ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)

ปริญญา

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

สาขา **ภาควิชา**

เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพบริการด้วยการปรับสัดส่วนการเข้าใช้แบนด์วิดท์อัตโนมัติตามมาตรฐาน IEEE 802.16

QoS Improvement of Adaptive Bandwidth Allocation in IEEE 802.16

นามผู้วิจัย นางสาวสุภาพร หงส์พิสุทธิกุล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์อนันต์ ผลเพิ่ม, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พีรวัฒน์ วัฒนพงศ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภุชงค์ อุทโยภาศ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การปรับปรุงคุณภาพบริการด้วยการปรับสัดส่วนการเข้าใช้แบนด์วิดท์อัตโนมัติตามมาตรฐาน IEEE 802.16

QoS Improvement of Adaptive Bandwidth Allocation in IEEE 802.16

โดย

นางสาวสุภาพร หงส์พิสุทธิกุล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)
พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุภาพร หงส์พิสุทธิกุล 2555: การปรับปรุงคุณภาพบริการด้วยการปรับสัดส่วนการเข้าใช้แบนด์วิดท์อัตโนมัติ ตามมาตรฐาน IEEE 802.16 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์) สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์อนันต์ ผลเพิ่ม, Ph.D. 58 หน้า

ปัจจุบันเทคโนโลยีไวแมกซ์ถือได้ว่าเป็นระบบบรอดแบนด์ความเร็วสูงที่สามารถใช้งานได้ในระยะไกล และเข้าถึงพื้นที่ให้บริการได้อย่างทั่วถึง โดยที่กระบวนการรับส่งข้อมูลเป็นแบบรวมศูนย์ สถานีฐานจัดการให้ทั้งหมด ดังนั้นทุกๆ การรับส่งต้องผ่านสถานีฐานเท่านั้น นอกจากนี้การจัดสรรแบนด์วิดท์จะให้ในรูปสลอตเวลา โดยที่หนึ่งสลอตเวลาจะให้สิทธิ์ผู้ใช้งานเพียงรายเดียว แต่ด้วยทรัพยากรแบนด์วิดท์ที่มีอยู่อย่างจำกัด และมีผู้ใช้งานร้องขอจำนวนมาก ทำให้แบนด์วิดท์ไม่เพียงพอต่อผู้ใช้งาน

งานวิจัยชิ้นนี้จึงเสนอระบบไวแมกซ์ที่ใช้เทคโนโลยีการส่งตรงร่วมกับการส่งผ่านสถานีฐานที่ใช้งานอยู่เดิม โดยเสนออัลกอริทึมตรวจสอบการรบกวนกันของสัญญาณ เพื่อความมั่นใจว่าการส่งตรงสามารถเกิดขึ้นได้มากกว่าหนึ่งคู่ ณ สลอตเวลาเดียวกัน ด้วยเหตุนี้ระบบไวแมกซ์ที่เสนอสามารถรองรับผู้ใช้งานที่มากขึ้น เนื่องจากหนึ่งสลอตเวลาสามารถส่งได้หลายคู่พร้อมกัน และการส่งข้อมูลแบบส่งตรงเมื่อตรวจสอบได้ว่ามีผู้ใช้งานอยู่ในระยะที่ติดต่อกันได้ก็จะส่งข้อมูลให้กัน ทำให้ขั้นตอนการส่งลดลงโดยไม่ต้องผ่านสถานีฐาน

จากการทดลองวิเคราะห์เชิงตัวเลข โดยสร้างแบบจำลองและใช้อัลกอริทึมที่ออกแบบไว้เพื่อหาค่าทรูพุทของระบบ พบว่าขนาดข้อมูล UGS ที่ไม่ส่งผลต่อค่าทรูพุท นอกจากนี้จะให้ค่าที่สูงขึ้น เมื่อจำนวนการร้องขอข้อมูล UGS มีจำนวนมากขึ้น สัดส่วนการจัดสรรสลอตเวลาที่เป็นข้อมูลเรียลไทม์ และมีรูปแบบการกระจายตัวของผู้ใช้งานแบบกระจุกตัวสี่มุม

_____ / ___ / ____

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Supaporn Hongpisuttikul 2012: QoS Improvement of Adaptive Bandwidth Allocation in IEEE 802.16. Master of Engineering (Computer Engineering), Major Field: Computer Engineering, Department of Computer Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Anan Phonphoem, Ph.D. 58 pages.

Currently WiMAX is one of popular high speed broadband technologies due to its long range and high coverage services characteristics. WiMAX transmission process is controlled by base station in a centralized manner. For bandwidth allocation, each user will be granted to transmit in each dedicated time slot. Howerver, with the limited bandwidth, the system can only support for a certain amount of users.

In this research, a mechanism to enhanced traditional WiMAX system with peer-to-peer technology is proposed. The mechanism checks for possible non-interference transmission among nodes to allow any disjoint pair to exchange data simultaneously and directly without passing through the base station.

The results from the numerical analysis experiment reveal that the system throughput of the proposed mechanism is not affected by the UGS data size. Moreover, the system throughput becomes better when the number of UGS requests and the ratio of real time data are high with the four-corner users' distribution characteristics.

_____ _____ ___ / ___ / ____

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ ผลเพิ่ม ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ให้โอกาสและกำลังใจ ตลอดจนให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางและให้ข้อเสนอแนะ ที่อาจนำไปสู่ปัญหาในแง่มุมต่างๆ รวมถึงตรวจสอบข้อบกพร่องต่าง ๆ จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพร ใจแก้ว และอาจารย์ ดร.อภิรักษ์ จันทร์สร้าง อาจารย์ ณ ห้องปฏิบัติการ IWING ที่กรุณาให้ความรู้ ข้อเสนอแนะ คำปรึกษา คำแนะนำ เปิดโลกทัศน์และมุมมองต่างๆ เกี่ยวกับงานวิจัย ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีรวัฒน์ วัฒนพงศ์ สำหรับคำแนะนำต่างๆ และขอขอบคุณนายธีรเดช หงส์พิสุทธิกุลและนางสาวสิริวรรณ แต้วิจิตร น้องผู้ให้กำลังใจและให้คำแนะนำในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่โครงการบัณฑิตศึกษา และเจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ช่วยเหลือในการประสานงาน และดำเนินงานด้านเอกสารต่างๆ ให้เป็นไปอย่างสะดวกลุล่วงไปด้วยดี

คุณงามความดี หรือประโยชน์อันใดเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขออุทิศแด่มารดา บิดา บุพการี และผู้มีพระคุณทุกท่าน

สุภาพร หงส์พิสุทธิกุล

มีนาคม 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	17
อุปกรณ์	17
วิธีการ	18
ผลและวิจารณ์	27
ผล	27
วิจารณ์	54
สรุปและข้อเสนอแนะ	55
สรุป	55
ข้อเสนอแนะ	55
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	56
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	58

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ระบบไวแมกซ์แบบอยู่กับที่ เมื่อชั้นกายภาพเป็น OFDM และเชื่อมต่อแบบ PMP	7
2	ระบบไวแมกซ์แบบเคลื่อนที่ เมื่อชั้นกายภาพเป็น OFDMA และเชื่อมต่อแบบ PMP	7
3	ผลการเปรียบเทียบอัตราส่วนของแพ็คเก็ตสูญหายเฉลี่ย	15
4	ตารางเปรียบเทียบสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
5	ข้อมูลการร้องขอส่งข้อมูล	21
6	เพื่อนบ้านของสถานีลูกข่ายปลายทาง	21
7	รูปแบบการส่งข้อมูลตามเงื่อนไขการเลือกรูปแบบการส่ง	22
8	การจัดสรรสลอตเวลาตามเงื่อนไขการส่งตรงพร้อมกันได้	24
9	ขนาดข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง	40

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	องค์ประกอบของไวแมกซ์ 1 เซล	5
2	การเชื่อมต่อแบบหนึ่งจุดไปหลายจุด	6
3	การเชื่อมต่อแบบตาข่าย	6
4	ชั้นกายภาพแบบ OFDMA และแบบ OFDMA	8
5	โครงสร้างเฟรมแบบ OFDM	8
6	โครงสร้างเฟรมแบบ OFDMA	9
7	ตัวอย่างกลไกคุณภาพการให้บริการ	9
8	ตัวอย่างการเชื่อมต่อแบบส่งตรง	11
9	สถาปัตยกรรมเซลลูลาร์ควบคุมการสื่อสารของสถาปัตยกรรมการส่งระยะใกล้	12
10	สเปกตรัมที่แบ่งให้การเชื่อมต่อแบบเซลลูลาร์และการเชื่อมต่อระยะใกล้	13
11	การส่งตรงของสตรีมมิ่งระหว่างกันขณะมีการเคลื่อนที่	14
12	การส่งตรงแบบรวมศูนย์ของวิดีโอสตรีมมิ่งบนเครือข่ายไร้สายแบบผสม	14
13	รูปแบบการรับส่งของมูลของระบบไวแมกซ์ที่เสนอ	18
14	แผนผังการทำงานของระบบไวแมกซ์ที่เสนอ	19
15	แบบจำลองตัวอย่างของการเชื่อมต่อระหว่างสถานีลูกข่าย	20
16	สถานีลูกข่ายร้องขอส่งข้อมูล	20
17	การตรวจสอบการส่งพร้อมกันได้ของคู่สถานีลูกข่าย	24
18	ตัวอย่างการจัดสรรข้อมูลลงสลอตเวลา พิจารณาที่สถานีฐาน	26
19	ระบบไวแมกซ์ที่เสนอในงานวิจัยนี้	28
20	พื้นที่ให้บริการ 1 เซล	29
21	แบบจำลองกริดขนาด 30x30 ช่อง x ช่อง และระยะรัศมี 1.5 กิโลเมตร	30
22	ระยะทางของสัญญาณแบบต่างๆ	31
23	การร้องขอส่งไปยังสถานีฐานเพื่อขอจัดสรรแบนด์วิทด์	31
24	การกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ	34
25	การกระจายตัวแบบกระจุกตัวตรงกลาง	35

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	การกระจายตัวแบบกระจุกตัวหนึ่งมุม	36
27	การกระจายตัวแบบกระจุกตัวสองมุมทแยง	37
28	การกระจายตัวแบบกระจุกตัวสี่มุม	38
29	ค่าทรูพุทบนการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ เมื่อสัดส่วนการจัดสรร UGS เป็น 10%	41
30	ค่าทรูพุทบนการกระจายตัวแบบกระจุกตัวตรงกลาง เมื่อสัดส่วนจัดสรร UGS เป็น 10%	42
31	ค่าทรูพุทบนการกระจายตัวแบบกระจุกตัวหนึ่งมุม เมื่อสัดส่วนจัดสรร UGS เป็น 10%	43
32	ค่าทรูพุทบนการกระจายตัวแบบกระจุกตัวสองมุม เมื่อสัดส่วนจัดสรร UGS เป็น 10%	43
33	ค่าทรูพุทบนการกระจายตัวแบบกระจุกตัวสี่มุม เมื่อสัดส่วนจัดสรร UGS เป็น 10%	44
34	เปรียบเทียบค่าทรูพุทบนการกระจายตัวแบบต่างๆ ที่สัดส่วนการจัดสรร UGS เป็น 10% และขนาดข้อมูล UGS เป็น 64 kbit	44
35	สัดส่วนการจัดสรรข้อมูล UGS ของการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ	46
36	สัดส่วนการจัดสรรข้อมูลที่เป็นเรียลไทม์ ของการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ	46
37	สัดส่วนการจัดสรรข้อมูล UGS ของการกระจายตัวแบบกระจุกตัวตรงกลาง	47
38	สัดส่วนการจัดสรรข้อมูลที่เป็นเรียลไทม์ ของการกระจายตัวแบบกระจุกตัวตรงกลาง	47
39	สัดส่วนการจัดสรรข้อมูล UGS ของการกระจายตัวแบบกระจุกตัวหนึ่งมุม	48
40	สัดส่วนการจัดสรรข้อมูลที่เป็นเรียลไทม์ ของการกระจายตัวแบบกระจุกตัวหนึ่งมุม	48
41	สัดส่วนการจัดสรรข้อมูล UGS ของการกระจายตัวแบบกระจุกตัวสองมุมทแยง	49

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

42 สัดส่วนการจัดสรรข้อมูลที่เป็นเรียลไทม์ ของการกระจายตัวแบบกระจุกตัวสองมุมทแยง 49

43 สัดส่วนการจัดสรรข้อมูล UGS ของการกระจายตัวแบบกระจุกตัวสี่มุม 50

44 สัดส่วนการจัดสรรข้อมูลที่เป็นเรียลไทม์ ของการกระจายตัวแบบกระจุกตัวสี่มุม 50

45 ค่าทรูพุทบนการกระจายตัวแบบกระจุกตัวตรงกลาง เมื่อสัดส่วนการร้องขอส่ง UGS มีจำนวนเพิ่มขึ้น 53

46 ค่าทรูพุทบนการกระจายตัวแบบกระจุกตัวสี่มุม เมื่อสัดส่วนการร้องขอส่ง UGS มีจำนวนเพิ่มขึ้น 53

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

BE	=	Best Effort
BS	=	Base Station
BW-req	=	Bandwidth request
DL-MAP	=	Downlink Mapping
ertPS	=	Extended Real-Time Polling Service
FIFO	=	First In First Out
MS	=	Mobile Station
nrtPS	=	Non-Real Time Polling Service
OFDM	=	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	=	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PMP	=	Point-to-MultiPoint
P2P	=	Peer-to-Peer
QoS	=	Quality of Service
rtPS	=	Real-Time Polling Service
SS	=	Subscriber Station
UGS	=	Unsolicited Grant Service
UL-MAP	=	Uplink Mapping
WiMAX	=	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WRR	=	Weight Round Robin

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การปรับปรุงคุณภาพบริการด้วยการปรับสัดส่วนการเข้าใช้แบนด์วิดท์อัตโนมัติตามมาตรฐาน IEEE 802.16

QoS Improvement of Adaptive Bandwidth Allocation in IEEE 802.16

คำนำ

ปัจจุบันนี้การสื่อสารไร้สายได้รับความนิยมและมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง การพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อสนองต่อความต้องการการสื่อสารที่รวดเร็วและปริมาณข้อมูลที่มากขึ้น ไวแมกซ์เป็นบรอดแบนด์ความเร็วสูง สามารถส่งได้ระยะทางไกลและเข้าถึงพื้นที่ได้อย่างทั่วถึง กำลังได้รับความสนใจ และมีการติดตั้งใช้งานแล้วในหลายประเทศ

มาตรฐาน IEEE 802.16 เป็นเทคโนโลยีเครือข่ายที่ใช้กับไวแมกซ์ โดยที่มาตรฐาน IEEE 802.16-2004 จะใช้สำหรับไวแมกซ์ที่อยู่กับที่ ส่วนมาตรฐาน IEEE 802.16e-2005 จะใช้กับไวแมกซ์ที่มีการเคลื่อนที่ ความถี่ที่ใช้งาน 2-11 กิกะเฮิรตซ์ หรือที่ช่วงความถี่ 2.5 กิกะเฮิรตซ์, 3.5 กิกะเฮิรตซ์ และ 5.7 กิกะเฮิรตซ์ สำหรับชั้นกายภาพใช้เทคนิคการส่งแบบ OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) สำหรับ IEEE 802.16-2004 และ OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) สำหรับ IEEE 802.16e-2005 อัตราเร็วในการส่งสูงสุดถึง 75 เมกะบิตต่อวินาที ระยะรัศมีไกลถึง 30 ไมล์ หรือ 50 กิโลเมตร มาตรฐาน IEEE 802.16 ได้กำหนดรูปแบบการเชื่อมต่อของเครือข่ายไว้สองแบบคือ หนึ่งจุดไปหลายจุด (Point-to-MultiPoint หรือ PMP) ซึ่งเป็นการส่งแบบผ่านสถานีฐาน และการส่งแบบตาข่าย (Mesh) ซึ่งเป็นการส่งระหว่างสถานีลูกข่ายต่อๆกันไป แต่รูปแบบที่ใช้งานจะเป็นแบบผ่านสถานีฐาน ซึ่งทุกๆการรับส่งข้อมูลจะต้องผ่านสถานีฐานเป็นการจัดการแบบรวมศูนย์

การจัดสรรแบนด์วิดท์จะจัดสรรในรูปของสลอตเวลา โดยที่หนึ่งสลอตเวลาจะให้สิทธิ์สถานีลูกข่ายเพียงสถานีเดียวในการส่งข้อมูล แต่ด้วยทรัพยากรแบนด์วิดท์ที่มีอยู่อย่างจำกัด และมีสถานีลูกข่ายร้องขอจำนวนมาก ทำให้แบนด์วิดท์ไม่เพียงพอต่อการร้องขอ งานวิจัยชิ้นนี้จึงเสนอระบบไวแมกซ์ที่ใช้เทคโนโลยีการส่งตรงร่วมกับการส่งผ่านสถานีฐานที่ใช้งานอยู่เดิม รวมถึงอัลกอริทึมที่ใช้ตรวจสอบการรบกวนกันของสัญญาณ เพื่อความมั่นใจว่าการส่งตรงสามารถเกิดขึ้นได้มากกว่าหนึ่งคู่ ณ สลอตเวลาเดียวกัน ดังนั้นระบบไวแมกซ์ที่เสนอสามารถรองรับสถานีลูกข่ายที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มากขึ้น เนื่องจากหนึ่งสลอตเวลาสามารถส่งได้หลายคู่พร้อมกัน โดยการส่งข้อมูลแบบส่งตรงนั้นจะเกิดขึ้นเมื่อสถานีฐานตรวจสอบได้ว่ามีคู่สถานีลูกข่ายอยู่ในระยะที่ติดต่อกันได้ก็จะส่งข้อมูลให้กัน ทำให้ขั้นตอนการส่งลดลง ไม่ต้องส่งผ่านสถานีฐาน จึงทำให้ระบบไวแมกซ์ที่เสนอนี้มีประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้น

ประเภทข้อมูลของบริการ แบ่งเป็น 5 คลาส ตามมาตรฐาน IEEE 802.16e-2005 ได้แก่ ข้อมูลเสียง (UGS) ข้อมูลตรีมมิ่ง (rtPS) ข้อมูลเสียงที่ปรับอัตราบิตได้ (ertPS) วิดีโอหรือไฟล์ข้อมูล (nrtPS) และเว็บ (BE) โดยความสำคัญของประเภทข้อมูลขึ้นอยู่งานวิจัย สำหรับในงานวิจัยชิ้นนี้ให้ความสำคัญกับข้อมูล UGS เป็นหลัก เนื่องจากมีการหน่วงของเวลา(Delay) ส่งผลกระทบต่อคุณภาพข้อมูล โดยเห็นว่าการหน่วงของเวลาทำให้การรับส่งข้อมูลเกิดความผิดพลาดหรือเข้าใจผิดได้ แต่ทั้งนี้อัลกอริทึมที่ออกแบบไว้นั้น สามารถทำงานครอบคลุมข้อมูลทุกประเภท เพื่อไม่ให้เกิดการกีดกันของข้อมูล (Starvation) ยกตัวอย่างเช่น ประเภทข้อมูลที่มีความสำคัญสูงกว่าได้ส่งข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ทำให้ประเภทข้อมูลที่มีความสำคัญน้อยกว่าไม่มีโอกาสได้ส่งข้อมูล

งานวิจัยชิ้นนี้เสนอระบบไวแมกซ์ที่เป็นการทำงานร่วมกันของการส่งข้อมูลแบบส่งตรงและการส่งแบบผ่านสถานีฐาน โดยการจัดสรรสลอตเวลาที่อนุญาตให้หนึ่งสลอตเวลาสามารถส่งข้อมูลได้มากกว่าหนึ่งคู่สถานีลูกข่ายพร้อมกันได้ ทำให้ระบบไวแมกซ์ที่เสนอมีขั้นตอนการส่งลดลงและรองรับสถานีลูกข่ายได้มากขึ้น และศึกษาผลของขนาดข้อมูลเสียง สัดส่วนการร้องขอที่เป็นข้อมูล UGS สัดส่วนเปอร์เซ็นต์การจัดสรรสลอตเวลาที่เป็นข้อมูล UGS และข้อมูลเรียลไทม์ และการกระจายตัวของสถานีลูกข่ายแบบต่างๆ เพื่อพิจารณาค่าทรูพุท ที่ให้ผลดีต่อระบบและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานต่อระบบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบไวแมกซ์

2. ศึกษาประสิทธิภาพที่เกิดจากการทำงานร่วมกันของการส่งข้อมูลแบบผ่านสถานีฐานและการส่งตรงระหว่างสถานีลูกข่าย

3. ศึกษาประสิทธิภาพของระบบไวแมกซ์ที่เสนอ ต่อข้อมูล UGS ขนาดต่างๆ สัดส่วนเปอร์เซ็นต์การร้องขอส่งข้อมูล UGS สัดส่วนเปอร์เซ็นต์การจัดสรรสลอตเวลา และการกระจายตัวของสถานีลูกข่ายแบบต่างๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

การตรวจเอกสารของวิทยานิพนธ์นี้ประกอบไปด้วย ความรู้พื้นฐานการทำงานของเทคโนโลยีไวแมกซ์ (WiMAX) ตามมาตรฐาน IEEE 802.16 ความรู้พื้นฐานการทำงานของการส่งตรง (Peer-to-Peer หรือ P2P) คุณภาพการให้บริการ (Quality of Service หรือ QoS) เทคนิคการจัดการคิว (Queuing Discipline) และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของการทำงานร่วมกันระหว่างการส่งข้อมูลผ่านสถานีฐานและการส่งตรง

เทคโนโลยีไวแมกซ์ตามมาตรฐาน IEEE 802.16

ไวแมกซ์ (WiMAX) เป็นเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย ซึ่งย่อมาจาก Worldwide Interoperability for Microwave Access บนมาตรฐาน IEEE 802.16 โดยลักษณะเด่นของไวแมกซ์ได้แก่ รัศมีทำการที่ 30 ไมล์ หรือระยะทางประมาณ 50 กิโลเมตร และมีอัตราความเร็วในการส่งผ่านข้อมูลสูงสุดถึง 75 เมกะบิตต่อวินาที (Mbps)

ความเป็นมาจาก IEEE 802.16-2004 มาเป็น IEEE 802.16e-2005

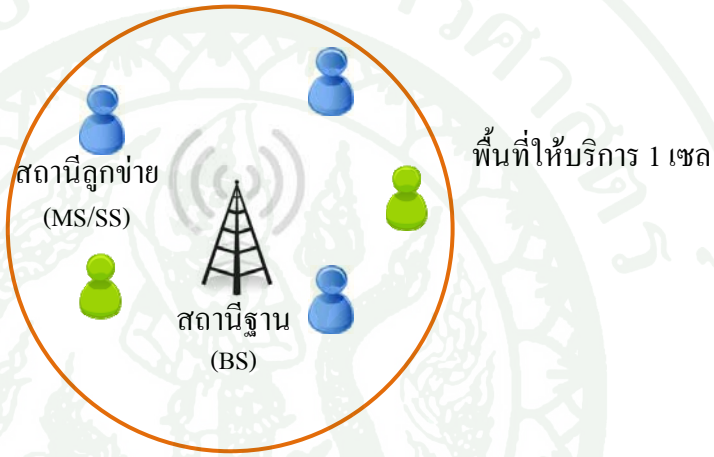
มาตรฐาน IEEE 802.16-2004 ได้พัฒนามาต่อเนื่องจาก IEEE 802.16-2001, IEEE 802.16a-2003 และ IEEE 802.16d ก่อนได้รับอนุมัติจากมาจากสถาบันวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ หรือ IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) มาเป็น IEEE 802.16-2004

