การวิเคราะห์และทดสอบคุณภาพการให้บริการเสียงบนเฟรมรีเลย์ของธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร

นาย พงษ์เทพ พรหมศิริ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545
ISBN 974-17-9747-8
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN ANALYSIS AND TESTING OF THE SERVICE QUALITY OF VOICE OVER FRAME RELAY OF BANK FOR AGRICULTURE AND AGRICULTURAL CO-OPERATIVES

Mr.Pongthep Promsiri

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Computer Science
Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2002

ISBN 974-17-9747-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์และทดสอบคุณภาพการให้บริการเสียงบนเฟรมรีเลย์ของธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร
โดย	นายพงษ์เทพ พรหมศิริ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.ชัย พงศ์พันธุ์ภาณี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญชัย โสวรรณวณิชกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.ชัย พงศ์พันธุ์ภาณี)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ฐิต ศิริบูรณ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ หนูไพโรจน์)

พงษ์เทพ พรหมศิริ : การวิเคราะห์และทดสอบคุณภาพการให้บริการเสียงบนเฟรมรีเลย์ของธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร (AN ANALYSIS AND TESTING OF THE SERVICE QUALITY OF VOICE OVER FRAME RELAY OF BANK FOR AGRICULTURE AND AGRICULTURAL CO-OPERATIVES). อ.ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. ชัย พงศ์พันธุ์ภาณี, 69 หน้า ISBN 974-17-9747-8.

การกระตุกของเสียงเป็นตัวบอกถึงคุณภาพของเสียงซึ่งมีผลมาจากปริมาณการสูญหายของเฟรมเสียงที่ส่งผ่านบนเครือข่ายเฟรมรีเลย์ การกระตุกของเสียงนั้นเกิดจากการที่เฟรมเสียงเดินทางไปถึงอุปกรณ์ปลายทางล่าช้ากว่าเวลาที่กำหนด ซึ่งมีผลมาจากเฟรมข้อมูลที่ส่งร่วมอยู่ในช่องสัญญาณเดียวกับเฟรมเสียงนั้นมีขนาดใหญ่ไม่เหมาะสมกับความเร็วในการส่ง

การลดอัตราการกระตุกของเสียงทำได้โดยการลดขนาดของเฟรมข้อมูลให้เล็กลง แต่จะทำให้ประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลลดลงด้วย อีกวิธีคือการหน่วงเวลาในการแปลงกลับเป็นเสียง ซึ่งมีอัลกอลิทึ่มที่ใช้กำหนดเวลาหน่วงอยู่สองแบบคือ แบบที่ใช้ช่วงเวลาหน่วงแบบคงที่ และแบบที่มีช่วงเวลาหน่วงแปรผัน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยได้ใช้เครือข่ายระยะไกลของธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร(ธ.ก.ส.)เป็นกรณีศึกษาและสร้างโปรแกรมจำลองการทำงานของเครือข่ายเฟรมรีเลย์ของ ธ.ก.ส.เพื่อวิเคราะห์หาค่าความหน่วงในการกำหนดเวลาแบบคงที่ และทดลองขนาดของเฟรมข้อมูลที่เหมาะสม จากการทดลองพบว่าค่าความหน่วงที่เหมาะสมคือ 71 มิลลิวินาที และค่าขนาดเฉลี่ยของเฟรมข้อมูลที่เหมาะสมคือ 198 ไบต์ หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมจำลองที่มีการหน่วงเวลาแบบแปรผันเพื่อทดสอบเปรียบเทียบคุณภาพของเสียงกับการทดลองที่มีการหน่วงเวลาแบบคงที่ จากการทดลองพบว่าการหน่วงเวลาแบบแปรผันจะให้อัตราการสูญหายของเฟรมน้อยกว่าการหน่วงเวลาแบบคงที่ 2% สุดท้ายนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดลองส่งข้อมูลและเสียงผ่านเครือข่ายจริงเพื่อวัดคุณภาพของเสียงโดยใช้มาตรฐานการทดสอบ ITU P.800(Mean Opinion Score) พบว่าขนาดของเฟรมข้อมูลเฉลี่ยที่ได้คะแนนการทดสอบอยู่ในช่วงดีเหมาะสมสำหรับเครือข่ายของ ธ.ก.ส. เท่ากับ 198 ไบต์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ใช้โปรแกรมจำลอง

ภาควิชา .....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์.....	ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา .....วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์...	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา.....2545.....	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4271446221 : MAJOR COMPUTER SCIENCE

KEY WORD: BUILDOUT DELAY / QUALITY OF VOICE SERVICE

PONGTHEP PROMSIRI: AN ANALYSIS AND TESTING OF THE SERVICE QUALITY OF VOICE OVER FRAME RELAY OF BANK FOR AGRICULTURE AND AGRICULTURAL CO-OPERATIVES. THESIS ADVISOR : Ph.D.CHAI PHONGPHANPHANEE, 69 pp. ISBN 974-17-9747-8.

Jitter is one of some key indicators showing the degrading quality of voice transmission over frame-relay network. The rates of voice frames being lost over the frame-relay network transmission directly impact the performance of the quality of voice transmission. Over-size data frames, which shared the same channel with voice frames , have been identified as the cause of Jitter.

Generally, decreasing the rate of Jitter can be achieved by reducing the frame-size of data frames being transmitted. Unfortunately, by utilizing this method the performance of data transmission are degrade as well. Another method is devised by the adoption of an extra delay at the decoder inorder to compensate the irregular arrival of voice frames. Two major algorithms had been adopted which are fixed buildout delay and adaptive buildout delay ones.

In this thesis the author used The Wide Area Network of The Bank for Agriculture and Agricultural Co-operatives (BAAC) as a case study model. A simulation model was required developed to analyze the maximum average data frame size and the minimum buildout delay for the fixed delay algorithm. The minimum buildout delay was 71 ms and the maximum average data frame size was 198 bytes. Next the rate of frame loss was measured as the quality of voice service (QoS) for the adaptive buildout algorithm. The adaptive buildout delay algorithm gave better QoS with 2% lower loss rate. Lastly, the author performs a voice quality subjective test by transmitting voice and data frames over BAAC network. By voice ITU P.800 testing procedure the maximum average data frame size provided good voice quality is 198 bytes which is in agreement with the objective test.

Department …Computer Engineering Faculty…	Student's signature.....
Field of Study ……Computer Science…….….	Advisor's signature …….....
Academic year ……2002……..	Co-advisor's signature .....…….....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วง ได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง จากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. ชัย พงศ์พันธุ์ภาณี ซึ่งท่านเป็นอาจารย์ที่ให้แนวทาง ข้อเสนอแนะ ตรวจสอบ และแก้ไขจุดบกพร่องต่างๆ และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ตลอดระยะเวลาที่ผู้วิจัย ได้เข้ามาศึกษา ณ สถาบันแห่งนี้

ขอขอบพระคุณธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร และผู้บังคับบัญชาตลอดจนผู้บริหารของธนาคารที่ให้โอกาศผู้วิจัยได้ใช้เวลาปฏิบัติงาน อุปกรณ์และสถานที่ รวมทั้งเครือข่ายของธนาคารเป็นกรณีศึกษา และทำวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การอุปการะ และกำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ .....ฏ

บทที่

1. บทนำ 1
   1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
   1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4
   1.3 ขอบเขตของการวิจัย 4
   1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น 5
   1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5
   1.6 วิธีการดำเนินการวิจัย 6
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7
   2.1 ระบบเครือข่ายเฟรมรีเลย์ 7
   2.2 การส่งข้อมูลประเภทเสียงร่วมกับข้อมูลบนเครือข่ายสื่อสาร 12
   2.3 การจัดลำดับความสำคัญของเฟรมเสียง 15
   2.4 การคำนวณหาค่าเฉลี่ยขนาดของเฟรม 16
   2.5 การคำนวณหาค่า Utilization 16
   2.6 ค่าความล่าช้าในระบบ 17
   2.7 Transmission of Compressed Voice over Integrated Services Frame Relay Networks : Priority Service and Adaptive Buildout Delay 19
   2.8 Compressed Voice in Integrated Services Frame Relay Networks : Voice Synchronization 19

บทที่ หน้า

2.9 Adaptive Playout Mechanism for Packetized Audio Applications in Wide-Area Network..... 19
2.10 Adaptive Playout Scheduling Using Time-Scale Modification in Packet Voice Communications 20
2.11 An Empirical Study of Packet Voice Distribution over a Campus Wide Network 20
2.12 Packet Audio Playout Delay Adjustment : Performance Bounds and Algorithms 20
3. ขั้นตอนการวิเคราะห์และทดสอบ 22
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 22
3.2 การวิเคราะห์เครือข่ายที่ใช้เป็นกรณีศึกษา..... 22
3.3 ขั้นตอนและรูปแบบการสร้างโปรแกรมจำลองการทำงาน 26
3.4 ขั้นตอนการทำงานของอัลกอลิทึ่มหน่วงเวลาแบบคงที่ (Fixed buildout delay 29
3.5 ขั้นตอนการทำงานของอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบแปรผันได้ (Adaptive buildout delay) 34
3.6 การทดสอบอัลกอลิทึ่มกับเฟรมข้อมูลขนาดต่าง ๆ 44
3.7 การทดสอบประสิทธิภาพของเสียง 45
4. ผลลัพธ์การวิเคราะห์และทดสอบ 47
4.1 ผลการทดสอบด้วยข้อมูลตัวอย่าง 47
4.2 ผลการทดสอบด้วยข้อมูลตัวอย่าง 48
4.3 ผลการเปรียบเทียบระหว่างสองอัลกอลิทึ่ม 50
4.4 ผลการทดสอบด้วยข้อมูลจำลองขนาดเฉลี่ยของเฟรมข้อมูลต่างๆ..... 52
4.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเสียง..... 53
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 55
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 55
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 56
รายการอ้างอิง..... 57
ภาคผนวก..... 59

บทที่ หน้า

. ก. วิธีการเก็บข้อมูลจากเครือข่ายที่ใช้เป็นกรณีศึกษา 60
. ข. แบบสอบถามเพื่อการวิจัย..... 64
. ค.รูปแบบและการกำหนดค่าอุปกรณ์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเสียง 65
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 68

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงมาตราฐานการแปลงสัญญาณ	13
2.2	แสดงเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลที่ขนาดเฟรมและความเร็วต่าง ๆ	18
3.1	แสดงค่าขนาดของเฟรมสำหรับตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ	44
3.2	แสดงตัวอย่างเสียงที่ใช้ทดสอบ	46
4.1	ตารางแสดงปริมาณเฟรมข้อมูลที่เก็บได้จากสาขาตัวอย่าง	47
4.2	ผลการทดสอบอัลกอลิทึ่มกับตัวอย่างเฟรม 5 ตัวอย่าง	52
4.3	ผลการทดสอบคุณภาพเสียง	54

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	มาตราฐานค่าความล่าช้าของเสียง ITU-G.114	2
1.2	การแบ่งขนาดของเฟรม	2
1.3	การเกิดการกระตุกของเฟรมเสียง	3
1.4	รูปแบบการจำลอง	4
2.1	แสดงองค์ประกอบของเครือข่ายเฟรมรีเลย์	7
2.2	ลักษณะโครงสร้างในการใช้งานของเฟรม	8
2.3	โครงสร้างของเฟรม	10
2.4	การแจ้งเตือนความคับคั่ง	12
2.5	รูปแบบการให้บริการ Voice over Frame Relay	14
2.6	แสดงถึงองค์ประกอบในเสียงสนทนา	14
2.7	การจัดลำดับความสำคัญของเสียง	15
2.8	รูปแสดงค่าล่าช้าในระบบ	18
3.1	รูปแบบการเชื่อมต่อเครือข่ายของ ธกส.	23
3.2	การเชื่อมต่อของสาขา	24
3.3	ปริมาณการใช้งานเครือข่ายของสาขานนทบุรี	25
3.4	แสดงแบบจำลองของ Brady	26
3.5	รูปแบบการจำลองการส่งเฟรมเสียงและเฟรมข้อมูล	27
3.6	เวลาที่ใช้ในการเดินทางของเฟรมเสียง	29
3.7	ตัวแปรที่ใช้ในอัลกอลิทึ่มหน่วงเวลาแบบคงที่	29
3.8	การทำงานของอัลกอลิทึ่มหน่วงเวลาแบบคงที่	30
3.9	แสดง Flow Chat ขั้นตอนการทำงานของอัลกอลิทึ่มหน่วงเวลาแบบคงที่	33
3.10	แสดงการทำงานของอัลกอลิทึ่มหน่วงเวลาแบบคงที่	34
3.11	ตัวแปรที่ใช้ในอัลกอลิทึ่มหน่วงเวลาแบบแปรผันได้	34
3.12	การทำงานของอัลกอลิทึ่มหน่วงเวลาแบบแปรผันได้	35
3.13	แสดง Flow Chat ขั้นตอนการทำงานของอัลกอลิทึ่มหน่วงเวลาแบบแปรผันได้	40
3.14	การทำงานของเวลาหน่วงแบบแปรผันได้ในช่วงเริ่มต้น	41
3.15	การทำงานของเวลาหน่วงแบบแปรผันได้ในช่วงการปรับค่า	42

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
3.16	การทำงานของเวลาหน่วงแบบแปรผันได้ในช่วงสภาวะเสถียร	43
3.17	รูปแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ	46
4.1	กราฟแสดงปริมาณของเฟรมข้อมูลขนาดต่าง ๆ	48
4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูญหายของเฟรมเสียงกับเวลาหน่วง	49
4.3	แสดงค่าความล่าช้าของระบบโดยรวมของอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบคงที่	51
4.4	แสดงค่าความล่าช้าของระบบโดยรวมของอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบแปรผันได้	51
4.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูญหายของเฟรมเสียงกับขนาดเฉลี่ยของเฟรมข้อมูล	52
4.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเฟรมกับคะแนน MOS	54
ก.1	แสดงเกี่ยวกับโปรแกรม HP Internet Advisor	60
ก.2	แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์เพื่อเก็บข้อมูล	60
ก.3	แสดงหน้าจอการทำงานของโปรแกรมระหว่างการจับเฟรม	61
ก.4	แสดงการนำข้อมูลออก	62
ก.5	แสดงตัวอย่างข้อมูลที่เก็บได้	63
ค.1	รูปแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์เพื่อทำการทดสอบ	65
ค.2	แสดงค่าเฉลี่ยของเฟรม	67

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

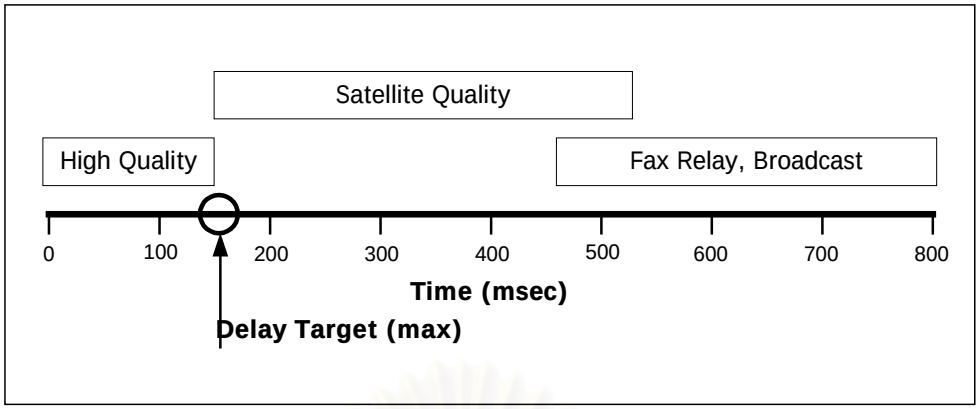
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันองค์กรขนาดใหญ่ที่มีสำนักงานสาขาอยู่ต่างสถานที่กัน มีการให้บริการด้านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ระยะไกล(WAN :Wide Area Network) เพื่อส่งข้อมูลภายในองค์กร ลักษณะของข้อมูลนั้นจะแตกต่างกันไปในแต่ละองค์กร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะงานขององค์กร เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายโทรศัพท์ทางไกลและให้เกิดความคุ้มค่าในการใช้เครือข่าย หลายองค์กรจึงมีการนำเอาระบบโทรศัพท์ทางไกลมาให้บริการผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์

ระบบเครือข่ายเฟรมรีเลย์เป็นระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ถูกออกแบบมาเพื่อส่งข้อมูลที่มีขนาดของเฟรมไม่คงที่ขึ้นอยู่กับลักษณะแอปพลิเคชั่น(application)ที่ใช้งาน มีความยืดหยุ่นในการจัดการแบนด์วิดธ์ (bandwidth) มีการส่งข้อมูลผ่านเส้นทางเสมือน (vc : virtual circuit) ทั้งแบบเส้นทางเสมือนถาวร(PVC : permanent virtual circuit) และแบบเส้นทางเสมือนชั่วคราว (SVC : switch virtual circuit) เฟรมรีเลย์ทำงานอยู่ในเลเยอร์ที่ 2 ของมาตรฐานโอเอสไอ (OSI : Open Systems Interconnection)[1] จึงทำให้มีการส่งเฟรมไปยังปลายทางได้รวดเร็ว ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวจึงมีการนำเอาเครือข่ายเฟรมรีเลย์มาใช้ในการส่งสัญญาณเสียง (voice) ที่ถูกเข้ารหัสแล้วร่วมกับข้อมูล (data)

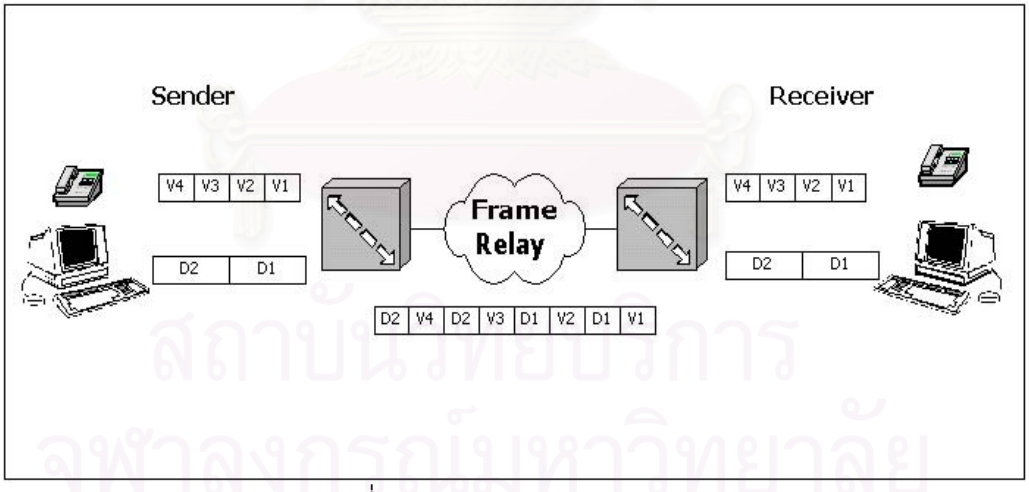
ข้อมูลและเสียงที่ส่งไปบนเครือข่ายนั้นมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันคือ ข้อมูลที่ส่งจะผิดพลาดไม่ได้แต่สามารถมาถึงปลายทางล่าช้าได้ ส่วนเสียงสามารถผิดพลาดได้แต่มาถึงปลายทางล่าช้าไม่ได้ ดังนั้นความล่าช้า (delay) ของเสียงที่ส่งผ่านไปในระบบเครือข่ายจึงมีผลต่อคุณภาพของเสียงกล่าวคือถ้าเฟรมเสียงมาถึงปลายทางเกินกว่าเวลาที่กำหนดเสียงนั้นจะเกิดอาการกระตุก (jitter) โดยที่ตามมาตราฐาน ITU G.114 ได้กำหนดค่าความล่าช้าของเสียงจากต้นทางถึงปลายทาง ในกรณีที่เป็นการสื่อสารแบบทางเดียวที่มีประสิทธิภาพสูงอยู่ที่ 0 – 150 มิลลิวินาทีดังรูป 1.1



รูปที่ 1.1 มาตราฐานค่าความล่าช้าของเสียง ITU-G.114

การแก้ไขการกระตุกเนื่องจากความล่าช้าของเฟรมเสียงมีอยู่สองวิธีคือ

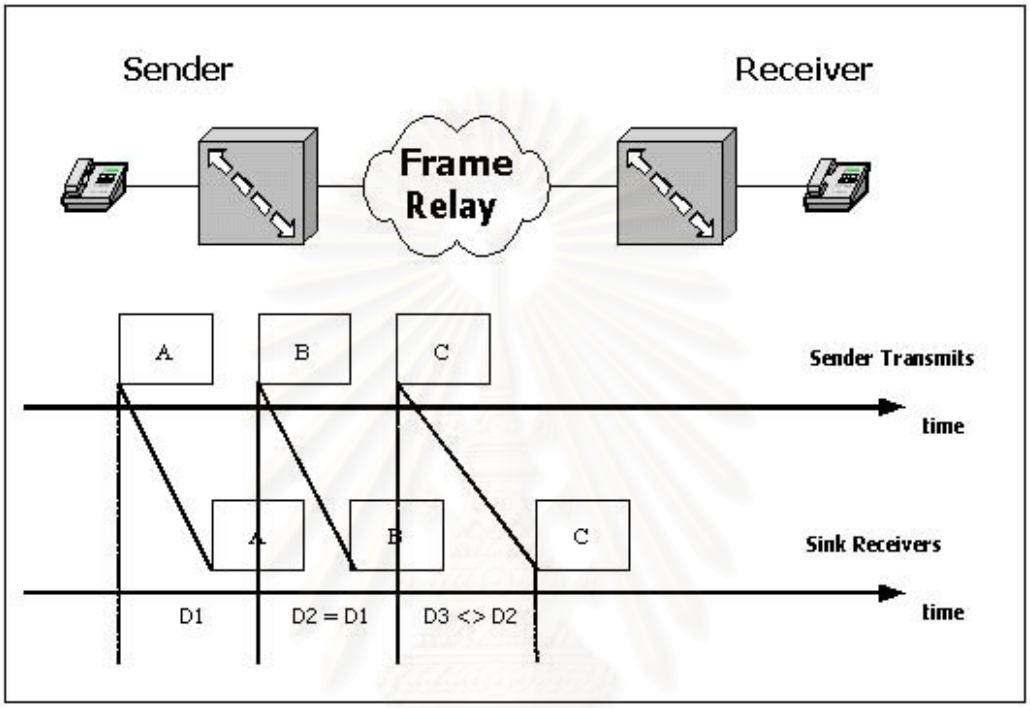
- ลดขนาดของเฟรมข้อมูลที่ส่งร่วมกับเฟรมเสียง เนื่องจากขนาดของเฟรมในเฟรมรีเลย์เป็นขนาดที่ไม่คงที่ ถ้าเฟรมมีขนาดใหญ่เกินไปอัตราการรอคอยก็จะมากขึ้นทำให้เฟรมที่เสียงไปถึงที่หมายไม่ทันเวลา แต่ถ้าขนาดของเฟรมเล็กเกินจะทำให้ส่วนหัวของเฟรม (overhead) มากเกินไป เป็นการใช้แบนด์วิตช์ไปกับส่วนที่เป็นสัญญาณควบคุม(signaling control) มากเกินไป ดังนั้นจึงต้องมีการแบ่งเฟรมที่มีขนาดใหญ่ให้เป็นเฟรมย่อยที่มีขนาดเหมาะสมเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดดังรูป 1.2



รูปที่ 1.2 การแบ่งขนาดของเฟรม

- เพิ่มเวลาหน่วงที่ใช้ในการแปลงเฟรมของเสียงที่อยู่ในบัฟเฟอร์ของฝั่งผู้รับกลับมาเป็นเสียง (buildout delay) ซึ่งค่านี้เป็นตัวแปรในการปรับการเข้ากันของสัญญาณเสียง (voice synchronization) ที่ส่งมาจากต้นทางไปยังปลายทาง เป็นการลดการกระตุกของเสียงดังรูปที่ 1.3 ซึ่ง packet voice switching โดยทั่วไปที่ทำงานตามมาตรฐาน packetised voice protocol (PVP) จะใช้วิธี บันทึกเวลา(delay stamps) ลงไปในแพ็กเกจของเสียงด้วยสวิตช์ชิ่งโหนดที่ทำงาน

ในเลเยอร์ 3 ของโอเอสไอ ที่เรียกว่า แพ็กเกจเลเยอร์ (packet layer) แต่วิธีนี้ไม่สามารถใช้ได้กับเฟรมรีเลย์เนื่องจากเฟรมรีเลย์ทำงานแค่เลเยอร์ที่ 2 ของโอเอสไอ เว้นไว้แต่จะมีการปรับปรุงแก้ไขลักษณะของเฟรมในระบบเฟรมรีเลย์ให้มีฟิลด์สำหรับบันทึกเวลาด้วย ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีการหน่วงเวลา ซึ่งอัลกอลิทึ่มที่ใช้ในการหาค่าเวลาหน่วงมีสองแบบคือ ค่าเวลาหน่วงแบบคงที่(Fixed buildout delay) และ ค่าเวลาหน่วงแบบแปรผันได้(Adaptive buildout delay)



รูปที่ 1.3 การเกิดการกระตุกของเฟรมเสียง

ค่าทั้งสองนี้จะแปรเปลี่ยนไปตามลักษณะของเครือข่าย ความเร็วของเส้นทาง (link speed) ลักษณะและปริมาณความหนาแน่นข้อมูลที่ใช้ รวมทั้งกระบวนการทางเทคนิคที่ใช้ในการแปลงสัญญาณเสียง โดยในวิทยานิพนธ์นี้ใช้สภาพแวดล้อมระบบเครือข่ายสื่อสารระยะไกลของธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตรเป็นกรณีศึกษาเพื่อหาค่าขนาดของเฟรมข้อมูลและค่าเวลาหน่วงที่เหมาะสม โดยใช้โปรแกรมจำลองการทำงานของอัลกอลิทึ่ม เวลาหน่วงแบบคงที่และเวลาหน่วงแบบแปรผันได้ และนำค่าที่ได้ทดสอบกับเครือข่ายจริง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.เพื่อทำการศึกษาขั้นตอน และวิธีการส่งข้อมูลเสียงผ่านทางระบบเครือข่ายเฟรมรีเลย์

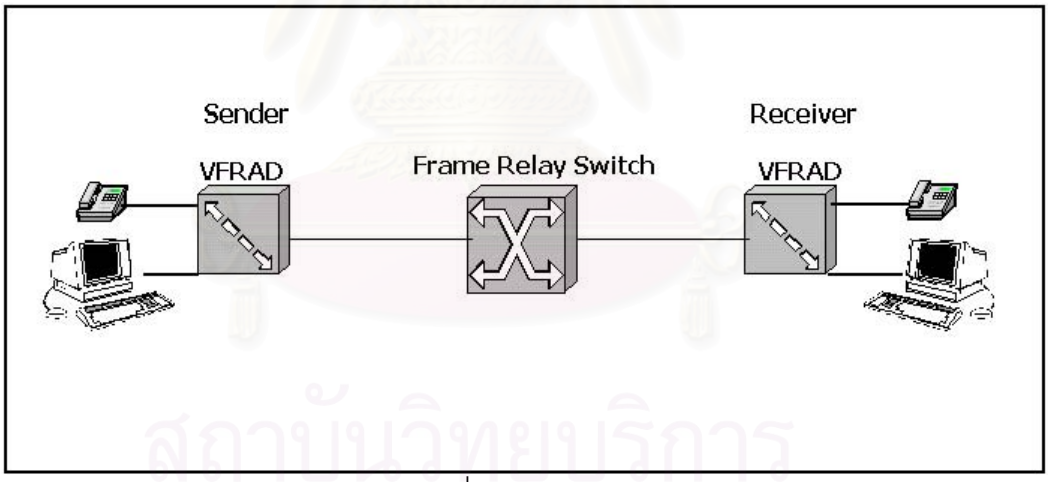
2.เพื่อทำการวิเคราะห์ และทดสอบค่าขนาดของเฟรมที่เหมาะสมกับเครือข่าย

3.เพื่อทำการศึกษาและทดสอบหาค่าเวลาหน่วงในการแปลงกลับไปเป็นเสียงโดยใช้อัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบคงที่และเวลาหน่วงแบบแปรผันได้

4.เพื่อทำการพัฒนาโปรแกรมจำลองระบบการทำงานของอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบคงที่และเวลาหน่วงแบบแปรผันได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.ศึกษาและวิเคราะห์ตามแบบจำลอง ดังรูปที่ 1.4 โดยใช้ PVC เดียวกันในการส่งข้อมูลและสัญญาณเสียง



รูปที่ 1.4 รูปแบบการจำลอง

2.สร้างโปรแกรมจำลองเพื่อศึกษาและทดสอบการหาค่าเวลาหน่วงอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบคงที่และเวลาหน่วงแบบแปรผันได้

