัพยากรของระบบ (Resource Allocation: RA) เพื่อให้สนองต่อการทำการรับประกันคุณภาพ แต่ยังไม่ได้ออกเป็นมาตรฐานแต่อย่างใด ส่วนใหญ่จะอยู่ในขั้นของงานวิจัย

3.3 ประเภทของการรับประกันคุณภาพ

การจัดแบ่งประเภทของการรับประกันคุณภาพอาจแบ่งแยกได้ยาก แต่อาจนิยามการรับประกันคุณภาพในเชิงตัวแปรต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

3.1.1 สภาพพร้อมใช้งาน (Availability) ระบบหรือเครือข่ายควรมีความพร้อมใช้งานตลอดเวลาหรือคิดเป็น 100% แต่ในความเป็นจริงอาจไม่สามารถทำได้ ดังนั้นอาจมีการกำหนดเกณฑ์สภาพพร้อมไว้ เช่นกำหนดไว้ว่าเครือข่ายจะมีสภาพพร้อมใช้งานเป็น 99.9999% (อ. ยีน ภูสุวรรณ) ซึ่งหมายความว่าใน 1 เดือนเครือข่ายจะขัดข้องได้ไม่เกิน 2.6 วินาที

3.1.2 ค่าปริมาณงานที่ส่งได้ (Throughput) เช่น การรับประกันคุณภาพว่าช่องสัญญาณของสายวงจรเช่าที่เราเช่าใช้จากผู้ให้บริการมีค่าปริมาณงาน 512 กิโลบิตต่อวินาที จะรับประกันให้

ว่าจะสามารถใช้ได้ที่ค่าปริมาณงานที่ไม่ต่ำกว่า 128 กิโลบิตต่อวินาที เป็นต้น ซึ่งการรับประกันคุณภาพลักษณะนี้อาจเรียกว่าการรับประกันค่าปริมาณงานที่ส่งได้ต่ำสุด (Minimum throughput guarantee)

3.3.3 การสูญหายของแพ็คเกจ (Packet loss) การส่งข้อมูลเป็นจำนวนมากผ่านเครือข่ายอาจเกิดการสูญหายหรือการละทิ้งแพ็คเกจที่อุปกรณ์เครือข่ายกลางทางได้ ถ้าเครือข่ายมีความหนาแน่นของข้อมูลสูง การสูญหายของแพ็คเกจจะมีค่าสูงขึ้นมาก โดยการรับประกันคุณภาพในตัวแปรนี้อาจกำหนดได้ว่า ระบบเครือข่ายที่รับประกันคุณภาพในการส่งข้อมูลว่าจะมีการสูญหายของแพ็คเกจไม่เกิน 10%

3.3.4 เวลาแฝง (Latency) คือเวลาที่แพ็คเกจใช้ในการเดินทางทั้งหมดจากต้นทางถึงปลายทางซึ่งเวลาแฝงนี้เป็นค่ารวมทั้งเวลาที่แพ็คเกจใช้ในระบบเครือข่ายและเวลาที่แพ็คเกจใช้ในอุปกรณ์เครือข่ายด้วย การรับประกันคุณภาพของเครือข่ายอาจทำได้โดยการรับประกันว่าค่าเวลาแฝงที่แพ็คเกจใช้เดินทางจากต้นทางถึงปลายทางจะต้องไม่เกินค่าๆ หนึ่งที่ตกลงไว้ เช่น เวลาแฝงจะไม่สูงกว่า 100 มิลลิวินาที

3.3.5 ค่าการไหว (Jitter) คือค่าการเปลี่ยนแปลงของเวลาแฝง ถ้าสำหรับ โปรแกรมประยุกต์บางประเภท เช่น การถ่ายทอดวีดิทัศน์แบบเวลาจริง การมีค่าเวลาแฝงที่สูงแต่เป็นค่าที่สูงคงที่เท่าๆ กันตลอดเวลา อาจไม่มีผลต่อการทำงานของโปรแกรมประยุกต์เท่าใดนัก เพราะสามารถจะทำการพักข้อมูล (Buffer) ไว้ได้ แต่ถ้าค่าเวลาแฝงนั้นมีค่าไม่คงที่หลายๆ ระบบจะไม่สามารถประมาณการการพักข้อมูลที่เหมาะสมได้ ดังนั้นระบบที่มีการรับประกันคุณภาพในตัวแปรค่าการไหวจะทำให้สามารถรับประกันได้ว่าสามารถทำงาน โปรแกรมประยุกต์แบบเวลาจริงได้

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครือข่ายไร้สายแบบผสมบลูทูธและแลนไร้สาย

โดยส่วนใหญ่แล้วงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครือข่ายไร้สายแบบผสมบลูทูธและแลนไร้สายจะเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการแก้ไขปัญหาการรบกวนของสัญญาณ เนื่องจากบลูทูธและแลนไร้สายทำงานที่ย่านความถี่เดียวกัน (ISM Band, 2.4 GHz) โดยวิทยานิพนธ์นี้จะแบ่งกลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็น 1) งานวิจัยเครือข่ายไร้สายแบบผสมบลูทูธและแลนไร้สาย 2) งานวิจัยที่เกี่ยวกับเครือข่ายบลูทูธเน้นการทำงานบนชั้นเครือข่าย และ 3) งานวิจัยที่เน้นการรับประกันคุณภาพบนเครือข่ายบลูทูธ

4.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับรูปแบบเครือข่ายที่รองรับมาตรฐานบลูทูธและแลนไร้สาย

งานวิจัยแรกคืองานวิจัยนำเสนอโครงสร้างเครือข่ายไร้สายแบบผสมบลูทูธและแลนไร้สาย BlueStar (Cordeiro *et al.*, 2004) โดยใช้วิธีการเลือกสถานีแลนไร้สายในระบบขึ้นมาทำหน้าที่เป็นสถานีบลูทูธเกตเวย์ไร้สาย (Bluetooth Wireless Gateways: BWGs) ทำให้เครือข่ายสามารถรองรับการทำงานทั้งบลูทูธและแลนไร้สายได้โดยไม่ต้องมีการเพิ่มอุปกรณ์บลูทูธเกตเวย์ใดๆ ลงไปเพิ่มเติม ข้อมูลจากเครือข่ายบลูทูธที่ต้องการส่งข้ามไปยังเครือข่ายแลนไร้สาย จะส่งผ่านสถานีบลูทูธเกตเวย์ไร้สาย นอกจากนี้ยังนำเสนอวิธีการลดการกวนกันของคลื่นสัญญาณบลูทูธและแลนไร้สาย โดยใช้การปรับการกระโดดคลื่นความถี่ (Adaptive Frequency Hopping: AFH) ร่วมกับการทำการตรวจสอบชื่อของบลูทูธ (Bluetooth Carrier Sense: BCS) โดยฝั่งบลูทูธจะตรวจสอบช่องสัญญาณก่อนทำการส่งเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของแพคเกจบลูทูธกับแพคเกจของแลนไร้สาย

งานวิจัยถัดมานำเสนอขั้นตอนวิธี (Algorithm) ในการจัดการลำดับการส่งแพคเกจในอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้ทั้งบนเครือข่ายแลนไร้สาย (IEEE 802.11b) และบลูทูธได้ (Yip and Kwok, 2007) โดยในงานวิจัยนี้สนใจปัญหาของแอกเซสพอยต์ที่รองรับการเชื่อมโยงทั้งบลูทูธและแลนไร้สายในอุปกรณ์ตัวเดียวกัน นำเสนอขั้นตอนวิธีที่เรียกว่าซีไอเอฟคิว (Channel state Independent Fair Queuing: CIFQ) โดยการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ควบคุมการทำงานขั้นตอนวิธีกำหนดการ (Scheduling Algorithm) ของทั้งบลูทูธและแลนไร้สาย โดยมีพื้นฐานบนหลักการของการจัดการแถวคอย ซึ่งรับข้อมูลของสถานะช่องสัญญาณในขณะนั้นมาใช้ในการตัดสินใจ

4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับเครือข่ายบลูทูธเน้นการทำงานบนชั้นเครือข่าย

งานวิจัยแรกในกลุ่มนี้คือ งานวิจัยที่นำเสนอโครงสร้างเครือข่ายบลูทูธที่รองรับการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตที่เรียกว่าบีดับเบิลยูไอจี (Bluetooth Web Internet Gateway: BWIG) (Rouhana and Horlait, 2002) โดยมีหลักการคือผู้ใช้งานสถานีบลูทูธสามารถติดต่อออกไปยังอินเทอร์เน็ตได้ โดยอาศัยการเชื่อมต่อผ่านเกตเวย์ของระบบ (BWIG Gateway) ใช้โปรโตคอลของบลูทูธสำหรับการเชื่อมต่อบลูทูธกับเครือข่ายแลนที่เรียกว่า แลนแอกเซสโปรไฟล์ (LAN Access Profile: LAP) นอกจากนี้งานวิจัยได้นำเสนอการใช้งานแวก (Wireless Application Protocol: WAP) ผ่านโครงสร้างระบบที่นำเสนอด้วย โปรโตคอลที่นำเสนอมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการใช้งานผ่านมาตรฐาน

แลนแอกเซสโพรไฟล์แบบปกติ และสถานีบลูทูธในระบบไม่ต้องใช้หมายเลขไอพีแอดเดรส ใช้เพียงแต่หมายเลขประจำเครื่องขนาด 48 บิต (BD_ADDRESS) ในการสื่อสารระหว่างสถานีบลูทูธ และเกตเวย์ของระบบ

งานวิจัยต่อมาคืองานวิจัยที่นำเสนอกรณีศึกษาของเครือข่ายบลูทูธในงาน CeBIT 2001 (Kraemer, 2002) โดยภายในงานจะมีการติดตั้งบลูทูธแอกเซสพอยต์เพื่อรองรับการเชื่อมต่อของอุปกรณ์บลูทูธไว้ภายในพื้นที่ห้องจัดสรรอาคารห้องหนึ่ง ขนาดพื้นที่ 25,000 ตารางเมตรและห้องสูง 18 เมตร อุปกรณ์บลูทูธที่ใช้งานคือพีดีเอ (Personal Digital Assistant: PDA) จำนวน 200 เครื่อง และจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราการผิดพลาดของแพคเกจ (Packet Error Rate: PER) มีค่าต่ำเมื่อมีการใช้งานเครือข่ายก่อนข้างหนาแน่น โดยสามารถให้บริการสูงสุดที่แบนด์วิดท์ไม่เกิน 1 เมกะบิตต่อวินาที โดยเสนอแนะไว้ว่าถ้าต้องการแบนด์วิดท์ที่สูงกว่านี้ควรใช้งานด้วยเครือข่ายแลนไร้สายจะให้ผลที่ดีกว่า

งานวิจัยต่อมานำเสนอสะพานเชื่อมสำหรับเชื่อมต่อเครือข่ายแลนและบลูทูธพีโคเนท (Chen and Yen, 2002) โดยเสนอวิธีการส่งข้อมูลข้ามเครือข่ายทั้ง 2 มาตรฐานผ่านชั้นเครือข่ายด้วยโพรโตคอลไอพี ผลการทดลองแสดงให้เห็นค่าอัตราเร็วในการส่งข้อมูลที่แตกต่างกันของทั้ง 2 เครือข่ายมีผลกระทบต่อการทำงานกลไกควบคุมการไหลข้อมูล (Flow Control Mechanism) ที่ต้องการหลีกเลี่ยงปัญหาการใช้งานเครือข่ายที่หนาแน่น (Congestion) และปัญหาการสูญหายของข้อมูล (Data loss)

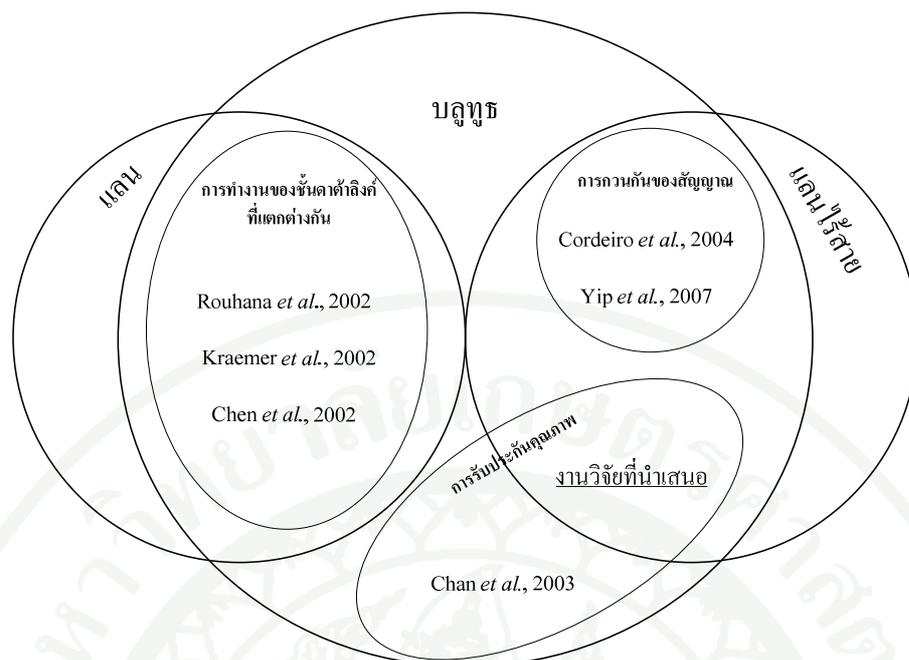
4.3 งานวิจัยที่เน้นการรับประกันคุณภาพบนเครือข่ายบลูทูธ

งานวิจัยในกลุ่มนี้คืองานวิจัยที่นำเสนอกระบวนการรับประกันคุณภาพแบบรวมศูนย์ หรือ QoS-Centric Cascading Mechanism (Chan *et al.*, 2003) ซึ่งมีส่วนการทำงานประกอบกัน 3 ส่วนคือ ส่วนการจองทรัพยากรภายในพีโคเนท (Intra-piconet Resource Allocation) ซึ่งจะมีกระบวนการร้องขอทรัพยากรจากบลูทูธสเลฟไปยังส่วนจัดการทรัพยากรของบลูทูธมาสเตอร์ (RA) นอกจากนี้จะมีส่วนจัดการการส่งต่อระหว่างพีโคเนท (Inter-piconet Handoff) ซึ่งช่วยจัดการขณะที่บลูทูธสเลฟเคลื่อนที่และต้องการเปลี่ยนไปเชื่อมต่อวงพีโคเนทอื่น และสุดท้ายส่วนการติดต่อระหว่างชั้นบลูทูธและชั้นไอพี (Bluetooth-IP Access Modules) โดยงานวิจัยนี้พัฒนาอยู่บนพื้นฐานของชั้นบีเอ็นไอพีและมีการวัดผลตัวแปรต่างๆคือ ความยาวแถวคอย อัตราการสูญหายของแพคเกจ ค่าหน่วงเวลา และค่าปริมาณงาน

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดพบว่า ยังไม่มีงานวิจัยใดที่เสนอวิธีการดังเช่นในวิทยานิพนธ์นี้ คือสนใจที่ปัญหาการรับประกันคุณภาพของเครือข่ายแบบผสมบลูทูธและแลนไร้สาย ซึ่งมีขนาดแบนด์วิดท์ที่แตกต่างกันมาก โดยสามารถสรุปงานวิจัยทั้งหมดได้ดังตารางที่ 3 และ สรุปขอบเขตของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและขอบเขตของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ดังภาพที่ 15

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทีมวิจัย	เทคโนโลยีเครือข่าย			แก้ปัญหา
	แลน	แลนไร้สาย	บลูทูธ	
Cordeiro <i>et al.</i> , 2004		✓	✓	การรบกวนกันของคลื่นสัญญาณ
Yip and Kwok, 2007		✓	✓	ลำดับการส่งข้อมูล
Rouhana and Horlait, 2002	✓		✓	ชั้นดาดำลิ่งค์ที่แตกต่างกัน
Kraemer, 2002	✓		✓	ชั้นดาดำลิ่งค์ที่แตกต่างกัน
Chen and Yen, 2002	✓		✓	ชั้นดาดำลิ่งค์ที่แตกต่างกัน
Chan <i>et al.</i> , 2003			✓	การรับประกันคุณภาพบนเครือข่ายบลูทูธ



ภาพที่ 15 สรุปขอบเขตของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและขอบเขตของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์

จำนวน 4 เครื่อง

1.1 สถานีแลนไร้สาย

- 1.1.1 หน่วยประมวลผล Intel Centrino Mobile ความเร็ว 1 กิกะเฮิร์ตซ์
- 1.1.2 หน่วยความจำหลักขนาด 512 เมกกะไบต์
- 1.1.3 หน่วยความจำสำรอง(ฮาร์ดดิสก์) ขนาด 80 กิกะไบต์
- 1.1.4 การ์ดแลนไร้สายแบบออนบอร์ดรุ่น Intel 855GM
- 1.1.5 ติดตั้งระบบปฏิบัติการอุบนลินุกซ์ (Ubuntu Linux) รุ่น 8.10

1.2 สถานีบลูทูธที่ 1

- 1.2.1 หน่วยประมวลผล Intel Pentium 4 ความเร็ว 2.66 กิกะเฮิร์ตซ์
- 1.2.2 หน่วยความจำหลักขนาด 1 กิกะไบต์
- 1.2.3 หน่วยความจำสำรอง(ฮาร์ดดิสก์) ขนาด 250 กิกะไบต์
- 1.2.4 ติดตั้งระบบปฏิบัติการอุบนลินุกซ์ รุ่น 8.10

1.3 สถานีบลูทูธที่ 2

- 1.3.1 หน่วยประมวลผล Intel Atom N230 ความเร็ว 1.66 กิกะเฮิร์ตซ์
- 1.3.2 หน่วยความจำหลักขนาด 1 กิกะไบต์
- 1.3.3 หน่วยความจำสำรอง(ฮาร์ดดิสก์) ขนาด 20 กิกะไบต์
- 1.3.4 ติดตั้งระบบปฏิบัติการอุบนลินุกซ์ รุ่น 8.10

1.4 สะพานเชื่อม

- 1.4.1 หน่วยประมวลผล Intel Core 2 Duo P8600 ความเร็ว 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์
- 1.4.2 หน่วยความจำหลักขนาด 4 กิกะไบต์
- 1.4.3 หน่วยความจำสำรอง(ฮาร์ดดิสก์) ขนาด 250 กิกะไบต์
- 1.4.4 การ์ดแลนไร้สายแบบออนบอร์ดรุ่น Intel WiFi Link 5100 AGN
- 1.4.5 ติดตั้งระบบปฏิบัติการอุบนลินุกซ์ รุ่น 8.10

2. อุปกรณ์ไวร์เลสมีดตีฟังก์ชันเราเตอร์

จำนวน 1 ตัว

- 2.1 ยี่ห้อ ASUS รุ่น WL-500g Premium
- 2.2 ช่องทางการเชื่อมต่อแบบอีเทอร์เน็ตแบบแวน (WAN port) จำนวน 1 ช่องทาง
- 2.3 ช่องทางการเชื่อมต่อแบบอีเทอร์เน็ตแบบแลน (LAN port) จำนวน 4 ช่องทาง
- 2.4 ช่องทางการเชื่อมต่อแบบยูเอสบี รุ่น 2.0 จำนวน 2 ช่องทาง
- 2.5 รองรับการเชื่อมต่อแลนไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.11b/g
- 2.6 ติดตั้งระบบปฏิบัติการลินุกซ์โอเพ่นดับเบิลยูอาร์ที (OpenWRT)

3. อุปกรณ์การ์ดบลูทูธแบบยูเอสบี

จำนวน 3 ตัว

- 3.1 ชิพประมวลผลของบริษัท CSR รุ่น BlueCore4 เบอร์ 41B14
- 3.2 รองรับบลูทูธ รุ่น 2.0
- 3.3 รองรับการเชื่อมต่อยูเอสบีแบบยูเอชซีไอ (UHCI) และ โอเอชซีไอ (OHCI) รุ่น 2.0
- 3.4 ทำงานครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ 0-100 เมตร (Bluetooth class I)
- 3.5 มีเสารับส่งสัญญาณในตัว
- 3.6 ทำงานในย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์ (ISM Band)
- 3.7 อัตราข้อมูลสูงสุดที่ 1 เมกกะบิตต่อวินาที