มาตรฐาน IEEE 802.16e-2005 เป็นส่วนเพิ่มเติมจาก IEEE 802.16-2004 (Addendum) โดยมีการแก้ไขเนื้อหาบางส่วนของ IEEE 802.16-2004 ซึ่งความแตกต่างหลักๆ มีดังนี้ การกำหนดให้สถานีลูกข่ายมีการเคลื่อนที่ (Mobile Station หรือ MS) มอดูเลชั่นของชั้นกายภาพเป็นแบบ OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) และประเภทของบริการเป็น 5 ประเภท ดังนี้ ข้อมูลเสียง (UGS) สตรีมมิ่ง(rtPS) ข้อมูลเสียงที่ปรับอัตราบิตได้ (ertPS) วิดีโอหรือข้อมูลไฟล์ (nrtPS) และข้อมูลเว็บ (BE) โดยเพิ่มประเภท ertPS มาอีกหนึ่งประเภท

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเชื่อมต่อบนเครือข่ายไวแมกซ์ ตามมาตรฐาน IEEE 802.16

การเชื่อมต่อบนเครือข่ายไวแมกซ์ ตามมาตรฐาน IEEE 802.16 (WiMAX Topology) มี 2 แบบ คือ แบบหนึ่งจุดไปหลายจุด (Point-to-Multipoint หรือ PMP topology หรือ PMP mode) และแบบตาข่าย (Mesh topology หรือ Mesh mode) โดยองค์ประกอบของไวแมกซ์ ประกอบด้วย พื้นที่ให้บริการ 1 เซล (Coverage area), สถานีฐาน (Base Station หรือ BS) และสถานีลูกข่าย (Subscriber Station หรือ SS และ Mobile Station หรือ MS) แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 องค์ประกอบของไวแมกซ์ 1 เซล

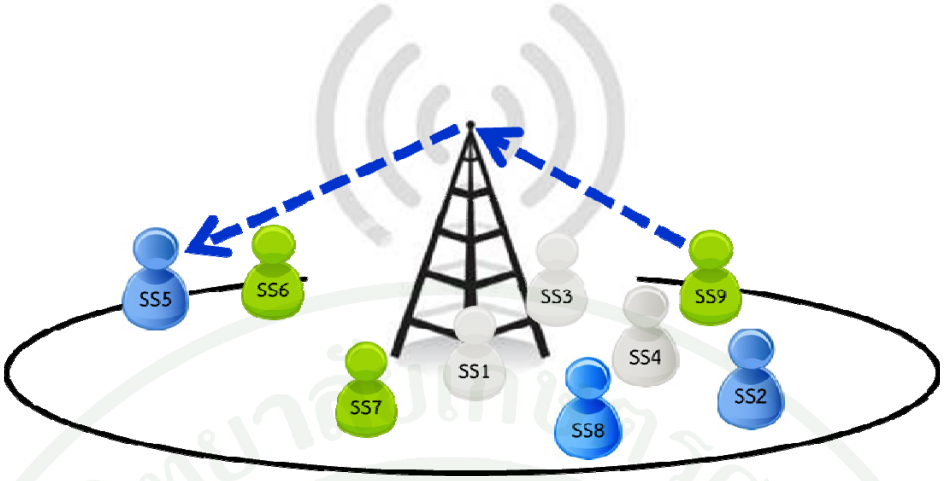
1. การเชื่อมต่อแบบหนึ่งจุดไปหลายจุด

การเชื่อมต่อแบบหนึ่งจุดไปหลายจุดให้การไหลของข้อมูล (Traffic Flow) เกิดขึ้นระหว่างสถานีฐานและสถานีลูกข่ายเท่านั้น การเชื่อมต่อแบบนี้จะเป็นแบบรวมศูนย์ โดยมีสถานีฐานเป็นศูนย์กลางของการเชื่อมต่อ แสดงดังภาพที่ 2

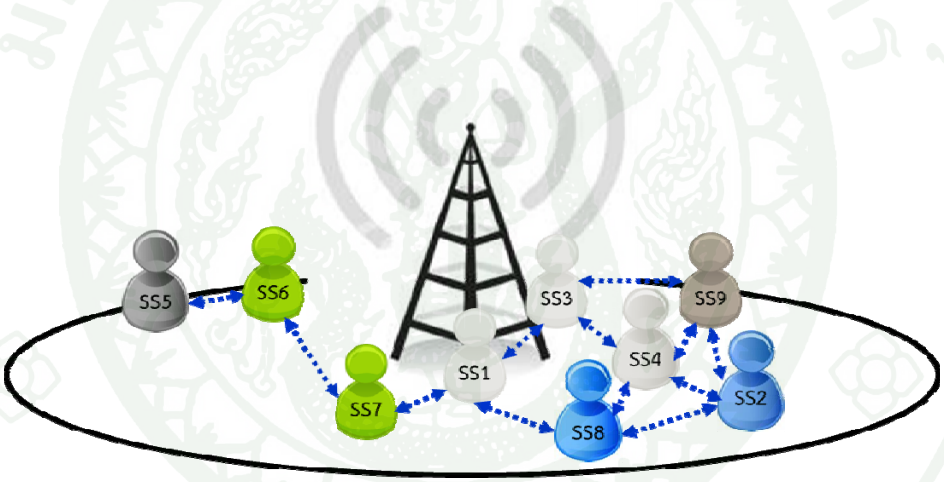
2. การเชื่อมต่อแบบตาข่าย

การเชื่อมต่อแบบตาข่ายให้การไหลของข้อมูลเกิดขึ้นระหว่างสถานีลูกข่ายด้วยกัน ซึ่งแต่ละสถานีลูกข่ายสามารถสื่อสารกับสถานีลูกข่ายอื่นๆได้ โดยไม่จำเป็นต้องสื่อสารผ่านสถานีฐานเท่านั้น แสดงดังภาพที่ 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 2 การเชื่อมต่อแบบหนึ่งจุดไปหลายจุด



ภาพที่ 3 การเชื่อมต่อแบบตาข่าย

ความถี่ที่ใช้งาน

ตามมาตรฐาน IEEE 802.16 กำหนดให้ระบบทำงานบนความถี่ต่ำกว่า 11 กิกะเฮิรตซ์ แต่ทางไวแมกซ์ฟอรั่ม (WiMAX Forum) ได้แบ่งช่วงความถี่เป็น 2 ระบบ ได้แก่ ระบบอยู่กับที่ ตามตารางที่ 1 และระบบที่เคลื่อนที่ ตามตารางที่ 2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 ระบบไวแมกซ์แบบอยู่กับที่ เมื่อชั้นกายภาพเป็น OFDM และเชื่อมต่อแบบ PMP

แถบความถี่ (GHz)	โหมด Duplexing	แบนด์วิดท์ (MHz)	ชื่อโปรไฟล์
3.5	TDD	7	3.5T1
3.5	TDD	3.5	3.5T2
3.5	FDD	3.5	3.5F1
3.5	FDD	7	3.5F2
3.5	TDD	10	5.8T

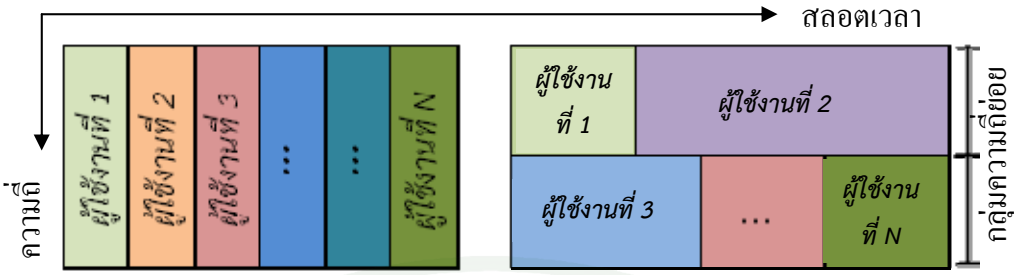
ตารางที่ 2 ระบบไวแมกซ์แบบเคลื่อนที่ เมื่อชั้นกายภาพเป็น OFDMA และเชื่อมต่อแบบ PMP

แถบความถี่ (GHz)	โหมด Duplexing	แบนด์วิดท์ และขนาด FFT (จำนวนความถี่ย่อยในOFDMA)
2.3-2.4	TDD	5 MHz, 512; 8.75 MHz, 1024; 10 MHz, 1024
2.305-2.320	TDD	3.5 MHz, 512; 5 MHz, 512; 10 MHz, 1024
2.496-2.690	TDD	5 MHz, 512; 10 MHz, 1024
3.3-3.4	TDD	5 MHz, 512; 7 MHz, 1024; 10 MHz, 1024
3.4-3.8	TDD	5 MHz, 512; 7 MHz, 1024; 10 MHz, 1024

ชั้นกายภาพของไวแมกซ์

ชั้นกายภาพตาม IEEE 802.16-2004 จะเป็นแบบ OFDM ส่วน IEEE 802.16e-2005 จะเป็นแบบ OFDMA ซึ่งในแกนความถี่ของทั้งสองแบบจะถูกแบ่งเป็นช่วงความถี่ย่อย (Sub-channel) ส่วนในแกนเวลาจะมีความแตกต่างกันที่ OFDM ในเวลาหนึ่งยอมให้ผู้ใช้งานเพียงรายเดียวสามารถส่งข้อมูลได้ แสดงดังภาพที่ 4 (a) ส่วน OFDMA ในเวลาหนึ่งยอมให้ผู้ใช้งานมากกว่าหนึ่งรายสามารถส่งข้อมูลได้ ซึ่งแต่ละช่วงความถี่ย่อยจะถูกจัดสรรให้ผู้ใช้งานรายอื่นสามารถส่งข้อมูลได้ แสดงดังภาพที่ 4 (b)

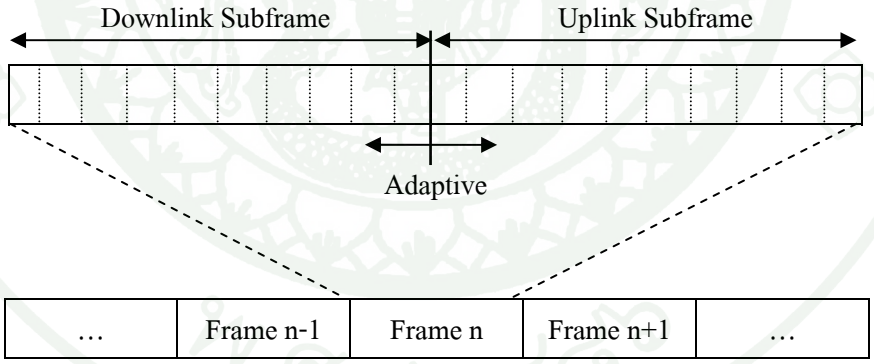
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 4 ชั้นกายภาพ (a) แบบ OFDM (b) แบบ OFDMA

โครงสร้างเฟรมของไวแมกซ์

โครงสร้างเฟรมของไวแมกซ์ ตามมาตรฐาน IEEE 802.16-2004 กำหนดให้ หนึ่งเฟรมประกอบด้วยเฟรมย่อยขาลง(Downlink subframe) และเฟรมย่อยขาขึ้น(Uplink subframe) ซึ่งเฟรมย่อยทั้งสองส่วนนั้นสามารถปรับสัดส่วนได้ แสดงดังภาพที่ 5 สำหรับโครงสร้างเฟรมแบบ OFDM และภาพที่ 6 สำหรับโครงสร้างเฟรมแบบ OFDMA

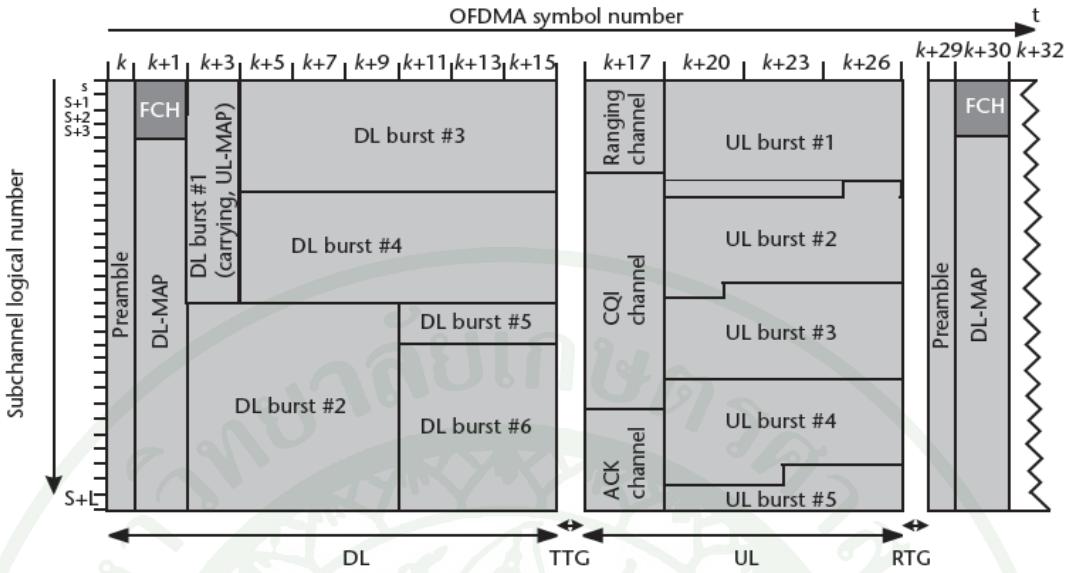


ภาพที่ 5 โครงสร้างเฟรมแบบ OFDM

กลไกของคุณภาพการให้บริการ

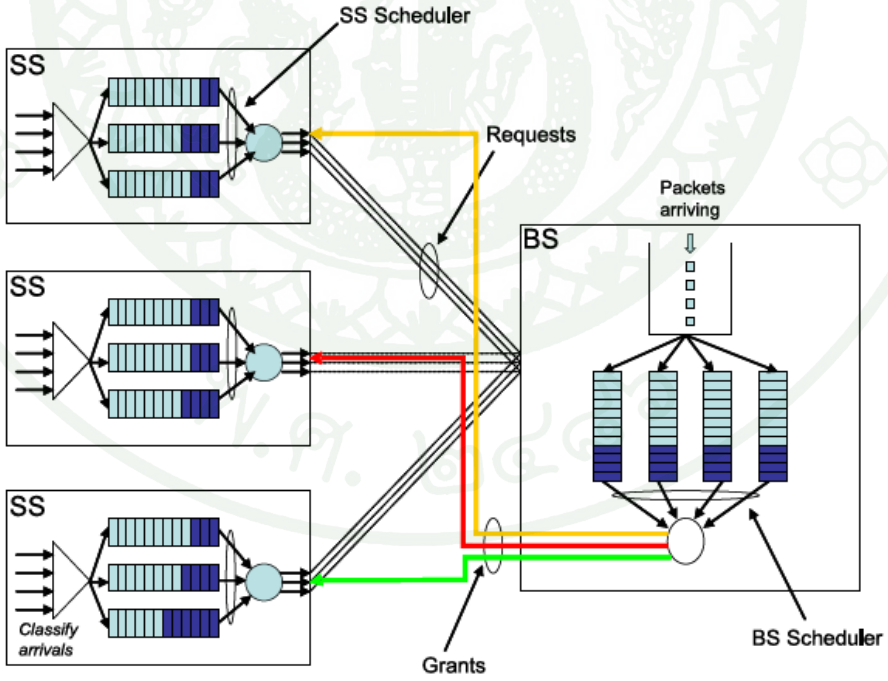
กลไกการทำงานของคิว (QoS Mechanism) ประกอบด้วยส่วนต่างๆ 3 ส่วน คือ การจัดการคิว (Queuing) การจำแนกจัดกลุ่มแพ็คเก็ต (Classification) และ การจัดลำดับนำส่งข้อมูล (Scheduling) ดังภาพที่ 7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 6 โครงสร้างเฟรมแบบ OFDMA

ที่มา: Lee (2008)



ภาพที่ 7 ตัวอย่างกลไกคุณภาพการให้บริการ

ที่มา: Pellegrini (2006)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การแบ่งคลาสของคุณภาพการให้บริการของไวแมกซ์

การแบ่งคลาสของคุณภาพการให้บริการของไวแมกซ์ (WiMAX QoS Service Class) นั้น ตามมาตรฐาน IEEE 802.16e-2005 กำหนดให้มี 5 คลาส ตามแอพพลิเคชั่นที่ใช้งาน

1. Unsolicited Grant Scheme (UGS) เช่น ข้อมูลเสียง หรือ VOIP (Voice over IP)
2. Real Time Polling Service (rtPS) เช่น วิดีโอสตรีมมิ่ง
3. Extended Real Time Polling Service (ertPS) เช่น ข้อมูลเสียง หรือ VOIP ที่ให้ปรับอัตราบิตได้
4. Non Real Time Polling Service (nrtPS) เช่น การโอนไฟล์
5. Best Effort Service (BE) เช่น การใช้งานเว็บไซต์

เทคนิคการจัดคิว

เทคนิคการจัดการคิว (Queuing Discipline) และวิธีเลือกแพ็กเก็ตเพื่อการนำส่ง ที่ใช้งานกันอยู่ทั่วไปมีหลายวิธี แต่เทคนิคการจัดการคิวที่นำมาไปใช้กับงานวิจัยนี้ ได้แก่ การจัดการคิวแบบ FIFO (First-In-First-Out) ใช้สำหรับคิวภายในของแต่ละประเภทข้อมูล (Intra-flow scheduling) และการจัดการคิวแบบ WRR (Weight Round Robin) ใช้สำหรับคิวระหว่างประเภทข้อมูล (Inter-class scheduling)

1. การจัดการคิวแบบ FIFO (First-In-First-Out)

การจัดการคิวแบบนี้จะมีบัพเฟอร์หรือคิวเพียงคิวเดียว การไหลของข้อมูลจะต้องเข้ามารอในคิวเดียวกัน แพ็กเก็ตจะต้องรอตามลำดับก่อนหลัง โดยแพ็กเก็ตที่มาก่อนจะได้รับบริการก่อน ซึ่งการจัดการคิวแบบนี้จะไม่แบ่งความสำคัญของข้อมูล

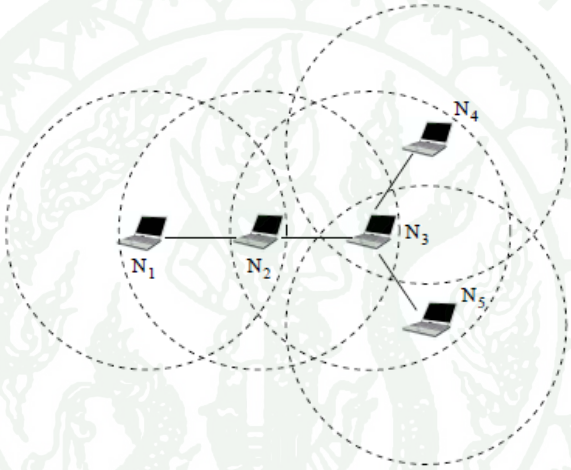
2. การจัดการคิวแบบ WRR (Weight Round Robin)

การทำงานของ WRR ข้อมูลจะจัดลำดับตามความสำคัญ โดยระบบจะแบ่งการทำงานเป็นรอบ ซึ่งแต่ละรอบจะดึงแพ็กเก็ตจากแต่ละคิวมาเรียงต่อกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเชื่อมต่อแบบส่งตรง

การเชื่อมต่อแบบส่งตรง (Peer-to-Peer หรือ P2P) เป็นเทคโนโลยีที่ให้เพียร์ (Peer) จากภาพที่ 8 ได้แก่ N_1-N_5 ตั้งแต่สองเพียร์ทำงานกันเองในเครือข่าย โดยใช้ข้อมูลที่เหมาะสมและระบบการสื่อสารที่ปราศจากการจัดการจากศูนย์กลาง เครือข่ายการส่งตรงจะทำงานในลักษณะการออกจากกลุ่มและการขอเข้ากลุ่มตลอดเวลาเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกัน การใช้งานที่นิยมนำไปใช้ ได้แก่ การแบ่งปันไฟล์ (File-sharing system) การใช้งานกริด (Grid computing) และ การส่งข้อความสั้น (Instant messaging)



ภาพที่ 8 ตัวอย่างการเชื่อมต่อแบบส่งตรง

ภาพที่ 8 กำหนดให้วงกลมเส้นประ แสดงถึงขอบเขตสัญญาณของเพียร์ และเส้นตรงทึบแสดงถึงการเชื่อมต่อถึงกันได้ของสัญญาณไร้สาย ดังนั้นการเชื่อมต่อแบบส่งตรง คือ เพียร์ 1 (N_1) สามารถส่งข้อมูลโดยตรงให้กับเพียร์ที่ 2 (N_2) ได้ หรือเพียร์ 4 (N_4) สามารถส่งข้อมูลได้โดยตรงให้กับเพียร์ที่ 3 (N_3) โดยไม่ต้องผ่านสถานีตัวกลางตัวอื่น

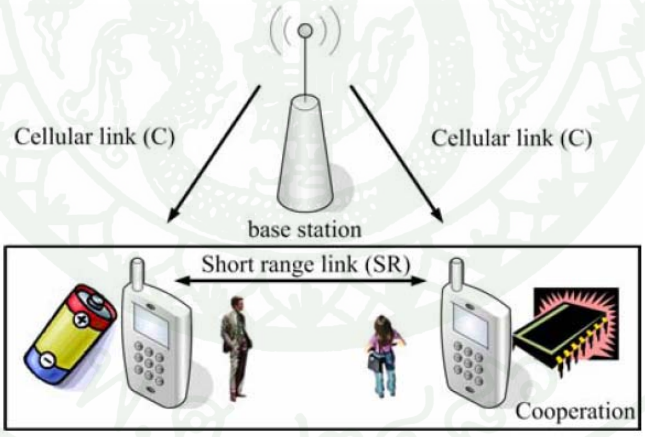
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในหัวข้อนี้เป็นการสรุปงานวิจัย ซึ่งนำเทคโนโลยีการส่งตรงมาใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีเซลลูลาร์ (Cellular) ได้แก่ 3จี (3G) และไวแมกซ์ (WiMAX) นอกจากนี้ยังมีการส่งตรงใช้งานร่วมกับแลนไร้สาย (WLAN) ด้วย ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยและพัฒนาระบบไวแมกซ์ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นต่อไป จึงได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เครือข่ายเซลลูลาร์ควบคุมการสื่อสารระยะใกล้

Fitzek et al. (2008) ได้เสนอแบบจำลองใหม่ที่ให้สถาปัตยกรรมเซลลูลาร์ ควบคุมการสื่อสารของสถาปัตยกรรมการส่งระยะใกล้ ตัวอย่างการใช้งานในลักษณะนี้ที่มีใช้งานกันอยู่ ได้แก่ การใช้งาน GPRS กับบลูทูธ (Bluetooth) โดยให้มีการดาวน์โหลดไฟล์ผ่านทางการเชื่อมต่อด้วย GPRS พร้อมๆกับการรับข้อมูลที่แลกเปลี่ยนระหว่างกันด้วยการเชื่อมต่อระยะสั้น ดังภาพที่ 9 ผลการทดลองที่ได้คือ เวลาดาวน์โหลดลดลง 50% และใช้พลังงานลดลง 45% แต่ค่าที่ได้นั้น ขึ้นอยู่กับประเภทข้อมูลที่แตกต่างกัน กรณีดาวน์โหลดวิดีโอจะใช้พลังงานเพื่อการแสดงผลเพิ่มขึ้น