3.ทดสอบค่าขนาดของเฟรมข้อมูลที่มีผลต่อคุณภาพของเสียง โดยใช้แบบสอบถามประเภทอัตนัย (Subjective test) ที่ให้คะแนนตามมาตราฐาน ITU-T P.800 Mean Opinion Score (MOS)

4.ผลลัพธ์ของการวิจัยประกอบด้วย

-.ผลการทดสอบและเปรียบเทียบอัลกอลิทึ่มที่ใช้ในการหาค่าเวลาหน่วงของเฟรมเสียงระหว่างเวลาหน่วงแบบคงที่ และเวลาหน่วงแบบแปรผันได้ด้วยโปรแกรมจำลอง

-.ผลการทดสอบค่าขนาดของเฟรมข้อมูลที่มีผลต่อคุณภาพของเสียงด้วยแบบสอบถาม

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อวิเคราะห์และทดสอบหาค่าที่เหมาะสมของขนาดของเฟรมข้อมูล และเวลาหน่วงที่ใช้ในการแปลงสัญญาณกลับมาเป็นเสียง โดยใช้สภาพแวดล้อมของเครือข่ายสื่อสารระยะไกล (WAN) ของธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร (ธกส.) เป็นกรณีศึกษา เป็นการทดสอบเฉพาะเครือข่ายเฟรมรีเลย์แบบ PVC และการเข้ารหัสเสียงแบบ CS-ACELP จำนวน 1 คู่สาย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.ทำให้ทราบการทำงานของการให้บริการสื่อสารข้อมูลและเสียงบนเครือข่ายเฟรมรีเลย์และสิ่งที่มีผลต่อคุณภาพของการให้บริการทางเสียงบนเครือข่ายเฟรมรีเลย์

2. ทำให้ทราบถึงวิธีการคำนวณหาค่าเวลาหน่วงโดยใช้อัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบคงที่และเวลาหน่วงแบบแปรผันได้เพื่อลดอาการกระตุกของเสียง

3.ได้โปรแกรมจำลองการทำงานของอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบคงที่และเวลาหน่วงแบบแปรผันได้สำหรับวิเคราะห์และทดสอบค่าเวลาหน่วงเพื่อนำไปพัฒนาใช้กับเครือข่ายอื่นต่อไป

4.สามารถนำผลของการวิเคราะห์และทดสอบมาใช้ภายในองค์กรเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการให้บริการทางเสียงบนเครือข่ายเฟรมรีเลย์ได้

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็นสองส่วนได้แก่

ส่วนแรก เป็นการทดสอบอัลกอลิทึ่ม 2 อัลกอลิทึ่มที่ใช้ในการหาค่าเวลาหน่วงของเฟรมเสียงไว้ในบัพเฟอร์ก่อนที่จะแปลงกลับมาเป็นสัญญาณเสียง โดยสามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนย่อยได้ 3 ขั้นตอนได้แก่

ขั้นแรก เป็นการเก็บข้อมูลตัวอย่างจากเครือข่ายที่ใช้งานจริงเพื่อนำมาวิเคราะห์และสร้างเป็นข้อมูลสำหรับใช้ในการทดสอบ

ขั้นที่สอง เป็นขั้นตอนการสร้างโปรแกรมจำลองการทำงานของอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบคงที่และเวลาหน่วงแบบแปรผันได้ พร้อมทดสอบแบบจำลอง ด้วยข้อมูลที่เก็บได้จากการใช้งานจริงในเครือข่ายที่เป็นกรณีศึกษา

ขั้นที่สาม เป็นการสร้างตัวอย่างของข้อมูลจากที่มีขนาดเฉลี่ยของเฟรมข้อมูลต่างกันจำนวน 5 ตัวอย่าง แล้วทำสอบตัวอย่างข้อมูลทั้ง 5 ตัวอย่างกับโปรแกรมจำลองการทำงานของอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบคงที่และเวลาหน่วงแบบแปรผันได้

ส่วนที่สอง เป็นการทดสอบค่าขนาดของเฟรมข้อมูลที่มีผลต่อคุณภาพของเสียง โดยการสร้างตัวอย่างเสียงจำนวน 5 ตัวอย่างเสียงจากอุปกรณ์และเครือข่ายที่ใช้งานจริง และทำการทดสอบคุณภาพของเสียงโดยใช้แบบสอบถามประเภทอัตนัย (Subjective test) ที่ให้คะแนนตามมาตราฐาน ITU-T P.800 Mean Opinion Score (MOS) กับกลุ่มประชากรตัวอย่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

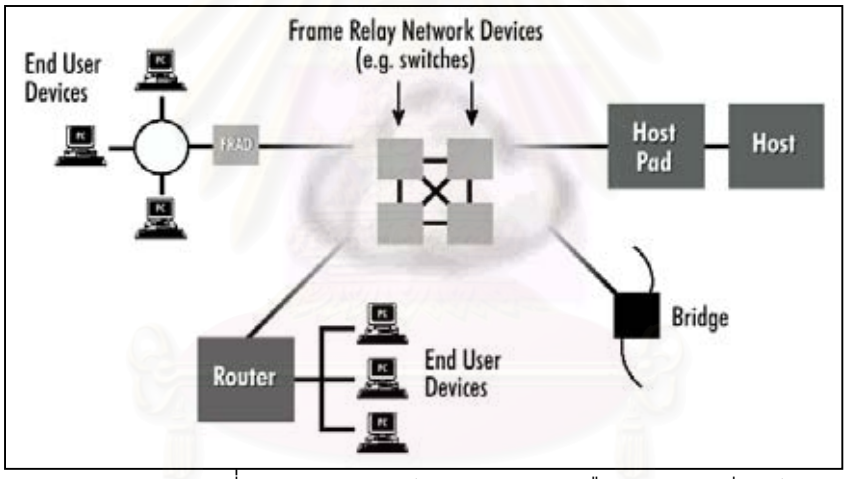
บทที่ 2.

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎี

2.1 ระบบเครือข่ายเฟรมรีเลย์(Frame Relay Network)

ระบบเครือข่ายเฟรมรีเลย์เป็นระบบเครือข่ายสื่อสารข้อมูลความเร็วสูง ที่ใช้สำหรับการสื่อสารข้อมูลระยะไกลซึ่งใช้ในการเชื่อมต่อเครือข่ายแบบท้องถิ่นเข้าด้วยกัน โดยวิธีการส่งข้อมูลนั้นจะนำเอาข้อมูลมาแบ่งออกเป็นเฟรมแล้วส่งไปยังปลายทางผ่านอุปกรณ์ซึ่งรวมกันเป็นเครือข่ายเฟรมรีเลย์ ในเฟรมที่ส่งไปนั้นจะมีที่อยู่ปลายทางที่ใช้ในการกำหนดเส้นทางที่จะส่งเฟรม



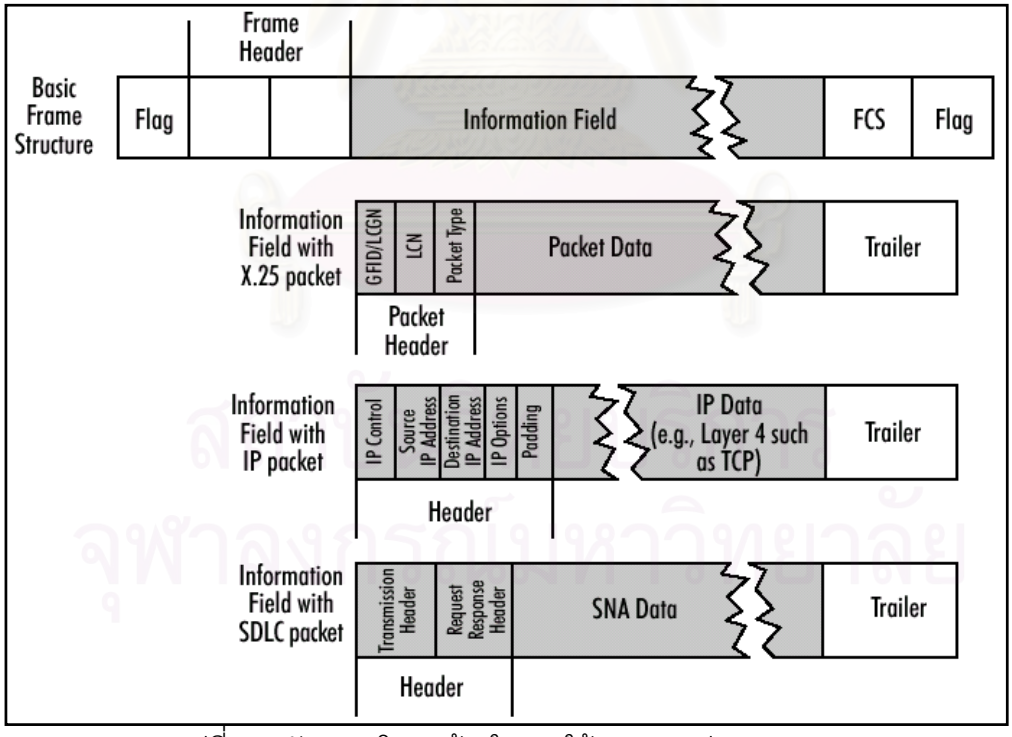
รูปที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบของเครือข่ายเฟรมรีเลย์

ระบบเครือข่ายเฟรมรีเลย์ประกอบด้วย อุปกรณ์ปลายทางได้แก่ เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องเซิร์ฟเวอร์ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อเขาไปยังเครือข่ายเฟรมรีเลย์ ได้แก่ บริดจ์ เร้าเตอร์ ซึ่งมีหน้าที่ในการส่งข้อมูลเข้าไปยังเครือข่ายเฟรมรีเลย์ตามรูปแบบที่เป็นมาตรฐาน และอุปกรณ์เครือข่ายเฟรมรีเลย์ ได้แก่ สวิตช์ มัลติเพลกเซอร์ ทำหน้าที่ในการจัดส่งเฟรมข้อมูลที่ได้รับเข้ามาไปยังที่อยู่ปลายทางที่ระบุในเฟรม จากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าอุปกรณ์เครือข่ายเฟรมรีเลย์จะแสดงในลักษณะเป็นกลุ่มของก้อนเมฆ หมายถึงระหว่างสวิทช์อาจจะมีการเชื่อมต่อทางกายภาพเพียงเส้นทางเดียวแต่มีการเชื่อมต่อทางมโนภาพหลายเส้นทางโดยอาศัยเส้นทางเสมือน

เฟรมรีเลย์นั้นเป็นการผสมข้อดีระหว่างเครือข่ายแบบ TDM (time division multiple) กับเครือข่ายแบบ X.25 คือมีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงเหมือน TDM และลักษณะเป็นแพ็กเกจสวิตช์เหมือน X.25 ซึ่งสามารถแบ่งช่องสัญญาณในการส่งข้อมูลให้ใช้ร่วมกันได้ แต่มี

ข้อแตกต่างจาก X.25 คือใน X.25 นั้นมีการทำงานถึงเลเยอร์ 3 แต่เฟรมรีเลย์นั้นมีการทำงานแค่บางส่วนของเลเยอร์ 2 เท่านั้น โดยที่จะมีการตรวจสอบความผิดพลาดของเฟรมที่ส่งเข้ามาแต่จะไม่มีการร้องขอให้ส่งเฟรมที่ผิดพลาดนั้นใหม่ และจะตัดเฟรมที่ผิดนี้ออกจากการส่งทันที ซึ่งการแก้ปัญหาเฟรมที่ผิดนี้จะปล่อยให้เป็นหน้าที่ของอุปกรณ์ที่ทำงานในเลเยอร์ที่สูงกว่าเป็นผู้ตรวจสอบและร้องขอเฟรมที่ผิดใหม่โดยอาศัยหมายเลขลำดับของเฟรมเป็นตัวตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล ในการตัดขั้นตอนการร้องขอให้ส่งเฟรมที่ผิดพลาดใหม่ออกไปจากระบบเฟรมรีเลย์นั้นอยู่บนสมมติฐานที่ว่าปัจจุบันระบบการส่งสัญญาณมีความน่าเชื่อถือมากขึ้นเพราะมีการส่งสัญญาณแบบดิจิตอลทำให้มีการผิดพลาดน้อยลง และต้องการลดความซ้ำซ้อนในการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลซึ่งมีอยู่แล้วในโปรโตคอลของเลเยอร์ที่สูงกว่า ด้วยเหตุนี้ทำให้การส่งข้อมูลของเฟรมรีเลย์นั้นเร็วขึ้นกว่า X.25 แต่ก็ยังไม่เร็วไปกว่าการส่งข้อมูลแบบ TDM

ขนาดของเฟรมในระบบเครือข่ายเฟรมรีเลย์นั้นสามารถปรับเปลี่ยนได้ขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูลที่จัดส่ง ซึ่งข้อมูลบางประเภทมีขนาดแพ็กเกจใหญ่เมื่อส่งผ่านเฟรมก็จะทำให้เฟรมมีขนาดใหญ่ตามไปด้วยดังรูป 2.2 โครงสร้างของเฟรมรีเลย์ นั้นเป็นลักษณะที่มีการนำเอาแพ็กเกจของเลเยอร์บนมาใส่เป็นส่วนของข้อมูลในเฟรม โดยมีเลเยอร์บนดังตัวอย่างเช่น X.25 ,IP หรือ SDLC



รูปที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างในการใช้งานของเฟรม

ด้วยเหตุนี้ทำให้ขนาดของเฟรมนั้นมีผลต่อดีเลย์ของเฟรมที่ส่ง ซึ่งข้อมูลบางประเภทเช่นข้อมูลภาพและเสียงไม่สามารถจะทนต่อดีเลย์ได้ แต่เฟรมรีเลย์ก็มีวิธีการที่จะจัดการกับข้อมูลประเภทที่ไม่ทนต่อดีเลย์

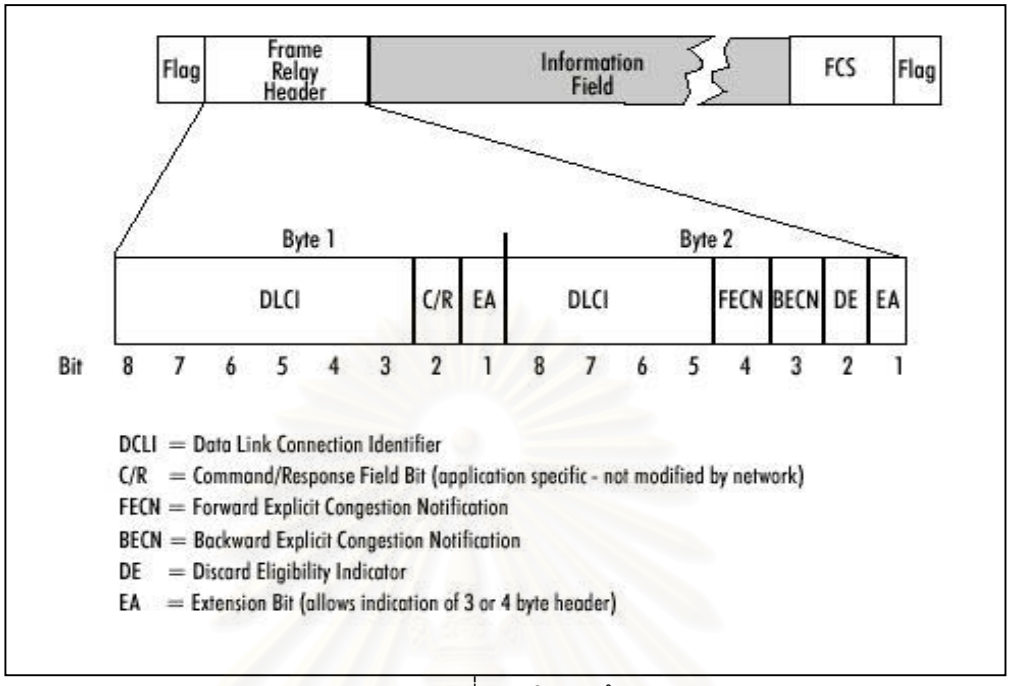
หลักการทำงานของเฟรมรีเลย์จะใช้ virtual circuits (VCs) ที่สามารถส่งสัญญาณได้ทั้งไปและกลับ โดยจะทำการสร้างเส้นทางเสมือน (virtual path) จากต้นทางไปยังปลายทางของเครือข่ายจึงทำให้เสมือนว่ามีการต่อสายตรงจากต้นทางไปยังปลายทางเส้นทางเสมือนนั้นยังแบ่งออกเป็นสองประเภทคือ เส้นทางเสมือนแบบถาวร (permanent virtual circuits :PVC) และเส้นทางเสมือนแบบชั่วคราว (switched virtual circuits :SVC)

PVC เป็นเส้นทางเสมือนที่การกำหนดเอาไว้ล่วงหน้าว่าต้องการเชื่อมต่อปลายทางใดเข้ากับปลายทางใด ในการสร้าง PVC นี้จะต้องมีการกำหนดเส้นทางที่แน่นอน และมีการกำหนดขนาดของแบนวิดช์ที่ต้องการจะใช้สำหรับ PVC นั้น ๆ ด้วย ดังนั้นการสร้าง PVC ให้กับปลายทางหนึ่งไปยังอีกปลายทางหนึ่งหรืออีกหลาย ๆ ปลายทางจึงต้องมีการวางแผนที่แน่นอนว่าจะไปปลายทางไหนด้วยเส้นทางอะไรและใช้แบนวิดช์เท่าไรในแต่ละเส้นทาง หน้าที่เหล่านี้เป็นภาระของผู้ควบคุมเครือข่ายนั้นเอง ถ้ามีความต้องการจะเพิ่มการเชื่อมต่อจากจุดเดิมไปจุดปลายทางใหม่ที่มีการต่อสายสัญญาณอยู่แล้วก็เพียงแต่เพิ่ม PVC ไปยังเส้นทางที่ต้องการเท่านั้น ข้อเสียของ PVC คือทุกเส้นทางต้องมีการสร้างไว้ล่วงหน้าซึ่งต้องใช้เวลาและการวางแผนในการสร้างเส้นทาง ไม่ยืดหยุ่น

SVC เป็นเส้นทางเสมือนที่มีการสร้างขึ้นเมื่อมีเฟรมเข้ามาในเครือข่ายโดยอาศัย signaling protocol (Q.933) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับโครงสร้างของระบบโทรศัพท์ คือในเฟรมจะมีที่อยู่ปลายทาง(E.164 หรือ X.121)เป็นตัวบอกให้สวิทช์สร้างเส้นทางเสมือนไปยังปลายทางคล้ายกับหมายเลขโทรศัพท์ ระบบเส้นทางเสมือนแบบ SVC นั้นค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อนเมื่อเทียบกับแบบ PVC แต่มีความยืดหยุ่นสูงและสามารถสร้างเส้นทางเสมือนได้โดยใช้เวลาน้อยกว่า

รูปแบบโครงสร้างของเฟรม (Frame Format) ในเครือข่ายเฟรมรีเลย์ พื้นฐานแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือเฟรมที่ใช้ในการส่งข้อมูลและเฟรมที่ใช้ในการควบคุม (LMI : Local Management Interface) โดยในเฟรมจะมีแฟล็กที่ส่วนของต้นเฟรมและท้ายเฟรมเพื่อกำหนดจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดของเฟรม ส่วนประกอบที่สำคัญของเฟรมที่สำคัญนอกเหนือจากแฟล็กมีอีก 3 ส่วนคือ ส่วนหัวและแอดเดรสของเฟรม (Header and Address area) ส่วนข้อมูลของเฟรม (User data area) และส่วนที่ใช้สำหรับตรวจสอบข้อผิดพลาดของข้อมูลที่อยู่ในเฟรม (FCS : Frame-check sequence area)

ลักษณะของเฟรมพื้นฐานส่วน ประกอบด้วยฟิลด์ต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเฟรม

แฟล็ก (Flags) เนื่องจากขนาดของเฟรมมีค่าไม่คงที่ จึงจำเป็นต้องมีฟิลด์ที่มีอยู่ในส่วนต้นและท้ายของเฟรมใช้สำหรับกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเฟรม โดยปกติแล้วค่าที่อยู่ในฟิลด์แฟล็กจะมีค่าเป็น 7E ในเลขฐาน 16 หรือ 01111110 ในเลขฐาน 2

เฟรมเฮดเดอร์ (Frame Header) เป็นฟิลด์ขนาด 2 ไบท์ ประกอบด้วย

DLCI (Data Link Connection Identifier) มีขนาด 10 บิต เป็นตัวบอกหมายเลขช่องเครือข่ายเสมือน ใช้กำหนดระหว่างอุปกรณ์ต้นทาง DTE และอุปกรณ์ปลายทางที่เป็นสวิตช์ DCE

C/R (Command/Response) เป็นบิตที่มีการใช้งานของระดับแอพพลิเคชั่น

EA (Extended Address) เป็นบิตที่ใช้บอกขนาดของ DLCI ในกรณีที่ค่าของ DLCI มากกว่า 1 octet

FECN (Forward Explicit Congestion Notification) เป็นบิทที่ใช้ในกระบวนการควบคุมความคับคั่งของเครือข่าย ใช้สำหรับแจ้งเตือนไปยังอุปกรณ์ที่เฟรมกำลังจะส่งไป

BECN (Backward Explicit Congestion Notification) เป็นบิทที่ใช้ในกระบวนการควบคุมความคับคั่งของเครือข่าย ใช้สำหรับแจ้งเตือนกลับไปยังอุปกรณ์ที่ส่งเฟรมมา

DE (Discard Eligibility) เป็นบิทที่ใช้ในกระบวนการควบคุมความคับคั่งของเครือข่าย บิทนี้ถูกกำหนดสำหรับเฟรมที่สามารถตัดทิ้งได้ในกรณีที่เกิดความคับคั่ง

ข้อมูล (User Data) เป็นส่วนของข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์ที่อยู่ในเลเยอร์ที่เหนือกว่า โดยที่ขนาดของเฟรมนี้จะมีค่าไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับลักษณะของแอพพลิเคชั่นในเลเยอร์ที่เหนือกว่า และมีขนาดสูงสุดได้ถึง 16000 octet

ส่วนที่ใช้สำหรับตรวจสอบความผิดพลาด (FCS : Frame Check Sequence) เป็นฟิลด์ที่เก็บค่า Checksum ที่เกิดจากการคำนวณโดยอุปกรณ์ต้นทาง และเมื่อส่งถึงปลายทาง อุปกรณ์ที่ปลายทางจะทำการคำนวณค่าซ้ำอีกครั้งเพื่อเป็นการตรวจสอบว่าเฟรมข้อมูลที่ส่งมานั้นไม่มีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น

ขั้นตอนการทำงานเมื่อเฟรมถูกส่งเข้ามายังเครือข่ายเฟรมรีเลย์คือ

1. ทำการตรวจสอบความถูกต้องของเฟรมโดยดูจากฟิลด์ในส่วนท้ายของเฟรมที่ชื่อ FCS (Frame Check Sequence) ถ้ามีข้อผิดพลาดจะยกเลิกการส่งเฟรมนี้และทิ้งเฟรมนี้ทันที

2. ดูว่าหมายเลข DLCI ในเฟรมนั้นมีอยู่ในตารางที่ใช้ในการตัดสินใจส่งเฟรมหรือไม่ ถ้าไม่มีหมายถึงไม่สามารถส่งเฟรมนี้ไปยังปลายทางได้เนื่องจากไม่รู้เส้นทางและจะทิ้งเฟรมนี้ทันที

3. ถ้าพบหมายเลข DLCI ในตารางการตัดสินใจจะทำการส่งเฟรมนี้ไปยังพอร์ตปลายทางทันที

การควบคุมความคับคั่งของช่องสัญญาณ(Congestion control) มีอยู่ 2 วิธีคือ

1. การกำหนดปริมาณการส่งข้อมูล (Rate Enforcement) โดยมีการกำหนดค่า

B_c (Committed Burst Size)

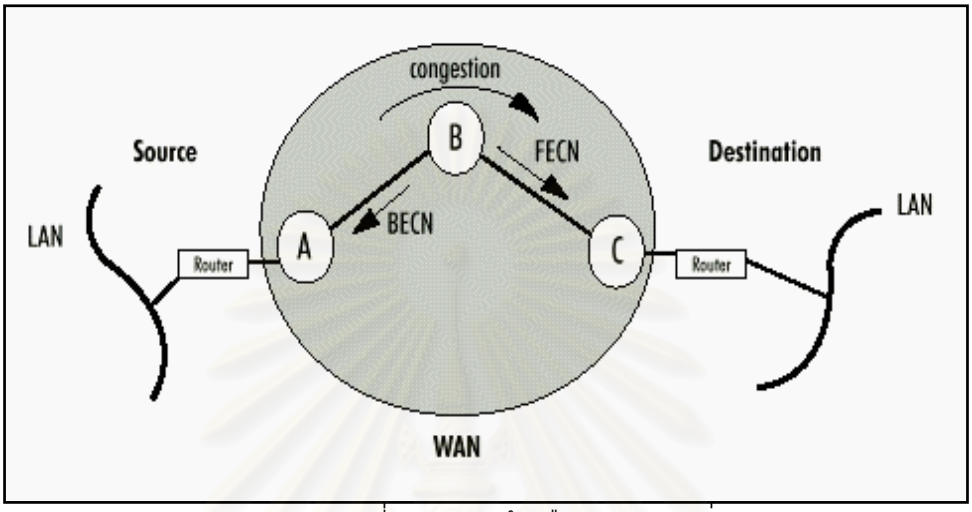
B_e (Excess Burst Size)

CIR (Committed Information Rate)

EIR (Excess Information Rate)

ให้กับแต่ละ PVC เพื่อความคุมปริมาณการส่งไม่ให้เกินอัตราที่กำหนด(EIR) แต่จะรับประกันอัตราการส่งตามที่ได้ตกลงกันไว้(CIR) หากมีการส่งข้อมูลสูงกว่าค่า CIR ฟิลด์ DE เฟรมนั้นจะถูกเซท ในกรณีที่เกิดความคับคั่งของช่องสัญญาณเฟรมที่มีการเซทค่า DE จะเป็นเฟรมที่ถูกตัดทิ้ง

2. การแจ้งเตือน (Feedback Mechanisms) โดยมีการแจ้งเตือนไปยังผู้ส่ง (BECN : Backward Explicit Congestion Notification) และการแจ้งเตือนไปยังผู้รับ (FECN : Forward Explicit Congestion Notification) ว่าขณะนี้มีความคับคั่งของช่องสัญญาณให้ชะลอการส่งข้อมูลลง



รูปที่ 2.4 การแจ้งเตือนความคับคั่ง

โดยอาศัยฟิลด์ FECN และ BECN ในส่วนหัวของเฟรมเช่นถ้าที่โหนด B เกิดการคับคั่งของข้อมูล เฟรมที่ผ่านจากโหนด B ไปยังโหนด C จากถูกเปลี่ยน FECN จาก 0 เป็น 1 เพื่อเตือนให้โหนด C รู้ว่าเส้นทางจากโหนด B มาโหนด C มีการคับคั่งของข้อมูลให้ชะลอการส่งข้อมูลไปยังโหนด B ในทางกลับกันจากโหนด B ไปโหนด A BECN จะถูกเปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 เพื่อบอกให้โหนด A รู้ว่าข้างหน้ามีการคับคั่งของข้อมูลและให้ชะลอการส่งข้อมูลลง เมื่อกลับเข้าสู่สภาวะปกติทั้ง BECN และ FECN จะถูกกำหนดให้เป็น 0 เพื่อแจ้งออกไปว่าสถานะภาพของเครือข่ายอยู่ในสภาวะปกติแล้ว

2.2 การส่งข้อมูลประเภทเสียงร่วมกับข้อมูลบนเครือข่ายสื่อสาร

ข้อกำหนดมาตรฐานของการส่งข้อมูลเสียงไปในเครือข่ายเฟรมรีเลย์และการกำหนดหน้าที่การทำงานของอุปกรณ์เข้าถึงเฟรมรีเลย์ (Voice Frame Relay Access Device) VFRAD ที่ประกาศโดย Frame Relay Forum โดยมีเนื้อหากล่าวถึง

มาตรฐานการแปลงสัญญาณเสียงในรูปของอะนาล็อกให้อยู่ในรูปของข้อมูลดิจิตอลเพื่อที่จะส่งไปในเครือข่ายเฟรมรีเลย์ มาตรฐานนี้อ้างอิงตามมาตรฐานของ ITU เป็นหลักดังตารางที่ 2.1

Vocoders					Other			
G.729 CS-ACELP	G.728 LD CELP	G.723.1 MP-MLQ	G.726/G.727 ADPCM	G.711 PCM	Dialed Digits	CAS	Data Transfer	Fax Relay