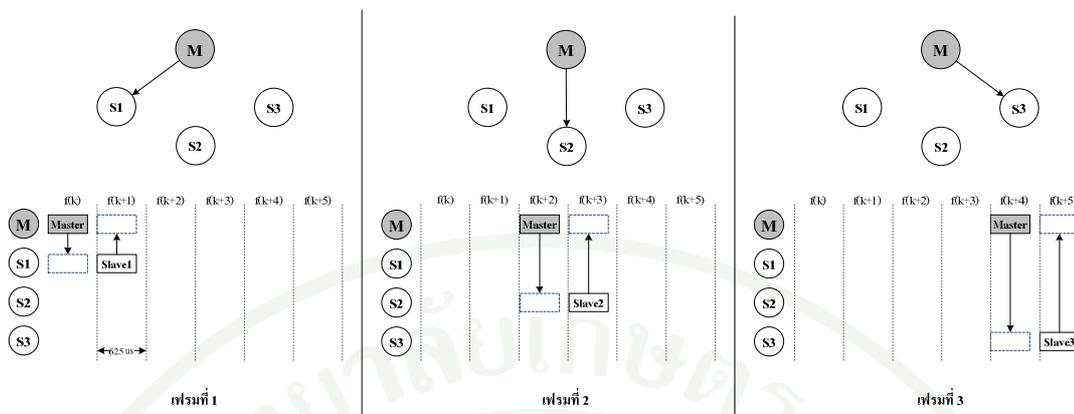
วิธีการ

งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีจุดประสงค์ให้อุปกรณ์แลนไร้สายและอุปกรณ์บลูทูธสามารถทำงานร่วมกันในเครือข่ายไร้สายเดียวกัน แต่ด้วยความแตกต่างกันของมาตรฐาน จึงทำให้เกิดความท้าทายในการวิจัยหลายประการ คือ การทำงานชั้นเชื่อมโยงข้อมูลที่ต่างกัน ขนาดแบนด์วิดท์ที่แตกต่างกัน โดยฝั่งแลนไร้สายจะมีขนาดแบนด์วิดท์มากกว่าบลูทูธมาก การรบกวนกันของคลื่นสัญญาณ เนื่องจาก มาตรฐานทั้งสองทำงานบนย่านความถี่เดียวกัน

จากการตรวจเอกสาร พบว่างานวิจัยที่มีการผสมเครือข่ายไร้สายบลูทูธและแลนไร้สายส่วนใหญ่ สนใจที่การแก้ไขการรบกวนกันของคลื่นสัญญาณ แต่ในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสนใจปัญหาการปรับการทำงานของชั้นเชื่อมโยงที่แตกต่างกันและหาวิธีการจัดการขนาดแบนด์วิดท์ที่ต่างกักัน ซึ่งการปรับการทำงานของชั้นเชื่อมโยงข้อมูลนั้นเพื่อให้สามารถรวมอุปกรณ์แลนไร้สายและอุปกรณ์บลูทูธให้ทำงานบนเครือข่ายไร้สายเดียวกันได้ ดังนั้นต้องอาศัย โพรโตคอลเพิ่มเติมนั้นคือ การทำงานของชั้นบีเอ็นอีพีซึ่งจะช่วยให้บลูทูธสามารถทำงานบนชั้นเครือข่ายและสามารถส่งข้อมูลข้ามผ่านระหว่างสองมาตรฐานได้

เมื่อมาตรฐานทั้งสองสามารถส่งข้อมูลข้ามกันได้แล้ว จึงนำเสนอโครงสร้างเครือข่ายผสมบลูทูธและแลนไร้สายที่โดยการส่งข้อมูลข้ามฝั่งกันจะส่งผ่านสะพานเชื่อม โดยสะพานเชื่อมจะติดตั้งส่วนต่อประสานทั้งบลูทูธและแลนไร้สายจึงทำให้รองรับการทำงานกับทั้งสองมาตรฐาน แต่เครือข่ายไร้สายแบบผสมลักษณะนี้เมื่อทำงานแล้วจะพบว่าการที่แบนด์วิดท์ของทั้งสองฝั่งมีค่าแตกต่างกันมากมีผลต่อการทำงาน โดยเฉพาะการส่งข้อมูลจากฝั่งแลนไร้สายซึ่งมีแบนด์วิดท์สูงมายังฝั่งบลูทูธที่มีแบนด์วิดท์ต่ำ จะทำให้เกิดภาวะคอขวด (Bottleneck) ขึ้นได้ อีกทั้งถ้าเป็นการส่งข้อมูลแบบอัตราบิตคงที่ อาจทำให้เกิดการละทิ้งแพคเกจที่สะพานเชื่อมเป็นจำนวนมาก

จากปัญหาดังกล่าว โครงสร้างเครือข่ายไร้สายแบบผสมนี้ จึงต้องการการรับประกันคุณภาพ โดยเป็นการจัดการเข้าใช้สื่อในฝั่งบลูทูธซึ่งทำงานแบบการโพลและมีแบนด์วิดท์ต่ำ ปกติแล้วการโพลของบลูทูธมาสเตอร์ไปยังบลูทูธสเลฟจะเป็นลักษณะแบบวนรอบ (Round-Robin) ดังภาพที่ 16 ดังนั้นถ้าสามารถปรับการทำงานของการวนรอบการโพลนี้ได้ จะช่วยให้สามารถควบคุมการเข้าใช้สื่อของบลูทูธสเลฟในพิกเนทให้เป็นไปตามลำดับความสำคัญได้ ซึ่งอาจปรับการทำงานของการโพลนี้โดยให้บลูทูธมาสเตอร์โพลบลูทูธสเลฟที่มีความสำคัญสูงบ่อยครั้งกว่าบลูทูธสเลฟที่มีความสำคัญต่ำกว่า ซึ่งช่วยให้บลูทูธสเลฟที่มีความสำคัญสูงสามารถเข้าใช้งานสื่อได้มากกว่า เป็นต้น



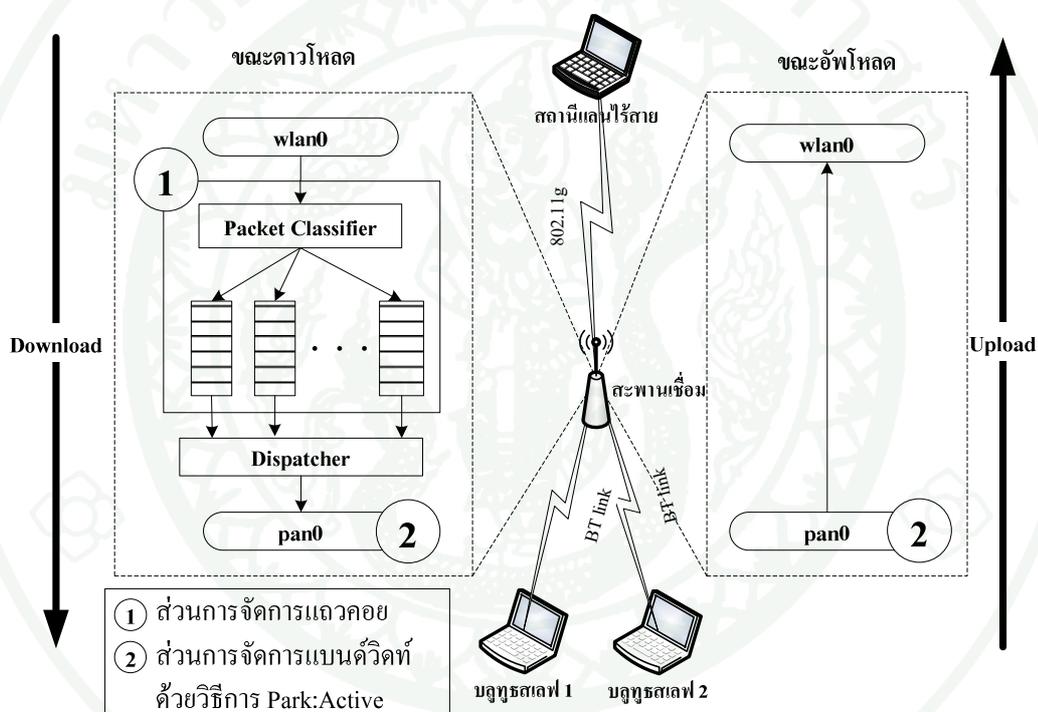
ภาพที่ 16 การโพลของบลูทูธมาสเตอร์

แต่การปรับการทำงานของรอบการโพลนี้ จะต้องแก้ไขการทำงานในส่วนควบคุมรอบการโพลภายในอุปกรณ์บลูทูธ ในลักษณะเป็นการแก้ไขโปรแกรมขับอุปกรณ์ (Device driver) ซึ่งสามารถทำได้ แต่อาจใช้เวลานาน วิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอวิธีการปรับค่าอัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงานของบลูทูธสเลฟ (วิธีการปรับอัตราส่วนเวลา Park:Active) แทนเนื่องจากวิธีการนี้เป็นการจัดการการเข้าใช้สื่อของบลูทูธสเลฟได้เช่นกัน โดยบลูทูธมาสเตอร์จะสามารถควบคุมการเข้าใช้สื่อของบลูทูธสเลฟได้ทุกตัว โดยสามารถสั่งให้บลูทูธสเลฟสถานีใดๆหยุดการทำงานชั่วคราว โดยสั่งให้เปลี่ยนสถานะจากเชื่อมต่อหรือเปลี่ยนจากโหมดทำงานไปอยู่สถานะหยุดนิ่ง โดยอาจสั่งให้บลูทูธสเลฟที่มีความสำคัญต่ำกว่า หยุดการทำงานชั่วคราวบ่อยครั้งกว่า จะทำให้บลูทูธสเลฟที่มีความสำคัญสูงกว่าสามารถเข้าใช้งานสื่อได้มากกว่า

วิธีการปรับอัตราส่วนเวลาในการหยุดนิ่งและทำงานของสถานีบลูทูธ โดยระบบที่นำเสนอสามารถตัดสินใจปรับการสั่งสถานีบลูทูธสเลฟให้หยุดนิ่งและทำงานได้จากค่าความยาวแถวคอยของการเชื่อมโยงนั้นๆได้ โดยเรียกว่า วิธีการจัดการแบนด์วิดท์ของฝั่งบลูทูธด้วยวิธีการปรับอัตราส่วนเวลาการ Park:Active โดยพิจารณาจากความยาวแถวคอย

1. โครงสร้างของระบบที่นำเสนอ

โครงสร้างรวมของระบบที่นำเสนอในงานวิทยานิพนธ์นี้จะมีลักษณะดังภาพที่ 17 ประกอบด้วยสถานีทั้งหมด 4 สถานี แบ่งเป็นสถานีแลนไร้สายจำนวน 1 สถานี สถานีบลูทูธจำนวน 2 สถานี ทั้งหมดเชื่อมต่อกันด้วยสะพานเชื่อม ซึ่งสะพานเชื่อมจะเป็นผู้จัดการการเข้าใช้งานสื่อทั้งหมดภายในระบบจึงมีส่วนการจัดการระบบจะอยู่ภายใน โดยจะมีส่วนการจัดการ 2 ส่วนคือ (1) ส่วนการจัดการแถวคอย และ (2) ส่วนการจัดการแบนด์วิดท์ด้วยวิธีการปรับอัตราส่วนเวลาการ Park:Active



ภาพที่ 17 โครงสร้างรวมของระบบ

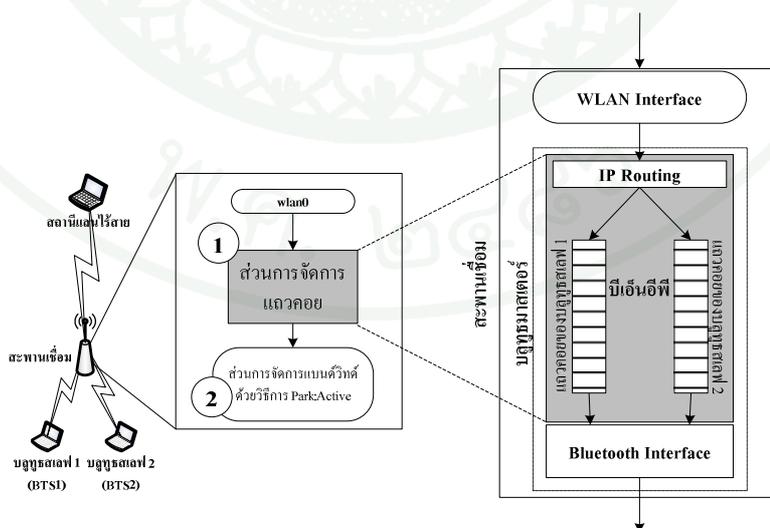
จากภาพที่ 17 โครงสร้างที่นำเสนอจะแบ่งการทำงานในขณะดาวโหลดและขณะอัปโหลดแตกต่างกัน โดยการทำงานในขณะดาวโหลดข้อมูล (ฝั่งซ้ายของภาพที่ 17) ในที่นี้จะหมายถึงการส่งข้อมูลจากสถานีแลนไร้สายฝั่งแลนไร้สายผ่านสะพานเชื่อมแล้วส่งต่อมายังบลูทูธสเตฟในฝั่งบลูทูธพีโคเนท ซึ่งกระบวนการทำงานภายในสะพานเชื่อม จะมีมากกว่าขณะอัปโหลด คือต้องมีการจัดลำดับความสำคัญของการเชื่อมโยงโดยส่วนการจัดการแถวคอย (ส่วนที่ 1) เนื่องจากเป็นการส่งข้อมูลจากฝั่งที่มีแบนด์วิดท์มากกว่ามายังฝั่งที่มีแบนด์วิดท์ต่ำกว่า ทั้งนี้ค่าความยาวแถวคอยที่ได้จาก

ส่วนที่ 1 จะนำไปใช้ในการตัดสินใจปรับอัตราส่วนเวลาในส่วนการจัดการแบนด์วิดท์ด้วยวิธีการปรับอัตราส่วนเวลาการ Park:Active (ส่วนที่ 2) ด้วย

ส่วนในการทำงานขณะอัปโหลด (ฝั่งขวาของภาพที่ 17) จะเป็นการส่งข้อมูลจากฝั่งบลูทูธไปยังฝั่งแลนไร้สายโดยผ่านทางสะพานเชื่อมเช่นเดียวกัน ซึ่งในขณะอัปโหลดจะไม่มีการใช้งานส่วนการจัดการแถวคอย เนื่องจากเป็นการส่งข้อมูลจากฝั่งที่มีแบนด์วิดท์สูงไปยังฝั่งที่แบนด์วิดท์ต่ำ ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะสนใจการทำงานในขณะดาวโหลดเท่านั้น โดยการทำงานของส่วนการจัดการทั้งสองมีรายละเอียดดังนี้

1.1 ส่วนที่ 1 ส่วนการจัดการแถวคอย

ส่วนนี้จะเป็นการจัดแบ่งประเภทของสถานีบลูทูธที่เข้าเชื่อมต่อกับสะพานเชื่อมตามโปรแกรมประยุกต์ที่ทำงานอยู่ เมื่อมีสถานีบลูทูธเข้ามาเชื่อมต่อกับสะพานเชื่อมในฝั่งเครือข่ายบลูทูธ ในลักษณะเป็นบลูทูธสเลฟ สะพานเชื่อมในส่วนฝั่งบลูทูธซึ่งทำหน้าที่เป็นบลูทูธมาสเตอร์ จะทำการสร้างแถวคอยสำหรับสถานีบลูทูธสเลฟแต่ละตัวขึ้นภายในชั้นการทำงานบีเอ็นอีพี โดยในระบบที่นำเสนอนี้จะสันนิษฐานว่า บลูทูธสเลฟ 1 สถานีจะทำงานโปรแกรมประยุกต์ชนิดใดชนิดหนึ่งเท่านั้น โดยจะสนใจว่าบลูทูธสเลฟที่มาเชื่อมต่อกับระบบนั้นทำงานโปรแกรมประยุกต์ที่เชื่อมโยงแบบทีซีพีหรือแบบยูดีพี แล้วจะจัดการที่แถวคอยของสถานีบลูทูธสเลฟนั้นๆ ดังภาพที่ 18

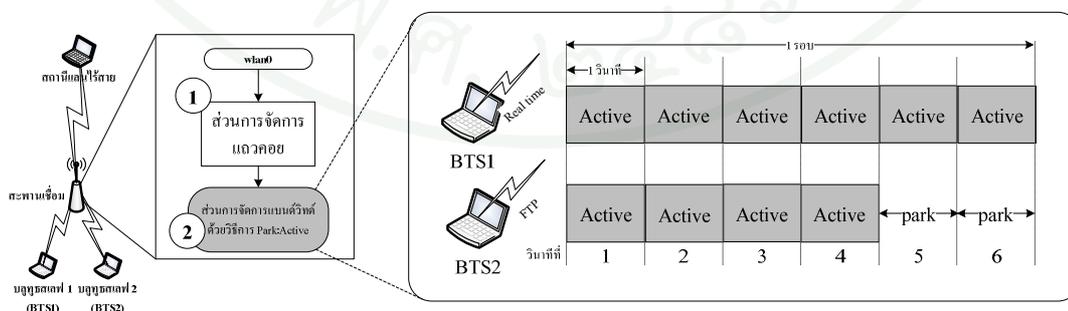


ภาพที่ 18 แถวคอยของบลูทูธสเลฟแต่ละสถานีภายในชั้นบีเอ็นอีพีของบลูทูธมาสเตอร์

1.2 ส่วนที่ 2 ส่วนการจัดการแบนด์วิดท์ด้วยวิธีการปรับอัตราส่วนเวลาการ Park:Active

การทำงานของส่วนการจัดการแบนด์วิดท์ด้วยวิธีการ Park:Active มีหลักการคือบลูทูธมาสเตอร์จะสามารถสั่งให้บลูทูธสเลฟในระบบเข้าสู่สถานะหยุดนิ่งได้ด้วยการใช้คำสั่งให้หยุดนิ่ง (Park Command) โดยบลูทูธสเลฟที่อยู่ในสถานะหยุดนิ่งจะไม่มีกรรับและส่งข้อมูลกับบลูทูธมาสเตอร์ชั่วคราว ทำให้ช่วงเวลาที่บลูทูธสเลฟอยู่ในสถานะหยุดนิ่งจะไม่มีกรใช้แบนด์วิดท์ของระบบ

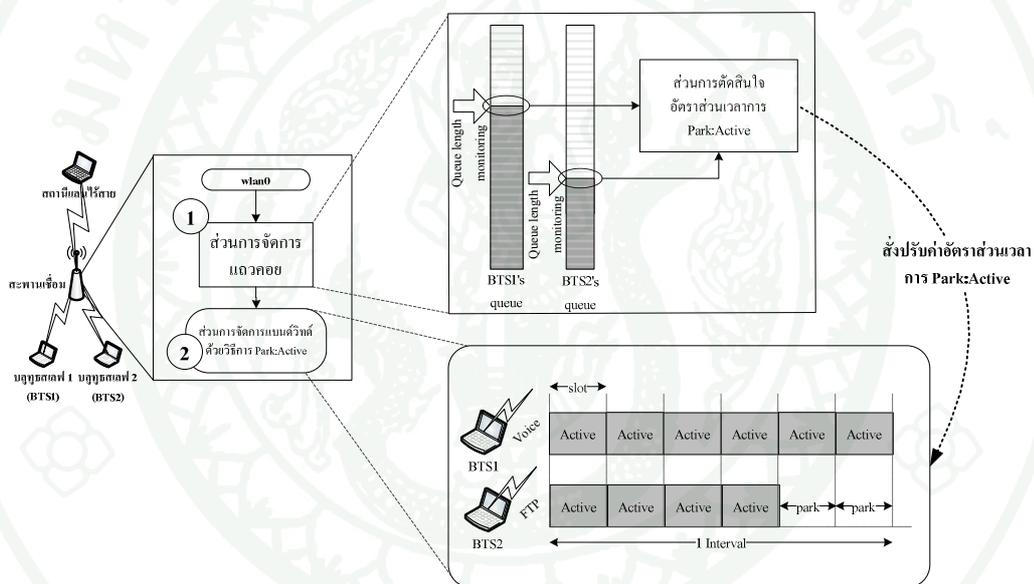
จากหลักการดังกล่าวทำให้สามารถจัดการกรเข้าใช้แบนด์วิดท์ของสถานีบลูทูธสเลฟแต่ละสถานีตามลำดับความสำคัญของแอปพลิเคชันที่ทำงานได้ ยกตัวอย่างดังภาพที่ 19 ในระบบมีสถานีบลูทูธสเลฟจำนวน 2 สถานีทำงานในขณะเดียวกัน คือ บลูทูธสเลฟ 1 (BTS1) ทำงานโปรแกรมประยุกต์การส่งข้อมูลเสียง ซึ่งเป็นโปรแกรมประยุกต์ที่ไวต่อค่าหน่วงเวลา (Real-time application) และบลูทูธสเลฟ 2 (BTS2) ทำงานโปรแกรมประยุกต์เอฟทีพี (File Transfer Protocol: FTP) ซึ่งเป็นโปรแกรมประยุกต์ที่ไม่ไวต่อค่าหน่วงเวลา (Non-real time application) ดังนั้นระบบจะสั่งให้ BTS2 เข้าสู่สถานะหยุดนิ่งเป็นช่วงๆ ทั้งนี้เพื่อให้ BTS1 ได้เข้าใช้สื่อเป็นเวลามากขึ้น มีผลทำให้ได้ใช้งานแบนด์วิดท์ของระบบมากขึ้นด้วย จึงสามารถทำงานโปรแกรมประยุกต์ที่ไวต่อค่าหน่วงเวลาได้ จากภาพที่ 19 คือรอบกรทำงานของการ Park:Active 1 รอบ พบว่าในขณะช่วงเวลาที่ BTS2 อยู่ในสถานะหยุดนิ่ง (วินาทีที่ 5-6) BTS1 จะได้รับแบนด์วิดท์ของทั้งระบบเพราะเป็นช่วงเวลาที่อยู่ในโหมดทำงานเพียงสถานีเดียว โดยวิธีการนี้จะทำงานเป็น ในหนึ่งรอบสถานี BTS2 จะอยู่ในสถานะหยุดนิ่งเป็นเวลา 2 วินาที และอยู่ในโหมดทำงานเป็นเวลา 4 วินาทีวนรอบอย่างนี้ไปเรื่อยๆ



ภาพที่ 19 วิธีการปรับอัตราส่วนเวลาการ Park:Active แบบ 2:4 วินาที

2. วิธีการปรับอัตราส่วนเวลาการ Park:Active ของบลูทูธสเลฟโดยใช้ค่าความยาวแถวคอยในการตัดสินใจ

การทำงานของโครงสร้างเครือข่ายไร้สายแบบผสมบลูทูธและแลนไร้สายที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ ซึ่งประกอบด้วยส่วนการทำงานทั้งสองส่วนตามที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ 1 โดยทั้งสองส่วนการทำงานนี้จะทำงานร่วมกัน คือ ส่วนการจัดการแบนด์วิดท์ด้วยวิธีการปรับอัตราส่วนเวลาการ Park:Active นี้จะปรับอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยการวิเคราะห์จากค่าความยาวแถวคอยของบลูทูธสเลฟสถานีนั้นๆ โดยความสัมพันธ์ของทั้งสองคือ มีการส่งสัญญาณเพื่อปรับค่าอัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงานจากส่วนที่ 1 ไปยังส่วนที่ 2 ดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 วิธีการปรับค่าอัตราส่วนเวลาการ Park:Active ของบลูทูธสเลฟโดยตัดสินใจจากค่าความยาวแถวคอย

ภายในส่วนการจัดการแถวคอย (ส่วนที่ 1) จะมีส่วนประกอบย่อยที่คอยวัดค่าความยาวแถวคอยของสถานีบลูทูธสเลฟที่ทำงาน โปรแกรมประยุกต์แบบไวต่อค่าหน้าต่างเวลา เพื่อจะคอยเฝ้าดูแนวโน้มว่ามีจำนวนแพคเกจที่รอส่งข้ามไปยังบลูทูธมากเป็นจำนวนมากน้อยเท่าไร ซึ่งในส่วนนี้จะมีกระบวนการตัดสินใจว่าเมื่อไรถึงควรส่งสัญญาณให้ส่วนการจัดการแบนด์วิดท์ด้วยการ Park:Active (ส่วนที่ 2) นั้นเริ่มทำงาน ปรับอัตราส่วนใหม่ หรือหยุดทำงาน โดยมีขั้นตอนวิธีการตัดสินใจดังภาพที่ 21 มีรายละเอียดดังนี้

2.1 วัดค่าความยาวแถวคอยของสถานีบลูทูธสเลฟที่ทำงาน โปรแกรมประยุกต์แบบเวลาจริง ในที่นี้คือ สถานีบลูทูธสเลฟที่ 1 (BTS1) เพื่อวัดค่าความยาวแถวคอยทุกๆ 1 วินาที

2.2 นำค่าที่ได้ใช้ในการตัดสินใจสั่งส่วนตัดสินใจให้ทำงาน โดยค่าความยาวแถวคอยที่ตั้งไว้มีค่าเท่ากับ 200, 300 และ 500 แพคเกจตามลำดับ เมื่อได้รับค่าความยาวแถวคอยที่วัดได้แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้

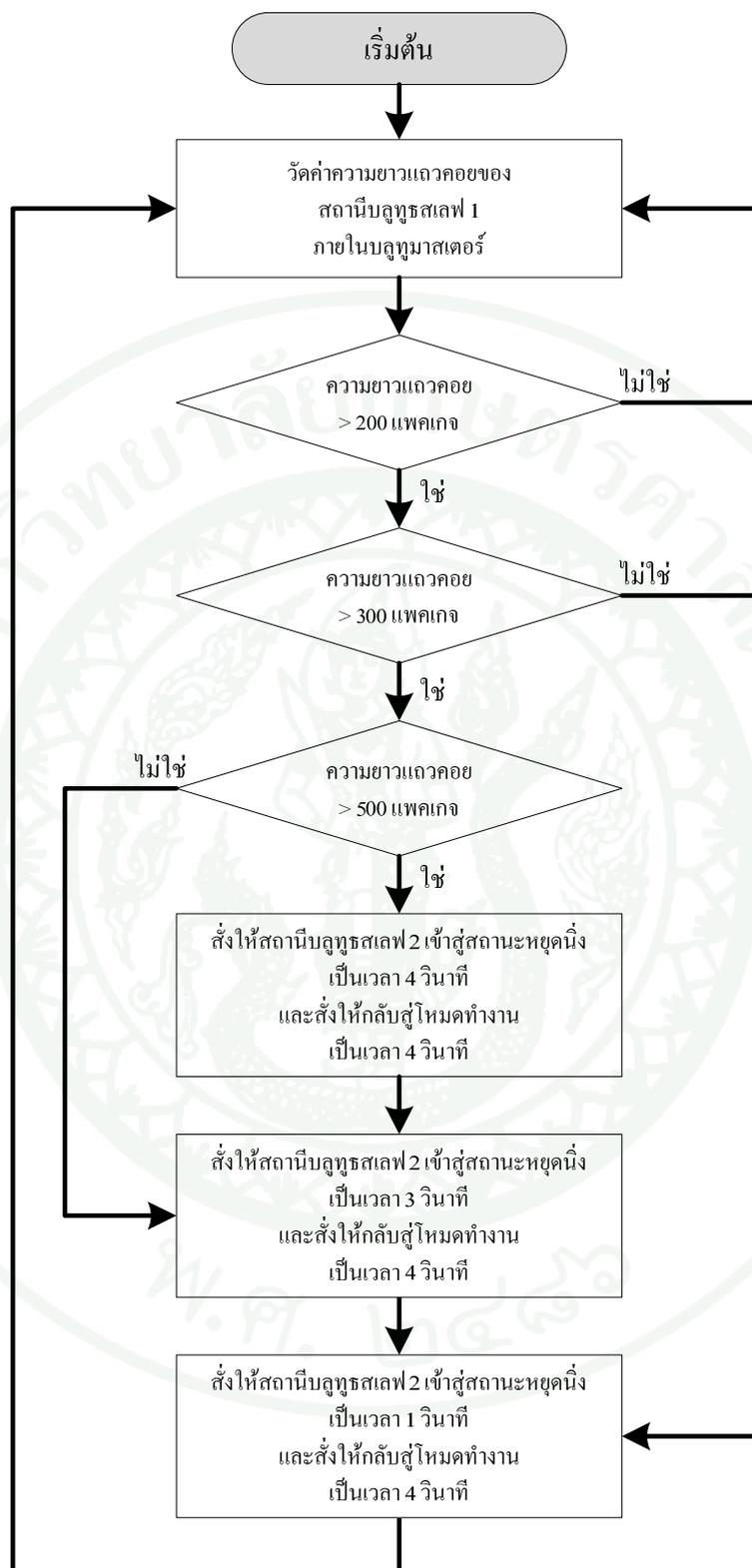
2.3 ถ้าค่าที่วัดได้ต่ำกว่า 200 แพคเกจ ให้กลับไปวัดค่าความยาวแถวคอยต่อไป

2.4 ถ้าค่าความยาวแถวคอยนั้นมีเกินกว่า 200 แพคเกจแต่ไม่ถึง 300 แพคเกจให้ส่งสัญญาณไปสั่งให้ส่วนการจัดการแบนด์วิดท์ส่วนที่ 2 ทำงาน โดยให้หยุดนิ่งสถานีบลูทูธสเลฟที่ทำงานแบบไม่ใช่เวลาจริง ในที่นี้คือ สถานีบลูทูธสเลฟที่ 2 (BTS2) เป็นเวลา 1 วินาทีแล้วจึงสั่งให้กลับเข้าสู่โหมดทำงานเป็นเวลา 4 วินาที แล้วจึงกลับสู่การวัดค่าความยาวแถวคอย

2.5 ถ้าขนาดความยาวแถวคอยมีขนาดมากกว่า 300 แพคเกจ แต่ไม่ถึง 500 แพคเกจจะสั่งให้ BTS2 หยุดนิ่ง เป็นเวลา 3 วินาทีแล้วจึงสั่งให้กลับเข้าสู่โหมดทำงานเป็นเวลา 4 วินาที และสั่งให้หยุดนิ่ง เพิ่มอีก 1 วินาทีแล้วสั่งให้กลับเข้าสู่โหมดทำงานเป็นเวลา 4 วินาที แล้วจึงกลับสู่การวัดค่าความยาวแถวคอย

2.6 ถ้าขนาดความยาวแถวคอยมากกว่า 500 แพคเกจจะสั่งให้ BTS2 หยุดนิ่ง เป็นเวลา 4 วินาทีและกลับเข้าสู่โหมดทำงานเป็นเวลา 4 วินาที จากนั้นหยุดนิ่งอีก 3 วินาทีและกลับเข้าสู่โหมดทำงานเป็นเวลา 4 วินาที และสุดท้ายหยุดนิ่งอีก 1 วินาทีและกลับเข้าสู่โหมดทำงานเป็นเวลา 4 วินาที แล้วจึงกลับสู่การวัดค่าความยาวแถวคอย

เมื่อขนาดความยาวของแถวคอยขอ BTS1 ภายในสะพานเชื่อมมีค่ามาก เช่นความยาวเกิน 500 แพคเกจ ระบบจะสั่งให้ BTS2 เข้าสู่สถานะหยุดนิ่ง ติดต่อกันหลายช่วง ทั้งนี้เพื่อให้ BTS 1 ได้มีโอกาสส่งข้อมูล โดยใช้แบนด์วิดท์ของทั้งระบบ ทำให้สามารถระบายแพคเกจข้อมูลภายในแถวคอยออกไปได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ค่าหน่วยเวลาของข้อมูลนั้นลดลงด้วย

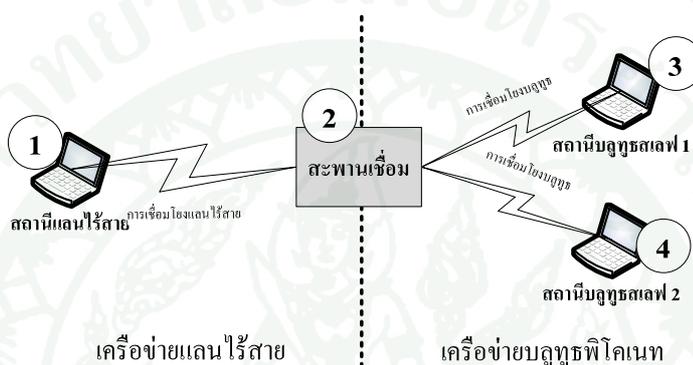


ภาพที่ 21 แผนภูมิการทำงานของอัลกอริทึมการตัดสินใจในการสั่ง Park:Active

ผลและวิจารณ์

ผล

เป็นการทดสอบโดยใช้ระบบทดสอบในการวัดผล ประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์จำนวน 4 เครื่อง เชื่อมต่อกับเป็น โครงสร้างเครือข่ายแบบผสมบลูทูธและแลนไร้สาย ดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 โครงสร้างระบบทดสอบที่ใช้ในการวัดผล

จากภาพที่ 22 ระบบทดสอบที่ใช้ประกอบด้วยฝั่งแลนไร้สายและฝั่งบลูทูธ โดยฝั่งเครือข่ายแลนไร้สายจะประกอบด้วย สถานีแลนไร้สาย (1) เชื่อมต่อกับสะพานเชื่อม (2) ส่วนฝั่งเครือข่ายบลูทูธพีโคเนท จะประกอบด้วยสถานีบลูทูธสเตฟ (3) และ (4) เชื่อมต่อกับสะพานเชื่อม (2) โดยสะพานเชื่อมนั้นจะประกอบด้วยการเชื่อมต่อ 2 แบบคือทั้งแลนไร้สายและบลูทูธ โดยจะทำหน้าที่เป็นเอกเซสพอยต์ทางฝั่งแลนไร้สายและทำหน้าที่เป็นบลูทูธมาสเตอร์ทางฝั่งบลูทูธ ซึ่งสะพานเชื่อมในการทดลองจะเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับการทดลองที่ 3 และเป็นอุปกรณ์เอกเซสพอยต์ สำหรับการทดลองที่ 4 ซึ่งการวัดผลจะเปรียบเทียบระหว่างการทำงานของระบบแบบมาตรฐานตาม โพรโตคอลมาตรฐานเทียบกับการทำงานแบบเพิ่มส่วนการจัดการในสะพานเชื่อม โดยจะวัดผลเปรียบเทียบในค่าตัวแปรต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. แบนด์วิดท์ (Bandwidth) คือจำนวนข้อมูลที่ผ่าน ณ จุดหนึ่งต่อหน่วยเวลา
2. เวลารอระหว่างแพคเกจ (Inter-packet Time) คือค่าระยะห่างของเวลาที่ข้อมูลแต่ละแพคเกจเดินทางมาถึงยังสถานีปลายทาง โดยคำนวณได้จาก สมการที่ 1

$$t_n = \tau_n - \tau_{n-1} \quad (1)$$

เมื่อ t_n = เวลาของระหว่างแพคเกจของแพคเกจตัวที่ n

τ_n = เวลาที่ได้รับแพคเกจตัวที่ n

τ_{n-1} = เวลาที่ได้รับแพคเกจตัวก่อนหน้า n

3. ความยาวแถวคอย (Queue Length) คือจำนวนแพคเกจที่รออยู่ในแถวคอยในช่วงเวลาหนึ่ง

4. ร้อยละของจำนวนแพคเกจที่สูญหาย (Packet loss) คือ ร้อยละค่าผลต่างของจำนวนแพคเกจที่สถานีต้นทางส่งออกไปกับจำนวนแพคเกจที่สถานีปลายทางได้รับ คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละต่อแพคเกจที่ส่งจากต้นทางทั้งหมด โดยคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$\% \text{ Packet loss} = \frac{(\text{Num. of sending packets} - \text{Num. of receiving packets}) * 100}{\text{Num. of sending packets}} \quad (2)$$

เมื่อ $\% \text{ Packet loss}$ = ร้อยละของจำนวนแพคเกจที่สูญหาย

Num. of sending packets = จำนวนแพคเกจที่สถานีต้นทางส่ง

Num. of receiving packets = จำนวนแพคเกจที่สถานีปลายทางได้รับ

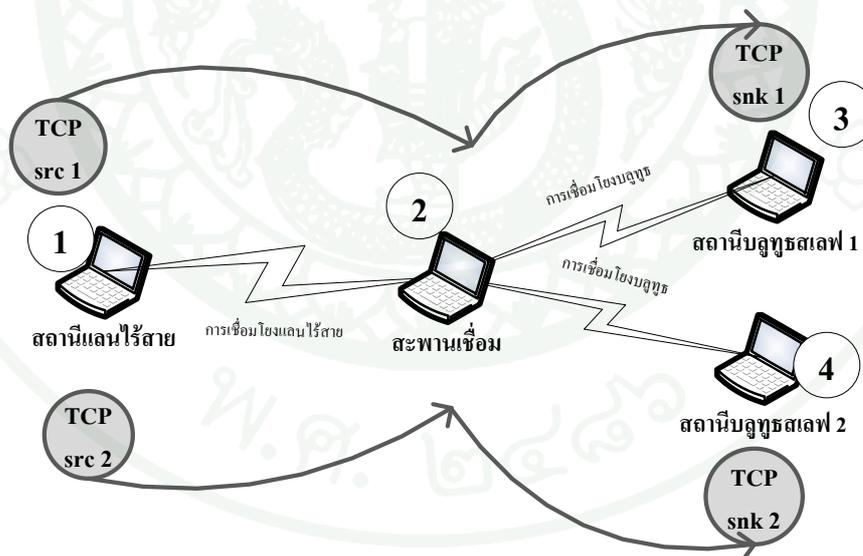
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการทดลองทั้งหมด 4 การทดลองคือ 1) เพื่อศึกษาผลกระทบต่อแบนด์วิดท์ที่มีผลมาจากการปรับอัตราส่วนเวลาของการ Park:Active โดยปรับอัตราส่วนเวลาของการหยุดนิ่งและทำงาน แบบต่างๆกัน เพื่อดูผลกระทบที่มีต่อแบนด์วิดท์ที่สถานีปลายทางได้รับ 2) การทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของการปรับขนาดแพคเกจเพื่อศึกษาผลต่อแบนด์วิดท์เมื่อทำการปรับขนาดแพคเกจให้ต่างขนาดกัน 3) การทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบต่อแบนด์วิดท์ ค่าเวลารอระหว่างแพคเกจ และ ค่าปริมาณงานรวม ของการใช้วิธีการปรับอัตราส่วนเวลาของการหยุดนิ่งและทำงาน โดยตัดสินใจจากค่าความยาวแถวคอย และสุดท้าย 4) การทดลองวิธีการที่นำเสนอโดยเปลี่ยนสะพานเชื่อมเป็นอุปกรณ์ไร้เสถมัลติฟังก์ชันเราเตอร์ (Wireless Multi-function Router) โดยการทดลองทั้งสี่ที่กล่าวมามีรายละเอียดดังนี้

1. การทดลองที่ 1 เพื่อศึกษาผลกระทบต่อบรรทัดวัดที่มีผลมาจากการปรับอัตราส่วนเวลาของการหยุดนิ่งและทำงาน

การทดลองนี้ทดลองส่งข้อมูลจากฝั่งเครือข่ายแลนไร้สายข้ามไปยังฝั่งบลูทูธพีโคเนทโดยปรับอัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงานเป็นค่าต่างๆ กัน ใช้โปรแกรมไอเพิร์ฟ (iperf) ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับใช้ทดสอบวัดประสิทธิภาพของเครือข่ายในการส่งข้อมูล โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการปรับอัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงานที่แตกต่างกันจะมีผลต่อค่าบรรทัดวัดอย่างไร

1.1 วิธีการวัดผลและการตั้งค่าเริ่มต้นของการทดลองที่ 1

ส่งข้อมูลแบบไม่ไวต่อค่าหน่วยเวลา โดยใช้การเชื่อมโยงแบบทีซีพี จำนวน 2 การเชื่อมโยง โดยส่งจากสถานีแลนไร้สาย (1) ผ่านสะพานเชื่อม (2) ไปยังสถานีบลูทูธปลายทาง (3) และ (4) ดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 รูปแบบเครือข่ายในการทดลองที่ 1

ในการทำงานของเครือข่ายแบบผสมบลูทูธและแลนไร้สาย เมื่อข้อมูลถูกส่งมาจากสถานีแลนไร้สาย (1) ผ่านทางการเชื่อมต่อแบบแลนไร้สายเข้ามายังสะพานเชื่อม (2) สะพานเชื่อมจะส่งต่อออกไปทางบลูทูธมาสเตอร์ เพื่อส่งต่อไปยังบลูทูธสเตฟปลายทางทั้งสองนั้น ใน

โพรโตคอลมาตรฐาน บลูทูธมาสเตอร์จะผลักดันส่งข้อมูลออกไปยังบลูทูธสเลฟทั้งสองโดยไม่มี การจัดลำดับชั้นความสำคัญใดๆ เราจะไม่สามารถควบคุมการเข้าใช้สื่อของบลูทูธสเลฟได้ ดังนั้นใน วิทยานิพนธ์นี้จึงได้เสนอ การจัดการเข้าใช้สื่อโดยการปรับอัตราส่วนเวลาของการหยุดนิ่งและ ทำงาน โดยจะใช้วิธีการนี้ในการหยุดนิ่งสถานี BTS2 (4) เพื่อสังเกตผลกระทบต่อแบนด์วิดท์ที่ สถานีบลูทูธสเลฟแต่ละสถานีจะได้รับ โดยทำการทดลองทั้งหมดเป็นจำนวน 5 รอบ แต่ละรอบ ทดลองเป็นเวลา 100 วินาที วัดผลแบนด์วิดท์ที่ได้รับ โดยตัวแปรที่ใช้การทดลองที่ 1 เป็นดังตาราง ที่ 4 และมีค่าอัตราส่วนการหยุดนิ่งและทำงาน เป็นดังตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ค่าตัวแปรสำหรับการส่งข้อมูลที่ใช้การทดลองที่ 1

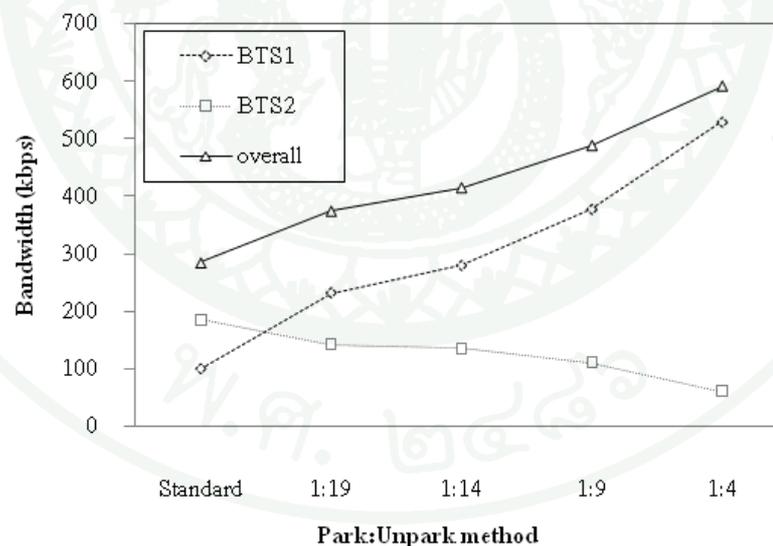
ตัวแปร	การเชื่อมโยงที่ 1	การเชื่อมโยงที่ 2
สถานีต้นทาง	สถานีหมายเลข 1	สถานีหมายเลข 1
สถานีปลายทาง	สถานีหมายเลข 3	สถานีหมายเลข 4
ชนิดการเชื่อมโยง	TCP	TCP
ขนาดของแพคเกจ (ไบต์)	1,514	1,514
เวลาในการทดลอง (วินาที)	100	100
อัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่ง และทำงาน (วินาที)	แบบโพรโตคอล มาตรฐาน	แบบ 1:4 , 1:9, 1:14, 1:19 และแบบโพรโตคอลมาตรฐาน

ตารางที่ 5 รายละเอียดอัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงานของการทดลองที่ 1

อัตราส่วนการหยุดนิ่งและทำงาน	เวลาในการหยุดนิ่ง (วินาที)	เวลาในการทำงาน (วินาที)
แบบ 1:4	1	4
แบบ 1:9	1	9
แบบ 1:14	1	14
แบบ 1:19	1	19
แบบโพรโตคอลมาตรฐาน	0	ตลอดเวลา

1.2 ผลการทดลองที่ 1

เมื่อพิจารณาภาพที่ 24 เส้นกราฟแบนด์วิดท์ของสถานี BTS1 มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับของอัตราส่วนเวลาการทำงาน (ทำงานตลอดเวลา, 19, 14, 9 และ 4 ตามลำดับ) โดยจะได้รับค่าแบนด์วิดท์สูงสุดคือ 530.4 กิโลบิตต่อวินาที จากการใช้วิธีการปรับอัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงานแบบ 1:4 เพราะแบบ 1:4 นี้สถานี BTS2 หยุดการส่งข้อมูลบ่อยครั้งที่สุด ดังนั้นจึงทำให้สถานี BTS1 ได้เข้าใช้สื่อเป็นเวลามากขึ้น โดยค่าแบนด์วิดท์ที่สถานี BTS1 ได้รับจะมีค่าลดลงเมื่อใช้วิธีการปรับอัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงานแบบ 1:9, แบบ 1:14, แบบ 1:19 และได้รับแบนด์วิดท์ต่ำที่สุดเมื่อใช้วิธีการแบบ โพรโตคอลมาตรฐานคือ 99.82 กิโลบิตต่อวินาที เมื่อพิจารณาจากเส้นกราฟแบนด์วิดท์รวมของระบบ (overall) พบว่า ค่าแบนด์วิดท์รวมของระบบ เมื่อใช้วิธีการแบบ 1:4 ก็ให้ค่าที่สูงสุดที่ 591.7 กิโลบิตต่อวินาทีเช่นกัน แต่ทั้งนี้ต้องแลกด้วยแบนด์วิดท์ที่ลดลงของ BTS2 โดยเพื่อพิจารณาจากเส้นกราฟ BTS2 พบว่าแนวโน้มลดลงของแบนด์วิดท์ที่ได้รับจะสวนทางกับ BTS1 โดยวิธีการมาตรฐานจะได้รับแบนด์วิดท์สูงที่สุดเท่ากับ 185.4 กิโลบิตต่อวินาทีและได้รับแบนด์วิดท์ต่ำที่สุดเมื่อใช้วิธีการแบบ 1:4 ซึ่งเท่ากับ 61.3 กิโลบิตต่อวินาที



ภาพที่ 24 แบนด์วิดท์ที่บิตูทูลสเลฟได้รับจากการใช้งานวิธีการกำหนดอัตราส่วนเวลา การหยุดนิ่ง และทำงานแบบต่างๆ (ขนาดแพคเกจ=1,514 ไบต์)

และเมื่อพิจารณากราฟผลการทดลอง ณ จุดที่ใช้โพรโทคอลแบบมาตรฐาน (Standard) พบว่าสถานีบลูทูธสเตฟปลายทางทั้ง 2 สถานีไม่ได้แบ่งกันใช้แบนด์วิดท์เป็นจำนวนเท่าๆกัน แต่สถานี BTS2 นั้นจะได้รับแบนด์วิดท์มากกว่า ทั้งนี้เป็นเพราะการแย่งเข้าใช้งานสื่อโดยไม่มีกระบวนการอาจทำให้เกิดการแบ่งการใช้งานสื่อไม่เท่ากัน

1.3 สรุปผลการทดลองที่ 1

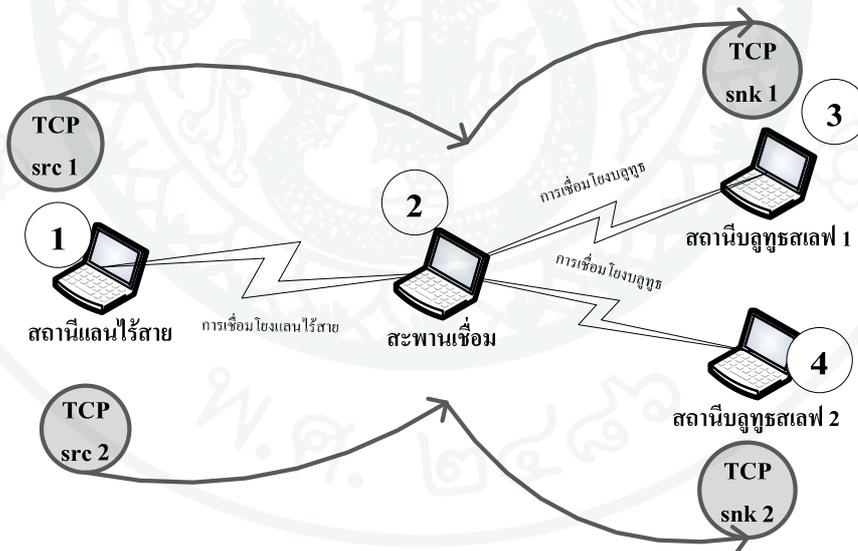
จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้วิธีการปรับอัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงานที่เสนอ ในทุกรูปแบบอัตราส่วน จะสามารถจัดการแบนด์วิดท์ของด้านฝั่งบลูทูธตามความต้องการ โดยถ้าต้องการให้สถานีบลูทูธใดได้รับแบนด์วิดท์มากหรือน้อยจะสามารถทำได้โดยการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงานของสถานีบลูทูธอีกสถานี แต่ทั้งนี้ต้องแลกด้วยการลดลงของแบนด์วิดท์ของสถานีบลูทูธอื่นๆ จากกราฟแสดงให้เห็นว่าการลดลงของแบนด์วิดท์ที่ BTS2 ลดลงด้วยความชันที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับการเพิ่มขึ้นของแบนด์วิดท์ที่ BTS1 ดังนั้นวิธีการนี้จึงมีผลให้แบนด์วิดท์รวมของระบบมีค่าเพิ่มขึ้น

2. การทดลองที่ 2 เพื่อศึกษาผลกระทบของการปรับขนาดแพคเกจ

การทดลองนี้จะทดลองส่งข้อมูลจากฝั่งเครือข่ายแลนไร้สายเข้าไปยังฝั่งบลูทูธพีโคเนท โดยทดลองปรับอัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงานและใช้โปรแกรมไอเพิฟ (iperf) เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 แต่เพิ่มการปรับขนาดแพคเกจของข้อมูลที่ส่งออกจากสถานีต้นทางแบบขนาดต่างๆ กัน วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการปรับขนาดแพคเกจนี้ จะส่งผลต่อค่าแบนด์วิดท์ที่ได้จากการปรับอัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและการทำงานอย่างไร

2.1 วิธีการวัดผลและการตั้งค่าเริ่มต้นของการทดลองที่ 2

ส่งข้อมูลแบบไม่ไวต่อค่าหน่วงเวลา โดยการใช้การเชื่อมโยงแบบทีซีพีจำนวน 2 การเชื่อมโยง โดยส่งจากสถานีแลนไร้สาย (1) ผ่านสะพานเชื่อม (2) ไปยังสถานีบลูทูธปลายทาง (3) และ (4) ดังภาพที่ 25 โดยมีการปรับขนาดแพคเกจหรือเอ็มทียูให้มีขนาดต่างๆ กัน ตั้งแต่ขนาด 128, 256, 512, 1024 และ 1514 ไบต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 25 รูปแบบเครือข่ายในการทดลองที่ 2

การทดลองนี้จะปรับการทำงานของวิธีการปรับอัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงาน เหมือนกับการทดลองที่ 1 แต่จะเพิ่มการปรับขนาดของแพคเกจเพื่อศึกษาผลกระทบที่ต่อการใช้งาน วิธีการที่นำเสนอโดยค่าตัวแปรเริ่มต้นสำหรับการทดลองที่ 2 เป็นดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าตัวแปรสำหรับการส่งข้อมูลที่ใช้การทดลองที่ 2

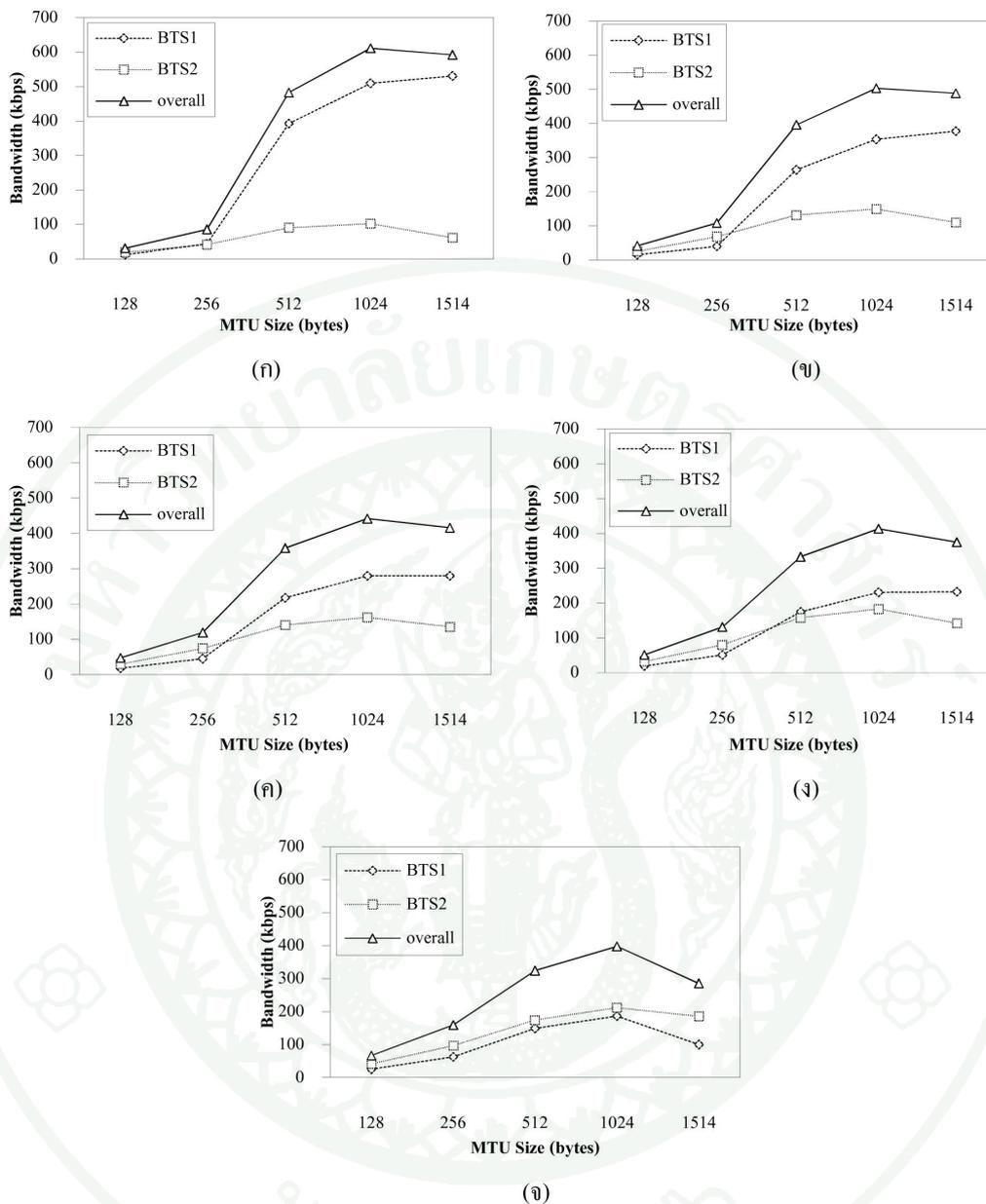
ตัวแปร	การเชื่อมโยงที่ 1	การเชื่อมโยงที่ 2
สถานีต้นทาง	สถานีหมายเลข 1	สถานีหมายเลข 1
สถานีปลายทาง	สถานีหมายเลข 3	สถานีหมายเลข 4
ชนิดการเชื่อมโยง	TCP	TCP
ขนาดของแพคเกจ (ไบต์)	128, 256, 512, 1024, 1514	128, 256, 512, 1024, 1514
เวลาในการทดลอง (วินาที)	100	100
อัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงาน (วินาที)	แบบ โพรโตคอลมาตรฐาน	แบบ 1:4, 1:9, 1:14, 1:19 และ แบบ โพรโตคอลมาตรฐาน

2.2 ผลการทดลองที่ 2

จากภาพที่ 26 คือผลการทดลองการปรับขนาดแพคเกจแบบต่างๆ ตั้งแต่ 128, 256, 512, 1024, 1514 ไบต์ตามลำดับ พบว่าสถานีบลูทูธ BTS1 จะได้รับค่าแบนด์วิดท์สูงสุดที่ค่าขนาดแพคเกจเป็น 1,514 ไบต์ ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อขนาดแพคเกจที่ใช้ส่งมีขนาดใหญ่ จะสามารถใส่ข้อมูลได้มากที่สุดต่อการส่งออกไป 1 แพคเกจ นอกจากนี้ที่นำเสนอจะเห็นผลการเพิ่มขึ้นของแบนด์วิดท์ที่ BTS1 ได้รับอย่างชัดเจนเมื่อขนาดแพคเกจมีขนาดใหญ่ (512, 1024 และ 1514 ไบต์) ไม่ว่าจะใช้อัตราส่วนแบบใด แต่สำหรับการส่งข้อมูลด้วยขนาดแพคเกจขนาดเล็ก (128 และ 256 ไบต์) จะเห็นผลการเปลี่ยนแปลงของแบนด์วิดท์ที่ได้รับเพียงเล็กน้อยหรือแทบไม่เปลี่ยนแปลง ดังภาพที่ 26 (ก,ข,ค และ ง) ยกเว้นผลการทดลองในรูปที่ 4.5 (จ) เมื่อใช้วิธีการแบบ โพรโตคอลมาตรฐาน ปล่อยให้บลูทูธสเลฟแย่งกันส่งข้อมูลทำให้ไม่สามารถควบคุมการใช้แบนด์วิดท์ได้ ส่งผลให้ค่าแบนด์วิดท์ที่ BTS1 ได้รับมีค่าลดลง

2.3 สรุปผลการทดลองที่ 2

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถใช้งานแล้วเห็นผลการทดลองในด้านแบนด์วิดท์ที่เพิ่มขึ้นชัดเจนสำหรับแพคเกจขนาดใหญ่ (512, 1024 และ 1514 ไบต์) แต่สำหรับแพคเกจขนาดเล็ก (128 และ 256 ไบต์) อาจไม่เห็นผลค่าแบนด์วิดท์ที่ได้รับเพิ่มขึ้นเท่าไร



ภาพที่ 26 เบนด์วิดท์ที่ BTS1 และ BTS2 ได้รับเมื่อขนาดแพคเกจแตกต่างกัน เมื่อใช้งานวิธีการ กำหนดอัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงาน (ก) แบบ 1:4 (ข) แบบ 1:9 (ค) แบบ 1:14 (ง) แบบ 1:19 และ (จ) แบบโปรโตคอลมาตรฐาน

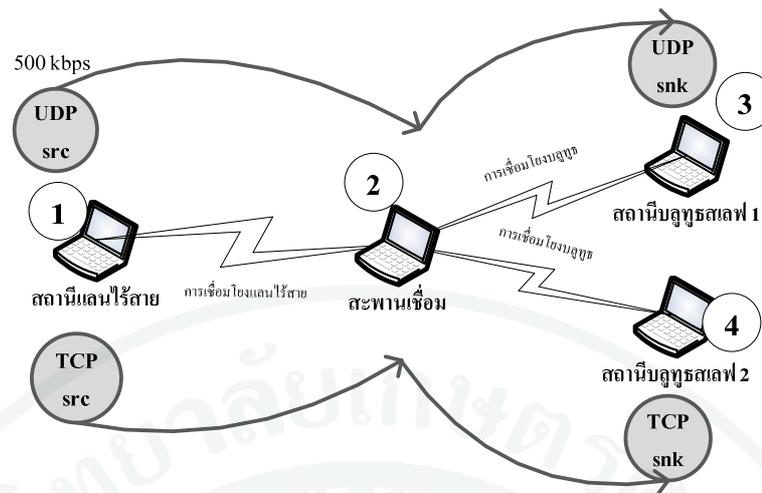
3. การทดลองที่ 3 เพื่อศึกษาผลกระทบต่อบรรณคดีวิทย์ ความยาวแถวคอย เวลารอระหว่างแพคเกจ และร้อยละของแพคเกจที่สูญหาย ของการใช้วิธีการปรับอัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงาน โดยตัดสินใจจากค่าความยาวแถวคอย โดยใช้สะพานเชื่อมเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์

จากผลการทดลองที่ 1 และ 2 ได้แสดงให้เห็นว่าการใช้งานวิธีการปรับอัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงาน ทำให้สามารถควบคุมเวลาการเข้าใช้สื่อของสถานีบลูทูธสเตฟได้ ซึ่งส่งผลให้สามารถควบคุมการใช้แบนด์วิทย์ของสถานีบลูทูธสเตฟได้ ดังนั้นในการทดลองที่ 3 จะออกแบบระบบให้บลูทูธสเตฟเข้าใช้แบนด์วิทย์อย่างเหมาะสมยิ่งขึ้น โดยใช้วิธีการปรับอัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงาน โดยตัดสินใจจากค่าความยาวแถวคอยภายในสะพานเชื่อม โดยสนใจที่ความยาวแถวคอยของการเชื่อมโยงแบบยูดีพี ซึ่งวัตถุประสงค์ของการทดลองที่ 3 คือเพื่อทดสอบวิธีการที่นำเสนอมีผลทำให้การเข้าใช้สื่อของสถานีบลูทูธสเตฟปลายทางได้มีประสิทธิภาพมากขึ้นเท่าไร โดยจะวัดผลค่าตัวแปรต่างๆ คือ บรรณคดีวิทย์ เวลารอระหว่างแพคเกจ ค่าความยาวแถวคอย และร้อยละของแพคเกจที่สูญหาย เทียบกับการทำงานโดยใช้โพรโตคอลแบบมาตรฐาน

3.1 วิธีการวัดผลและการตั้งค่าเริ่มต้นของการทดลองที่ 3

รูปแบบเครือข่ายที่ใช้ในการทดลองเป็นดังภาพที่ 27 โดยส่งข้อมูลจำนวน 2 การเชื่อมโยงคือ การเชื่อมโยงที่ 1) ส่งข้อมูลโดยการเชื่อมโยงแบบยูดีพี โดยส่งจากสถานีแลนไร้สายต้นทาง (1) ผ่านสะพานเชื่อม (2) ส่งต่อไปยังสถานีบลูทูธสเตฟ 1 (3) โดยที่สถานีต้นทางจะส่งข้อมูลชนิดซีบีอาร์ด้วยอัตราบิตคงที่ที่ 500 กิโลบิตต่อวินาที และ การเชื่อมโยงที่ 2) ส่งข้อมูลโดยการเชื่อมโยงแบบทีซีพี ส่งจากสถานีแลนไร้สาย (1) เช่นกัน ผ่านสะพานเชื่อม (2) ต่อไปยังสถานีบลูทูธสเตฟ 2 (4) โดยในการทดลองที่ 3 จะใช้สะพานเชื่อมเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์

วิธีการที่นำเสนอจะใช้การปรับอัตราส่วนการหยุดนิ่งและทำงานกับบลูทูธสเตฟ 2 ซึ่งทำงานแบบไม่ใช้เวลาจริง ใช้ขั้นตอนวิธีการในการตัดสินใจเป็นดังผังงานในภาพที่ 21 (ในบทวิธีการ) ซึ่งอัตราส่วนการหยุดนิ่งและทำงานจะเปลี่ยนไปตามความยาวแถวคอยในขณะนั้น เพื่อให้อัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและการทำงานเหมาะสมกับสภาพเครือข่ายในขณะนั้น



ภาพที่ 27 รูปแบบเครือข่ายในการทดลองที่ 3

การตั้งค่าตัวแปรเริ่มต้นสำหรับการส่งข้อมูลจะเป็นดังตารางที่ 7 โดยการเชื่อมโยงที่ 1 จะเป็นแบบยูดีพีและมีค่าขนาดแพคเกจเท่ากับ 1,512 ไบต์ และส่งข้อมูลด้วยอัตราบิตคงที่ 500 กิโลบิตต่อวินาที ส่วนการเชื่อมโยงที่ 2 เป็นการเชื่อมโยงทีซีพี ค่าขนาดแพคเกจเท่ากับ 1,514 ไบต์ ทั้งสองการเชื่อมโยงทดลองเป็นจำนวน 10 รอบแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย แต่ละรอบทดลองเป็นเวลา 100 วินาที และใช้วิธีการปรับอัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงานกับสถานีปลายทางของการเชื่อมโยงที่ 2 เท่านั้นสำหรับการเชื่อมโยงที่ 1 ปล่อยให้ทำงานตามปกติ

ตารางที่ 7 ค่าตัวแปรสำหรับการส่งข้อมูลที่ใช้การทดลองที่ 3

ตัวแปร	การเชื่อมโยงที่ 1	การเชื่อมโยงที่ 2
สถานีต้นทาง	สถานีหมายเลข 1	สถานีหมายเลข 1
สถานีปลายทาง	สถานีหมายเลข 3	สถานีหมายเลข 4
ชนิดการเชื่อมโยง	UDP	TCP
อัตราบิต (กิโลบิตต่อวินาที)	500	-
ขนาดของแพคเกจ (ไบต์)	1,512	1,514
เวลาในการทดลอง (วินาที)	100	100
อัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงาน (วินาที)	โพรโตคอลมาตรฐาน	ขั้นตอนวิธีการตัดสินใจหยุดนิ่งและทำงาน จากความยาวแถวคอย

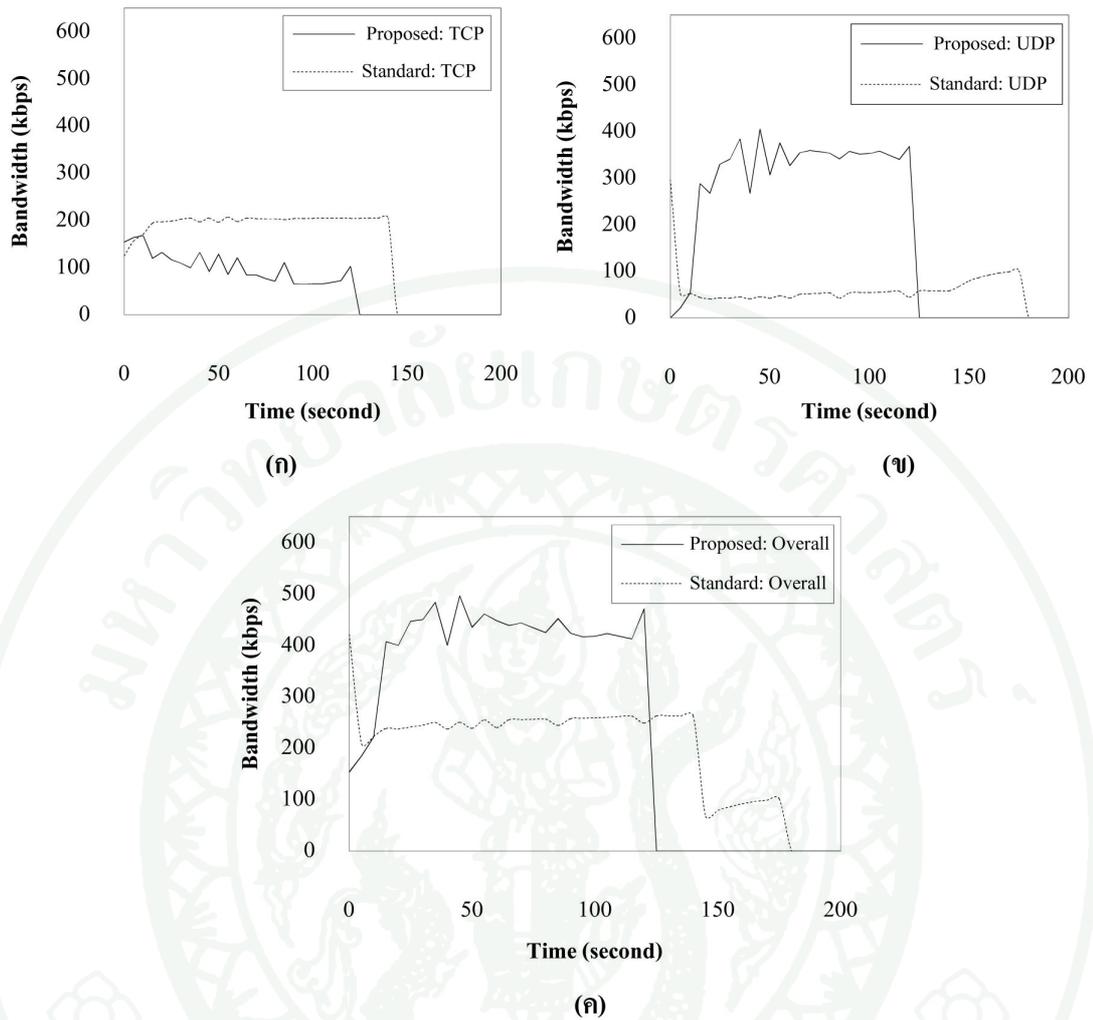
3.2 ผลการทดลองที่ 3

การทดลองที่ 3 จะพิจารณาผลการทดลองในค่าตัวแปรดังนี้ 1) แบนด์วิดท์ที่สถานีปลายทางได้รับ 2) ความยาวแถวคอยภายในสะพานเชื่อมของแต่ละการเชื่อมโยง 3) เวลารอระหว่างแพคเกจของการเชื่อมโยงแบบยูดีพี 4) ร้อยจำนวนแพคเกจที่สูญหายของการเชื่อมโยงแบบยูดีพี

3.2.1 ค่าแบนด์วิดท์ที่สถานีปลายทางได้รับ

สำหรับตัวแปรแรกที่พิจารณา คือ แบนด์วิดท์ที่สถานีปลายทางได้รับ จะสนใจพิจารณาขนาดแบนด์วิดท์ที่สถานีปลายทางได้รับตลอดเวลาการทดลอง 100 วินาทีของการทดลองรอบที่ 1 (ภาพที่ 28) และขนาดแบนด์วิดท์เฉลี่ยจากการทดลองจำนวน 10 รอบ (ภาพที่ 29)

จากภาพที่ 28 เป็นผลการทดลองรอบที่ 1 กราฟ แสดงแบนด์วิดท์ที่สถานีปลายทางได้รับ เทียบกับเวลาตลอดการทดลอง 100 วินาที แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอ แบนด์วิดท์ของสถานี BTS1 (Proposed: UDP ในภาพที่ 29 ข) จะมีค่าสูงขึ้นมาก (ประมาณ 350 กิโลบิตต่อวินาที) เมื่อเทียบกับเมื่อใช้วิธีการแบบ โพรโตคอลมาตรฐาน (Standard: UDP ในภาพที่ 29 ข) ซึ่งได้รับแบนด์วิดท์ต่ำ (ประมาณ 50 กิโลบิตต่อวินาที) แต่ทั้งนี้ต้องแลกด้วยการที่สถานี BTS2 ที่เชื่อมโยงแบบทีซีพีได้รับแบนด์วิดท์ที่ต่ำลงจากประมาณ 200 กิโลบิตต่อวินาที (Standard: TCP ในภาพที่ 29 ก) จะเหลือประมาณ 60 กิโลบิตต่อวินาที (Proposed: TCP ในภาพที่ 29 ก) แต่เมื่อพิจารณาที่เส้นกราฟผลรวมแบนด์วิดท์ของระบบเมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอ แบนด์วิดท์รวมของระบบที่ได้มีค่าสูงขึ้นจากค่าที่ได้รับประมาณ 220 กิโลบิตต่อวินาที (Standard: Overall ในภาพที่ 29 ค) เป็นประมาณ 420 กิโลบิตต่อวินาที (Proposed: Overall ในภาพที่ 29 ค)

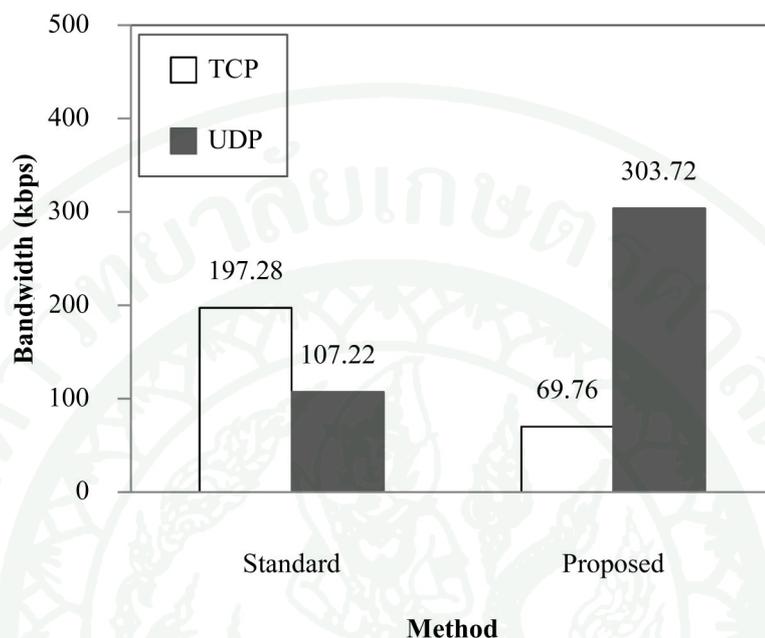


ภาพที่ 28 แบนด์วิดท์ที่สถานีปลายทางได้รับของการทดลองที่ 3, รอบที่ 1 เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอ เปรียบเทียบกับ โพรโตคอลมาตรฐาน (ก) ทีซีพี (ข) ยูดีพี (ค) รวม

ตัวแปรต่อมาคือค่าแบนด์วิดท์เฉลี่ยที่สถานีปลายทางได้รับ ซึ่งคิดจากค่าที่ได้จากการทดลองทั้งหมด 10 รอบแล้วนำมาคิดเป็นค่าเฉลี่ย โดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอ กับวิธีการโพรโตคอลมาตรฐาน

จากภาพที่ 29 คือแผนภูมิแท่งของแบนด์วิดท์เฉลี่ยเมื่อทำการทดลองครบทั้ง 10 รอบ พบว่าสำหรับการเชื่อมโยงแบบยูดีพีที่ใช้วิธีการที่นำเสนอ (Proposed) ค่าแบนด์วิดท์เฉลี่ยที่ได้คือ 303.72 กิโลบิตต่อวินาที เทียบกับการใช้โพรโตคอลมาตรฐาน (Standard) ที่ได้รับแบนด์วิดท์เท่ากับ 107.22 กิโลบิตต่อวินาที คิดเป็นเพิ่มขึ้นประมาณ 183% แต่จะต้องแลกด้วยแบนด์วิดท์ของ

การเชื่อมโยงแบบทีซีพีที่ได้รับลดลงจาก 197.28 กิโลบิตต่อวินาที เหลือ 69.76 กิโลบิตต่อวินาที คิดเป็นลดลงประมาณ 64%



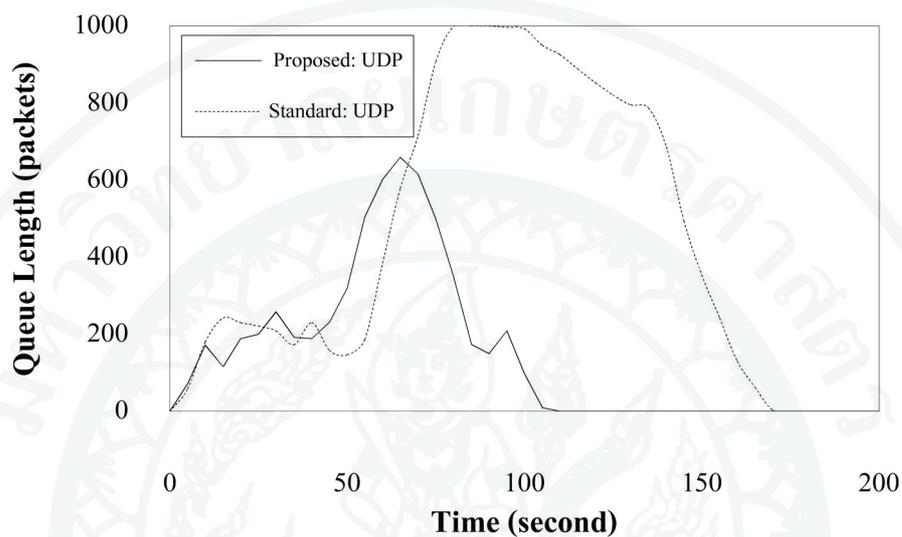
ภาพที่ 29 แบนด์วิดท์เฉลี่ยที่สถานีปลายทางได้รับของการทดลองที่ 3 เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับ โพรโตคอลมาตรฐาน

3.2.2 ค่าความยาวแถวคอย

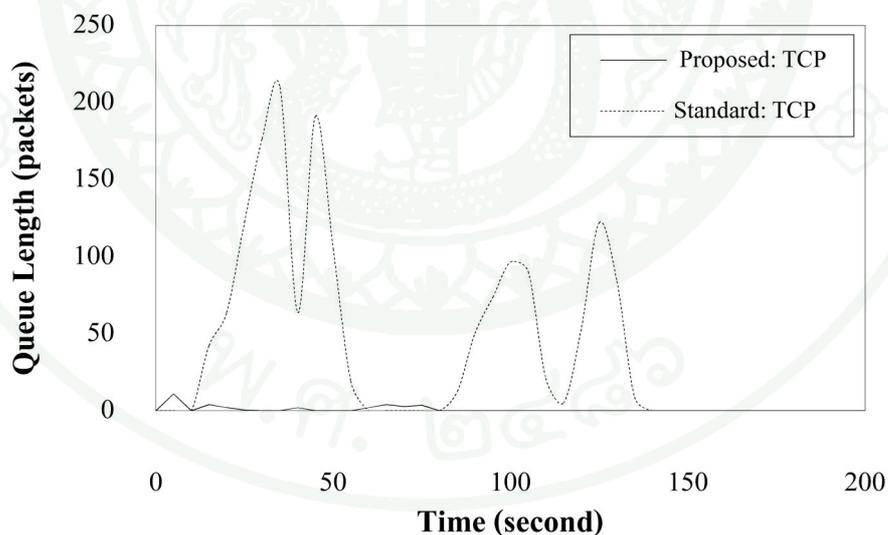
สำหรับตัวแปรต่อมาที่พิจารณาคือ ความยาวแถวคอยของการเชื่อมโยงแบบต่างๆ ภายในสะพานเชื่อม จะสนใจพิจารณาความยาวแถวคอย ตลอดเวลาการทดลอง 100 วินาที (ภาพที่ 30) และ ความยาวแถวคอยเฉลี่ยจากการทดลองเป็นจำนวน 10 รอบ (ภาพที่ 31)

เมื่อพิจารณาภาพที่ 30 กราฟความยาวแถวคอยของการเชื่อมโยงทั้งสองแบบ ตลอดระยะเวลาในการทดลอง 100 วินาที สำหรับการทดลองรอบที่ 1 พบว่าที่วินาทีที่ 75 ของการทดลองแถวคอยของการเชื่อมโยงแบบยูดีพีที่ใช้โพรโตคอลแบบมาตรฐาน (ภาพที่ 30 ก, Standard: UDP) เต็มความจุและเกิดการสะท้อนที่แพคเกจจนถึงประมาณวินาทีที่ 100 แต่เมื่อเทียบกับแถวคอยของการเชื่อมโยงแบบยูดีพีที่ใช้วิธีการที่นำเสนอ (ภาพที่ 30 ข, Proposed: UDP) จะมีค่ามากที่สุดที่ประมาณ 680 แพคเกจ (วินาทีที่ 65) และไม่เกิดภาวะแถวคอยเต็มและสะท้อนแพคเกจเลยตลอดการ

ทดลอง เมื่อพิจารณาที่กราฟของแถวคอยของทีซีพีแบบที่ใช้วิธีการที่นำเสนอ (ภาพที่ 30, Proposed: TCP) พบว่าแทบจะไม่มีแพคเกจที่ต้องรอภายในแถวคอยเลยตลอดการทดลอง เมื่อเทียบกับ โพรโตคอลปกติแถวคอยของทีซีพีจะมีแพคเกจรออยู่บ้างบางช่วงเวลา (ภาพที่ 30 ข, Standard: TCP)



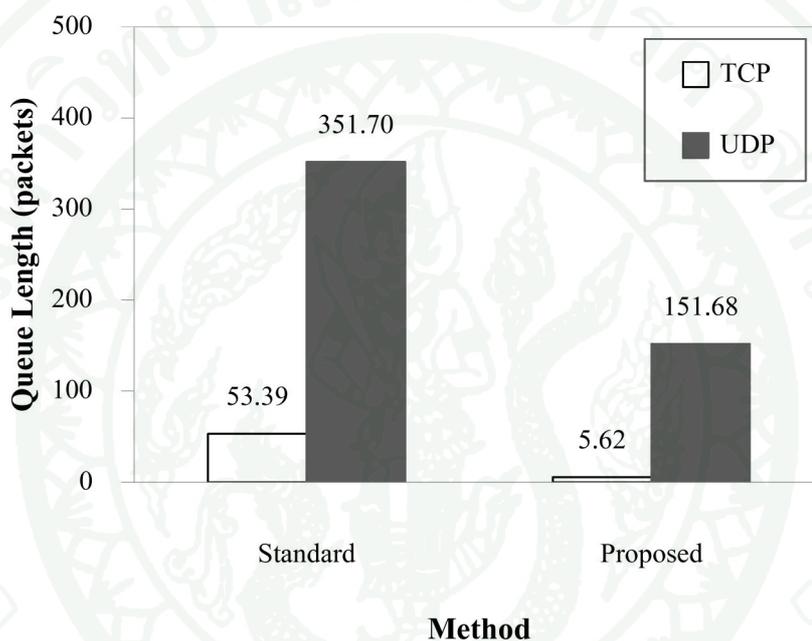
(ก)



(ข)

ภาพที่ 30 ความยาวแถวคอยของการทดลองที่ 3, รอบที่ 1 เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับ โพรโตคอลมาตรฐาน (ก) ยูดีพี (ข) ทีซีพี

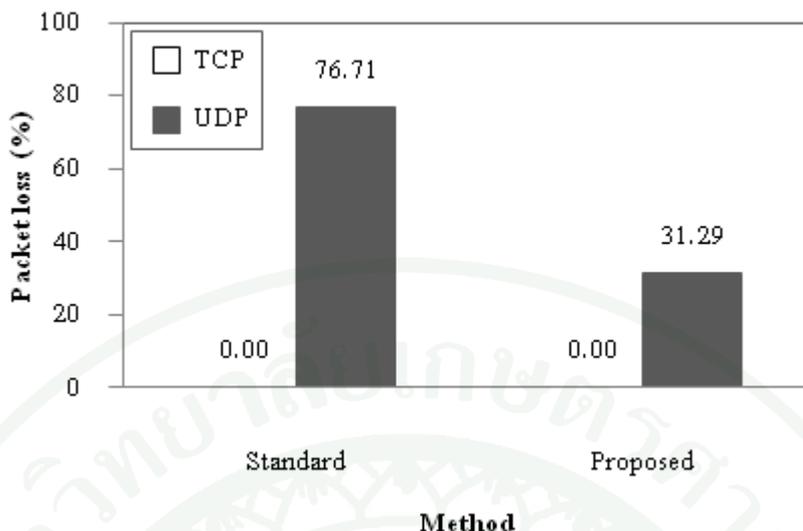
ตัวแปรถัดมาคือค่าความยาวแถวคอยเฉลี่ย จากภาพที่ 31 ความยาวแถวคอยเฉลี่ยจากการทดลองเป็นจำนวน 10 รอบพบว่าความยาวแถวคอยเฉลี่ยของการเชื่อมโยงทั้งการเชื่อมโยงแบบทีซีพีและการเชื่อมโยงยูดีพีมีค่าลดลง เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอ โดยสำหรับการเชื่อมโยงแบบยูดีพี ความยาวแถวคอยเฉลี่ยนั้นลดลงจาก 351.70 แพคเกจเหลือเพียง 151.68 แพคเกจ ซึ่งคิดเป็นลดลง 57% และสำหรับความยาวแถวคอยเฉลี่ยของการเชื่อมโยงแบบทีซีพีลดลงจากเดิม 53.39 แพคเกจเหลือ 5.62 แพคเกจ คิดเป็นลดลง 90%



ภาพที่ 31 ความยาวแถวคอยเฉลี่ยของการทดลองที่ 3 เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับโปรโตคอลมาตรฐาน

3.2.3 ค่าร้อยละจำนวนแพคเกจที่สูญหาย

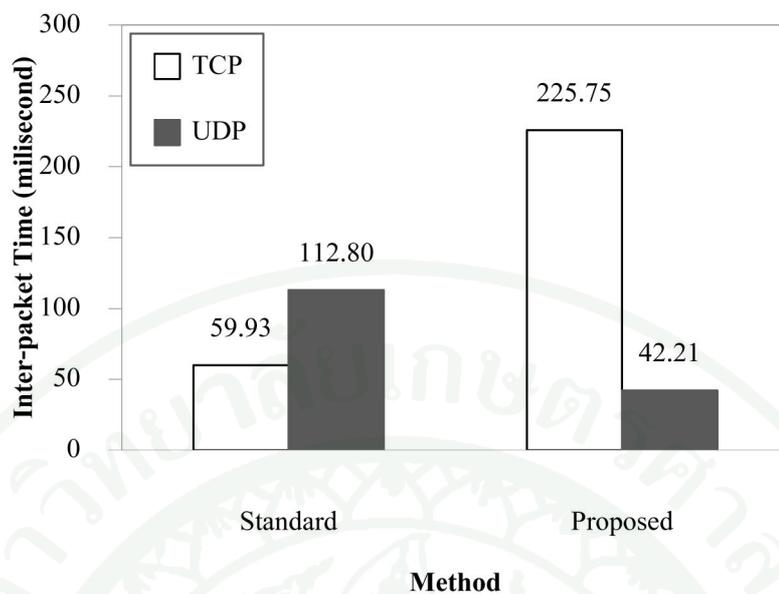
ตัวแปรต่อมาที่พิจารณาคือ ร้อยละจำนวนแพคเกจที่สูญหาย โดยพิจารณา ร้อยละจำนวนแพคเกจที่สูญหายเฉลี่ยจากการทดลองเป็นจำนวน 10 รอบ จากในภาพที่ 32 พบว่าเมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอ จำนวนแพคเกจที่สูญหายเฉลี่ยของการเชื่อมโยงแบบยูดีพีมีค่าลดลงจากเดิม มีค่าเท่ากับร้อยละ 76.71% แต่เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอลดลงเหลือเพียง 31.29% คิดเป็นลดลง 59%



ภาพที่ 32 ร้อยละของจำนวนแพคเกจที่สูญหายเฉลี่ยของการทดลองที่ 3 เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับโปรโตคอลมาตรฐาน

3.2.4 ค่าเวลารอระหว่างแพคเกจ

ตัวแปรสุดท้ายที่พิจารณาคือ ค่าเวลารอระหว่างแพคเกจ จากภาพที่ 33 เป็นกราฟผลของค่าเวลารอระหว่างแพคเกจเฉลี่ยของสถานีบลูทูธปลายทางทั้ง 2 สถานี พบว่าสำหรับสถานีบลูทูธ BTS1 ที่เชื่อมโยงแบบยูดีพี เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอ ค่าเวลารอระหว่างแพคเกจเฉลี่ยมีค่าลดลงจาก 112.8 มิลลิวินาทีเหลือ 42.21 มิลลิวินาทีซึ่งคิดเป็นลดลง 63% แต่ต้องแลกด้วยค่าเวลารอระหว่างแพคเกจเฉลี่ยของสถานีบลูทูธ BTS2 ที่เชื่อมโยงแบบทีซีพีที่เพิ่มขึ้นจาก 59.93 มิลลิวินาทีเป็น 225.75 มิลลิวินาที แต่สำหรับการเชื่อมโยงแบบทีซีพี เป็นการทำงานแบบไม่ไวต่อค่าน่วงเวลา ดังนั้นค่าเวลารอระหว่างแพคเกจที่เพิ่มขึ้นนั้นจะไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงาน เพียงแต่อาจได้รับข้อมูลช้าลงเท่านั้น



ภาพที่ 33 เวลาอระหว่างแพคเกจของการทดลองที่ 3 เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับโปรโตคอลมาตรฐาน

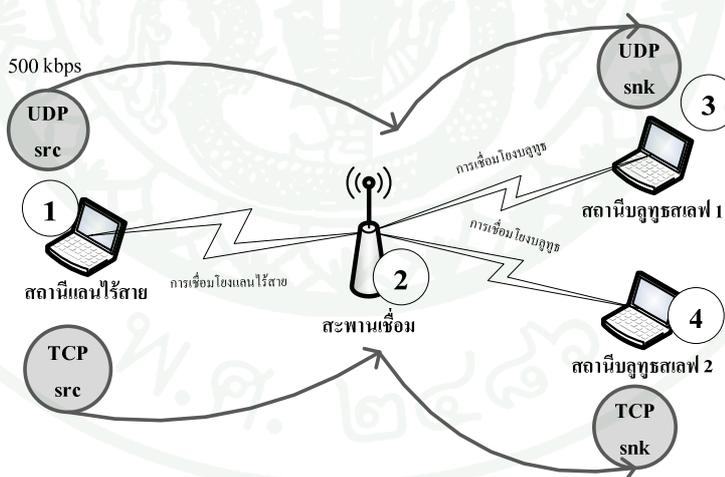
3.3 สรุปผลการทดลองที่ 3

การทดลองที่ 3 เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบต่อแบนด์วิดท์ ความยาวแถวคอย เวลาอระหว่างแพคเกจ และร้อยละของแพคเกจที่สูญหาย ของการใช้วิธีการปรับอัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงาน โดยตัดสินใจจากค่าความยาวแถวคอย โดยจะใช้สะพานเชื่อมเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ พบว่าในทุกตัวแปรที่วัดผลสำหรับการเชื่อมโยงแบบยูดีพี จะให้ผลการทดลองที่ดีขึ้น คือ ได้รับแบนด์วิดท์ที่สูงขึ้น ความยาวแถวคอยเฉลี่ยที่ลดลง เวลาอระหว่างแพคเกจที่ต่ำลง รวมถึงร้อยละของจำนวนแพคเกจที่สูญหายมีค่าลดลง ทั้งนี้ต้องแลกด้วยค่าตัวแปรของทีซีพีที่แย่ง แต่จะไม่มีผลต่อการทำงาน เพราะการเชื่อมโยงแบบทีซีพีเป็นการทำงานแบบไม่ใช้เวลาจริง ดังนั้นค่าตัวแปรต่างๆของการเชื่อมโยงแบบทีซีพีที่แย่งจะไม่มีผลต่อความหมายของข้อมูล

4. การทดลองที่ 4 เพื่อศึกษาผลกระทบต่อแบนด์วิดท์ ความยาวแถวคอย เวลารอระหว่างแพคเกจ และ ร้อยละจำนวนแพคเกจที่สูญหาย ของการใช้วิธีการปรับอัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงาน โดยตัดสติใจจากค่าความยาวแถวคอย โดยสะพานเชื่อมเป็นอุปกรณ์ไวร์เลสมีลติฟังก์ชันเราเตอร์

จากผลการทดลองที่ 3 พบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบและยังช่วยให้การเชื่อมโยงแบบยูติพีสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่ทั้งนี้ยังเป็นการทดสอบกับระบบทดสอบที่ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นสะพานเชื่อม ซึ่งในระบบเครือข่ายจริงจะไม่ใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์ให้ทำหน้าที่สะพานเชื่อม ดังนั้นการวัดผลในการทดลองที่ 4 จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบว่าวิธีการที่นำเสนอ สามารถนำมาใช้บนเครือข่ายไร้สายที่ใช้สะพานเชื่อมเป็นอุปกรณ์ไวร์เลสมีลติฟังก์ชันเราเตอร์ แทนการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งถูกออกแบบให้ใช้งานสำหรับเครือข่ายโดยเฉพาะ เพื่อศึกษาผลกระทบต่อดัชนีแปรแบบเดียวกับการทดลองที่ 3 คือ ค่าแบนด์วิดท์ที่สถานีปลายทางได้รับ ค่าความยาวแถวคอย ค่าเวลารอระหว่างแพคเกจ และค่าร้อยละจำนวนแพคเกจที่สูญหาย

4.1 วิธีการวัดผลและการตั้งค่าเริ่มต้นของการทดลองที่ 4



ภาพที่ 34 รูปแบบเครือข่ายการทดลองที่ 4

รูปแบบเครือข่ายที่ใช้ในการทดลองเป็นดังภาพที่ 34 โดยส่งข้อมูลจำนวน 2 การเชื่อมโยงเหมือนในการทดลองที่ 3 คือ 1) ส่งข้อมูลโดยการเชื่อมโยงแบบยูติพี โดยส่งจากสถานีแลนไร้สายต้นทาง (1) ผ่านสะพานเชื่อม (2) ส่งต่อไปยังสถานีบลูทูธสเตฟ BTS1 (3) โดยที่สถานี

ต้นทางจะส่งข้อมูลชนิดซีบีอาร์ด้วยอัตราบิตคงที่ที่ 500 กิโลบิตต่อวินาที และ การเชื่อมโยงที่ 2) ส่งข้อมูล โดยการเชื่อมโยงแบบทีซีพี ส่งจากสถานีแลนไร้สาย (1) เช่นกัน ผ่านสะพานเชื่อม (2) ต่อไปยังสถานีบลูทูธสเลฟ BTS2 (4) โดยในการทดลองจะใช้วิธีการที่นำเสนอจะใช้ขั้นตอนวิธีการปรับอัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงานเช่นเดียวกันกับการทดลองที่ 3 ดังผังงานในภาพที่ 21 นอกจากนี้การตั้งค่าตัวแปรเริ่มต้นจะทำเช่นเดียวกันกับการทดลองที่ 3 โดยการตั้งค่าตัวแปรของการทดลองเป็นดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าตัวแปรสำหรับการส่งข้อมูลที่ใช้การทดลองที่ 4

ตัวแปร	การเชื่อมโยงที่ 1	การเชื่อมโยงที่ 2
สถานีต้นทาง	สถานีหมายเลข 1	สถานีหมายเลข 1
สถานีปลายทาง	สถานีหมายเลข 3	สถานีหมายเลข 4
ชนิดการเชื่อมโยง	UDP	TCP
อัตราบิต (กิโลบิตต่อวินาที)	500	-
ขนาดของแพคเกจ (ไบต์)	1,512	1,514
เวลาในการทดลอง (วินาที)	100	100
อัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงาน (วินาที)	แบบ โพร โดคอลมาตรฐาน	ขั้นตอนวิธีการตัดสินใจหยุดนิ่งและทำงาน จากความยาวแถวคอย

4.1 ผลการทดลองที่ 4

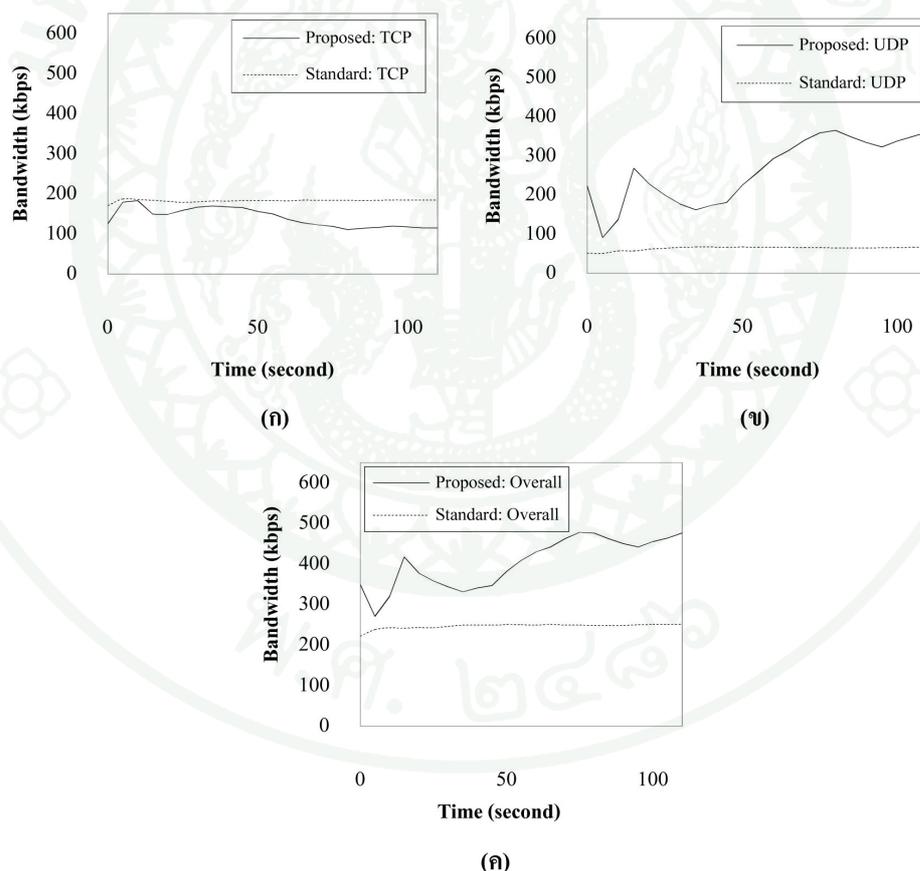
ในการทดลองที่ 4 จะพิจารณาค่าตัวแปรจากการทดลองเหมือนในการทดลองที่ 3 คือ 1) แบนด์วิดท์ที่สถานีปลายทางได้รับ 2) ความยาวแถวคอยภายในสะพานเชื่อมของแต่ละการเชื่อมโยง 3) เวลารอระหว่างแพคเกจของการเชื่อมโยงแบบยูดีพี 4) จำนวนแพคเกจที่สูญหายของการเชื่อมโยงแบบยูดีพี

4.1.1 ค่าแบนด์วิดท์ที่สถานีปลายทางได้รับ

ตัวแปรแรกที่พิจารณาคือ แบนด์วิดท์ที่สถานีปลายทางได้รับทั้งการเชื่อมโยงแบบทีซีพีและยูดีพี โดยจะเปรียบเทียบระหว่างการการใช้วิธีการแบบโพร โดคอลมาตรฐาน เทียบกับการใช้วิธีการปรับอัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงาน โดยตัดสินใจจากค่าความยาวแถวคอย

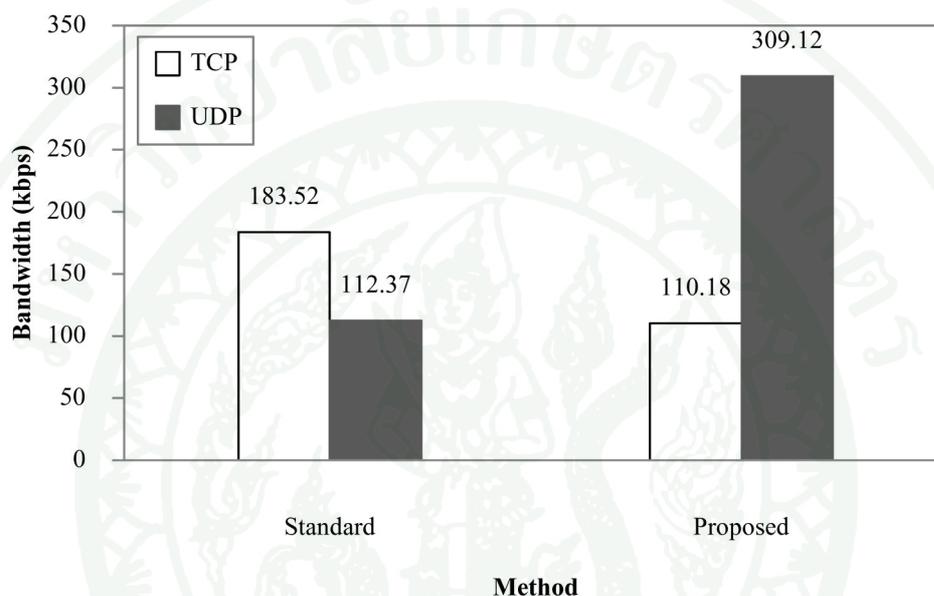
ซึ่งการสั่งหยุดนิ่ง จะทำที่สถานี BTS2 (สถานีปลายทางของการเชื่อมโยงแบบทีซีพี) เท่านั้น และ อัตราการส่วนเวลาในการหยุดนิ่งและทำงาน จะตัดสินใจจากค่าความยาวแถวคอยของการเชื่อมโยงแบบยูดีพี

ภาพที่ 35 พบว่าการใช้วิธีการที่นำเสนอจะทำให้แบนด์วิดท์ที่สถานีปลายทางของการเชื่อมโยงแบบยูดีพีได้รับสูงกว่าเดิมตลอดทั้งการทดลอง (เปรียบเทียบระหว่าง Proposed: UDP และ Standard: UDP, ภาพที่ 35 ข) แต่ต้องแลกด้วยแบนด์วิดท์ที่ลดลงของการเชื่อมโยงแบบทีซีพี (เปรียบเทียบระหว่าง Proposed: TCP และ Standard: TCP, ภาพที่ 35 ก) แต่เมื่อพิจารณาผลรวมแบนด์วิดท์ของระบบแล้วมีค่าเพิ่มขึ้น (เปรียบเทียบระหว่าง Proposed: Overall และ Standard: Overall, ภาพที่ 35 ค)



ภาพที่ 35 แบนด์วิดท์ที่สถานีปลายทางได้รับของการทดลองที่ 4, รอบที่ 1 เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับโปรโตคอลมาตรฐาน (ก) ทีซีพี (ข) ยูดีพี (ค) รวม

จากภาพที่ 36 พบว่าค่าแบนด์วิดท์เฉลี่ยของการทดลองที่ 4 ที่ทดลองเป็นจำนวน 10 รอบ ได้ผลแบนด์วิดท์เฉลี่ยที่สถานีปลายทางที่เชื่อมโยงแบบยูดีพีได้รับนั้นมีค่าสูงขึ้นจาก 112.37 กิโลบิตต่อวินาทีเป็น 309.12 กิโลบิตต่อวินาทีคิดเป็นเพิ่มขึ้น 175% แต่สำหรับแบนด์วิดท์ที่สถานีปลายทางที่เชื่อมโยงแบบทีซีพีได้รับนั้นลดลงจาก 183.52 กิโลบิตต่อวินาทีเป็น 110.18 กิโลบิตต่อวินาทีคิดเป็นลดลง 40%



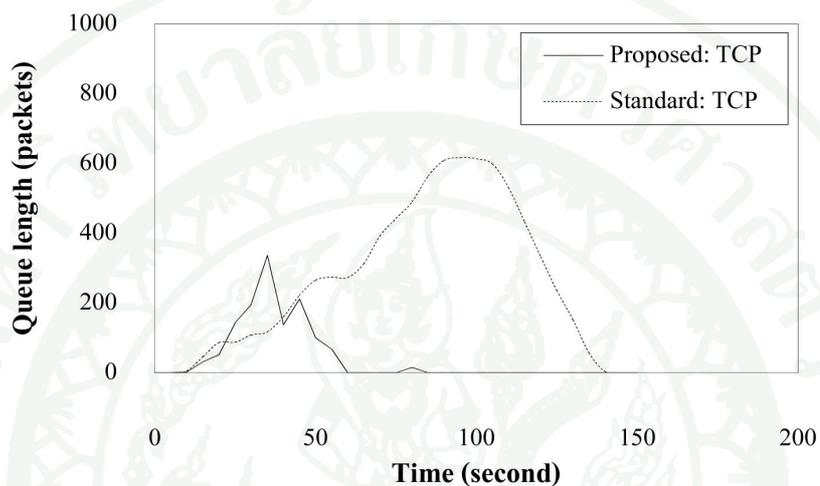
ภาพที่ 36 แบนด์วิดท์เฉลี่ยที่สถานีปลายทางได้รับของการทดลองที่ 4 เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับโปรโตคอลมาตรฐาน

4.1.2 ค่าความยาวแถวคอย

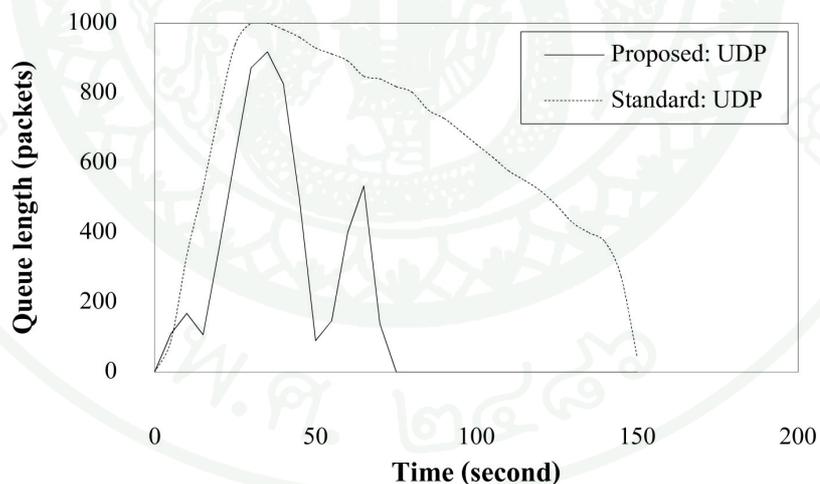
สำหรับ ความยาวแถวคอยของการเชื่อมโยงแบบต่างๆ ภายในสะพานเชื่อม จะสนใจพิจารณาความยาวแถวคอย ตลอดเวลาการทดลอง 100 วินาที (ภาพที่ 37) และ ความยาวแถวคอยเฉลี่ยจากการทดลองเป็นจำนวน 10 รอบ (ภาพที่ 38)

จากภาพที่ 37 พบว่าสำหรับการเชื่อมโยงแบบยูดีพี ความยาวแถวคอยจะมีค่าสูง เพราะว่าเป็นการส่งแบบข้อมูลแบบซิมพลิอาร์มาจากสถานีแลนไร้สายต้นทาง เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบวิธีการโปรโตคอลมาตรฐานกับวิธีการที่นำเสนอพบว่าสามารถลดความยาวแถวคอยของการเชื่อมโยงแบบทีซีพีลงได้ จากภาพที่ 37 ข ประมาณวินาทีที่ 30 แถวคอยของการเชื่อมโยง

แบบยูดีพีของโพรโทคอลมาตรฐาน (เส้นกราฟ Standard: UDP) เกิดการละทิ้งแพคเกจขึ้น แต่สำหรับวิธีการที่นำเสนอ (เส้นกราฟ Proposed: UDP) ไม่เกิดการละทิ้งแพคเกจทั้งหมดเมื่อแถวคอยมีขนาดยาว สามารถจะลดความยาวแถวคอยลงได้อย่างรวดเร็ว (ช่วงวินาทีที่ 35-50) และเมื่อพิจารณาว่าการเชื่อมโยงแบบทีซีพี วิธีการที่นำเสนอสามารถช่วยลดความยาวแถวคอยลงได้เช่นกัน (เปรียบเทียบระหว่างเส้นกราฟ Standard: TCP และ Proposed: TCP จากภาพที่ 37 ก)



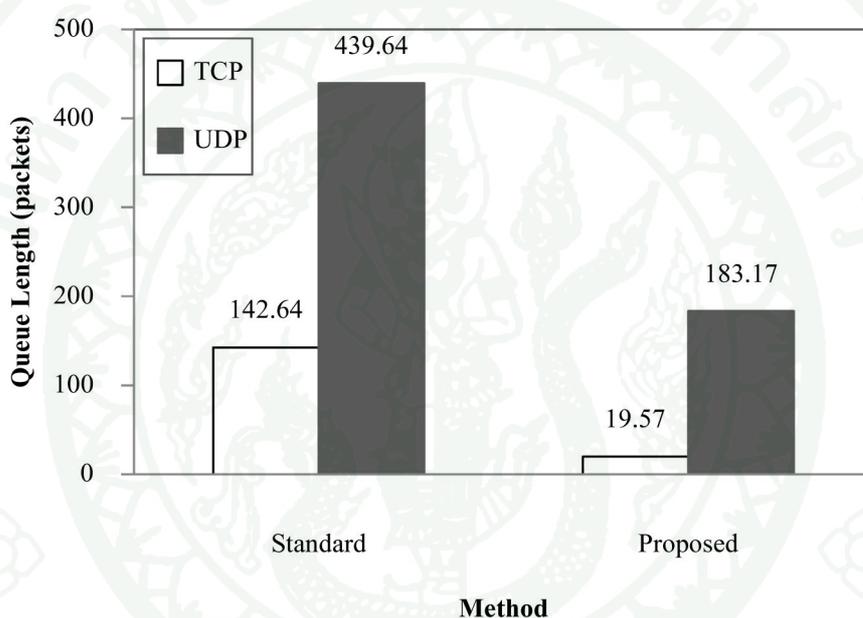
(ก)



(ข)

ภาพที่ 37 ความยาวแถวคอยของการทดลองที่ 4, รอบที่ 1 เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับโพรโทคอลมาตรฐาน (ก) ทีซีพี (ข) ยูดีพี

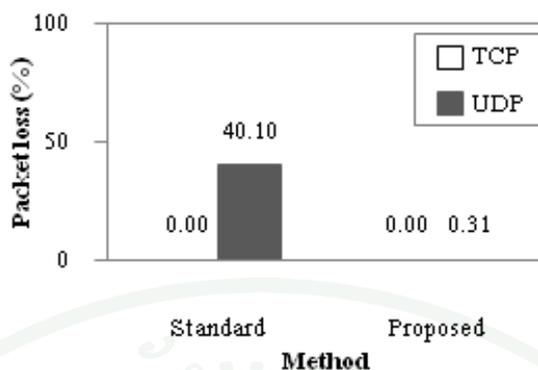
จากภาพที่ 38 พบว่าความยาวแถวคอยเฉลี่ยของแถวคอยของทั้ง 2 การเชื่อมต่อที่อยู่ภายในสะพานเชื่อม จากการทดลองเป็นจำนวน 10 รอบนั้นมีค่าลดลงทั้งการเชื่อมต่อแบบยูดีพีและแบบทีซีพี โดยสำหรับการเชื่อมต่อแบบทีซีพีความยาวแถวคอยเฉลี่ยก่อนการใช้วิธีการที่นำเสนอมีค่าเท่ากับ 142.64 แพคเกจ แต่เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอความยาวแถวคอยเฉลี่ยลดลงเหลือเพียง 19.57 แพคเกจ คิดเป็นลดลง 86% ส่วนแถวคอยของการเชื่อมต่อแบบยูดีพีจากเดิมมีค่าความยาวแถวคอยเฉลี่ยเท่ากับ 439.64 แพคเกจ แต่เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอความยาวแถวคอยเฉลี่ยลดลงเหลือเพียง 183.17 แพคเกจ คิดเป็นลดลง 58%



ภาพที่ 38 ความยาวแถวคอยเฉลี่ยของการทดลองที่ 4 เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับโปรโตคอลมาตรฐาน

4.1.3 ค่าร้อยละการสูญหายของแพคเกจ

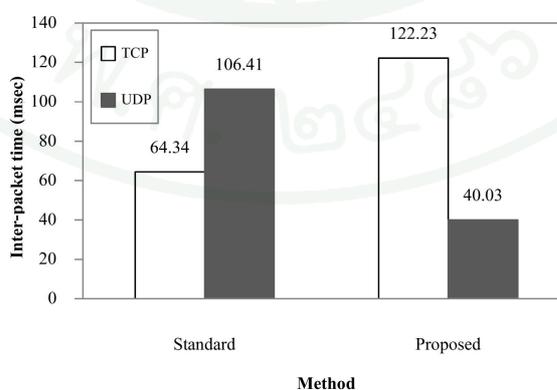
จากภาพที่ 39 พบว่าร้อยละของการสูญหายของแพคเกจเฉลี่ย สำหรับวิธีการที่นำเสนอก็มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับโปรโตคอลมาตรฐาน โดยจากเดิมโปรโตคอลมาตรฐานค่าร้อยละการสูญหายของแพคเกจมีค่าเท่ากับ 40.1% แต่เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอพบว่าเหลือเพียง 0.31% คิดเป็นลดลงเท่ากับ 99%



ภาพที่ 39 ร้อยละของจำนวนแพคเกจที่สูญหายเฉลี่ยของการทดลองที่ 4 เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับ โพรโตคอลมาตรฐาน

4.1.4 ค่าเวลาอระหว่างแพคเกจ

จากภาพที่ 40 พบว่าค่าเวลาอระหว่างแพคเกจเฉลี่ยของการเชื่อมโยงทั้ง 2 แบบมีค่าเปลี่ยนไปเมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอ โดยสำหรับการเชื่อมโยงแบบยูดีพีนั้น ค่าเวลาอระหว่างแพคเกจเฉลี่ยมีค่าลดลง โดยจากเดิมมีค่าเท่ากับ 106.41 มิลลิวินาที ลดลงเหลือ 40.03 มิลลิวินาที คิดเป็นลดลง 62% แต่สำหรับการเชื่อมโยงแบบทีซีพีค่าเวลาอระหว่างแพคเกจเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นจาก 64.34 เป็น 122.23 คิดเป็นเพิ่มขึ้น 90% แต่ด้วยโปรแกรมประยุกต์ของการเชื่อมโยงแบบทีซีพีจะเป็นแบบไม่ไวต่อค่าหน่วงเวลา ดังนั้นเวลาอที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อการทำงานของโปรแกรมประยุกต์เพียงแต่จะ ได้รับข้อมูลช้าลงเท่านั้น



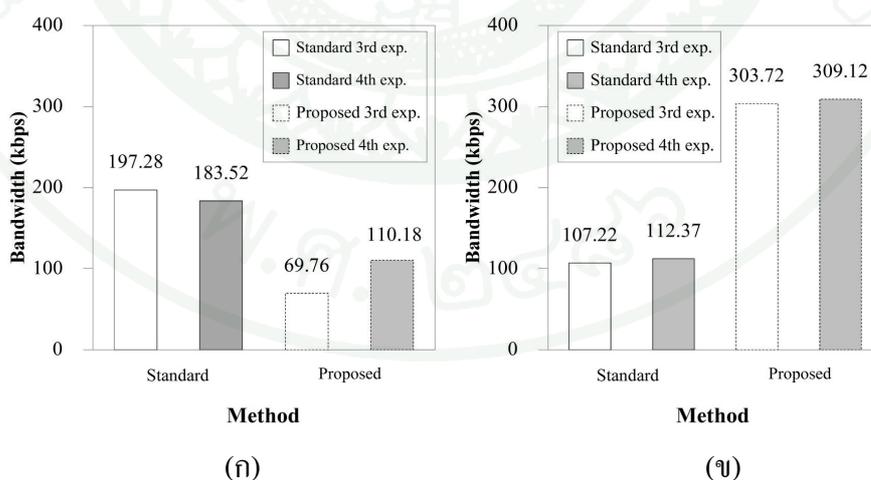
ภาพที่ 40 เวลาอระหว่างแพคเกจของการทดลองที่ 4 เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับ โพรโตคอลมาตรฐาน

5. เปรียบเทียบผลจากการทดลองที่ 3 และการทดลองที่ 4

การทดลองที่ 3 และ 4 เป็นการทดลองที่มีรูปแบบและวิธีการที่เหมือนกัน แต่มีข้อแตกต่างที่โครงสร้างเครือข่ายในส่วนสะพานเชื่อมโดยการทดลองที่ 3 ใช้เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์แต่สำหรับการทดลองที่ 4 ใช้เป็นอุปกรณ์ไร้สายแลตท็อปที่รันเราเตอร์ ซึ่งออกแบบมาเพื่อใช้งานสำหรับระบบเครือข่ายโดยเฉพาะ ดังนั้นหัวข้อนี้จะเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากการทดลองทั้ง 2 การทดลองโดยเทียบค่าตัวแปรที่ได้จากการทดลองคือ 1) แบนด์วิดท์ที่สถานีปลายทางได้รับ 2) ความยาวแถวคอยภายในสะพานเชื่อมของแต่ละการเชื่อมโยง 3) เวลารอระหว่างแพคเกจของการเชื่อมโยงแบบยูดีพี และ 4) ร้อยละของจำนวนแพคเกจที่สูญหาย

5.1 เปรียบเทียบค่าแบนด์วิดท์ที่สถานีปลายทางได้รับ

จากภาพที่ 41 เมื่อเปรียบเทียบการทดลองที่ 3 และการทดลองที่ 4 พบว่าผลการทดลองด้านแบนด์วิดท์ที่สถานีปลายทางได้รับ มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยสำหรับการเชื่อมโยงแบบยูดีพีเมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอ ค่าแบนด์วิดท์ที่ได้รับมีค่าใกล้เคียงกัน (จากภาพที่ 41ข) แต่สำหรับการเชื่อมโยงแบบทีซีพีเมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอ กับการทดลองที่ 4 แบนด์วิดท์ที่ได้รับมีค่าสูงกว่าของการทดลองที่ 3

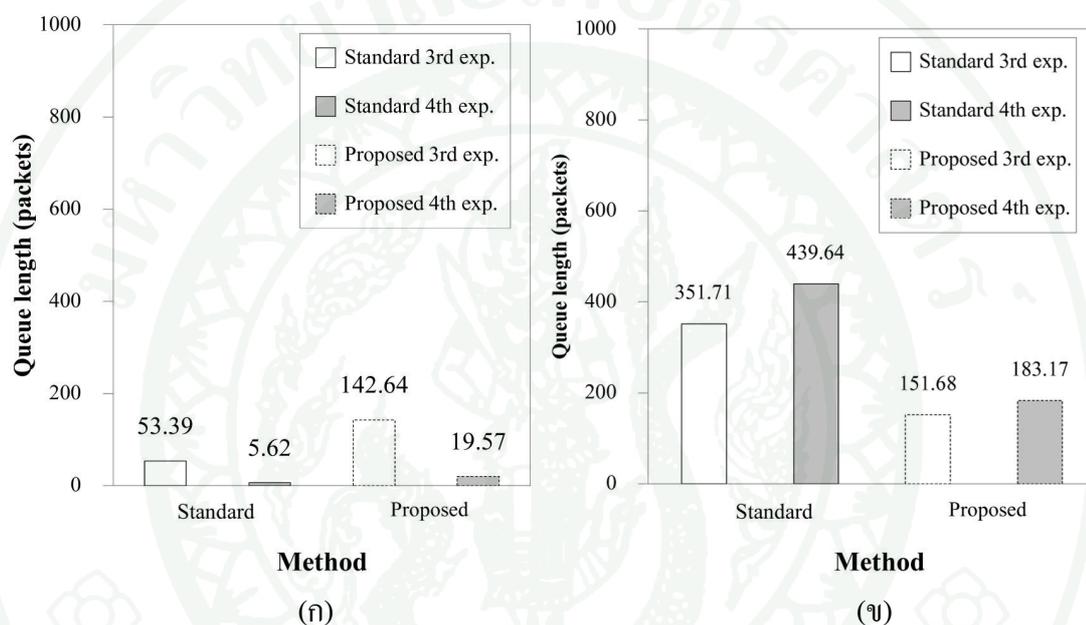


ภาพที่ 41 เปรียบเทียบแบนด์วิดท์ที่สถานีปลายทางได้รับจากการทดลองที่ 3 และ 4

(ก) การเชื่อมโยงแบบทีซีพี (ข) การเชื่อมโยงแบบยูดีพี

5.2 เปรียบเทียบค่าความยาวแถวคอยเฉลี่ย

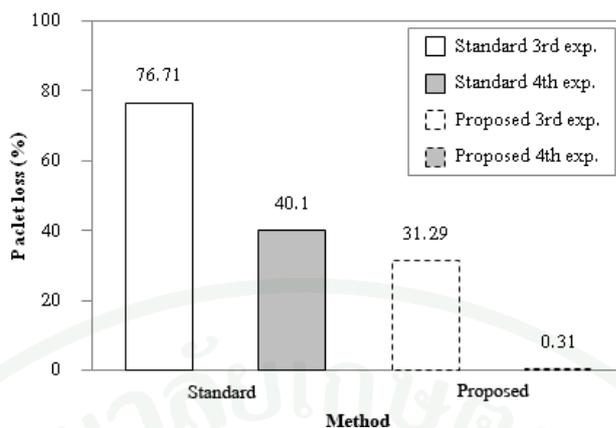
จากภาพที่ 42 เมื่อพิจารณาพบว่า สำหรับความยาวแถวคอยเฉลี่ยของการเชื่อมโยงแบบยูติพี ผลจากการใช้วิธีการที่นำเสนอบนสะพานเชื่อมที่เป็นอุปกรณ์ไวร์เลสมีดีพิงก์ชันเรเตอร์ ให้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกับใช้งานบนสะพานเชื่อมที่เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยเฉพาะค่าความยาวแถวคอยของการเชื่อมโยงแบบยูติพี ดังรูปที่ 4.25 (ข)



ภาพที่ 42 เปรียบเทียบความยาวแถวคอยเฉลี่ยจากการทดลองที่ 3 และ 4
(ก) การเชื่อมโยงแบบทีซีพี (ข) การเชื่อมโยงแบบยูติพี

5.3 เปรียบเทียบค่าร้อยละของการสูญหายของแพคเกจเฉลี่ย

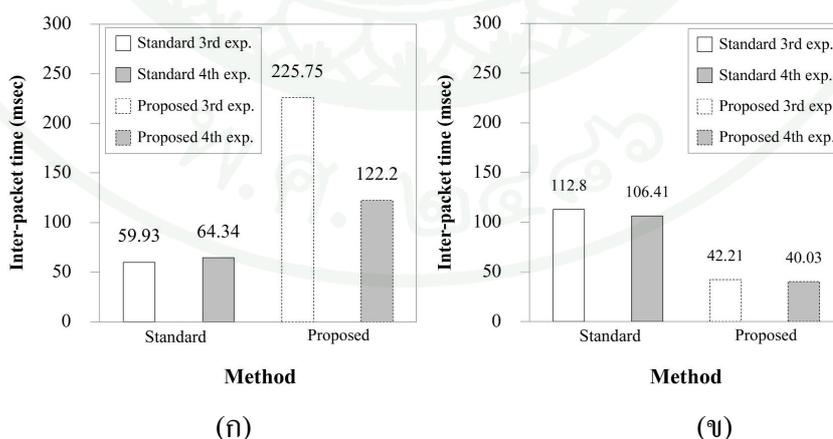
จากภาพที่ 43 พบว่าร้อยละของการสูญหายของแพคเกจของการเชื่อมโยงแบบยูติพี สำหรับการทดลองที่ 4 เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอมีค่าเท่ากับ 0.31% เมื่อเทียบกับผลจากการทดลองที่ 3 ที่มีค่าเท่ากับ 31.29%



ภาพที่ 43 เปรียบเทียบร้อยละของการสูญหายของแพคเกจเฉลี่ยของสถานีปลายทางที่เชื่อมต่อแบบยูดีพีจากการทดลองที่ 3 และ 4

5.3 เปรียบเทียบค่าเวลาอระหว่างแพคเกจเฉลี่ย

การเปรียบเทียบผลการทดลองตัวแปรสุดท้ายคือค่าเวลาอระหว่างแพคเกจเฉลี่ย สำหรับการเชื่อมโยงแบบยูดีพีพบว่าผลของการทดลองที่ 4 จะมีค่าใกล้เคียงกับผลของการทดลองที่ 3 ดังภาพที่ 44 (ข) แต่สำหรับการเชื่อมโยงแบบทีซีพี ผลจากการทดลองที่ 4 นั้นให้ค่าเวลาอระหว่างแพคเกจที่ดีกว่า ดังภาพที่ 44 (ก) คือ 122.2 มิลลิวินาทีเมื่อเทียบกับผลจากการทดลองที่ 3 ที่มีค่าเท่ากับ 225.75 มิลลิวินาที



ภาพที่ 44 เปรียบเทียบเวลาอระหว่างแพคเกจเฉลี่ยจากการทดลองที่ 3 และ 4

(ก) การเชื่อมโยงแบบทีซีพี (ข) การเชื่อมโยงแบบยูดีพี

ผลการเปรียบเทียบทั้งหมดสรุปได้ดังตารางที่ 9 และ 10 โดยพิจารณาที่การเชื่อมโยงแบบที่ซีพีพบว่าวิธีการที่เสนอทำให้ค่าแบนด์วิดท์ที่สถานีปลายทางที่เชื่อมโยงแบบที่ซีพีได้รับลดลง โดยการทดลองที่ 3 ให้ผลที่แย่ง 64% ส่วนการทดลองที่ 4 ให้ผลที่แย่ง 40% ซึ่งผลการทดลองในด้านค่าความยาวแถวคอยภายในสะพานเชื่อมมีค่าลดลงเช่นเดียวกันซึ่งการทดลองที่ 3 ให้ผลที่ดีขึ้น 90% ส่วนการทดลองที่ 4 ดีขึ้น 86% แต่เมื่อพิจารณาในด้านเวลารอระหว่างแพคเกจการทดลองที่ 3 ให้ผลแย่งถึง 327% แต่การทดลองที่ 4 แย่ง 90%

ตารางที่ 9 สรุปเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัดผลตัวแปรต่างๆ ของการทดลองที่ 3 และ 4 สำหรับการเชื่อมโยงแบบที่ซีพี

ตัวแปร	การทดลองที่ 3			การทดลองที่ 4		
	วิธีการมาตรฐาน	วิธีการที่นำเสนอ	ลด/เพิ่ม	วิธีการมาตรฐาน	วิธีการที่นำเสนอ	ลด/เพิ่ม
แบนด์วิดท์ (กิโลบิตต่อวินาที)	197.28	69.76	-64%	183.52	110.18	-40%
ความยาวแถวคอยเฉลี่ย (แพคเกจ)	53.39	5.62	-90%	142.64	19.57	-86%
เวลารอระหว่างแพคเกจ (มิลลิวินาที)	59.93	225.75	+327%	64.34	122.23	+90%

เมื่อพิจารณาการเชื่อมโยงแบบยูดีพี จากตารางที่ 10 พบว่าในด้านค่าแบนด์วิดท์ที่สถานีปลายทางได้รับ การทดลองที่ 3 ให้ผลที่ดีขึ้น 183% ส่วนการทดลองที่ 4 ให้ผลที่ดีขึ้น 175% ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ใกล้เคียงกัน ส่วนในด้านความยาวแถวคอยเฉลี่ย การทดลองที่ 3 ดีขึ้น 57% และการทดลองที่ 4 ดีขึ้น 58% ซึ่งถือเป็นค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาที่ร้อยละของการสูญหายของแพคเกจพบว่าการทดลองที่ 3 ให้ผลที่ดีขึ้น 59% ส่วนการทดลองที่ 4 ให้ผลที่ดีขึ้นถึง 99% ในด้านตัวแปรนี้อุปกรณ์ไวร์เลสมีดีฟังก์ชันเราเตอร์สามารถทำงานได้ดีกว่า ส่วนตัวแปรสุดท้ายด้านค่าเวลารอระหว่างแพคเกจให้ผลที่ใกล้เคียงกันโดยการทดลองที่ 3 ดีขึ้น 63% และการทดลองที่ 4 ดีขึ้น 62%

ตารางที่ 10 สรุปเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัดผลตัวแปรต่างๆ ของการทดลองที่ 3 และ 4 สำหรับการเชื่อมโยงแบบยูดีพี

ตัวแปร	การทดลองที่ 3			การทดลองที่ 4		
	วิธีการมาตรฐาน	วิธีการที่นำเสนอ	ลด/เพิ่ม	วิธีการมาตรฐาน	วิธีการที่นำเสนอ	ลด/เพิ่ม
แบนด์วิดท์ (กิโลบิตต่อวินาที)	107.22	303.72	+183%	112.37z	309.12	+175%
ความยาวแถวคอยเฉลี่ย (แพคเกจ)	351.71	151.68	-57%	439.64	183.17	-58%
ร้อยละของการสูญหายของแพคเกจ (%)	76.71	31.29	-59%	40.1	0.31	-99%
เวลารอระหว่างแพคเกจ (มิลลิวินาที)	112.8	42.21	-63%	106.41	40.03	-62%

จากการเปรียบเทียบผลการทดลองทั้งสองการทดลองพบว่า มีค่าใกล้เคียงและเป็นแนวโน้มเดียวกันเกือบทุกตัวแปรยกเว้นค่าร้อยละการสูญหายของแพคเกจที่การทดลองที่ 4 ให้ผลการทดลองที่ดีกว่า ซึ่งลดการสูญหายของแพคเกจเกือบ 100% หรือแทบจะไม่มีการสูญหายของแพคเกจเลย และสำหรับเวลารอระหว่างแพคเกจของการเชื่อมโยงแบบที่ซีพี การทดลองที่ใช้สะพานเชื่อมเป็นอุปกรณ์ไวร์เลสมีลติฟังก์ชันเราเตอร์นั้น ให้ผลการทดลองที่ดีกว่า

จากการทดลองที่ 3 และ 4 พบว่าอุปกรณ์ไวร์เลสมีลติฟังก์ชันเราเตอร์สามารถใช้งานกับวิธีการที่นำเสนอได้ดีกว่าการใช้งานสะพานเชื่อมเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ ทั้งนี้เพราะอุปกรณ์ไวร์เลสมีลติฟังก์ชันเราเตอร์ได้รับการออกแบบมาเพื่อการทำงานสำหรับส่งข้อมูลบนระบบเครือข่าย โดยเฉพาะ ตัวอุปกรณ์ติดตั้งระบบปฏิบัติการที่มีขนาดเล็ก ส่วนติดต่อกับผู้ใช้เป็นลักษณะแบบ Command line ไม่มีส่วนกราฟิก สามารถตั้งคำสั่งการทำงานและประมวลผลได้รวดเร็ว จึงทำให้ได้ผลการทดลองที่ดีกว่าการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นสะพานเชื่อม

วิจารณ์

สำหรับการส่งข้อมูลภายในเครือข่ายไร้สายแบบผสมบลูทูธและแลนไร้สาย โดยเฉพาะในการส่งข้อมูลจากฝั่งเครือข่ายแลนไร้สายที่มีแบนด์วิดท์สูงเข้ามายังฝั่งเครือข่ายบลูทูธพีโคเนทซึ่งมีแบนด์วิดท์ต่ำกว่ามาก จะทำให้เกิดภาวะที่มีการใช้งานแบนด์วิดท์ในฝั่งเครือข่ายบลูทูธพีโคเนทหนาแน่น เกิดการแย่งกันใช้งานสื่อทำให้การส่งข้อมูลแบบยูดีพีที่ต้องการแบนด์วิดท์ที่ค่อนข้างคงที่อาจมีปัญหาต่างๆ เช่น แบนด์วิดท์ที่ได้รับไม่เพียงพอ ค่าเวลารอระหว่างแพคเกจที่สูงเกินไป ค่าความยาวแถวคอย หรือมีการสูญหายของแพคเกจเป็นจำนวนมาก

จากการทดลองพบว่าวิธีการที่นำเสนอขึ้นสามารถรับประกันคุณภาพการบริการ โดยเฉพาะสำหรับข้อมูลแบบยูดีพี ที่ต้องการแบนด์วิดท์ที่คงที่ เวลารอระหว่างแพคเกจและร้อยละของการสูญหายของแพคเกจต่ำ โดยวิธีการที่นำเสนอจะสามารถจัดสรรแบนด์วิดท์ตามลำดับความสำคัญของข้อมูลได้

จากการทดลองที่ 1 พบว่าวิธีการปรับอัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงาน ของสถานีบลูทูธสเลฟที่มีการหยุดนิ่งเป็นระยะ จะมีผลต่อแบนด์วิดท์ที่บลูทูธสเลฟที่ปล่อยให้ทำงานแบบปกติได้รับ โดยการใช้อัตราส่วนการหยุดนิ่ง 1 วินาทีต่อการทำงาน 4 วินาที (Park:Active แบบ 1:4) กับสถานีที่มีการหยุดนิ่งเป็นระยะ จะมีผลทำให้สถานีที่ปล่อยให้ทำงานแบบปกติได้รับแบนด์วิดท์สูงสุด และสำหรับแบบ 1:9, 1:14 และ 1:19 สถานี BTS1 จะได้รับแบนด์วิดท์ลดต่ำลงตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าวิธีการนี้สามารถจัดการการใช้แบนด์วิดท์ของบลูทูธสเลฟภายในฝั่งเครือข่ายบลูทูธพีโคเนทของเครือข่ายไร้สายแบบผสมบลูทูธและแลนไร้สายได้

จากการทดลองที่ 2 พบว่าขนาดแพคเกจที่ต่างกัน มีผลต่อการทำงานของระบบ ซึ่งขนาดแพคเกจที่ทำให้สถานี BTS1 ได้รับแบนด์วิดท์สูงสุดเมื่อใช้วิธีการปรับอัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงาน คือแพคเกจขนาด 1,514 ไบต์ และในการทดลองนี้ยังสังเกตพบอีกว่า สำหรับแพคเกจขนาดเล็ก (128 ไบต์ และ 256 ไบต์) นั้นวิธีการที่นำเสนอใช้งานไม่ได้ผลเท่าที่ควร ซึ่งพบว่าผลการทำงานของวิธีการที่นำเสนอได้ชัดเจนเมื่อขนาดแพคเกจตั้งแต่ 512 ไบต์ขึ้นไป

จากการทดลองที่ 3 พบว่าวิธีการปรับอัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงาน โดยตัดสินใจจากค่าความยาวแถวคอย ที่นำเสนอสามารถช่วยในการจัดการการเข้าใช้งานสื่อของสถานีบลูทูธสเลฟได้ ใช้การจัดลำดับความสำคัญของสถานีตามชนิดข้อมูลที่ทำงานได้อย่างมี

ประสิทธิภาพ โดยจากผลการทดลองพบว่าสามารถจัดการการใช้แบนด์วิดท์ของสถานีบลูทูธสเลฟได้ตามต้องการ โดยเฉพาะบลูทูธสเลฟที่เชื่อมโยงแบบยูคิพี สามารถเข้าใช้งานแบนด์วิดท์ได้เพิ่มขึ้น ลดความยาวแถวคอย, ลดเวลารอระหว่างแพคเกจลง, ร้อยละของการสูญหายของแพคเกจที่ลดลง และทำให้ไม่เกิดการละทิ้งแพคเกจภายในแถวคอยที่สะพานเชื่อม

จากการทดลองที่ 4 พบว่าเมื่อเปลี่ยนสะพานเชื่อมเป็นอุปกรณ์เครือข่ายไวร์เลสมัลติฟังก์ชันเราเตอร์ ผลการทดลองที่ได้ยังคงเป็นไปในแนวโน้มเดียวกันกับการทดลองที่ 3 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถใช้กับอุปกรณ์เครือข่ายลักษณะดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากผลการทดลองในทุกการทดลองพบว่า เครือข่ายที่มีแบนด์วิดท์จำกัดและเป็นลักษณะที่สองฝั่งมีค่าแบนด์วิดท์รวมไม่เท่ากันดัง โครงสร้างเครือข่ายไร้สายแบบผสมบลูทูธและแลนไร้สายในวิทยานิพนธ์นี้ เพื่อให้การทำงานของโปรแกรมประยุกต์ที่เชื่อมโยงแบบเวลาจริง สามารถทำงานได้ตามความต้องการของโปรแกรมประยุกต์ จำเป็นต้องมีกระบวนการในการรับประกันคุณภาพ ดังวิธีการที่วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอ

ประโยชน์จากการทดลองคือ ได้ทราบถึงวิธีการทำงานของบลูทูธ และรับทราบถึงปัญหาของระบบเครือข่ายที่มีแบนด์วิดท์แต่ละส่วนไม่เท่ากัน อีกทั้งการประยุกต์นำคุณสมบัติของบลูทูธมาใช้ในการแก้ปัญหาเพื่อให้โครงสร้างเครือข่ายแบบผสมบลูทูธและแลนไร้สาย สามารถรองรับการทำงานแบบรับประกันคุณภาพได้

ข้อจำกัดของเครือข่ายไร้สายแบบผสมบลูทูธและแลนไร้สายนี้คือ การรองรับการทำงานของสถานีบลูทูธจำนวนจำกัดเนื่องด้วยแบนด์วิดท์ของด้านฝั่งบลูทูธที่จำกัด ดังนั้นการเพิ่มสถานีบลูทูธมากขึ้นอาจทำให้ระบบไม่สามารถทำงานได้ หรือถ้าทำงานได้สถานีบลูทูธบางสถานีอาจเกิดภาวะขาดแคลน (Starvation) ได้

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการจัดการจัดการการเข้าใช้งานสื่อทางฝั่งบลูทูธสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบผสมบลูทูธและแลนไร้สาย ทั้งนี้เนื่องจากเครือข่ายไร้สายแบบผสมบลูทูธและแลนไร้สายเป็นเครือข่ายที่มีลักษณะที่แบนด์วิดท์ทั้งสองฝั่งมีค่าแตกต่างกัน ดังนั้นสำหรับการส่งข้อมูลข้ามฝั่งจะเกิดปัญหาการจราจรหนาแน่นบนเครือข่ายทางฝั่งที่มีแบนด์วิดท์ต่ำ ดังนั้นสำหรับการเชื่อมโยงแบบยูดีพีทีที่มีลักษณะการส่งข้อมูลด้วยอัตราบิตคงที่ จะเกิดปัญหาการสูญหายของแพคเกจและค่าเวลารอระหว่างแพคเกจมีค่าสูง ดังนั้นวิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้จะสามารถนำมาช่วยในการทำงานแบบรับประกันคุณภาพของโปรแกรมประยุกต์ที่เชื่อมโยงแบบยูดีพีที

การออกแบบขั้นตอนวิธีในการจัดการการเข้าใช้งานสื่อทางฝั่งบลูทูธ ซึ่งเดิมการเข้าใช้งานสื่อของบลูทูธแบบการโพลโคยวนรอบโพลอย่างเท่าเทียม การทำการรับประกันคุณภาพต้องมีการแบ่งลำดับความสำคัญของผู้ใช้งาน โดยจะให้ผู้ใช้งานที่มีลำดับความสำคัญสูงกว่าควรได้เข้าใช้สื่อมากกว่า โดยการเข้าใช้งานสื่อแบบวนรอบเป็นลักษณะหนึ่งของการแบ่งสรรเวลา วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประยุกต์นำคุณสมบัติการหยุดนิ่งและการทำงานของบลูทูธมาใช้แทนการปรับรอบการโพลออกแบบเป็นวิธีการปรับอัตราส่วนเวลาการหยุดนิ่งและทำงาน ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

จากผลที่ได้จากการทดลองพบว่า วิธีการที่นำเสนอสามารถช่วยในการรับประกันคุณภาพสำหรับสถานีบลูทูธที่ทำงาน โปรแกรมประยุกต์แบบยูดีพีที ช่วยทำให้ได้รับแบนด์วิดท์ที่สูงขึ้น ค่าเวลารอระหว่างแพคเกจ ค่าความยาวแถวคอยและค่าร้อยละการสูญหายของแพคเกจที่ลดลง เมื่อเทียบกับการใช้งานโพรโทคอลมาตรฐาน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอโดยใช้งานกับสะพานเชื่อมสองแบบ คือ การใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นสะพานเชื่อมและการใช้อุปกรณ์ไวร์เลสมีดติฟังก์ชันเราเตอร์เป็นสะพานเชื่อม โดยจากผลการทดลองพบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถใช้งานได้กับสะพานเชื่อมได้ทั้งสองแบบและให้ผลการทดลองไปในแนวโน้มนเดียวกัน และอุปกรณ์ไวร์เลสมีดติฟังก์ชันเราเตอร์ให้ผลการทดลองที่ดีกว่าในด้านค่าความยาวแถวคอยและร้อยละของการสูญหายของแพคเกจที่ต่ำกว่า

ข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ควรมีการปรับปรุงเพิ่มเติมให้รองรับการรับประกันคุณภาพสถานียูทิวซ์
เมื่อมีสถานีเป็นจำนวนมากกว่านี้ การรับประกันคุณภาพอาจต้องมีการออกแบบการจัดการการเข้า
ใช้งานของสถานีเพิ่มเติม

สำหรับการต่อยอดวิทยานิพนธ์นี้ ควรเพิ่มความหลากหลายของมาตรฐานเครือข่าย
ไร้สาย ให้รองรับได้หลากหลายมาตรฐานขึ้น เช่น การออกแบบให้สะพานเชื่อมสามารถรองรับ
มาตรฐานซิกบี หรือรองรับการทำงานของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

อนันต์ ผลเพิ่ม 2550. แลนไร้สาย. พิมพ์ครั้งที่ 1 บริษัทซีเอ็ดดูเคชั่นจำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.

ASUSTeK Computer Inc. 2006. **Asus WL-500g Premium**. Available Source:

http://asus.com/product.aspx?P_ID=8e12DcrRjLoHNdQ8&templete=2, March 8, 2010.

CSR Company. 2010. **BlueCore4-ROM**. Available Source:

http://www.csr.com/products/bc4rom_over.htm, March 8, 2010.

Bluetooth Special Interest Group. 2007. **Specification of Bluetooth System**. Available Source:

<http://www.bluetooth.com>, March 8, 2010.

Bluetooth Special Interest Group. 2003. **Bluetooth Network Encapsulation Protocol (BNEP)**

Specification. Available Source: <http://www.bluetooth.com/NR/rdonlyres/89B2BA02-D3FB-4717-97A1-A5B10D90F795/912/BNEPSpecification1.pdf>, March 8, 2010.

Chan, W., J. Chen, P. Lin and K. Yen. 2003. Quality-of-service in IP services over Bluetooth ad-hoc networks. **Journal of Mobile Networks and Applications** 8 (6): 699-709.

Chen J. and K. Yen. 2002. Transparent bridging support for Bluetooth-IP service interworking.

Journal of Network Management 12 (6): 373-386.

Cordeiro, C., S. Abhyankar, R. Toshiwal and D. P. Agrawal. 2004. BlueStar: Enabling Efficient

Integration Between Bluetooth WPANs and IEEE 802.11 WLANs. **Journal of Mobile Networks and Applications** 9 (4): 409-422.

Palowireless. 2006. **HiperLAN and HiperLAN2 Resource Center**. Available Source:

<http://www.palowireless.com/hiperlan2/>, March 8, 2010.

Kraemer, R. and P. Schwander. 2003. Bluetooth based wireless Internet applications for indoor hot spots: experience of a successful experiment during CeBIT 2001. **Journal of Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking** 41 (3): 303-312.

Li, J., X. Liu and A. Swami. 2009. Collision analysis for coexistence of multiple bluetooth piconets and WLAN with dual channel transmission. **IEEE Transaction on Communications** 57 (4): 1129-1139.

Maalaoui, K. and L.A. Saidane. 2009. Priority based intra piconet scheduling scheme for QoS guaranties in Bluetooth networks. **IEEE Symposium on Computers and Communications, 2009 (ISCC 2009)** 14: 147-152.

OpenWRT Wireless Freedom. 2009. **Kamikaze 8.09**. Available Source: <http://www.openwrt.org>, March 8, 2010.

Park, H., C. Moonok, E. Paik and N. Kim. 2009. Interoperability model for devices over heterogeneous home networks. **IEEE Transactions on Consumer Electronics** 55 (3): 1185-1191.

Pinkumphi, S. and A. Phonphoem. 2009. Real-time audio multicasting on bluetooth network. **The 6th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, 2009 (ECTI-CON 2009)** 2: 992-995.

Qadeer, M.A., R. Ahmad, M.S. Khan and T. Ahmad. 2009. Real time video streaming over heterogeneous networks. **The 11th International Conference on Advanced Communication Technology, 2009 (ICACT 2009)** 2: 1117-1122

- Razavi, R., M. Fleury and M. Ghanbari. 2007. Fuzzy Control of Adaptive Timeout for Video Streaming over a Bluetooth Interconnect. **The 12th IEEE Symposium on Computers and Communications, 2007 (ISCC 2007)** 12: MW 27 - MW 32.
- Rouhana, N. and E. Horlait. 2002. BWIG: Bluetooth Web Internet Gateway. **Proceedings of the Seventh International Symposium on Computers and Communications (ISCC'02)** 7: 679.
- Canonical Ltd. 2010. **What is Ubuntu?**. Available Source: <http://www.ubuntu.com>, March 8, 2010.
- Wi-Fi Alliance. 2009. **Wi-Fi Certified**. Available Source: <http://www.wi-fi.org>, March 8, 2010.
- Yip, H. K. and Y. Kwok. 2007. Practical channel state aware and cooperative packet scheduling disciplines for coordinating colocated Bluetooth and IEEE 802.11b devices. **Journal of Computer Communications** 30 (7): 1569-1587.
- Zigbee Alliance. 2010. **ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works**. Available Source: <http://www.zigbee.org>, March 8, 2010.
- Zee, M. V. D. and G. Heijenk. 2001. **Quality of Service in Bluetooth Networking Part 1**. Available Source: <http://www.ub.utwente.nl/webdocs/ctit/1/0000004a.pdf>, Jan 31, 2010.

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ -นามสกุล	นายสรณัฐ เจนถนนม้า
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2528
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์) คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (พ.ศ. 2550)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกรระดับ 4
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.)
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนอุดหนุนวิจัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประจำปี 2552 รหัส ว-ท(ค) 59.52