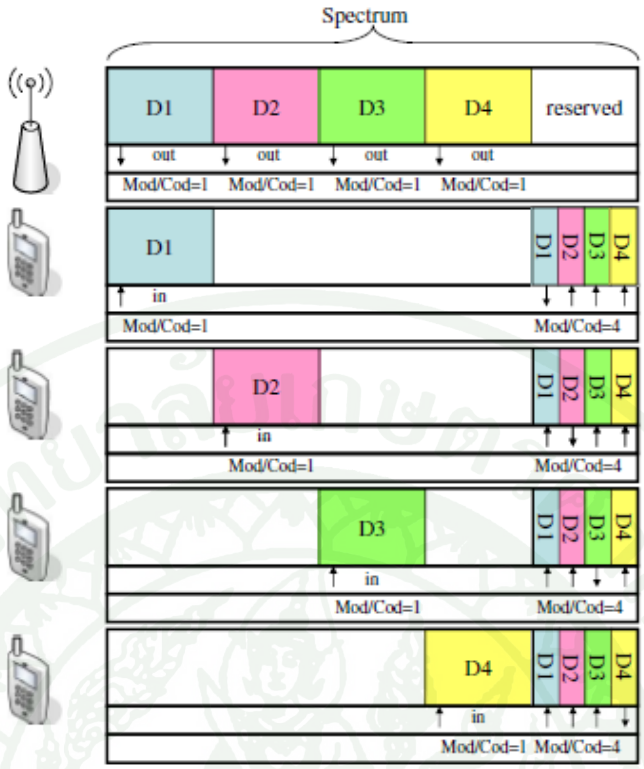


ภาพที่ 9 สถาปัตยกรรมเซลลูลาร์ควบคุมการสื่อสารของสถาปัตยกรรมการส่งระยะใกล้

ที่มา: Fitzek et al. (2008)

ภาพที่ 10 ใช้เทคโนโลยี OFDMA โดยแบ่งสเปกตรัมเป็น 4 ส่วนสำหรับเซลลูลาร์และ 1 ส่วนสำหรับการเชื่อมต่อระยะใกล้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 10 สเปกตรัมที่แบ่งให้การเชื่อมต่อแบบเซลลูลาร์และการเชื่อมต่อระยะใกล้

ที่มา: Fitzek et al. (2008)

2. การ P2P วิดีโอสตรีมมิ่งสำหรับหลายเพียร์เคลื่อนที่

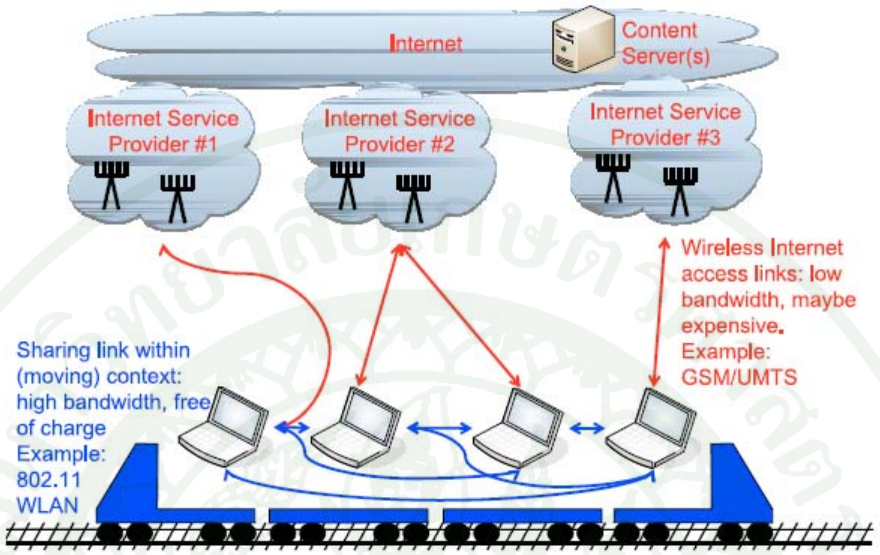
Stiemerling et al. (2010) เสนอการจัดลำดับนำส่งข้อมูลแบบใหม่ เพื่อให้หลายเพียร์ดาวน์โหลดวิดีโอสตรีมมิ่งเรื่องเดียวกันและมาแบ่งบันกันได้ โดยที่ขณะดาวน์โหลดมีการเคลื่อนที่ด้วย ดังภาพที่ 11

3. การส่งตรงแบบรวมศูนย์ของวิดีโอสตรีมมิ่งบนเครือข่ายไร้สายแบบผสม

He et al. (2005) เสนอเครือข่ายไร้สายแบบผสมที่มีการส่งตรงแบบรวมศูนย์ของวิดีโอสตรีมมิ่ง เพื่อปรับปรุงการส่งวิดีโอบนอินเตอร์เน็ตไร้สาย โดยวิดีโอของเลเยอร์พื้นฐานส่งจากเซิร์ฟเวอร์ผ่านแลนไร้สาย (WLAN) เพื่อจัดการการกระจายวิดีโอจากส่วนกลาง สำหรับเลเยอร์ที่ปรับปรุงจะ

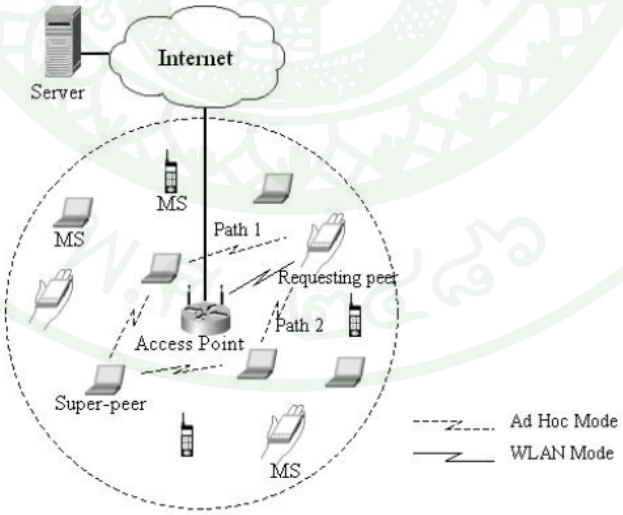
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่งไปหลายเส้นทางผ่านแอดฮอก เพื่อลดความแออัดที่แอคเซสพอยท์ (Access Point หรือ AP) ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 11 การส่งตรงของสตรีมมิ่งระหว่างกันขณะมีการเคลื่อนที่

ที่มา: Stiemerling et al. (2010)



ภาพที่ 12 การส่งตรงแบบรวมศูนย์ของวิดีโอสตรีมมิ่งบนเครือข่ายไร้สายแบบผสม

ที่มา: He et al. (2005)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

งานวิจัยนี้ปรับปรุงการส่งวิดีโอบนเครือข่ายไร้สายอินเตอร์เน็ต โดยให้มีการส่งแบบแอดฮอก ซึ่งจะช่วยลดความแออัดของแอคเซสพอยท์ ดังนั้นแอคเซสพอยท์ที่เสนอจะไม่เพียงแค่ส่งผ่านแพ็คเก็ตแต่จะบริหารจัดการแคช (Cache) ของวิดีโอและสถานีที่เคลื่อนที่ในเครือข่ายไร้สายด้วย โดยให้ผลการเปรียบเทียบอัตราส่วนของแพ็คเก็ตสูญหายเฉลี่ย ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบอัตราส่วนของแพ็คเก็ตสูญหายเฉลี่ย

รูปแบบ	เลเยอร์	อัตราส่วนของแพ็คเก็ตสูญหาย
แลนไร้สาย	พื้นฐาน	29%
	เพิ่มเติม	58.7%
แบบผสม 1 เส้นทาง	พื้นฐาน	0
	เพิ่มเติม	45%
แบบผสม 2 เส้นทาง	พื้นฐาน	0
	เพิ่มเติม	37.6%

ซึ่งผลงานวิจัยนี้จะให้คุณภาพของวิดีโอที่สามารถรับรู้ได้มีคุณภาพดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแลนไร้สายทั่วไป

4. การทำงานบิตทอเรนท์บนเครือข่ายไวแมกซ์ที่มีการเคลื่อนที่

Wang et al. (2011) วัดค่าและวิเคราะห์การทำงานของบิตทอเรนท์ของไวแมกซ์ที่มีการเคลื่อนที่ โดยผลสรุปมีดังนี้ การเชื่อมต่อแบบไร้สายไม่มีเสถียรภาพ เนื่องจากความแรงของสัญญาณและการเคลื่อนที่ข้ามเซล การเชื่อมโยงที่ไม่ดีจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการดาวน์โหลดลดลง

งานวิจัยที่กล่าวข้างต้นเมื่อนำมาเปรียบเทียบลักษณะการใช้งาน แสดงดังตารางที่ 4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่เสนอ

วิธีการ	รูปแบบของบริการ	การเชื่อมต่อแบบรวมศูนย์		การเชื่อมต่อแบบส่งตรง	
		เทคโนโลยี	การส่ง	เทคโนโลยี	คู่การส่งต่อครั้ง
Fitzek et al. (2008)	เสียง	เซลลูลาร์	OFDMA	P2P	> 1
Stiemerling et al. (2010)	สตรีมมิ่ง	3G	-	P2P	> 1
He et al. (2005)	สตรีมมิ่ง	WLAN	-	Ad-hoc	> 1
Wang et al. (2011)	ไฟล์	ไวแมกซ์	-	P2P	1
งานวิจัยที่เสนอ	ทุกคลาส	ไวแมกซ์	OFDM	P2P	> 1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ฮาร์ดแวร์

   เครื่องคอมพิวเตอร์โน๊ตบุค 1 เครื่อง ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

   1.1. ซีพียู (CPU) Intel Atom ความเร็ว 1.66 GHz

   1.2. หน่วยความจำหลัก 1.5 GB

   1.3. ฮาร์ดดิกส์ขนาด 60 GB

2. ซอฟต์แวร์

   2.1 ระบบปฏิบัติการ Windows XP Professional

   2.2 โปรแกรม Eclipse version Helios

   2.3 โปรแกรม Edit Plus version 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการ

งานวิจัยนี้ได้ทำการเสนอการส่งตรงให้ทำงานร่วมกับการส่งผ่านสถานีฐาน โดยออกแบบให้มีการเลือกรูปแบบการส่งคือเมื่อสถานีลูกข่ายต้นทางและสถานีลูกข่ายปลายทางอยู่ไกลกันหรือไม่สามารถติดต่อกันได้ ให้ส่งผ่านสถานีฐานตามปกติ แสดงดังภาพที่ 13 (a) แต่ถ้าสถานีลูกข่ายต้นทางและสถานีลูกข่ายปลายทางอยู่ใกล้กันและสามารถส่งตรงถึงกันได้ให้ส่งด้วยวิธีส่งตรง ทั้งนี้การส่งตรงที่เกิดขึ้นอนุญาตให้เกิดได้มากกว่าหนึ่งคู่ในหนึ่งสลอตเวลา แสดงดังภาพที่ 13 (b)

ทั้งนี้ตามมาตรฐาน IEEE 802.16-2004 เมื่อสถานีลูกข่ายขอเข้าใช้เครือข่ายและต้องการส่งข้อมูลไปยังสถานีลูกข่ายอีกสถานี ตามมาตรฐานกำหนดให้มีการส่งการร้องขอแบนด์วิดท์ (BW-req) ไปยังสถานีฐาน และเมื่อสถานีฐานได้รับการร้องขอจากสถานีลูกข่าย สถานีฐานจะพิจารณาเลือกสถานีลูกข่ายเพื่อส่งข้อมูล โดยที่ขนาดข้อมูลที่ร้องขอนั้น สถานีฐานจะจัดสรรให้เหมาะสมกับแบนด์วิดท์ที่มีให้บริการ หลังจากนั้นสถานีฐานจะจัดสรรสลอตเวลาและแจ้งสลอตเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลแก่สถานีลูกข่าย ทั้งสลอตเวลาขาลง(DL-MAP) และสลอตเวลาขาขึ้น(UL-MAP) สำหรับสถานีลูกข่ายจะรอเวลา จนกระทั่งถึงเวลาตามที่สถานีฐานได้แจ้งไว้ สถานีลูกข่ายจึงทำการรับส่งข้อมูลกัน

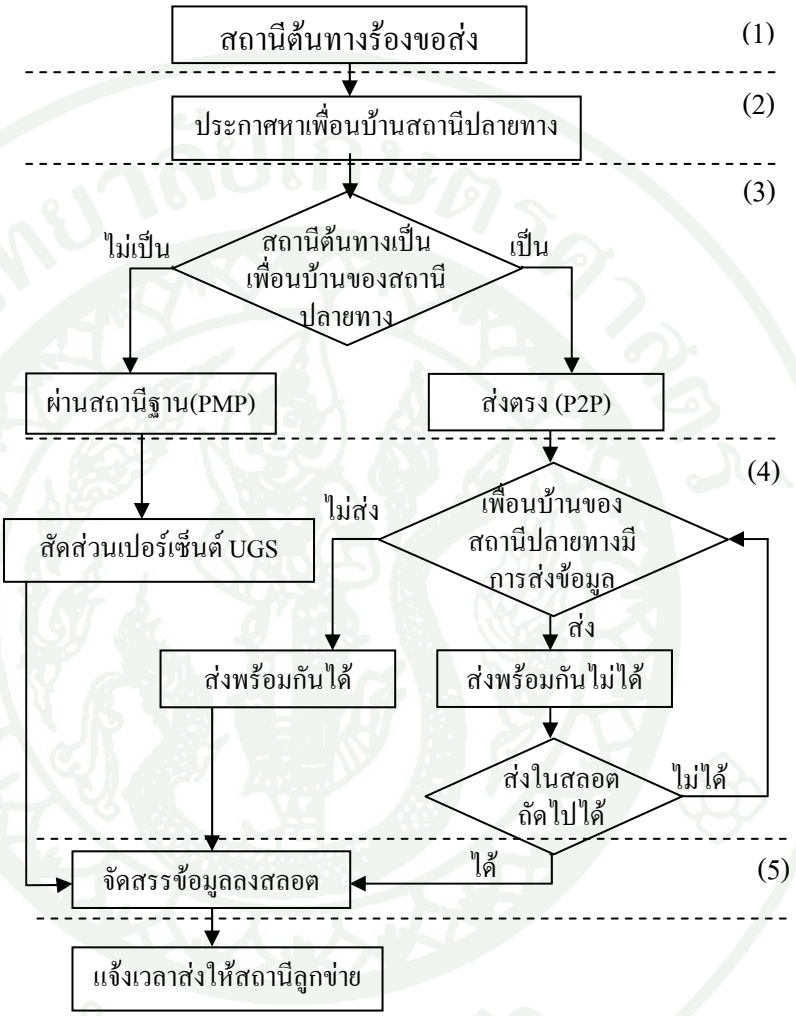
(a) (b)

ภาพที่ 13 รูปแบบการรับส่งของมูลของระบบไวแมกซ์ที่เสนอ (a) การรับส่งข้อมูลแบบผ่านสถานีฐาน (b) การรับส่งข้อมูลแบบส่งตรงร่วมกับแบบผ่านสถานีฐาน

สำหรับงานวิจัยที่นำเสนอนั้น จะมีกลไกการทำงานที่เพิ่มเติมจากมาตรฐาน IEEE 802.16-2004 ได้แก่ การประกาศหาเพื่อนบ้านของสถานีลูกข่ายปลายทาง การเลือกรูปแบบการส่ง การ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตรวจสอบการส่งพร้อมกันได้ของการส่งตรง และการจัดสรรสลอตเวลา ซึ่งในส่วนสุดท้ายนั้น ทางมาตรฐานได้เปิดกว้างให้ผู้ผลิตได้ออกแบบใช้งานได้เอง จึงไม่ได้กำหนดรูปแบบการจัดสรรสลอตเวลาไว้ เมื่อนำมาเขียนเป็นแผนผังการทำงาน สามารถแสดงได้ตามภาพที่ 14

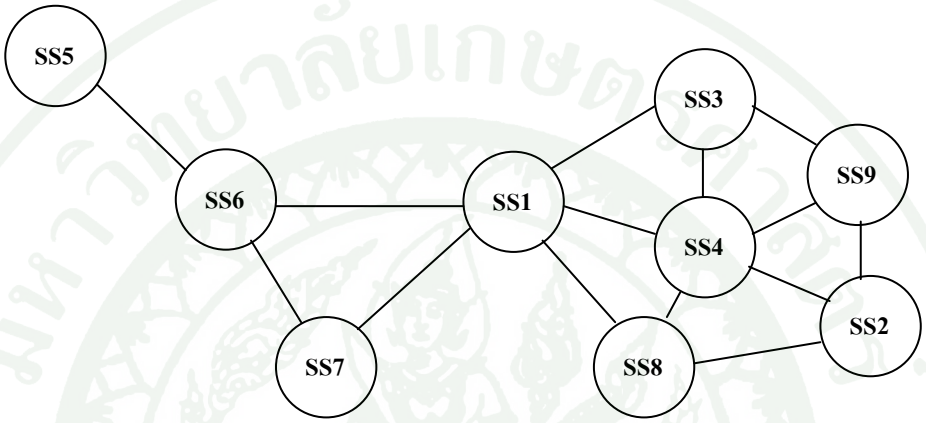


ภาพที่ 14 แผนผังการทำงานของระบบไวแมกซ์ที่เสนอ

จากแผนผังการทำงานตามภาพที่ 14 จะอธิบายเป็นหัวข้อๆไป โดยยกตัวอย่างแบบจำลองซึ่งประกอบด้วย สถานีฐาน 1 สถานี และสถานีลูกข่าย 9 สถานี โดยสัญญาณครอบคลุมของแต่ละสถานีลูกข่ายบอกถึงการเชื่อมต่อ ซึ่งแทนด้วยเส้นตรงทึบ และกำหนดให้วงกลมแทนสถานีลูกข่าย โดยแต่ละวงกลมจะมี SS และตัวเลขกำกับไว้ เพื่อใช้อ้างอิงสถานีลูกข่าย แสดงดังภาพที่ 15 แต่ไม่ได้แสดงสถานีฐานไว้ เนื่องจากต้องการให้เห็นการเชื่อมต่อระหว่างสถานีลูกข่าย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

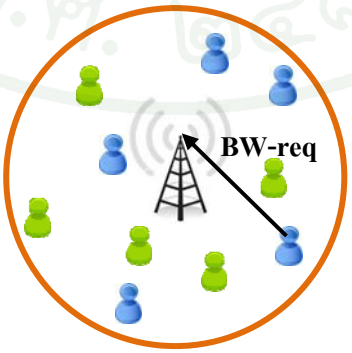
ทั้งนี้เส้นตรงทึบบอกถึงสัญญาณจากสถานีลูกข่ายหนึ่งแผ่กระจายครอบคลุมถึงอีกสถานีลูกข่ายหนึ่ง ตัวอย่างเช่น SS5 ส่งไปยัง SS6 บอกถึงสถานีลูกข่าย 5 และสถานีลูกข่าย 6 มีสัญญาณครอบคลุมซึ่งกันและกัน ดังนั้นคู่สถานีลูกข่ายลักษณะนี้จะส่งตรงถึงกันได้ ตรงกันข้าม SS5 และ SS3 ไม่มีเส้นตรงทึบลากถึงกันแสดงว่า สัญญาณทั้งสองสถานีลูกข่ายไม่ครอบคลุมถึงกัน จึงคุยระหว่างกันไม่ได้ ลักษณะเช่นนี้จะส่งข้อมูลผ่านสถานีฐาน



ภาพที่ 15 แบบจำลองตัวอย่างของการเชื่อมต่อระหว่างสถานีลูกข่าย

1. การร้องขอแบนด์วิดท์เพื่อส่งข้อมูล

เมื่อสถานีลูกข่ายหนึ่งต้องการส่งข้อมูลไปอีกสถานีลูกข่าย จะส่งการร้องขอไปยังสถานีฐาน โดยจะรอช่วงเวลาสำหรับการส่งคำรองขอ (Bandwidth Request Period) และส่งการร้องขอไปเมื่อถึงเวลา ดังภาพที่ 16 และในแบบจำลองตัวอย่างจะให้มีการร้องขอ โดยมีข้อมูล ดังตารางที่ 5



ภาพที่ 16 สถานีลูกข่ายร้องขอส่งข้อมูล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 ข้อมูลการร้องขอส่งข้อมูล

สถานีต้นทาง	สถานีปลายทาง	ขนาด(kbit)	ประเภทข้อมูล
SS3	SS4	64	UGS
SS7	SS1	384	rtPS
SS9	SS7	64	ertPS
SS2	SS8	1000	nrtPS
SS5	SS3	400	BE

จากตารางที่ 5 อธิบายการร้องขอส่งข้อมูลได้ว่าสถานีลูกข่ายต้นทาง (SS3) ต้องการส่งข้อมูล UGS ขนาด 64 กิโลบิท ไปยังสถานีลูกข่ายปลายทาง (SS4) ส่วนการร้องขอถัดไปสามารถอธิบายได้ในลักษณะเดียวกัน

2. การประกาศหาเพื่อนบ้านของสถานีลูกข่ายปลายทาง

สถานีฐานได้รับการร้องขอและแยกข้อมูลส่วนที่เป็นสถานีลูกข่ายปลายทาง เพื่อแจ้งสถานีลูกข่ายปลายทางให้ประกาศหาเพื่อนบ้าน เมื่อสถานีลูกข่ายปลายทางได้รับข้อมูลจากเพื่อนบ้านและส่งกลับไปยังสถานีฐานแล้ว ข้อมูลเพื่อนบ้านนี้จะใช้เป็นฐานข้อมูลในขั้นตอนเลือกรูปแบบการส่งต่อไป ดังนั้นการร้องขอจากตารางที่ 5 เมื่อพิจารณาบนแบบจำลองการเชื่อมต่อของสถานีลูกข่ายจากภาพที่ 15 แล้วจะได้ข้อมูลเพื่อนบ้านของสถานีลูกข่ายปลายทาง ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 เพื่อนบ้านของสถานีลูกข่ายปลายทาง

สถานีลูกข่ายปลายทาง	เพื่อนบ้านของสถานีลูกข่ายปลายทาง
SS1	{SS3, SS4, SS6, SS7, SS8}
SS3	{SS1, SS4, SS9}
SS4	{SS1, SS2, SS3, SS8, SS9}
SS7	{SS1, SS6}
SS8	{SS1, SS2, SS4}

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากข้อมูลการร้องขอลำดับที่ 1 ตามตารางที่ 5 นั้น โดย SS3 ต้องการส่งข้อมูลไปยัง SS4 การประกาศหาเพื่อนบ้านนั้น สถานีฐานจะส่งคำสั่งให้ SS4 ซึ่งเป็นสถานีลูกข่ายปลายทางนั้น ประกาศหาเพื่อนบ้าน และจากแบบจำลองการเชื่อมต่อของสถานีลูกข่ายในภาพที่ 15 จะได้ว่า SS4 เชื่อมต่ออยู่กับสถานีลูกข่าย SS1, SS2, SS3, SS8 และ SS9 หรือเขียนในรูปเซตได้ว่า เซตเพื่อนบ้านของ SS4 เป็น {SS1, SS2, SS3, SS8, SS9} แสดงดังตารางที่ 6 และนอกจากเพื่อนบ้านของสถานีลูกข่ายปลายทางของการร้องขอลำดับที่ 1 แล้วยังมีข้อมูลเพื่อนบ้านของการร้องขอในลำดับถัดๆ ไปด้วย ดังแสดงในตารางที่ 6

3. การเลือกรูปแบบการส่งข้อมูล

การเลือกรูปแบบการส่งข้อมูล สถานีฐานจะพิจารณาจากการเป็นสมาชิกของเพื่อนบ้านของสถานีลูกข่ายปลายทาง โดยใช้ข้อมูลการร้องขอตามตารางที่ 5 และฐานข้อมูลเพื่อนบ้านของสถานีลูกข่ายปลายทาง ตามตารางที่ 6 นำมาตรวจสอบกับเงื่อนไขต่อไปนี้

```
1   If (สถานีลูกข่ายต้นทาง ∈ เพื่อนบ้านของสถานีลูกข่ายปลายทาง) {
2         ส่งข้อมูลแบบส่งตรง (P2P)   }
3   else {
4         ส่งข้อมูลแบบผ่านสถานีฐาน (PMP)   }
```