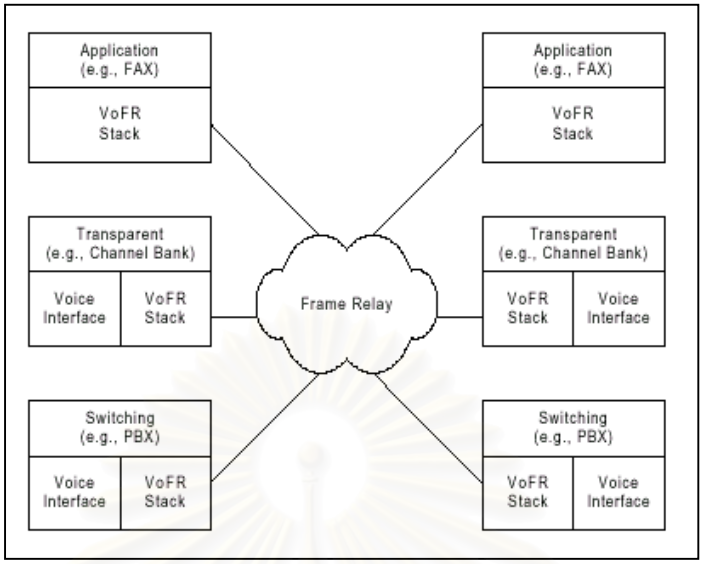
ตารางที่ 2.1 มาตราฐานการแปลงสัญญาณ

มาตรฐานการแปลงสัญญาณเสียงเหล่านี้จะให้ผลที่แตกต่างกันทั้งในด้านคุณภาพและขนาดของแบนวิดช์ที่ใช้ดังนี้

- G.729 สามารถแปลงสัญญาณเสียงได้แบนวิดช์ 8 kbit/s โดยใช้ Conjugate Structure-Algebraic Code Excited Linear Predictive (CS-ACELP)
- G.728 สามารถแปลงสัญญาณเสียงได้แบนวิดช์ 16 kbit/s โดยใช้ Low-Delay Code Excited Linear Prediction (LD-CELP)
- G.723.1 สามารถแปลงสัญญาณเสียงได้แบนวิดช์สองช่วงคือ 6.3 kbit/s โดยใช้ MP-MLQ และ 5.3 kbit/s โดยใช้ ACELP
- G.726/G.727 สามารถแปลงสัญญาณเสียงได้แบนวิดช์เป็นช่วงคือ 40,32,24 และ 16 kbit/s โดยใช้ Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM)
- G.711 สามารถแปลงสัญญาณเสียงได้แบนวิดช์ 64 kbit/s โดยใช้ Pulse Code Modulation (PCM)
- Dialed Digits การแปลงสัญญาณ DTMF ที่กดจากแป้นโทรศัพท์ให้เป็นสัญญาณดิจิตอล
- CAS (Channel Associated Signaling) เป็นสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมการใช้ช่องสัญญาณของระบบโทรศัพท์
- Data Transfer การส่งข้อมูลที่เป็นดิจิตอลอยู่แล้วผ่านไปในเฟรมรีเลย์
- Fax Relay การส่งแฟกซ์ผ่านเครือข่ายเฟรมรีเลย์

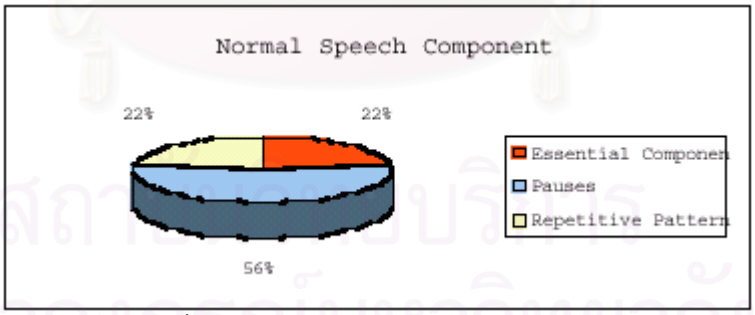
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปแบบของการให้บริการเสียงบนเครือข่ายเฟรมรีเลย์



รูปที่ 2.5 รูปแบบการให้บริการ Voice over Frame Relay

จากรูปที่ 2.5 แสดงถึงแบบจำลองการให้บริการทางเสียงผ่านเครือข่ายเฟรมรีเลย์ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วนคือ แบบ Application ได้แก่การส่งแฟกซ์ แบบ Transparent ได้แก่ การใช้โทรศัพท์เชื่อมตรงเข้าสู่เครือข่ายเฟรมรีเลย์และ แบบสุดท้ายคือ Switching ได้แก่การให้บริการสลับสายเช่นตู้ชุมสายอัตโนมัติ การให้บริการทั้งสามแบบนี้สามารถให้บริการข้ามรูปแบบกันได้เช่น โทรศัพท์ที่เป็น Transparent สามารถติดต่อไปยังตู้ชุมสายที่เป็น Switching ได้



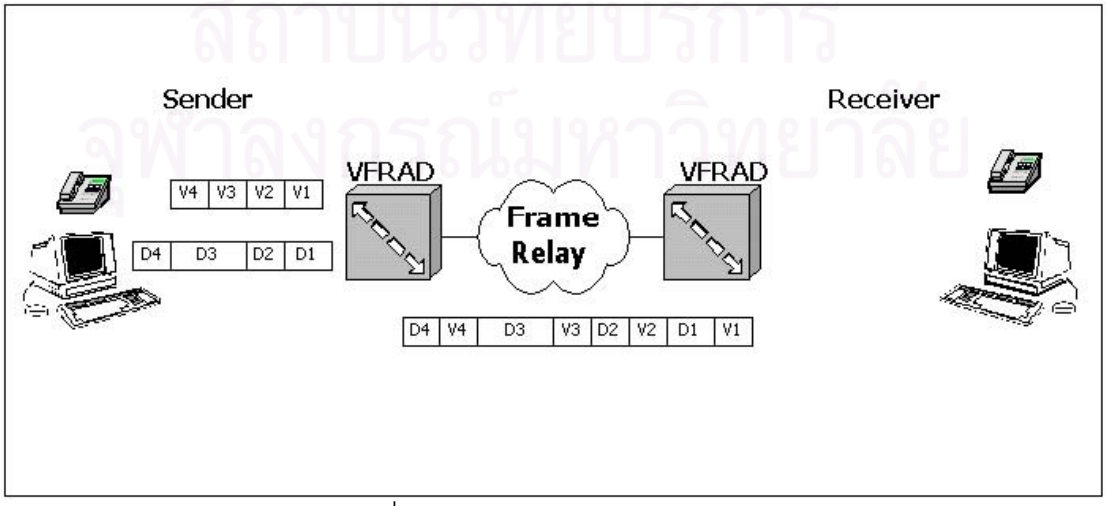
รูปที่ 2.6 แสดงถึงองค์ประกอบในเสียงสนทนา

โดยปกติเสียงของมนุษย์ที่ใช้สื่อสารสนทนากันผ่านระบบสื่อสารจะประกอบไปด้วยเสียงที่เป็นองค์ประกอบอยู่ 3 อย่างหลัก คือเสียงที่สนทนาแล้วให้ความหมายเพื่อนำไปตีความเรียกว่า essential component และการหยุดรอเพื่อฟังอีกฝ่ายหนึ่งหรือหยุดรอเพื่อคิดเรียกว่า pauses ส่วนสุดท้ายคือเสียงที่เป็นเสียงต่อเนื่องโดยมีโทนของเสียงซ้ำกันหรือเสียงที่เป็นสัญญาณรบกวนเรียกว่า repetitive component ถ้าพิจารณาแล้วจะเห็นว่าเสียงที่จำเป็นในการสื่อความหมายจะมีสัดส่วนแค่ 22% ของเสียงทั้งหมดที่ต้องการส่งไปยังเครือข่ายเพื่อใช้ในการสื่อสาร

ดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการในการคัดเลือกเอาเฉพาะเสียง 22% ที่จำเป็นมาแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิตอล การตัดสัญญาณเสียงที่มีลักษณะซ้ำ ๆ กันนั้นอาศัยการจัดโทนความถี่ที่เป็นลักษณะต่อเนื่องกันแต่ไม่มีความแตกต่างกันเนื่องจากตามธรรมชาติเสียงสนทนาของมนุษย์จะไม่โทนความถี่เดียวกันแบบต่อเนื่อง ส่วนการตัดสัญญาณเสียงที่เป็นลักษณะการหยุดนั้นเรียกว่า Silence Suppression โดยจะทำการเลือกเฉพาะเสียงที่มีการสนทนาแต่ถ้ามีการหยุดรอฟัง หยุดระหว่างคำ ก็จะไม่นำช่วงจังหวะหยุดมาแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล

2.3 การจัดลำดับความสำคัญของเฟรมเสียง

การจัดลำดับความสำคัญ (priority service) ของเฟรมโดยให้เฟรมของเสียง มีความสำคัญกว่าเฟรมของข้อมูลทำได้โดยการแบ่งประเภทของเฟรมเพื่อให้รูปว่าเฟรมใดเป็นเฟรมเสียงเฟรมใดเป็นเฟรมข้อมูล และแบ่งคิวออกเป็นสองคิวโดยมีคิวที่มีความสำคัญมากสำหรับเฟรมเสียงและคิวที่มีความสำคัญน้อยสำหรับเฟรมข้อมูล ซึ่งการจัดลำดับความสำคัญของเฟรมนี้สามารถทำได้ตั้งแต่อุปกรณ์ส่งข้อมูลที่ต้นทาง (VFRAD) โดยการแบ่งคิวออกเป็นสองคิว เมื่อมีเฟรมเข้ามาที่คิวที่มีความสำคัญ เฟรมนั้นก็มีสิทธิในการถูกส่งออกไปก่อน ส่วนในอุปกรณ์ระหว่างเส้นทางที่ใช้ส่ง ได้แก่สวิตช์ ถ้าต้องการจัดลำดับความสำคัญของเฟรมด้วย อุปกรณ์ต้องสามารถแยกแยะประเภทของเฟรมได้ว่า เป็นเฟรมข้อมูล หรือเป็นเฟรมเสียง โดยต้องอาศัยหัวของเฟรมเป็นตัวบอกว่า เฟรมนี้เป็นเฟรมประเภทใด และอุปกรณ์เองยังต้องมีการแบ่งคิวออกเป็นสองคิวเหมือนอุปกรณ์ต้นทางที่ส่งข้อมูล ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการแก้ไขทั้งในส่วนรูปแบบของเฟรมและลักษณะการทำงานของสวิตช์ ดังนั้นเพื่อให้เฟรมเสียงถึงปลายทางเร็วที่สุด ปริมาณเฟรมข้อมูลที่อยู่ระหว่างเฟรมเสียงที่ต่อเนื่องกันจึงต้องไม่เกิน 1 เฟรม ซึ่งทำได้โดยใช้วิธีจัดลำดับความสำคัญของเฟรมเสียงที่อุปกรณ์ต้นทางฝั่งผู้ส่ง



รูปที่ 2.7 การจัดลำดับความสำคัญของเสียง

ถึงแม้ว่าจะมีลำดับของคิวและความสำคัญของคิวแล้วก็ตามแต่ขนาดของเฟรมข้อมูลก็ยังมีผลต่อการรอคอยของเฟรมเสียงเช่นถ้ากำลังมีการส่งเฟรมข้อมูลที่มีความยาวอยู่ในขณะที่เฟรมเสียงเข้ามาในคิวถึงแม้จะเป็นคิวที่มีความสำคัญมากก็ต้องรอจนกว่าเฟรมข้อมูลที่กำลังส่งนั้นเสร็จก่อนซึ่งถ้าขนาดของเฟรมข้อมูลมีความยาวมากก็จะทำให้ความต่อเนื่องของเฟรมเสียงลดลง

2.4 การคำนวณหาค่าเฉลี่ยขนาดของเฟรม[10]

ขนาดของเฟรมในเครือข่ายเฟรมรีเลย์นั้นมีค่าไม่คงที่ขึ้นอยู่กับลักษณะของเลเยอร์สาม แต่การทำงานของอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบคงที่และเวลาหน่วงแบบแปรผันได้ จำเป็นต้องทราบค่าขนาดเฉลี่ยที่ใช้ในระบบเครือข่ายเพื่อนำมาคำนวณหาค่าประมาณการซึ่งจะกล่าวถึงในส่วนต่อไป

การคำนวนหาค่าเฉลี่ยขนาดของเฟรมข้อมูล และเฟรมเสียงที่ส่งอยู่บนระบบเครือข่ายหาได้จากขนาดของเฟรมที่เป็นข้อมูลและเสียง

$$\bar{l} = \frac{(N_{data} \times \bar{l}_{data}) + (N_{voice} \times l_{voice})}{N_{data} + N_{voice}}$$

เมื่อ

l_{voice} ,l_{data} = ขนาดเฟรมเสียงและข้อมูล

N_{voice} , N_{data} = จำนวนของเฟรมเสียงและข้อมูลต่อวินาที

2.5 การคำนวณหาค่า Utilization [16]

ในระบบเครือข่ายสื่อสารโดยทั่วไป ค่าสมรรถนะที่สนใจคือ Utilization ซึ่งจะวัดเป็นประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลเมื่อเทียบกับช่องสัญญาณ กำหนดให้

Utilization (ρ) = (λ_{data} x l) / R

โดยที่

λ_{data} คือค่าเฉลี่ยของ Frame Arrival Rate

R คือ Channel Rate มีหน่วยเป็นบิทต่อวินาที

l คือ Frame Length มีหน่วยเป็นบิท

ซึ่งจะให้ค่า Utilization ที่ไม่มีหน่วย และมีค่าอยู่ในช่วง ศูนย์ ถึง หนึ่ง ซึ่งค่า Utilization จะบอกถึงประสิทธิภาพของเครือข่ายแบบภาพรวม

2.6 ค่าความล่าช้าในระบบ

การส่งเฟรมจากต้นทางไปยังปลายทางในระบบเครือข่ายมีค่าความล่าช้าโดยรวม (D_t)ซึ่งเกิดจากผลรวมของค่าความล่าช้าที่เป็นค่าคงที่ d_f (fixed delay) และ ค่าแปรผันได้ q (variable delay) ดังสมการ

$$Dt = df + q$$

โดยที่

$$df = c + t + p + s$$

เมื่อ

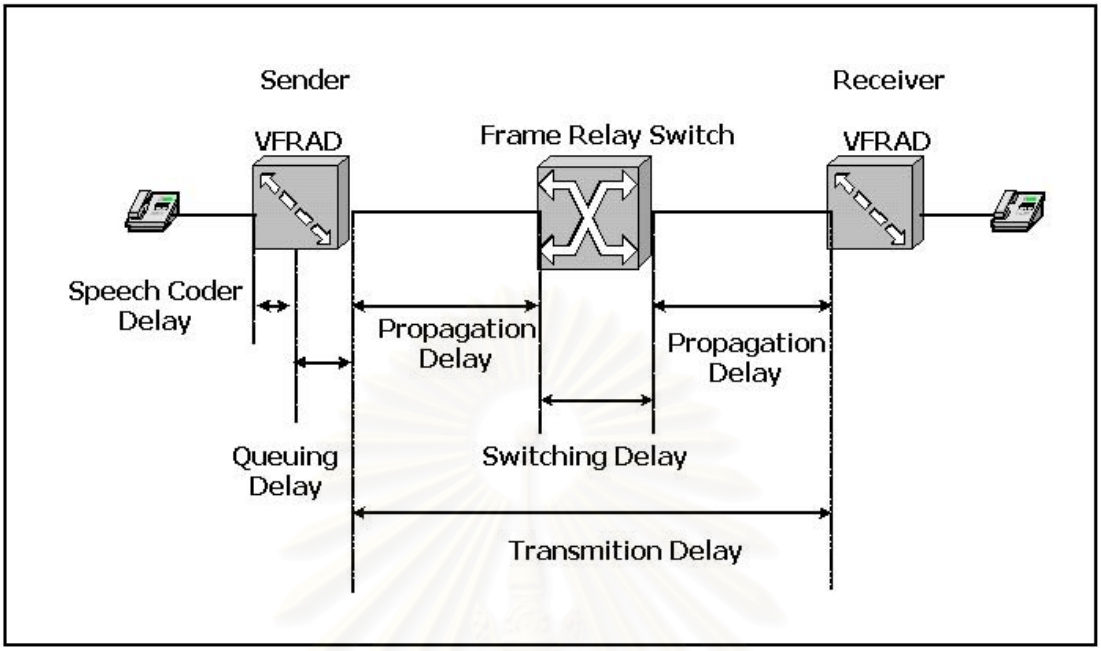
c = ค่าความล่าช้าที่เกิดจากการเข้ารหัสเสียงเป็นข้อมูล (speech coder delay) ที่พร้อมส่งไปในเครือข่าย ในที่นี้ใช้การเข้ารหัสเสียงแบบ G.729 จะได้ค่า c เท่ากับ 30 มิลลิวินาที

t = ค่าความล่าช้าของเวลาที่เฟรมเดินทางจากอุปกรณ์ต้นทางไปยังอุปกรณ์ปลายทาง (total transmission time) ในที่นี้กำหนดค่า t เท่ากับ 3 มิลลิวินาที

p = ค่าความล่าช้าที่เกิดจากเส้นทางที่ใช้ส่งข้อมูล (propagation delay) โดยค่าดีเลย์นี้ขึ้นอยู่กับสื่อที่ใช้ในการส่งข้อมูลและระยะระหว่างต้นทางถึงปลายทาง ในที่นี้กำหนดค่า p เท่ากับ 6 มิลลิวินาที

s = ค่าความล่าช้าที่เกิดจากขบวนการเลือกเส้นทางบนอุปกรณ์สวิตชิ่ง (switching delay) ในที่นี้กำหนดค่า s เท่ากับ 1 มิลลิวินาที

q = ค่าความล่าช้าที่เกิดจากการรอคอยในแถวคิว: (queuing delay) ซึ่งมีค่าแปรผันได้ตามปริมาณการจราจรข้อมูล ในกรณีที่มีข้อมูลรอส่งอยู่ในคิวส่ง ทำให้เฟรมที่มาทีหลังต้องรอจนกว่าเฟรมที่อยู่ต้นคิวจะถูกส่งออกไป ค่าดีเลย์นี้ขึ้นอยู่กับปริมาณแถวคอย และขนาดของเฟรมที่อยู่ในแถวคอย โดยสามารถคำนวณความสัมพันธ์ค่าได้จากตารางที่ 2.2



2.8 รูปแสดงค่าความล่าช้าในระบบ

Frame Size (bytes)	Line Speed (Kbps)										
	19.2	56	64	128	256	384	512	768	1024	1544	2048
38	15.83	5.43	4.75	2.38	1.19	0.79	0.59	0.40	0.30	0.20	0.15
48	20.00	6.86	6.00	3.00	1.50	1.00	0.75	0.50	0.38	0.25	0.19
64	26.67	9.14	8.00	4.00	2.00	1.33	1.00	0.67	0.50	0.33	0.25
128	53.33	18.29	16.00	8.00	4.00	2.67	2.00	1.33	1.00	0.66	0.50
256	106.67	36.57	32.00	16.00	8.00	5.33	4.00	2.67	2.00	1.33	1.00
512	213.33	73.14	64.00	32.00	16.00	10.67	8.00	5.33	4.00	2.65	2.00
1024	426.67	146.29	128.00	64.00	32.00	21.33	16.00	10.67	8.00	5.31	4.00
1500	625.00	214.29	187.50	93.75	46.88	31.25	23.44	15.63	11.72	7.77	5.86
2048	853.33	292.57	256.00	128.00	64.00	42.67	32.00	21.33	16.00	10.61	8.00

ตารางที่ 2.2 แสดงเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลที่ขนาดเฟรมและความเร็วต่าง ๆ

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7 Transmission of Compressed Voice over Integrated Services Frame Relay Networks : Priority Service and Adaptive Buildout Delay [10]

เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการสื่อสารด้วยเสียงที่มีการเข้ารหัสและลดขนาดของเฟรมเสียงบนเครือข่ายเฟรมรีเลย์โดยใช้วิธีการจัดลำดับความสำคัญของเฟรม (priority service) และวิธีหน่วงเวลาในการแปลงสัญญาณกลับมาเป็นเสียงโดยใช้อัลกอลิทึ่มแบบ Adaptive buildout delay มีจุดมุ่งหมายที่จะทำการส่งเฟรมของเสียงให้ถึงยังปลายทางให้มีเวลาระหว่างเฟรมเสียงที่ผู้รับเท่ากับเวลาระหว่างเฟรมเสียงที่ถูกสร้างขึ้นทางฝั่งผู้ส่ง(voice synchronization) โดยไม่ใช้วิธีดีเลย์สแตมป์(delay stamps) ที่ใช้ในแพ็กเกจไทซ์วอยซ์โปรโตคอล (packetised voice protocol : PVP) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ส่งแพ็กเกจในเลเยอร์ 3 (layer 3) ของมาตรฐานโอเอสไอ (OSI) เนื่องจากเฟรมรีเลย์ทำงานแค่เลเยอร์ 2 (layer 2) ของมาตรฐานโอเอสไอ ซึ่งปัญหาเกิดจากการเดินทางของแต่ละ เฟรมใช้เวลาไม่เท่ากัน

2.8 Compressed Voice in Integrated Services Frame Relay Networks: Voice Synchronization [13]

เป็นงานวิจัยที่พัฒนาวิธีการหาค่าเวลาหน่วงในการแปลงสัญญาณกลับมาเป็นเสียงที่ใช้ในเครือข่ายเฟรมรีเลย์ โดยมีการปรับปรุงอัลกอลิทึ่มแบบ Adaptive buildout delay ให้สามารถตอบสนองกับปริมาณข้อมูลที่สูงขึ้นโดยฉับพลันในลักษณะที่เป็นการส่งข้อมูลของแลนได้ และมีการกำหนดค่าสูงสุดของการปรับค่าความหน่วงเฟรมเสียงไว้ในบัฟเฟอร์และช่วงของค่าที่ใช้ในการปรับค่าความหน่วงให้สอดคล้องกับลักษณะของการเข้ารหัสและบีบอัดสัญญาณเสียง เพื่อให้ได้คุณภาพของเสียงที่ดีขึ้น โดยยังคงคุณสมบัติพื้นฐานที่เรียบง่ายของเครือข่ายเฟรมรีเลย์ซึ่งทำงานในเลเยอร์ 2 ของมาตราฐานโอเอสไอ

2.9 Adaptive Playout Mechanisms for Packetized Audio Applications in Wide-Area Network [12]

เป็นงานวิจัยที่ทำการทดสอบและเปรียบเทียบอัลกอลิทึ่มที่ใช้ในการหน่วงเวลาการแปลงสัญญาณกลับมาเป็นเสียงจำนวน 4 อัลกอลิทึ่ม โดยทำการทดสอบและเปรียบเทียบทั้ง 4 อัลกอลิทึ่มบนเครือข่ายสื่อสารระยะไกลระหว่างมหาวิทยาลัย 4 แห่งที่เชื่อมโยงกันด้วยเครือข่าย

แบบอินเตอร์เน็ทที่มีค่าดีเลย์ที่แปรผันได้แตกต่างกันไป ซึ่งลักษณะของเครือข่ายนั้นเป็นการทำงานในเลเยอร์ที่ 3 ตามมาตราฐานโอเอสไอ โดยมีการนำเอาเวลาที่อยู่ในส่วนหัวของแพ็กเกจมาเป็นตัวแปรในการคำนวณหาค่าเวลาหน่วงในการแปลงสัญญาณกลับมาเป็นเสียง

2.10 Adaptive Playout Scheduling Using Time-Scale Modification in Packet Voice Communications [19]

เป็นงานวิจัยที่เสนอวิธีการหาค่าหน่วงในการแปลงสัญญาณกลับมาเป็นเสียง ที่มีการแก้ไขปรับปรุงเพื่อทำการลดค่าดีเลย์โดยรวมของระบบลง แต่ยังสามารถคงคุณภาพของเสียงที่มาถึงยังปลายทางได้ โดยมีการปรับค่าเวลาหน่วงของแพ็กเกจเสียงให้อยู่ในบัฟเฟอร์ทั้งในช่วงระหว่างเวลาที่พูดและช่วงระหว่างเวลาที่หยุด แต่ก็ยังต้องมีการเรียนรู้ลักษณะของปริมาณข้อมูลที่ส่งอยู่ในเครือข่ายโดยอาศัยเวลาที่บันทึกอยู่ในส่วนหัวของแพ็กเกจเสียงที่ทำงานอยู่ในเลเยอร์ 3 ของมาตราฐานโอเอสไอ และมีการทดสอบอัลกอลิทึ่มโดยใช้กระบวนการ Subjective listening test โดยใช้มาตราฐาน ITU-T P.800

2.11 An Empirical Study of Packet Voice Distribution over a Campus Wide Network [4]

เป็นงานวิจัยที่รายงานถึงการศึกษาและสังเกตลักษณะของเครื่อข่ายภายในมหาวิทยาลัยที่มีการส่งแพ็กเกจเสียงไปบนเครือข่ายคอมพิวเตอร์ระยะไกลภายในมหาวิทยาลัยเวอร์จิเนีย ที่มีโครงข่ายเป็นระบบแลนบนเครือข่ายแบ็กโบนแบบ FDDI โดยการสังเกตมุ่งไปที่ลักษณะพิเศษของแพ็กเกจเสียงที่ส่งผ่านอยู่ในเครือข่ายว่ามีคุณภาพ มีอัตราการสูญหาย และความเร็วเป็นอย่างไร บนพื้นฐานของแพ็กเกจข้อมูลที่ใช้งานอยู่บนเครือข่ายระยะไกลภายในมหาวิทยาลัย ซึ่งผลของการศึกษาและสังเกตจะนำมาใช้ในการปรับตั้งค่าการใช้งานของโปรโตคอลเสียงบนเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานภายในมหาวิทยาลัย

2.12 Packet Audio Playout Delay Adjustment: Performance Bounds and Algorithms [15]

เป็นงานวิจัยที่เปรียบเทียบอัลกอลิทึ่มที่ใช้ในการหาค่าหน่วงของแพ็กเกจเสียงไว้ในบัฟเฟอร์ระหว่างอัลกอลิทึ่มที่เรียกว่า Off-line algorithm และ On-line algorithm โดยมีการนำค่าดีเลย์ที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 2 อัลกอลิทึ่มมาจากการ Trace ที่ได้ระหว่างมหาวิทยาลัย 5 แห่งที่

เชื่อมต่อเครือข่ายอยู่บนอินเตอร์เน็ต ซึ่งมุ่งเน้นไปยังความสัมพันระหว่างเวลาดีเลย์ของแพ็กเกจ และอัตราการสูญหายของแพ็กเกจ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

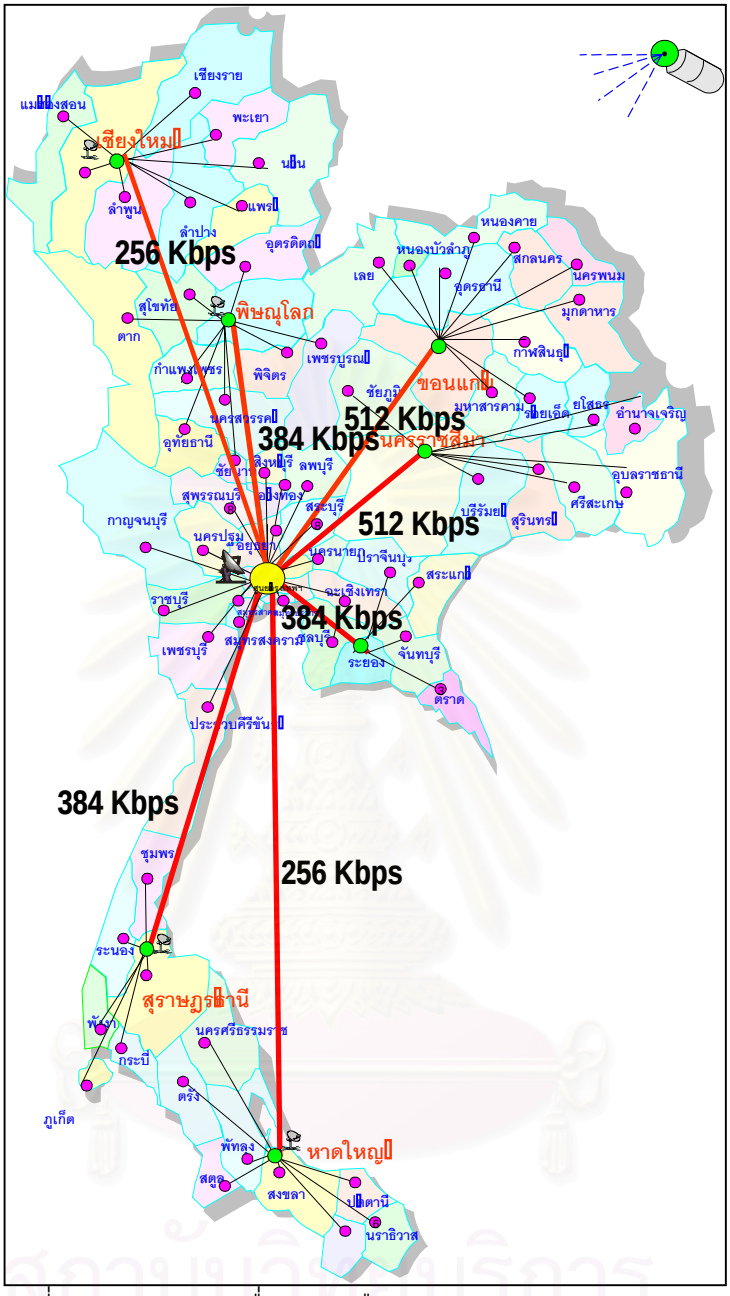
ขั้นตอนการวิเคราะห์และทดสอบ

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อทำการทดสอบอัลกอลิทึ่มในที่นี้ใช้โปรแกรม MATLAB เวอร์ชั่น 6.1 ของบริษัท MathWorks เป็นโปรแกรมที่ใช้คำนวณเชิงตัวเลขซึ่งเป็นที่นิยมนำมาใช้งานในการแก้ปัญหาทางด้านวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ ทั้งนี้เนื่องจากโปรแกรม MATLAB มีลักษณะโครงสร้างและฟังก์ชั่นที่เอื้อต่อการสร้างแบบจำลองและทำการทดสอบแบบจำลองต่าง ๆ รวมทั้งมีฟังก์ชั่นอำนวยความสะดวกในเรื่องของการสร้างผลของการทดสอบในรูปของกราฟ ส่วนที่สองเป็นแบบสอบถามที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคะแนนความเห็นเกี่ยวกับประสิทธิภาพของเสียง ซึ่งแบบสอบถามนี้ใช้เกณฑ์วัดตามมาตราฐาน ITU-T P.800 Mean Opinion Score (MOS) ซึ่งมาตราฐานเป็นวิธีการวัดค่าประสิทธิภาพของเสียงที่ส่งผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์