ตารางที่ 7 รูปแบบการส่งข้อมูลตามเงื่อนไขการเลือกรูปแบบการส่ง

ลำดับ	สถานีต้นทาง	สถานีปลายทาง	รูปแบบการส่ง	เงื่อนไข
1	SS3	SS4	P2P	{SS3} ∈ SS4
2	SS7	SS1	P2P	{SS7} ∈ SS1
3	SS9	SS7	PMP	{SS9} ∉ SS7
4	SS2	SS8	P2P	{SS2} ∈ SS8
5	SS5	SS3	PMP	{SS5} ∉ SS3

แบบจำลองตัวอย่างเมื่อมีข้อมูลการร้องขอ SS3 ต้องการส่งไปยัง SS4 ซึ่งเซตเพื่อนบ้านของ SS4 มีสมาชิกเป็น {SS1, SS2, SS3, SS8, SS9} เมื่อตรวจสอบเงื่อนไขจะได้ว่า สถานีต้นทาง {SS3}

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เป็นสมาชิกของเซตเพื่อนบ้านของ SS4 หรือ {SS3} ∈ SS4 ดังนั้นรูปแบบการส่งจาก SS3 ไป SS4 สามารถส่งด้วยวิธีส่งตรง ดังตารางที่ 7

จากตารางที่ 7 จะได้ว่า การร้องขอลำดับที่ 1, 2 และ 4 มีรูปแบบการส่งแบบส่งตรง ส่วนการร้องขอในลำดับที่ 3 และ 5 จะมีรูปแบบการส่งเป็นแบบการส่งผ่านสถานีฐาน

4. อัลกอริทึมการจัดสรรสลอต

อัลกอริทึมการจัดสรรสลอตเวลาจะแบ่งตามรูปแบบการส่งได้เป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นการส่งแบบส่งตรงจะจัดสรรด้วยการตรวจสอบการส่งพร้อมกันได้ของคู่สถานีลูกข่าย ส่วนการส่งแบบผ่านสถานีฐานจะจัดสรรด้วยการกำหนดสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ความสำคัญของประเภทข้อมูล ซึ่งให้ความสำคัญของประเภทข้อมูล UGS เป็นหลัก ดังนั้นในหัวข้อต่อๆไปที่จะกล่าวถึง จะแบ่งกลุ่มสัดส่วนเปอร์เซ็นต์การจัดสลอตที่ส่งผ่านสถานีฐานเป็น 2 กลุ่มคือ สัดส่วนที่จัดตามเปอร์เซ็นต์ของ UGS และสัดส่วนที่จัดตามเปอร์เซนต์ของข้อมูลเรียลไทม์

4.1 อัลกอริทึมการจัดสรรสลอตเวลาแบบส่งตรง

สำหรับการส่งข้อมูลแบบส่งตรงจะตรวจสอบการส่งตรงพร้อมกันได้ของคู่สถานีลูกข่าย โดยให้คู่สถานีลูกข่ายลำดับแรกที่ส่งได้ของแต่ละ P2P สลอต เป็นคู่สถานีลูกข่ายอ้างอิง จากแบบจำลองตัวอย่างจะได้ว่า SS3 -->SS4 เป็นคู่สถานีลูกข่ายอ้างอิง ซึ่งเงื่อนไขการตรวจสอบเป็นดังนี้

```
1   If (เพื่อนบ้านของสถานีลูกข่ายปลายทาง = ผู้ส่งข้อมูล) {
2           ส่งตรงพร้อมกับสถานีลูกข่ายอ้างอิงไม่ได้  }
3   else {
4           ส่งตรงพร้อมกับสถานีลูกข่ายอ้างอิงได้  }
```

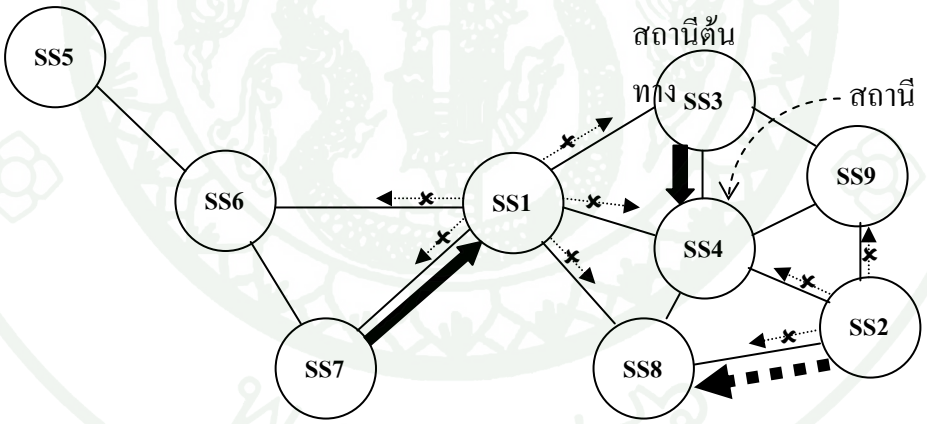
จากเงื่อนไขการตรวจสอบการส่งตรงพร้อมกันได้และตารางที่ 8 สามารถอธิบายได้ว่า เพื่อนบ้านของสถานีลูกข่ายปลายทางทำหน้าที่เป็นผู้รับข้อมูลได้ แต่ทำหน้าที่เป็นผู้ส่งข้อมูลไม่ได้ ดังภาพที่ 17 โดยกำหนดให้ ลูกศรทึบ (➡) คือคู่สถานีลูกข่ายที่ส่งในสลอตที่ 1 ส่วนลูกศรประ (▪▪▶) คือคู่สถานีลูกข่ายที่ส่งในสลอตที่ 2 ซึ่งการจัดสลอตจะเป็นไปตามลำดับคิว และตรวจสอบการส่ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตรงพร้อมกันได้กับคู่สถานีลูกข่ายอ้างอิง จากภาพที่ 17 จะได้ว่า SS3 --> SS4 และ SS7 --> SS1 สามารถส่งพร้อมกันได้ใน P2P สลอตที่ 1 ส่วน SS2-->SS8 ส่งได้ใน P2P สลอตที่ 2 สอดคล้องตามเงื่อนไขที่กล่าวไปแล้ว

ตารางที่ 8 การจัดสรรสลอตเวลาตามเงื่อนไขการส่งตรงพร้อมกันได้

ลำดับที่	SRC	DST	รูปแบบการส่ง	สถานะ	P2P สลอต 1	P2P สลอต 2
1	SS3	SS4	P2P	คู่สถานีลูกข่ายอ้างอิง	✓	
2	SS7	SS1	P2P	{SS1} ∈ SS4 และ SS1รับข้อมูลจาก SS7	✓	
4	SS2	SS8	P2P	{SS8} ∈ SS4 และ SS2 ส่งข้อมูลไปยัง SS8		✓



ภาพที่ 17 การตรวจสอบการส่งพร้อมกันได้ของคู่สถานีลูกข่าย

4.2 อัลกอริทึมการจัดสรรสลอตเวลาแบบผ่านสถานีฐาน

ข้อมูลแต่ละประเภทอนุญาตให้เกิดการหน่วงของข้อมูลได้แตกต่างกัน เช่น ข้อมูล UGS ไม่ควรเกิดการหน่วงของข้อมูล เนื่องจากทำให้การสื่อสารคลาดเคลื่อนได้ แต่ข้อมูลเว็บไซต์ยอมให้มีการหน่วงของข้อมูลได้มากกว่า ทั้งนี้เพื่อให้ข้อมูลทุกประเภทมีโอกาสส่งและป้องกันการเกิดการกีดกันของการส่งข้อมูล (Starvation) การจัดสรรสลอตเวลาแบบผ่านสถานีฐาน จึงมีการให้สัดส่วน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เปอร์เซ็นต์การจัดสรรสลอตตามประเภทข้อมูล ในรูปของ %UGS: %rtPS: %ertPS: %nrtPS: %BE วนรอบไปจนจบข้อมูล และหากประเภทข้อมูลใดไม่มีข้อมูลแล้วก็จะข้ามไป ในลักษณะ Weighted Round Robin (WRR) โดยสัดส่วนเปอร์เซ็นต์การจัดสรรสลอตจะพิจารณาที่ข้อมูล UGS เป็นหลัก ซึ่งจะได้ทำการทดลองต่อไป ส่วนในคิวของแต่ละประเภทข้อมูล จะจัดเรียงกันในลักษณะ First-In-First-Out (FIFO)

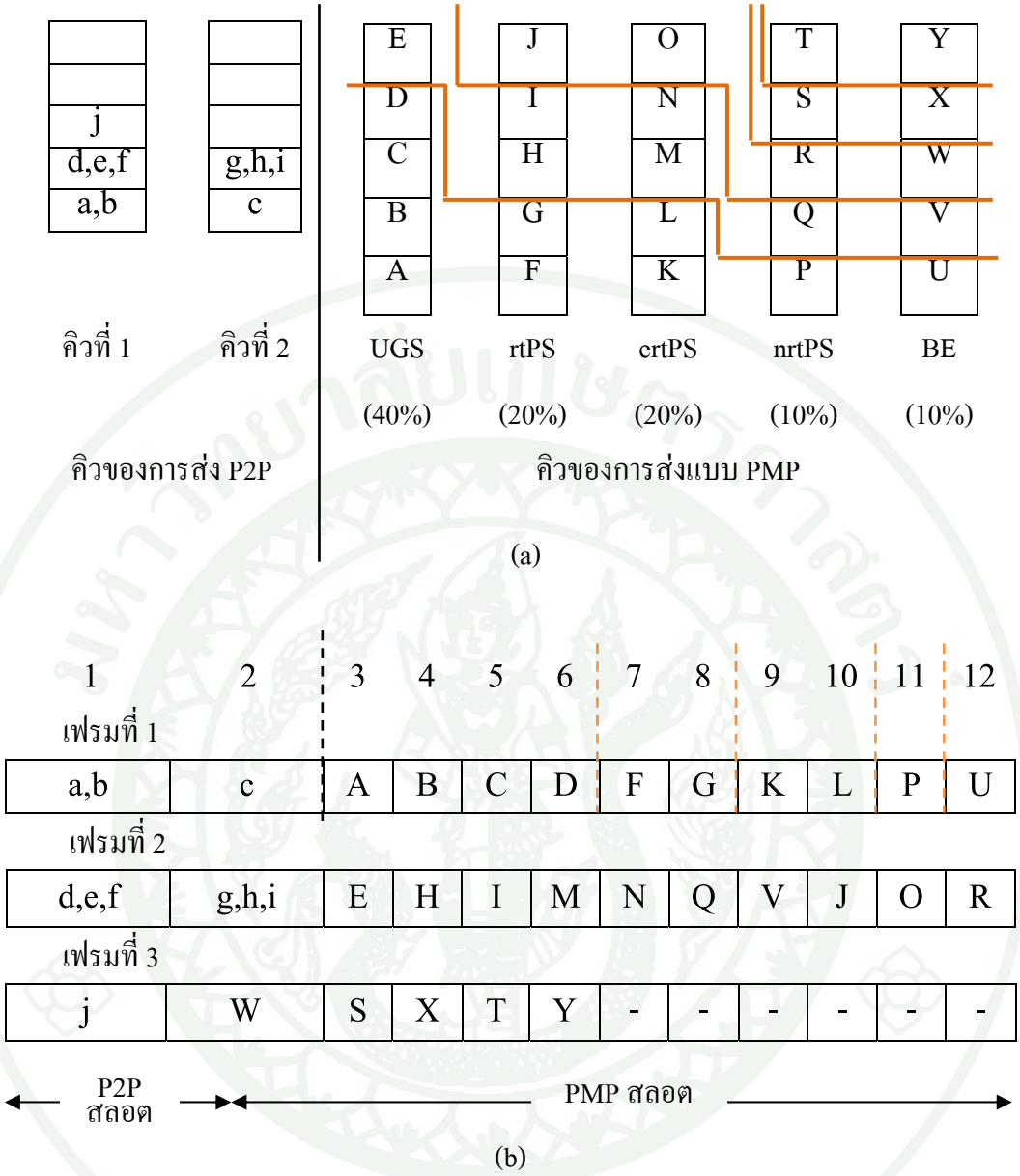
5. การจัดสรรข้อมูลลงสลอตเวลา

เมื่อได้รูปแบบการส่งข้อมูลแล้ว การจัดสรรข้อมูลลงสลอตเวลาจะจัดสรรคิวแยกตามรูปแบบการส่งและประเภทข้อมูล ในส่วนแรกจะแยกว่าข้อมูลจะส่งด้วยรูปแบบส่งตรงหรือส่งผ่านสถานีฐาน ดังแสดงในภาพที่ 18 (a) โดยคิวของการส่งตรง จะได้จากการตรวจสอบการส่งตรงพร้อมกันได้ ในหัวข้อ 4.1 ส่วนคิวของการส่งผ่านสถานีฐานจะใช้การกำหนดสัดส่วนเปอร์เซ็นต์การจัดสรรสลอตตามประเภทข้อมูลของหัวข้อ 4.2

จากภาพที่ 18 (b) กำหนดให้ a ถึง j เป็นข้อมูลที่สถานีฐานจัดสรรให้และมีรูปแบบการส่งเป็นแบบส่งตรง ส่วน A ถึง Y เป็นข้อมูลที่สถานีฐานจัดสรรให้และมีรูปแบบการส่งเป็นแบบผ่านสถานีฐาน เมื่อได้คิวข้อมูลดังภาพที่ 18 (a) จึงใช้อัลกอริทึมการจัดสรรสลอต จะได้ดังภาพที่ 18 (b) โดยจัดสรรให้แต่ละประเภทส่งข้อมูลตามสัดส่วนในหนึ่งรอบ และวนสัดส่วนเดิมในรอบถัดๆไป โดยที่ข้อมูลประเภทใดไม่มีข้อมูลส่งก็จะข้ามไป แล้วข้อมูลประเภทถัดไปจะมาเรียงต่อตามสัดส่วนเท่าที่มี หากรูปแบบการส่งใดเสร็จสิ้น รูปแบบการส่งอีกแบบจะเข้าใช้สลอตแทน เพื่อไม่ให้เกิดสลอตว่าง

จากหัวข้อ 4.1 ภาพที่ 17 สรุปได้ว่า SS3 --> SS4 และ SS7 --> SS1 สามารถส่งพร้อมกันได้ใน P2P สลอตที่ 1 ส่วน SS2-->SS8 ส่งได้ใน P2P สลอตที่ 2 นั้น และจากภาพที่ 18 (a) กำหนดให้ SS3 --> SS4 มีคิวการส่งเป็น a และ SS7 --> SS1 มีคิวการส่งเป็น b ส่วน SS2-->SS8 มีคิวการส่งเป็น c อธิบายได้ว่า คิว a และ b จัดสรรให้ส่งใน P2P สลอตที่ 1 ในเฟรมที่ 1 ส่วนคิว c จัดสรรให้ส่งใน P2P สลอตที่ 2 ในเฟรมที่ 1 ดังภาพที่ 18 (b) ทั้งนี้การจัดคิวของ PMP ตามภาพที่ 18 (a) ซึ่งกำหนดสัดส่วน %UGS: %rtPS: %ertPS: %nrtPS: %BE เป็น 40: 20: 20: 10: 10 อธิบายได้ว่าจำนวนสลอตเวลาสำหรับส่ง PMP ในภาพมีอยู่ 10 สลอต ดังนั้นจำนวนสลอตของแต่ละประเภทข้อมูล เป็น 4: 2: 2: 1: 1 สลอต ซึ่งข้อมูล UGS มี 5 คิวรอส่ง แต่มีสิทธิ์ส่งได้เพียง 4 คิว ตามสัดส่วนที่กำหนดไว้ ข้อมูล rtPS และ ertPS ก็ส่งได้ประเภทละ 2 คิว ข้อมูล nrtPS และ BE ส่งได้ประเภทละ 1คิว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 18 ตัวอย่างการจัดสรรข้อมูลลงสลอตเวลา พิจารณาที่สถานีฐาน
(a) คิวข้อมูล แยกตามรูปแบบการส่งและประเภทข้อมูล
(b) การจัดสรรข้อมูลลงสลอตเวลา

เมื่อครบรอบก็จะให้สิทธิ์การส่ง UGS อีก 4 คิว แต่ถ้าข้อมูลหมดแล้วก็จะผ่านไปประเภทถัดไปตามสัดส่วนที่กำหนดไว้ ทำซ้ำเรื่อยๆ จนคิวหมด และเมื่อสถานีฐานได้คิวข้อมูลที่จัดสรรไว้เทียบกับสลอตเวลาที่จะให้ส่งดังภาพที่ 18 (b) แล้ว สถานีฐานจะส่งข้อความ DL-MAP และ UL-MAP เพื่อแจ้งให้สถานีลูกข่ายเตรียมพร้อมการรับและส่งข้อมูล และเมื่อถึงเวลาที่ได้รับแจ้งไว้ สถานีลูกข่ายต้นทางและปลายทางจะได้รับและส่งข้อมูลตามที่ได้ร้องขอไว้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

ผล

งานวิจัยนี้ใช้การวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical Analysis) ซึ่งเขียนด้วยโปรแกรมจาวา โดยแบ่งเป็น 3 โปรแกรมย่อย สำหรับโปรแกรมย่อยส่วนแรกจะเกี่ยวข้องกับการกำหนดรูปแบบการกระจายตัวแบบต่างๆ และการหาเพื่อนบ้าน โดยส่งค่าการกระจายตัวในรูปเมตริกซ์ของสถานีลูกข่ายต้นทาง และสถานีลูกข่ายปลายทางเพื่อเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบการเป็นเพื่อนบ้านและส่งค่าเพื่อนบ้านของการกระจายตัวแบบที่กำลังพิจารณาไปยังโปรแกรมย่อยส่วนที่ 2 ซึ่งโปรแกรมย่อยส่วนที่ 2 จะเกี่ยวข้องกับการเลือกรูปแบบการส่งว่าจะส่งตรงหรือส่งผ่านสถานีฐาน และการส่งตรงพร้อมกันได้ของคู่สถานีลูกข่าย ซึ่งในส่วนนี้ได้รวมการทำงานของการจัดลำดับคิว โดยกำหนดขนาดของหนึ่งสลอตไว้ เพื่อจัดลำดับคิวของแต่ละขนาดข้อมูลที่ได้รับข้อมูลการร้องขอมา ส่วนโปรแกรมย่อยที่ 3 จะเกี่ยวกับการจัดสรรสลอตเวลา โดยกำหนดจำนวนสลอตเวลาที่เป็นการส่งตรงและสลอตเวลาที่เป็นการส่งผ่านสถานีฐาน ทั้งนี้จะมีการกำหนดสัดส่วนเปอร์เซ็นต์การจัดสรรเพื่อจัดรอบการส่งข้อมูล (Scheduling Algorithm) และนับจำนวนเฟรมที่ใช้ส่งสำเร็จ

ดังนั้นการวิเคราะห์เชิงตัวเลขจะนำค่าที่จะทำการศึกษามาแทนในค่าตัวแปรที่คิดว่าส่งผลต่อระบบและเปลี่ยนแปลงค่าเพื่อดูแนวโน้มของแต่ละตัวแปร เช่น ตัวแปรในส่วนของขนาดข้อมูล สัดส่วนเปอร์เซ็นต์การจัดสรรสลอตเวลา สัดส่วนเปอร์เซ็นต์การร้องขอส่งข้อมูล รวมถึงการกระจายตัวของสถานีลูกข่าย ซึ่งจะได้ทำการทดลองในหัวข้อถัดๆไป

1. การสร้างแบบจำลอง

งานวิจัยนี้เสนอให้มีการส่งตรงเพิ่มเข้าไปกับระบบการทำงานไวแมกซ์แบบเดิม ทำให้ระบบไวแมกซ์ที่เสนอนั้น สามารถส่งข้อมูลได้สองรูปแบบ ซึ่งรูปแบบการส่งนั้นขึ้นอยู่กับระยะครอบคลุมของสถานีลูกข่ายหรือพิจารณาการเป็นเพื่อนบ้านของสถานีลูกข่าย โดยที่คู่สถานีลูกข่ายใดๆ อยู่ในระยะที่ติดต่อถึงกันได้หรือว่าเป็นเพื่อนบ้านกัน รูปแบบการส่งจะเป็นแบบการส่งตรง แต่หากว่าคู่สถานีลูกข่ายอยู่นอกระยะที่ติดต่อถึงกันได้ รูปแบบการส่งจึงเป็นแบบผ่านสถานีฐาน เริ่มต้นด้วยการกำหนดขอบเขตที่จะทำการวิจัย โดยออกแบบระบบไวแมกซ์ที่เสนอและสร้างแบบจำลองที่สะดวกต่อการทดลอง ดังจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป แสดงดังภาพที่ 19

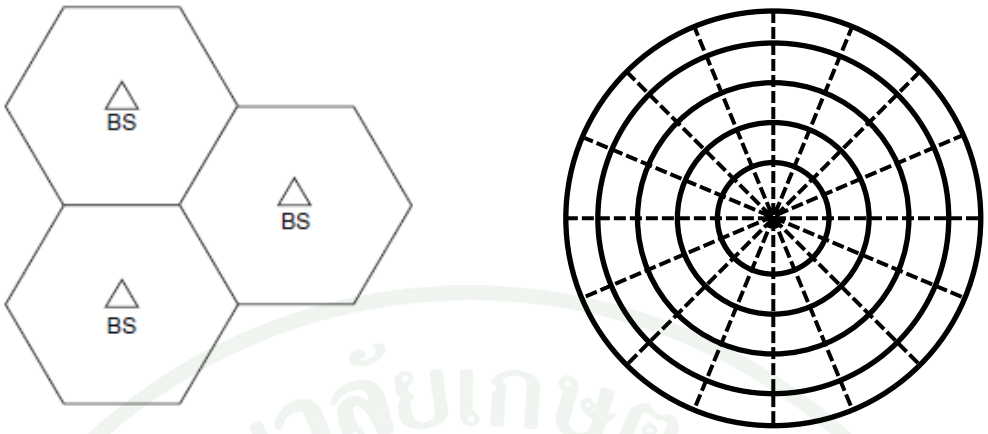
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 19 ระบบไวแมกซ์ที่เสนอ

จากภาพที่ 19 เมื่อนำมาสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการทดลองนี้ โดยให้พื้นที่ครอบคลุมของสถานีฐานจากเดิมที่เป็นเซลหกเหลี่ยม ดังภาพที่ 20 (a) มาเป็นวงกลม ดังภาพที่ 20 (b) และมาเป็นสี่เหลี่ยมเพื่อความสะดวกในการทดลอง ดังภาพที่ 20 (c) โดยออกแบบให้แบบจำลองเป็นกริด(Grid) หรือช่องตารางที่มีขนาด 30x30 ช่อง x ช่อง แสดงดังภาพที่ 21 ทั้งนี้การแปลงจากเซลวงกลมมาเป็นสี่เหลี่ยมได้ชดเชยพื้นที่ของช่องอาร์ค(arc) ในเซลวงกลมที่มีทั้งช่องเล็กและช่องใหญ่ มาเป็นพื้นที่ของช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่เท่ากันหมด จึงสมมูลกับมุมทั้งสี่ที่เกิดขึ้นบนแบบจำลองกริด โดยที่ความกว้างและความยาวของแต่ละช่องมีขนาด 100 เมตร ดังนั้นแบบจำลองกริดที่มีสถานีฐานตั้งอยู่ในตำแหน่งกลางของแบบจำลองกริดนี้ จะให้ระยะรัศมีเป็น 1500 เมตร หรือ 1.5 กิโลเมตร แสดงดังภาพที่ 21 ซึ่งสอดคล้องกับบทความของ WiMAX Forum (2004: 9) ได้กล่าวไว้ว่าระยะรัศมีตามมาตรฐานสำหรับสัญญาณประเภทที่ไม่เดินทางในระดับสายตา (Non-Line-Of-Sight: NLOS) จะมีระยะรัศมีที่ 1 - 2 กิโลเมตร แสดงได้ดังภาพที่ 22