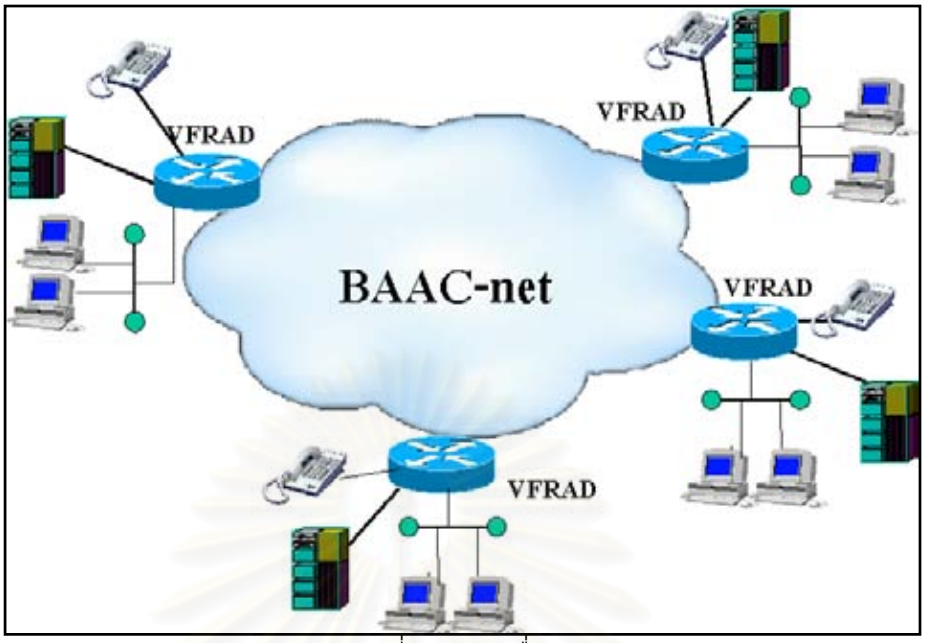
3.2 การเก็บข้อมูลตัวอย่างจากเครือข่ายที่ใช้เป็นกรณีศึกษา

ระบบเครือข่ายสื่อสารที่ใช้เป็นกรณีศึกษาได้แก่ระบบเครือข่ายสื่อสารระยะไกลของธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร นี้เป็นระบบเครือข่ายสื่อสารเฟรมรีเลย์ที่มีการใช้งานจริงเต็มรูปแบบตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ. 2541 ลักษณะเครือข่ายเป็นโทโปโลยีแบบสตาร์ที่มีศูนย์ภาคอยู่ตามภาคต่าง ๆ ของประเทศดังนี้ กรุงเทพ เชียงใหม่ พิษณุโลก ขอนแก่น นครราชสีมา ระยอง สุราษฎร์ธานี หาดใหญ่ รวม 8 ศูนย์ภาค ปริมาณสาขารวมทั่วประเทศ 514 สาขา (ข้อมูล ณ. พฤศจิกายน 2545) ความเร็วในการเชื่อมต่อจากสาขาถึงศูนย์ภาคมีความเร็วเท่ากันคือ 64 Kbps และความเร็วจากศูนย์ภาคเข้าสู่ส่วนกลางจะแตกต่างกันไปตามจำนวนสาขาที่สังกัดศูนย์ภาค โดยใช้อัตราส่วน 1:6 ในการคำนวณ รูปแบบการเชื่อมต่อของแต่ละสาขาเป็นดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 รูปแบบการเชื่อมต่อเครือข่ายของ ธกส.

การให้บริการทางด้านเครือข่ายสื่อสารแบ่งออกเป็นการให้บริการทางด้านสื่อสารข้อมูลและการให้บริการด้านเสียง ลักษณะการให้บริการสื่อสารข้อมูลนั้นจะเป็นการส่งข้อมูลระหว่างสำนักงานใหญ่กับสาขาทั่วประเทศ และระหว่างศูนย์ภาคกับสาขา ส่วนลักษณะการให้บริการทางด้านเสียงนั้นเป็นแบบถึงกันหมด(Full Mesh) กล่าวคือสาขาทั่วประเทศและสำนักงานใหญ่สามารถโทรศัพท์ถึงกันได้โดยอิสระ



รูปที่ 3.2 การเชื่อมต่อของสาขา

อุปกรณ์ที่ติดตั้งใช้งานในเครือข่ายประกอบด้วย

อุปกรณ์ เฟรมรีเลย์สวิตช์ ยี่ห้อ Hughes รุ่น IX500 จำนวน 8 เครื่อง ติดตั้งอยู่แต่ละศูนย์ภาค

อุปกรณ์เข้าถึงเฟรมรีเลย์ (Voice Frame Relay Access Device) หรือ VFRAD ยี่ห้อ Motorola รุ่น Vanguard ติดตั้งอยู่ที่สาขา สาขาละ 1 เครื่อง รวม 514 เครื่อง

รูปแบบการให้บริการระบบเครือข่ายสื่อสารแบ่งออกตามลักษณะของเฟรมได้ดังนี้

3.2.1 เฟรมข้อมูลที่เป็น X.25 แพ็กเกจ ได้แก่

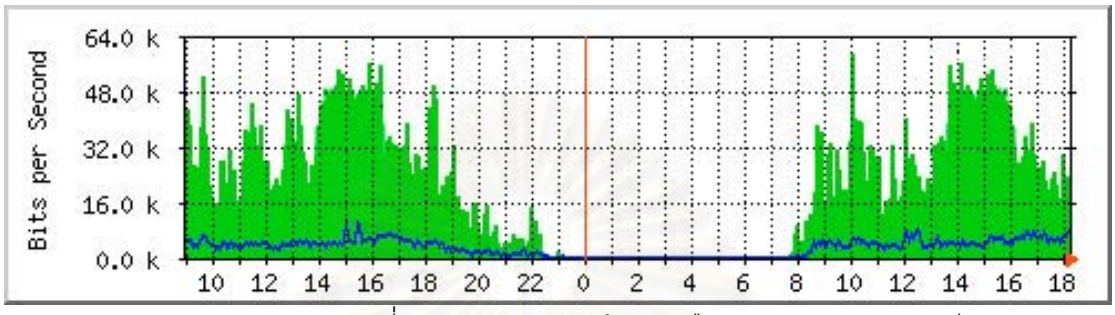
- งานบริการฝาก-ถอนต่างสาขา
- งานระบบถอนเงินอัตโนมัติ (ATM : Automatic Teller Machine)
- งานส่งแฟ้มข้อมูลสรุปของสาขาเข้าสู่สำนักงานใหญ่ ความถี่ในการส่งจะมีเป็นประจำทุก วัน เดือน ไตรมาส และปี

งานส่งโปรแกรมและส่งอัตราดอกเบี้ยจากสำนักงานใหญ่ไปสาขา

3.3.2 เฟรมข้อมูลที่เป็น อีเทอร์เน็ต 802.3 ได้แก่

- งานระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการ เป็นลักษณะไคลเอนต์ – เซิร์ฟเวอร์ โดยมีเครื่องคอมพิวเตอร์ที่สาขาเป็นไคลเอน และมีเซิร์ฟเวอร์อยู่ที่สำนักงานใหญ่
- งานระบบอินเทอร์เน็ต อินทราเน็ต โดยมีเซริฟเวอร์และเกทเวย์อยู่ที่สำนักงานใหญ่ และมีเครื่องคอมพิวเตอร์เบราวซ์เซอร์อยู่ที่สาขา
- งานระบบสารสนเทศเพื่อการบัญชี เป็นลักษณะไคลเอนต์ – เซิร์ฟเวอร์ โดยมีเครื่องคอมพิวเตอร์ที่สาขาเป็นไคลเอนต์ และมีเซิร์ฟเวอร์อยู่ที่สำนักงานใหญ่

จากลักษณะงานทั้ง 2 สามารถประมาณขนาดของเฟรมได้เป็น 2 รูปแบบคือ เฟรมข้อมูลที่เป็น X.25 จะมีขนาดคงที่หรือสูงสุดไม่เกิน ขนาดของ X.25 แพ็กเกจในที่นี้กำหนดไว้ 128 ไบต์ รวมกับส่วนที่เป็นหัวของเฟรม เฟรมข้อมูลที่เป็นอีเธอเน็ต จะเป็นเฟรมที่มีขนาดไม่คงที่ขึ้นอยู่กับแอปพลิเคชั่นที่ใช้ ซึ่งเป็นการยากในการประมาณการ แต่จะมีค่าสูงสุดไม่เกิน 1500 ไบต์ ซึ่งปริมาณการใช้งานระหว่างวันจากสาขาตัวอย่างที่ใช้คือสาขานนทบุรีแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ปริมาณการใช้งานเครือข่ายของสาขานนทบุรี

งานวิจัยนี้เก็บข้อมูลการใช้งานเครือข่ายสื่อสารโดยใช้อุปกรณ์ Protocol Analyzer ยี่ห้อ HP เก็บข้อมูลโดยวิธีจับ (Capture) ข้อมูลที่ส่งผ่านเครือข่ายสื่อสาร โดยเลือกสุ่มสาขาจำนวน 10 สาขา และใช้เวลาในการเก็บข้อมูลสาขาละ 30 นาที โดยเลือกเวลาที่มีการใช้งานเครือข่ายสูงสุดจากรูปที่ 3.3 เป็นตัวอย่างของสาขานนทบุรีซึ่งจะเก็บข้อมูลในระหว่างเวลา 15.00 น. ถึงเวลา 15.30 น. แล้วนำมาหาค่าปริมาณของเฟรมที่ขนาดต่าง ๆ วิธีการเก็บข้อมูลแสดงใน ภาคผนวก ก. การเก็บข้อมูลตัวอย่างเพื่อนำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ เลือกเก็บข้อมูลจากสาขาที่เป็นตัวแทนของสาขาระดับจังหวัด 5 สาขาและเป็นตัวแทนของสาขาระดับอำเภอ 5 สาขารวมเป็นจำนวน 10 สาขา ได้แก่

1. สาขานนทบุรี
2. สาขาจตุจักร
3. สาขานครปฐม
4. สาขาสุมทรปราการ
5. สาขาปทุมธานี
6. สาขาไทรน้อย
7. สาขามีนบุรี
8. สาขาแหลมฉบัง
9. สาขาสองพี่น้อง
10. สาขามวกเหล็ก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

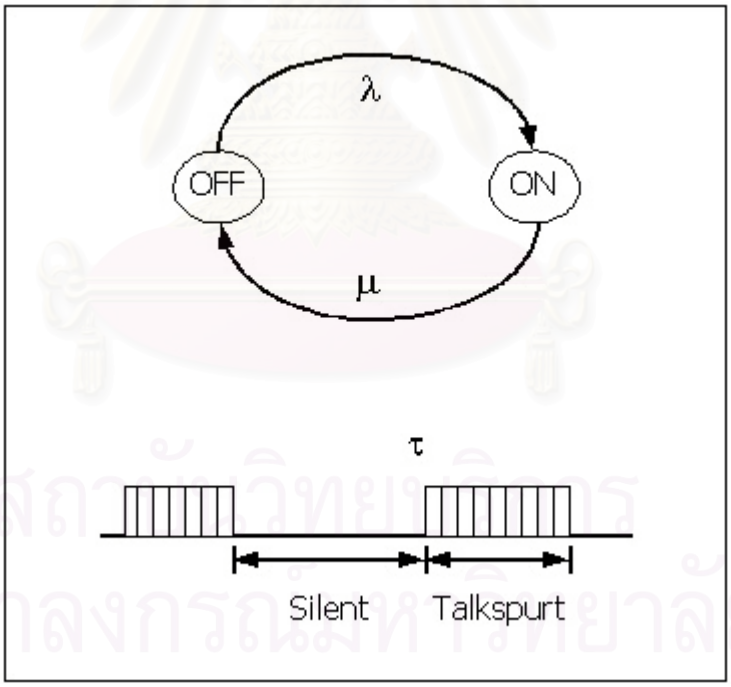
โดยในแต่ละสาขาจะมีลักษณะงานที่คล้ายกันแต่จะมีปริมาณงานที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น จำนวนลูกค้าของสาขา จำนวนพนักงานของสาขา จำนวนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งอยู่ที่สาขา เป็นต้น

3.3 ขั้นตอนและรูปแบบการสร้างโปรแกรมจำลองการทำงาน

โปรแกรมจำลองการทำงานของการส่งเฟรมเสียงและเฟรมข้อมูลบนเครือข่ายเฟรมรีเลย์ในงานวิจัยนี้แบ่งขั้นตอนในการทำงานออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

3.3.1 การสร้างเฟรมเสียง

ขั้นตอนนี้เป็นการสร้างเฟรมเสียงให้อยู่ในรูปของอาร์เรย์และกำหนดความยาวของเฟรมเสียงไว้ในตัวแปร voice_long มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที การสร้างเฟรมเสียงนั้นใช้แบบจำลองของเบรดี (Brady Model)[6] แบบมีผู้พูดคนเดียว ซึ่งแบ่งสถานะของเสียงที่สนทนาออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่มีเสียงพูด (Talkspurt) และช่วงหยุด (Silent) ที่เกิดจากจังหวะการหายใจหรือการหยุดฟังเสียงคู่สนทนา ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงแบบจำลองของ Brady

โดยมีการกระจายของทั้งสองช่วงเป็นแบบเอ็กโปเนนเชียล มีค่าเฉลี่ยของช่วง Talkspurt เป็น $1/\mu$ เท่ากับ 352 มิลลิวินาที และค่าเฉลี่ยช่วง Silent เป็น $1/\lambda$ เท่ากับ 650 มิลลิวินาที ใช้การเข้ารหัสเสียงตามมาตรฐาน ITU.G729 ซึ่งจะทำการสร้างเฟรมเสียงขนาด 27 ไบต์รวมหัวเฟรมแล้ว และมีอัตราการสร้างเฟรมเสียงที่ 50 เฟรมในหนึ่งวินาที

3.3.2 การสร้างเฟรมข้อมูล

ขั้นตอนนี้เป็นการสร้างเฟรมข้อมูลที่ส่งไปยังอุปกรณ์ปลายทางเดียวกับอุปกรณ์ปลายทางของเฟรมเสียง โดยมีกำหนดปริมาณของเฟรมข้อมูลในขนาดต่าง ๆ ไว้ในตัวแปรแบบอาร์เรย์ Size_Percent_data_frame และอัตราการส่งของเฟรมข้อมูลในหนึ่งวินาทีไว้ในตัวแปร λ_{data} ซึ่งมีสัมพันธ์กับขนาดเฉลี่ยของเฟรมข้อมูล(l_{data})และปริมาณความหนาแน่นของช่องสัญญาณ (p) ดังสมการ

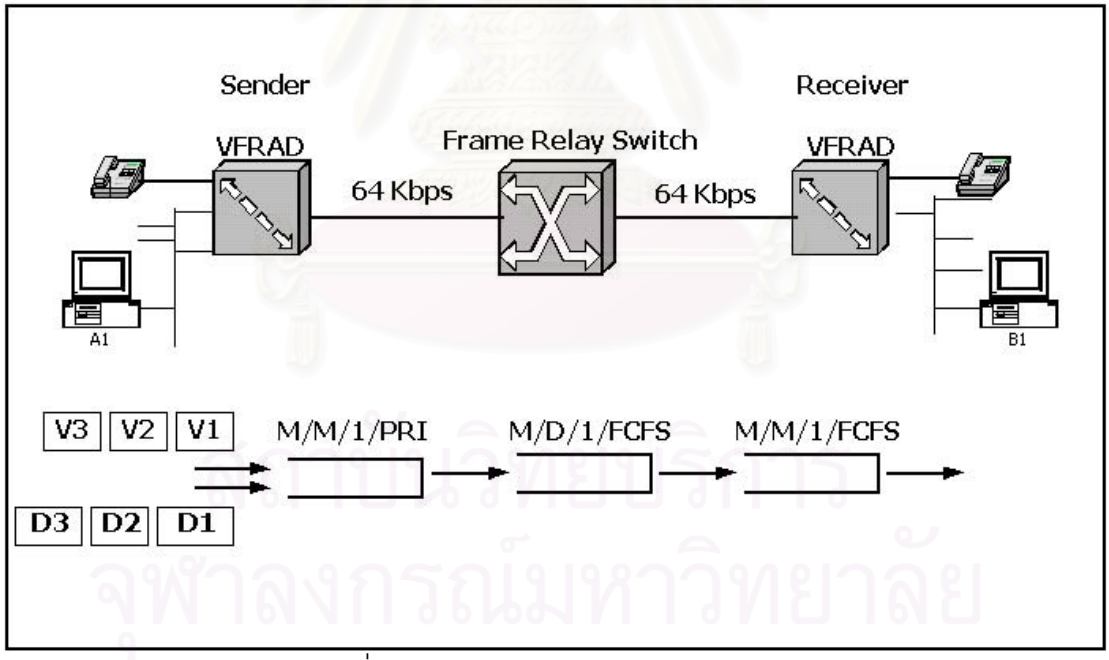
$$\lambda_{data} = \frac{(64\rho - 10.8) \times 1000}{l_{data} \times 8}$$

ช่วงระยะเวลาระหว่างเฟรมข้อมูล (Interarrival Time:T) จะมีการแจกแจงแบบเอ็กโปเนนเชียลดังสมการ

$$P[t < T] = 1 - e^{-\lambda_{data} t}$$

3.3.3 การส่งเฟรมเสียงและเฟรมข้อมูลร่วมกันไปในเครือข่าย

แบบจำลองการทำงานของการส่งเฟรมเสียงและเฟรมข้อมูลไปในเครือข่ายเฟรมรีเลย์เป็นไปดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 รูปแบบการจำลองการส่งเฟรมเสียงและเฟรมข้อมูล

ซึ่งจากรูปที่ 3.5 แสดงให้เห็นถึงคิวทั้งหมดในระบบ แบ่งออกได้ดังนี้

- คิวที่อุปกรณ์ VFRAD ต้นทางเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์เฟรมรีเลย์สวิตช์ด้วยความเร็ว 64 Kbps มีการส่งเฟรมข้อมูลและเสียงร่วมกันโดยมีการจัดลำดับความสำคัญของเฟรมเสียงซึ่งมีการทำงานเป็นคิวแบบ M/M/1/PRI ซึ่งจะได้ค่าสูงสุดของการรอคอยในคิวสำหรับเฟรมเสียงคงที่เท่ากับ ครึ่งหนึ่งของอัตราการส่งเฟรมข้อมูลที่มีขนาดเฉลี่ย มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที

- คิวที่อุปกรณ์เฟรมรีเลย์สวิตช์ ด้านรับมีการเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์ VFRAD หลายตัว ทำหน้าที่ในการส่งเฟรมระหว่าง VFRAD ด้วยอัตราการส่งที่คงที่โดยไม่มีการแยกระหว่างเฟรมเสียงและเฟรมข้อมูลซึ่งมีการทำงานเป็นคิวแบบ M/D/1/FCFS การมาของเฟรมมีการกระจายแบบปัวซอง อัตราการให้บริการเป็นอัตราคงที่ จึงได้ค่าเฉลี่ยในการรอในคิวคงที่ดังสมการ

$$E[w] = \frac{p \times \mu_{data}}{2 \times (1 - p)}$$

โดยที่

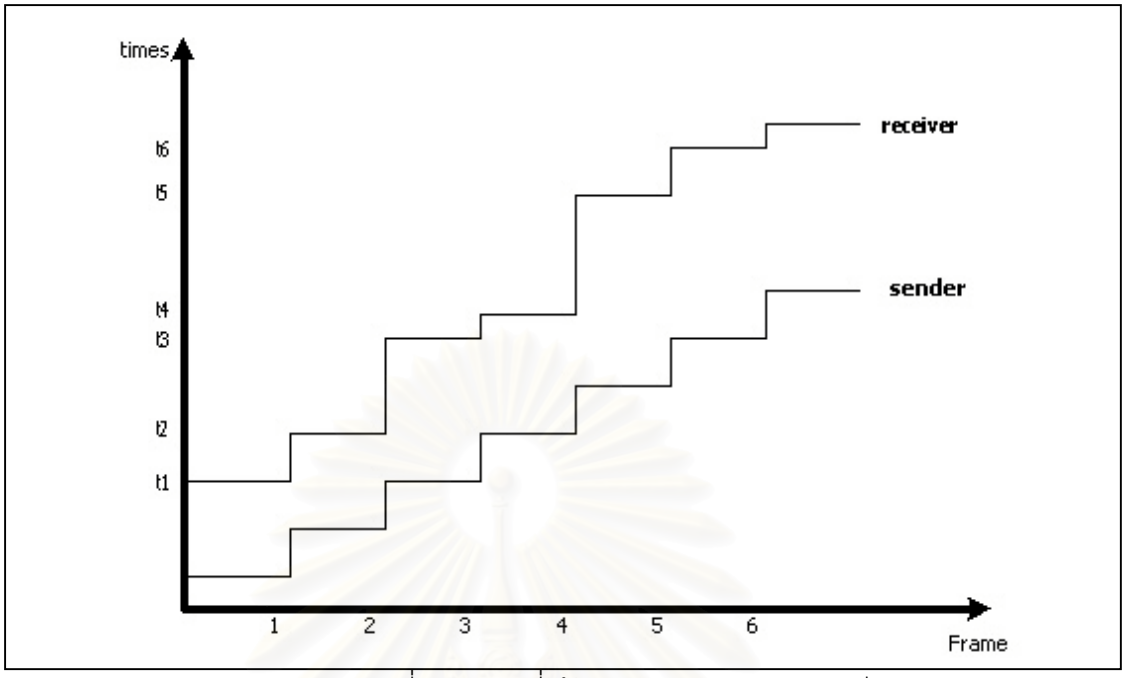
p = load of processer

μ_{data} = mean service time

- คิวที่อุปกรณ์ Frame Relay Switch ด้านส่ง เชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์ VFRAD ด้วยความเร็ว 64 Kbps ซึ่งมีการทำงานเป็นคิวแบบ M/M/1/FCFS โดยมีอัตราการส่งเฟรมเสียงคงที่คือ 50 เฟรมต่อวินาที ส่วนอัตราการส่งเฟรมข้อมูลนั้นสัมพันธ์กับขนาดเฉลี่ยของเฟรมข้อมูลและปริมาณของการส่งข้อมูลที่ขนาดของเฟรมข้อมูลมีการกระจายแบบเอ็กโปเนนเชียล ซึ่งทำให้อัตราการรอคอยของเฟรมเสียงขึ้นอยู่กับขนาดของเฟรมข้อมูลซึ่งเป็นส่วนที่มีผลต่อค่าดีเลย์ของเฟรมเสียงมากที่สุด

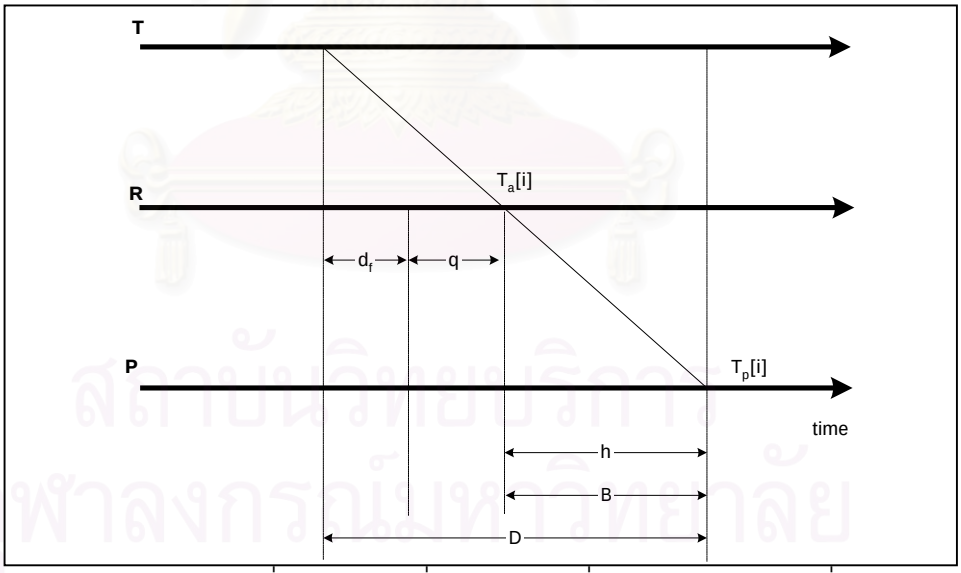
จากโปรแกรมจำลองการส่งเฟรมเสียงและเฟรมข้อมูลจะได้เฟรมเสียงซึ่งมีเวลาในการเดินทางจากต้นทางไปยังปลายทางไม่เท่ากันดังรูปที่ 3.6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.6 เวลาที่ใช้ในการเดินทางของเฟรมเสียง

3.4 ขั้นตอนการทำงานของอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบคงที่ (Fixed buildout delay)



รูปที่ 3.7 ตัวแปรที่ใช้ในอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบคงที่

การกำหนดค่าเริ่มต้นของเวลาหน่วงวิธีนี้ได้จากการตั้งค่าสมมติในการมาถึงปลายทางของเฟรมเป็นค่ามากที่สุดที่ยอมรับได้ โดยใช้มาตราฐาน G.114 ในที่นี้คือ D_t เท่ากับ 150 มิลลิวินาที หลังจากนั้นคำนวณหาค่า B (buildout delay) ซึ่งเท่ากับค่าดีเลย์สูงสุดที่ยอมรับได้ลบด้วยผลรวมของดีเลย์ในระบบซึ่งเกิดจากดีเลย์ที่เป็นค่าคงที่และดีเลย์ที่เป็นค่าแปรผันได้ดังสมการ

$$B = D_t - (d_f + q_{max})$$

โดยที่

D_t = ค่าดีเลย์สูงสุดตามมาตรฐาน

d_f = ค่าดีเลย์คงที่ของระบบ

q_{max} = ค่าดีเลย์แปรผันได้สูงสุดของระบบ

ซึ่งจะได้ค่า B และนำค่า B ไปหาค่า h สำหรับเฟรมแรกในช่วงเฟรมเสียงพูด (Talkspurt) ซึ่งจะได้เท่ากับ

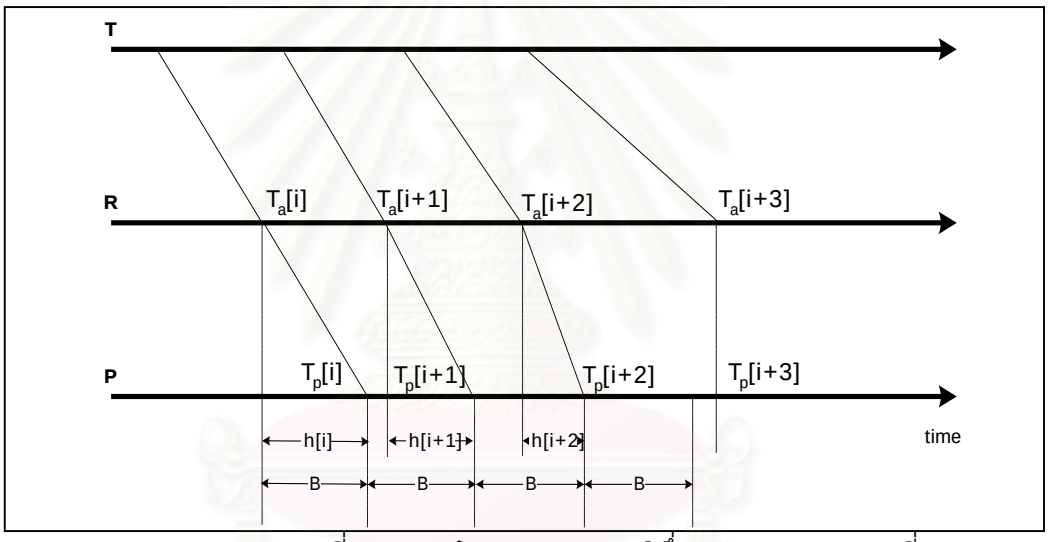
$$h[1] = B$$

หลังจากนั้นจะได้ค่า h นำไปใช้กับเฟรมแรก จะได้ค่า T_p ของเฟรมแรกคือ

$$T_p[1] = T_a[1] + h[1]$$

ในเฟรมต่อมาค่า T_p จะเพิ่มขึ้นตามลำดับ voice interval rate (v_t) ดังสมการ

$$T_p[i] = T_p[i-1] + v_t$$



รูปที่ 3.8 การทำงานของอัลกอลิทึ่มหน่วงเวลาแบบคงที่

อัลกอลิทึ่มนี้เป็นการกำหนดค่าความหน่วงเป็นค่าคงที่ โดยการตั้งค่าสมมติ D_t แล้วคำนวณหา ค่า T_p ของแต่ละเฟรม โดยแบ่งขั้นตอนของโปรแกรมจำลองการทำงานออกเป็นดังนี้

ขั้นที่ 1 คำนวณหาค่าเริ่มต้น เพื่อกำหนดค่า $T_p[1]$

โดยการกำหนดค่าสมมติสำหรับการมาถึงปลายทางของเฟรมเป็นค่าสูงสุดตามมาตรฐานคือ

D_t = 150 ms

จากนั้นหาค่า B สำหรับเริ่มต้นจากสมการ

$$B = D_t - (d_f + q_{max})$$

ซึ่งค่า d_f และ q_{max} หาได้จากสมการ

$d_f = c + t + p + s$

q_{max} = เวลาที่ใช้ในการส่งเฟรมข้อมูลขนาดเฉลี่ย I_{data} ไบต์

โดยที่

$c = 30$ ms

$t = 3$ ms

$p = 6$ ms

$s = 1$ ms

$I_{data} = 314$ byte

จะได้

$d_f = 40$ ms

$q_{max} = 39$ ms

จะได้

$B = 150 - (40 + 39)$

$B = 71$ ms

เมื่อได้ค่า B เริ่มต้นสามารถนำมาหาค่า $T_p[1]$ ซึ่งเป็นค่า T_p ของเฟรมแรกได้ โดยให้ค่า $h_{[1]}$ เท่ากับค่า B และสามารถหาค่า $Tp_{[1]}$ ได้จากสมการ

$T_p[1] = T_a[1] + h[1]$

โดยที่

$T_a[1]$ = เวลาที่เฟรมเสียงเฟรมแรกมาถึง

h[1] = เวลาที่ใช้ในการหน่วงเฟรมแรกไว้ในบัฟเฟอร์ก่อนจะแปลงเฟรมนั้นออกเป็นสัญญาณเสียง ซึ่งสำหรับเฟรมเสียงแรกจะให้ค่าเท่ากับ B

$h[1] = B$

ดังนั้น

$T_p[1] = T_a[1] + 71$ ms

เมื่อเฟรมเสียงเฟรมแรกมาถึงที่เวลา $T_a[1]$ จะถูกหน่วงไว้ในบัฟเฟอร์เป็นเวลา h[1] คือ 110 มิลลิวินาที และถูกแปลงกลับเป็นสัญญาณเสียงในเวลา $T_p[1]$

ขั้นที่ 2 คำนวณค่า $T_p[i]$ จากค่าเริ่มต้น $T_p[1]$ ที่ได้

หลังจากเฟรมแรกผ่านไป เฟรมต่อไปจะถูกแปลงกลับเป็นเสียงในเวลาที่สัมพันธ์กับเฟรมแรก โดย $T_p[i]$ จะเท่ากับ $T_p[i-1]$ บวกด้วย voice interval rate (v_t) ซึ่งในที่นี้ใช้ G.729 มีค่า v_t เท่ากับ 20 มิลลิวินาที ดังสมการ

$T_p[i] = T_p[i-1] + v_t$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เราจะได้ค่าคาดการณ์ของเวลาที่จะใช้ในการแปลงเฟรมกลับไปเป็นเสียงซึ่งระยะห่างระหว่างค่า T_p จะมีค่าเท่ากับระยะห่างของอัตราการสร้างเฟรมเสียงที่ฝั่งผู้ส่งนั้นเอง

ขั้นที่ 3 คำนวณหาค่าหน่วง h[i] ของเฟรมใด ๆ จาก $T_p[i]$

จากเวลา $T_p[i]$ เราสามารถคำนวณหาค่าเวลาหน่วง h[i] ที่จะหน่วงเฟรมนั้นไว้ในบัฟเฟอร์ได้ดังสมการ

$$h[i] = v_t - (T_a[i-1] - T_p[i-1])$$

ขั้นที่ 4 ตรวจสอบการมาถึงของเฟรมว่าอยู่ในช่วงเวลาที่รอคอยได้หรือไม่

ขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบการมาถึงของเฟรมเสียงที่เวลา $T_a[i]$ ว่าอยู่ในช่วงเวลาหน่วงก่อนที่จะถึงเวลาที่จะแปลงสัญญาณกลับไปเป็นเสียง $T_p[i]$ หรือไม่นั้นคือ ค่าของ $T_a[i]$ ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับค่า $T_p[i]$ ดังสมการ

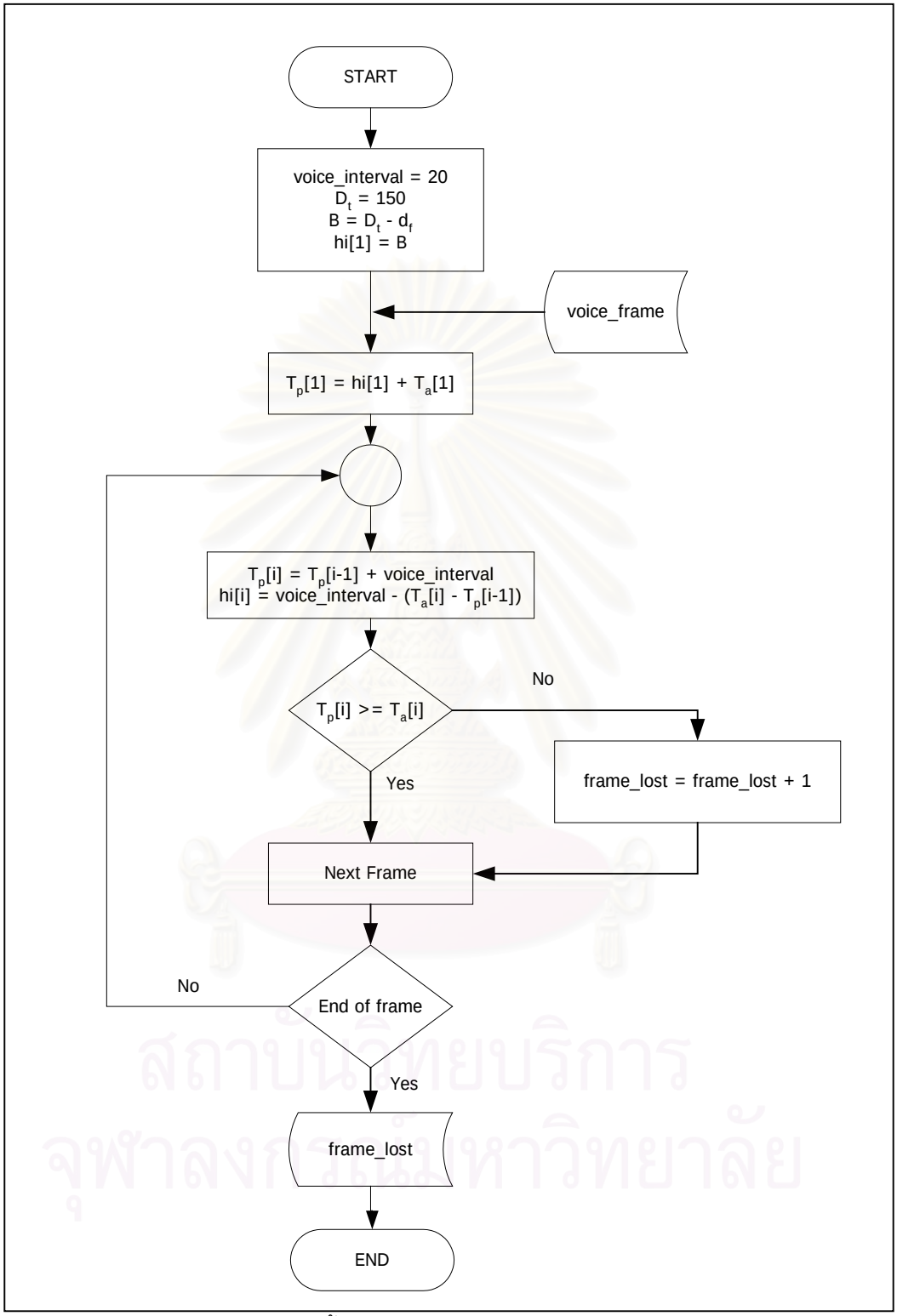
$$T_a[i] <= T_p[i]$$

จึงจะถือว่าเฟรมนั้นสามารถนำไปใช้แปลงกลับเป็นเสียงได้แต่ถ้าค่า $T_a[i]$ มากกว่าค่า $T_p[i]$ หมายถึงการมาถึงของเฟรมนั้นช้ากว่าเวลาหน่วงที่ตั้งไว้ ดังนั้นเฟรมนี้จึงถือว่าเป็นเฟรมสูญหาย

จากขั้นตอนของอัลกอลิทึ่มนี้จะเห็นได้ว่าในบางครั้งการหน่วงเวลาของเฟรมเสียงไว้ในบัฟเฟอร์ให้เท่ากับค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ อาจเป็นค่าหน่วงที่มากเกินความจำเป็นถ้าระบบเครือข่ายในขณะนั้นมีเฟรมข้อมูลในปริมาณน้อยทำให้เฟรมเสียงมาถึงก่อนเวลา $T_p[i]$ คำนวณได้มาก วิธีนี้จึงอาจเป็นการทำให้ค่าความล่าช้าเฉลี่ยของระบบมีค่ามากเกินไป

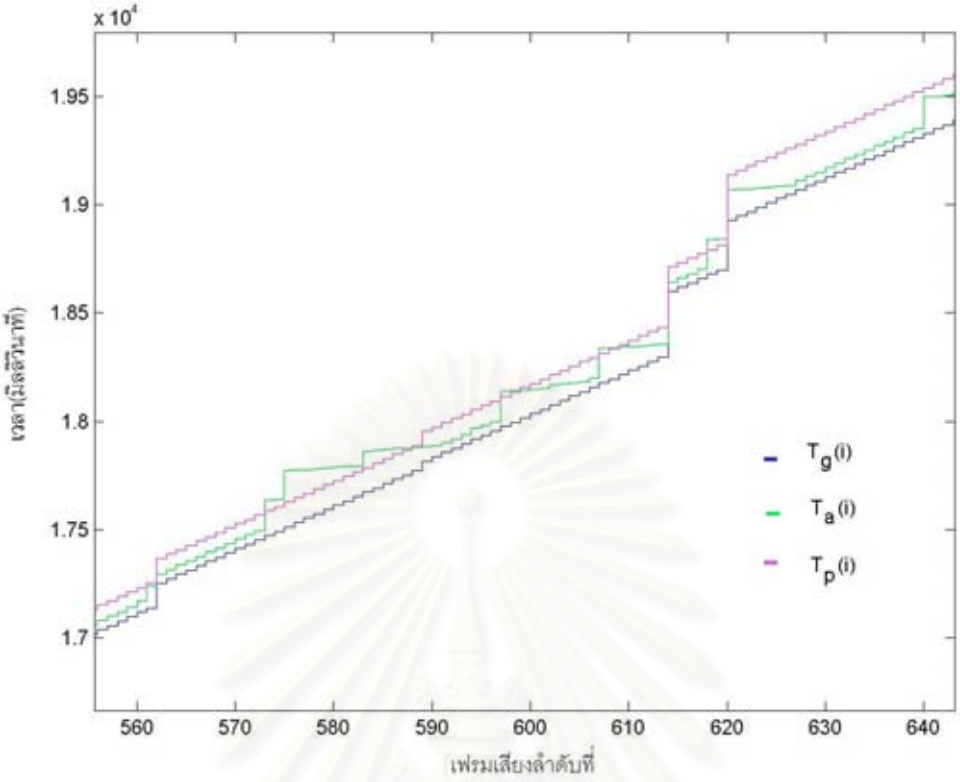
จากรูปที่ 3.10 แสดงถึงการทำงานของอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบคงที่ ซึ่งแกน x แทนลำดับที่ของเฟรมเสียงและแกน y แทนเวลาที่เฟรมเสียงใช้ โดยกราฟแสดงถึงเวลาที่เฟรมเสียงถูกสร้างขึ้นมาในอัตรา 50 เฟรมต่อวินาที $T_g[i]$ เดินทางมาถึงปลายทาง $T_a[i]$ และเวลาที่เฟรมเสียงถูกแปลงกลับเป็นเสียง $T_p[i]$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



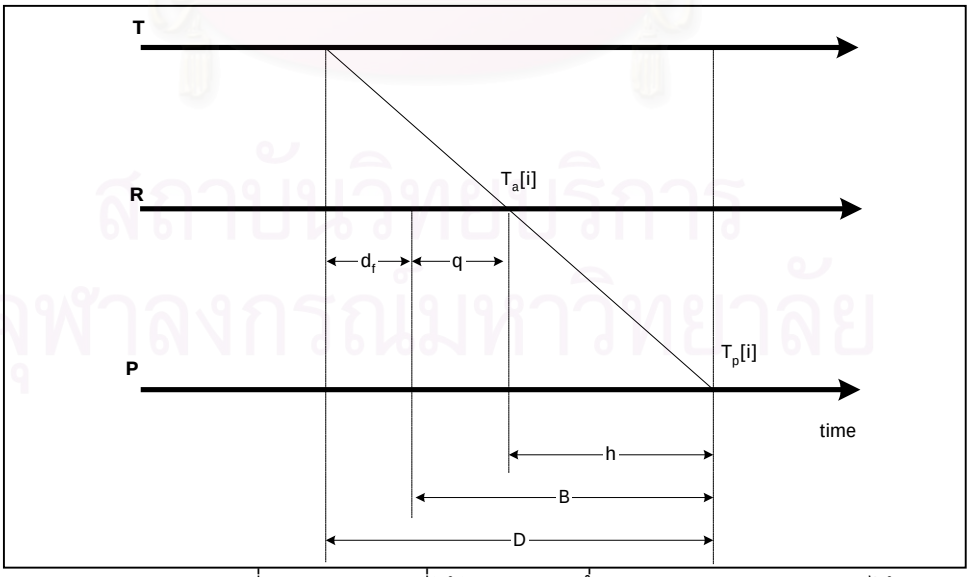
รูปที่ 3.9 แสดง Flow Chat ขั้นตอนการทำงานของอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบคงที่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.10 แสดงการทำงานของอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบคงที่

3.5 ขั้นตอนการทำงานของอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบแปรผันได้(Adaptive buildout delay)



รูปที่ 3.11 ตัวแปรที่ใช้ในอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบแปรผันได้

โดยการกำหนดค่าสมมุติเริ่มต้นของ q และ h_t ไว้ที่ฝั่งผู้รับ และค่า h_t นี้จะถูกปรับแต่งในช่วงเวลาที่มีการส่งเฟรมเสียงมายังผู้รับ การสมมติค่าเริ่มต้นนั้นใช้หลักเดียวกับการกำหนดค่าเวลาหน่วงแบบค่าคงที่ คือกำหนดค่าสูงสุดที่เฟรมเดินทางจากต้นทางมาถึงปลายทาง ในที่นี้เท่ากับ D_t 150 มิลลิวินาที ดังนั้นจะได้ค่าเริ่มต้นของ B_t ดังสมการ

$$B_t = D_t - d_f$$

$$h_t = B_t - q_{max}$$

นำค่า B_t ที่ได้ไปหาค่า hi เริ่มต้นสำหรับเฟรมแรก ดังสมการ

$$h[1] = B_a - q_{max}$$

โดยที่

$$B_a = B_t$$

q_{max} = ค่าดีเลย์แปรผันสูงสุด

หลังจากได้ค่า h[1] เราสามารถนำมากำหนดค่า $T_p[1]$ ได้จากสมการ

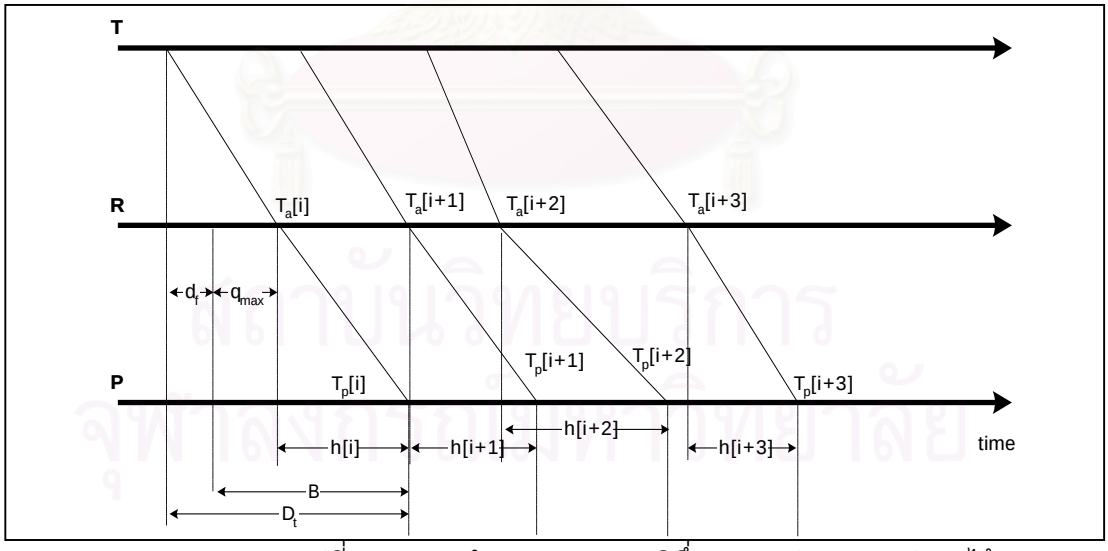
$$T_p[1] = T_a[1] + h[1]$$

สำหรับเฟรมต่อไปค่า T_p จะเพิ่มขึ้นตาม interval rate ดังสมการ

$$T_p[i] = T_p[i-1] + voice_interval$$

เมื่อได้ค่า $T_p[i]$ เราสามารถหาค่า h[i] ได้จากสมการ

$$h[i] = voice_interval - (T_a[i] - T_p[i-1])$$



รูปที่ 3.12 การทำงานของอัลกอลิทึมเวลาหน่วงแบบแปรผันได้

Holding-time adaptation algorithm ทำงานโดยการเก็บค่า h[i] ที่ฝั่งของผู้รับเมื่อเฟรมเสียงมาถึง เมื่อได้ค่า holding time จากจำนวนเฟรมที่มากพอ(ในที่นี้กำหนดไว้ที่ 100 เฟรม) จะนำมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่า h_a และทำการเปรียบเทียบกับค่า holding time ที่สมมุติขึ้นใน

ตอนเริ่มต้นเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนและนำไปใช้ปรับปรุงการหาค่า holding time ในครั้งต่อไป ค่า holding time นี้ จะมีส่วนสัมพันธ์กับค่า buildout delay

ถ้าค่า h_a มากกว่าค่า h_t แสดงถึงค่า actual buildout delay B_a มีค่ามากเกินไป ค่า B_a จะต้องลดลงโดยใช้สมการ

$$B_a[n] = B_a[n-1] + k(h_t - h_a)$$

โดยที่ k เป็นค่าคงที่ในลักษณะ time-scale s โดยที่ s +- {5,10,15,20}

ถ้าค่า ha น้อยกว่าค่า h_t ค่า B_a ควรจะเพิ่มขึ้น และสำหรับที่เฟรม n ใด ๆ จะสามารถปรับค่า buildout delay ได้

ในทางปฏิบัติแล้วการปรับค่า buildout delay นั้นควรจะต้องมีการปรับน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ทั้งนี้จำนวนครั้งที่จะปรับค่า buildout delay ขึ้นอยู่กับการตั้งค่าสมมุติของ B_t และค่า step size และช่วงเวลาที่ใช้ในการปรับค่าจะเป็นช่วงที่ไม่มีเสียงพูด Silent เพื่อให้เสียงเกิดความราบรื่นและไม่สะดุด ค่าที่จะปรับในแต่ละครั้งหลังจากการปรับค่า buildout delay ในแต่ละครั้งต้องมีการตรวจสอบว่าค่าที่ได้ปรับแต่งไปแล้วนั้นมีความถูกต้องเพียงใดโดยมีค่า error (ε) เท่ากับ 5

$$| ht - ha | < \varepsilon$$

หลังจากได้ค่า B_a ที่ปรับแต่งแล้ว นำไปหาค่า T_p ในเฟรมต่อไปได้จากสมการ

$$T_p[i] = T_a[i] + h_a$$

โดยที่

$$h_a = B_a - q_{max}$$

เฟรมต่อมาจะมีค่า T_p ดังสมการ ในกรณีที่ค่า $T_a[i]$ มากกว่าค่า $T_p[i]$ แสดงว่าเฟรมนั้นมาถึงช้ากว่าเวลารอคอย ถือว่าเฟรมนั้นสูญหาย เราต้องทำการปรับค่า T_p ใหม่ตามสมการ

$$T_p[i] = T_a[i] + h_a$$

อัลกอลิทึมนี้ทำการปรับปรุงจากเวลาหน่วงแบบคงที่ ซึ่งมีการเพิ่มส่วนของการปรับค่า buildout delay ให้เหมาะสมลักษณะของเครือข่าย โดยอาศัยการสะสมค่าเวลาหน่วงที่ใช้จริงแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อปรับค่า buildout delay ซึ่งจะทำให้ค่า buildout delay นั้นสอดคล้องกับลักษณะการใช้งานของเครือข่ายและทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบเพิ่มขึ้น โดยแบ่งออกเป็นขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 คำนวณหาค่าเริ่มต้น เพื่อกำหนดค่า B_a และ $T_p[1]$

โดยการกำหนดค่าสมมติสำหรับการมาถึงปลายทางของเฟรมเป็นค่าสูงสุดตามมาตรฐานคือ

$$D_t = 150 \text{ ms}$$

จากนั้นหาค่า B_t สำหรับเริ่มต้นจากสมการ

$B_t = D_t - d_f$

ซึ่งค่า d_f หาได้จากสมการ

$d_f = c + t + p + s$

โดยที่

$c = 30$ ms

$t = 3$ ms

$p = 6$ ms

$s = 1$ ms

จะได้

$d_f = 30 + 3 + 6 + 1$

$d_f = 40$ ms

จะได้

$B_t = 150 - 40$

$B_t = 110$ ms

หลังจากได้ค่า B_t เราจะทำการหาค่า h_t ซึ่งเป็นค่าที่จะใช้สำหรับเฟรมแรกและใช้สำหรับเป็นค่าเปรียบเทียบในการปรับค่า buildout delay ของระบบ โดยค่า h_t เท่ากับ ค่า B_t ลบด้วยค่า q_{max} ดังสมการ

$h_t = B_t - q_{max}$

สำหรับค่า q_{max} คือค่าความล่าช้าแปรผันสูงสุดนั้นได้จากเวลาที่ใช้ในการส่งเฟรมข้อมูลที่ที่มีขนาดเฉลี่ยบนช่องสัญญาณที่มีความเร็ว 64 Kbps

$q_{max} = 39$ ms

โดยที่

$l_{data} = 314$ ไบต์

ดังนั้นจะได้ค่า

$h_t = 110 - 39$

$h_t = 71$ ms

หลังจากได้ค่า h_t เราก็สามารถหาค่า $T_p[1]$ ได้โดยให้ค่า h_a เท่ากับ h_t และ $h[1]$ เท่ากับ h_a จะได้ค่า $T_p[1]$ จากสมการ

$T_p[1] = T_a[1] + h[1]$

โดยที่

$T_a[1]$ = เวลาที่เฟรมเสียงเฟรมแรกมาถึง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

h[1] = เวลาที่ใช้ในการหน่วงเฟรมแรกไว้ในบัฟเฟอร์ก่อนจะแปลงเฟรมนั้นออกเป็นสัญญาณเสียง

จะเห็นว่าขั้นตอนที่หนึ่งนี้มีส่วนคล้ายกับขั้นตอนที่หนึ่งของเวลาหน่วงแบบคงที่มาก แตกต่างกันตรงการกำหนดค่าของ B เท่านั้น

ขั้นที่ 2 คำนวณค่า $T_p[i]$ จากค่าเริ่มต้น $T_p[1]$ ที่ได้

หลังจากเฟรมแรกผ่านไป เฟรมต่อไปจะถูกแปลงกลับเป็นเสียงในเวลาที่สัมพันธ์กับเฟรมแรก โดย $T_p[i]$ จะเท่ากับ $T_p[i-1]$ บวกด้วย voice interval rate (v_t) ซึ่งในที่นี้ใช้ G.729 มีค่า v_t เท่ากับ 20 มิลลิวินาที ดังสมการ

$$T_p[i] = T_p[i-1] + v_t$$

เราจะได้ค่าคาดการณ์ของเวลาที่จะใช้ในการแปลงเฟรมกลับไปเป็นเสียง ซึ่งระยะห่างระหว่างค่า T_p จะมีค่าเท่ากับระยะห่างของอัตราการสร้างเฟรมเสียงที่ฝั่งผู้ส่งนั้นเอง

ขั้นที่ 3 คำนวณหาค่าหน่วง h[i] ของเฟรมใด ๆ จาก $T_p[i]$

จากเวลา $T_p[i]$ เราสามารถคำนวณหาค่าเวลาหน่วง h[i] ที่จะหน่วงเฟรมนั้นไว้ในบัฟเฟอร์ได้ดังสมการ

$$h[i] = v_t - (T_a[i] - T_p[i-1])$$

เราจะทำการเก็บสะสมค่าของ h[i] ไว้เพื่อหาค่าเฉลี่ยใช้เป็นตัวเทียบวัดในการปรับค่า B_a

ขั้นที่ 4 คำนวณหาค่า h_a เพื่อทำการปรับค่า B_a

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่แตกต่างจากเวลาหน่วงแบบคงที่เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่มีการปรับค่า B_a ให้สอดคล้องกับคุณสมบัติของเครือข่ายในขณะนั้น โดยเมื่อเฟรมผ่านไปในปริมาณที่กำหนดเท่ากับ 100 เฟรม ก็จะทำการหาค่า ha คือค่าเฉลี่ยของ h[i] ที่ได้สะสมไว้จำนวน 100 เฟรม แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่า ht ที่ในตอนแรก โดยเทียบดูว่าผลต่างนั้นมีค่ามากกว่าค่าความผิดพลาด(ε) ที่ตั้งไว้หรือไม่

$$| h_t - h_a | < \varepsilon$$

ค่า ε นั้นถูกกำหนดให้สอดคล้องกับค่าที่จะใช้ในการปรับแต่งค่า B_a ในที่นี้กำหนดไว้เท่ากับ 5 ในกรณีที่ทำการเปรียบเทียบค่าแล้วมีค่ามากกว่า ε ต้องทำการปรับค่า B_a จากสมการ

$$B_a[n] = B_a[n-1] + k(h_t - h_a)$$

ถ้าค่า h_a มากกว่าค่า h_t แสดงถึงค่า actual buildout delay B_a มีค่ามากเกินไป ค่า B_a จะต้องลดลงโดยที่ k เป็นค่าคงที่ในลักษณะ time-scale s โดยที่ s +- {5,10,15,20}

หลังจากปรับค่า B_a แล้ว ต้องทำการคำนวณหาค่า $T_p[i]$ ใหม่ โดยใช้สมการ

$$h_a = B_a - q_{max}$$

เมื่อได้ค่า h_a แล้วกำหนดค่า h[i] เท่ากับค่า h_a นำไปแทนในสมการ

$T_p[i] = T_a[i] + h[i]$

จะได้ค่า $T_p[i]$ สำหรับกำหนดเวลาในการแปลงเฟรมกลับเป็นเสียงต่อไป และยังคงต้องสะสมค่า h[i] เพื่อทำการปรับค่า B_a อีกเมื่อถึงรอบในการปรับค่า

การปรับค่าจะเกิดขึ้นในช่วงที่ไม่มีเสียงสนทนา Silent เพื่อไม่ใช้เกิดการกระตุกของเสียง และการปรับค่านี้จะสิ้นสุดเมื่ออยู่ในสถานะเสถียรกล่าวคือค่า h_t มีค่าใกล้เคียงกับค่า h_a ซึ่งหมายถึงค่า B_a ที่ได้นั้นเหมาะสมกับสภาพของเครือข่ายในขณะนั้นนั่นเอง