ภาพที่ 21 แสดงแบบจำลองกริด ที่ประกอบด้วยสถานีฐาน แทนด้วยช่องสี่ช่องตรงกลางของแบบจำลองกริด และสถานีลูกข่ายจำนวน 30 สถานี แทนด้วยตัวเลข 1-30 นอกจากนี้ได้แสดงสถานีลูกข่ายที่กำลังพิจารณาและพื้นที่ครอบคลุมของสถานีลูกข่ายที่กำลังพิจารณาซึ่งแทนด้วยสี่เหลี่ยมประ( ) โดยพื้นที่ครอบคลุมของสถานีลูกข่ายจะนำไปใช้หาสถานีลูกข่ายเพื่อนบ้านต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

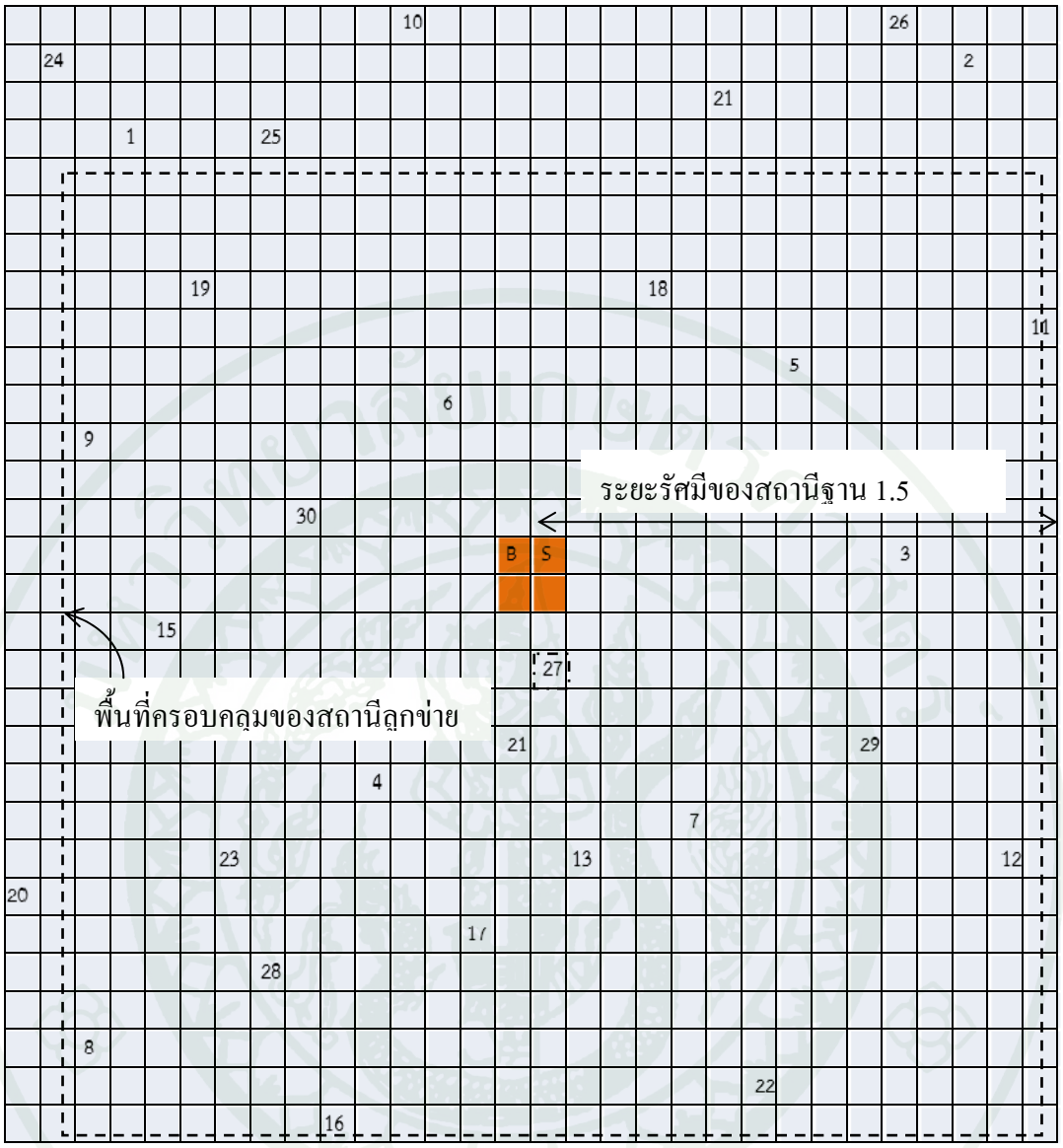


(a) (b)

(c)

ภาพที่ 20 แสดงพื้นที่ให้บริการ 1 เซล (a) เซลหกเหลี่ยม นิยมใช้ในทางสื่อสาร
(b) เซลวงกลม ใช้แทนพื้นที่ให้บริการที่เป็นหกเหลี่ยม
(c) เซลแบบจำลองกริด ใช้แทนการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



กำหนดให้ B S แทนสถานีฐาน

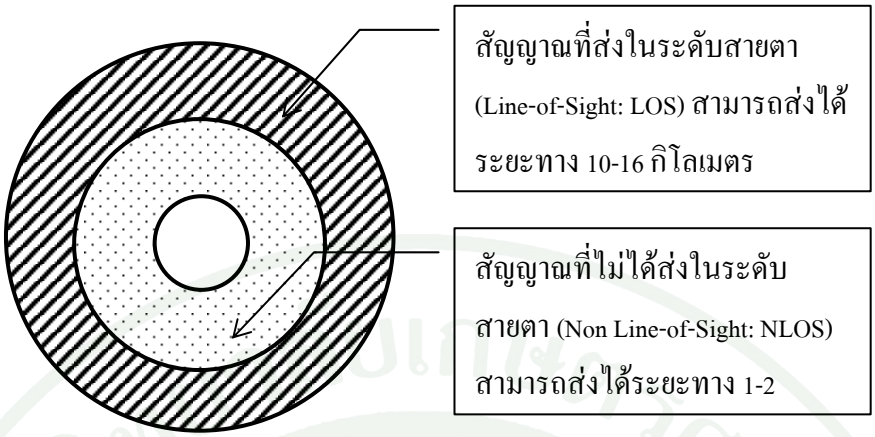
6 ตัวเลข 1-30 แทนสถานีลูกข่าย

27 แทนสถานีลูกข่ายที่กำลังพิจารณา

แทนพื้นที่ครอบคลุมของสถานีลูกข่ายที่กำลัง

ภาพที่ 21 แบบจำลองกริดขนาด 30x30 ช่อง x ช่อง และระยะรัศมี 1.5 กิโลเมตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 22 ระยะทางของสัญญาณแบบต่างๆ

2. ข้อมูลการร้องขอ

การร้องขอส่งข้อมูลจะมีโครงสร้างที่ประกอบด้วย สถานีลูกข่ายต้นทาง (SRC), สถานีลูกข่ายปลายทาง (DST), ขนาดข้อมูล (Size) และประเภทข้อมูล (Class) ดังภาพที่ 23 โดยจะสุ่มการร้องขอ

การร้องขอข้อมูล ชุดที่ 1

	SRC#	DST#	Size(bit)	CLASS
1	15	21	64k	ertPS
2	9	19	384k	rtPS
3	1	16	400k	BE
4	24	2	64k	ertPS
5	19	14	384k	rtPS
6	12	10	4k	UGS
7	26	25	1M	nrtPS
8	11	6	1M	nrtPS
9	18	8	400k	BE
10	9	30	384k	rtPS

(a)

การร้องขอข้อมูล ชุดที่ 2

	SRC#	DST#	Size(bit)	CLASS
1	4	22	1M	nrtPS
2	28	18	400k	BE
3	21	10	4k	UGS
4	22	17	400k	BE
5	13	16	1M	nrtPS
6	8	30	384k	rtPS
7	26	6	1M	nrtPS
8	9	12	400k	BE
9	15	30	1M	nrtPS
10	29	5	384k	rtPS

(b)

ภาพที่ 23 การร้องขอที่ส่งไปยังสถานีฐานเพื่อขอจัสรรแบนด์วิทด์

(a) – (j) แสดงเลขที่ชุดข้อมูลการร้องขอ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การร้องขอข้อมูล ชุดที่ 3

	SRC#	DST#	Size(bit)	CLASS
1	7	15	400k	BE
2	12	29	400k	BE
3	1	15	64k	ertPS
4	27	22	1M	nrtPS
5	15	9	384k	rtPS
6	20	11	400k	BE
7	18	22	4k	UGS
8	19	16	4k	UGS
9	26	13	1M	nrtPS
10	30	20	64k	ertPS

(c)

การร้องขอข้อมูล ชุดที่ 4

	SRC#	DST#	Size(bit)	CLASS
1	16	3	400k	BE
2	27	30	1M	nrtPS
3	29	27	384k	rtPS
4	21	19	400k	BE
5	15	4	64k	ertPS
6	23	19	400k	BE
7	7	24	384k	rtPS
8	9	23	400k	BE
9	30	2	64k	ertPS
10	23	20	64k	ertPS

(d)

การร้องขอข้อมูล ชุดที่ 5

	SRC#	DST#	Size(bit)	CLASS
1	26	20	400k	BE
2	11	14	400k	BE
3	19	27	1M	nrtPS
4	5	11	4k	UGS
5	4	21	384k	rtPS
6	10	7	64k	ertPS
7	18	1	384k	rtPS
8	20	28	1M	nrtPS
9	3	16	64k	ertPS
10	4	22	400k	BE

(e)

การร้องขอข้อมูล ชุดที่ 6

	SRC#	DST#	Size(bit)	CLASS
1	7	12	4k	UGS
2	24	29	64k	ertPS
3	30	1	400k	BE
4	23	17	400k	BE
5	9	20	1M	nrtPS
6	26	9	4k	UGS
7	13	7	1M	nrtPS
8	15	26	384k	rtPS
9	17	25	400k	BE
10	3	10	4k	UGS

(f)

ภาพที่ 23 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การร้องขอข้อมูล ชุดที่ 7

	SRC#	DST#	Size(bit)	CLASS
1	6	29	4k	UGS
2	14	13	400k	BE
3	10	18	4k	UGS
4	27	11	1M	nrtPS
5	17	5	64k	ertPS
6	27	28	64k	ertPS
7	26	21	4k	UGS
8	28	8	64k	ertPS
9	2	26	4k	UGS
10	13	3	384k	rtPS

(g)

การร้องขอข้อมูล ชุดที่ 8

	SRC#	DST#	Size(bit)	CLASS
1	8	25	400k	BE
2	22	23	400k	BE
3	15	18	1M	nrtPS
4	16	9	1M	nrtPS
5	19	6	400k	BE
6	6	22	4k	UGS
7	21	5	400k	BE
8	24	29	384k	rtPS
9	2	10	1M	nrtPS
10	3	30	1M	nrtPS

(h)

การร้องขอข้อมูล ชุดที่ 9

	SRC#	DST#	Size(bit)	CLASS
1	10	16	4k	UGS
2	2	22	64k	ertPS
3	11	4	1M	nrtPS
4	9	21	400k	BE
5	29	27	400k	BE
6	7	14	4k	UGS
7	14	25	1M	nrtPS
8	25	30	1M	nrtPS
9	15	12	384k	rtPS
10	1	6	1M	nrtPS

(i)

การร้องขอข้อมูล ชุดที่ 10

	SRC#	DST#	Size(bit)	CLASS
1	26	28	1M	nrtPS
2	1	2	1M	nrtPS
3	13	4	384k	rtPS
4	18	30	400k	BE
5	22	18	384k	rtPS
6	3	8	1M	nrtPS
7	14	19	4k	UGS
8	12	29	1M	nrtPS
9	20	1	4k	UGS
10	15	23	64k	ertPS

(j)

ภาพที่ 23 (ต่อ)

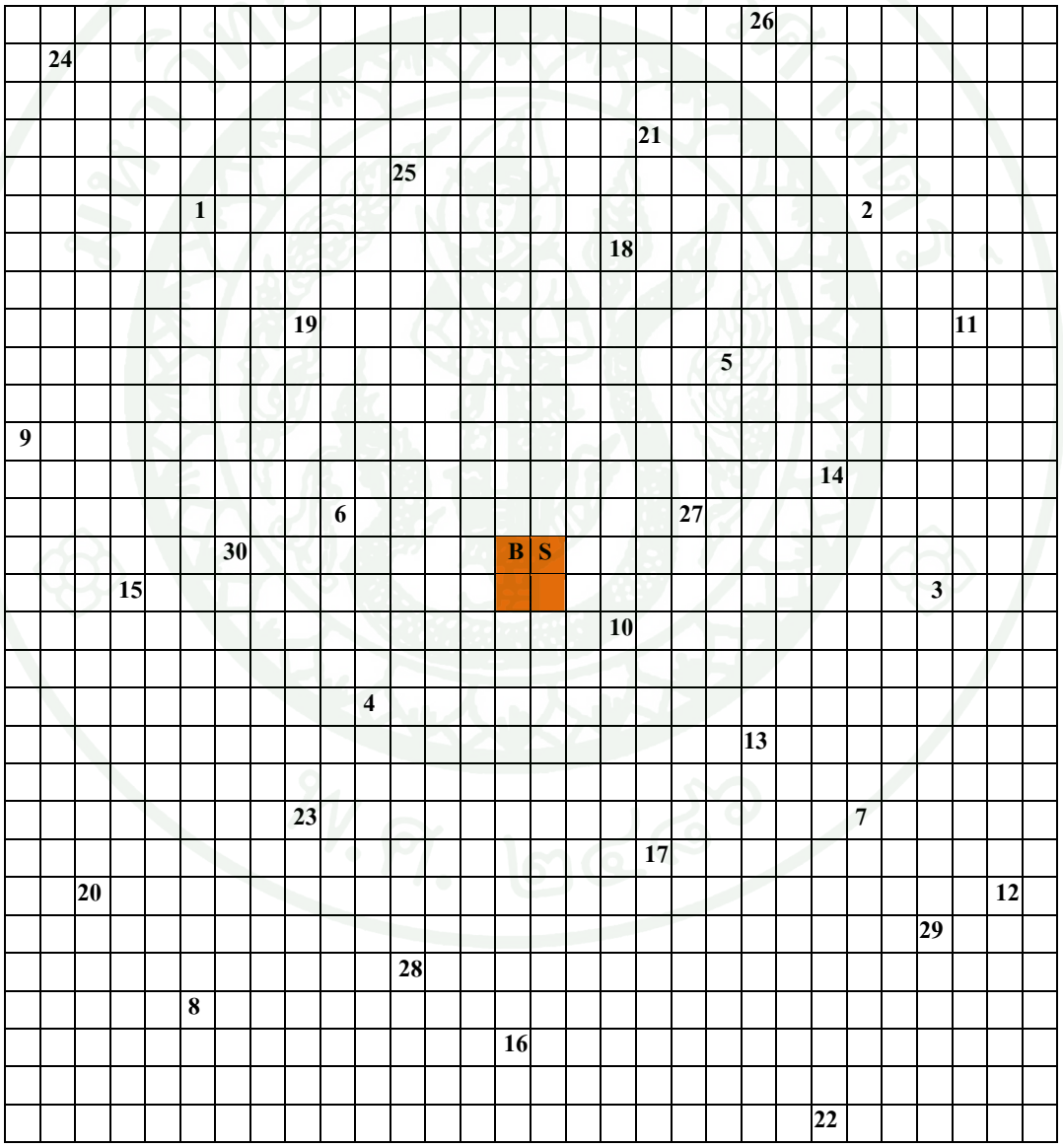
จำนวน 10 คู่ ส่งเข้าไปยังสถานีฐาน เพื่อให้สถานีฐานจัดสรรแบนด์วิดท์ และพิจารณาค่าทรูพุทที่เกิดขึ้นกับการร้องขอข้อมูลชุดนี้ และทำซ้ำโดยการสุ่มข้อมูลการร้องขอใหม่อีก 10 คู่ ส่งไปสถานีฐาน และทำซ้ำเช่นนี้ ไปจนมีการร้องขอทั้งสิ้น 10 ชุดข้อมูล ซึ่งการร้องขอสำหรับทดลองในงานวิจัยนี้แสดงได้ดังภาพที่ 23

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. รูปแบบการกระจายตัวของสถานีลูกข่าย

การใช้งานรูปแบบการกระจายตัวในแต่ละสถานที่จะมีรูปแบบการกระจายตัวของสถานีลูกข่ายแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสถานที่นั้นๆ โดยจำลองการกระจายตัวของสถานีลูกข่ายไว้ 5 แบบ ได้แก่

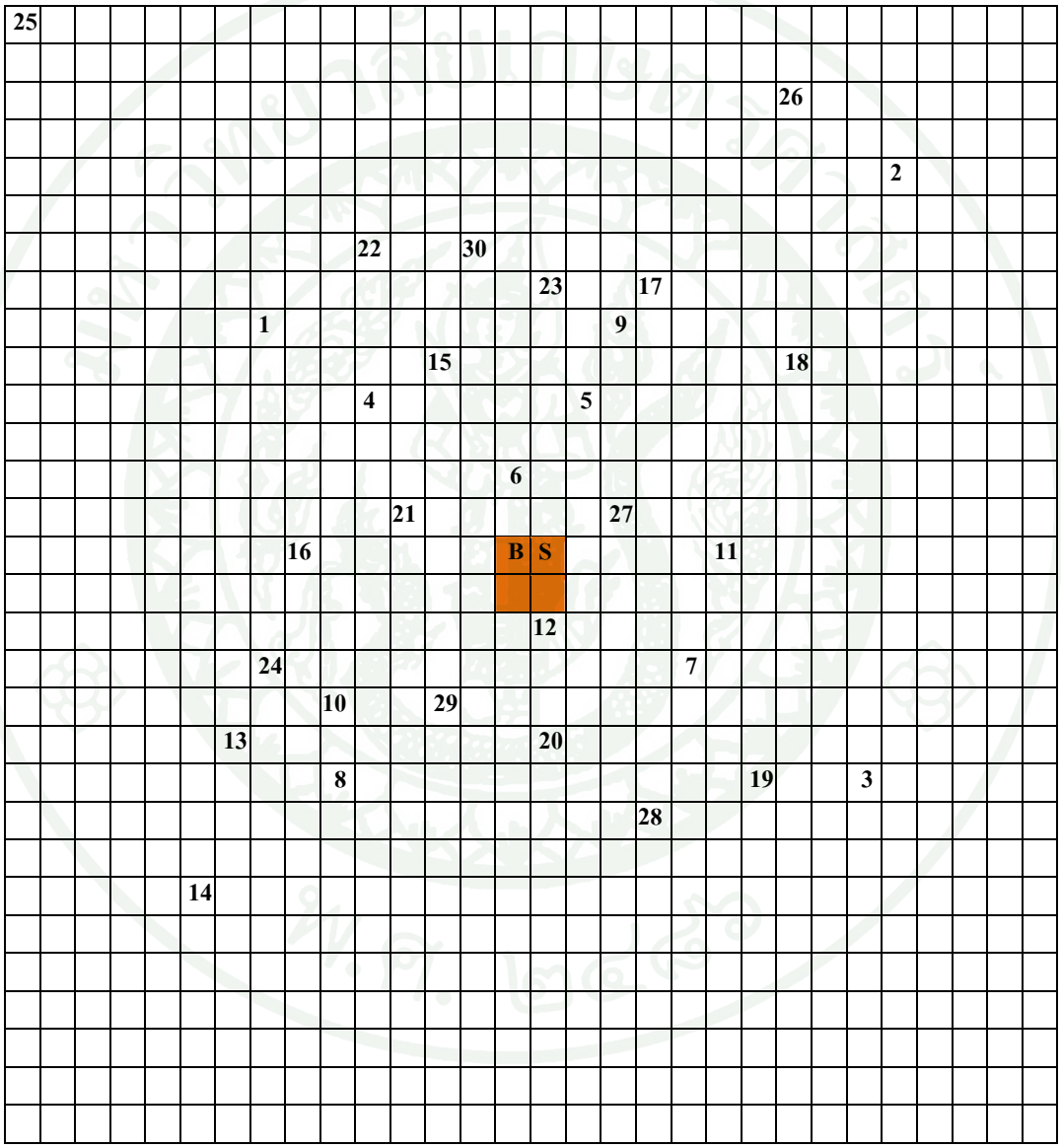
3.1 การกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ แทนการใช้งานทั่วไปในสภาวะปกติ เช่น ในสถานที่ทำงาน สถาบันการศึกษา แสดงดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 การกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

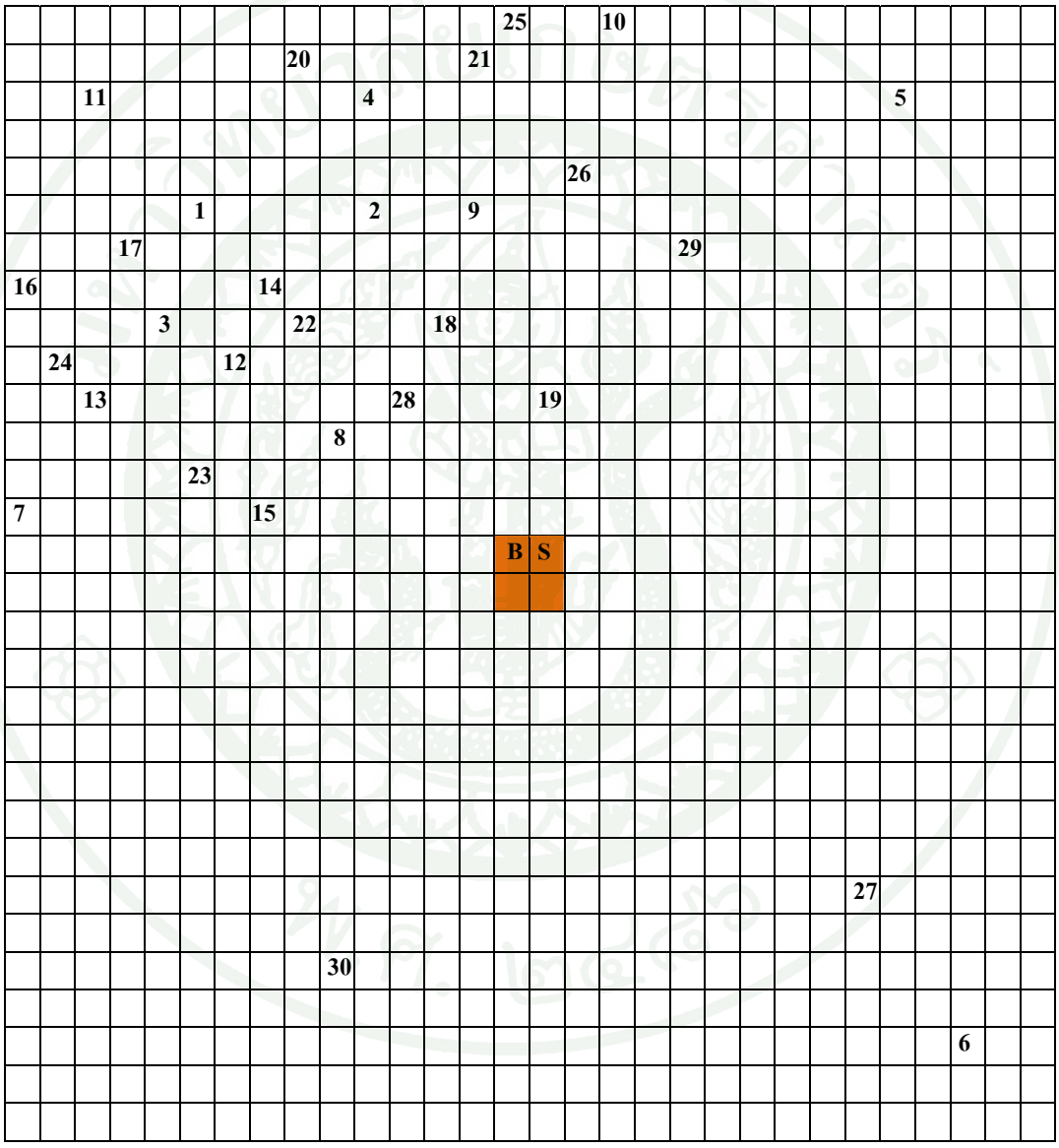
3.2 สำหรับการกระจายตัวแบบกระจุกตัวนั้นบอกถึงจำนวนผู้ใช้งานจำนวนมากกำลังใช้งานอยู่บริเวณหนึ่ง ได้แก่ สถานที่จัดงานรับปริญญา มักจะเลือกใช้สถานที่เดิมในการจัดงานและหลายสถาบันการศึกษาใช้งานเป็นประจำ เช่น สวนอัมพร ทำให้บริเวณจัดงานมีผู้ใช้งานจำนวนมาก และมีสถานีฐานติดตั้งไว้เพื่อรองรับผู้ใช้งาน จึงออกแบบให้เป็นการกระจายตัวแบบที่ 2 เรียกว่าการกระจายตัวแบบกระจุกตัวตรงกลาง แสดงดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 การกระจายตัวแบบกระจุกตัวตรงกลาง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

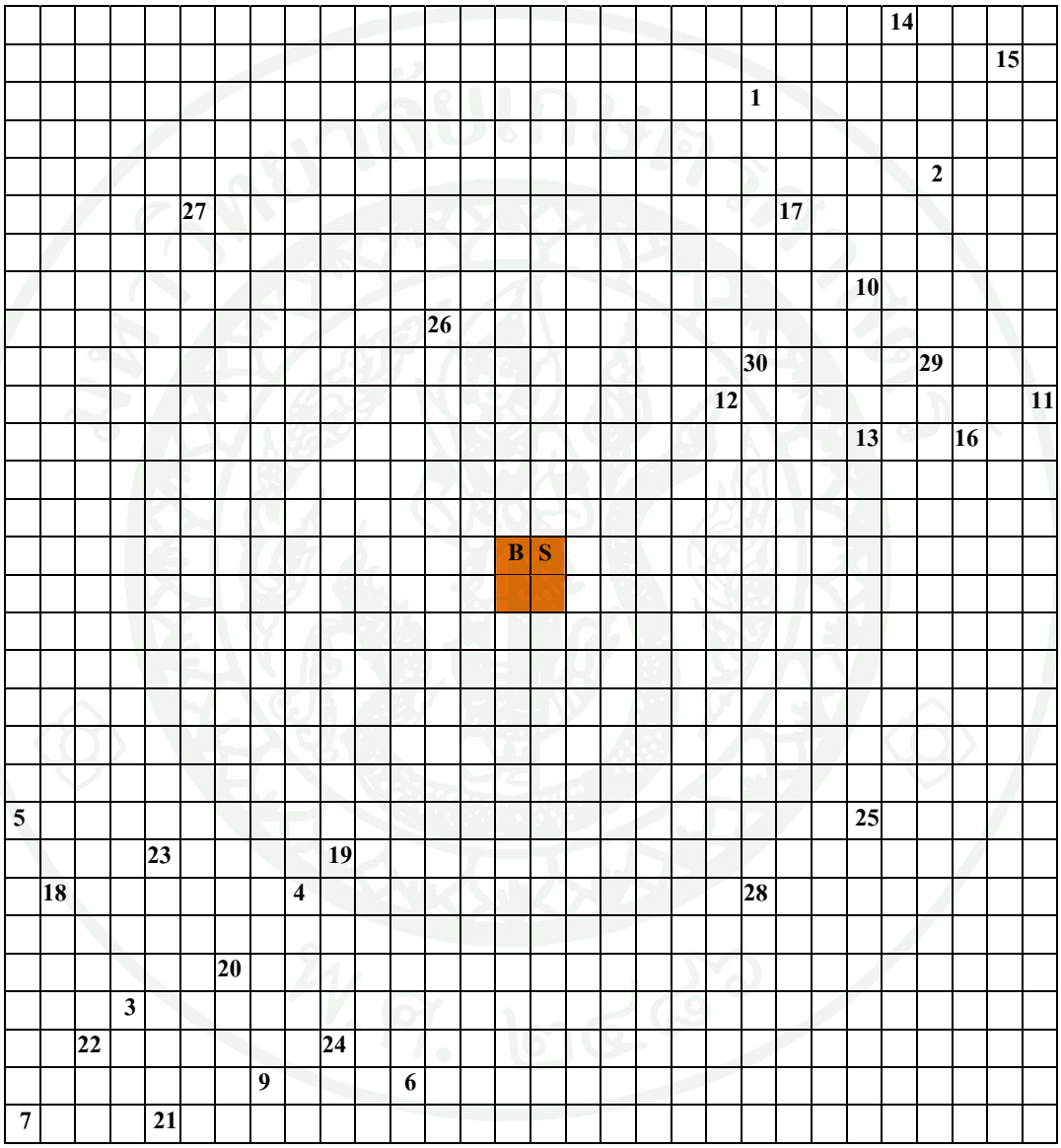
3.3 สำหรับลานนิทรรศการหรือลานแสดงสินค้าที่มีขนาดใหญ่ พื้นที่จัดงานค่อนข้างกว้าง รวมถึงอาคารจัดงานมีหลายอาคาร เช่น อิมแพค เมืองทองธานี หรือ ไบเทค บางนา การจัดงานแสดงสินค้าอาจจัดไม่พร้อมกันทุกอาคาร กรณีงานแสดงสินค้าขนาดกลางหรือขนาดเล็กนั้น อาคารที่ใช้จัดงานจะใช้เพียงบริเวณเดียว ดังนั้นผู้ใช้งานจึงหนาแน่นเพียงบริเวณเดียว จึงให้การกระจายตัวลักษณะนี้ว่า การกระจุกตัวแบบหนึ่งมุม แสดงดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 การกระจายตัวแบบกระจุกตัวหนึ่งมุม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

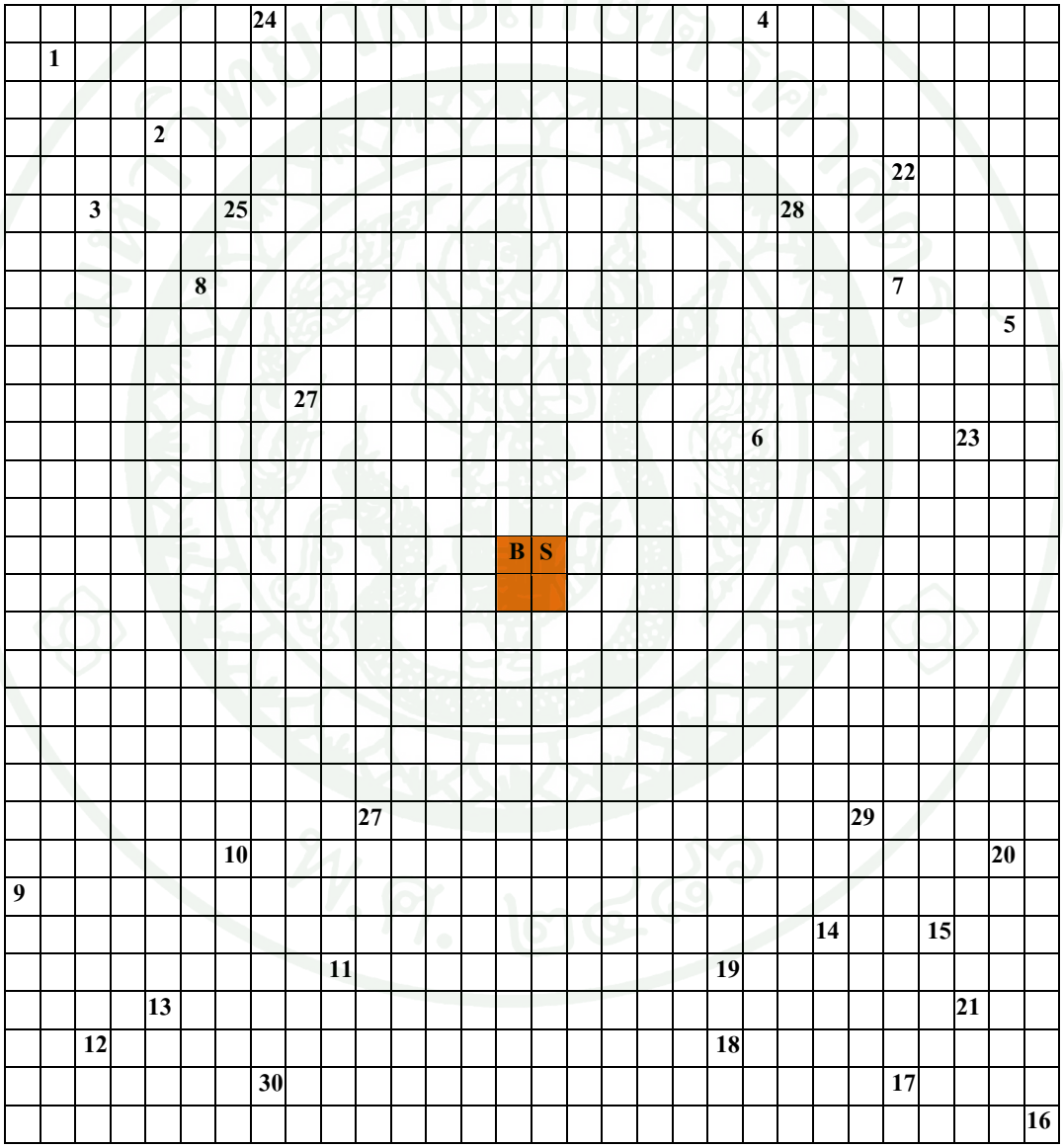
3.4 ส่วนงานแสดงสินค้าที่มีขนาดใหญ่ และใช้อาคารจัดงานหลายอาคาร โดยที่ระหว่างอาคารแสดงสินค้ามีระยะห่างกัน เนื่องจากใช้เป็นบริเวณลานจอดรถหรือจุดแวะพักหรือลานอาหาร ดังนั้นผู้ใช้งานจึงหนาแน่นในบริเวณอาคาร จึงให้การกระจายตัวลักษณะนี้ว่า การกระจายตัวแบบกระจุกตัวสองมุมทแยง แสดงดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 การกระจายตัวแบบกระจุกตัวสองมุมทแยง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.5 การกระจายตัวแบบสุดท้ายจะเป็นลักษณะพื้นที่ขนาดใหญ่ มีผู้ใช้งานอยู่กันหนาแน่นเป็นบริเวณ หลายๆบริเวณ เช่น สถานที่ท่องเที่ยวที่มีจุดนัดพบ จุดแวะพัก จุดชมวิว กระจายไปทั่วพื้นที่ ซึ่งถ้าให้สถานที่ท่องเที่ยวนี้อยู่บนพื้นที่ให้บริการหนึ่งเซล และมีสถานีฐานเพียง 1 สถานี จุดให้บริการต่างๆ จึงกระจายตัวห่างจากสถานีฐานและมีการใช้งานหนาแน่นหลายบริเวณ การกระจายตัวลักษณะนี้ จึงเรียกว่าการกระจุกตัวแบบสี่มุม หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการกระจายตัวที่มีการใช้งานบริเวณขอบของพื้นที่ให้บริการ แสดงดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 การกระจายตัวแบบกระจุกตัวสี่มุม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. สัดส่วนเปอร์เซ็นต์การจัดสรรข้อมูล UGS

การกำหนดสัดส่วนเปอร์เซ็นต์การจัดสรรแบนด์วิดท์ โดยศึกษาผลของสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ข้อมูล UGS เป็นหลัก และศึกษาผลของสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ข้อมูลที่เป็นเรียลไทม์ ซึ่งประกอบด้วย UGS, rtPS, ertPS รวมทั้งสิ้น 11 สัดส่วน โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 กำหนดสัดส่วนเปอร์เซ็นต์เฉพาะข้อมูล UGS ส่วนข้อมูลประเภทอื่นปรับเปอร์เซ็นต์ให้เท่ากัน จะได้สัดส่วนที่ใช้ทดลอง ทั้งสิ้น 6 สัดส่วน ดังนี้

กลุ่มที่ 1 UGS-rtPS-ertPS-nrtPS-BE

สัดส่วนที่ 1: 10-22.5-22.5-22.5-22.5 (UGS 10%)
สัดส่วนที่ 2: 20-20-20-20-20 (UGS 20%)
สัดส่วนที่ 3: 30-17.5-17.5-17.5-17.5 (UGS 30%)
สัดส่วนที่ 4: 40-15-15-15-15 (UGS 40%)
สัดส่วนที่ 5: 50-12.5-12.5-12.5-12.5 (UGS 50%)
สัดส่วนที่ 6: 60-10-10-10-10 (UGS 60%)

กลุ่มที่ 2 กำหนดสัดส่วนเปอร์เซ็นต์เฉพาะข้อมูลเรียลไทม์ ที่ประกอบด้วยข้อมูล UGS, rtPS และ ertPS ส่วนข้อมูลประเภทอื่นที่เหลือปรับเปอร์เซ็นต์ให้เท่ากันที่ 10% ซึ่งกำหนดสัดส่วน UGS เป็นหลัก ดังนั้นจะได้สัดส่วนที่ใช้ทดลอง ทั้งสิ้น 5 สัดส่วน ดังนี้

กลุ่มที่ 2 UGS-rtPS-ertPS-nrtPS-BE

สัดส่วนที่ 7: 10-35-35-10-10 (UGS 10%, rtPS 35%, ertPS 35%)
สัดส่วนที่ 8: 20-30-30-10-10 (UGS 20%, rtPS 30%, ertPS 30%)
สัดส่วนที่ 9: 30-25-25-10-10 (UGS 30%, rtPS 25%, ertPS 25%)
สัดส่วนที่ 10: 40-20-20-10-10 (UGS 40%, rtPS 20%, ertPS 20%)
สัดส่วนที่ 11: 50-15-15-10-10 (UGS 50%, rtPS 15%, ertPS 15%)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทดลอง

การทดลองมีทั้งหมด 3 การทดลอง โดยแต่ละการทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าทรูพุทที่เกิดขึ้น เมื่อมีปัจจัยต่างๆ ที่จะส่งผลต่อระบบได้ ได้แก่ 1) การทดลองที่ให้ขนาดข้อมูล UGS ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น 2) การทดลองเพื่อศึกษาสัดส่วนเปอร์เซ็นต์การจัดสรรแบนด์วิดท์ โดยเน้นการให้สัดส่วนที่เป็นข้อมูล UGS ส่วนข้อมูลประเภทอื่นๆ ยังคงให้สัดส่วนที่มีลำดับความสำคัญลดลงเพื่อให้ทุกประเภทข้อมูลมีโอกาสได้ส่งข้อมูล 3) การทดลองเพื่อศึกษาสัดส่วนเปอร์เซ็นต์การร้องขอส่ง UGS ที่เพิ่มขึ้น รวมถึงรูปแบบการกระจายตัวของสถานีลูกข่ายในลักษณะต่างๆ ดังจะได้ทดลองต่อไปนี้

การทดลองที่ 1

วัตถุประสงค์การทดลอง

เพื่อศึกษาขนาดของข้อมูล UGS ต่อผลของค่าทรูพุทของระบบ เพื่อพิจารณาปริมาณข้อมูลที่ระบบให้บริการได้ในหนึ่งวินาทีและผลที่จะเกิดขึ้นเมื่อข้อมูล UGS มีขนาดใหญ่ขึ้น

วิธีการทดลอง

1. กำหนดให้ขนาดของข้อมูล UGS มี 5 ขนาด ดังนี้ 4kbit, 8kbit, 16kbit, 32kbit และ 64kbit ส่วนขนาดของข้อมูลประเภทอื่นๆ จะมีขนาดคงที่ แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ขนาดข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

	ประเภทข้อมูล (kbit)				
	UGS	rtPS	ertPS	nrtPS	BE
ขนาดข้อมูล	4, 8, 16, 32, 64	384	64	1000	400

2. จากภาพที่ 29 ข้อมูลการร้องขอทั้ง 10 ชุด จะถูกแทนที่ค่าขนาด UGS จากตารางที่ 9 จนครบทั้ง 5 ค่า และวัดผลค่าทรูพุท

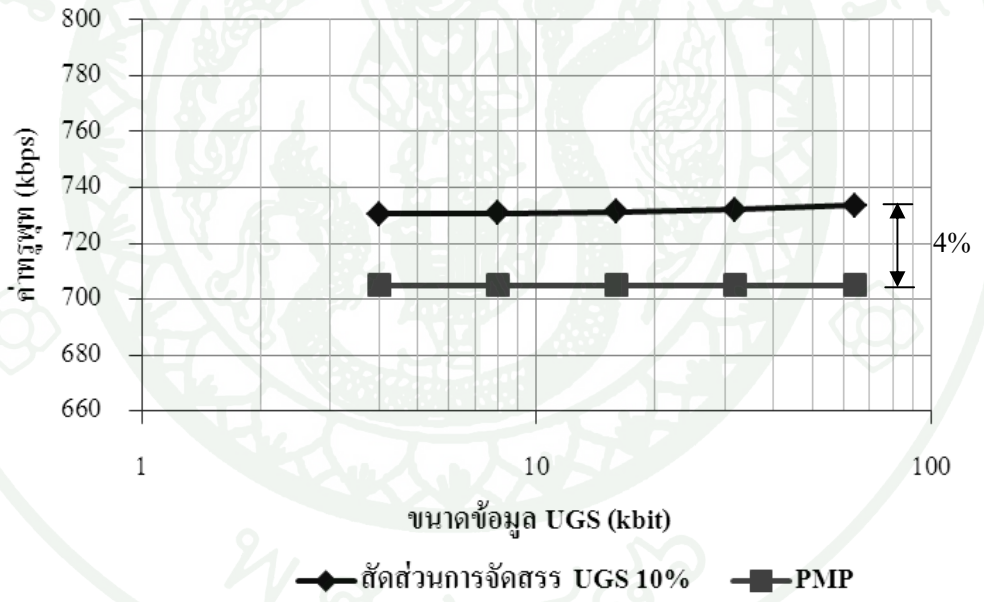
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลการทดลองที่ 1

ผลการทดลองแสดงได้ดังภาพที่ 29 แกนแนวนอนแสดงขนาดของข้อมูล UGS ที่มีขนาดข้อมูลเพิ่มขึ้น แกนแนวตั้งแสดงค่าทรูพุทของระบบ

สรุปผลการทดลองครั้งที่ 1

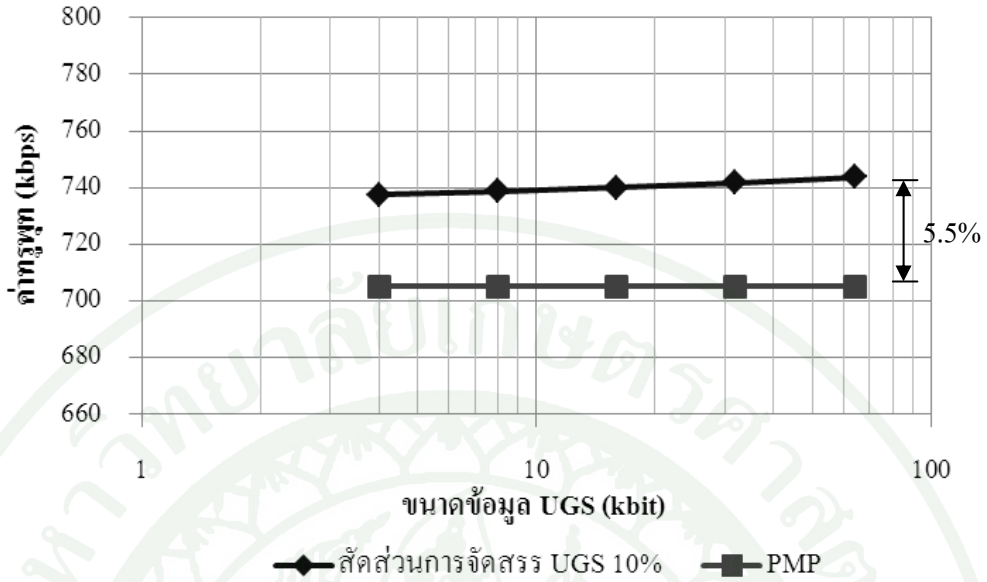
จากภาพที่ 29 ผลการทดลองเมื่อกำหนดสัดส่วนข้อมูล UGS เป็น 10% บนการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ ค่าทรูพุทที่ได้จะมีค่าไม่ต่างกันมากนัก เมื่อขนาดข้อมูล UGS เพิ่มขึ้น แสดงว่าขนาดข้อมูล UGS ที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อค่าทรูพุท และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการส่งแบบผ่านสถานีฐานเพียงอย่างเดียว ค่าทรูพุทของระบบที่เสนอให้ค่าสูงกว่าระบบเดิม 4%



ภาพที่ 29 ค่าทรูพุทบนการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ เมื่อสัดส่วนการจัดสรร UGS เป็น 10%

เมื่อพิจารณาผลของขนาดข้อมูล UGS บนการกระจายตัวแบบกระจุกตัวตรงกลาง เมื่อสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ข้อมูล UGS เป็น 10% และขนาดข้อมูล UGS เพิ่มขึ้น ผลการทดลองให้ค่าทรูพุทที่ไม่ต่างกันมากนัก แสดงว่าขนาดข้อมูล UGS ที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อค่าทรูพุท และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการส่งแบบผ่านสถานีฐานเพียงอย่างเดียว ค่าทรูพุทของระบบที่เสนอให้ค่าสูงกว่าระบบเดิม 5.5% แสดงดังภาพที่ 30

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

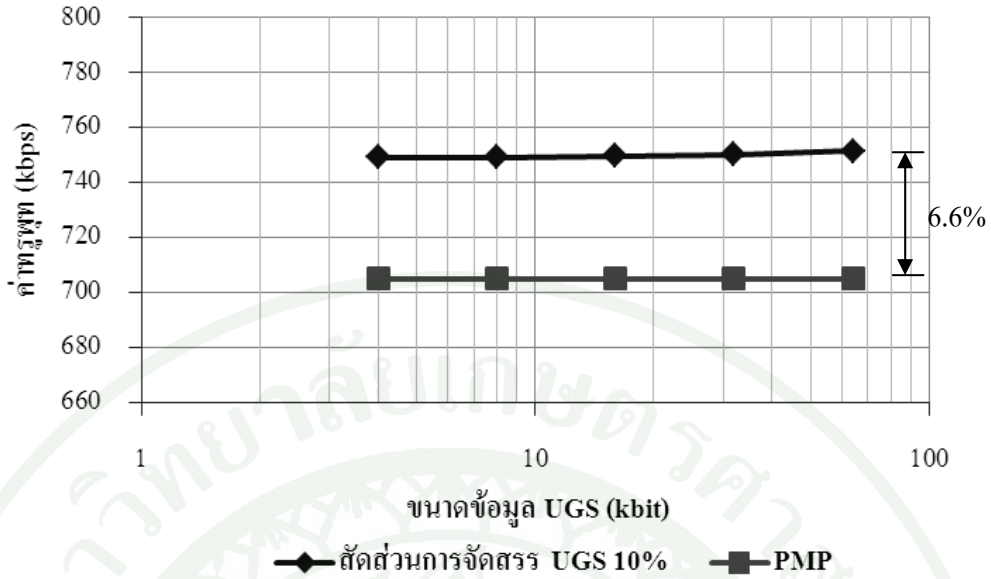


ภาพที่ 30 ค่าทรูพุทบนการกระจายตัวแบบกระจุกตัวตรงกลาง เมื่อสัดส่วนจัดสรร UGS เป็น 10%

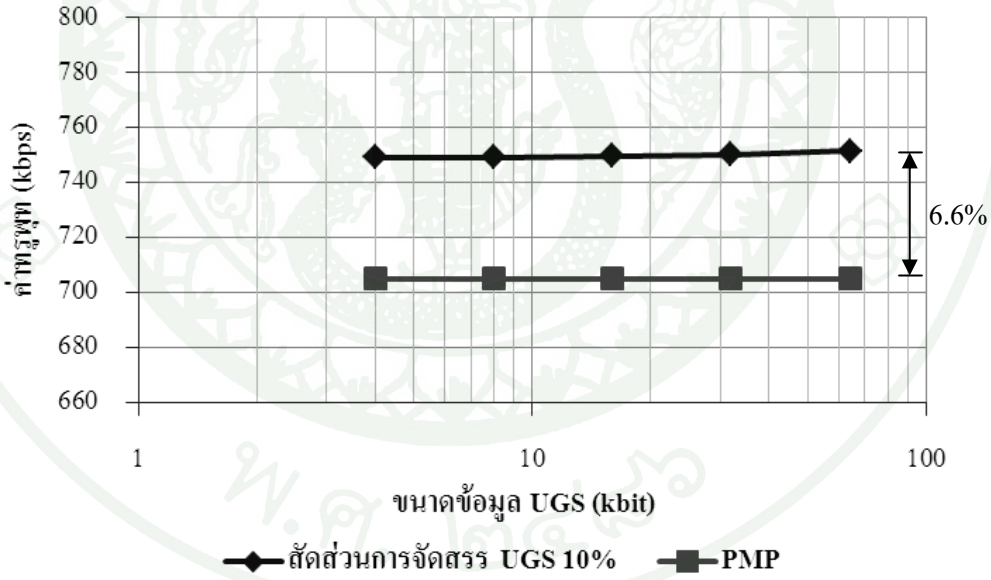
นอกจากนี้ได้พิจารณาผลของขนาดข้อมูล UGS บนการกระจายตัวแบบอื่นๆ ที่เหลือ ให้ผลออกมาใกล้เคียงกัน คือ ขนาดข้อมูล UGS ที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อค่าทรูพุท และเมื่อนำค่าทรูพุทบนการกระจายตัวแบบกระจุกตัวหนึ่งมุม แบบกระจุกตัวสองมุมทแยง และแบบกระจุกตัวสี่มุม เปรียบเทียบกับการส่งแบบผ่านสถานีฐานเพียงอย่างเดียว ค่าทรูพุทของระบบที่เสนอให้ค่าสูงกว่าระบบเดิมเป็น 6.6%, 6.6% และ 10.4% ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 31 - 33

เมื่อนำผลของค่าทรูพุทจากการกระจายตัวทั้ง 5 แบบมาเปรียบเทียบ จะได้ว่าการกระจายตัวแบบกระจุกตัวสี่มุมให้ประสิทธิภาพต่อระบบดีที่สุด ดังภาพที่ 34

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

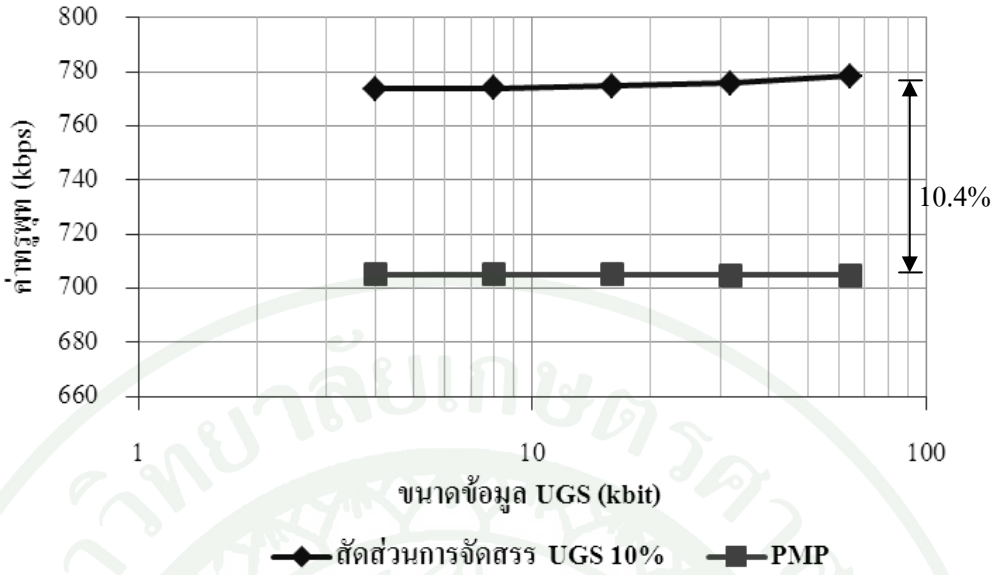


ภาพที่ 31 ค่าทรูพุทบนการกระจายตัวแบบกระจุกตัวหนึ่งมุม เมื่อสัดส่วนจัดสรร UGS เป็น 10%

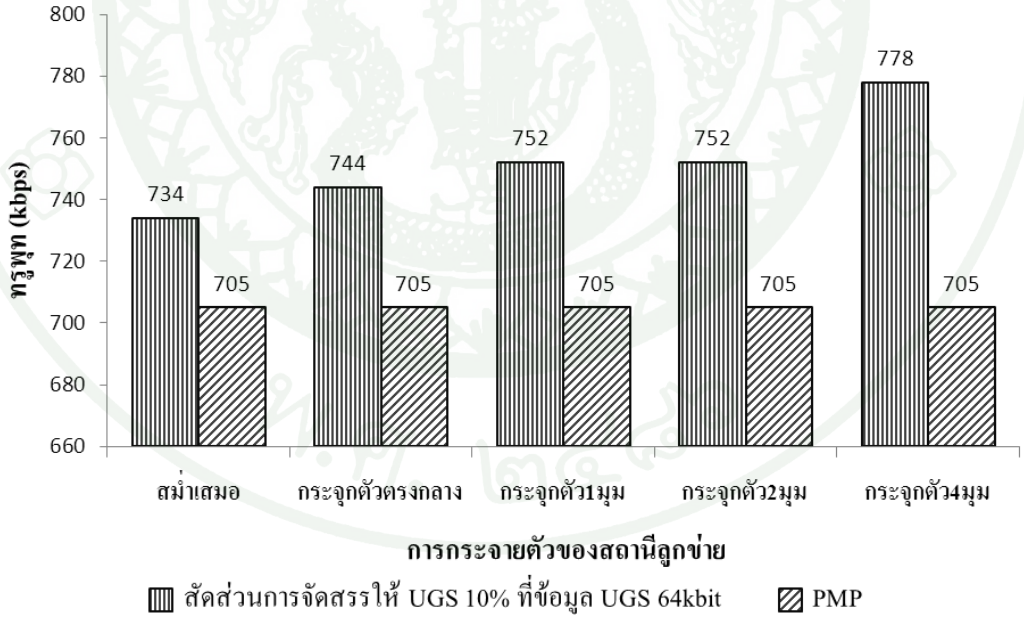


ภาพที่ 32 ค่าทรูพุทบนการกระจายตัวแบบกระจุกตัวสองมุม เมื่อสัดส่วนจัดสรร UGS เป็น 10%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 33 ค่าทรูพุทบนการกระจายตัวแบบกระจุกตัวสี่มุม เมื่อสัดส่วนจัดสรร UGS เป็น 10%



ภาพที่ 34 เปรียบเทียบค่าทรูพุทบนการกระจายตัวแบบต่างๆ ที่สัดส่วนการจัดสรร UGS เป็น 10% และขนาดข้อมูล UGS เป็น 64 kbit

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทดลองที่ 2

วัตถุประสงค์การทดลอง

เพื่อศึกษาผลของค่าทรูพุทต่อสัดส่วนเปอร์เซ็นต์การจัดสรร UGS จำนวน 6 สัดส่วน และสัดส่วนเปอร์เซ็นต์การจัดสรรข้อมูลเรียลไทม์ ได้แก่ UGS, rtPS และ ertPS โดยกำหนดสัดส่วน UGS เป็นหลัก จำนวน 5 สัดส่วน รวมทั้งสิ้น 11 สัดส่วน

วิธีการทดลอง

1. กำหนดสัดส่วนการจัดสรรให้ UGS: rtPS: ertPS: nrtPS: BE เป็น 10: 22.5: 22.5: 22.5: 22.5% โดยจัดสรรเปอร์เซ็นต์ UGS เป็นหลัก ส่วนสัดส่วนที่เหลือจะให้มีเปอร์เซ็นต์เท่ากัน ซึ่งการกำหนดสัดส่วนนี้อยู่ในกระบวนการจัดสรรแบนด์วิดท์ที่จัดสรรโดยสถานีฐาน หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการนี้แล้ว จึงทำซ้ำด้วยสัดส่วนอื่นๆที่เหลือ จนครบ 6 สัดส่วน

2. กำหนดสัดส่วนเปอร์เซ็นต์การจัดสรรให้ UGS: rtPS: ertPS: nrtPS: BE เป็น 10: 35: 35: 10: 10% โดยจัดสรรให้เปอร์เซ็นต์ UGS, rtPS และ ertPS ที่เป็นข้อมูลเรียลไทม์ ซึ่งจะกำหนดให้เปอร์เซ็นต์ UGS เป็นหลัก ส่วนสัดส่วนที่เหลือจะให้คงที่ที่ 10% โดยสถานีฐานจะใช้สัดส่วนเปอร์เซ็นต์นี้จัดสรรแบนด์วิดท์และทำซ้ำ โดยใช้สัดส่วนเปอร์เซ็นต์อื่นๆ จนครบ 5 สัดส่วน

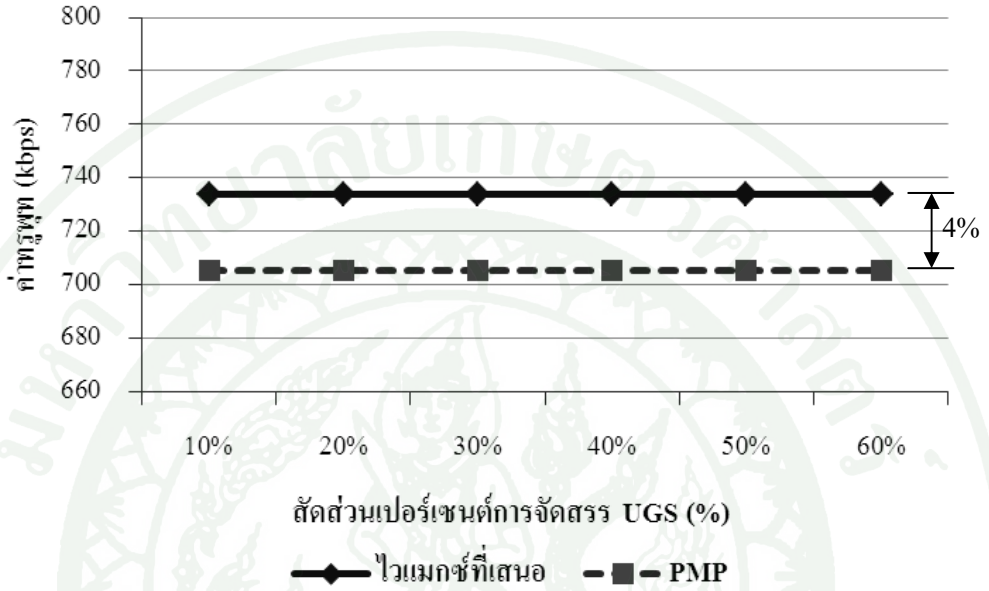
3. ทำการทดลองโดยใช้การร้องขอจากภาพที่ 23 และกำหนดให้ขนาดของ UGS เป็น 64 kbit

ผลการทดลองที่ 2

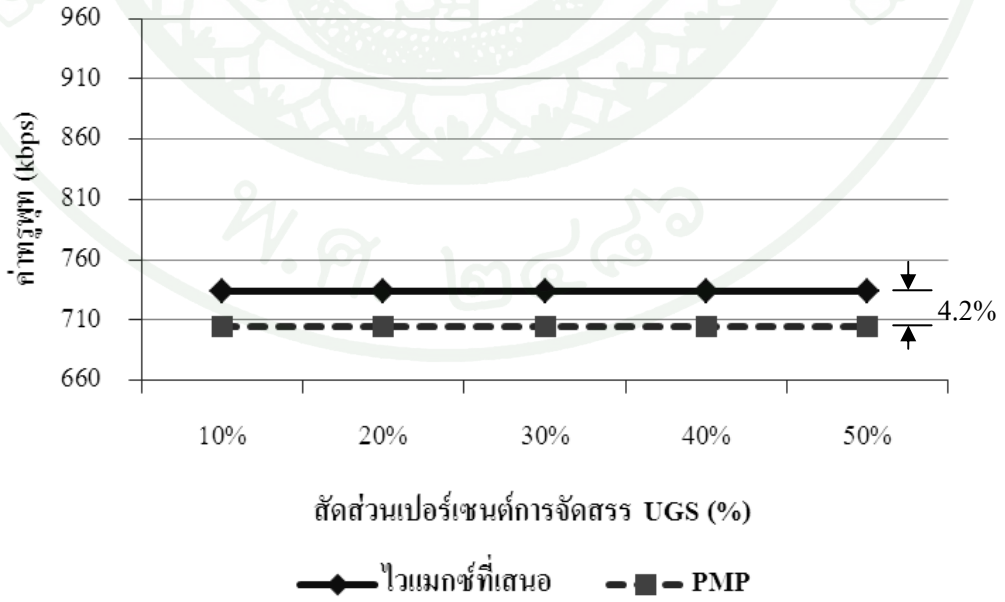
ผลการทดลองแสดงได้ดังภาพที่ 35 แกนแนวนอนแสดงสัดส่วนการจัดสรร UGS ที่สัดส่วนต่างๆ ทั้งสิ้น 11 สัดส่วน และแกนแนวตั้งแสดงค่าทรูพุทของระบบ โดยกราฟสัดส่วนการจัดสรร UGS จะแยกพิจารณาเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่จัดสรรเฉพาะข้อมูล UGS และส่วนที่จัดสรรข้อมูลเรียลไทม์ ซึ่งให้ผลแตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 35-44

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากการทดลองบนการกระจายตัวของสถานีลูกข่ายแบบสม่ำเสมอ โดยจัดสรรตามสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของข้อมูล UGS ให้ผลดังภาพที่ 35 และการจัดสรรสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของข้อมูลเรียลไทม์ ให้ผลดังภาพที่ 36



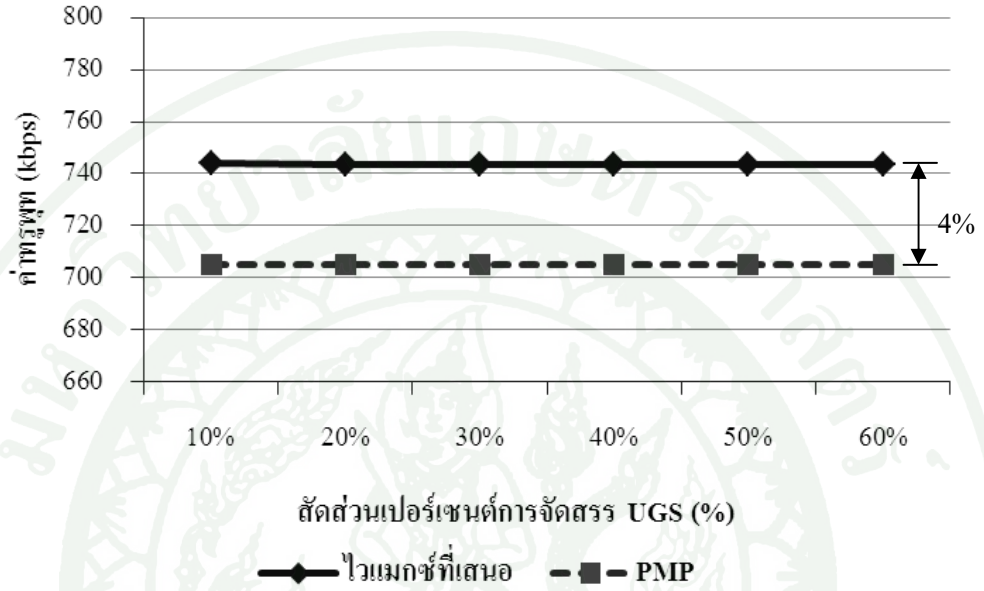
ภาพที่ 35 สัดส่วนการจัดสรรข้อมูล UGS ของการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ



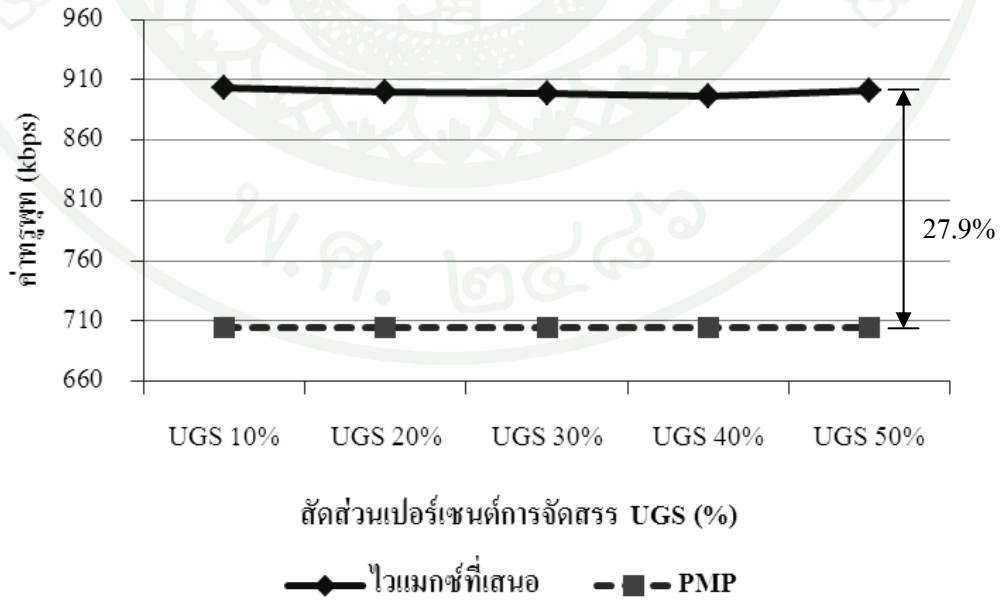
ภาพที่ 36 สัดส่วนการจัดสรรข้อมูลที่เป็นเรียลไทม์ ของการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากการทดลองบนการกระจายตัวของสถานีลูกข่ายแบบกระจุกตัวตรงกลาง โดยจัดสรรตามสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของข้อมูล UGS ดังภาพที่ 37 และการจัดสรรสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของข้อมูลเรียลไทม์ ดังภาพที่ 38



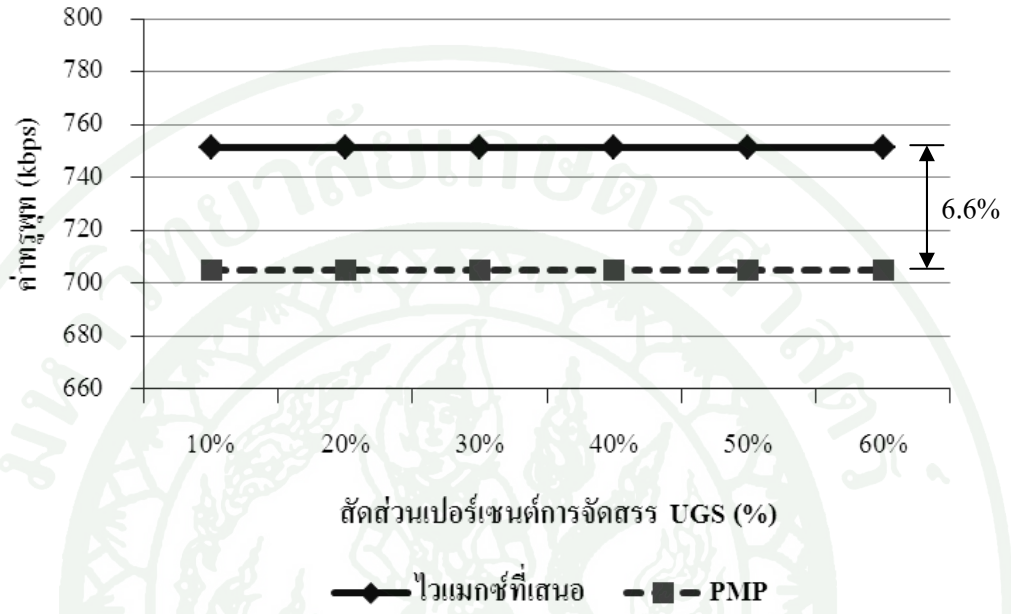
ภาพที่ 37 สัดส่วนการจัดสรรข้อมูล UGS ของการกระจายตัวแบบกระจุกตัวตรงกลาง



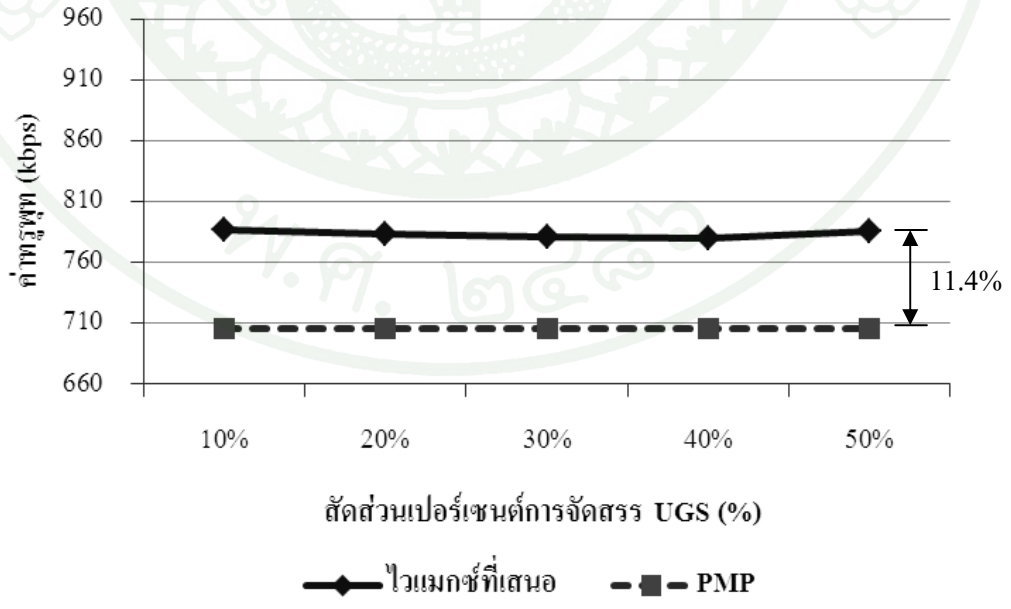
ภาพที่ 38 สัดส่วนการจัดสรรข้อมูลที่เป็นเรียลไทม์ ของการกระจายตัวแบบกระจุกตัวตรงกลาง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากการทดลองบนการกระจายตัวของสถานีลูกข่ายแบบกระจุกตัวหนึ่งมุม โดยจัดสรรตามสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของข้อมูล UGS ดังภาพที่ 39 และการจัดสรรสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของข้อมูลเรียลไทม์ ดังภาพที่ 40



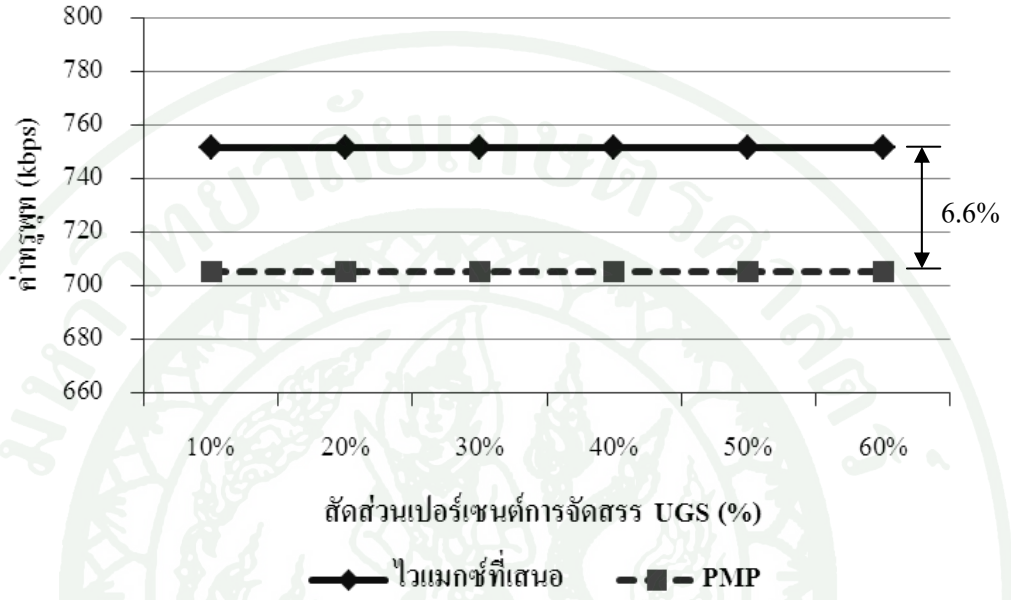
ภาพที่ 39 สัดส่วนการจัดสรรข้อมูล UGS ของการกระจายตัวแบบกระจุกตัวหนึ่งมุม



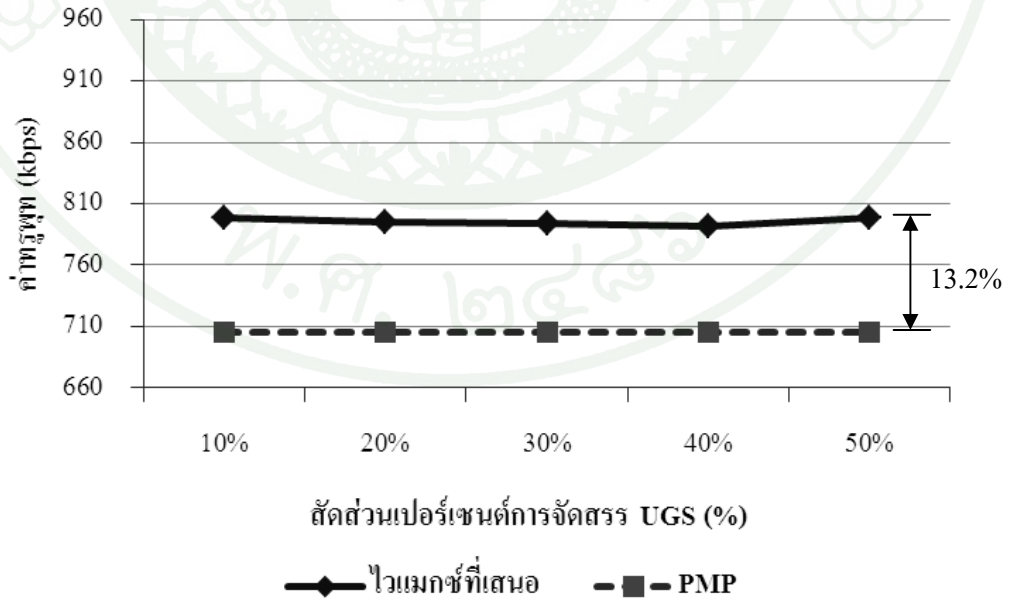
ภาพที่ 40 สัดส่วนการจัดสรรข้อมูลที่เป็นเรียลไทม์ ของการกระจายตัวแบบกระจุกตัวหนึ่งมุม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากการทดลองบนการกระจายตัวของสถานีลูกข่ายแบบกระจุกตัวสองมุมทแยง โดยจัดสรรตามสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของข้อมูล UGS ดังภาพที่ 41 และการจัดสรรสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของข้อมูลเรียลไทม์ ดังภาพที่ 42



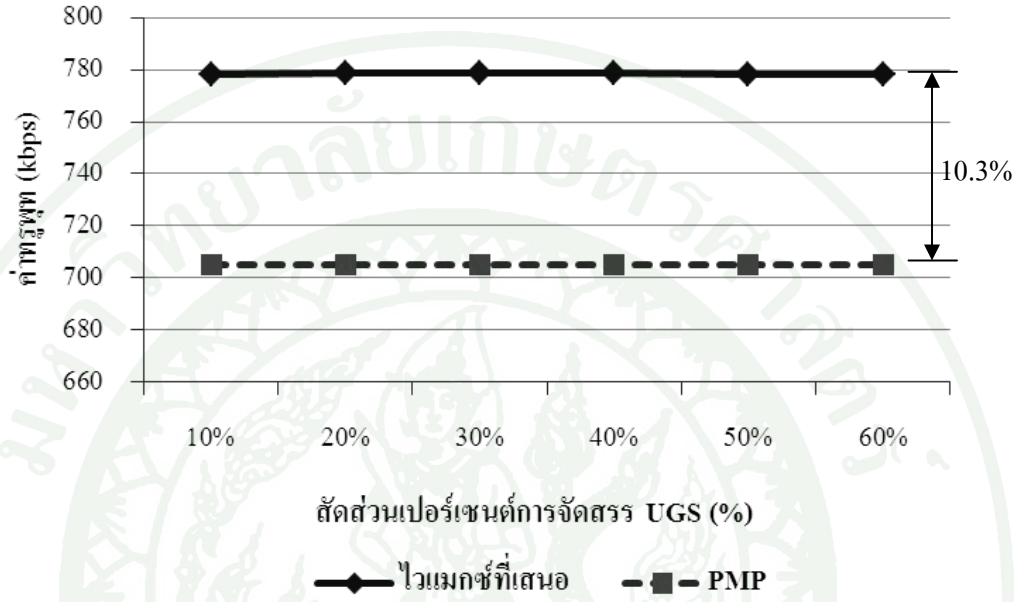
ภาพที่ 41 สัดส่วนการจัดสรรข้อมูล UGS ของการกระจายตัวแบบกระจุกตัวสองมุมทแยง



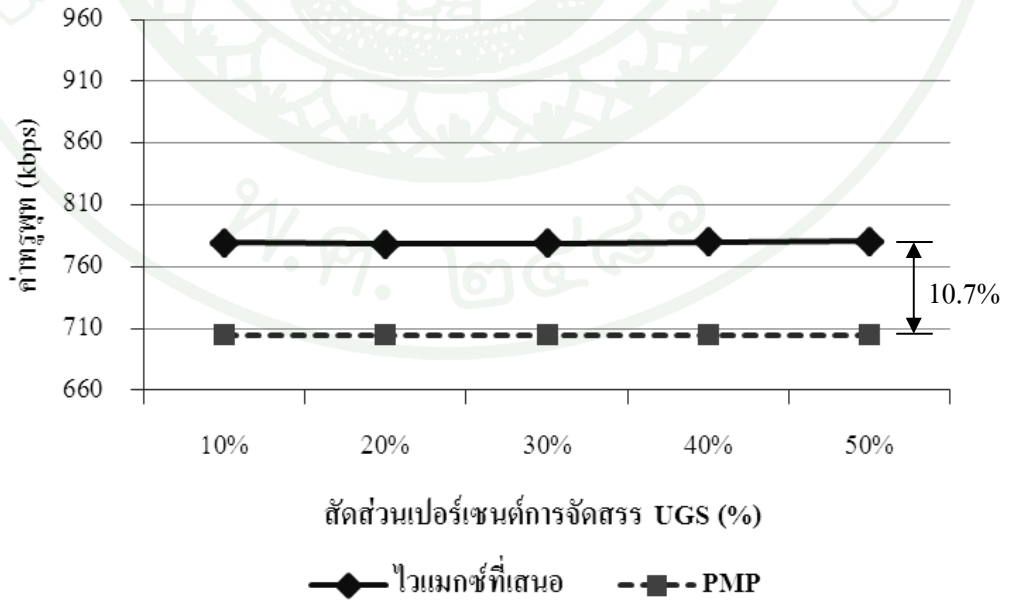
ภาพที่ 42 สัดส่วนการจัดสรรข้อมูลที่เป็นเรียลไทม์ ของการกระจายตัวแบบกระจุกตัวสองมุมทแยง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากการทดลองบนการกระจายตัวของสถานีลูกข่ายแบบกระจุกตัวสี่มุม โดยจัดสรรตามสัดส่วนของข้อมูล UGS ดังภาพที่ 43 และการจัดสรรสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของข้อมูลเรียลไทม์ ดังภาพที่ 44



ภาพที่ 43 สัดส่วนการจัดสรรข้อมูล UGS ของการกระจายตัวแบบกระจุกตัวสี่มุม



ภาพที่ 44 สัดส่วนการจัดสรรข้อมูลที่เป็นเรียลไทม์ ของการกระจายตัวแบบกระจุกตัวสี่มุม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปผลการทดลองที่ 2

สัดส่วนเปอร์เซ็นต์การจัดสรรข้อมูลเรียลไทม์ จะให้ค่าทรูพุทสูงกว่าการให้สัดส่วนเปอร์เซ็นต์การจัดสรรข้อมูล UGS ทุกๆ รูปแบบของการกระจายตัว และเมื่อเทียบกับการส่งแบบ PMP อย่างเดียวแล้ว ระบบไวแมกซ์ที่เสนอให้ค่าทรูพุทที่สูงกว่าระบบไวแมกซ์แบบเดิม ตามรูปแบบการกระจายตัวเป็น 4.2%, 27.9%, 11.4%, 13.2% และ 10.7% ตามลำดับ ซึ่งการจัดสรรข้อมูลเรียลไทม์ แบบกระจุกตัวตรงกลางให้ค่าทรูพุทสูงที่สุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทดลองที่ 3

วัตถุประสงค์การทดลอง

เพื่อศึกษาผลของค่าทรูพุทต่อสัดส่วนเปอร์เซ็นต์การร้องขอที่เป็นข้อมูล UGS ที่ 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% ดังภาพที่ 45 และภาพที่ 46

วิธีการทดลอง

1. ข้อมูลการร้องขอจากภาพที่ 23 นำมากำหนดจำนวนการร้องขอที่เป็น UGS ใหม่ ให้ได้ตามสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ที่ 10% หรือจากข้อมูลตามภาพที่ 23(a) ข้อมูลการร้องขอจำนวน 10 คู่ จะได้การร้องขอที่เป็น UGS จำนวน 1 คู่ และทำการกำหนดเช่นนี้จนครบ 10 ชุดการร้องขอ จึงส่งไปยังสถานีฐาน เพื่อจัดสรรแบนด์วิดท์ต่อไป

2. เพิ่มจำนวนการร้องขอเป็น 20%, 30%, 40% และ 50% หรือการร้องขอส่ง UGS จำนวน 2 คู่, 3 คู่, 4 คู่ และ 5 คู่ ตามลำดับ และส่งไปยังสถานีฐานเพื่อจัดสรรแบนด์วิดท์ต่อไปจนครบตามจำนวนที่กำหนดสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ไว้

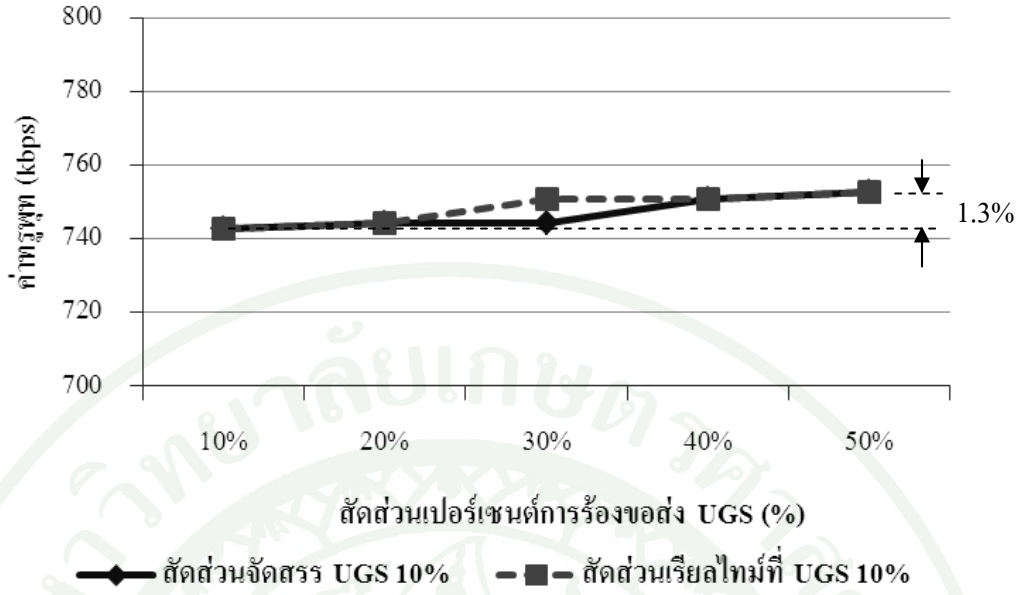
ผลการทดลองที่ 3

ผลการทดลองแสดงได้ดังภาพที่ 45 และภาพที่ 46 แกนแนวนอนแสดงสัดส่วนเปอร์เซ็นต์การร้องขอ UGS ที่มีสัดส่วนเปอร์เซ็นต์เป็น10%, 20%, 30%, 40% และ 50% และแกนแนวตั้งแสดงค่าทรูพุทของระบบ

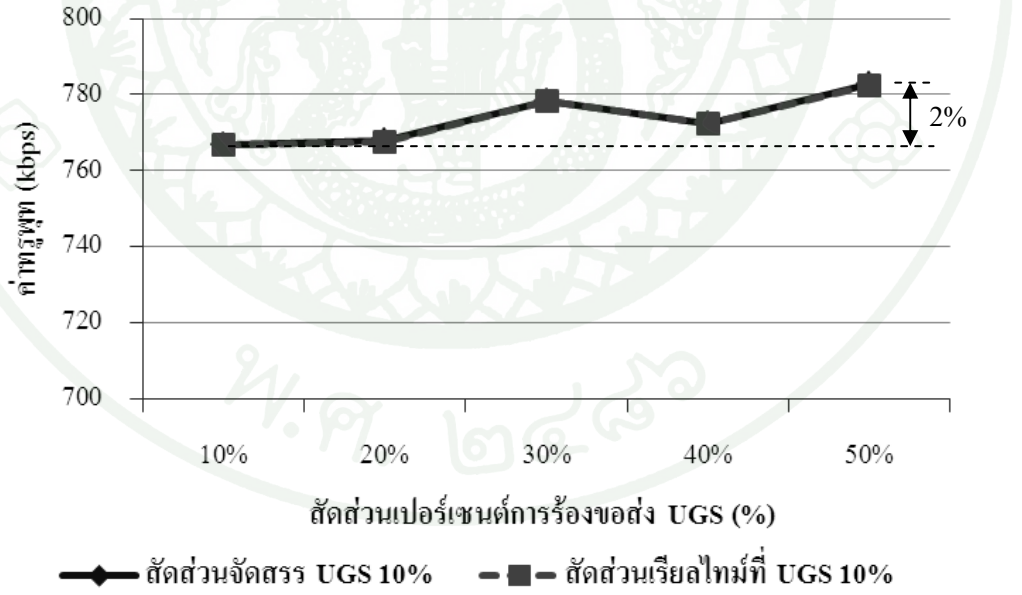
สรุปผลการทดลองที่ 3

การกระจายตัวแบบกระจุกตัวสี่มุมให้ค่าทรูพุทสูงกว่า เมื่อพิจารณาสัดส่วนจัดสรรทั้งที่เป็น UGS และสัดส่วนจัดสรรที่เป็นเรียลไทม์แล้ว ผลของค่าทรูพุทมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อการร้องขอที่เป็น UGS เพิ่มขึ้น โดยผลของค่าทรูพุทที่สัดส่วนเปอร์เซ็นต์การร้องขอส่ง UGS ที่ 10% เทียบกับที่ 50% เพิ่มขึ้น 2%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 45 ค่าทรูพุทบนการกระจายตัวแบบกระจุกตัวตรงกลาง เมื่อสัดส่วนการร้องขอส่ง UGS มีจำนวนเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 46 ค่าทรูพุทบนการกระจายตัวแบบกระจุกตัวสี่มุม เมื่อสัดส่วนการร้องขอส่ง UGS มีจำนวนเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิจารณ์

จากการทดลองระบบที่นำเสนอนั้นการกระจายตัวแบบกระจุกตัวสี่มุมให้ค่าทรูพุทที่สูง เนื่องจากการกระจายตัวของสถานีลูกข่ายที่กระจุกตัวจะให้คู่การส่งตรง และการที่มีการกระจุกตัวแยกจากกันเป็นบริเวณๆ จะทำให้เกิดจำนวนคู่การส่งตรงที่สัญญาณไม่รบกวนกันได้หลายคู่ และระบบที่นำเสนอในหนึ่งสลอตเวลาสามารถส่งพร้อมกันได้หลายคู่ ทำให้การกระจายตัวแบบนี้ให้ค่าทรูพุทสูงที่สุด

สัดส่วนเปอร์เซ็นต์การจัดสรรข้อมูลเรียลไทม์ให้ค่าทรูพุทสูงที่สุด ซึ่งการจัดสรรสัดส่วนที่เป็น UGS, rtPS และ ertPS โดยกำหนดสัดส่วน UGS เป็นหลักนั้น เมื่อจัดสรรสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของ UGS เพิ่มขึ้น ค่าทรูพุทไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ถือได้ว่าการจัดสรรสัดส่วนไม่ส่งผลต่อค่าทรูพุท

สัดส่วนเปอร์เซ็นต์การร้องขอข้อมูล UGS ที่เพิ่มขึ้น จะให้ค่าทรูพุทมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยทดลองบนการกระจายตัวแบบกระจุกตัวสี่มุมให้ทรูพุทสูงกว่าการกระจายตัวแบบกระจุกตัวตรงกลาง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยชิ้นนี้เพื่อพัฒนาระบบไวแมกซ์ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยเสนอการส่งข้อมูลแบบส่งตรงทำงานร่วมกับการส่งแบบการส่งผ่านสถานีฐาน ซึ่งการทำงานของการส่งแบบส่งตรงเกิดขึ้นเมื่อคู่สถานีลูกข่ายที่ร้องขออยู่ใกล้กันและอยู่ในพื้นที่ที่ติดต่อถึงกันได้ จึงสามารถส่งตรงถึงสถานีลูกข่ายปลายทางทางได้ ทำให้ขั้นตอนการส่งลดลง แต่หากอยู่ไกลกันหรืออยู่ในระยะที่ไม่สามารถติดต่อถึงกันได้จะส่งข้อมูลผ่านสถานีฐาน ทั้งนี้ได้ศึกษาปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อค่าทรูพุท ได้แก่ การกระจายตัวของสถานีลูกข่ายแบบต่างๆ ซึ่งให้ผลว่าการกระจายตัวแบบกระจุกตัวสี่มุมให้ค่าทรูพุทสูงที่สุด ส่วนขนาดข้อมูล UGS ที่เพิ่มขึ้นไม่ได้ส่งผลต่อค่าทรูพุท นอกจากนี้สัดส่วนการจัดสรรข้อมูลที่เป็นข้อมูล UGSและข้อมูลเรียลไทม์ สัดส่วนการจัดสรรเรียลไทม์ให้ค่าทรูพุทที่สูงกว่าการจัดสรรสัดส่วนของ UGS โดยสัดส่วน UGS ที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อค่าทรูพุท ส่วนการทดลองสัดส่วนการร้องขอที่เป็นข้อมูล UGS พบว่า การร้องขอที่เป็นข้อมูล UGS ยิ่งมีจำนวนมาก จะทำให้ค่าทรูพุทมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ศึกษาไวแมกซ์ บนมาตารฐาน IEEE 802.16e-2005 ที่กำหนดให้สถานีลูกข่ายอยู่กับที่ แต่ตามมาตรฐานนี้ได้ออกแบบเพื่อรองรับการเคลื่อนที่ได้ ดังนั้นงานวิจัยในขั้นต่อไปจะศึกษาระบบไวแมกซ์ที่สถานีลูกข่ายมีการเคลื่อนที่ด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

802.16, 2004. **IEEE Standard for local and metropolitan area networks**.

802.16e. 2005. **IEEE Standard for local and metropolitan area networks**.

Andrews, J.G., Arunabha and G.R. Muhamed. 2007. **Fundamentals of WiMAX Understanding Broadband Wireless Networking**. Prentice Hall.

Chen, W.P., T. Hamada, J.J., Yao, H.Y. Wei. 2011. **QoS Management and Peer-to-Peer Mobility in Fixed-Mobile Convergence**. Springer-Verlag Berlin.

Comer, D.E. 2009. **Computer Networks and Internets**. Pearson International Edition.

Fitzek, F.H., M. Katz and Q. Zhang. **Cellular Controlled Short-Range Communication for Cooperative P2P Networking**. WWRF17 WG5 Fitsek et. al.

He, Y., I. Lee, X. Gu and L. Guan. 2005. **Centralized Peer-to-Peer Video Streaming Over Hybrid Wireless Network**. IEEE.

Hsieh, H. and R. Sivakumar. 2004. **On Using Peer-to-Peer Communication in Cellular Wireless Data Networks**. IEEE Transaction on mobile computing.

Kbar, G., W. Mansoor and A. Naim. 2010. **Voice Over IP Mobile Topology using WIFI P2P**. 2010 Sixth International Conference on Wireless and Mobile Comm.

Malik, S.A., N.A. Ali, S. Jahan. 2011. **Android Wi-Fi P2P Networking**. 26th IEEEP Seminar 2011.

Nuaymi, L. 2007. **WiMAX Technology for Broadband Wireless Access**. John Wiley & Son Ltd.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Rachid, E.A., E. Sabir, S.K. Samanta, E.K. Ralph and E.H. Bouyakhf. 2009. **An End-to-End QoS Framework for IEEE 802.16 and Ad-hoc Integrated Networks**. Mobility 2009. Nice, France.

Sato, K., R. Hashimoto, M. Yoshino, R. Shinkuma and T. Takahashi. 2008. **Incentive Mechanism Considering Variety of User Cost in P2P Content Sharing**. IEEE "GLOBECOM".

Stiemerling, M. and S. Kiesel. 2010. **Cooperative P2P Video Streaming for Mobile Peers**. IEEE.

Tang, S.Y., P. Muller, H.R. Sharif. 2010. **WiMAX Security and Quality of Service an End-to-End Perspective**. John Wiley & Son Ltd.

Wang, X., S. Kim, T.T. Kwon, H.C. Kim and Y. Choi. 2011. **Unveiling the BitTorrent Performance in Mobile WiMAX Networks**. Springer-Verlag Berlin 2011.

WiMAX Forum. 2004. **WiMAX's technology for LOS and NLOS environments**.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวสุภาพร หงส์พิสุทธิกุล
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 4 พฤษภาคม 2520
สถานที่เกิด	นครศรีธรรมราช
ประวัติการศึกษา	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมศาสตร์ไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยมหิดล
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกรไฟฟ้า
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	ตีพิมพ์ผลงานวิชาการในหัวข้อ “การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดสรรแบนด์วิดท์ด้วยการส่งตรง บนมาตรฐาน IEEE 802.16e” ICSEC2011, 7-9 September 2011
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	Study Chinese Program, Shandong University, China, March 2009- July 2010

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์