ขั้นที่ 5 ตรวจสอบการมาถึงของเฟรมว่าอยู่ในช่วงเวลาที่รอคอยได้หรือไม่

ขั้นตอนนี้เป็นการวัดประสิทธิภาพของอัลกอลิทึ่ม ซึ่งมีหลักการทำงานคล้ายกับเวลาหน่วงแบบคงที่ คือ

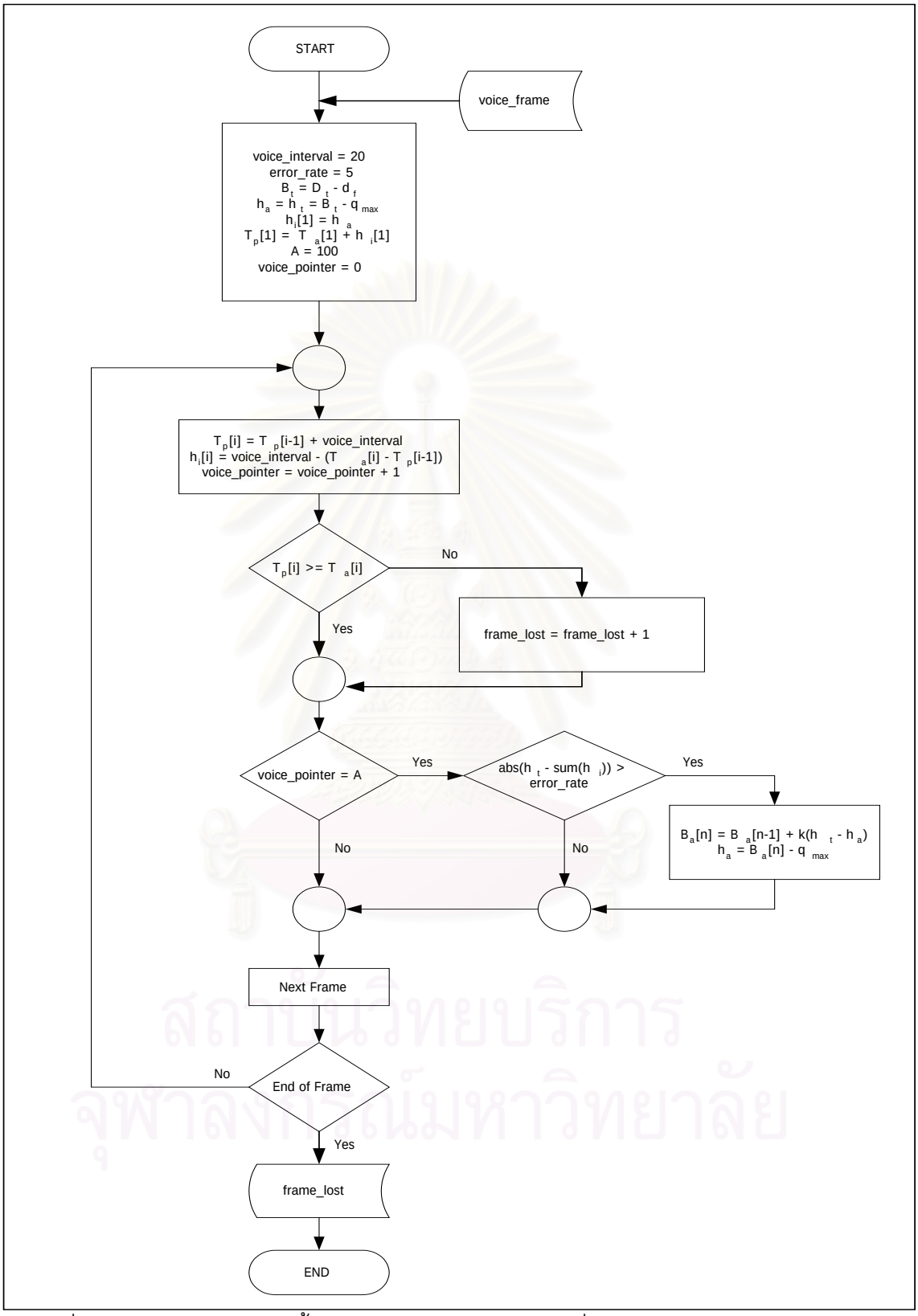
การตรวจสอบการมาถึงของเฟรมเสียงที่เวลา $T_a[i]$ ว่าอยู่ในช่วงเวลาหน่วงก่อนที่จะถึงเวลาที่จะแปลงสัญญาณกลับไปเป็นเสียง $T_p[i]$ หรือไม่นั้นคือ ค่าของ $T_a[i]$ ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับค่า $T_p[i]$ ดังสมการ

$T_a[i] <= T_p[i]$

จึงจะถือว่าเฟรมนั้นสามารถนำไปใช้แปลงกลับเป็นเสียงได้ แต่ถ้าค่า$T_a[i]$มากกว่าค่า$T_p[i]$หมายถึงการมาถึงของเฟรมนั้นช้ากว่าเวลาหน่วงที่ตั้งไว้ ดังนั้นเฟรมนี้จึงถือว่าเป็นเฟรมสูญหาย

อัลกอลิทึ่มนี้มีการปรับค่า Buildout delay ให้สอดคล้องกับสภาพของเครือข่ายในขณะใดขณะหนึ่ง ซึ่งบางครั้งอาจมีการปรับค่าลดลงหรือเพิ่มขึ้นจากค่าประมาณที่ตั้งไว้ในตอนแรก ในการปรับลดจะทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมดีขึ้น แต่ในทางปรับเพิ่มอาจทำให้เวลาในการรอคอยสูงสุดเกินกว่าค่ามาตรฐาน แต่ถ้ายังอยู่ในช่วงพอรับได้คือค่า 250 มิลลิวินาทีก็ถือว่าอัลกอลิทึ่มมีประสิทธิภาพใช้งานได้

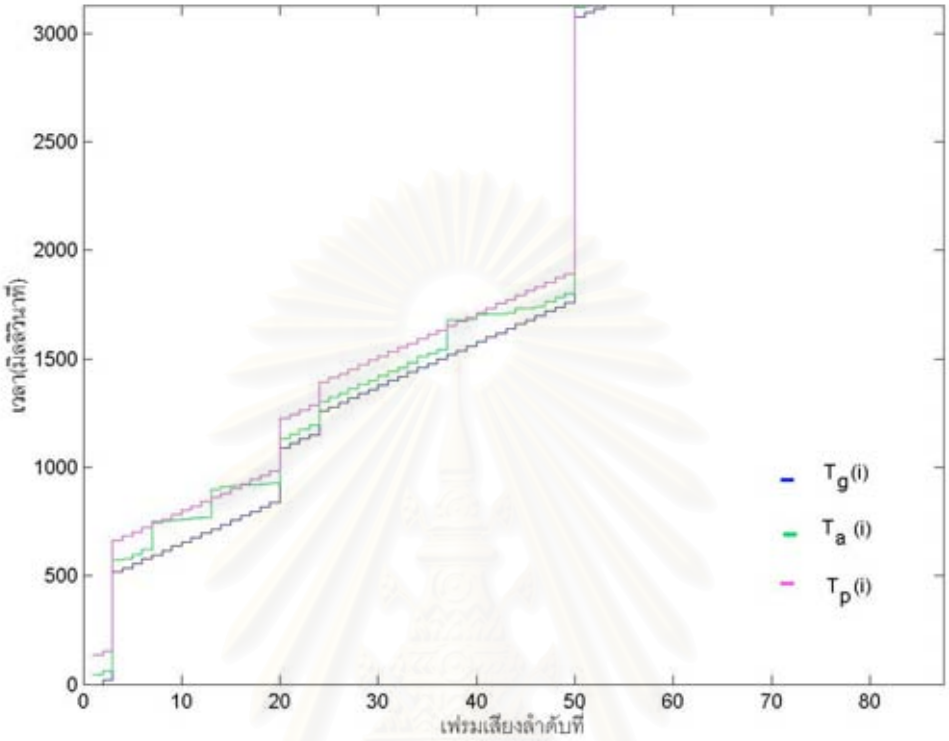
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.13 แสดง Flow Chat ขั้นตอนการทำงานของอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบปรับแปรผันได้

การทำงานของอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบแปรผันได้แบ่งออกเป็นสามช่วงได้แก่

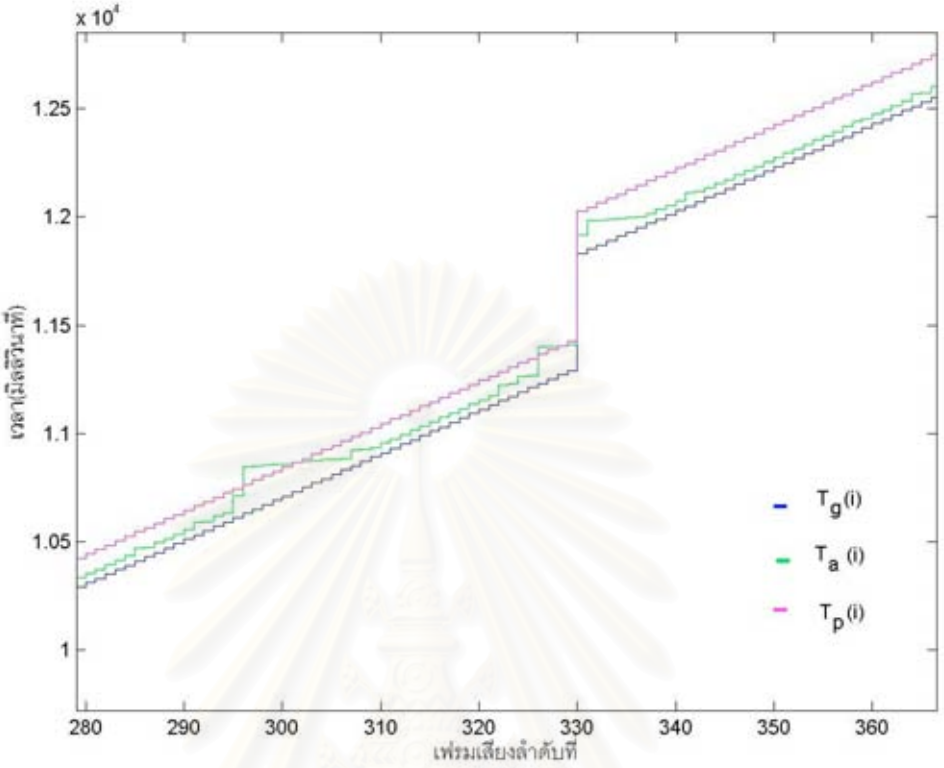
- ช่วงเริ่มต้นส่งเฟรม (Initial state)



รูปที่ 3.14 การทำงานของเวลาหน่วงแบบแปรผันได้ในช่วงเริ่มต้น

ช่วงเริ่มต้นการส่งเฟรม (Initial state) เนื่องจากอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบแปรผันได้อยู่ในช่วงสะสมค่า h[i] เพื่อนำไปคำนวณค่า B_a แต่เมื่อเฟรมครบ 100 เฟรม จะทำการคำนวณค่า B_a ใหม่ รูปที่ 3.14 แกน x แสดงถึงเฟรมเสียงที่ 1 ถึง 80 แกน y แสดงถึงเวลา เส้นกราฟ T_g แสดงถึงเวลาที่เฟรมเสียงถูกสร้างขึ้นในฝั่งผู้ส่ง เส้นกราฟ T_a แสดงถึงเวลาที่เฟรมเสียงเดินทางมาถึงปลายทาง เส้นกราฟ T_p แสดงถึงเวลาที่แปลงสัญญาณกลับมาเป็นเสียงในช่วงนี้อัตราการสูญหายของเฟรมเสียงจะมีค่ามากเนื่องจากอัลกอลิทึ่มกำลังเรียนรู้ลักษณะของดีเลย์ในระบบ

- ช่วงปรับค่า (Adjust state)

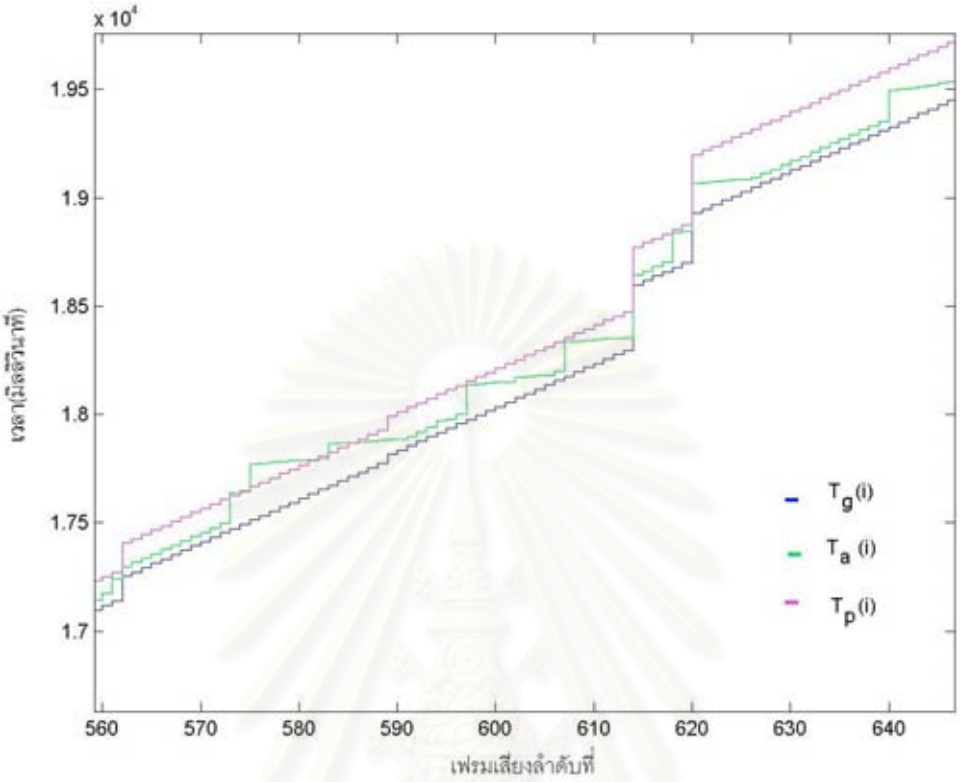


รูปที่ 3.15 การทำงานของเวลาหน่วงแบบแปรผันได้ในช่วงการปรับค่า

ช่วงปรับค่า B_a (Adjust state) ช่วงนี้เป็นช่วงที่อัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบแปรผันได้ มีการสะสมค่า h[i] เพื่อนำมาคำนวณหาค่า B_a ก่อนจะเข้าสู่สภาวะเสถียร ช่วงในการปรับค่านี้อาจจะเกิดขึ้นในหลายช่วงเวลาขึ้นอยู่กับปริมาณของข้อมูลที่ส่งไปในเครือข่ายถ้าปริมาณข้อมูลคงที่ระบบจะเข้าสู่สภาวะเสถียร ค่า h_a จะใกล้เคียงกับค่า ht ในช่วงนี้ระบบจะไม่มีการปรับค่า B_a อีก แต่จะทำการตรวจสอบค่า h[i] อยู่เรื่อย ๆ ถ้าพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณข้อมูลที่ส่งไปในเครือข่าย ไม่ว่าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ก็จะเข้าสู่ช่วงการปรับค่าอีกครั้ง ความถี่ในการปรับค่านี้ขึ้นอยู่กับค่า A ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดค่า A ไว้เท่ากับ 100 หมายถึงทุกๆ 100 เฟรมเสียงจะมีการเปรียบเทียบค่า h_a กับค่า h_t ว่ามีต่างกันเกินกว่าค่าความผิดพลาดที่กำหนดไว้หรือไม่ ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดค่าความผิดพลาดไว้ที่ ε เท่ากับ 5 ช่วงที่มีการปรับค่า B_a นี้จะทำการปรับในช่วงที่ไม่มีเฟรมเสียงคือช่วง Silent เพื่อไม่ให้เฟรมเสียงที่ส่งอยู่เกิดการกระตุก

จากรูปที่ 3.15 แสดงการทำงานของอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบแปรผันได้ในช่วงที่การปรับค่า B_a โดยแกน x แสดงถึงเฟรมเสียงในลำดับที่ 280 ถึง 360 แกน y แสดงถึงเวลา เส้นกราฟ T_a แสดงถึงเวลาที่เฟรมเสียงเดินทางมาถึงปลายทาง เส้นกราฟ T_p แสดงถึงเวลาที่แปลงกลับมาเป็นเสียง

- ช่วงสภาวะเสถียร (Stable State)



รูปที่ 3.16 การทำงานของเวลาหน่วงแบบแปรผันได้ช่วงสภาวะเสถียร

ช่วงสภาวะเสถียร (Stable State) หมายถึงช่วงที่ค่า h_a ใกล้เคียงกับค่า h_t จึงไม่มีการปรับค่า B_a อีก เป็นช่วงที่อัลกอลิทึ่มได้เรียนรู้ลักษณะปริมาณของการส่งข้อมูลในเครือข่ายเพียงพอจะสามารถกำหนดค่า B_a ที่เหมาะสมกับเครือข่ายในขณะใดขณะหนึ่งได้ ในช่วงนี้อัตราการสูญหายของเฟรมเสียงจะน้อยมากจากรูป 3.16 แสดงการทำงานในช่วงสภาวะเสถียร ซึ่งไม่มีการปรับค่า B_a โดยแกน x แสดงถึงเฟรมเสียงในลำดับที่ 560 ถึง 640 แกน y แสดงถึงเวลา เส้นกราฟ T_a แสดงถึงเวลาที่เฟรมเสียงเดินทางมาถึงปลายทาง เส้นกราฟ T_p ในสภาวะเสถียรนี้จะผ่านการเรียนรู้และเก็บสะสมค่า h_a จนสามารถทำการคำนวณค่า B_a ซึ่งมีค่าสอดคล้องกับปริมาณข้อมูลที่ส่งผ่านอยู่บนเครือข่าย

3.6 การทดสอบอัลกอลิทึ่มกับเฟรมข้อมูลขนาดต่าง ๆ

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอลิทึ่มทั้งสองรูปแบบ โดยวัตถุประสงค์ของการทดสอบนี้เพื่อจะทดสอบหาค่าขนาดของเฟรมข้อมูลที่ใหญ่ที่สุดและยังทำให้ประสิทธิภาพของอัลกอลิทึ่มทั้งสองอยู่ในค่าที่ยอมรับได้

วิธีการทดสอบทำโดยการสร้างข้อมูลตัวอย่างที่มีขนาดเฟรมเฉลี่ยแตกต่างกันแล้วนำไปทดสอบกับโปรแกรมจำลองการทำงานของอัลกอลิทึ่มทั้งสองรูปแบบ เพื่อดูอัตราการสูญเสียของเฟรมเสียง โดยทั้ง 5 ตัวอย่างจะมีค่าปริมาณการใช้งานช่องสัญญาณ(p)เท่ากันคือ 0.6 ซึ่งได้จากเครือข่ายตัวอย่างที่ใช้เป็นกรณีศึกษา การกำหนดขนาดของเฟรมเฉลี่ยให้แตกต่างกันทำได้โดยการกำหนดจำนวนของเฟรมที่ขนาดต่าง ๆ ในอัตราส่วนดังในตารางที่ 3.2 มีอัตราการส่งเฟรมข้อมูลเสียงที่ 50 เฟรมต่อวินาที และอัตราการส่งเฟรมข้อมูลดังในตาราง

ตัวอย่าง	จำนวนเปอร์เซนต์เฟรมตามขนาดเฟรม(ไบต์)						ขนาดเฟรมเฉลี่ย(ไบต์)	อัตราการส่งข้อมูลเฟรม/วินาที
	32	64	128	256	512	1,024		
ตัวอย่างที่ 1	17	17	17	17	16	16	327	11
ตัวอย่างที่ 2	20	20	20	20	20	0	198	17
ตัวอย่างที่ 3	25	25	25	25	0	0	120	29
ตัวอย่างที่ 4	34	33	33	0	0	0	74	47
ตัวอย่างที่ 5	50	50	0	0	0	0	48	72

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าขนาดของเฟรมสำหรับตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

ทำการกำหนดจำนวนของเฟรมในขนาดต่าง ๆ โดยกำหนดค่าเป็นเปอร์เซนต์จากจำนวนเฟรมข้อมูลจำลองทั้งหมด ให้กับตัวแปร Size_Percent_data_frame ซึ่งเป็นอาร์เรย์ 2 มิติ เมื่อสร้างตัวอย่างเฟรมทดสอบจากปริมาณข้อมูลดังในตารางแล้วก็นำไปทดสอบกับอัลกอลิทึ่มทั้งสองแบบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.7 การทดสอบประสิทธิภาพของเสียง

วิธีการที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของเสียงที่ส่งผ่านบนเครือข่ายคอมพิวเตอร์สำหรับงานวิจัยนี้ใช้วิธีทดสอบแบบอัตนัย (Subjective test) และกำหนดตัวแปรอิสระ (Independent Variables) ได้แก่ตัวแปรตามภูมิหลังประชากร คือ เพศ อายุ และกำหนดตัวแปรตาม (Dependent Variables) ได้แก่คะแนนความเห็นเกี่ยวกับประสิทธิภาพของเสียง โดยใช้มาตราฐานการทดสอบ ITU-T P.800 ที่เรียกว่าคะแนนความเห็นเฉลี่ย (Mean Opinion Score: MOS) ซึ่งมีการแบ่งระดับประสิทธิภาพของเสียงออกเป็น 5 ระดับ คือ 5-ดีมาก เสียงชัดเจนมากฟังครั้งเดียวสามารถจับใจความได้ 4-ดี เสียงชัดเจน สามารถจับใจความได้ 3-พอใช้ ต้องตั้งใจฟังจึงสามารถจับใจความได้ 2-แย่ ต้องตั้งใจฟังมากและเดาบางส่วนจึงจับใจความได้ 1-แย่มาก ไม่สามารถจับใจความได้

การวิจัยครั้งนี้ประชากรที่ใช้ศึกษาคือกลุ่มพนักงานสังกัดฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศ ธ.ก.ส. ซึ่งมีช่วงอายุระหว่าง 22 – 60 ปีผู้วิจัยได้กำหนดขนาดตัวอย่างครั้งนี้จำนวน 30 ตัวอย่าง ซึ่งได้จากการใช้ตารางของ Yamane ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และยอมรับความคลาดเคลื่อนในการเลือกตัวอย่าง 5 % เพราะจำนวนประชากรกลุ่มพนักงานที่สังกัดฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศ ธ.ก.ส. จำนวน 112 คน

เสียงตัวอย่างที่ใช้ทดสอบมีทั้งหมด 5 ตัวอย่าง เป็นเสียงที่บันทึกได้จากอุปกรณ์ที่ใช้อยู่ในเครือข่ายของ ธ.ก.ส. ซึ่งทั้ง 5 ตัวอย่างนี้มีความแตกต่างกันคือขนาดของเฟรมข้อมูลเฉลี่ยที่ส่งร่วมอยู่กับเฟรมเสียง ดังตารางที่ 3.2 โดยทำการกำหนดค่าขนาดของเฟรมข้อมูลและเวลาสูงสุดที่ใช้ในการหน่วงเฟรมไว้ในบัพเฟอร์ก่อนแปลงกลับมาเป็นเสียงที่อุปกรณ์ VFRAD ซึ่งใช้อัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบคงที่ ทั้งด้านส่งและด้านรับดังค่าในตาราง และทำการส่งเสียงจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งพร้อมกับการส่งข้อมูลในทิศทางเดียวกันดังรูปที่ 3.13 โดยใช้คำสั่ง ping ทางด้านฝั่งส่งคือสาขานนทบุรีที่เครื่อง A1,A2 และ A3 โดยมีการกำหนดพารามิเตอร์ให้กับคำสั่ง ping ดังนี้

ping [-n count] [-l size] [-f] destination

Options:

-n count Number of echo requests to send.

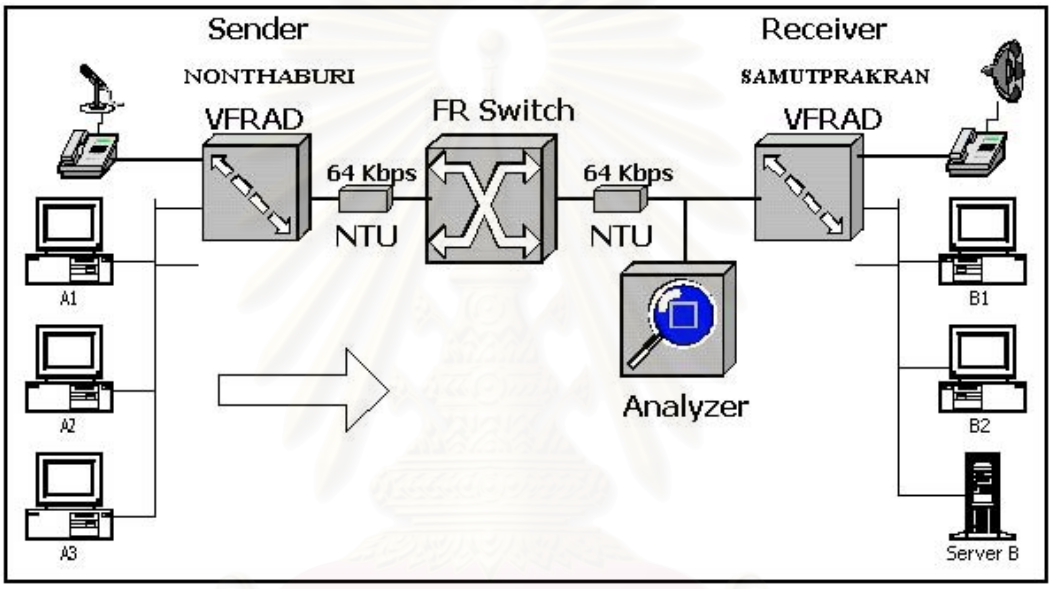
-l size Send buffer size.

-f Set Don't Fragment flag in packet.

แล้วทำการบันทึกเสียงไว้ในแฟ้มข้อมูลเสียง WAVE ได้จำนวน 5 แฟ้มข้อมูล ซึ่งวิธีการกำหนดค่าลงในอุปกรณ์และรูปแบบการสร้างเสียงตัวอย่างแสดงดังในภาคผนวก ค.

ตัวอย่างเสียงที่	ขนาดเฟรมข้อมูลสูงสุด(ไบต์)	ขนาดเฟรมข้อมูลเฉลี่ย(ไบต์)
1	1024	327
2	512	198
3	256	120
4	128	74
5	64	48

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างเสียงที่ใช้ทดสอบ



รูปที่ 3.17 รูปแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบตามสะดวก (Accidental Sampling) ทำการแจกแบบสอบถาม(ภาคผนวก ข.)ให้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 ชุดและให้กลุ่มตัวอย่างฟังเสียงตัวอย่างจากแฟ้มเสียงแบบ WAVE ทั้ง 5 ตัวอย่างแล้วทำการให้คะแนนในแบบสอบถาม หลังจากนั้นนำมาหาค่า MOS ของเสียงตัวอย่างทั้ง 5 เสียง

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์และทดสอบ

4.1 ผลการเก็บข้อมูลตัวอย่าง

ผลจากกระบวนการในการเก็บข้อมูลตัวอย่างดังในภาคผนวก ก ซึ่งเก็บข้อมูลการใช้งานจากสาขาของ ธกส.จำนวน 10 สาขา เป็นเวลา 30 นาทีในช่วงเวลาการใช้งานสูงสุด คือ ระหว่างเวลา 15.00 น. ถึงเวลา 15.30 น. สามารถจัดกลุ่มค่าขนาดของเฟรมได้ออกเป็น 6 กลุ่ม ได้ผลลัพธ์ดังในตารางที่ 4.1

สาขา	จำนวนเฟรมตามขนาดเฟรม(ไบต์)						
	< = 32	33 - 64	65 - 128	129-256	257-512	>=513	รวม
1นนทบุรี	3,627	5,467	12,098	8,412	3,345	4,543	37,492
2จตุจักร	5,129	4,890	6,735	6,902	6,178	3,290	33,124
3นครปฐม	4,451	9,012	9,089	5,639	4,321	4,219	36,731
4สุมทรปราการ	2,109	9,110	8,412	6,743	3,120	5,016	34,510
5ปทุมธานี	9,018	3,452	11,423	5,765	2,390	5,890	37,938
6ไทรน้อย	1,096	4,167	7,042	3,260	4,189	6,608	26,362
7มีนบุรี	7,098	5,278	3,026	9,287	6,746	3,780	35,215
8แหลมฉบัง	7,098	2,109	3,309	4,370	7,412	4,417	28,715
9สองพี่น้อง	5,628	4,432	5,427	4,320	4,671	5,044	29,522
10มวกเหล็ก	2,015	7,902	7,089	5,129	3,128	5,516	30,779
รวม	47,269	55,819	73,650	59,827	45,500	48,323	330,388

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงปริมาณเฟรมข้อมูลที่เก็บได้จากสาขาตัวอย่าง

จากตารางเราจะได้ค่าเฉลี่ยปริมาณของเฟรมขนาดต่าง ๆ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยดังนี้

ขนาดเฟรมข้อมูลที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 32 ไบต์ เท่ากับ 14%

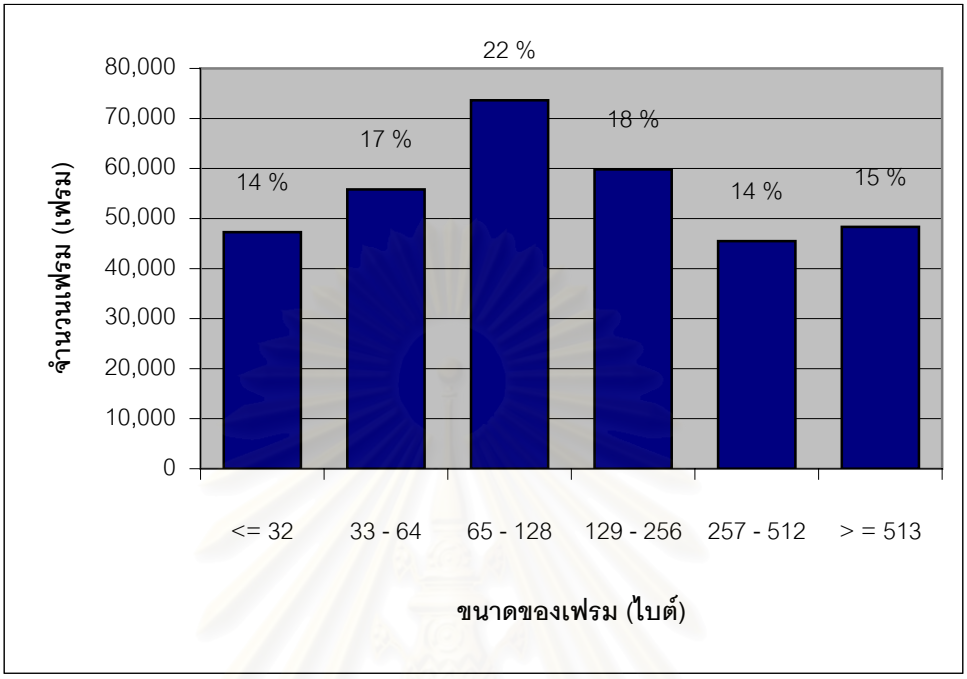
ขนาดเฟรมข้อมูลประมาณ 33 - 64 ไบต์ เท่ากับ 17%

ขนาดเฟรมข้อมูลประมาณ 65 - 128 ไบต์ เท่ากับ 22%

ขนาดเฟรมข้อมูลประมาณ 129 - 256 ไบต์ เท่ากับ 18%

ขนาดเฟรมข้อมูลประมาณ 257 - 512 ไบต์ เท่ากับ 14%

ขนาดเฟรมข้อมูลมากกว่าหรือเท่ากับ 513 ไบต์ เท่ากับ 15%



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงปริมาณของเฟรมข้อมูลขนาดต่าง ๆ

นำค่าเฉลี่ยปริมาณของเฟรมขนาดต่าง ๆ ที่ได้กำหนดให้กับตัวแปร Size_Percent_data_frame เพื่อสร้างอาร์เรย์ของเฟรมเสียงเป็นเวลา 60 วินาที ซึ่งมีการส่งเฟรมข้อมูลรวมอยู่ด้วย โดยอัตราการส่งเฟรมเสียงเท่ากับ 50 เฟรมต่อวินาทีและอัตราการส่งเฟรมข้อมูลคำนวณได้จากการ กำหนดขนาดเฉลี่ยของเฟรมข้อมูลเท่ากับ 314 ไบต์ และปริมาณการใช้งานช่องสัญญาณเท่ากับ 0.6 จะได้อัตราการส่งเฟรมข้อมูล 11 เฟรมต่อวินาที

4.2 ผลการทดสอบด้วยข้อมูลตัวอย่าง

การวิจัยนี้ได้ทำการสร้างแบบจำลองของการส่งเฟรมข้อมูล โดยใช้ค่าเฉลี่ยปริมาณของเฟรมข้อมูลและค่าดีเลย์ที่เก็บรวบรวมได้จากการใช้งานจริงของเครือข่ายที่ใช้เป็นกรณีศึกษาคือเครือข่ายระยะไกลของ ธกส ให้อยู่ในรูปของอาร์เรย์ของเฟรมเสียงและเฟรมข้อมูล ในแต่ละเฟรมเสียงจะถูกสร้างขึ้นตามอัตราการเข้ารหัสของเสียง ในงานวิจัยนี้ใช้มาตราฐาน ITU G.279 มีอัตราการเข้ารหัสเฟรมเสียงทุก ๆ 20 มิลลิวินาที ซึ่งจะได้ค่าเวลาเฟรมเสียงถูกสร้างขึ้นแทนด้วยตัวแปร $T_g[i]$ (Time Generate)และแต่ละเฟรมจะมีค่าดีเลย์ในการเดินทางไปถึงปลายทางที่ไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับค่าการรอคอยในแถวคอยของแต่ละเฟรมซึ่งแทนด้วยตัวแปร q[i] (Queuing delay) เฟรมเสียงจะเดินทางมาถึงปลายทางตามเวลาที่แต่ละเฟรมใช้ไปแทนด้วยตัวแปร $T_a[i]$ (Time

Arrival) หลังจากนั้นทำการหาค่าเวลาที่ทำการแปลงสัญญาณกลับมาเป็นเสียงซึ่งแทนด้วยตัวแปร $T_p[i]$ (Time Playout)โดยใช้โปรแกรมจำลองการทำงานของอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบคงที่และเวลาหน่วงแบบแปรผันได้

ผลการทดสอบข้อมูลตัวอย่างมีค่าคงที่ของค่าตัวแปรที่ใช้ในระบบดังนี้

D_t = 150 ms

c = 30 ms

t = 3 ms

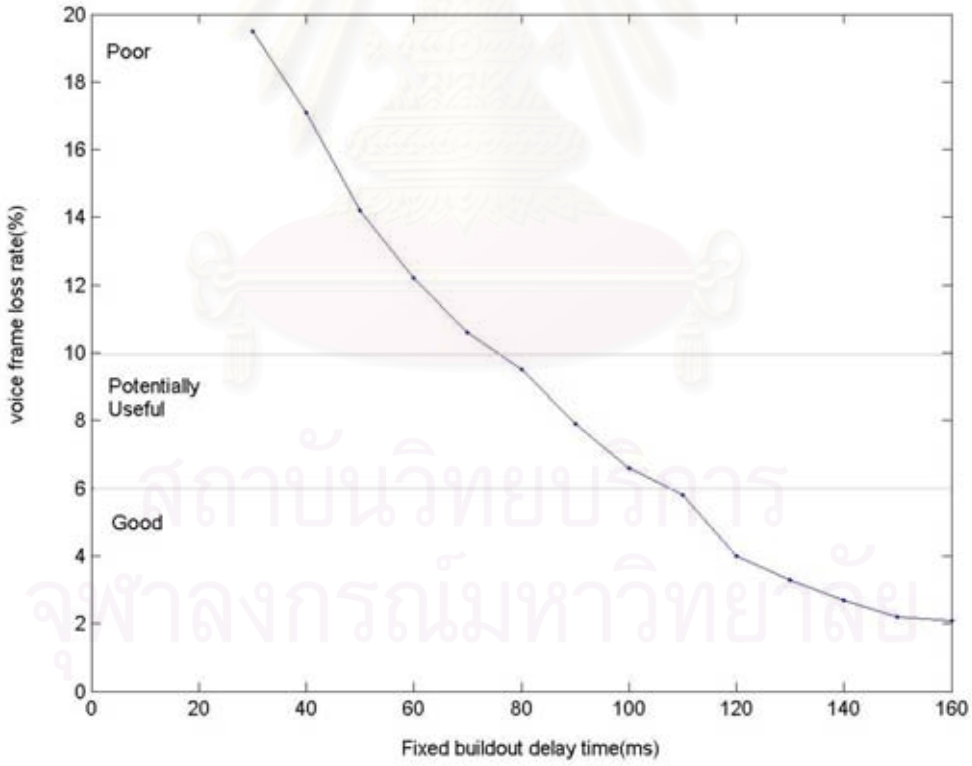
p = 6 ms

s = 1 ms

I_{data} = 314 byte

P_{load} = 0.6

ผลจากการทดสอบมีอัตราการสูญหายของเฟรมเสียงเท่ากับ 10% ที่ค่า Buildout delay (B) เท่ากับ 71 มิลลิวินาที



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูญหายของเฟรมเสียงกับเวลาหน่วง

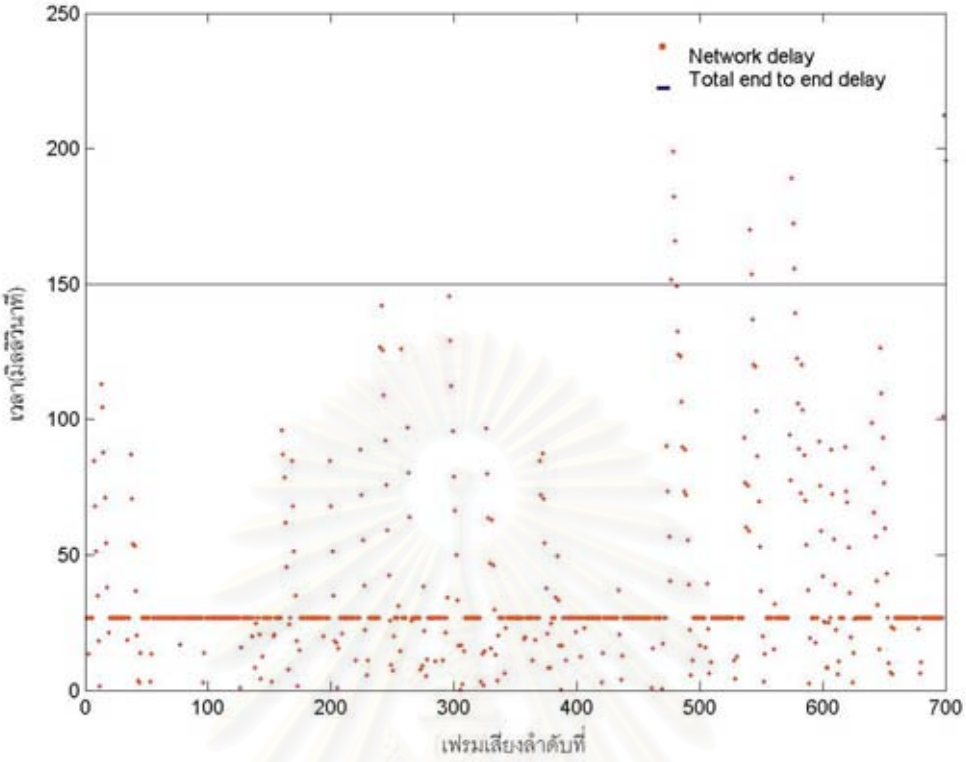
จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของอัตราการสูญหายของเฟรมเสียงกับเวลาที่ใช้ในการหน่วงเฟรมเสียงไว้ในบัพเฟอร์ Buildout delay โดยแกน x แสดงถึงเวลาที่ใช้ใน

การหน่วงเฟรมเสียงไว้ในบัฟเฟอร์และแกน y แสดงถึงอัตราการสูญหายของเฟรมเสียง ซึ่งอัตราการสูญหายของเฟรมเสียงที่ยอมรับได้อยู่ที่ 10%ตรงกับค่า Buildout delay ที่ประมาณ 70 มิลลิวินาที

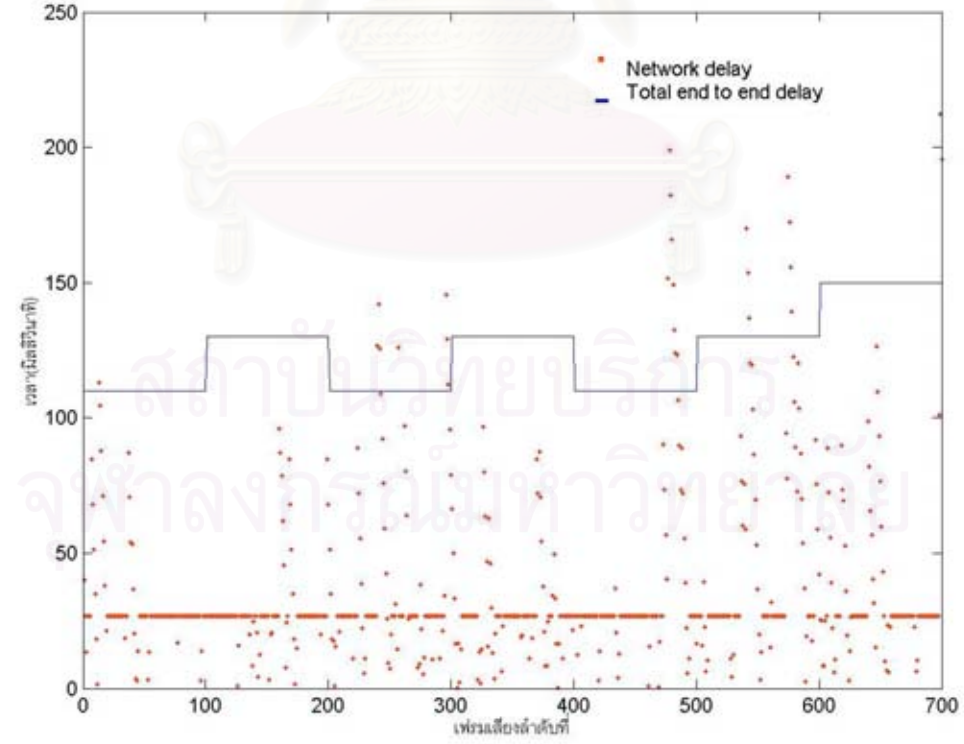
4.3 ผลการเปรียบเทียบระหว่างสองอัลกอลิทึ่ม

การวิเคราะห์ค่าความล่าช้าของระบบโดยรวมของอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบคงที่และเวลาหน่วงแบบแปรผันได้ จากรูปที่ 4.3 แสดงถึงค่าดีเลย์ของระบบโดยรวมของอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบคงที่โดยค่าความล่าช้าของแต่ละเฟรมเสียงจะมีค่าเท่ากันคือ 150 มิลลิวินาที ถึงแม้ว่าค่าความล่าช้าที่แท้จริงที่เฟรมเสียงใช้ในการเดินทางมาถึงปลายทางจะมีค่าน้อย แต่เฟรมเสียงนั้นก็จะต้องถูกหน่วงให้อยู่ในบัฟเฟอร์จนครบเป็นเวลา 150 มิลลิวินาที ซึ่งเป็นการทำให้ค่าความล่าช้าของระบบโดยรวมสูง หมายถึงประสิทธิภาพโดยรวมของระบบจะลดลง จากรูปที่ 4.4 แสดงถึงค่าความล่าช้าของระบบโดยรวมของอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบแปรผันได้จากภาพแสดงให้เห็นถึงการปรับค่าได้ของค่าความล่าช้ารวมในแต่ละเฟรม ซึ่งการปรับค่าความล่าช้ารวมนี้จะสอดคล้องกับค่าความล่าช้าที่เสียงใช้ในการเดินทางมาถึงปลายทาง กล่าวคือหากการเดินทางมาถึงปลายทางของเฟรมเสียงใช้เวลาน้อย การหน่วงเฟรมเสียงนั้นไว้ในบัฟเฟอร์ก็จะน้อยตามไปด้วยเพื่อให้ค่าความล่าช้ารวมสอดคล้องกับค่าความล่าช้าของเฟรมเสียงที่ใช้ในการเดินทางจริง ในทางกลับกันหากเฟรมเสียงใช้เวลาในการเดินทางมาถึงปลายทางมาก เวลาที่ทำการหน่วงเฟรมนั้นไว้ในบัฟเฟอร์ก็จะมากตามไปด้วยเพื่อรอการมาถึงของเฟรมเสียงในเฟรมต่อไป เมื่อมีการส่งเฟรมไปสักระยะหนึ่งระบบจะมีการเรียนรู้ค่าความล่าช้าในการมาถึงของเฟรมเสียง และจะพยายามปรับค่าหน่วงเฟรมไว้ในบัฟเฟอร์ให้คงที่และเหมาะสมกับค่าความล่าช้าของระบบ แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะปริมาณข้อมูลที่ส่งอยู่ในเครือข่าย หากลักษณะปริมาณของข้อมูลที่ส่งอยู่ในเครือข่ายมีลักษณะคงที่ไม่ว่าจะมากหรือน้อย การคำนวณ ค่าหน่วงของเฟรมไว้ในบัฟเฟอร์ก็จะหาค่าที่เหมาะสมได้เร็ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 แสดงค่าความล่าช้าของระบบโดยรวมของอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบคงที่



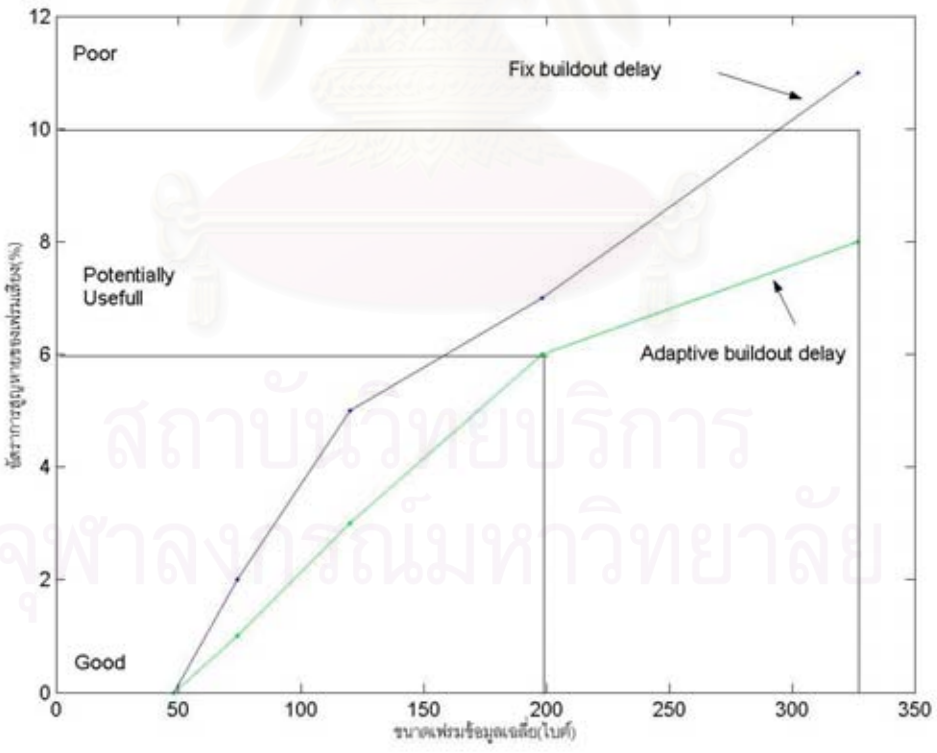
รูปที่ 4.4 แสดงค่าความล่าช้าของระบบโดยรวมของอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบแปรผันได้

4.4 ผลการทดสอบด้วยข้อมูลจำลองขนาดเฉลี่ยของเฟรมข้อมูลต่าง ๆ

ผลการทดสอบหาอัตราการสูญเสียของเฟรมเสียงของอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบคงที่และ อัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบแปรผันได้ ด้วยข้อมูลตัวอย่างที่สร้างขึ้นให้มีจำนวนของเฟรมในขนาดต่าง ๆ ทำให้ได้ขนาดเฟรมเฉลี่ยที่แตกต่างกันจำนวน 5 ตัวมีค่าปริมาณการใช้งานช่องสัญญาณ(p)เท่ากันคือ 0.6 และมีอัตราการส่งข้อมูลที่ต่างกันเป็นดังในตารางที่ 4.2

กรณีตัวอย่าง	ขนาดเฟรมสูงสุด(ไบต์)	ขนาดเฟรมเฉลี่ย(ไบต์)	Voice loss rate(%)		อัตราการส่งเฟรม/วินาที
			Fixed	Adaptive	
ตัวอย่างที่ 1	1024	327	11	8	11
ตัวอย่างที่ 2	512	198	7	6	17
ตัวอย่างที่ 3	256	120	5	3	29
ตัวอย่างที่ 4	128	74	2	1	47
ตัวอย่างที่ 5	64	48	0	0	72

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบอัลกอลิทึ่มกับตัวอย่างเฟรม 5 ตัวอย่าง



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูญหายของเฟรมเสียงกับขนาดเฉลี่ยของเฟรมข้อมูล

จากรูปที่ 4.5 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูญหายของเฟรมเสียงกับขนาดเฉลี่ยของเฟรมข้อมูลที่ส่งอยู่ในเครือข่ายเดียวกับเฟรมเสียง โดยแกน y คืออัตราการสูญหายของเฟรมและแกน x คือขนาดเฉลี่ยของเฟรมข้อมูล ประสิทธิภาพของทั้งสองอัลกอลิทึ่มที่แตกต่างกันโดยอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบแปรผันได้เส้นกราฟสีเขียว ให้ค่าอัตราการสูญหายของเฟรมที่น้อยกว่า อัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบคงที่เส้นกราฟสีน้ำเงิน แต่ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่ออัตราการสูญหายของเฟรมได้แก่ค่าเฉลี่ยขนาดของเฟรม กล่าวคือหากขนาดของเฟรมข้อมูลที่ส่งร่วมอยู่ในเครือข่ายเดียวกับเฟรมเสียงมีขนาดใหญ่ จะทำให้อัตราการรอคอยของเฟรมเสียงในแถวคอยมากตามไปด้วย หากเฟรมเสียงนั้นเดินทางมาถึงปลายทางไม่ทันกับเวลาที่จะต้องแปลงสัญญาณกลับมาเป็นเสียง เฟรมเสียงนั้นก็จะถือว่าสูญหาย จากรูปแสดงให้เห็นว่าขนาดเฉลี่ยของเฟรมข้อมูลที่ใหญ่ขึ้นจะทำให้อัตราการสูญหายของเฟรมเสียงมากขึ้นตามไปด้วยทั้งสองอัลกอลิทึ่ม ตัวอย่างที่มีเฟรมข้อมูลขนาดเล็กต้องมีอัตราการส่งข้อมูลที่มากกว่าตัวอย่างเฟรมข้อมูลที่มีขนาดใหญ่

ขนาดของเฟรมข้อมูลสูงสุดที่ทำให้อัตราการสูญหายของเฟรมเสียงอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ของอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบคงที่คือ 512 ไบต์ ส่วนของอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบแปรผันได้สามารถมีขนาดได้สูงสุดถึง 1024 ไบต์ แต่ถ้าต้องการคุณภาพเสียงที่ดี ขนาดเฟรมข้อมูลสูงสุดที่เป็นไปได้ของอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบคงที่คือ 256 ไบต์ ส่วนของอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบแปรผันได้ คือ 512 ไบต์

4.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเสียง

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเสียงที่ส่งผ่านบนเครือข่ายคอมพิวเตอร์สำหรับงานวิจัยนี้ใช้วิธีทดสอบแบบอัตนัย (Subjective test) โดยใช้มาตราฐานการทดสอบ ITU-T P.800 ที่เรียกว่าคะแนนความเห็นเฉลี่ย (Mean Opinion Score: MOS) ซึ่งมีการแบ่งระดับประสิทธิภาพของเสียงออกเป็น 5 ระดับ คือ 5-ดีมาก เสียงชัดเจนมากฟังครั้งเดียวสามารถจับใจความได้ 4-ดี เสียงชัดเจน สามารถจับใจความได้ 3-พอใช้ ต้องตั้งใจฟังจึงสามารถจับใจความได้ 2-แย่ ต้องตั้งใจฟังมากและเดาบางส่วนจึงจับใจความได้ 1-แย่มาก ไม่สามารถจับใจความได้

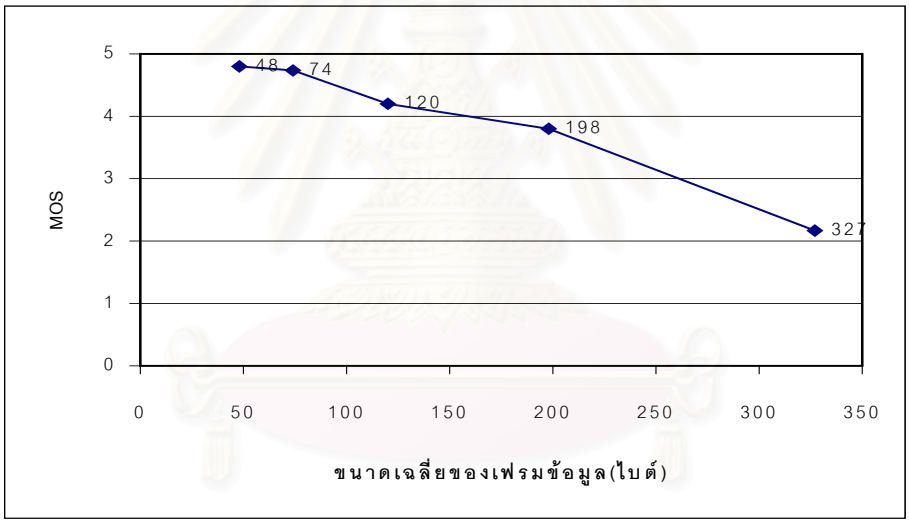
จากแบบสอบถามกลุ่มตัวอย่างประชากร 30 คน จากจำนวนประชากร 112 คนที่ได้ทำการฟังเสียงตัวอย่างจำนวน 5 ตัวอย่าง ซึ่งมีวิธีการสร้างเสียงตัวอย่างดังในบทที่ 3 ซึ่งด้วยคุณสมบัติของอุปกรณ์ VFRADที่มีนั้นใช้อัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบคงที่มีการกำหดค่าความล่าช้าสูงสุดของระบบไว้เท่ากับ 150 มิลลิวินาที โดยทั้ง 5 ตัวอย่างนี้จะมีขนาดเฟรมข้อมูลสูงสุดและขนาดเฟรมข้อมูลเฉลี่ยใกล้เคียงกับข้อมูลตัวอย่างซึ่งสร้างด้วยโปรแกรมจำลองทั้ง 5 ขุดที่ผ่านมา

สรุปผลการทดสอบคุณภาพของเสียงที่ได้จากกลุ่ม ตัวอย่างเพศชายจำนวน 60% เพศหญิงจำนวน 40% กลุ่มอายุเฉลี่ย 22 - 31 ปี ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตัวอย่างเสียงที่	ขนาดเฟรมข้อมูลสูงสุด (ไบต์)	ขนาดเฟรมข้อมูลเฉลี่ย (ไบต์)	คะแนนเฉลี่ย
1	1024	327	2.17
2	512	198	3.80
3	256	120	4.20
4	128	74	4.73
5	64	48	4.80

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบคุณภาพของเสียง

จากตารางสามารถนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเฟรมข้อมูลเฉลี่ยกับคะแนนคุณภาพของเสียงได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเฟรมข้อมูลกับคะแนน MOS

จากผลของแบบสอบพบว่าตัวอย่างที่ 2 ถึง 5 มีคะแนน MOS อยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ ส่วนตัวอย่างที่ 1 ขนาดของเฟรมข้อมูลเฉลี่ยเท่ากับ 327 ไบต์ มีคะแนน MOS ที่อยู่ในช่วงแย่ คือฟังแล้วไม่สามารถจับใจความได้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์และทดสอบค่าความหน่วงในการแปลงสัญญาณกลับเป็นเสียงและขนาดของเฟรมข้อมูลที่ส่งร่วมอยู่บนเครือข่ายเดียวกับเฟรมเสียง ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเสียง โดยผลของการวิจัยแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ

ส่วนแรกทำการทดสอบและเปรียบเทียบการทำงานของอัลกอลิทึ่มที่ใช้ในการคำนวณหาค่าเวลาหน่วงสองอัลกอลิทึ่มระหว่างอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบคงที่และอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบแปรผันได้ พร้อมทั้งทำการทดสอบขนาดของเฟรมข้อมูลที่ส่งร่วมอยู่บนเครือข่ายเดียวกับเฟรมเสียงเพื่อหาค่าขนาดของเฟรมข้อมูลที่ให้ประสิทธิภาพของระบบดีที่สุด คือให้ค่าอัตราการสูญหายของเฟรมเสียงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยปริมาณเฟรมข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดสอบได้จากการเก็บข้อมูลการใช้งานจริง

จากผลการวิเคราะห์และทดสอบการทำงานอัลกอลิทึ่มทั้งสองโดยใช้โปรแกรมจำลองการทำงานและใช้ปริมาณข้อมูลที่ส่งจากการเก็บตัวอย่างเครือข่ายที่ใช้เป็นกรณีศึกษา พบว่าที่ขนาดของเฟรมข้อมูลที่เก็บได้จากสาขาตัวอย่างมีขนาดเฟรมเฉลี่ย 314 ไบต์ อัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบแปรผันจะมีค่าอัตราการสูญหายของเฟรมเท่ากับ 8% น้อยกว่าอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบคงที่ซึ่งมีอัตราการสูญหายของเฟรมเสียง 10% และทำการทดสอบการทำงานของอัลกอลิทึ่มทั้งสองโดยใช้โปรแกรมจำลองการทำงาน ด้วยตัวอย่าง 5 ตัวอย่างที่มีขนาดของเฟรม ข้อมูลที่แตกต่างกัน พบว่าทั้งสองอัลกอลิทึ่ม เฟรมของข้อมูลที่มียิ่งขนาดใหญ่จะมีอัตราการสูญหายของเฟรมมากขึ้นตามไปด้วย โดยอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบแปรผันได้จะมีขนาดเฉลี่ยของเฟรมสูงสุดเท่ากับ 327 ไบต์ ที่อัตราการสูญหาย 8% ส่วนอัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบคงที่มีขนาดเฉลี่ยของเฟรมสูงสุดเท่ากับ 198 ไบต์ ที่อัตราการสูญหาย 7%

ส่วนที่สองคือการทดสอบคุณภาพของเสียงด้วยมาตราฐาน ITU-T P.800 Mean Opinion Score (MOS) โดยได้ทำเสียงตัวอย่างที่มีค่าขนาดของเฟรมข้อมูลสูงสุดและค่าขนาดเฉลี่ยของเฟรมข้อมูลที่ส่งร่วมอยู่กับ เฟรมเสียงที่แตกต่างกันจำนวน 5 ตัวอย่างที่ทดสอบด้วยโปรแกรมจำลองการทำงานของอัลกอลิทึ่มทั้งสอง ด้วยอุปกรณ์เครือข่ายที่ติดตั้งใช้งานจริง จากนั้นให้ประชากรกลุ่มตัวอย่างฟังแล้วให้คะแนนลงในแบบสอบถาม เพื่อนำแบบสอบถามกลับมาหาค่า MOS ให้กับเสียงตัวอย่างทั้ง 5 เสียง

ผลของแบบสอบถามจากประชากรกลุ่มตัวอย่างพบขนาดของเฟรมข้อมูลที่ส่งร่วมอยู่กับเฟรมเสียงมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับคะแนนคุณภาพของเสียงกล่าวคือขนาดเฟรมข้อมูลที่เล็กจะให้คะแนนคุณภาพเสียงที่มากและขนาดของเฟรมข้อมูลที่ใหญ่ก็จะให้คะแนนคุณภาพเสียงที่น้อย โดยที่คะแนนคุณภาพของเสียงที่ยอมรับได้อยู่ช่วงที่มีคะแนน MOS 3 ถึง 4 ดังนั้นขนาดของเฟรมเสียงที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดจึงเป็นขนาดของเฟรมข้อมูลสูงสุดที่ทำให้ได้คะแนนคุณภาพของเสียงอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ซึ่งในงานวิจัยนี้ค่าขนาดเฟรมข้อมูลเฉลี่ยที่ให้คุณภาพเสียงที่ยอมรับได้อยู่ที่ 198 ไบต์ ตามสภาพแวดล้อมที่ใช้ทดสอบของงานวิจัยนี้

จากผลการทดสอบด้วยโปรแกรมจำลองของทั้งสองอัลกอลิทึ่มและการทดสอบโดยแบบสอบถามจากเครือข่ายจริงเพื่อให้คะแนน MOS พบว่าหากปรับอุปกรณ์การเข้าถึงเฟรมรีเลย์ที่ติดตั้งอยู่ที่สาขาให้มีคุณสมบัติจากการหน่วงเวลาแบบคงที่เป็นการหน่วงเวลาแบบแปรผันได้จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการส่งเฟรมข้อมูลให้มีขนาดเฟรมเฉลี่ย 327 ไบต์ ซึ่งจะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 10%

5.2 **ข้อเสนอแนะ**

ปัจจุบันการบริการโทรศัพท์บนเครือข่ายคอมพิวเตอร์ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และส่วนใหญ่มีการพัฒนาบนเครือข่าย TCP/IP ซึ่งแพ็จเกจของเสียงจะทำงานอยู่ในเลเยอร์ที่ 3 ของมาตราฐานโอเอสไอ แต่ก็ยังคงต้องอาศัยอัลกอลิทึ่มในการลดอัตราการกระตุกของเสียง ซึ่งมีทั้ง อัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบคงที่และ อัลกอลิทึ่มเวลาหน่วงแบบแปรผันได้ อีกทั้งความสัมพันธ์ของขนาดของข้อมูลที่ส่งรวมกับเสียงก็ยังคงมีผลต่อคุณภาพของเสียง ดังนั้นในการวิจัยต่อไปจึงควรมีการศึกษาและพัฒนาอัลกอลิทึ่มที่ใช้ในการหาค่าความหน่วงของแพ็กเกจเสียงไว้ในบัพเฟอร์ที่ทำงานในเลเยอร์ 3 ของมาตราฐานโอเอสไอ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. พิพัฒน์ หิรัณย์วณิชชากร. ระบบการสื่อสารข้อมูลและเครือข่ายคอมพิวเตอร์. กรุงเทพ ฯ :ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2542.
2. มนัส สังวรศิลป์ และ วรรัตน์ ภัทรอมรกุล. คู่มือการใช้ MATLAB ฉบับบสมบูรณ์ 1. กรุงเทพ ฯ: อินโฟเพรส, 2543.
3. Andrew S. Tanenbaum. Computer Network. Third Edition :U.S.A.:Prentisc-Hall,1996.
4. Bert J. Dempsey, Matthew T. Lucas and Alfred C. Weaver. An Empirical Study of Packet Voice Distribution over a Campus-Wide Network. IEEE 0-8186-6680-3.94 pp 456 – 465,1994.
5. Black Uyless D. Frame relay networks specification and implementations. (n.p.) :Mc Graw-Hill,1998.
6. Brady P.T.. A statistical analysis of on-off patterns of speech:Bell Syst. Tech.J,1969.
7. Jan Thibodeau. The Basic Guide to Frame Relay Networking. Available from:http://www.frforum.com.
8. Jesus Pinto and Kenneth J. Christensen. An Algorithm for Playout of Packet Voice based on Adaptive Adjustment of Talkspurt Silence Periods. University of South Florida,1999.
9. KLEINROCK, L. Queueing system, volume 1: theory. John Wiley & Sons,1975.
10. L Dong, A.r. Kaye and S.A. Mahmoud. Transmission of Compressed Voice over Integrated Services Frame Relay Network:Priority Service and Adaptive Buildout Delay. IEEE Proc. Commun., 141(4):265-274,Aug 1994.
11. Phillip Deleon.and Cormac J. Sreenan An Adaptive Predictor for Media Playout Buffering. IEEE 0-7803-5041-3/99 pp 3097-3100,1999.
12. R.Ramjee, J, Kurose. D.Towsley and H. Schulzrinne Adaptive Playout Mechanisms for Packetized Audio Applications in Wide-Area Network. IEEE Proc Infocom Toronto, Canada pp 680-688 ,1994.
13. Rukhsana Ansari and A. Roger Kaye. Compressed Voice in Integrated Services Frame Relay Network: Voice Synchronization. IEEE Proc,1995.
14. Shuang Deng. Traffic Characteristics of Packet Voice IEEE Proc, Feb 1995.

15. Sue B. Moon, Jim Kurose and Don Towsley Packet Audio Playout Delay Adjustment:Performance Bounds and Algorithms. IEEE Networks Magazine,1997.

16. Stallings William. Data and Computer Communication. Sixth Edition :U.S.A.: Prentisc-Hall,1999.

17. T.J. Kostas, M.S. Borella, I. Sidhu, G.M. Schuster, J. Grabiec, J. Mahler, Real-Time Voice over Packet Switched Networks. IEEE Network 12:18-27, January/February 1998.

18. White Paper. Understanding Delay in Packet Voice Network. Available from: http://www.cisco.com.

19. Yi J. Liang, Nikolaus Farber and Bernd Girod. Adaptive Playout Scheduling using Time-Scale Modification in Packet Voice Communication. IEEE 0-7803-7041-4/01 pp 1445-1448,2001.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

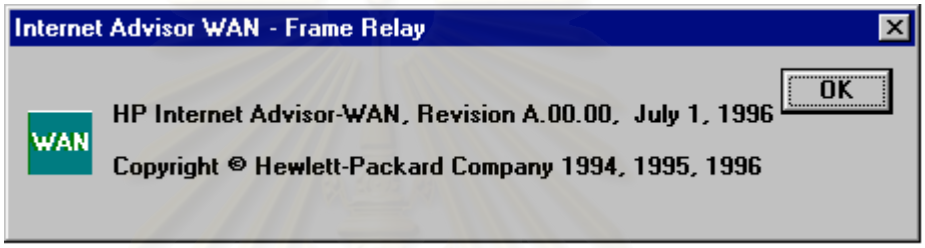
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีการเก็บข้อมูลจากเครือข่ายที่ใช้เป็นกรณีศึกษา

การเก็บข้อมูลตัวอย่างเพื่อนำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ ทำการเก็บข้อมูลการใช้งานผ่านเครือข่ายสื่อสารแบบเฟรมรีเลย์ โดยทำการเก็บข้อมูลการใช้งานเป็นจำนวน 30 นาทีต่อสาขา หลังจากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ยของเฟรมในขนาดต่าง ๆ และปริมาณของเฟรมในขนาดต่าง ๆ

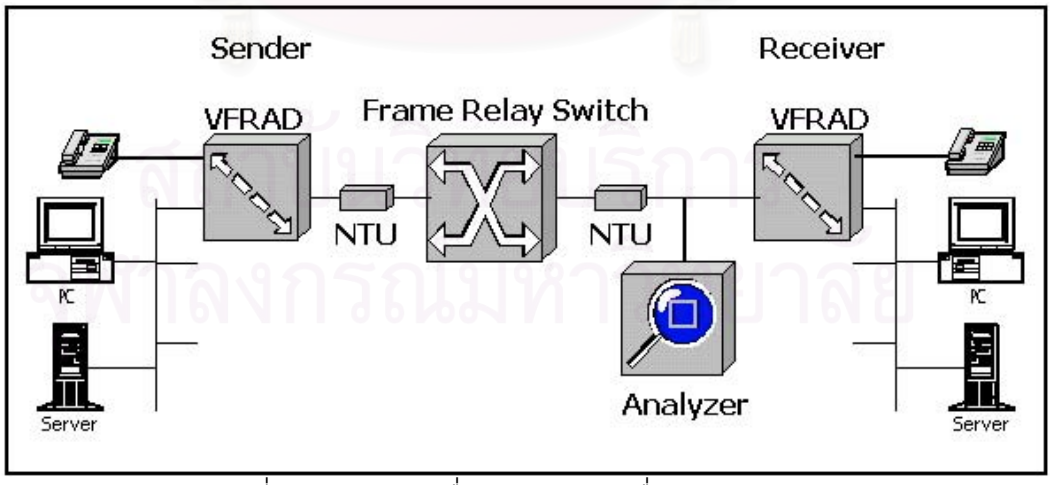
อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลใช้ Protocol Analyzer ยี่ห้อ HP และใช้ซอฟแวร์ HP Internet Advisor-WAN ดังรูป



รูปที่ ก.1 แสดงเกี่ยวกับโปรแกรม HP Internet Advisor

ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

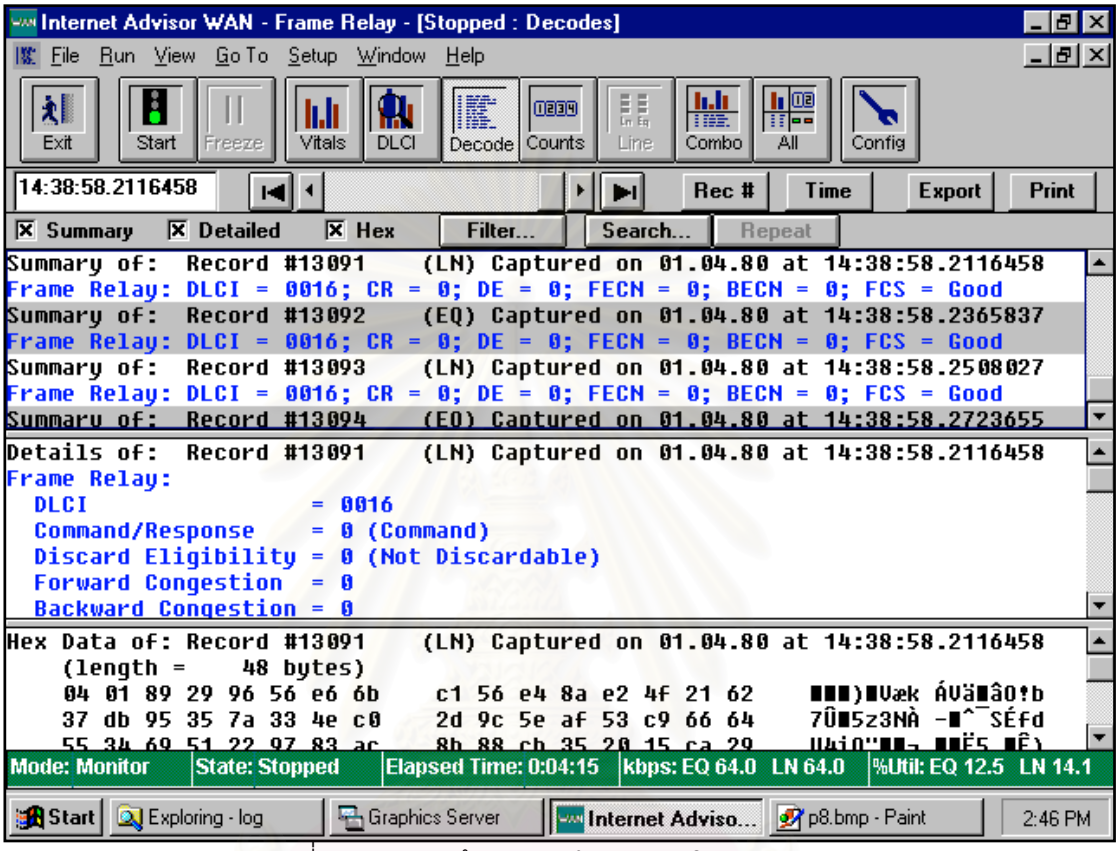
1. ติดตั้งอุปกรณ์ Protocol Analyzer โดยใช้สาย Y-Cable พ่วงต่อระหว่างอุปกรณ์ VFRAD กับ โมเด็ม NTU ดังรูป ก.2



รูปที่ ก.2 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์เพื่อเก็บข้อมูล

2. เรียกโปรแกรม Internet Advisor WAN

3. กดปุ่ม Start เพื่อเริ่มทำการ Capture ข้อมูลที่มีการส่งผ่านเครือข่าย โปรแกรมจะเริ่มเก็บข้อมูลดังรูป

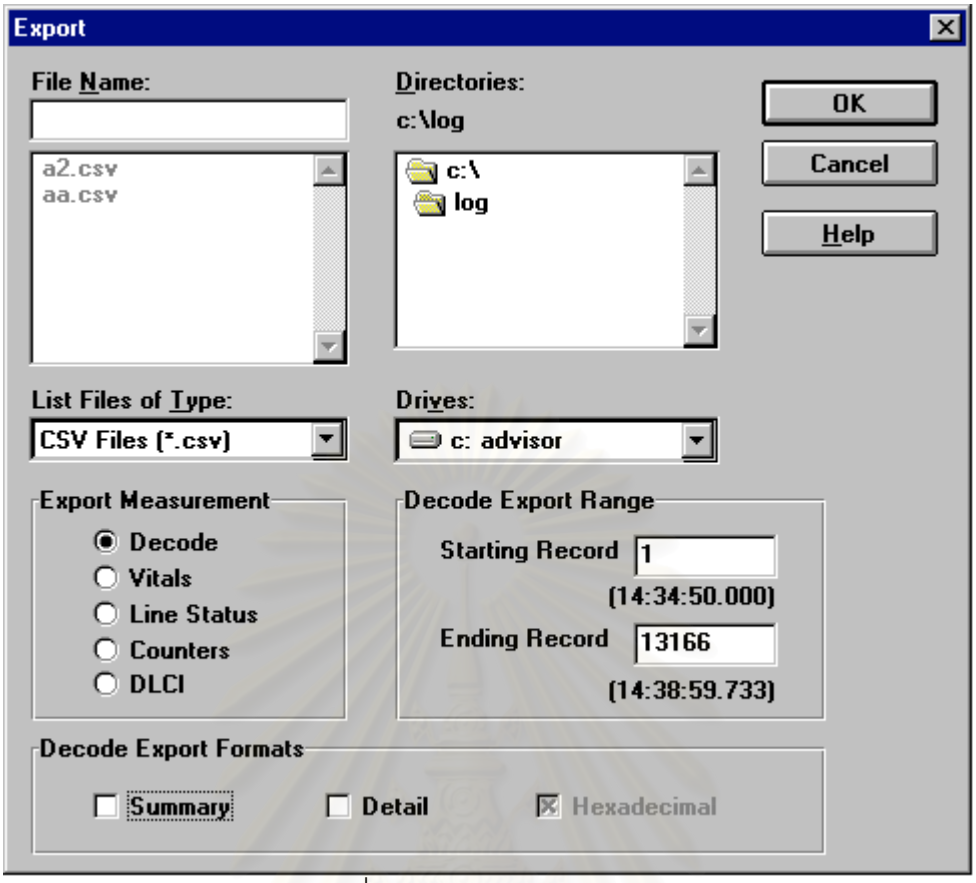


รูปที่ ก.3 แสดงหน้าจอการทำงานของโปรแกรมระหว่างการจับเฟรม

4. หลังจากได้ข้อมูลตามเวลาที่ต้องการแล้วกดปุ่ม Stop

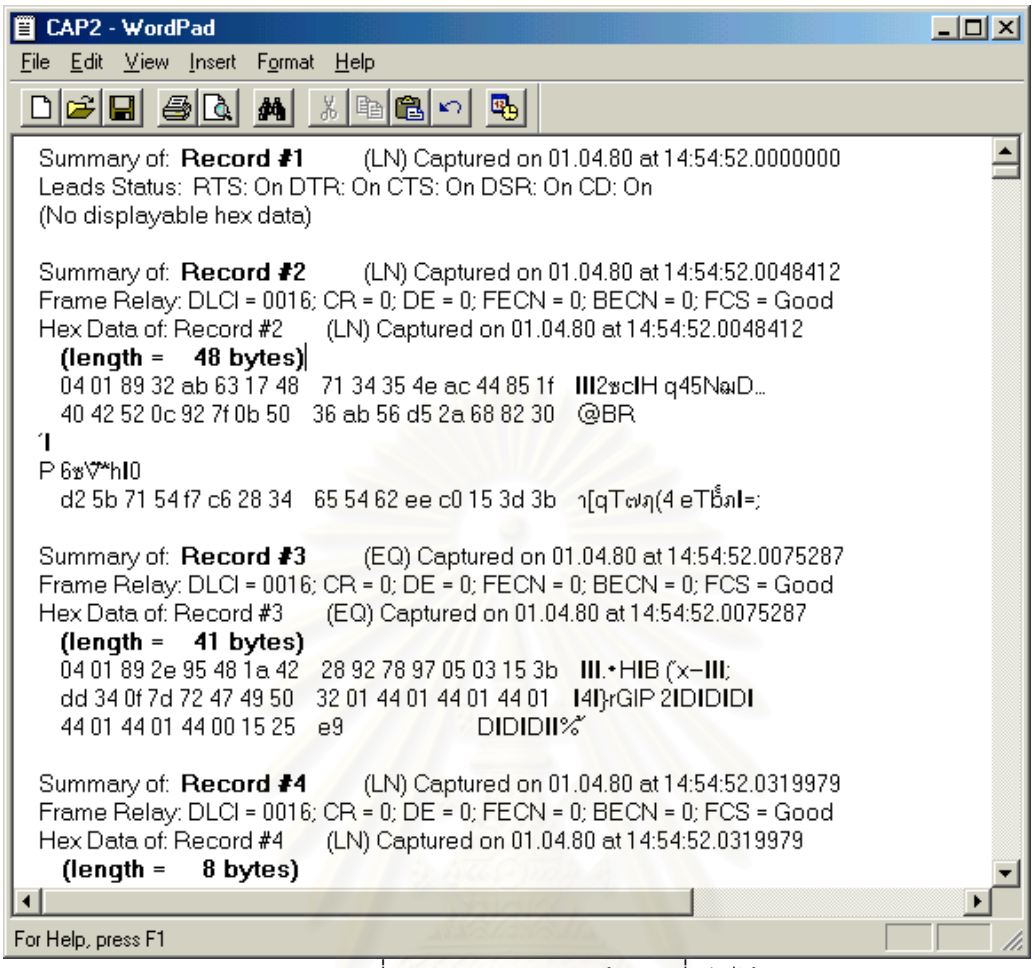
5. ทำการ Export ข้อมูลให้อยู่ในรูปของแฟ้มข้อมูลประเภท CSV ดังรูปที่ ก.4 เพื่อนำผลมานับปริมาณและขนาดของเฟรม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก.4 แสดงการนำข้อมูลออก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก.5 แสดงตัวอย่างข้อมูลที่เก็บได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

แบบสอบถามเพื่อการวิจัย

แบบสอบถามเรื่อง

การทดสอบขนาดของเฟรมข้อมูลที่มีผลต่อคุณภาพของการให้บริการทางเสียงผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์

แบบสอบถามชุดนี้มี 2 ตอนดังนี้

1. ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง
2. ข้อมูลคุณภาพของเสียง

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

1. เพศ ( ) 1. ชาย ( ) 2. หญิง

2. อายุ ( ) 1. 22 – 31 ปี

( ) 2. 32 – 41 ปี

( ) 3. 42 – 51 ปี

( ) 4. 52 – 60 ปี

ตอนที่ 2 ข้อมูลคุณภาพของเสียง

ให้ท่านฟังเสียงตัวอย่าง 5 เสียงแล้วพิจารณาทำเครื่องหมาย (/) ในตารางเพื่อให้คะแนนตามเกณฑ์ดังนี้

คะแนน 5 ดีมาก เสียงชัดเจนมากฟังครั้งเดียวสามารถจับใจความได้

4 ดี เสียงชัดเจน สามารถจับใจความได้

3 พอใช้ ต้องตั้งใจฟังจึงสามารถจับใจความได้

2 แย่ ต้องตั้งใจฟังมากและเดาบางส่วนจึงจับใจความได้

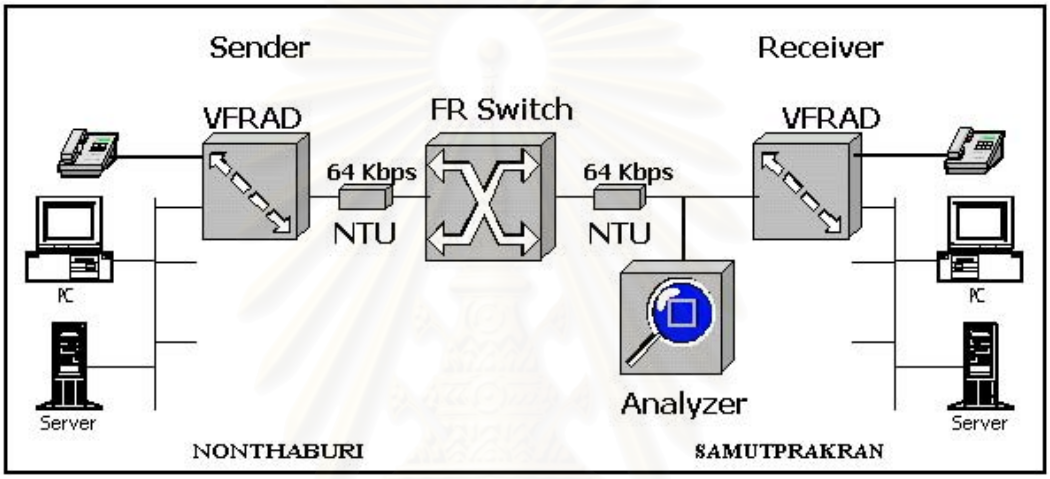
1 แย่มาก ไม่สามารถจับใจความได้

ตัวอย่างเสียงที่	ระดับคุณภาพของเสียง				
	ดีมาก	ดี	พอใช้	แย่	แย่มาก
1					
2					
3					
4					
5					

ภาคผนวก ค.

รูปแบบและการกำหนดค่าอุปกรณ์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเสียง

เพื่อทำการสร้างตัวอย่างเสียง 5 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของเสียงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์และสภาพแวดล้อมเครือข่ายที่ใช้งานจริงผู้วิจัยจึงได้เลือกสาขาของ ธ.ก.ส. จำนวนสองสาขาคือ สาขานนทบุรี เป็นสาขาผู้ส่ง และสาขาสมุทรปราการเป็นสาขาผู้รับ โดยมีรูปแบบการเชื่อมต่อดังรูปที่ ค.1



รูปที่ ค.1 รูปแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์เพื่อทำการทดสอบ

โดยทำการกำหนดค่าลงบนอุปกรณ์ทั้งฝั่งผู้ส่งและฝั่งผู้รับเพื่อให้ได้ขนาดเฉลี่ยของเฟรมเสียงจำนวน 5 ตัวอย่าง :ซึ่งการกำหนดค่าบนอุปกรณ์นั้นแสดงได้ดังนี้

อุปกรณ์ VFRAD ฝั่งผู้ส่งสาขานนทบุรี

Node Name: Nonthaburi

Node Address: 12022

Port Record Examination: Port 1

[1] *Port Type: FRI

[1] Connection Type: SIMP

[1] Clock Source: EXT

[1] Clock Speed: 64000

Port Record Examination: Port 10

[10] *Port Type: VOICE

[10] Interface Type: FXS

[10] Compression Rate (KHz): 8k

FRI station examination: port 1, station 1

[1] *Station Type: ANNEX_G

[1] *Station Circuit Type: PVC

[1] DLCI: 16

[1] Committed Information Rate (CIR): 64000

[1] Number of SVC Channels: 16

[1] Starting SVC Channel Number: 1

[1] Number of Voice SVC Channels: 2

[1] Initial Frame: SABM

[1] P Packet Size: **256**

ปรับค่าตามขนาดเฟรมสูงสุดในตาราง

อุปกรณ์ VFRAD ฝั่งผู้รับสาขาสมุทรปราการ

Node Name: Samutprakran

Node Address: 12059

Port Record Examination: Port 1

[1] *Port Type: FRI

[1] Connection Type: SIMP

[1] Clock Source: EXT

[1] Clock Speed: 64000

Port Record Examination: Port 10

[10] *Port Type: VOICE

[10] Interface Type: FXS

[10] Compression Rate (KHz): 8k

FRI station examination: port 1, station 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[1] *Station Type: ANNEX_G

[1] *Station Circuit Type: PVC

[1] DLCI: 16

[1] Committed Information Rate (CIR): 64000

[1] Number of SVC Channels: 16

[1] Starting SVC Channel Number: 1

[1] Number of Voice SVC Channels: 2

[1] Initial Frame: SABM

[1] P Packet Size: **256**

ปรับค่าตามขนาดเฟรมสูงสุดในตาราง

ค่าขนาดของเฟรมเฉลี่ยที่ส่งผ่านในเครือข่ายสามารถดูได้จากเมนู Status and Statistics ดังรูปที่ ง.2

```
Detailed FRI Port Statistics: Port 1                    Page:  1 of  6

 Port Speed: 64000     Operating Control Protocol: Annex-D  Protocol Role: DTE
 Port Status: Up         SP-Backup: Not Configured    Priority Station: 0

 Data Summary:                  Last Statistics Reset: 17-MAY-1999 19:50:07
                    IN      OUT                          IN      OUT
  Characters: 1144      1115        Characters/sec: 2        2
  Frames:       80        82          Frames/sec:     0        0
  Av Fr size:  144       142         Port Util.:     10%      8%

 Frame-Relay /  Physical Summary (FBOP):
  Overrun: 0       Underrun: 0       CRC: 0       Non-Octet Aligned: 0
  Frame Length Err: 0       Unknown DLCI Err: 0     Last Unknown DLCI: 0

 Interface Summary:  EIA-232-D  DTE          INPUT           OUTPUT
                                          DSR DCD RI CTS    DTR RTS P14
 State: Connected (SIMPLE)                 H   H    L   L      H   H   H
```

รูปที่ ค.2 แสดงค่าขนาดของเฟรมเฉลี่ย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย พงษ์เทพ พรหมศิริ สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ จากสถาบันราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา เมื่อ พ.ศ. 2538 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ ที่จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2542

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย