โปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP

VoIP Network Design Assistant Tool

นางสาวทิตติโสม ศักดิ์สอ รหัส 45380043

i 608054.

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 15 ก.ค. 2550
เลขทะเบียน 5000069
เลขเรียกหนังสือ ปร
มหาวิทยาลัยนเรศวร ปี44 ป
2549

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2549

ใบรับรองโครงการวิศวกรรม

หัวข้อโครงงาน	โปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวทิตติโสม ศักดิ์สอ รหัส 45380043
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชาติ แย้มเม่น
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2549

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะกรรมการตรวจสอบโครงงานวิศวกรรม

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชาติ แย้มเม่น)

..... กรรมการ
(ดร.ไพศาล มุณีสว่าง)

..... กรรมการ
(ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล)

หัวข้อโครงงาน	โปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP (VoIP Network Design Assistant Tool)
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวทิตติโสม ศักดิ์สอ รหัส 45380043
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชาติ แย้มเม่น
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2549

บทคัดย่อ

การประยุกต์นำโครงข่ายข้อมูลมาใช้ส่งสัญญาณเสียงแทนการส่งผ่านโครงข่ายโทรศัพท์ หรือการส่งสัญญาณเสียงบนโครงข่ายไอพี (Voice Over IP:VoIP) เป็นรูปแบบที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายและสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่ารูปแบบอื่น แต่เนื่องจากโครงข่ายไอพีไม่ได้ถูกออกแบบมาสำหรับใช้งานกับทราฟฟิก (Traffic) ประเภท Delay Sensitive ดังนั้นการออกแบบโครงข่าย VoIP จึงต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของการให้บริการสัญญาณเสียงรวมถึงต้นทุน และค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการดำเนินงานด้วย

โปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP (VoIP Network Design Assistant Tool) สามารถคำนวณหาอุปกรณ์หลักต่างๆ อาทิเช่น ขนาดของเกตเวย์ จำนวนของ Gatekeeper ขนาดของสื่อสัญญาณที่ใช้ในแต่ละเส้นทาง ตำแหน่งหรือจุดที่ควรเป็นโหนดหลัก คำนวณหาแบนด์วิดท์ต่อวงจรตามข้อมูลความต้องการใช้งานของระบบโครงข่าย VoIP และแสดงผลการคำนวณในรูปแบบกราฟฟิกเป็นโครงสร้างของโครงข่าย VoIP ทั้งหมดพร้อมทั้งแสดง ขนาดของเกตเวย์ ขนาดของสื่อสัญญาณในแต่ละเส้นทาง จำนวน Gatekeeper และการจัดโซนเพื่อแบ่งพื้นที่ในการดูแลเกตเวย์

ผลที่ได้จากการทำโครงงานนี้คือ ได้โปรแกรมในการหาขนาดอุปกรณ์หลักภายในโครงข่ายและขนาดของสื่อสัญญาณในแต่ละเส้นทาง การทำงานของโปรแกรมจะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของคุณภาพการให้บริการสัญญาณเสียง เมื่อปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อคุณภาพของการให้บริการเสียงมีการเปลี่ยนแปลงไป จึงสามารถนำมาเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์และตัดสินใจหารูปแบบโครงข่ายที่เหมาะสมและสอดคล้องตามปริมาณความต้องการใช้งานและค่าใช้จ่ายในเบื้องต้น ซึ่งช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถออกแบบได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น

Project Title	VoIP Network Design Assistant Tool
Name	Miss Tittisom Saksoe ID. 45380043
Project Advisor	Assist. Prof. Suchart yammen
Major	Computer Engineering
Department	Electrical and Computer Engineering
Academic Year	2006

ABSTRACT

Nowadays, telecommunication technology is applied to deliver the voice traffic over packet switched network instead of the delivery voice via Pubic Switch Telephone Network (PSTN). VoIP technology is the cost effective voice transmission system since Internet Protocol is the most widely used protocol. However, IP Network is not designed to support delay sensitive traffic such as voice traffic; therefore, VoIP network design has to concern with many factors which effect on quality of service, investment, and operating cost.

VoIP Network Design Assistant Tool is able to calculate important designed factors e.g. Gateway sizing, Gatekeeper sizing, IP link sizing, etc. The calculation will be displayed as VoIP Network graphic, Gateway sizing, Gatekeeper quantities, IP link sizing and Gateway administration zoning.

The result of this project gives VoIP Network Design Assistant Tool which is a program to help verifying main equipment sizing and IP link sizing. The operation will show the difference of the quality of voice service when designed factors are changed. The result can be analyzed and considered to verify the suitable design for requirement and operating cost. This leads to help the designer make more convenient and quicker.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงานโปรแกรมการออกแบบโครงข่าย VoIP ได้ดำเนินงานจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชาติ แย้มเม่น ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน และขอกราบขอบพระคุณ ดร.ไพศาล มุณีสว่าง และ ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล คณะกรรมการตรวจสอบการศึกษาโครงงานฉบับนี้ ที่กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าในการช่วยตรวจสอบโครงงาน รวมทั้งขอขอบคุณบิดา มารดา และเพื่อนๆ ทุกคนที่ได้ให้คำปรึกษา ข้อคิดเห็นและเป็นกำลังใจในการจัดทำโครงงานฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอให้โครงงานฉบับนี้สามารถให้ประโยชน์กับบุคคลที่สนใจเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาหรือนำไปใช้งานให้เกิดประโยชน์ยิ่งขึ้น ถ้ามีข้อผิดพลาดหรือข้อบกพร่องประการใดในโครงงานฉบับนี้ ข้าพเจ้าผู้จัดทำขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูป	ญ
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบข่ายของโครงงาน	2
1.4 ขั้นตอนของการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	3
1.6 งบประมาณ	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ความหมายของเทคโนโลยี VoIP	4
2.2 ลักษณะการทำงานของ VoIP	5
2.3 หน้าที่และคุณสมบัติของอุปกรณ์ในโครงข่าย VoIP	6
2.3.1 เกตเวย์	6
2.3.2 อุปกรณ์เน็ทเวิร์ก (Network Equipment)	6
2.3.3 Gatekeeper	6
2.3.4 ระบบบริหารโครงข่าย (Network Management System)	7
2.3.5 RADIUS/AAA Server	7
2.4 โพรโตคอลและมาตรฐานของ VoIP	7
2.4.1 โพรโตคอลของ VoIP	7
2.4.2 มาตรฐานที่ใช้ใน VoIP	11

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.5 รูปแบบการให้บริการ VoIP 13

2.6 คุณภาพการให้บริการของ VoIP 14

2.7 แนวโน้มของบริการ VoIP..... 15

2.8 ปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบโครงข่าย VoIP 16

2.8.1 ชนิดของการเข้ารหัสสัญญาณเสียงหรือชนิดของการบีบอัดสัญญาณ (Voice Coder Type/ Compression Type)..... 16

2.8.2 Voice Activity Detection (VAD) หรือ Silence Suppression..... 16

2.8.3 ขนาดของแพ็คเก็ตไอพี (IP Packet Size)..... 16

2.8.4 ทรานสปอร์ตโพรโตคอล (Transport Protocol)..... 17

2.8.5 คอนโทรลโพรโตคอล (Control Protocol)..... 18

2.8.6 ดาต้าลิงค์โพรโตคอล (Data Link Protocol)..... 18

2.8.7 End to End Delay..... 18

2.8.8 จำนวนโหนดของชุมสายต่อที่ผ่านที่ยอมรับได้ (No.of Acceptable Tandems)..... 20

2.8.9 ความสามารถในการควบคุมจัดการปริมาณเทราฟฟิกของ Gatekeeper 20

2.8.10 ประสิทธิภาพการใช้งานวงจรสื่อสัญญาณ (Line Utilization)..... 21

2.8.11 ความเร็วของสื่อสัญญาณ (Line Speed)..... 21

2.8.12 ลักษณะโครงสร้างของโครงข่าย (Network Configuration) 21

2.9 หลักการคำนวณ..... 23

2.9.1 การคำนวณหาขนาดของเกตเวย์ในแต่ละโหนด..... 23

2.9.2 การคำนวณหาจำนวน Gatekeeper 25

2.9.3 คำนวณหาขนาดของแบนด์วิดท์ต่อวงจร (กิโลบิทต่อวินาที)..... 26

2.9.4 การคำนวณหาขนาดของสื่อสัญญาณที่เชื่อมระหว่างโหนด (IP Link)... 27

2.9.5 คำนวณหาค่าความล่าช้าของการส่งสัญญาณ (End to End Delay)..... 28

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรม

3.1 ลักษณะการทำงานของโปรแกรม..... 30

3.2 โครงสร้างโปรแกรม..... 31

3.3 การพัฒนาโปรแกรม..... 32

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.3.1 เครื่องมือที่ช่วยในการพัฒนาโปรแกรม..... 32

3.3.2 ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบและพัฒนาโปรแกรม..... 32

3.3.3 สมมติฐานที่ใช้ในการออกแบบโครงข่าย VoIP 36

3.3.4 การพัฒนาโปรแกรมในแต่ละส่วน..... 37

3.4 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่ายVoIP 50

3.5 คุณสมบัติของโปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP..... 54

บทที่ 4 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP

4.1 ลักษณะและคุณสมบัติของโครงข่าย VoIP ที่ต้องการออกแบบ..... 56

4.2 แนวคิดของผู้ออกแบบโครงข่าย VoIP 59

4.2.1 ปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบโครงข่าย VoIP ที่กำหนดให้เป็นปัจจัยคงที่ตามความต้องการของโครงข่าย VoIP และตามแนวคิดของผู้ออกแบบ 59

4.2.2 ปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบโครงข่าย VoIP ที่เป็นตัวแปรที่ต้องการเปรียบเทียบผล..... 59

4.3 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP..... 60

4.3.1 กำหนดข้อมูลการความต้องการด้านการออกแบบโครงข่ายในเฟรม VoIP Parameter..... 60

4.3.2 กำหนดข้อมูลส่วนลักษณะโครงสร้างของโครงข่าย..... 63

4.3.3 กำหนดข้อมูลด้านปริมาณเทราฟฟิก..... 64

4.4 ผลการออกแบบโครงข่าย VoIP..... 66

4.4.1ผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 1 66

4.4.2 ผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 2 67

4.4.3 ผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 3 68

4.4.4 ผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 4 69

4.5 สรุปผลการออกแบบ 70

บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล..... 72

5.2 อุปสรรคในการพัฒนาและการแก้ไข..... 73

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต..... 73

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

เอกสารอ้างอิง..... 75

ภาคผนวก ก. 76

ภาคผนวก ข. 87

ภาคผนวก ค. 91

ภาคผนวก ง 92

ภาคผนวก จ 95

ประวัติผู้เขียนโครงงาน..... 98

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติหลักของ Voice Coder ตามมาตรฐานของ ITU-T	11
2.2 การจัดระดับคุณภาพของสัญญาณเสียงโดยวัดจากการฟัง	15
2.3 ตัวอย่างการคำนวณ End to End Delay	20
2.4 ข้อจำกัดของจำนวนชุมสายต่อผ่านที่ยอมรับได้ตามประเภทของ Voice Coder	20
3.1 คุณสมบัติของ Voice Coder หรือการบีบอัดสัญญาณแต่ละประเภท	33
3.2 ขนาดของเฮดเดอร์ทรานสปอร์ตโพรโตคอลที่ใช้ในโครงข่าย VoIP	33
3.3 โครงสร้างของดาต้าลิงค์โพรโตคอล	34
3.4 อัตราค่าเช่าวงจรในประทศไทยประเภทที่ 1 ตามระเบียบขององค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย (หน่วย : บาท)	34
3.5 ตัวอย่างข้อมูลระยะทางและช่วงระยะทางเพื่อใช้ประกอบในการคิดค่าเช่าวงจร จากต้นทางถึงปลายทาง	35
3.6 ตัวอย่างตาราง Erlang B แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Probability of Blocking (E_1) กับจำนวนวงจร (n) เมื่อทราบค่าทราฟฟิกที่เข้ามา (Traffic Offered :Ao)	36
4.1 โครงข่าย VoIP ขนาด16 โหนดใน 4 พื้นที่	57
4.2 ข้อมูลการปริมาณการใช้งานโทรศัพท์สำหรับการโทรเข้าและโทรออกภายในช่วงเวลา 1 วัน	58
ก.1 การกำหนดค่าประเภทของ Voice Coder	78
ก.2 การกำหนดค่า Voice Activity Detection	78
ก.3 การกำหนดค่า Voice Sampling Interval	79
ก.4 การกำหนดค่า Voice Sample per IP Packet	79
ก.5 การกำหนดทรานสปอร์ตโพรโตคอลที่ใช้ในชั้นที่ 3-5	79
ก.6 การกำหนดอัตราส่วนของสัญญาณควบคุมต่อข้อมูลที่ส่ง	80
ก.7 การกำหนดชนิดของโพรโตคอลที่ใช้ในชั้นดาต้าลิงค์	80
ค.1 อัตราค่าเช่าวงจรในประทศไทยประเภทที่ 1 ตามระเบียบองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย (หน่วย: บาท)	91
ง.1 ตัวอย่างข้อมูลระยะทางและช่วงระยะทางเพื่อใช้ประกอบในการคิดค่าเช่าวงจรจากต้นทางถึงปลายทาง	92
จ.1 ตัวอย่างตางราง Erlang B แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Probability of Blocking (E_1)	95

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

กับจำนวนวงจร (n) เมื่อทราบค่าทราฟฟิกที่เข้ามา (Traffic Offered :Ao)

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ความแตกต่างระหว่างการส่งสัญญาณเสียงผ่านโครงข่ายโทรศัพท์กับผ่านโครงข่ายไอพี	4
2.2	ลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ในโครงข่าย VoIP	5
2.3	โพรโตคอลของ VoIP เทียบกับ OSI 7 Layer และโพรโตคอล IP	7
2.4	รูปแบบแพ็คเก็ตของโพรโตคอลของ RTP	10
2.5	รูปแบบแพ็คเก็ตของโพรโตคอลของ RTCP	10
2.6	ลักษณะการเชื่อมต่อและการทำงานร่วมกันของเทอร์มินัล H.323	12
2.7	ความล่าช้าในการส่งข้อมูลผ่านโครงข่ายไอพี	14
2.8	ระดับคุณภาพของสัญญาณเสียงเปรียบเทียบในเชิงปริมาณทราฟฟิกที่สูญหายกับความล่าช้าของสัญญาณในการส่งผ่านโครงข่ายไอพี	15
2.9	โครงสร้างของโครงข่าย VoIP แบบ 1 พื้นที่	21
2.10	โครงสร้างของโครงข่าย VoIP แบบ 2 พื้นที่	22
2.11	โครงสร้างของโครงข่าย VoIP แบบ 3 พื้นที่	22
2.12	โครงสร้างของโครงข่าย VoIP แบบ 4 พื้นที่	22
2.13	โครงสร้างของโครงข่าย VoIP แบบ 5 พื้นที่	23
3.1	โครงสร้างการทำงานของโปรแกรม	32
3.2	ส่วนติดต่อกับผู้ใช้เพื่อกำหนดความต้องการด้านการออกแบบโครงข่าย	38
3.3	ตัวอย่างการกำหนดค่าความต้องการด้านการออกแบบโครงข่าย	39
3.4	ส่วนติดต่อกับผู้ใช้เพื่อกำหนดลักษณะโครงสร้างโครงข่าย	40
3.5	ตัวอย่างการกำหนดความต้องการโครงข่ายในส่วนกำหนดลักษณะโครงสร้างโครงข่าย	41
3.6	ส่วนติดต่อกับผู้ใช้เพื่อกำหนดความต้องการด้านปริมาณทราฟฟิก	42
3.7	ส่วนติดต่อกับผู้ใช้เพื่อใช้แสดงผลการออกแบบโครงข่าย	43
3.8	ขั้นตอนการคำนวณในการส่วนออกแบบโครงข่าย	44
3.9	Pseudo Code ส่วนการคำนวณหาค่า Bandwidth per Voice Channel	45
3.10	Pseudo Code ส่วนการคำนวณค่า BHCA ของแต่ละโหนด	46
3.11	Pseudo Code ส่วนการคำนวณหาจำนวนวงจรจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง	46

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.12	Pseudo Code ส่วนการคำนวณหาขนาดของ Gateway	47
3.13	Pseudo Code ส่วนการตรวจสอบและกำหนดโหนด Edge และ Core	47
3.14	Pseudo Code ส่วนการคำนวณค่าปริมาณทราฟฟิกระหว่างพื้นที่	48
3.15	Pseudo Code ส่วนการคำนวณค่า BHCA ของแต่ละพื้นที่	48
3.16	Object ที่เป็นองค์ประกอบหลักๆ ของไมโครซอฟท์เอ็กเซล	49
3.17	หน้าจอการคำนวณหาจำนวนวงจรโดยใช้ไมโครซอฟท์เอ็กเซล	50
3.18	แผนผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP	51
4.1	ลักษณะโครงสร้างของโครงข่าย VoIP ที่ต้องการออกแบบ	56
4.2	ตัวอย่างการกำหนดข้อมูลการออกแบบในเฟรม VoIP Parameter และการแสดงผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 1	60
4.3	ตัวอย่างการกำหนดข้อมูลการออกแบบในเฟรม VoIP Parameter และการแสดงผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 2	61
4.4	ตัวอย่างการกำหนดข้อมูลการออกแบบในเฟรม VoIP Parameter และการแสดงผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 3	62
4.5	ตัวอย่างการกำหนดข้อมูลการออกแบบในเฟรม VoIP Parameter และการแสดงผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 4	63
4.6	ตัวอย่างการกำหนดข้อมูลทราฟฟิกเมทริกซ์ขนาด 16 โหนด 4 พื้นที่	64
4.7	หน้าจอการกำหนดข้อมูลปริมาณทราฟฟิกในทราฟฟิกเมทริกซ์	65
4.8	หน้าจอการคำนวณจำนวนวงจรโดยใช้ไมโครซอฟท์เอ็กเซล	66
4.9	ตัวอย่างผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 1	67
4.10	ตัวอย่างผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 2	68
4.11	ตัวอย่างผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 3	69
4.12	ตัวอย่างผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 4	70
ก.1	หน้าจอโปรแกรมหลัก VoIP Parameter	77
ก.2	หน้าจอทราฟฟิกเมทริกซ์ค่าเริ่มต้น	81
ก.3	ตัวอย่างการกำหนดทราฟฟิกเมทริกซ์ขนาด 16 โหนดใน 4 พื้นที่	82
ก.4	หน้าจอการกำหนดค่าปริมาทราฟฟิกในทราฟฟิกเมทริกซ์	83
ก.5	หน้าจอการคำนวณจำนวนวงจรโดยใช้ ไมโครซอฟท์เอ็กเซล	84
ก.6	ผลการออกแบบเป็นโครงสร้างของโครงข่าย VoIP	85

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

ก.7 ตัวอย่างตารางค่าเช่าวงจรในประเทศไทยประเภทที่ 1..... 86

ประมวลศัพท์และคำย่อ

AAA	=	Authentication/Authorization/Accounting
ATM	=	Asynchronous Transfer Mode
ATM-AAL1	=	Asynchronous Transfer Mode – ATM Adaptive Layer 1
ATM-AAL5	=	Asynchronous Transfer Mode – ATM Adaptive Layer 5
BHCA	=	Busy Hour Call Attempt
CRTP	=	Compressed Real Time Protocol
DTMF	=	Dual Tone Multi Frequency
FR	=	Frame Relay
ISDN	=	Integrated Services Digital Network
IP	=	Internet Protocol
ITU-T	=	International Telecommunication Unions – Telecommunications (Standardization) [formerly: CCITT]
LAN	=	Local Area Network
MOS	=	Mean Opinion Score
NMS	=	Network Management System
OSI	=	Open Standard Interconnection
PCM	=	Pulse Code Modulation
PPP	=	Point to Point Protocol
PSTN	=	Public Switch Telephone Network
RTP	=	Real Time Protocol
RTCP	=	Real Time Control Protocol
UDP	=	User Datagram Protocol
VAD	=	Voice Activity Detection
VoIP	=	Voice over Internet Protocol
WAN	=	Wide Area Network

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านการสื่อสารโทรคมนาคมได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว เพื่อตอบสนองกับปริมาณการใช้งานด้านการสื่อสารข้อมูลที่เพิ่มขึ้น จึงได้มีการประยุกต์นำโครงข่ายข้อมูลมาใช้ส่งสัญญาณเสียงแทนการส่งผ่านโครงข่ายโทรศัพท์ อาทิเช่น Voice over IP (VoIP), Voice over Frame Relay (VoFR), Voice over ATM (VoATM) เนื่องจากมีต้นทุนและค่าใช้จ่ายสำหรับการโทรศัพท์ทางไกลถูกกว่าการส่งผ่านโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน (PSTN) มาก โดยมีการปรับปรุงและพัฒนาเทคโนโลยีของโครงข่ายข้อมูลเพื่อให้สามารถรองรับคุณภาพการให้บริการของการส่งสัญญาณเสียง ซึ่งจัดเป็นทราฟฟิกประเภท Delay Sensitive ได้

การส่งสัญญาณเสียงผ่านโครงข่าย VoIP เป็นรูปแบบที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องมาจากโพรโตคอล (Protocol) อินเทอร์เน็ตมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ประกอบกับสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่ารูปแบบอื่น แต่เนื่องจากโครงข่ายไอพีไม่ได้ถูกออกแบบมาสำหรับใช้งานกับทราฟฟิก (Traffic) ประเภท Delay Sensitive ดังนั้นการออกแบบโครงข่าย VoIP เพื่อให้สามารถรองรับการสื่อสารแบบส่งสัญญาณเสียงได้นั้น จึงต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพการให้บริการรวมถึงต้นทุนและค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการดำเนินงานด้วย

ดังนั้นโครงงานนี้จึงได้ทำการศึกษาและนำเสนอแนวทางการออกแบบโครงข่าย VoIP ที่เชื่อมต่อกับโครงข่าย PSTN เพื่อใช้ในการส่งสัญญาณเสียงจากโทรศัพท์ถึงโทรศัพท์ โดยมุ่งเน้นการหาขนาดของอุปกรณ์หลักในโครงข่ายและขนาดของสื่อสัญญาณ เพื่อให้สามารถรักษาระดับคุณภาพการให้บริการของสัญญาณเสียงได้ โดยแนวทางที่ศึกษาได้นี้จะสามารถนำไปช่วยในการออกแบบโครงข่าย VoIP ของผู้ให้บริการใช้เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์และตัดสินใจเพื่อหารูปแบบโครงข่ายที่เหมาะสมและสอดคล้องกับปริมาณการใช้งานภายในโครงข่าย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาเทคโนโลยี VoIP
2. เพื่อศึกษาการทำงานและปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการออกแบบโครงข่าย VoIP สำหรับส่งทราฟฟิกประเภทสัญญาณเสียง
3. เพื่อนำเสนอกระบวนการที่ใช้ในการออกแบบโครงข่าย VoIP เพื่อรองรับการส่งสัญญาณเสียงจากโทรศัพท์ถึงโทรศัพท์

4. เพื่อนำเสนอโปรแกรมที่ช่วยในการออกแบบโครงข่าย VoIP โดยมุ่งเน้นการหาขนาด ของอุปกรณ์หลักและขนาดของสื่อสัญญาณที่ใช้ในแต่ละเส้นทาง

1.3 ขอบข่ายของโครงงาน

1. นำเสนอกระบวนการออกแบบโครงข่าย VoIP โดยคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์หลักในโครงข่าย VoIP ขนาดของสื่อสัญญาณที่ใช้ในแต่ละเส้นทาง ตำแหน่งหรือจุดที่ควรเป็นโหนดหลัก
2. ออกแบบโครงข่าย VoIP ให้เหมาะสมกับปริมาณการใช้งานโดยคำนึงถึงคุณภาพของการให้บริการและประสิทธิภาพการใช้งานของวงจรเพื่อรองรับทราฟฟิกประเภทสัญญาณเสียงที่รับส่งมาจากโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะหรือโครงข่ายส่วนตัว
3. พัฒนาโปรแกรมที่ช่วยในการออกแบบโครงข่าย VoIP

1.4 ขั้นตอนของการดำเนินงาน

กิจกรรม	ปี 2549		ปี 2550		
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับเทคโนโลยี VoIP	←	→			
2. ศึกษาการทำงานและปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการออกแบบโครงข่าย VoIP สำหรับส่งทราฟฟิกประเภทสัญญาณเสียง	←	→			
3. ออกแบบโครงข่าย VoIP ให้เหมาะสมกับปริมาณการใช้งาน		←	→		
4. พัฒนาและทดสอบโปรแกรมที่ช่วยในการออกแบบโครงข่าย VoIP		←	→	→	
5. ทำการปรับปรุงและแก้ไขโปรแกรม				←	→
6. จัดทำรูปเล่มโครงงาน				←	→

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้รับความรู้จากการศึกษาการทำงานและปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการออกแบบโครงข่าย VoIP สำหรับส่งทราฟฟิกประเภทสัญญาณเสียง
2. สามารถนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาและค้นคว้าจากแหล่งข้อมูลต่างๆ เพื่อนำเสนอกระบวนการที่ใช้ในการออกแบบโครงข่าย VoIP และพัฒนาโปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP
3. สามารถฝึกทักษะในการใช้โปรแกรมประยุกต์หรือซอฟต์แวร์นำมาพัฒนาเป็นโปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP
4. นำเสนอโปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยในการออกแบบโครงข่าย VoIP สำหรับผู้ให้บริการโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานหรือสำหรับโครงข่ายส่วนตัวที่มีตู้สาขาขนาดใหญ่

1.6 งบประมาณ

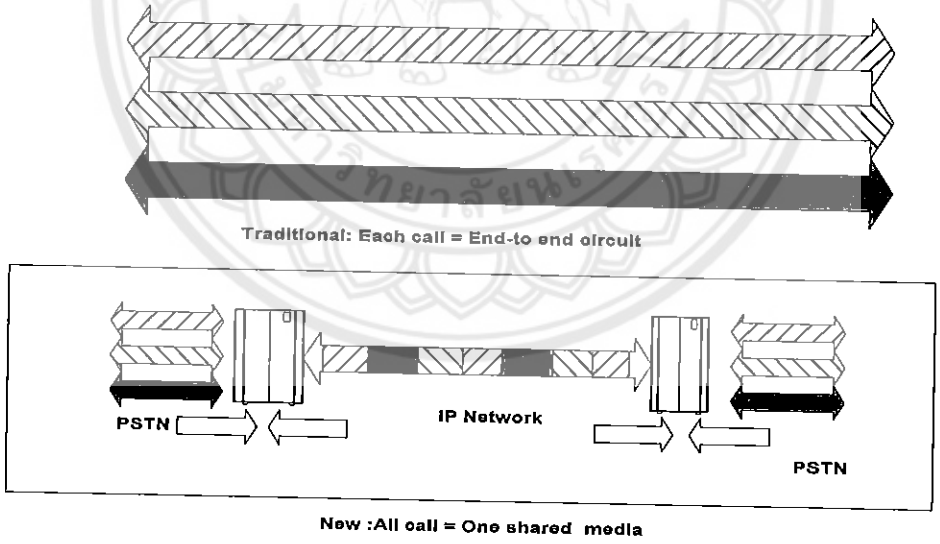
1.	ค่าวัสดุสำนักงาน	เป็นเงิน	100	บาท
2.	ค่าวัสดุคอมพิวเตอร์	เป็นเงิน	200	บาท
3.	ค่าวัสดุไฟฟ้าและวิทยุ	เป็นเงิน	-	บาท
4.	ค่าถ่ายเอกสาร	เป็นเงิน	700	บาท
5.	ค่าวัสดุอื่น ๆ	เป็นเงิน	-	บาท
	รวมเป็นเงินทั้งสิ้น		1,000	บาท (หนึ่งพันบาทถ้วน)

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 ความหมายของเทคโนโลยี VoIP

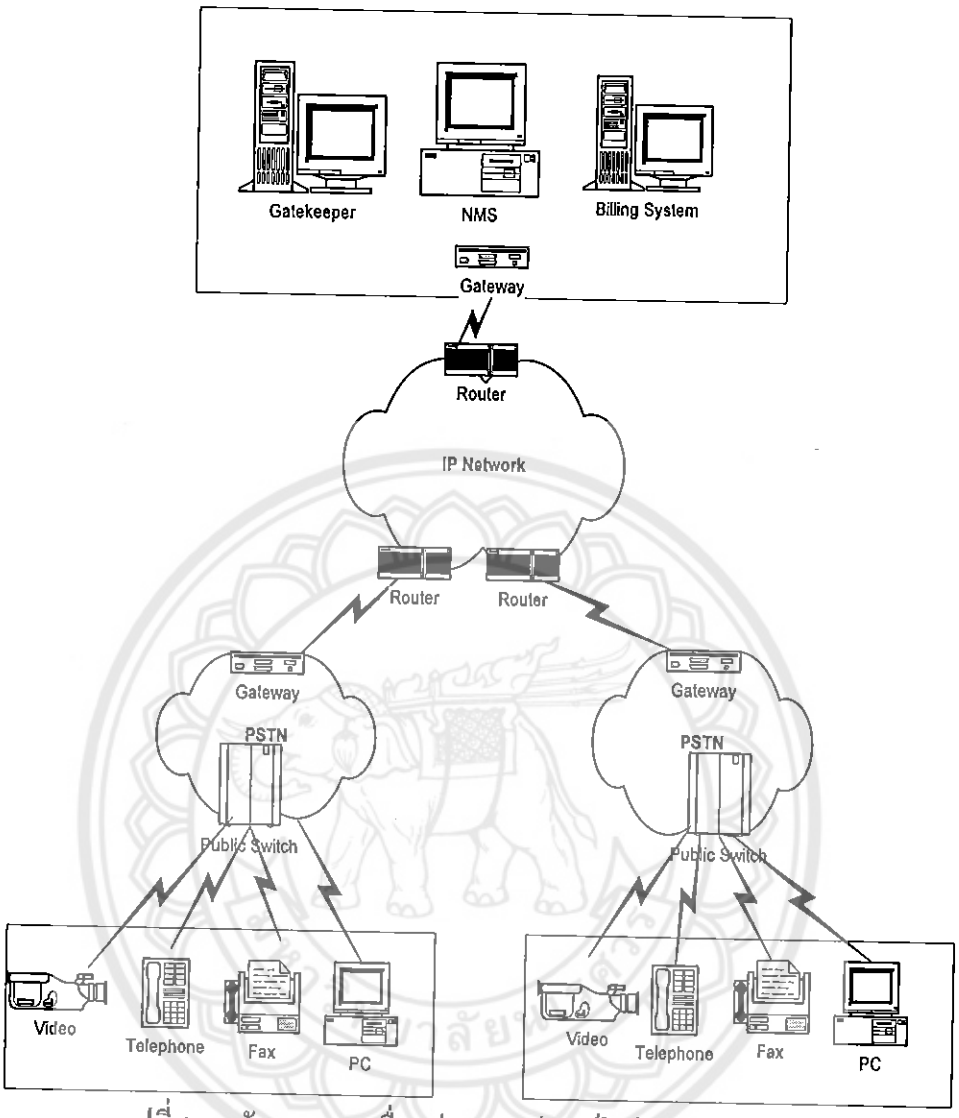
VoIP คือ การส่งสัญญาณเสียงในรูปแบบของข้อมูลผ่านไปโครงข่ายไอพีทั้งโครงข่ายอินทราเน็ตหรืออินเทอร์เน็ต ลักษณะการใช้งานจะแตกต่างจากโครงข่ายโทรศัพท์ที่มีการเชื่อมต่อเป็นแบบ Connection Oriented โดยการเชื่อมต่อของโครงข่ายโทรศัพท์เป็นแบบ Circuit Switched ซึ่งต้องมีการร้องขอเพื่อสร้างเส้นทางก่อนทุก ๆ ครั้งที่มีการโทรศัพท์ติดต่อกันและจะทำการจองแบนด์วิดท์ (Bandwidth) คงที่ 64 กิโลบิทต่อวินาทีตลอดเวลาแม้ว่าจะเป็นช่วงที่ไม่มีการพูดคุยโทรศัพท์

สำหรับโครงข่าย VoIP สัญญาณเสียงจะถูก Digitize ทำการบีบอัดและแปลงเป็นแพ็คเก็ตไอพี (IP Packet) ก่อนส่งไปบนโครงข่าย โดยสามารถใช้งานร่วมกับทราฟฟิกไอพี (IP Traffic) อื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ความแตกต่างของวงจรโทรศัพท์ทั่วไป ซึ่งเชื่อมต่อผ่านโครงข่ายโทรศัพท์ที่ใช้แบนด์วิดท์คงที่ แต่สำหรับ VoIP จะเป็นลักษณะ Packet Based Network ทำให้สามารถรองรับคู่สายโทรศัพท์ได้หลาย ๆ หมายเลขโดยใช้วงจรเส้นเดียวกัน



รูปที่ 2.1 ความแตกต่างระหว่างการส่งสัญญาณเสียงผ่านโครงข่ายโทรศัพท์กับผ่านโครงข่าย IP

2.2 ลักษณะการทำงานของ VoIP



รูปที่ 2.2 ลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ในโครงข่าย VoIP

ลักษณะการทำงานและการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ในโครงข่าย VoIP แสดงดังรูปที่ 2.2 สัญญาณเสียงจะถูกส่งเข้าไปในโครงข่ายโดยผ่านอุปกรณ์เกตเวย์ (Gateway) ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายไอพีและโครงข่ายโทรศัพท์ โดยจะจัดการกับสัญญาณเสียงที่ถูกส่งเข้าไปและออกมาจากโครงข่ายโทรศัพท์ด้วยกระบวนการของ Voice Processing ตั้งแต่ Voice Signal Reception, Compression, Packetization, Echo Cancellation, Silence Suppression โดยมีจุดประสงค์ 2 ประการ คือ เพื่อลดความต้องการการใช้แบนด์วิดท์ซึ่งจะทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการเช่าวงจรสื่อสัญญาณ และลดผลกระทบของความล่าช้าในการส่งสัญญาณที่เกิดขึ้นในโครงข่าย รวมทั้งทำการเก็บข้อมูลของผู้โทรและเบอร์โทรปลายทางส่งต่อไปให้ Gatekeeper ซึ่งเก็บฐานข้อมูลของผู้ใช้บริการทั้งหมดและจะทำหน้าที่หาเส้นทางตาม Routing Rule จัด IP Address สำหรับการโทรในแต่ละครั้ง โดยการอ้างอิงจาก

หมายเลขปลายทางที่ผู้โทรกดทำให้เกตเวย์ต้นทางสามารถติดต่อกับเกตเวย์ปลายทางและเริ่มต้นการโทรติดต่อได้ ข้อได้เปรียบของเทคโนโลยีของโครงข่ายข้อมูลคือสามารถส่งข้อมูลได้ในราคาที่ต่ำกว่าและใช้โครงข่ายได้คุ้มค่ากว่า เนื่องจากสามารถนำเทคโนโลยีการบีบอัดสัญญาณเสียงมาใช้ได้ทำให้ประสิทธิภาพต่อการลงทุนสูงกว่าการส่งสัญญาณเสียงผ่านวงจรแบบคงที่64 กิโลบิทต่อวินาทีของโครงข่าย Circuit Switched รวมทั้งสนับสนุนการให้บริการด้านมัลติมีเดีย

2.3 หน้าที่และคุณสมบัติของอุปกรณ์ในโครงข่าย VoIP

2.3.1 เกตเวย์

เกตเวย์ใช้เปลี่ยนรูปแบบสัญญาณเสียงระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์ให้อยู่ในรูปแบบแพ็คเก็ตข้อมูลของโครงข่ายไอพี โดยจะแปลงรหัสของเสียงหรือข้อมูลรวมถึงสัญญาณควบคุมทำให้สามารถทำการติดต่อระหว่างอุปกรณ์ต้นทางกับปลายทางได้ รวมทั้งทำการ Authorization, Authentication และจัดการโครงข่ายร่วมกับอุปกรณ์ Gatekeeper, ระบบบริหารโครงข่าย (Network Management System : NMS) และ RADIUS/AAA Server มีคุณสมบัติทั่วไป เช่น ตรวจจับและสร้างสัญญาณ DTMF มีระบบป้องกันเสียงก้อง มีระบบที่ใช้ควบคุมคุณภาพของสัญญาณ ปรับเปลี่ยนเส้นทางหรือควบคุมการเรียกตามที่ Gatekeeper กำหนด การแปลงสัญญาณที่รับส่งระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์กับโครงข่ายไอพีอ้างอิงตามมาตรฐาน ITU-T H.323 ส่วนมาตรฐานในการเข้ารหัสสัญญาณเสียง (Voice Coder) หรือการบีบอัดสัญญาณอ้างอิงตามมาตรฐานของ ITU-T G.711, G.723, G.723.1, G.729 , G.729a เป็นต้น

การเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์กับโครงข่าย VoIP แบ่งเป็น 2 ด้าน คือ

1. เชื่อมต่อกับโครงข่ายโทรศัพท์ (Trunk Interface) : อุปกรณ์เกตเวย์เชื่อมต่อกับ PSTN ผ่านทรังค์ (Trunk) ระดับ E1 โดยมี signaling แบบ ITU-T MFC R2, ISDN PRI หรือ ITU-T Signaling System No. 7
2. เชื่อมต่อกับโครงข่ายไอพี (Network Interface): อุปกรณ์เกตเวย์เชื่อมต่อกับ Network Equipment ผ่าน Ethernet 10/100BaseT

2.3.2 อุปกรณ์เน็ทเวิร์ก (Network Equipment)

อุปกรณ์เน็ทเวิร์กมีหน้าที่เชื่อมโยงระบบสื่อสัญญาณร่วมกับอุปกรณ์โครงข่ายอื่นๆประกอบกันเป็นโครงข่ายไอพี โดยจะต่อเชื่อมกับ เกตเวย์, Gatekeeper, RADIUS/AAA Server, Billing Server, Network Management Servers รวมทั้งเชื่อมโยงกับผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต ทำหน้าที่หาเส้นทางในการส่งข้อมูล จากต้นทางถึงปลายทาง ซึ่ง Network Equipmentในโครงข่ายไอพีหมายถึง อุปกรณ์ Router และ Switch

2.3.3 Gatekeeper

Gatekeeper ทำหน้าที่ Address Translation และ Internetwork Exchange โดยเป็นจุดศูนย์กลางในการควบคุมการติดต่อและการใช้งานของช่องสัญญาณ ทำการสร้างติดต่อระหว่างเกตเวย์ต้นทางกับ

ปลายทางตาม Routing Table โดยมีการตรวจสอบ Authentication และ Authorization ทำ Mapping Address ระหว่าง IP Address กับหมายเลขโทรศัพท์ปลายทาง

2.3.4 ระบบบริหารโครงข่าย (Network Management System)

ระบบบริหารโครงข่ายทำหน้าที่จัดการบริหารโครงข่ายโดยมีหน้าจอติดต่อกับผู้ใช้เพื่อแสดงผลงานของแผนผังโครงข่ายตำแหน่ง สถานภาพการทำงานของอุปกรณ์สำคัญและแสดงผลที่เกี่ยวกับข้อผิดพลาดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด จัดหา เลือกและกำหนดเส้นทางการเชื่อมต่อที่ดีที่สุดที่เป็นไปได้ รวมทั้งใช้รวบรวม บันทึก ควบคุมและวิเคราะห์สถิติการใช้งานบนโครงข่ายไอพีของบริการ VoIP

2.3.5 RADIUS/AAA Server

RADIUS/AAA Server ใช้ในการทำ Authentication, Authorization และ Accounting โดยจะทำงานร่วมกับอุปกรณ์อื่น ๆ ในโครงข่าย เช่น เกตเวย์, Gatekeeper, Billing Server เป็นต้น

2.4 โพรโตคอลและมาตรฐานของ VoIP

2.4.1 โพรโตคอลของ VoIP

โพรโตคอลที่เกี่ยวข้องของ VoIP แสดงดังรูปที่ 2.3

OSI 7 Layer	โพรโตคอล IP	VoIP Stack
Layer 7 Application	Application	Call Center
Layer 6 Presentation		G723.1, G.711, G.729
Layer 5 Session		H.323, SGCP, MGCP
Layer 4 Transport	Transport	RTP/ RTCP, UDP
Layer 3 Network	Network Interface	IP
Layer 2 Data Link	Data Link	Ethernet, FR, ATM, PPP
Layer 1 Physical	Physical	Copper, Fiber

รูปที่ 2.3 โพรโตคอลของ VoIP เปรียบเทียบกับ OSI 7 Layer และโพรโตคอล IP

จากรูปที่ 2.3 เป็นการเปรียบเทียบโครงสร้างการทำงานของโพรโตคอล VoIP กับมาตรฐาน OSI 7 Layer และโพรโตคอล IP โดยจะขอกล่าวเฉพาะส่วนหน้าที่การทำงานในแต่ละชั้นของ OSI 7 Layer รวมถึงส่วนของหน้าที่และรูปแบบของโพรโตคอล RTP และ RTCP ซึ่งเป็นโพรโตคอลที่ออกแบบเพื่อสนับสนุนการส่งข้อมูลประเภทเรียลไทม์ทราฟฟิก (Real Time Traffic)

OSI 7 Layer Reference Model

ชั้นที่ 1 ฟิสิกคัล (Physical Layer)

ในชั้น 1 นี้จะกำหนดคุณสมบัติทางกายภาพของฮาร์ดแวร์ที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ทั้งสองระบบ เช่น สายที่ใช้รับส่งข้อมูล ข้อต่อหรือปลั๊กที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลมีมาตรฐานอย่างไร ใช้ไฟกี่โวลท์ ความเร็วในการรับส่งข้อมูลเป็นเท่าใด สัญญาณที่ใช้รับส่งข้อมูลมีรูปร่างเป็นอย่างไร หากการรับส่งข้อมูลมีปัญหาเนื่องจากฮาร์ดแวร์ เช่น สายสัญญา ณที่ใช้รับส่งข้อมูลขาดหรืออุปกรณ์เสียหายก็จะตรวจสอบและแจ้งข้อผิดพลาดให้ชั้นอื่น ๆ ที่อยู่เหนือขึ้นไปทราบ

ชั้นที่ 2 ดาต้าลิงค์ (Data Link Layer)

ดาต้าลิงค์ เป็นชั้นที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อการรับส่งข้อมูลในระดับฮาร์ดแวร์โดยเมื่อมีการสั่งให้รับข้อมูลจากในชั้นที่ 3 ลงมา ชั้นที่ 2 จะทำหน้าที่แปลคำสั่งนั้นให้เป็นคำสั่งควบคุมฮาร์ดแวร์ที่ใช้รับส่งข้อมูล ทำการตรวจสอบข้อผิดพลาดในการรับส่งข้อมูลของระดับฮาร์ดแวร์และแก้ไขข้อผิดพลาดที่ตรวจพบนั้น ข้อมูลที่อยู่ในชั้นที่ 2 นี้จะอยู่ในรูปของเฟรม คือ กลุ่มของข้อมูลที่มีรูปร่างตามข้อบังคับของฮาร์ดแวร์ที่ใช้รับส่งข้อมูล เช่น ถ้าฮาร์ดแวร์ที่ใช้เป็น Ethernet LAN ข้อมูลก็จะมีรูปร่างของเฟรมตามที่ระบุไว้ในมาตรฐานของ Ethernet

ชั้นที่ 3 เน็ทเวิร์ก (Network Layer)

เน็ทเวิร์ก เป็นชั้นที่หน้าที่เชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ของด้านรับและด้านส่งเข้าหากันผ่านระบบเครือข่ายพร้อมทั้งเลือกหรือกำหนดเส้นทางที่จะใช้ในการรับส่งข้อมูลระหว่างกัน และส่งผ่านข้อมูลที่ได้รับไปยังอุปกรณ์ในเครือข่ายต่างๆ จนกระทั่งถึงปลายทาง ในชั้นที่ 3 นี้ข้อมูลที่รับส่งกันจะอยู่ในรูปของกลุ่มข้อมูลที่เรียกว่าแพ็คเก็ต

ชั้นที่ 4 ทรานสปอร์ต (Transport Layer)

ทรานสปอร์ต เป็นชั้นที่ควบคุมการรับส่งข้อมูลจากปลายด้านส่งถึงปลายด้านรับข้อมูลให้ข้อมูลมีการลื่นไหลตลอดเส้นทางตามจังหวะที่ควบคุมจากชั้นที่ 5 โดยในชั้นที่ 4 นี้จะเป็นรอยต่อระหว่างการรับส่งข้อมูลของซอฟต์แวร์กับฮาร์ดแวร์ การรับส่งข้อมูลจากระดับสูงจะแยกจากฮาร์ดแวร์ที่ใช้รับส่งข้อมูล ชั้นที่ 4 จะไม่มีส่วนใดผูกติดกับฮาร์ดแวร์ที่ใช้รับส่งข้อมูลในระดับล่าง ดังนั้นฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคุมการรับส่งข้อมูลในระดับล่างลงไปจากชั้นที่ 4 จึงสามารถสับเปลี่ยนและใช้ข้ามไปมากับซอฟต์แวร์รับส่งข้อมูลในระดับสูงที่อยู่ข้างบนได้ง่าย และมีหน้าที่ควบคุมคุณภาพการรับส่งข้อมูลให้มาตรฐานในระดับที่ตกลงกันของทั้งสองฝ่าย และการตัดข้อมูลออกเป็นส่วนย่อยๆ ให้เหมาะกับลักษณะการทำงานของฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในเน็ทเวิร์ก

ชั้นที่ 5 เซสชั่น (Session Layer)

เซสชั่นทำหน้าที่ควบคุม "จังหวะ" ในการรับส่งข้อมูลของคอมพิวเตอร์ทั้งสองด้านที่รับส่งแลกเปลี่ยนข้อมูลกันให้มีความสอดคล้องกัน (Synchronization) และกำหนดวิธีที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล เช่น อาจจะเป็นในลักษณะสลับกันส่ง (Half Duplex) หรือรับส่งข้อมูลพร้อมกันทั้งสองด้าน (Full

Duplex) ซึ่งในชั้นที่ 5 นี้จะเป็นชั้นที่ใช้ควบคุมการรับส่งข้อมูลในลักษณะดังกล่าว ข้อมูลที่รับส่งกันในชั้นที่ 5 นี้จะอยู่ในรูปของประโยคของข้อมูลที่สนทนาโต้ตอบกันระหว่างด้านรับและด้านส่งข้อมูล

ชั้นที่ 6 พรีเซ็นเตชั่น (Presentation Layer)

พรีเซ็นเตชัน เป็นชั้นที่ทำหน้าที่ตกลงกับคอมพิวเตอร์อีกด้านหนึ่งว่าการรับส่งข้อมูลในระดับโปรแกรมประยุกต์จะมีขั้นตอนและข้อบังคับอย่างไร ข้อมูลที่ทำการรับส่งในชั้นที่ 6 นี้จะอยู่ในรูปแบบของข้อมูลชั้นสูงซึ่งอยู่ในรูปแบบของคำสั่งที่มีกฎ (Syntax) บังคับแน่นอน นอกจากนี้ในชั้นที่ 6 ยังทำหน้าที่แปลความหมายของคำสั่งที่ได้รับจากชั้นที่ 7 ให้เป็นคำสั่งระดับปฏิบัติการส่งให้ชั้นที่ 5 ต่อไปอีกด้วย

ชั้นที่ 7 แอพพลิเคชัน (Application Layer)

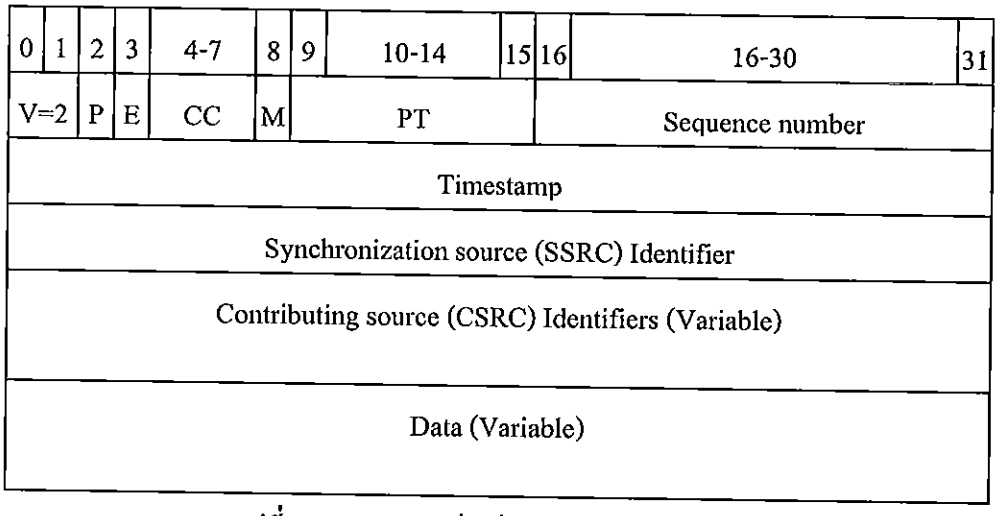
แอพพลิเคชัน เป็นชั้นที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อผู้ใช้เข้ากับระบบคอมพิวเตอร์โดยรับคำสั่งต่าง ๆ จากผู้ใช้ให้ระบบคอมพิวเตอร์แปลความหมายและทำงานตามคำสั่งที่ได้รับในระดับโปรแกรม ซึ่งการแปลคำสั่งจากผู้ใช้ที่ส่งไปยังคอมพิวเตอร์ต้องแปลออกมาถูกต้องตามกฎ (Syntax) ที่ใช้ในระบบปฏิบัติการของคอมพิวเตอร์นั้น ๆ

เรียลไทม์โพรโตคอล (Real Time Protocol: RTP)

RTP ถูกออกแบบมาเพื่อใช้สนับสนุนการส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ทราฟฟิก ซึ่งเป็นทราฟฟิกที่ต้องการส่งข้อมูลและรับข้อมูลในช่วงเวลาที่สั้นมากๆ ตัวอย่างของเรียลไทม์ทราฟฟิก ได้แก่ การส่งข้อมูลเสียงของการสนทนากันระหว่างคู่สนทนา การส่งภาพของภาพยนตร์หรือวิดีโอคลิปจากเครื่องส่งไปยังผู้รับหรือผู้ชมปลายทาง

RTP จัดเป็นโพรโตคอลที่มีการทำ Encapsulate โดยข้อมูลเรียลไทม์ทราฟฟิก ที่ส่งนั้นจะถูกผนึกอยู่ในส่วนของข้อมูล (Data Field) ของแพ็คเก็ต RTP และส่วนเฮดเดอร์ RTP คือส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลที่บอกให้ทราบว่าข้อมูลที่ส่งไปในแพ็คเก็ต RTP นั้นเป็นข้อมูลชนิดใด รูปแบบแพ็คเก็ตของโพรโตคอล RTP แสดงดังรูปที่ 2.4

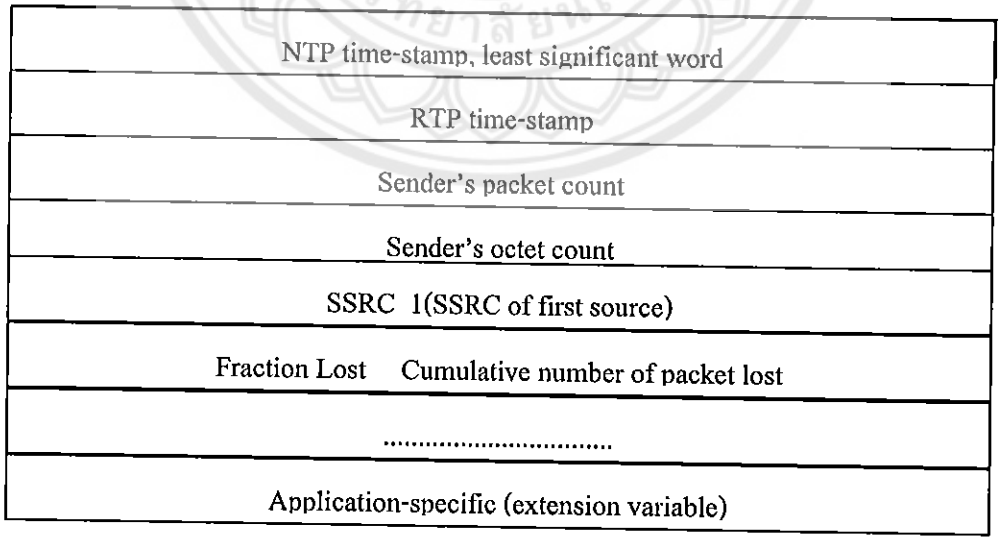
RTP ถูกออกแบบมาให้มีส่วนของ Time Stamp ในข้อมูลของเฮดเดอร์ของแพ็คเก็ต RTP เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการทำ Synchronize ทราฟฟิก สำหรับผู้รับปลายทางเพื่อให้ลำดับของข้อมูลที่ได้รับมีความถูกต้องและถูกลำดับ RTP ทำหน้าที่เป็น Mixer รวมข้อมูลที่มาจากหลายๆ แหล่งให้ออกเป็นข้อมูลที่ไหลออกรวมกันเป็นข้อมูลสายเดียวกัน โดยปกติมักใช้งาน RTP ในรูปแบบของ Mixer กับข้อมูลเสียงเป็นส่วนใหญ่ โดยการรวมข้อมูลของ Mixer จะไม่ส่งผลให้คุณภาพของสัญญาณเสียงแย่ลง เนื่องจากสัญญาณเสียงถูกส่งจากต้นทางไปถึงผู้ฟังปลายทางโดยจะไม่เปลี่ยนรูปแบบของข้อมูลที่ได้รับ โดย RTP Mixer จะรวมข้อมูลจากหลายแหล่งให้อยู่ในข้อมูลชุดเดียวกันที่มีรูปแบบเหมือนกับข้อมูลที่ได้รับมา



รูปที่ 2.4 รูปแบบแพ็คเก็ตของโพรโตคอล RTP

เรียลไทม์คอนโทรลโพรโตคอล (Real Time Control Protocol: RTCP)

หลังจากขั้นตอนการทำ Setup Connection ระหว่างอุปกรณ์ต้นทางและอุปกรณ์ปลายทางและเริ่มมีการส่งข้อมูลระหว่างกันแล้ว ในช่วงนี้จะต้องอาศัยการทำงานของ RTCP เข้ามาช่วยเพื่อควบคุมการรักษาคุณภาพการส่งข้อมูลทั้งของฝั่งอุปกรณ์ต้นทางและฝั่งอุปกรณ์ปลายทาง โดยการทำงานของ RTCP จะอาศัยข้อมูลที่ได้จาก RTCP ที่ส่งระหว่างกันเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ถึงระดับคุณภาพการส่งข้อมูลของทั้งสองด้านในขณะนั้น โดยถ้าหากคุณภาพการส่งข้อมูลเปลี่ยนแปลงไประบบก็จะสามารถปรับรูปแบบการส่งข้อมูลใหม่เพื่อให้รักษาคุณภาพการส่งข้อมูลให้ดี รูปแบบแพ็คเก็ตของโพรโตคอล RTCP แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 รูปแบบแพ็คเก็ตของโพรโตคอล RTCP

2.4.2 มาตรฐานที่ใช้ใน VoIP

1.มาตรฐานของ Voice Coder

เป็นมาตรฐานในการแปลงสัญญาณเสียง มีหน้าที่แปลงสัญญาณเสียงโดยทำการเข้ารหัสข้อมูลหรือบีบอัด (Compression/Decompression) สัญญาณเสียงที่ต้นทางให้อยู่ในรูปแบบที่เล็กลงก่อนส่งไปยังปลายทางและจะทำการถอดรหัสสัญญาณที่ปลายทางโดยแปลงสัญญาณให้อยู่ในรูปแบบสัญญาณเสียงเหมือนเดิม ตัวอย่างมาตรฐานของ Voice Coder เช่น

- G.711 PCM เป็นมาตรฐานของการเข้ารหัสสัญญาณเสียงหรือบีบอัดสัญญาณเสียงโดยใช้แบนด์วิดท์ 64 กิโลบิทต่อวินาที ซึ่งเป็นมาตรฐานที่อยู่ในโครงข่ายโทรศัพท์จะให้สัญญาณเสียงที่มีคุณภาพดี
- G.723 เป็นมาตรฐานของการเข้ารหัสสัญญาณเสียงหรือบีบอัดสัญญาณเสียงจาก G.711 64 กิโลบิทต่อวินาทีเป็น 5.3 กิโลบิทต่อวินาที หรือ 6.3 กิโลบิทต่อวินาที และแปลงสัญญาณกลับไปเป็น G.711
- G.729 เป็นมาตรฐานของการเข้ารหัสสัญญาณเสียงบีบอัดสัญญาณเสียงจาก G.711 64 กิโลบิทต่อวินาทีเป็น 8 กิโลบิทต่อวินาที และแปลงสัญญาณกลับไปเป็น G.711

คุณสมบัติหลักของ Voice Coder แต่ละประเภทแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติหลักของ Voice Coder ตามมาตรฐานของ ITU-T

มาตรฐานของการเข้ารหัสสัญญาณเสียง	G.711	G.726	G.727	G.729	G723.1
ปีที่ประกาศใช้	1972	1990	1990	1995	1995
อัตราการเข้ารหัส(กิโลบิทต่อวินาที)	64	16/24/32/40	16/24/32/40	8	6.3/5.3
ช่วงของแบนด์วิดท์ที่ใช้ส่งสัญญาณ (กิโลเฮิร์ท)	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
ขนาดของเฟรม(มิลลิวินาที)	0.125	0.125	0.125	10	30
โอเวอร์เฮด (มิลลิวินาที)	0	0	0	5	7.5
ระดับคุณภาพของสัญญาณ (MOS)	4.2	4.0	4.0	4.0	3.9/3.7
จำนวนชุมสายต่อผ่านที่ยอมรับได้	14	4	4	2	2/1
ประเภทของการเข้ารหัส	PCM	ADPCM	ADPCM	CS-ACELP	MP-MLQ

2. มาตรฐานในการเชื่อมต่อ (Interworking)

เนื่องมาจากความสำคัญของการเชื่อมต่อกันของอุปกรณ์ในโครงข่าย VoIP ผู้ผลิตรายใหญ่จึงร่วมกันกำหนดมาตรฐานของการเชื่อมต่อขึ้นมาและได้พัฒนาเป็น H.323 เวอร์ชัน 2 ในปัจจุบัน ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับการติดต่อ Packet Telephony ที่ทำให้อุปกรณ์ในโครงข่าย VoIP ของผู้ผลิตแต่ละรายสามารถทำงานร่วมกันได้

H.323 Packet – Based Multimedia Communications Systems จะอธิบายเกี่ยวกับเทอร์มินัล (Terminal) และส่วนประกอบอื่น ๆ ที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลแบบมัลติมิเดียผ่านบนโครงข่ายแพ็คเก็ตที่อาจไม่รองรับคุณภาพการให้บริการ โดยรวมถึงการสื่อสารที่เป็นลักษณะเรียลไทม์ของสัญญาณออดิโอ (Audio Signals) สัญญาณวิดีโอ (Video Signals) และการส่งข้อมูลซึ่งจะทำให้เทอร์มินัลต่าง ๆ ที่รองรับมาตรฐานนี้สามารถทำงานร่วมกันได้ดังแสดงในรูปที่ 2.6

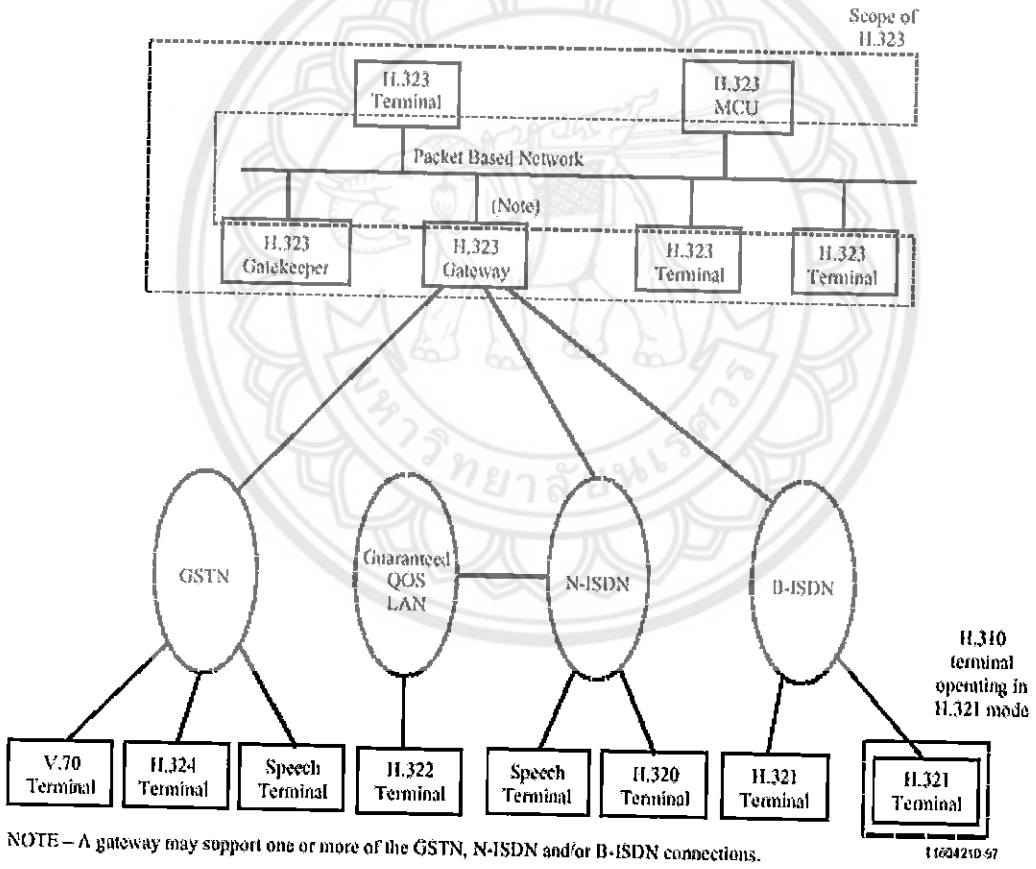


Figure 1/H.323 – Interoperability of H.323 terminals

รูปที่ 2.6 ลักษณะการเชื่อมต่อและการทำงานร่วมกันของเทอร์มินัล H.323

2.5 รูปแบบการให้บริการของ VoIP

รูปแบบการให้บริการ VoIP แบ่งเป็น 5 ประเภทดังนี้

1. การโทรจากคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลไปยังคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC to PC)

การโทรจากคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลไปยังคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเป็นรูปแบบแรกของ VoIP เผยแพร่โดยบริษัท VocalTech Communications Ltd. ลักษณะการใช้งานแบบนี้ ผู้ใช้ทั้ง 2 ฝั่งจะต้องเปิดเครื่องและนัดหมายเวลาที่จะคุยกัน รวมทั้งซอฟต์แวร์ ชุดไมโครโฟนและลำโพงที่ใช้ในการสนทนา การส่งสัญญาณเสียงผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ตซึ่งเป็นโครงข่ายสาธารณะ จะเกิดความล่าช้าของสัญญาณสูงมากกว่า 0.5 วินาที จึงเหมาะสำหรับผู้ใช้ที่ต้องการคุยเล่นและต้องการประหยัดค่าโทรศัพท์ เนื่องจากจะไม่ได้รับการตอบสนองการสนทนาโดยทันที

2. การโทรจากเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลไปยังเครื่องโทรศัพท์ (PC to Phone)

การโทรจากเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลไปยังเครื่องโทรศัพท์ เป็นรูปแบบที่เริ่มการโทรจากเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านโครงข่ายไอพีไปยังปลายทางที่เป็นเครื่องโทรศัพท์ โดยผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต (ISP) จะรับการเรียกจากคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและจัดส่งให้เกตเวย์ เพื่อส่งต่อไปให้โครงข่ายโทรศัพท์ ซึ่งทำหน้าที่ส่งต่อไปให้ผู้รับที่เป็นโทรศัพท์ต่อไป การให้บริการแบบนี้ยังมีปัญหาอยู่ที่ความล่าช้าของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและยังมีข้อจำกัดในเรื่องคุณภาพการให้บริการและความน่าเชื่อถือของสัญญาณ

3. การโทรจากเครื่องโทรศัพท์ไปยังเครื่องโทรศัพท์ (Phone to Phone)

การโทรจากเครื่องโทรศัพท์ไปยังเครื่องโทรศัพท์ เป็นรูปแบบที่สามารถใช้ได้กับเครื่องโทรศัพท์ธรรมดา โดยผู้ใช้บริการจะต้องกดหมายเลขพิเศษเพื่อเชื่อมต่อเข้ากับเกตเวย์ ของโครงข่าย VoIP ตามด้วยเลขหมายปลายทาง การโทรจะถูกส่งไปยังเกตเวย์ตัวที่อยู่ใกล้ฝั่งผู้รับมากที่สุด เพื่อส่งต่อไปให้โครงข่ายโทรศัพท์ซึ่งจะทำหน้าที่ส่งต่อไปยังผู้รับที่เป็นเครื่องโทรศัพท์ต่อไป

4. การโทรจากเครื่องโทรศัพท์ผ่านตู้สาขาไปยังเครื่องโทรศัพท์ผ่านตู้สาขา (Premise to Premises)

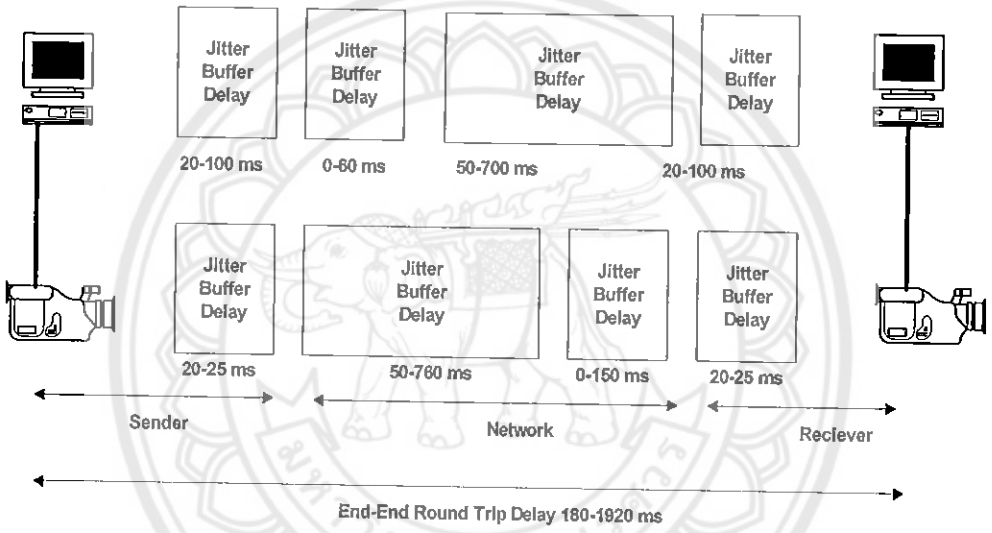
การโทรจากเครื่องโทรศัพท์ผ่านตู้สาขาไปยังเครื่องโทรศัพท์ผ่านตู้สาขาปลายทาง เป็นรูปแบบที่ใช้กับกลุ่มผู้ใช้ที่เป็นองค์กรธุรกิจสำหรับใช้ติดต่อสื่อสารภายในองค์กรระหว่างสำนักงานต่างสาขา สามารถใช้เครื่องโทรศัพท์หรือโทรสารที่มีอยู่ โดยมีเกตเวย์ตั้งอยู่ระหว่างตู้สาขาของบริษัทกับโครงข่ายไอพี ตู้สาขาจะจัดการการเรียกออกผ่านเกตเวย์และจัดเส้นทางเพื่อส่งต่อไปยังเลขหมายปลายทางผู้โทรสามารถใช้งานโดยกดหมายเลขโทรศัพท์ภายในผ่านโครงข่ายไอพีไปยังปลายทางได้โดยไม่สังเกตเห็นถึงความแตกต่างจากการโทรทั่วไป เนื่องจากคุณภาพการให้บริการเทียบได้กับการโทรผ่านโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานในปัจจุบัน

5. การโทรจากเครื่องโทรศัพท์ผ่านตู้สาขาไปยังโครงข่าย (Premises to Network)

การโทรจากเครื่องโทรศัพท์ผ่านตู้สาขาไปยังโครงข่าย เป็นรูปแบบที่ใช้กับองค์กรธุรกิจที่ต้องการติดต่อภายนอกองค์กรโดยใช้เครื่องโทรศัพท์และโทรสารที่มีอยู่ ผ่านโครงข่ายไอพีและเกตเวย์ปลายทางที่เชื่อมต่อกับโครงข่ายโทรศัพท์

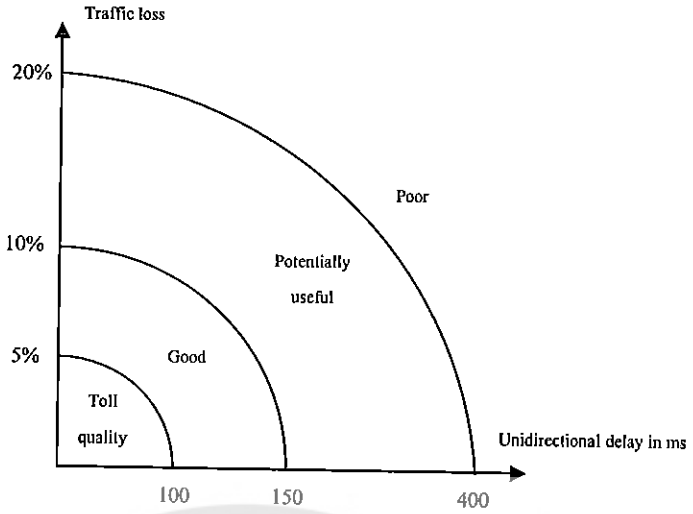
2.6 คุณภาพการให้บริการของ VoIP

การส่งข้อมูลผ่านโครงข่ายไอพีจากต้นทางถึงปลายทางจะเกิดความล่าช้าในการส่งข้อมูลของอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เกตเวย์ที่ต้นทางและปลายทาง ความล่าช้าที่เกิดขึ้นในโครงข่ายไอพี ตัวอย่างความล่าช้าในการส่งสัญญาณผ่านโครงข่าย VoIP ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ความล่าช้าในการส่งข้อมูลผ่านโครงข่ายไอพี

เนื่องจากสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณประเภท Delay Sensitive คือ ยอมให้เกิดความล่าช้าในการส่งสัญญาณได้น้อย รวมทั้งยอมให้เกิดแพ็คเก็ตสูญหายได้ระดับหนึ่งเพื่อให้เครื่องปลายทาง สามารถถอดสัญญาณได้ถูกต้อง หากมีความล่าช้า ในการส่งหรือแพ็คเก็ตสูญหายมาก จะทำการสนทนาไม่ต่อเนื่องหรือตอบสนองช้า อันจะทำให้เกิดเสียงขาดหายไป ทำให้ผู้ใช้รู้สึกได้จึงต้องมีการกำหนดคุณภาพการให้บริการของการส่งสัญญาณเสียง ดังรูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นว่า คุณภาพของสัญญาณเสียงจัดอยู่ในระดับดีมาก สามารถรองรับการสนทนาทางไกลได้ดี ถ้ามีปริมาณทราฟฟิกสูญหายไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์และความล่าช้าของสัญญาณไม่เกิน 100 มิลลิวินาที หรือคุณภาพของสัญญาณเสียงจัดอยู่ในระดับดี สามารถรองรับการสนทนาทางไกลได้ดี ถ้ามีปริมาณทราฟฟิกสูญหายไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์และความล่าช้าของสัญญาณไม่เกิน 150 มิลลิวินาที เป็นต้น



รูปที่ 2.8 ระดับคุณภาพของสัญญาณเสียงเปรียบเทียบในเชิงปริมาณทราฟฟิกที่สูญหายกับความล่าช้าของสัญญาณในการส่งผ่านโครงข่ายไอพี

การวัดคุณภาพของการส่งสัญญาณเสียงผ่านโครงข่าย VoIP รูปแบบที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือ การวัดคะแนนความคิดเห็นเฉลี่ยของผู้ฟัง (Mean Opinion Score: MOS) โดยจะให้กลุ่มผู้ฟังเปรียบเทียบคุณภาพของเสียงที่ได้ยินค่าและให้คะแนน แล้วจึงนำมาจัดระดับคุณภาพดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงการจัดระดับคุณภาพของสัญญาณเสียงโดยวัดจากการฟัง

คุณภาพของการสัญญาณเสียง	คะแนนความคิดเห็นเฉลี่ย (MOS)
ดีมาก (Excellent)	5
ดี (Good)	4
พอใช้ (Fair)	3
แย่ (Poor)	2
แย่มาก (Bad)	1

2.7 แนวโน้มของบริการ VoIP

แนวโน้มของการสื่อสารโทรคมนาคมในอนาคตจะเป็นลักษณะโครงข่ายร่วมมัลติมีเดีย ซึ่งสามารถให้บริการสัญญาณเสียง ข้อมูล วิดีโอ ภายใต้โครงข่ายเดียวกัน โพรโตคอลไอพีจัดเป็นโพรโตคอลที่ได้รับความนิยมมากที่สุดทั้งในส่วนโครงข่ายที่ภายในองค์กรและโครงข่ายของผู้ให้บริการ สิ่งที่ผลักดันให้ VoIP เป็นที่ต้องการทางด้านตลาด แบ่งเป็น 3 ประการ คือ

1. ความต้องการของผู้ใช้

- ต้องการใช้โทรศัพท์ที่ค่าบริการถูก
- สามารถใช้บริการด้านมัลติมีเดียได้
- สามารถใช้ได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก

2. ความต้องการของผู้ให้บริการ

- สามารถเลี่ยงค่าใช้จ่ายตามข้อกำหนด
- ค่าใช้จ่ายในการลงทุนและดูแลรักษาต่ำ
- สร้างความแตกต่างในการให้บริการ

3. การพัฒนาทางเทคโนโลยี ซึ่งทำให้คุณภาพของสัญญาณเสียงดีขึ้น

- มีการปรับปรุงเทคโนโลยีการบีบอัดสัญญาณ
- มีการปรับปรุง Silence Suppression
- พัฒนารูปแบบการจัดระดับความสำคัญของข้อมูลที่ส่ง

2.8 ปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบโครงข่าย VoIP

2.8.1 ชนิดของการเข้ารหัสสัญญาณเสียงหรือชนิดของการบีบอัดสัญญาณ (Voice Coder Type/ Compression Type)

ชนิดของการเข้ารหัสสัญญาณเสียงหรือชนิดของการบีบอัดสัญญาณแต่ละประเภทมีค่าอัตราเร็วในการส่งข้อมูล (Data Rate) ช่วงเวลาของแต่ละเฟรม(Frame Duration) และขนาดของเฟรมที่แตกต่างกันและขนาดของเฟรมที่แตกต่างกันโดยจะเป็นค่าที่บ่งบอกความสามารถของการบีบอัดสัญญาณเสียง เช่น G.729 มีการเข้ารหัส สัญญาณเสียงที่ความเร็ว 8 กิโลบิทต่อวินาที

2.8.2 Voice Activity Detection (VAD) หรือ Silence Suppression

โดยปกติการสนทนาทั่วไปจะใช้งานวงจรประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของเวลาที่สนทนา เนื่องจากขณะที่อีกฝ่ายเป็นผู้พูด อีกฝ่ายจะเป็นผู้ฟัง ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดแบนด์วิดท์และสื่อสัญญาณที่ใช้ในขณะสนทนา VAD เป็นส่วนสำคัญที่ใช้ตรวจจับว่าผู้ใช้กำลังสนทนาหรือเงียบ โดยตรวจสอบจากระดับสัญญาณของแพ็คเก็ตที่เข้ามาเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้ ค่า VAD เป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการออกแบบโดยสามารถตั้งสมมติฐานจากพฤติกรรมการสนทนาของผู้ใช้โทรศัพท์

2.8.3 ขนาดของแพ็คเก็ตไอพี (IP Packet Size)

สัญญาณเสียงเมื่อแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณข้อมูลซึ่งอยู่ในรูปแพ็คเก็ตไอพีขนาดของแพ็คเก็ตที่แตกต่างกันจะทำให้เกิดความล่าช้าในการส่งมูลที่แตกต่างกัน แต่เนื่องจากสัญญาณเสียงเป็นทราฟฟิกที่ยอมให้เกิดความล่าช้าในการส่งสัญญาณได้น้อย ดังนั้นการออกแบบโครงข่าย VoIP จะต้องคำนึงถึงขนาดของแพ็คเก็ตไอพีที่เหมาะสม เพื่อให้ความล่าช้าของสัญญาณอยู่ในระดับที่

ยอมรับได้ สามารถคำนวณหาขนาดแพ็คเก็ตไอพี ซึ่งเท่ากับ Layer 3 Payload Size จากสมการที่ (1) ดังนี้

กำหนดให้

Layer 3 Payload Size (byte) เขียนแทนด้วย L3PS

Voice Samples per Frame เขียนแทนด้วย VSF

Voice Samples Size (byte) เขียนแทนด้วย VSS

Voice Sampling Interval (ms) เขียนแทนด้วย VSI

Voice Coder Bandwidth (kbps) เขียนแทนด้วย CoderBW

L3PS (byte) = VSF * VSS(byte)..... (1)

และสามารถคำนวณหา Voice Samples Size จากสมการที่ (2)

VSS (byte) = VSI (ms) * CoderBW (kbps)/8.....(2)

2.8.4 ทรานสปอร์ตโพรโตคอล (Transport Protocol)

ทรานสปอร์ตโพรโตคอลจัดเป็นโพรโตคอลในชั้นที่ใช้ดูแลการขนส่งข้อมูลจากต้นทางถึงปลายทางในโครงข่าย VoIP ใช้ User Datagram Protocol (UDP) ร่วมกับ Real Time Protocol (RTP)

UDP มีขนาดของแพ็คเก็ตเล็กและไม่มีกลไกที่ช่วยควบคุมการส่งข้อมูลทำให้สามารถส่งข้อมูลได้เร็วเหมาะกับทราฟฟิกประเภทสัญญาณเสียงที่ยอมให้เกิดความล่าช้าของการส่งข้อมูลได้น้อย แต่ยอมให้เกิดการสูญหายของข้อมูลได้ระดับหนึ่ง UDP มีเฮดเดอร์ขนาด 8 ไบท์

RTP ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในส่งข้อมูลทราฟฟิกประเภทเรียลไทม์ต้องการส่งข้อมูลในช่วงเวลาที่สั้นมากๆ โดยจะทำหน้าที่รวมข้อมูลที่มากเข้ามาจากหลายๆแหล่งให้ออกเป็นข้อมูลที่ไหลรวมเป็นข้อมูลเดียวกันเหมาะสำหรับใช้กับการส่งข้อมูลประเภทสัญญาณเสียงเนื่องจากช่วยให้คุณภาพของ สัญญาณเสียงดีขึ้น RTP มีเฮดเดอร์ขนาด 12 ไบท์

IP เป็นโพรโตคอลในชั้นที่ 3 สำหรับทำหน้าที่ในการหาเส้นทางที่ใช้ในการข้อมูลมีเฮดเดอร์ขนาด 20 ไบท์

คอมเพรสเรียลไทม์โพรโตคอล (Compress Real Time Protocol: cRTP) เป็นโพรโตคอลเพื่อบีบอัดเฮดเดอร์ของ IP, UDP และ RTP จาก 40 ไบท์เหลือ 2-5 ไบท์ เพื่อประหยัดแบนด์วิดท์ที่ใช้ในการส่งข้อมูล

2.8.5 คอนโทรลโพรโตคอล (Control Protocol)

เรียลไทม์คอนโทรลโพรโตคอล (Real Time Control Protocol: RTCP) จะช่วยในการควบคุมรักษา คุณภาพของการส่งข้อมูลประเภทสัญญาณเสียงระหว่างเครื่องโทรศัพท์ต้นทางกับเครื่องโทรศัพท์ปลายทางหลังจากขั้นตอนการสร้างเส้นทางเชื่อมถึงกันและเริ่มมีการส่งข้อมูล เหมาะสำหรับใช้กับการส่งข้อมูลประเภทสัญญาณเสียงเนื่องจากช่วยให้คุณภาพของสัญญาณเสียงดีขึ้น

2.8.6 ดาต้าลิงค์โพรโตคอล (Data Link Protocol)

เนื่องจากดาต้าลิงค์โพรโตคอลแต่ละประเภทมีรูปแบบโครงสร้างของเฟรมที่แตกต่างกัน ขนาดของเฟรมแตกต่างกัน อัตราส่วนของขนาดของเฟรมและส่วนของข้อมูลแตกต่างกัน เช่น ATM AAL 1 มีขนาดของเฟรมเท่ากับ 53 ไบท์ ขนาดของส่วนของข้อมูล 44 ไบท์ และขนาดของเฮดเดอร์ 5 ไบท์ ซึ่งมีผลต่อขนาดของสื่อสัญญาณที่ใช้ ดังนั้นการออกแบบโครงข่าย VoIP จึงกำหนดค่าดาต้าลิงค์โพรโตคอลที่ใช้ในโครงข่ายด้วย

2.8.7 End to End Delay

End to End Delay เป็นค่าแสดงความล่าช้าในการส่งสัญญาณนับเริ่มตั้งแต่ต้นทางส่งแพ็คเก็ตเข้าไปในโครงข่ายจนถึงปลายทางค่านี้จะมีผลอย่างมากต่อการออกแบบโครงข่ายสำหรับการส่งสัญญาณเสียง เนื่องจากสัญญาณเสียงเป็นจัดประเภท Delay Sensitive ถ้าหากการออกแบบโครงข่ายไม่ดีจะทำให้ค่า End to End Delay นานเกินไปจะทำให้เสียงพูดมีเวลาหน่วงมาก ตามมาตรฐานของ ITU-T G.114 สำหรับการส่งสัญญาณเสียงที่มีคุณภาพดีค่า End to End Delay ไม่ควรเกิน 150 มิลลิวินาที การคำนวณค่า End to End Delay สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3)

กำหนดให้

Coder Delay เขียนแทนด้วย CD

Packetization Delay เขียนแทนด้วย PD

Dejitter Buffer Delay เขียนแทนด้วย DjBD

Serialization Delay เขียนแทนด้วย SD

Queuing Delay เขียนแทนด้วย QD

Switching Delay เขียนแทนด้วย SwD

Propagation Delay เขียนแทนด้วย PD

เกตเวย์ Delay (ms)เขียนแทนด้วย GwD

Voice Coder Look Ahead (ms) เขียนแทนด้วย CoderLA

End to End Delay (ms) = CD + PD + DjBD + SD+ QD + SwD + PD .....(3)

ปัจจัยสำคัญที่สุดที่มีผลต่อความล่าช้าของการส่งสัญญาณเสียงบนโครงข่ายไอพี คือ ความล่าช้าที่เกิดขึ้นที่เกตเวย์ต้นทางและเกตเวย์ปลายทาง ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของการเข้ารหัสข้อมูล ประกอบด้วย Coder Delay, Packetization Delay และ Dejitter Buffer ซึ่งเป็นความล่าช้าที่เกิดขึ้นที่อุปกรณ์เกตเวย์สามารถคำนวณได้ดังนี้

GwD (ms) = CD + PD + DjBD

GwD (ms) =CoderLA (ms) + Delay per Frame (ms)

Delay per Frame (ms) =[VSI (ms) * VSF] *2

ดังนั้นสามารถคำนวณ Coder Delay, Packetization Delay และ Dejitter Buffer ได้จากสมการที่ (4)

GwD (ms) = [CoderLA (ms) + (VSI (ms) * VSF)] *2 .....(4)

Propagation Delay Time เป็นค่าเวลาที่สัญญาณของข้อมูลใช้เดินทางจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยจะแปรผันตรงกับระยะทางการเดินทางของข้อมูลผ่านสื่อสัญญาณประเภทสายทองแดง หรือไฟเบอร์ อ็อบติกมีค่า Propagation Delay เท่ากับ 6 ไมโครวินาทีต่อกิโลเมตรสามารถคำนวณได้ดังนี้

PD (ms) =ระยะทาง (กิโลเมตร) * $6/10^3$.....(5)

Network Delay ความล่าช้าของการส่งสัญญาณเสียงผ่านโครงข่ายไอพีจะขึ้นอยู่กับปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย ณ เวลานั้น ซึ่งจะส่งผลความล่าช้าของการทำงานของอุปกรณ์ที่เชื่อมโยงเป็นโครงข่ายไอพี คือ เร้าเตอร์ โดยความล่าช้าของ เร้าเตอร์แต่ละตัวเริ่มนับตั้งแต่ได้รับแพ็กเก็ตเข้ามาจนถึงเวลาที่ส่งแพ็กเก็ตออกไปโดยขึ้นกับปัจจัยดังนี้

- Queuing Delay คือ เวลาที่แพ็คเก็ตรออยู่ในคิว
- Switching Delay คือ เวลาที่เร้าเตอร์ใช้คำนวณหาโหนดถัดไป
- Serialization Delay คือ เวลาที่ใช้ในการจัดเรียงข้อมูลให้เป็นแบบอนุกรมก่อนไปยังพอร์ทเอาท์พุต

ตัวอย่างการคำนวณความล่าช้าของการส่งสัญญาณจากจุดต้นทางถึงปลายทางแสดงดังตารางที่2.3

ตารางที่2.3 ตัวอย่างการคำนวณ End to End Delay

ชนิดของ Delay	Fixed Delay (มิลลิวินาที)	Variable Delay (มิลลิวินาที)
Coder Delay G.729 (5 ms Look Ahead)	5	
Coder Delay G.729 (10 ms Per Frame)	20	
Packetization Delay included in Coder Delay		
Queuing Delay 64 kbps Trunk		6
Serialization Delay 64 kbps Trunk	3	
Switching Delay		1
Propagation Dalay	32	
Dejitter Buffer Delay		50
รวม End to End Delay	110	

2.8.8 จำนวนโหนดของชุมสายต่อผ่านที่ยอมรับได้ (No.of Acceptable Tandems)

เนื่องจากสัญญาณเสียงเป็นทราฟฟิกประเภท Delay Sensitive เพื่อให้คุณภาพสัญญาณเสียงดีจะต้องมีความล่าช้าในการส่งสัญญาณจึงมีข้อจำกัดของจำนวนโหนดของชุมสายต่อผ่าน (Tandam) ที่ยอมรับได้ตามประเภทของ Voice Coder เพื่อให้มีดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ข้อจำกัดของจำนวนชุมสายต่อผ่านที่ยอมรับได้ตามประเภทของ Voice Coder

ประเภทของ Voice Coder	G.711	G.726	G.727	G.729	G723.1
อัตราการเข้ารหัสสัญญาณ (กิโลบิทต่อวินาที)	64	16/24/32/40	16/24/32/40	8	6.3/5.3
จำนวนชุมสายต่อผ่านที่ยอมรับได้	14	4	4	2	2/1

ในโครงงานนี้กำหนดจำนวนชุมสายต่อผ่านที่ยอมรับได้เท่ากับ 2 หรือจำนวนโหนดทั้งหมดจากต้นทางถึงปลายทางเท่ากับ 4 สำหรับทุกประเภทของ Voice Coder เพื่อป้องกันการเกิดความล่าช้าของสัญญาณเสียงเมื่อวิ่งผ่านโครงข่ายไอพีไม่ให้เกินระดับที่ยอมรับได้

2.8.9 ความสามารถในการควบคุมจัดการปริมาณทราฟฟิกของ Gatekeeper

เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการควบคุมจัดการปริมาณทราฟฟิกของ Gatekeeper มีหน่วยเป็น Busy Hour Call Attempt (BHCA) ซึ่งเป็นการวัดประสิทธิภาพจากความสามารถในการรองรับจำนวนครั้งของการโทรในชั่วโมงที่มีการใช้งานมากที่สุดของวัน

2.8.10 ประสิทธิภาพการใช้งานวงจรสื่อสัญญาณ (Line Utilization)

Line Utilization เป็นค่าที่บอกถึงประสิทธิภาพการใช้งานวงจรสื่อสัญญาณเป็นเปอร์เซ็นต์การใช้งานของสัญญาณ ซึ่งจะมีผลต่อการคำนวณหาขนาดแบนด์วิดท์ของสื่อสัญญาณหรือขนาดของลิงค์ไอพีบนโครงข่าย VoIP โดยค่านี้จะแปรผกผันกับค่าแบนด์วิดท์ นั่นคือยิ่งมีปริมาณเปอร์เซนต์การใช้งานบนสื่อสัญญาณมากจะส่งผลให้ค่าแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้งานได้ก็จะลดน้อยลงรวมทั้งจะส่งผลให้ค่าความล่าช้าของสัญญาณสูงขึ้น ดังนั้นในการออกแบบโครงข่ายไอพีของโครงงานนี้กำหนดค่า Line Utilization ไม่เกิน 80 เปอร์เซ็นต์ โดยผู้ใช้สามารถกำหนด Line Utilization ได้

2.8.11 ความเร็วของสื่อสัญญาณ (Line Speed)

ความเร็วของสื่อสัญญาณในที่นี้คือค่าความเร็วของไอพีลิงค์ เป็นค่าความเร็วที่สามารถส่งข้อมูลได้บนสื่อสัญญาณ โดยจะสัมพันธ์กับความเร็วในการส่งข้อมูลบนเส้นทางต่างๆ ของโครงข่ายจะแปรผันตรงกับค่าแบนด์วิดท์ของเส้นทาง กล่าวคือเส้นทางที่มีความเร็วของสื่อสัญญาณสูงจะส่งผลให้แบนด์วิดท์ของเส้นทางนั้นสูงด้วย การคำนวณหาความเร็วของสื่อสัญญาณสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6)

กำหนดให้

Line Speed (bps) เขียนแทนด้วย LS

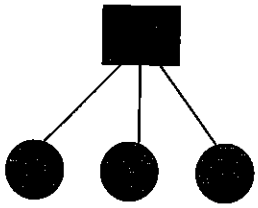
ขนาดของแบนด์วิดท์ที่ต้องการในแต่ละเส้นทาง(bps) เขียนแทนด้วย BWLink

Line Utilization (%) เขียนแทนด้วย LineU

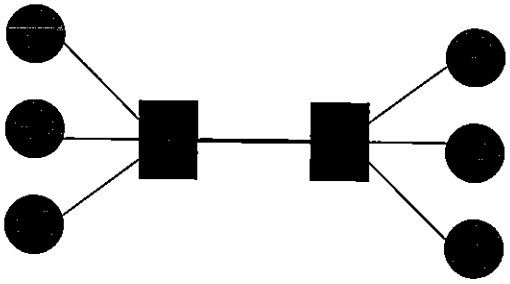
LS (bps) = BWLink (bps) * LineU (%).....(6)

2.8.12 ลักษณะโครงสร้างของโครงข่าย (Network Configuration)

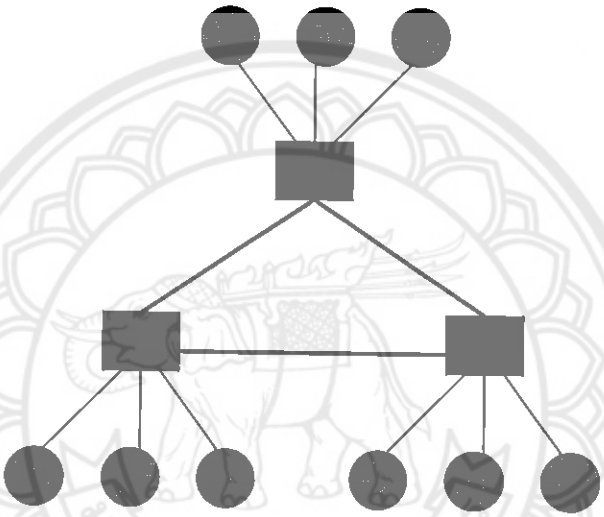
โครงสร้างของโครงข่าย VoIP มีผลต่อการลงทุนการขยายโครงข่ายรวมไปถึงประสิทธิภาพในการให้บริการและคุณภาพของสัญญาณเสียง ในโครงงานกำหนดให้มีโครงสร้างของโครงข่ายเป็น 2 ระดับชั้น คือ โหนดระดับ Core และโหนดระดับ Edge โดยการเชื่อมโยงจากโหนด Core กับ Edge ในพื้นที่เดียวกันเป็นแบบสตาร์ และการเชื่อมโยงระหว่างโหนด Core เป็นแบบเมสซ์ โดยสามารถกำหนดพื้นที่ได้มากสุด 5 พื้นที่ ผลของการออกแบบโครงข่าย VoIP ในโครงงานนี้มี 5 แบบดังแสดงในรูปที่ 2.9 ถึงรูปที่ 2.13



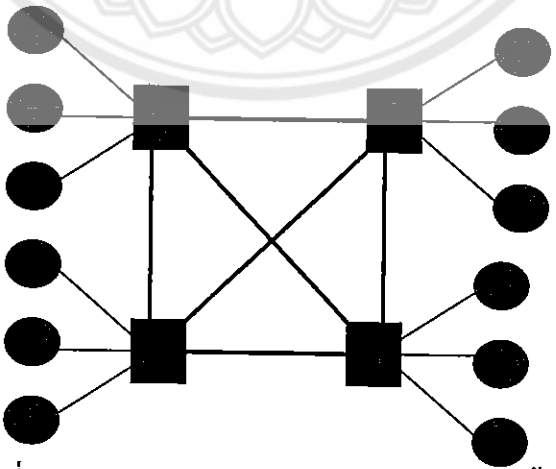
รูปที่ 2.9 โครงสร้างของโครงข่าย VoIP แบบ 1 พื้นที่



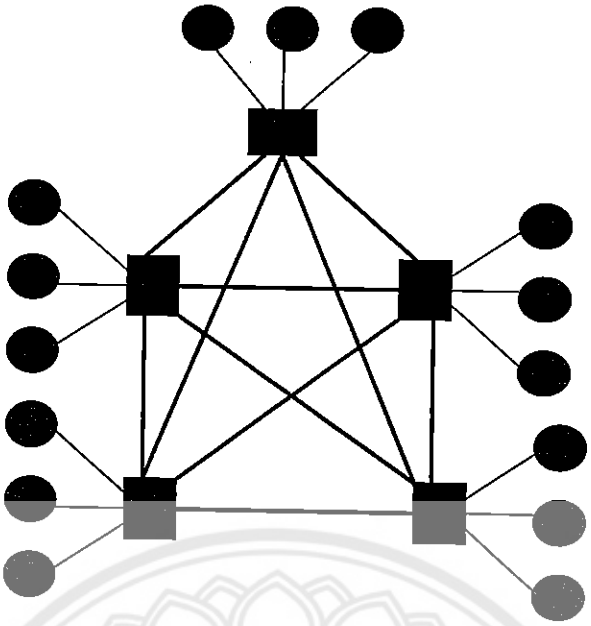
รูปที่ 2.10 โครงสร้างของโครงข่าย VoIP แบบ 2 พื้นที่



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของโครงข่าย VoIP แบบ 3 พื้นที่



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของโครงข่าย VoIP แบบ 4 พื้นที่



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของโครงข่าย VoIP แบบ 5 พื้นที่

2.9 หลักการคำนวณ

เนื่องจากโครงงานโปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP จะทำหน้าที่ช่วยผู้ออกแบบโครงข่ายในส่วนของการคำนวณทั้งหมด โดยมีหลักการคำนวณในส่วนต่าง ๆ ดังนี้

2.9.1 การคำนวณหาขนาดของเกตเวย์ในแต่ละโหนด

การหาขนาดของเกตเวย์จะคำนวณจากปริมาณทราฟฟิกในแต่ละโหนด (Node) โดยต้องเก็บข้อมูลการใช้งานโทรศัพท์ของโครงข่ายที่ต้องการออกแบบมีรายละเอียดดังนี้

- เวลาที่ใช้ในการสนทนาทั้งการโทรเข้าและโทรออกใน 1 วันมีหน่วยเป็นนาที
- Busy Hour Factor เป็นค่าระบุสัดส่วนปริมาณการใช้ในช่วงชั่วโมงที่มีการใช้งานมากสุดเทียบกับปริมาณการใช้งานใน 1 วันมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์
- Mean Holding Time เป็นค่าเวลาเฉลี่ยของการใช้โทรศัพท์ต่อครั้งมีหน่วยเป็นนาที
- Probability of Blocking เป็นอัตราการโทรที่ไม่สำเร็จหรือไม่ได้รับการบริการสามารถหาขนาดของเกตเวย์ตามขั้นตอนดังนี้

<u>ขั้นตอนที่ 1 คำนวณหาปริมาณทราฟฟิก</u>

กำหนดให้

Erlang ' เขียนแทนด้วย E

ปริมาณทราฟฟิก เขียนแทนด้วย A

เวลาที่ใช้งานวงจรในชั่วโมงที่มีการใช้งานมากที่สุด เขียนแทนด้วย cctT_BH

เวลาในการสนทนาในชั่วโมงที่มีการใช้งานมากที่สุด เขียนแทนด้วย conT_BH

เวลาในการสนทนาใน 1 วัน เขียนแทนด้วย conT_D

Busy Hour Factor เขียนแทนด้วย BHF

ดังนั้น

A(E) =cctT_BH (นาที) / 60

กำหนดให้กระบวนการติดต่อ (Call Processing) มีสัดส่วนการใช้งานเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ของช่วงเวลาที่สนทนา ดังนั้น

A(E) = [contT_BH (นาที) * 1.1] / 60....(7)

= [contT_D (นาที) * BHF * 1.1]/ 60.....(8)

<u>ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาจำนวนวงจรที่ใช้งาน</u>

จากปริมาณทราฟฟิกที่คำนวณได้นำไปหาจำนวนวงจร โดยกำหนดค่า Blocking Probability (Grade of Service) เป็นค่าระบุคุณภาพการให้บริการ โดยกำหนดอัตราการโทรที่ไม่สำเร็จจาก Erlang B Formular หรือเปิดจากตาราง Erlang B

กำหนดให้

จำนวนวงจรที่ใช้งาน เขียนแทนด้วย n

ปริมาณทราฟฟิก เขียนแทนด้วย A

Blocking Probability เขียนแทนด้วย E_1

เวลาเฉลี่ยของการใช้งานวงจรในแต่ละครั้งของชั่วโมงที่มีการใช้งานมากสุด (Mean Holding Time) เขียนแทนด้วย MHT

ดังนั้น

n (วงจร) = [A(E), E_1]

---

[1] Erlang เป็นหน่วยของการวัดปริมาณทราฟฟิกโดยจะวัดเวลาที่ใช้งานวงจรในช่วงเวลาหนึ่ง เช่น วัดการใช้งานวงจรในเวลา 1 ชั่วโมง หรือ 60 นาที

1 Erlang (E)= เวลาที่ใช้งานวงจร 60 นาที = เวลาที่ใช้งานวงจร 3,600 วินาที

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์

1508514. e.2

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหาขนาดของ เกตเวย์

เมื่อทราบจำนวนวงจรที่ต้องการใช้งานจากขั้นตอนที่ 2 สามารถคำนวณหาขนาดของเกตเวย์ ดังนี้

5000069

ขนาดของเกตเวย์ (E1) = n / 30 .....(9)

เศษของผลหารปัดเป็นจำนวนเต็ม

ปร.
ทนฯป
๒๕๔๙.

ตัวอย่างการหาขนาดของ เกตเวย์ เมื่อกำหนดปริมาณการใช้งานดังนี้

- เวลาที่ใช้ในการสนทนาทั้งการโทรเข้าและโทรออกใน 1 วันเท่ากับ 2,000 นาที
- Busy Hour Factor เท่ากับ 15 เปอร์เซนต์
- Mean Holding Time เท่ากับ 4 นาที
- Probability of Blocking เท่ากับ 1 เปอร์เซนต์

จากสมการที่ (8) สามารถคำนวณปริมาณทราฟฟิกได้ดังนี้

A(E) = [conT_D (นาที) * BHF x1.1]/ 60.....(8)

= [2,000 * 0.15 * 1.1]/60 = 36.7 E

คำนวณหาจำนวนวงจร จากตาราง Erlang B ในภาคผนวก จ จะได้จำนวนวงจรเท่ากับ 49 วงจร

จากสมการ (9)

ขนาดของเกตเวย์ = n / 30

ขนาดของเกตเวย์ = 49 /30 = 1.63

ดังนั้น ขนาดของเกตเวย์เท่ากับ 2 E1

2.9.2 การคำนวณหาจำนวน Gatekeeper

จำนวน Gatekeeper ขึ้นอยู่กับปริมาณทราฟฟิกโหลด โดยต้องคำนวณหาปริมาณทราฟฟิกโหลด (BHCA) ในแต่ละพื้นที่ โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณหา BHCA ของแต่ละโหนด

สามารถคำนวณหา BHCA ของแต่ละโหนด ได้ดังสมการที่ (10)

กำหนดให้

จำนวนครั้งของการโทรใน 60 นาที เขียนแทนด้วย call_H

เวลาเฉลี่ยของการใช้งานวงจรในแต่ละครั้งของชั่วโมงที่มีการใช้งานมากสุด (Mean Holding Time เขียนแทนด้วย MHT

BHCA ในแต่ละโหนด = cctT_BH (นาที)

= call_H* MHT (นาที).....(10)

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาจำนวน Gatekeeper

สามารถคำนวณหาจำนวน Gatekeeper ได้ดังสมการที่ (11)

$$\text{จำนวนของ Gatekeeper} = \frac{\text{BHCA รวมของทุกโหนด (BHCA)}}{\text{ความสามารถในการจัดการปริมาณทราฟฟิกของGatekeeper(BHCA)}} \quad ..(11)$$

2.9.3 คำนวณหาขนาดของแบนด์วิดท์ต่อวงจร (กิโลบิทต่อวินาที)

โดยปกติ 1 วงจรเสียงต้องการแบนด์วิดท์ 64 กิโลบิทต่อวินาที สำหรับ VoIP จะมีขนาดของแบนด์วิดท์ต่อวงจรน้อยกว่า 64 กิโลบิทต่อวินาที ดังนั้นในโครงงานนี้ คำนวณหาค่าตัวคูณเพื่อนำไปคูณกับ 64 โดยมีการคำนวณดังนี้

กำหนดให้

แบนด์วิดท์ต่อวงจร เขียนแทนด้วย BWperCh

ค่าตัวคูณ เขียนแทนด้วย M

Voice Coder Bandwidth เขียนแทนด้วย CoderBW

Layer 2 Size เขียนแทนด้วย L2S

Layer2 Payload เขียนแทนด้วย L2P

Control Overhead เขียนแทนด้วย CP

Layer3-5 Size เขียนแทนด้วย L345S

Layer3-5 Payload เขียนแทนด้วย L345P

Layer 3-5 Header เขียนแทนด้วย L345

Voice Sampling Interval เขียนแทนด้วย VSI

Voice Samples per Frame เขียนแทนด้วย VSF

Layer 6 Size เขียนแทนด้วย L6S

BWperCh (กิโลบิทต่อวินาที) = M * 64 (กิโลบิทต่อวินาที).....(12)

ขั้นตอนการคำนวณหาค่าตัวคูณ (Multiplier)

M = (CoderBW in kbps/64 kbps) * (L2S /L2P).....(13)

L2S = L2H + L2P

L2P = [100/(1- %CP)] * ((L345S) /L345P)

Control Overhead ของ RTCP จากมาตรฐานใน RFC กำหนดให้ไม่เกินประมาณ 5 % ของแบนด์วิดท์

รวม L345S = L345H + L345P

L345P = ขนาดของไอพีแพ็คเก็ต (IP Packet Size) คำนวณจาก

= VSI (ms) * VSF * L6P..... (14)

L6S(byte) = CoderBW (bps) /8 * VAD.....(15)

ตัวอย่างการคำนวณหาขนาดของแบนด์วิดท์ต่อวงจรเมื่อกำหนด

Voice Coder G.729 8 kbps

VAD = 70%

Layer 3-5 Header = cRTP มีขนาด 5 ไบท์

Control Protocol = RTCP มี Control Overhead ไม่เกิน 5 %

Layer 2 เป็น ATM –AAL 1 มีขนาด 53 ไบท์ และเฮดเดอร์ 9 ไบท์และขนาดของข้อมูล 44 ไบท์

M = (8 kbps/64 kbps) * (53/44) = 0.1506

BWperCh (กิโลบิทต่อวินาที) = 0.1506 * 64

= 9.638 กิโลบิทต่อวินาที

ถ้าหากเลือก Layer 2 เป็น Frame Relay, PPP หรือ Ethernet ค่า Layer 2 Size /Layer2 Payload จะแปรผันกับขนาดของแพ็คเก็ต

2.9.4 การคำนวณหาขนาดของสื่อสัญญาณที่เชื่อมระหว่างโหนด (IP Link)

จากสมการที่ (6) สามารถคำนวณ IP Link/Line Speed (bps)

LS = BWLink (bps) *LineU

โดยสามารถคำนวณหาขนาดของแบนด์วิดท์ที่ต้องการใช้งานได้ดังนี้

BWLink (kbps) = n * BwperCh

<u>ตัวอย่างการคำนวณหาขนาดของสื่อสัญญาณที่เชื่อมระหว่างโหนด</u>

กำหนด Line Utilization เท่ากับ 70 มีจำนวนวงจรที่ใช้งานเท่ากับ 40 วงจรและใช้แบนด์วิดท์ต่อวงจรเท่ากับ 12 kbps จะมีขนาดของสื่อสัญญาณในแต่ละเส้นทางเท่ากับ

LS (bps) = (40 * 12,000) * 0.70

= 336 กิโลบิทต่อวินาที

2.9.5 คำนวณหาค่าความล่าช้าของการส่งสัญญาณ (End to End Delay)

สามารถคำนวณหา End to End Delay ได้ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 2.8.7 สมการที่ (3) ดังนี้

End to End Delay (ms) = CD + PD + DjBD + SD+ QD + SwD + PD

กำหนดให้ Other Delays คือ Network Delay (Serialization Delay+ Queuing Delay + Switching Delay และ Propagation Delay ดังนั้น

End to End Delay (ms) = (CD+ PD+ DjBD) + Other Delays.....(16)

ในโครงงานนี้กำหนดให้ Other delays คือ Network Delay และ Propagation Delay เป็นตัวแปรที่มีค่าคงที่ 20 มิลลิวินาที โดยคิดจากระยะทางจุดที่ไกลที่สุดในเมืองไทยไม่เกิน 3,000 กิโลเมตรมีค่า Propagation Delay ที่ส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสงเท่ากับ 18 มิลลิวินาที และกำหนดให้ Network Delay ประมาณ 2 มิลลิวินาที เนื่องจาก Latency Delay ของอุปกรณ์ Router ทั่วไปอยู่ที่ 200 ไมโครวินาที ดังนั้น

End to End Delay (ms) = (CD + PD + DjBD) + 20

ความล่าช้าที่เกตเวย์ (ms) = CD + PD + DjBD

เนื่องจาก Coder Delay, Packetization Delay และ Dejitter Buffer เป็นความล่าช้าที่เกิดขึ้นที่เกตเวย์สามารถคำนวณได้ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.8.7 ดังนี้

GWD (ms) = CoderLA (ms) + Delay per Frame (ms)

Delay per Frame (ms) =[VSI (ms) * VSF] * 2

สามารถคำนวณ Coder Delay , Packetization Delay และ Dejitter buffer ได้จากสมการที่ (4)

เกตเวย์ Delay (ms) = [CoderLA(ms) + (VSI (ms) * VSF)] * 2

ตัวอย่างการคำนวณหาค่า End to End Delay เมื่อกำหนดค่า Voice Sampling Interval เท่ากับ 10 มิลลิวินาทีและ Voice Sample per packet เท่ากับ 2 ของ Voice Coder G.729 ซึ่งมีค่า Voice Coder Look Ahead เท่ากับ 5 มิลลิวินาที

คำนวณจาก

End to End Delay (ms)= (CD + PD + DjBD) + 20

= [CoderLA(ms) + (VSI (ms) * VSF)] * 2 + 20

= [5 ms + (10 ms * 2 Samples per Packet)] * 2 + 20

= 70 มิลลิวินาที

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรม

3.1 ลักษณะการทำงานของโปรแกรม

โปรแกรม VoIP Network Design Assistant Tool หรือโปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการออกแบบโครงข่าย VoIP ซึ่งเป็นส่วนที่ช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถออกแบบได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น โดยโปรแกรมจะทำงานในส่วนของการคำนวณต่างๆ ทั้งหมด เช่น คำนวณหาขนาดของอุปกรณ์เกตเวย์ คำนวณหาจำนวน Gatekeeper คำนวณหาขนาดของสื่อสัญญาณในแต่ละเส้นทาง โดยลักษณะการทำงานของโปรแกรมจะให้ผู้ใช้กำหนดข้อมูลความต้องการใช้งานของระบบโครงข่าย VoIP ทั้งหมด โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

1. ความต้องการด้านการออกแบบโครงข่าย VoIP ในส่วนนี้จะมุ่งเน้นเรื่องของการกำหนดโพรโตคอลที่ใช้ในโครงข่าย VoIP และประสิทธิภาพการใช้งานของสื่อสัญญาณดังนี้

1.1 พรีเซ็นเตชันเลเยอร์ (Presentation Layer)

- ประเภทการบีบอัดสัญญาณ
- VAD

เซสชั่น ทรานสปอร์ต เน็ทเวิร์กเลเยอร์ (Session, Transport, Network Layer)

- Voice Sampling Interval (ms)
- Voice Sample per IP packet
- ทรานสปอร์ตโพรโตคอล
- คอนโทรลโพรโตคอล

ดาต้าลิงค์เลเยอร์

- ดาต้าลิงค์โพรโตคอล

1.4 Line Utilization

1.5 Gatekeeper Capacity

2. ความต้องการด้านลักษณะโครงสร้างและขนาดของโครงข่าย VoIP ในส่วนนี้จะมุ่งเน้นเรื่องของการกำหนดความต้องการใช้งานและการรองรับปริมาณทราฟฟิกของโครงข่ายดังนี้

- จำนวนพื้นที่ในระบบโครงข่าย
- จำนวนโหนดของแต่ละพื้นที่ในโครงข่าย
- ปริมาณทราฟฟิกที่ต้องการใช้งานในแต่ละเส้นทาง

หลังจากที่ผู้ใช้กำหนดความต้องการด้านต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะทำการคำนวณระบบโครงข่าย VoIP จากค่าความต้องการที่กำหนดข้างต้น และแสดงผลการคำนวณในรูปแบบกราฟฟิกเป็นโครงสร้างของโครงข่าย VoIP ทั้งหมดพร้อมทั้งแสดง ขนาดของเกตเวย์ ขนาดของสื่อสัญญาณในแต่ละเส้นทาง จำนวน Gatekeeper และการจัดโซนเพื่อแบ่งพื้นที่ในการดูแลเกตเวย์

3.2 โครงสร้างของโปรแกรม

จากการออกแบบลักษณะการทำงานของโปรแกรมจึงได้แบ่งโครงสร้างของโปรแกรมออกเป็น 3 ส่วนหลัก ดังนี้

1. ส่วนติดต่อกับผู้ใช้

จากการออกแบบการทำงานโปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP ส่วนติดต่อกับผู้ใช้จะเป็นส่วนที่ให้ผู้ใช้กำหนดค่าความต้องการความต้องการด้านการออกแบบ และความต้องการด้านลักษณะโครงสร้างรวมถึงขนาดของโครงข่าย VoIP เพื่อส่งค่าดังกล่าวทั้งหมดให้กับส่วนคำนวณการออกแบบโครงข่าย หลังจากที่ส่วนคำนวณการออกแบบโครงข่ายคำนวณเสร็จเรียบร้อยแล้วจะส่งผลที่คำนวณได้กลับให้ส่วนติดต่อกับผู้ใช้เพื่อแสดงผลการออกแบบโครงข่าย โดยสามารถแบ่งส่วนการติดต่อกับผู้ใช้ออกเป็น 4 ส่วนดังต่อไปนี้

- ส่วนกำหนดความต้องการด้านการออกแบบโครงข่าย
- ส่วนกำหนดลักษณะโครงสร้างของโครงข่าย
- ส่วนกำหนดข้อมูลทางด้านปริมาณทราฟฟิก
- ส่วนแสดงผลการออกแบบโครงข่าย

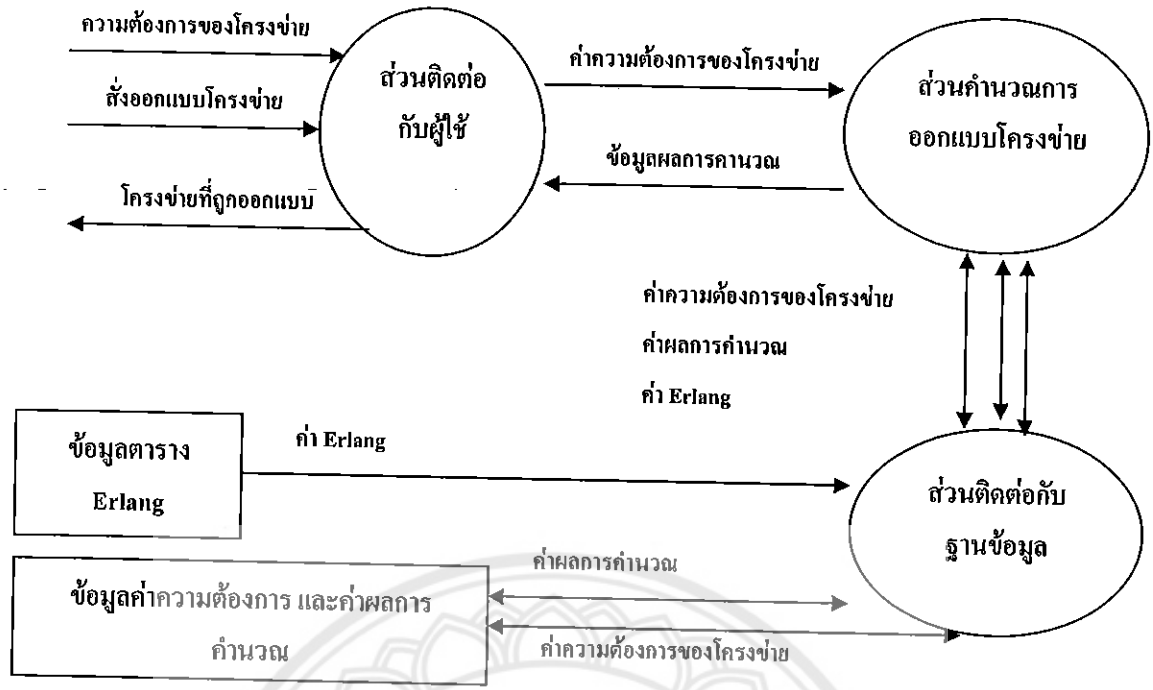
2. ส่วนคำนวณการออกแบบโครงข่าย

ในส่วนนี้จะทำหน้าที่คำนวณการออกแบบระบบโครงข่าย VoIP โดยจะนำข้อมูลในการออกแบบโครงข่ายทั้งหมดมาประมวลผล ข้อมูลในการออกแบบทั้งหมดได้แก่ค่าความต้องการของโครงข่ายทั้งหมดซึ่งได้รับมาจากส่วนติดต่อกับผู้ใช้ ค่า Erlang ต่างๆ จากส่วนติดต่อกับฐานข้อมูล โดยจะกล่าวอย่างละเอียดในหัวข้อการพัฒนาโปรแกรมส่วนคำนวณการออกแบบโครงข่าย

3. ส่วนที่ใช้ติดต่อกับฐานข้อมูล

เป็นส่วนที่ใช้ติดต่อกับไฟล์ข้อมูลเพื่ออ่านและบันทึกค่าความต้องการของระบบและผลการออกแบบโครงข่าย VoIP รวมทั้งใช้ในการติดต่อกับไฟล์ข้อมูลตาราง Erlang เพื่อใช้ในการคำนวณค่า Erlang

โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมและลักษณะติดต่อระหว่างโมดูลแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรม

3.3 การพัฒนาโปรแกรม

3.3.1 เครื่องมือที่ช่วยในการพัฒนาโปรแกรม

โปรแกรมช่วยในการออกแบบโครงข่ายถูกพัฒนาขึ้นด้วย โปรแกรม Visual Basic เวอร์ชัน 6 เนื่องจากโปรแกรม Visual Basic เป็นโปรแกรมภาษาที่สามารถนำมาพัฒนาแอพพลิเคชันบนวินโดว์ได้อย่างสะดวกรวดเร็ว มีเครื่องมือสนับสนุนมากมายทั้งจากไมโครซอฟท์และจากบริษัทอื่นๆ อีกทั้งโปรแกรมช่วยในการออกแบบโครงข่ายนี้ไม่ใช่โปรแกรมที่ทำงานแบบเรียลไทม์ จึงไม่จำเป็นต้องใช้ความเร็วในการคำนวณมากนัก โดยมีโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล (Microsoft Excel) เป็นส่วนเก็บข้อมูลและประมวลผลทราฟฟิก เนื่องจากเป็นโปรแกรมแอพพลิเคชันที่สนับสนุนการคำนวณและมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย

3.3.2 ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบและพัฒนาโปรแกรม

1. คุณสมบัติของ Voice Coder

คุณสมบัติของ Voice Coder หรือการบีบอัดสัญญาณแต่ละประเภทแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของ Voice Coder หรือการบีบอัดสัญญาณแต่ละประเภท

ประเภทของ Voice Coder	อัตราการเข้ารหัส (กิโลบิทต่อวินาที)	ช่วงเวลาของเฟรม (มิลลิวินาที)	ขนาดของเฟรม (ไบท์)
G.711 PCM	64	0.125	1
G.721 ADPCM	32	0.125	0.5
G.726 ADPCM	16	0.125	0.25
G.726 ADPCM	24	0.125	0.375
G.726 ADPCM	32	0.125	0.5
G.726 ADPCM	40	0.125	0.625
G.723.1 ACELP	5.3	30	20
G.723.1 MLQ-ACELP	6.3	30	24
G.728 LD CELP	16	0.125	0.25
G.729 CS-ACELP	8	10	10

2. คุณสมบัติของทรานสปอร์ต์โพรโตคอลและคอนโทรลโพรโตคอล

ทรานสปอร์ตโพรโตคอล ใช้การขนส่งข้อมูลระหว่างต้นทางกับปลายทาง ในโครงข่าย VoIP จะแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ 1ใช้ UDP, RTP ร่วมกับ IP ประเภทที่ 2 คือ ใช้ cRTP เป็นการบีบอัดเฮดเดอร์ (Header) ที่ใช้ควบคุมการส่งข้อมูล มีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ขนาดเฮดเดอร์ของทรานสปอร์ตโพรโตคอลที่ใช้ในโครงข่าย VoIP

ขนาดของทรานสปอร์ตโพรโตคอล (ไบท์)	ขนาดของเฮดเดอร์ (ไบท์)
IP	20
UDP	8
RTP	12
CRTP	2-5

เรียลไทม์คอนโทรลโพรโตคอล (RTCP) เป็นคอนโทรลโพรโตคอลจะช่วยในการควบคุมรักษาคุณภาพของการส่งข้อมูลประเภทสัญญาณเสียงระหว่างเครื่องโทรศัพท์ต้นทางกับเครื่องโทรศัพท์ปลายทาง

3. คุณสมบัติของดาต้าลิงค์โพรโตคอล

โครงสร้างของดาต้าลิงค์โพรโตคอล ที่ใช้ในการออกแบบโครงงานนี้แสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 โครงสร้างของดาต้าลิงค์โพรโตคอล

ประเภทของดาต้าลิงค์โพรโตคอล	ขนาดของเฟรม (ไบท์)	ขนาดของเฮดเดอร์ (ไบท์)	ขนาดของส่วนข้อมูล (ไบท์)
ATM-AAL1	53	9	44
ATM-AAL2	53	6	47
Frame Relay	Variable	7	IP Packet Size
PPP	Variable	6	IP Packet Size
802.3 Ethernet	Variable	26	IP Packet Size

4. อัตราค่าเช่าวงจร

ในการออกแบบโครงข่าย VoIP สิ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ เรื่องค่าใช้จ่ายในการเช่าวงจรสื่อสัญญาณเชื่อมโยงระหว่างโหนดดังนั้นเพื่อประกอบการคิดค่าเช่าวงจรโปรแกรมจะแสดงอัตราค่าเช่าวงจรคิดตามช่วงระยะทางจากต้นทางถึงปลายทางโดยอ้างอิงจากอัตราค่าเช่าวงจรจากองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย ประเภทที่ 1 จากสถานที่ผู้เช่าด้านหนึ่งไปยังสถานที่ผู้เช่าอีกด้านหนึ่ง ตัวอย่างแสดงในตารางที่ 3.4 และตัวอย่างข้อมูลระยะทางและช่วงระยะทางเพื่อใช้ประกอบในการคิดค่าเช่าวงจรจากต้นทางถึงปลายทางแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.4 อัตราค่าเช่าวงจรในประทศไทยประเภทที่ 1 ตามระเบียบองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย (หน่วย: บาท)

รายการ	จังหวัดติดกัน	0 – 125 กม.	126 – 200 กม.	201 – 351 กม.	351-600 กม.	600 กม. ขึ้นไป
2.048 Mbps	74,000	99,000	124,000	149,000	199,000	249,000
1.536 Mbps	64,000	80,000	108,000	130,000	173,000	217,000
1.024 Mbps	50,000	68,000	85,000	102,000	136,000	170,000
768 kbps	42,000	57,000	71,000	80,000	115,000	145,000
512 kbps	32,000	45,000	50,000	67,000	90,000	112,000
384 kbps	27,500	37,500	47,000	60,600	75,500	93,600
256 kbps	21,500	20,500	37,000	44,500	59,500	74,600
192 kbps	17,500	26,000	31,500	37,600	50,500	62,500
128 kbps	13,500	19,500	24,600	20,500	30,500	40,600
64 kbps	9,000	12,500	16,500	19,500	25,500	32,500

ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างข้อมูลระยะทางและช่วงระยะทางเพื่อใช้ประกอบในการคิดค่าเช่าวงจรจากต้นทางถึงปลายทาง

ลำดับ	ต้นทาง	ปลายทาง	ระยะทาง (กม.)	ช่วงระยะทาง
1	กรุงเทพ	กระบี่	654	600 กม. ขึ้นไป
2	กรุงเทพ	กาญจนบุรี	110	0 - 125 กม.
3	กรุงเทพ	กาฬสินธุ์	437	351 - 600 กม.
4	กรุงเทพ	กำแพงเพชร	319	201 - 350 กม.
5	กรุงเทพ	ขอนแก่น	388	351 - 600 กม.
6	กรุงเทพ	จันทบุรี	214	201 - 350 กม.
7	กรุงเทพ	ฉะเชิงเทรา	ติดกัน (61)	จว. ติดกัน
8	กรุงเทพ	ชลบุรี	68	0 - 125 กม.
9	กรุงเทพ	ชัยนาท	164	126 - 200 กม.
10	กรุงเทพ	ชัยภูมิ	280	201 - 350 กม.
11	กรุงเทพ	ชุมพร	390	351 - 600 กม.
12	กรุงเทพ	เชียงราย	684	600 กม. ขึ้นไป
13	กรุงเทพ	เชียงใหม่	582	351 - 600 กม.
14	กรุงเทพ	ตรัง	693	600 กม. ขึ้นไป
15	กรุงเทพ	ตราด	275	201 - 350 กม.
16	กรุงเทพ	ตาก	376	351 - 600 กม.
17	กรุงเทพ	นครนายก	ติดกัน (90)	จว. ติดกัน
18	กรุงเทพ	นครปฐม	ติดกัน (50)	จว. ติดกัน
19	กรุงเทพ	นครพนม	610	600 กม. ขึ้นไป
20	กรุงเทพ	นครราชสีมา	217	201 - 350 กม.

5. ตาราง Erlang B

การหาขนาดเกตเวย์ของแต่ละโหนดคำนวณจากจำนวนวงจรที่ต้องการ โดยกำหนดคุณภาพการให้บริการหรือกำหนดค่าความเป็นไปได้ที่การโทรครั้งนั้นจะไม่ได้รับบริการ ความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถสรุปเป็นตาราง Erlang B ดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ตัวอย่างตาราง Erlang B แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Probability of Blocking (E_1) กับจำนวนวงจร (n) เมื่อทราบค่าทราฟฟิกที่เข้ามา (Traffic Offered :Ao)

n \ E	0.001	0.002	0.005	0.010	0.020	0.050	0.100
1	0.001	0.002	0.005	0.010	0.020	0.052	0.111
2	0.045	0.065	0.105	0.152	0.223	0.381	0.595
3	0.193	0.248	0.349	0.455	0.602	0.899	1.270
4	0.439	0.535	0.701	0.869	1.092	1.524	2.045
5	0.762	0.899	1.132	1.360	1.657	2.218	2.881
6	1.145	1.325	1.621	1.909	2.275	2.960	3.758
7	1.578	1.798	2.157	2.500	2.935	3.737	4.666
8	2.051	2.310	2.729	3.127	3.627	4.542	5.597
9	2.557	2.854	3.332	3.782	4.344	5.370	6.546
10	3.092	3.426	3.960	4.461	5.084	6.215	7.510
11	3.651	4.021	4.610	5.159	5.841	7.076	8.487
12	4.231	4.636	5.278	5.875	6.614	7.950	9.474
13	4.830	5.270	5.963	6.607	7.401	8.834	10.469
14	5.446	5.919	6.663	7.351	8.200	9.729	11.473
15	6.077	6.582	7.375	8.108	9.009	10.632	12.483
16	6.721	7.258	8.099	8.875	9.828	11.543	13.500
17	7.378	7.945	8.833	9.651	10.655	12.461	14.521
18	8.045	8.643	9.578	10.436	11.490	13.385	15.548
19	8.723	9.351	10.330	11.230	12.332	14.314	16.578
20	9.411	10.068	11.091	12.030	13.181	15.249	17.613

3.3.3 สมมติฐานที่ใช้ในการออกแบบโครงข่าย VoIP

- โครงสร้างของโครงข่ายแบ่งเป็น 2 ระดับคือระดับ Core และระดับ Edge
- จำนวนโหนดของชุมสายต่อผ่านจากโหนดต้นทางถึงปลายทางมากที่สุดเท่ากับ 2 โหนด
- Network Delay และ Propagation Delay กำหนดเป็นตัวแปรที่มีค่าคงที่ 20 มิลลิวินาทีคิดจากระยะทางจุดที่ไกลที่สุดในเมืองไทยไม่เกิน 3,000 กิโลเมตร มีค่า Propagation Delay ที่ส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสงเท่ากับ 18 มิลลิวินาที และกำหนดให้ Network Delay ประมาณ 2 มิลลิวินาที เนื่องจากความล่าช้าที่เกิดขึ้นที่อุปกรณ์เราเตอร์แต่ละจุดโดยทั่วไปเท่ากับที่ 200 ไมโครวินาที

3.3.4 การพัฒนาโปรแกรมในแต่ละส่วน

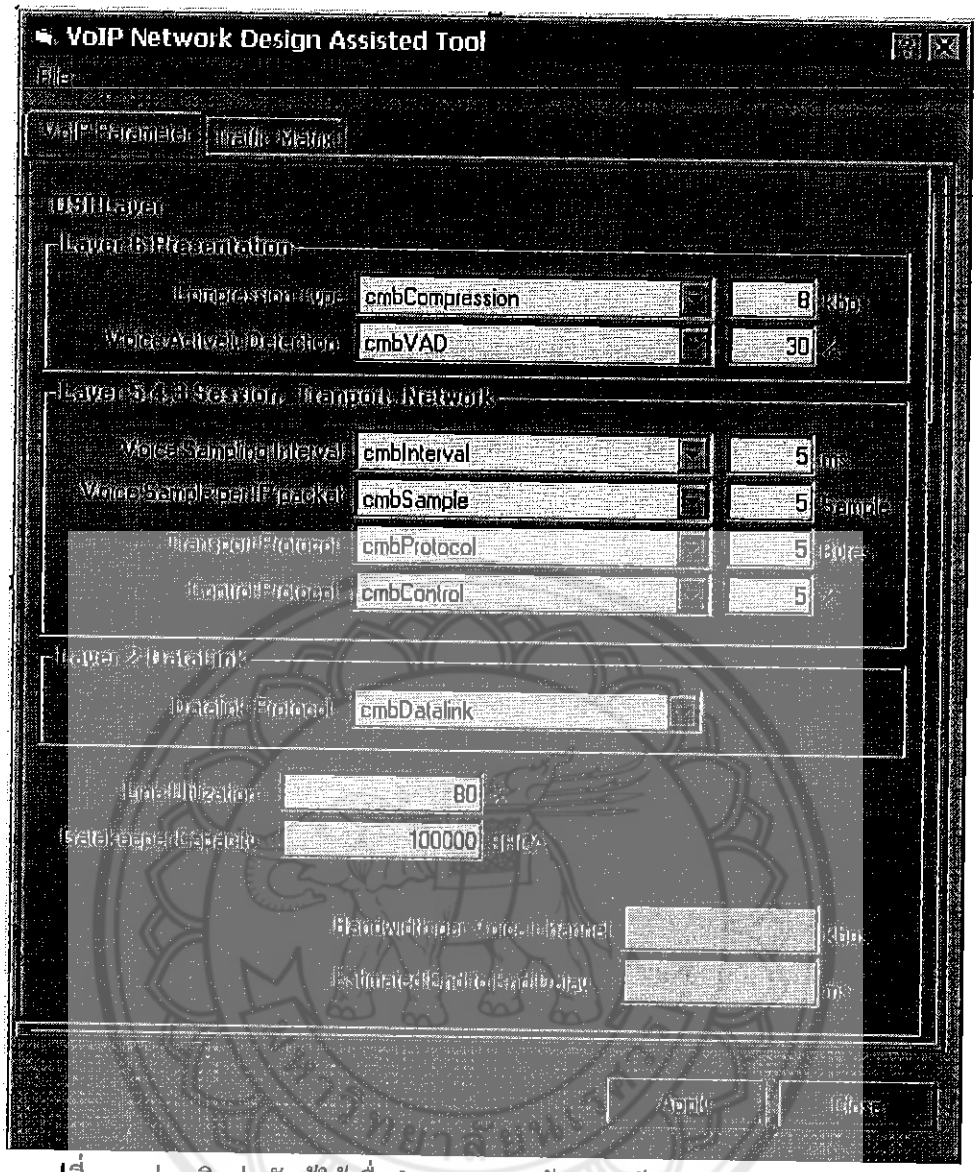
จากลักษณะการทำงานของโปรแกรมและโครงสร้างของโปรแกรมดังที่ได้กล่าวข้างต้นในหัวข้อ 3.1 และ 3.2 นั้น มีรายละเอียดการพัฒนาในแต่ละส่วนดังนี้

3.3.4.1 การพัฒนาโปรแกรมในแต่ละส่วนติดต่อกับผู้ใช้

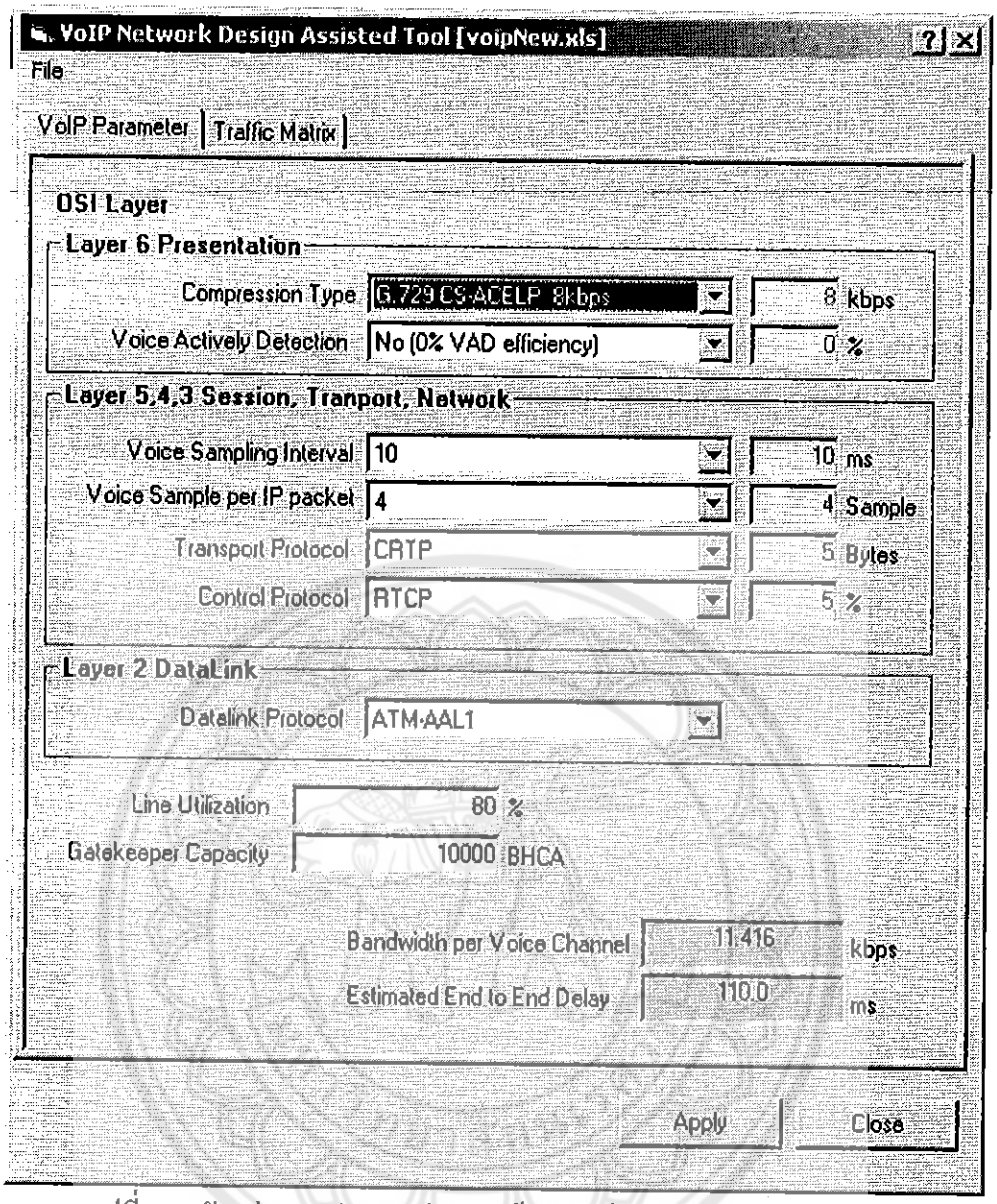
ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ที่สามารถพัฒนาได้อย่างสะดวกเนื่องจากการออกแบบหน้าจอหรือส่วนติดต่อกับผู้ใช้ของโปรแกรมวิชวลเบสิกเป็นแบบกราฟฟิก โดยใช้เทคโนโลยีการลากแล้ววาง (Drag and Drop) ส่วนประกอบที่ต้องการ หน้าจอที่ออกมาในขณะรันแอพพลิเคชันจะมีลักษณะเหมือนกับหน้าจอตอนที่ออกแบบ การออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ทั้ง 4 ส่วนมีรายละเอียดดังนี้

1. ส่วนการกำหนดความต้องการด้านการออกแบบโครงข่าย

ในส่วนนี้ใช้จะรับค่าอินพุท (Input) จากผู้ใช้โดยให้ผู้ใช้กำหนดค่าความต้องการด้านการออกแบบ โดยจะให้ผู้ใช้ กำหนดค่าอินพุทพารามิเตอร์ในเฟรม VoIP Parameter เพื่อนำมาคำนวณหา Bandwidth per Voice Channel, Estimated End to End Delay และ Line Speed ของสื่อสัญญาณ ค่าความต้องการในส่วนนี้จะถูกแยกออกเป็นกลุ่มๆ ตามมาตรฐานลำดับชั้นของ OSI เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจในการกำหนดค่า ได้แก่ กลุ่ม Presentation Layer กลุ่ม Session, Transport, Network Layer กลุ่ม Data Link Layer รวมทั้งกำหนดค่า Line Utilization และ Gatekeeper Capacity ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ตัวอย่างการกำหนดค่ากำหนดความต้องการด้านการออกแบบโครงข่ายในเฟรม VoIP Parameter ดังแสดงในรูปที่ 3.3



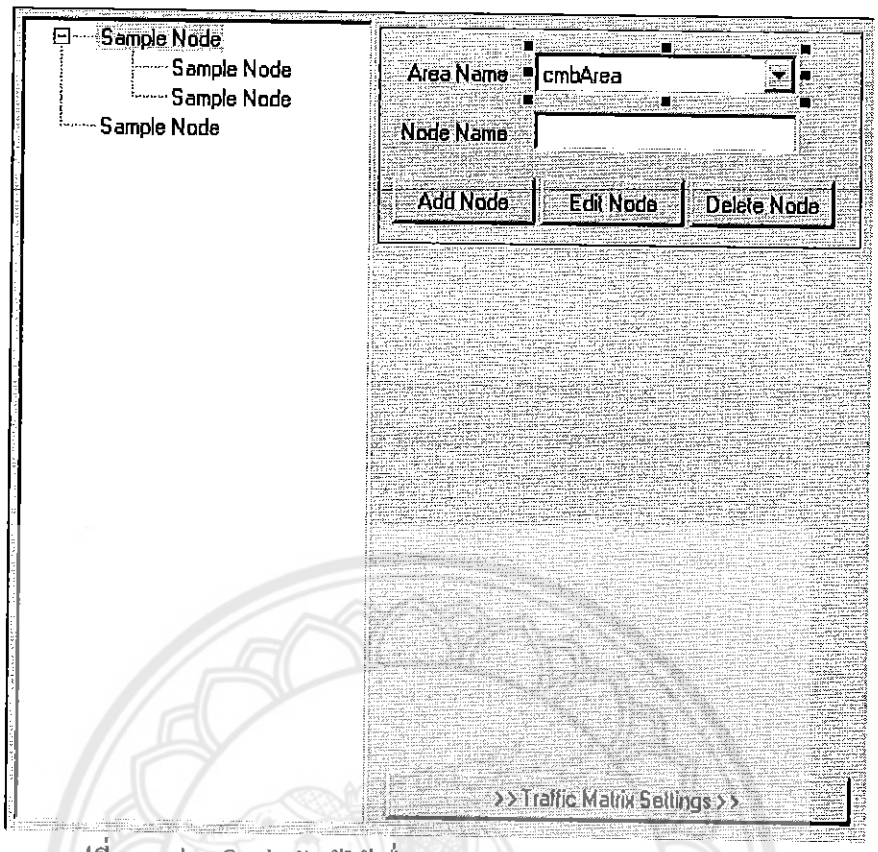
รูปที่ 3.2 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้เพื่อกำหนดความต้องการด้านการออกแบบโครงข่าย



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการกำหนดค่าความต้องการด้านการออกแบบโครงข่าย

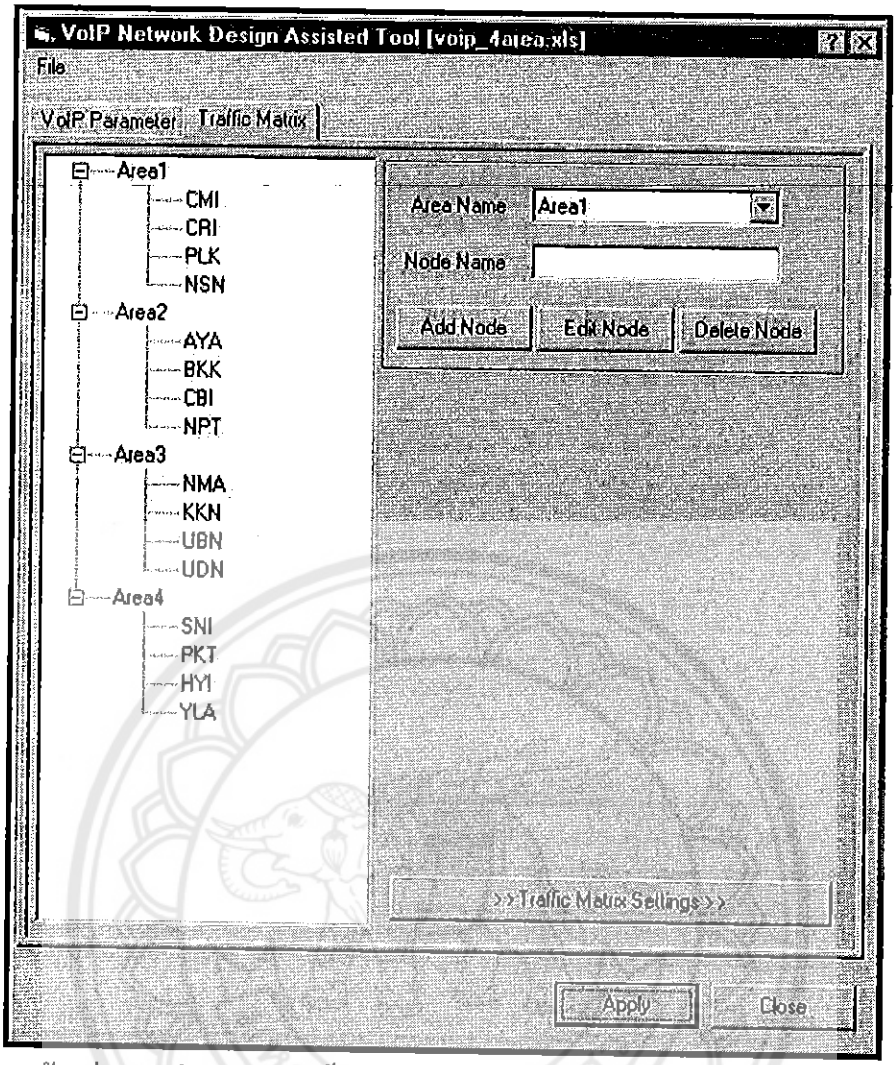
2. ส่วนกำหนดลักษณะโครงสร้างของโครงข่าย

ในส่วนนี้ผู้ใช้จะต้องกำหนดลักษณะของโครงข่าย VoIP ว่ามีการแบ่งพื้นที่ออกเป็นกี่ส่วน ชื่ออะไรบ้าง ต้องกำหนดจำนวนและชื่อโหนดลงในแต่ละเขตพื้นที่ สามารถกำหนดเขตพื้นที่ได้มากสุด ถึง 5 พื้นที่และสามารถกำหนดโหนดได้มากสุดถึง 25 โหนด ซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบ Tree View เพื่อให้ใช้งานได้ง่าย และ จะมีปุ่มสำหรับเพิ่ม ลบ และแก้ไขดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้เพื่อกำหนดลักษณะโครงสร้างโครงข่าย

ตัวอย่างการความต้องการในส่วนของกำหนดลักษณะโครงสร้างของโครงข่าย โดยกำหนดค่าอินพุทในเฟรมทราฟฟิกเมทริกซ์ เพื่อนำมาสร้างทราฟฟิกเมทริกซ์ ดังรูปที่ 3.5 แสดงการกำหนดลักษณะโครงข่าย VoIP ที่ต้องการออกแบบขนาด 16 โหนดใน 4 พื้นที่



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการกำหนดความต้องการในส่วนของกำหนดลักษณะโครงสร้างของโครงข่าย

3. ส่วนกำหนดข้อมูลทางด้านปริมาณทราฟฟิก

ในส่วนนี้ใช้สำหรับกำหนดปริมาณทราฟฟิกจากโหนดต้นทางไปหาโหนดปลายทาง โดยออกแบบให้ในรูปแบบตารางทราฟฟิกเมทริกซ์ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ผู้ใช้จะต้องกำหนดค่าอินพุททราฟฟิกเมทริกซ์ต่าง ๆ ดังนี้

- Outgoing Call Minutes per Day / Incoming Call Minutes per Day (mins.)

เป็นการกำหนดเวลาที่ใช้ในการโทรเข้าและโทรออกใน 1 วันมีหน่วยเป็นนาที โดยออกแบบให้กำหนดจำนวนเวลารวมที่ใช้ของการโทรออกใน 1 วัน ในช่องสีขาว และ จำนวนเวลารวมที่ใช้ในการรับสายโทรเข้าในช่องสีทึบ ซึ่งให้กำหนดให้มีค่าเริ่มต้นให้เท่ากับจำนวนเวลาที่ใช้ในการโทรออกทั้งนี้ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้

- Busy Hour Factor (%)

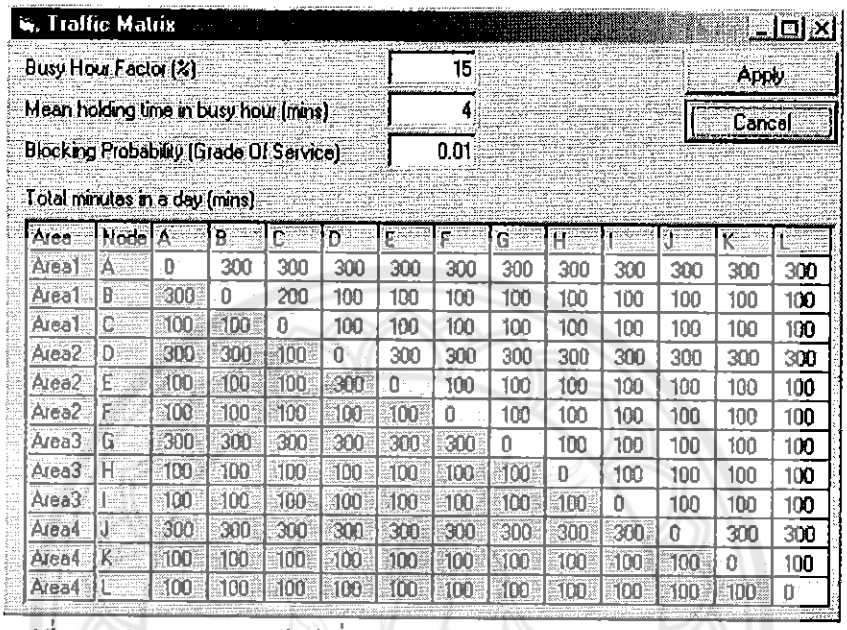
เป็นค่าระบุสัดส่วนปริมาณการใช้ในช่วงชั่วโมงที่มีการใช้งานมากที่สุดเทียบกับปริมาณการใช้งานใน 1 วัน

- Mean Holding Time (mins.)

เป็นค่าเวลาเฉลี่ยของการใช้โทรศัพท์ต่อครั้งมีหน่วยเป็นนาที

- Blocking Probability (Grade of Service)

เป็นค่าระบุคุณภาพการให้บริการโดยกำหนดอัตราการโทรที่ไม่สำเร็จ



Area	Node	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Area1	A	0	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Area1	B	300	0	200	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Area1	C	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Area2	D	300	300	100	0	300	300	300	300	300	300	300	300
Area2	E	100	100	100	300	0	100	100	100	100	100	100	100
Area2	F	100	100	100	100	100	0	100	100	100	100	100	100
Area3	G	300	300	300	300	300	300	0	100	100	100	100	100
Area3	H	100	100	100	100	100	100	100	0	100	100	100	100
Area3	I	100	100	100	100	100	100	100	100	0	100	100	100
Area4	J	300	300	300	300	300	300	300	300	300	0	300	300
Area4	K	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	100
Area4	L	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0

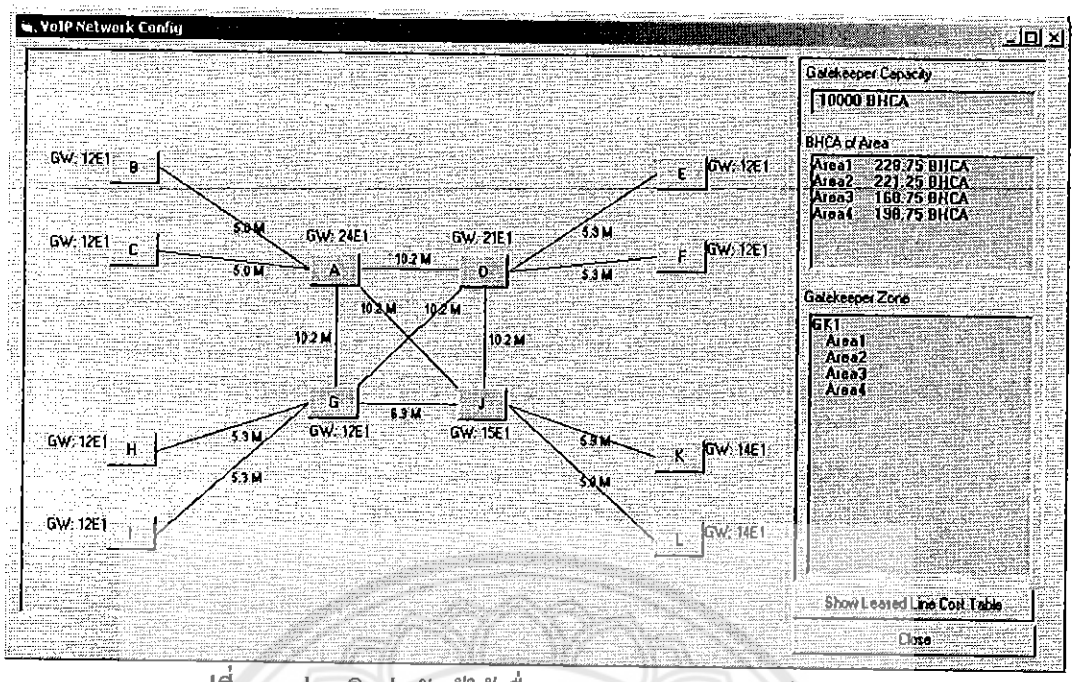
รูปที่ 3.6 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้เพื่อกำหนดความต้องการด้านปริมาณทราฟฟิก

4. ส่วนแสดงผลการออกแบบโครงข่าย

ในส่วนติดต่อกับผู้ใช้ส่วนสุดท้ายเป็นส่วนที่ใช้แสดงผลการออกแบบโครงข่ายที่ได้จากการกำหนดค่าความต้องการของโครงข่ายข้างต้น ซึ่งส่วนนี้จะแสดงผลการต่อโครงข่ายแบบกราฟฟิก รวมทั้งสรุปผลที่ได้จากการคำนวณระบบโครงข่าย VoIP โดยจะแสดงค่าต่างๆ ดังนี้

- โครงสร้างของโครงข่าย VoIP
- ขนาดของเกตเวย์ของแต่ละโหนดมีหน่วยเป็น E1
- ขนาดของสื่อสัญญาณในแต่ละเส้นทางมีหน่วยเป็น Mbps หรือ Kbps
- ปริมาณทราฟฟิกในแต่ละพื้นที่มีหน่วยเป็น BHCA
- จำนวน Gatekeeper และพื้นที่ดูแล

ตัวอย่างการแสดงผลการออกแบบโครงข่าย VoIP ดังแสดงในรูปที่ 3.7

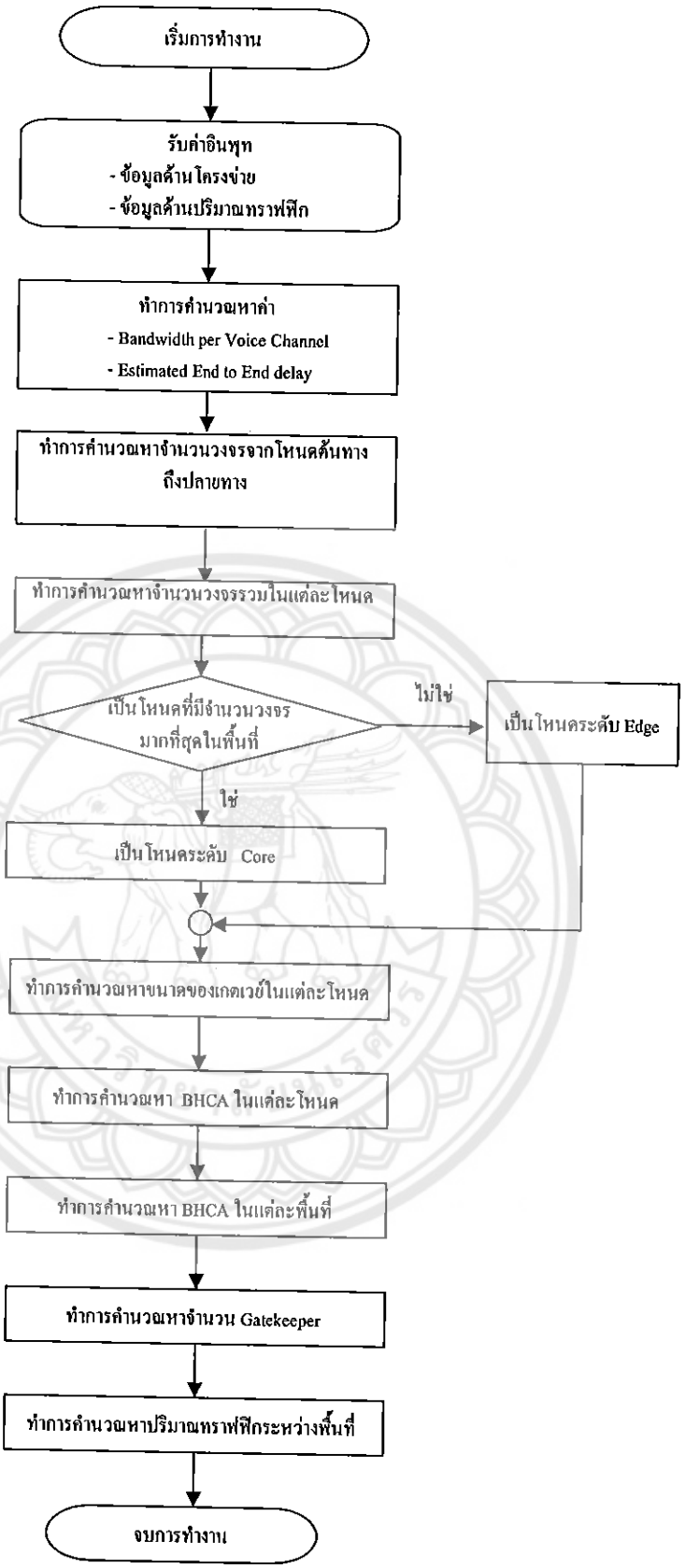


รูปที่ 3.7 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้เพื่อแสดงผลการออกแบบโครงข่าย

3.3.4.2 การพัฒนาโปรแกรมส่วนการคำนวณการออกแบบ

สำหรับส่วนนี้ได้ทำการปรับ Pseudo Code ที่ได้ออกแบบไว้ให้เป็นภาษาวิชวลเบสิก ซึ่งสนับสนุนการเขียนโปรแกรมแบบโมดูล ซับรูทีน และฟังก์ชัน โดยนำฟังก์ชันที่เขียนขึ้นไปใช้ร่วมกับส่วนติดต่อกับผู้ใช้ในส่วนที่เป็นคำสั่งให้เริ่มทำการออกแบบ ได้แก่ปุ่ม Apply ในหน้าจอหลัก

โปรแกรมในส่วนนี้จะทำหน้าที่คำนวณการออกแบบระบบโครงข่าย VoIP โดยจะนำข้อมูลในการออกแบบโครงข่ายทั้งหมดมาประมวลผล ข้อมูลในการออกแบบทั้งหมดได้แก่ค่าความต้องการของโครงข่ายทั้งหมดซึ่งได้รับมาจากส่วนติดต่อกับผู้ใช้ ค่า Erlang ต่างๆ จากส่วนติดต่อกับฐานข้อมูล โดยการคำนวณการออกแบบโครงข่าย มีการแบ่งการคำนวณออกเป็นขั้นตอนย่อยๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการทำงานในส่วนการคำนวณการออกแบบโครงข่าย

ขั้นตอนการคำนวณแบนด์วิทด์ต่อวงจร ฟังก์ชันนี้ใช้สำหรับคำนวณค่าแบนด์วิทด์ต่อวงจร ตามหลักการคำนวณดังกล่าวไว้ในบทที่ 2 ตัวโปรแกรมมีการทำงานดังรูปที่ 3.9

```
Subroutine การคำนวณค่า Bandwidth per Voice Channel ()
    sBVAD = 1 - (Val(.txtVAD) / 100) ' BVAD
    sDControl = 100 / (100 - ControlProtocol) 'datalink protocol
    Select Case DatalinkProtocol
    Case ATM-AAL1
     sGLink = 1.205
    Case ATM-AAL5
     sGLink = 1.1218
    Case FR Frame Relay
     sGLink = (ControlProtocol + (IntervalTime * SampleRate * Compression / 8) * sDControl)
     sGLink = (7 + sGLink) / sGLink
    Case PPP
     sGLink (ControlProtocol + (IntervalTime * SampleRate * Compression / 8) * sDControl)
     sGLink = (6 + sGLink) / sGLink
    Case 802.3 Ethernet
     sGLink = (ControlProtocol + (IntervalTime * SampleRate * Compression / 8) * sDControl)
     sGLink = (26 + sGLink) / sGLink
    End Select
    sResult = (IntervalTime * SampleRate * CompressionType / 8)
    sResult = (ControlProtocol + sResult) / sResult
    sResult = (CompressionType * sBVAD / 64) * sResult * sDControl * sGLink
                        (Bandwidth per voice Channel) = sResult
End Sub
```

รูปที่ 3.9 Pseudo Code ส่วนการคำนวณหาค่าแบนด์วิทด์ต่อวงจร

ขั้นตอนการคำนวณ BHCA ของแต่ละโหนด เป็นการคำนวณหาโหลดของปริมาณทราฟฟิกในแต่ละโหนด ตัวโปรแกรมการทำงานดังรูปที่ 3.10

```
Subroutine คำนวณBHCA ()
  For each FromNode In InputMatrix
    Sumทราฟฟิก = 0
    For each ToNode In InputMatrix
      If FromNode <> ToNode then
        SumTraffic = SumTraffic+ InputMatrix(FromNode,ToNode)
    Next ToNode
        BHCA(FromNode) = SumTraffic*(BusyHourFactor)/(MeanHoldingTime)
  Next FromNode
End sub
```

รูปที่ 3.10 Pseudo Code ส่วนการคำนวณหา BHCA ของแต่ละโหนด

ขั้นตอนการคำนวณหาจำนวนวงจรจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางโดยรับค่าอินพุทปริมาณทราฟฟิกจากทราฟฟิกเมทริกซ์ตัวโปรแกรมมีลักษณะการทำงานดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.11

```
Subroutine GwSizingMatrix()
For each FromNode in InputMatrix
    For each ToNode in InputMatrix
      GwSizingmatrix(FromNode,ToNode) = Erlang(InputMatrix(FromNode,ToNode))
    Next toNode
  Next FromNode
End sub
```

รูปที่ 3.11 Pseudo Code ส่วนการคำนวณหาจำนวนวงจรจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง

ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดของเกตเวย์โดยหาจำนวนวงจรรวมในแต่ละโหนด และคำนวณหาจำนวน E1 ในเวิร์คชีท GW Sizing Matrix ตัวโปรแกรมมีลักษณะการทำงานดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.12

```
Subroutine Circuit&E1()
For each FromNode in GwSizingMatrix
Sumcircuit = 0
For each ToNode in GwSizingMatrix
SumCircuit = SumCircuit + GwSizingMatrix(FromNode,ToNode)
Next tonode
NumOfCircuit(FromNode) = sumcircuit
NumOfE1(FromNode) = SumCircuit/30
Next FromNode
End sub
```

รูปที่ 3.12 Pseudo Code ส่วนการคำนวณหาขนาดของเกตเวย์

ขั้นตอนการตรวจสอบและกำหนด Core/Edge Node ฟังก์ชันนี้ใช้สำหรับตรวจสอบโหนดทุกโหนดและกำหนดให้โหนดที่มีปริมาณทราฟฟิกสูงที่สุดในแต่ละพื้นที่เป็น Core Node นอกจากนั้นให้เป็น Edge Node ของพื้นที่นั้น ๆ ตัวโปรแกรมมีลักษณะการทำงานดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.13

```
Subroutine การตรวจสอบและกำหนด Core/Edge Node()
  iMax = 0
  CoreNode = 0
  For each Area in Network
    For each Node in Area
      If NumOfCircuit(node) > iMax then
        CoreStatus(Node)  = 0
        CoreNode = Node
        CoreStatus(Node)  = 1
        iMax = NumOfCircuit(node)
      End if
    Next Node
  Next Area
```

รูปที่ 3.13 Pseudo Code ส่วนการตรวจสอบและกำหนดโหนด Edge และ Core

ขั้นตอนการคำนวณหาค่าปริมาณทราฟฟิกระหว่างพื้นที่ ฟังก์ชันนี้ใช้สำหรับคำนวนค่าทราฟฟิกโหลดดังรูปที่ 3.14

```
Subroutine การคำนวณค่าทราฟฟิกโหลดระหว่างพื้นที่ ()
  For each FromArea in Network
    For each ToArea in Network
      If FromArea <> ToArea then
        For each FromNode in FromArea
          For each ToNode in ToArea
            AreaTraffic(FromArea,ToArea) = AreaTraffic(FromArea,ToArea) +
NodeTraffic(FromNode,ToNode)
          Next ToNode
        Next FromNode
      End if
    Next ToArea
  Next FromArea
End sub
```

รูปที่ 3.14 Pseudo Code ส่วนการคำนวณค่าปริมาณ ทราฟฟิก ระหว่างพื้นที่

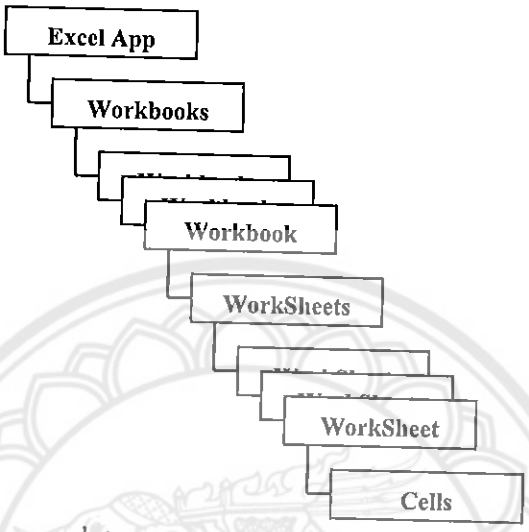
ขั้นตอนการคำนวณค่า BHCA ของแต่ละพื้นที่ ฟังก์ชันนี้ใช้สำหรับคำนวณค่า BHCA ที่ใช้ในแต่ละพื้นที่ โปรแกรมมีการทำงานดังรูปที่ 3.15

```
Subroutine คำนวณBHCAของArea ()
  For each Area in Network
    SumBHCA =0
    For each Node In Area
      SumBHCA = SumBHCA +  BHCA(node)
    Next Node
    AreaBHCA(Area) = SumBHCA
  Next Area
```

รูปที่ 3.15 Pseudo Code ส่วนการคำนวณค่า BHCA ของแต่ละพื้นที่

3.3.4.3 การพัฒนาโปรแกรมในแต่ละส่วนติดต่อกับฐานข้อมูล

สำหรับส่วนติดต่อกับฐานข้อมูลซึ่งจะทำการติดต่อไปยังไฟล์ของไมโครซอฟท์เอ็กเซล โดยใช้เทคโนโลยี OLE Automation ซึ่งโปรแกรมวิชวลตั้งแต่เวอร์ชัน 4 ขึ้นไปสนับสนุนการทำงานนี้ Object ที่เป็นส่วนประกอบหลักๆ ของไมโครซอฟท์เอ็กเซลได้ถูกจัดเป็นลำดับขั้น ดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 Object ที่เป็นส่วนประกอบหลักๆ ของไมโครซอฟท์เอ็กเซล

ส่วนติดต่อกับฐานข้อมูลเป็นส่วนที่ใช้ติดต่อกับไฟล์ข้อมูลเพื่ออ่าน และบันทึกค่าความต้องการของระบบและผลการออกแบบโครงข่าย VoIP รวมทั้งใช้ในการติดต่อกับไฟล์ข้อมูลตาราง Erlang เพื่อใช้ในการคำนวณค่า Erlang ดังที่กล่าวในหัวข้อ 3.1

ฐานข้อมูลที่ใช้จะเป็นไฟล์เอ็กเซลทั้งหมด ได้แก่

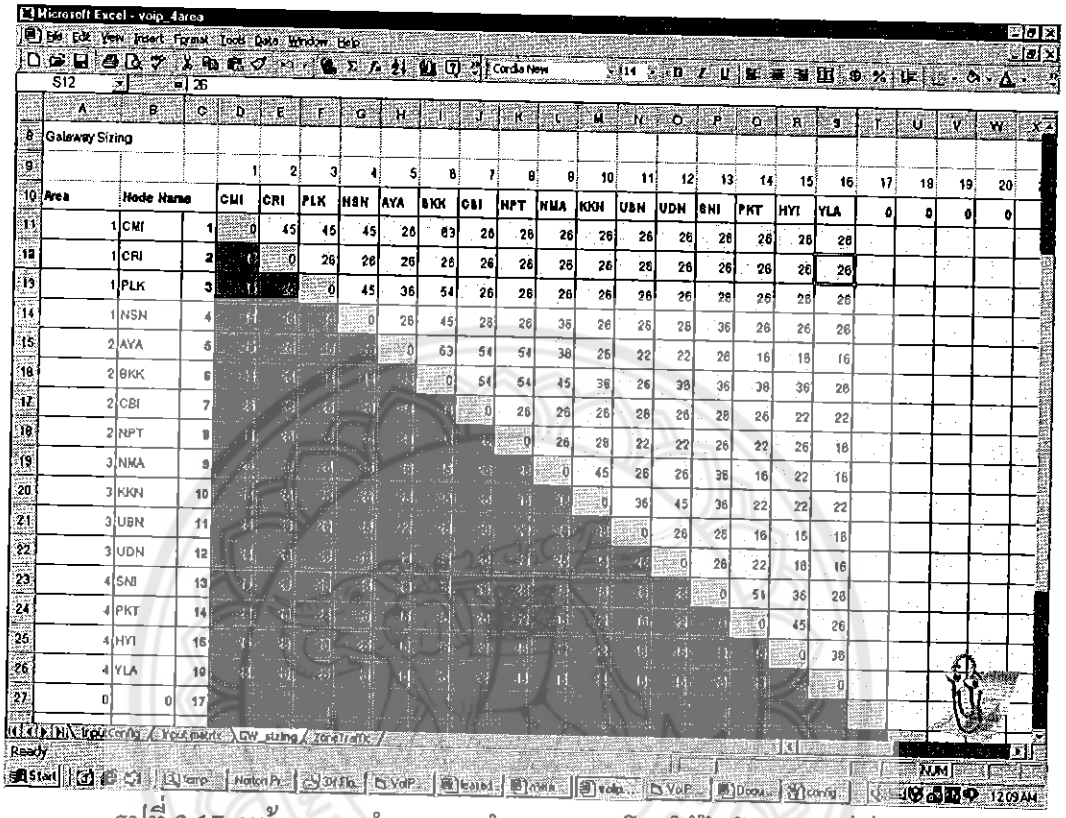
"Erlang.xla" เป็นไฟล์ฟังก์ชั่น Add-Ins ของไฟล์เอ็กเซลใช้ในการหาค่า Erlang ซึ่งเป็นไฟล์ ที่ไม่ได้ถูกพัฒนาขึ้นในโครงงาน

"VoIPDesign.xls" เป็นไฟล์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูล ค่าความต้องการต่างของระบบโครงข่ายที่ต้องการออกแบบ รวมทั้งเก็บผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณการออกแบบโครงข่ายนั้นๆ สำหรับไฟล์นี้จะถูกใช้เป็นไฟล์ต้นแบบสำหรับการออกแบบระบบโครงข่ายครั้งต่อๆ ไป

"leased_line_cost.xls" เป็นไฟล์ที่ใช้สำหรับเก็บตารางค่าเช่าวงจรในประเทศไทยประเภทที่ 1 จากสถานที่ผู้เช่าด้านหนึ่งไปยังสถานที่ผู้เช่าอีกด้านหนึ่ง

สำหรับการติดต่อกับไฟล์เอ็กเซลจะใช้เทคโนโลยี OLE Automation ซึ่งเป็นมาตรฐานในการติดต่อใช้งานระหว่างโปรแกรมหรือคอมโพเนนท์บนระบบปฏิบัติการวินโดว์ที่มีประสิทธิภาพ และใช้งานได้สะดวกอันหนึ่ง

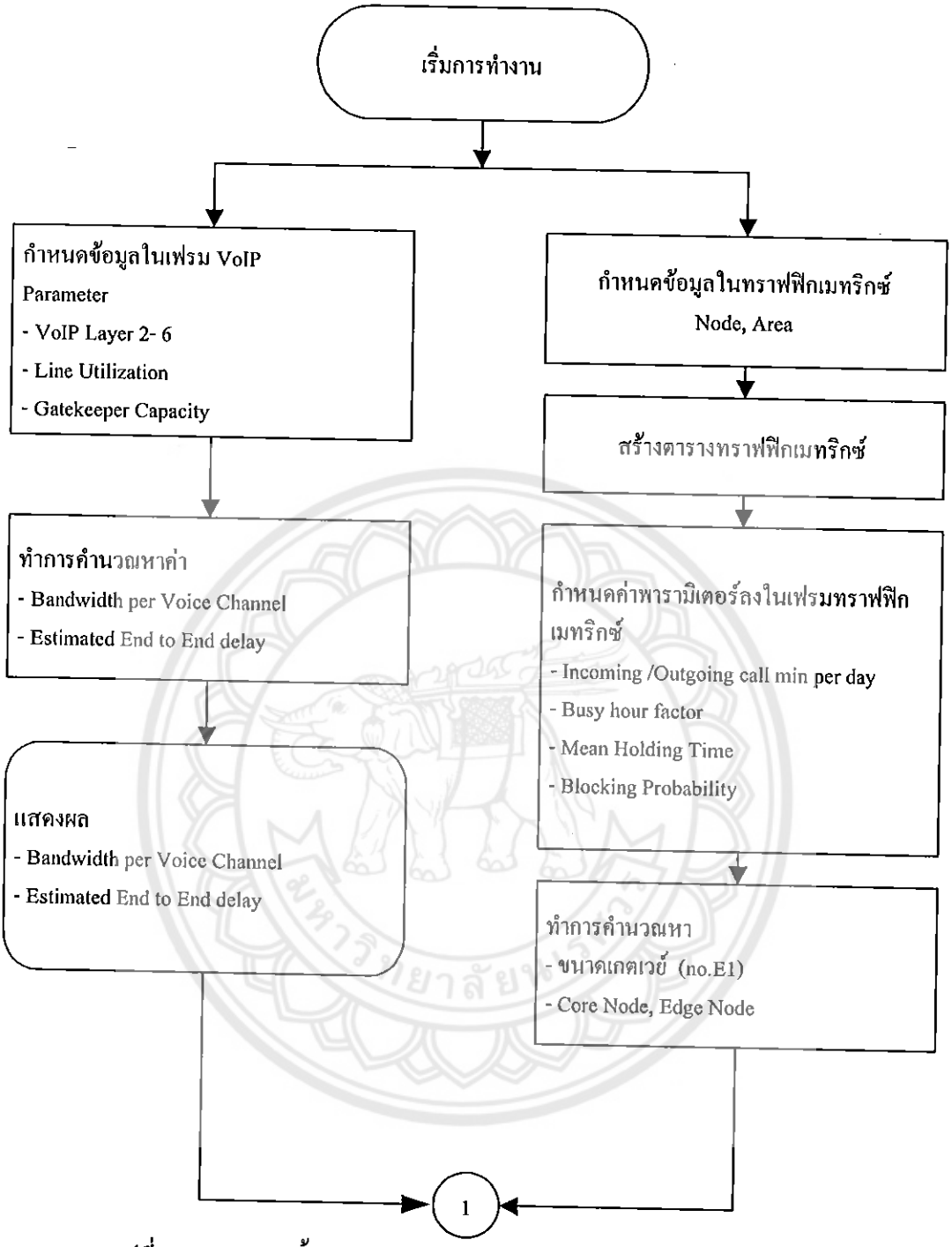
โดยในระหว่างการประมวลผลหน้าจอของโปรแกรมจะทำการเรียกโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล เนื่องจากต้องเรียกใช้ฟังก์ชันมาร์โคร Erlang ของโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซลในการคำนวณหาจำนวนวงจร ดังแสดงในรูปที่ 3.17



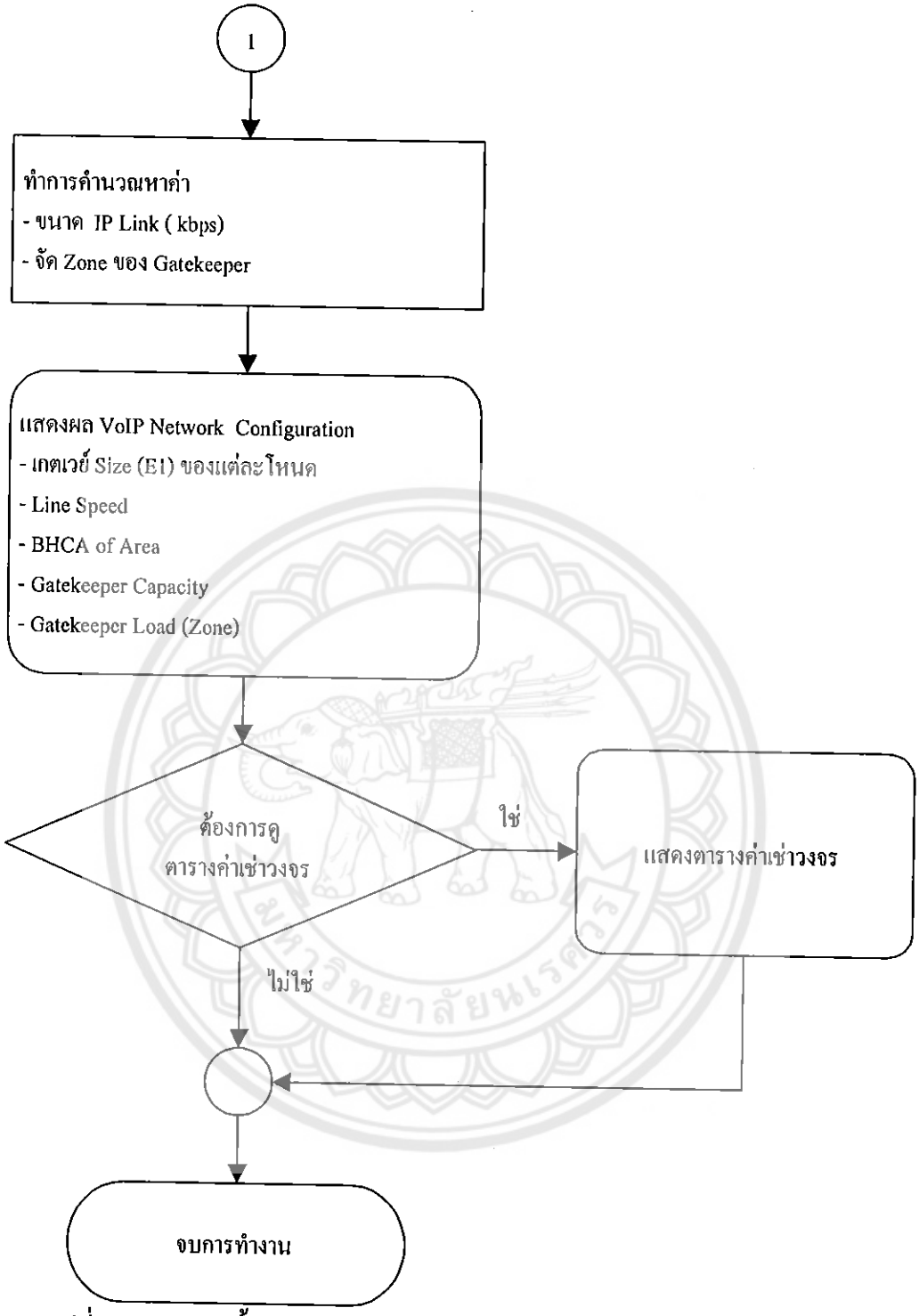
รูปที่ 3.17 หน้าจอการคำนวณหาจำนวนวงจรโดยใช้ไมโครซอฟท์เอ็กเซล

3.4 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP

แผนผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP แสดงดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 แผนผังขั้นตอนการทำงานโปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP



รูปที่ 3.18 แผนผังขั้นตอนการทำงานโปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP (ต่อ)

จากรูป 3.18 ข้างต้นมีขั้นตอนการทำงานโปรแกรมในแต่ละส่วนดังนี้

1. รับค่าอินพุทพารามิเตอร์ VoIP จากผู้ใช้เพื่อนำมาคำนวณหาแบนด์วิทดุ์ของ IP link โดยผู้ใช้ต้องทำการเลือกค่าหรือกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

   Layer 6 : Presentation

- Compression Type
- Voice Activity Detection (VAD)

Layer 5, 4, 3 : Session, Transport, Network

-Voice Sample Interval (ms)

-Voice sample per packet (sample)

-ทรานสปอร์ตโพรโตคอล (bytes)

-คอนโทรลโพรโตคอล (%)

Layer 2 : Data Link

-Datalink Protocol

Line Utilization (%)

Gatekeeper Capacity (BHCA)

2. หลังจากเลือกค่าอินพุทโปรแกรมจะทำการประมวลผลและแสดงค่า
   - Bandwidth per Voice Channel (kbps)
   - End to End Delay (ms)

   รวมทั้งทำการประมวลผลและเก็บค่าตัวคูณ (Multiplier) เพื่อนำไปใช้คำนวณหาไอพีลิงค์
3. รับค่าอินพุททราฟฟิกเมทริกซ์จากผู้ใช้เพื่อนำมาสร้างทราฟฟิกเมทริกซ์ คำนวณหาขนาดของเกตเวย์ และ BHCA ของแต่ละพื้นที่โดยผู้ใช้จะต้องกำหนด
   - ชื่อพื้นที่ กำหนดได้มากที่สุด 5 พื้นที่
   - ชื่อโหนด กำหนดได้มากที่สุด 25 โหนด

   โปรแกรมจะแสดงตารางทราฟฟิกเมทริกซ์ขนาด จำนวนโหนด x จำนวนโหนด
4. กำหนดค่าลงในทราฟฟิกเมทริกซ์ ดังนี้
   - Outgoing Call Minutes per Day /Incoming Call Minutes per Day (mins.)
   - Busy Hour Factor (%)
   - Mean Holding Time (mins.)
   - Blocking Probability (Grade of Service)
5. โปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่าต่างๆ ดังนี้
   - ขนาดของเกตเวย์ (E1) ของแต่ละโหนด
   - จัดระดับของโหนดในแต่ละพื้นที่แบ่งเป็น 2 ระดับ คือ โหนดที่มีขนาดของเกตเวย์ใหญ่ที่สุดในแต่ละพื้นที่ให้เป็นระดับ Core ส่วนโหนดอื่นๆ ในพื้นที่นั้นให้เป็นระดับ Edge
   - BHCA ของแต่ละพื้นที่

6. โปรแกรมจะทำการคำนวณหาขนาดสื่อสัญญาณของแต่ละเส้นทาง จำนวน Gatekeeper และจัดโซนเพื่อแบ่งพื้นที่ในการดูแลเกตเวย์
7. โปรแกรมจะแสดงหน้าจอของ VoIP Network Config โดยจะแสดงค่าต่างๆ ดังนี้
   - VoIP Network Configuration
   - ขนาดของเกตเวย์(E1) ของแต่ละโหนด
   - Line Speed (Mbps/kbps)
   - BHCA of Area
   - Gatekeeper Capacity
   - Gatekeeper Load (Zone)
8. กดปุ่ม Leased Line Cost Table เพื่อแสดงตารางค่าเช่าวงจรในประทศไทยประเภทที่ 1 จากสถานที่ของผู้เช่าด้านหนึ่งไปยังสถานที่ของผู้เช่าอีกด้านหนึ่ง โปรแกรมจะเรียกหน้าจอไมโครซอฟท์เอ็กเซลขึ้นมา

คู่มือการใช้งานของโปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP จะกล่าวอย่างละเอียดใน ภาคผนวก ก.

3.5 คุณสมบัติของโปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP

โปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP จะเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถออกแบบได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น โดยมีคุณสมบัติของโปรแกรมดังนี้

1. เป็นเครื่องมือช่วยในการออกแบบโครงข่าย VoIP ทำให้การออกแบบมีความสะดวกและรวดเร็วขึ้น
2. สามารถใช้ออกแบบโครงข่าย VoIP ที่มีจำนวนโหนดไม่เกิน 25 โหนดและจำนวนพื้นที่ไม่เกิน 5 พื้นที่
3. สามารถกำหนดข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบโครงข่าย VoIP โดยสามารถกำหนด โพรโตคอลที่ใช้ในโครงข่าย VoIP อิงตามชั้นของ OSI ทำให้ผู้ใช้สามารถกำหนดข้อมูลการออกแบบได้ละเอียดขึ้น

   ชั้นที่ 6 พรีเซ็นเตชั่นเลเยอร์

   - ประเภทของการบีบอัดสัญญาณกำหนดได้ 12 ประเภท
   - Voice Activity Detection กำหนดได้ 3 แบบ

   ชั้นที่ 3-5 เซสชั่นเลเยอร์ ทรานสปอร์ตเลเยอร์ และเน็ทเวิร์กเลเยอร์

   - Voice Sampling Interval กำหนดได้ 4 แบบ
   - Voice Sample per IP packet กำหนดได้ 6 แบบ
   - ทรานสปอร์ตโพรโตคอลกำหนดได้ 3 แบบ
   - คอนโทรลโพรโตคอลกำหนดได้ 2 แบบ

ชั้นที่ 2 ดาต้าลิงค์เลเยอร์ กำหนดได้ 5 แบบ

4. สามารถกำหนดประสิทธิภาพการใช้งานของสื่อสัญญาณได้ตั้งแต่ 1 –80 เปอร์เซ็นต์
5. สามารถกำหนดความสามารถในการจัดการปริมาณทราฟฟิกของ Gatekeeper แต่ละตัว
6. สามารถกำหนดความต้องการด้านลักษณะโครงสร้างและขนาดของโครงข่าย VoIP โดยสามารถกำหนดจำนวนพื้นที่ในระบบโครงข่าย จำนวนโหนดของแต่ละพื้นที่ในโครงข่าย
7. สามารถกำหนดปริมาณทราฟฟิก ที่ต้องการใช้งานในแต่ละเส้นทางจากทางด้านต้นทางถึงปลายทาง โดยกำหนดเป็นจำนวนนาทีที่ใช้งานโทรเข้าและโทรออกใน 1 วัน และสัดส่วนของการใช้งานในชั่วโมงที่มีการใช้งานมากสุดใน 1 วัน
8. สามารถกำหนดคุณภาพการให้บริการในการรองรับปริมาณทราฟฟิก โดยกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์การโทรที่ไม่ได้รับการบริการ (Percent of Blocking)
9. สามารถแสดงผลการคำนวณขนาดของแบนด์วิทด์ต่อวงจรเป็นกิโลบิทต่อวินาที รวมทั้งแสดง ประมาณความล่าช้าในการส่งสัญญาณเสียงผ่านของโครงข่าย VoIP มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที ตาม เงื่อนไขของอินพุทที่ผู้ใช้เลือก
11. สามารถแสดงผลการออกแบบโครงข่าย VoIP ในรูปกราฟฟิก โดยแสดงค่าต่าง ๆ ดังนี้
    a. โครงสร้างของโครงข่าย VoIP
    b. ขนาดของเกตเวย์ของแต่ละโหนดเป็นหน่วยเป็น E1
    c. ขนาดของสื่อสัญญาณในแต่ละเส้นทางมีหน่วยเป็น Mbps หรือ Kbps
    d. ปริมาณทราฟฟิกในแต่ละพื้นที่มีหน่วยเป็น BHCA
    e. จำนวน Gatekeeper และพื้นที่ดูแล
12. สามารถแสดงตารางค่าเช่าวงจรในประเทศไทยประเภทที่ 1 จากสถานที่ผู้เช่าด้านหนึ่งไปยังสถานที่ผู้เช่าอีกด้านหนึ่งเพื่อใช้ประกอบการคิดอัตราค่าเช่าวงจร

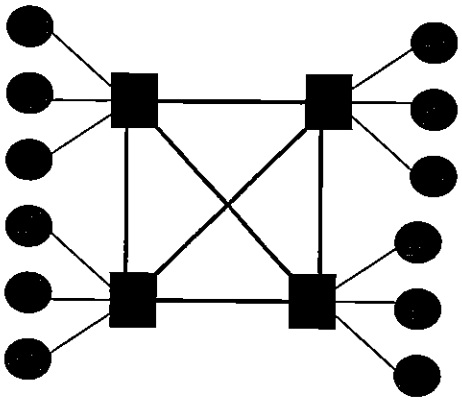
บทที่ 4
ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP

ในบทนี้จะกล่าวถึง ตัวอย่างการออกแบบโครงข่าย VoIP โดยใช้โปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP ที่พัฒนาขึ้นเป็นเครื่องมือในการออกแบบ โดยกำหนดความต้องการโครงข่าย VoIP ที่ต้องการออกแบบ และยกตัวอย่างการออกแบบเป็น 4 รูปแบบเพื่อทดสอบผลการทำงานของโปรแกรม รวมทั้งเปรียบเทียบผลที่ได้จากการออกแบบโครงข่าย VoIP ทั้ง 4 รูปแบบ

4.1 ลักษณะและคุณสมบัติของของโครงข่าย VoIP ที่ต้องการออกแบบ

ต้องการออกแบบโครงข่าย VoIP เชื่อมโยงกับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน(PSTN) เพื่อประหยัดค่า เช่าวงจรสื่อสัญญาณทางไกลโดยรับทราฟฟิกประเภทสัญญาณเสียงมาจากชุมสายโทรศัพท์ระดับพื้นที่จำนวน 16 ชุมสาย มีลักษณะภูมิประเทศแบ่งเป็น 4 ภาค โดยมีข้อกำหนดและข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบดังนี้

1. คุณภาพการให้บริการของสัญญาณเสียง จะต้องออกแบบให้มีความล่าช้าในการส่งสัญญาณเสียงจากเกตเวย์ต้นทางถึงปลายทาง (End to End Delay) ไม่เกิน 100 มิลลิวินาที
2. โครงข่าย VoIP จะต้องออกแบบให้การส่งสัญญาณเสียงจากเกตเวย์ต้นทางถึงปลายทางผ่านชุมสายต่อผ่าน (Tandam) ไม่เกิน 2 โหนดหรือจำนวนโหนดของเกตเวย์จากต้นทางถึงปลายทางในโครงข่ายไอพีไม่เกิน 4 โหนด เพื่อให้ปัจจัยความล่าช้าของโครงข่าย (Network Delay) มีผลกระทบต่อความล่าช้าในการส่งสัญญาณเสียงน้อยที่สุด
3. ลักษณะโครงสร้างของโครงข่าย VoIP ในแต่ละเขตพื้นที่จะประกอบไปด้วยโหนดหลักและโหนดย่อย โดยมีการเชื่อมต่อระหว่างโหนดหลักกับโหนดย่อยเป็นแบบสตาร์ (Star) ระหว่างโหนดย่อยกับโหนดย่อยเป็นแบบเมส์ซ (Mesh) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 จำนวนโหนดในโครงข่าย VoIP มีทั้งหมด 16 โหนด มี 4 พื้นที่ ดังแสดงในตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ลักษณะโครงสร้างของโครงข่าย VoIP ที่ต้องการออกแบบ

ตารางที่ 4.1 โครงข่าย VoIP ขนาด 16 โหนด ใน 4 พื้นที่

ลำดับ	ชื่อโหนด	รหัสโหนด	เขตพื้นที่
1.	เชียงใหม่	CMI	1- ภาคเหนือ
2.	เชียงราย	CRI	1- ภาคเหนือ
3.	พิษณุโลก	PLK	1- ภาคเหนือ
4.	นครสวรรค์	NSN	1- ภาคเหนือ
5.	อยุธยา	AYA	2- ภาคกลาง
6.	กรุงเทพมหานคร	BKK	2- ภาคกลาง
7.	ชลบุรี	CBI	2- ภาคกลาง
8.	นครปฐม	NPT	2- ภาคกลาง
9.	นครราชสีมา	NMA	3- ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
10.	ขอนแก่น	KKN	3- ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
11.	อุบลราชธานี	UBN	3- ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
12.	อุดรธานี	UDN	3- ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
13.	สุราษฎร์ธานี	SNI	4- ภาคใต้
14.	ภูเก็ต	PKT	4- ภาคใต้
15.	หาดใหญ่	HYI	4- ภาคใต้
16.	ยะลา	YLA	4- ภาคใต้

4. อุปกรณ์เกตเวย์ มีคุณสมบัติดังนี้

- Voice Activity Detection (VAD) หรือ Silence Suppression ที่มีประสิทธิภาพในกาตรวจจับสัญญาณว่าผู้ใช้กำลังสนทนาหรือเงียบ เพื่อช่วยลดแบนด์วิดท์ในช่วงที่ไม่มีการใช้งานวงจร โดยสามารถกำหนดประสิทธิภาพในการตรวจจับและกำจัดช่วงเวลาที่ไม่ใช้งานวงจรได้ตั้งแต่ 0 –50 เปอร์เซ็นต์

-รองรับมาตรฐานของการเข้ารหัสสัญญาณเสียงหรือชนิดของการบีบอัดสัญญาณ (Vocoder Type) ดังนี้ G.723.1 ACELP, G.726 ADPCM, G.728 LD CELP, G.729 CS-CELP, G.729a CS-ACELP

- รองรับโพรโตคอล CRTP และ RTP/UDP/IP สำหรับจัดการขนส่งข้อมูล

- รองรับโพรโตคอล RTCP สำหรับควบคุมคุณภาพการส่งสัญญาณเสียงผ่านโครงข่ายไอพี

- สามารถกำหนดช่วงเวลาของการแซมปลิ้งสัญญาณเสียง (Voice Sampling Interval) ตั้งแต่ช่วง 10 – 150 วินาที

- สามารถกำหนด Voice Samples per Packet ตั้งแต่ช่วง 1- 10

5. การเชื่อมต่อระหว่างโหนดในโครงข่าย VoIP เชื่อมผ่าน WAN Link โดยใช้โพรโตคอล ATM AAL-1 หรือ Frame Relay
6. Line Utilization ของสื่อสัญญาณที่เชื่อมโยงระหว่างโหนดเท่ากับ 70 เปอร์เซ็นต์เพื่อป้องกันการเกิดสภาวะทราฟฟิกคับคั่ง
7. อุปกรณ์ Gatekeeper ต้องมีความสามารถการจัดการปริมาณทราฟฟิกได้ 10,000 BHCA
8. ความต้องการทางด้านปริมาณทราฟฟิก

โครงข่าย VoIP จะต้องสามารถรับและจัดการทราฟฟิกของสัญญาณเสียงที่รับส่งมาจากโครงข่าย โทรศัพท์พื้นฐานโดยมีข้อมูลปริมาณทราฟฟิกดังนี้

- ปริมาณการใช้งานโทรศัพท์สำหรับการโทรเข้าและโทรออกภายในช่วงเวลา 1 วัน มีหน่วยเป็นนาที แสดงเป็นทราฟฟิกเมทริกซ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลปริมาณการใช้งานโทรศัพท์สำหรับการโทรเข้าและโทรออกภายในช่วงเวลา 1 วัน

พื้นที่		1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4
	รหัสโหนด	CMI	CRI	PLK	NSN	AYA	BKK	CBI	NPT	NMA	KKN	UBN	UDN	SNI	PKT	HYI	YLA
1	CMI	0	300	200	200	200	400	200	100	200	150	100	100	200	150	200	100
1	CRI	300	0	200	200	100	300	150	100	150	100	100	100	200	100	150	100
1	PLK	200	200	0	200	200	300	200	100	200	150	100	100	200	150	200	100
1	NSN	200	200	200	0	200	250	100	100	200	150	100	100	150	100	150	100
2	AYA	200	100	200	200	0	500	250	250	250	150	100	100	200	150	250	100
2	BKK	400	300	300	250	500	0	400	400	300	250	200	250	300	250	300	200
2	CBI	200	150	200	100	250	400	0	250	200	150	100	150	200	100	150	80
2	NPT	100	100	100	100	250	400	250	0	200	150	80	100	150	80	200	50
3	NMA	200	150	200	200	250	300	200	250	0	200	100	100	150	50	80	50
3	KKN	150	100	150	150	150	250	150	150	200	0	200	200	150	80	150	50
3	UBN	100	100	100	100	100	200	100	80	100	200	0	100	100	50	80	50
3	UDN	100	100	100	100	100	250	200	100	100	200	100	0	100	80	100	80
4	SNI	200	200	200	150	200	300	200	150	150	150	100	100	0	250	200	100
4	PKT	150	100	150	100	150	250	100	80	50	80	50	80	250	0	200	100
4	HYI	200	150	200	150	250	300	150	200	80	150	80	100	200	200	0	250
4	YLA	100	100	100	100	100	200	80	50	50	50	50	80	100	100	250	0

- Busy Hour Factor เป็นสัดส่วนปริมาณการใช้โทรศัพท์ในช่วงชั่วโมงที่มีการใช้งานมากที่สุดเทียบกับปริมาณการใช้งานใน 1 วันเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์
- ค่าเวลาเฉลี่ยของการใช้โทรศัพท์ต่อครั้ง (Mean Holding Time) เท่ากับ 4 นาที
- Blocking Probability (Grade of Service) กำหนดคุณภาพของการให้บริการโดยมีอัตราการโทรที่ไม่สำเร็จหรือการโทรที่ไม่ได้รับการบริการเป็น 1 เปอร์เซ็นต์

4.2 แนวคิดของผู้ออกแบบโครงข่าย VoIP

ผู้ออกแบบต้องการออกแบบโครงข่าย VoIP ให้ได้ตามความคุณสมบัติและลักษณะของโครงข่ายโดยเลือกออกแบบโครงข่าย 4 รูปแบบเพื่อเปรียบเทียบผลการออกแบบในเชิงคุณภาพสัญญาณและค่าใช้จ่ายในการลงทุน โดยรูปแบบที่1 กับรูปแบบที่ 3 และรูปแบบที่ 2 กับรูปแบบที่ 4 ต้องการเปรียบเทียบผลการออกแบบโครงข่ายเมื่อมีปัจจัยในการออกแบบ คือ ดาต้าลิงค์โพรโตคอลที่ใช้เชื่อมโยงระหว่างโหนดหรือ WAN Link เป็นตัวแปร ส่วนปัจจัยอื่น ๆ คงที่ และรูปแบบที่1 กับรูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 3 กับรูปแบบที่ 4 ต้องการเปรียบเทียบผลการออกแบบโครงข่ายเมื่อมีปัจจัยในการออกแบบคือ จำนวน Voice Sample per Packet เป็นตัวแปรซึ่งมีผลต่อขนาดของไอพีแพ็คเก็ต ส่วนปัจจัยอื่นๆ คงที่ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.2.1 ปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบโครงข่าย VoIP ที่กำหนดให้เป็นปัจจัยคงที่ตามความต้องการของโครงข่าย VoIP และตามแนวคิดของผู้ออกแบบ

- กำหนด Voice Activity Detection (VAD) หรือ Silence Suppression มีประสิทธิภาพในการตรวจจับและกำจัดช่วงเวลาที่ไม่ใช้งานวงจร 30 เปอร์เซ็นต์
- เลือกใช้มาตรฐานของการเข้ารหัสสัญญาณเสียงหรือชนิดของการบีบอัดสัญญาณใช้ G.729a เนื่องจากเป็นมาตรฐานที่นิยมใช้การมากที่สุดสำหรับโครงข่าย VoIP
- กำหนดช่วงเวลาของการแซมปลิ้งสัญญาณเสียง (Voice Sampling Interval) ของ G.729 เท่ากับ 10 มิลลิวินาที
- เลือกใช้โพรโตคอล CRTP สำหรับจัดการขนส่งข้อมูลเพื่อประหยัดแบนด์วิดท์
- เลือกใช้โพรโตคอล RTCP สำหรับควบคุมคุณภาพการส่งสัญญาณเสียง
- Line Utilization ของวงจรสื่อสัญญาณเท่ากับ 70 เปอร์เซ็นต์
- อุปกรณ์ Gatekeeper มีความสามารถการจัดการปริมาณทราฟฟิกได้ 10,000 BHCA
- โครงข่าย VoIP จะต้องออกแบบให้การส่งสัญญาณเสียงจากเกตเวย์ต้นทางถึงปลายทางผ่านชุมสายต่อผ่าน (Tandam) ไม่เกิน 2 โหนด

4.2.2 ปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบโครงข่าย VoIP ที่เป็นตัวแปรที่ต้องการเปรียบเทียบผล

โครงข่าย VoIP แบบที่ 1

- กำหนด Voice Samples per Packet เท่ากับ 2
- เลือกใช้โพรโตคอล ATM AAL-1 เชื่อมต่อ WAN Link ระหว่างโหนดในโครงข่าย VoIP

โครงข่าย VoIP แบบที่ 2

- กำหนด Voice Samples per Packet เท่ากับ 3
- เลือกใช้โพรโตคอล ATM AAL-1 เชื่อมต่อ WAN Link ระหว่างโหนดในโครงข่าย VoIP

โครงข่าย VoIP แบบที่ 3

- กำหนด Voice Samples per Packet เท่ากับ 2
- เลือกใช้โพรโตคอล Frame Relay ต่อ WAN Link ระหว่างโหนดในโครงข่าย VoIP

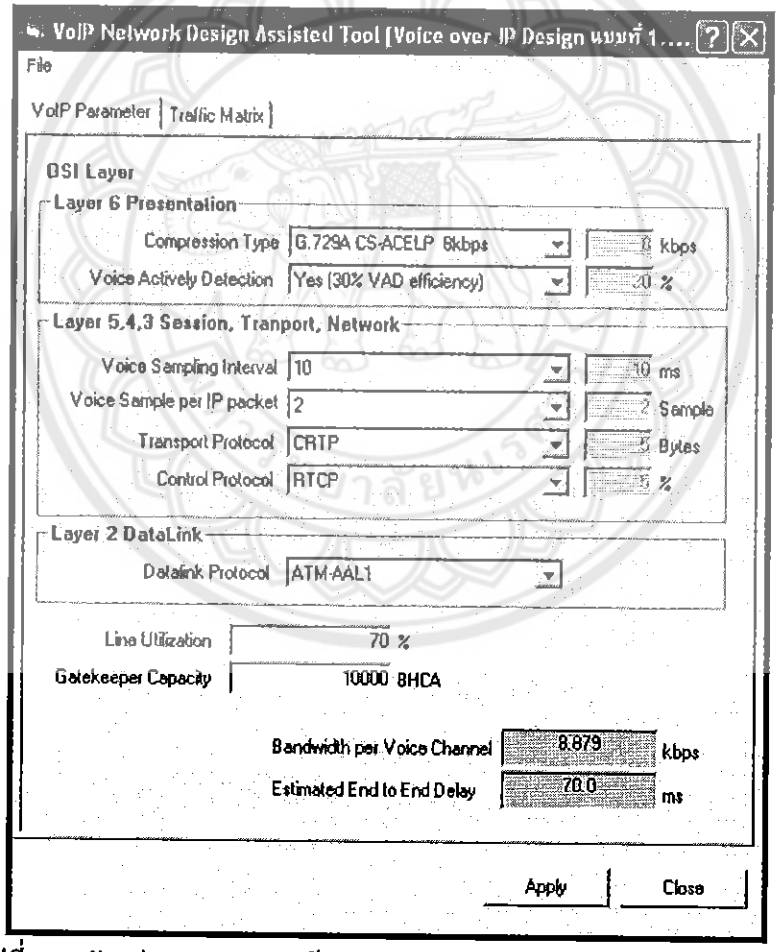
โครงข่าย VoIP แบบที่ 4

- กำหนด Voice Samples per Packet เท่ากับ 3
- เลือกใช้โพรโตคอล Frame Relay เชื่อมต่อ WAN Link ระหว่างโหนดในโครงข่าย VoIP

4.3 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP

4.3.1 กำหนดข้อมูลการความต้องการด้านการออกแบบโครงข่ายในเฟรม VoIP Parameter

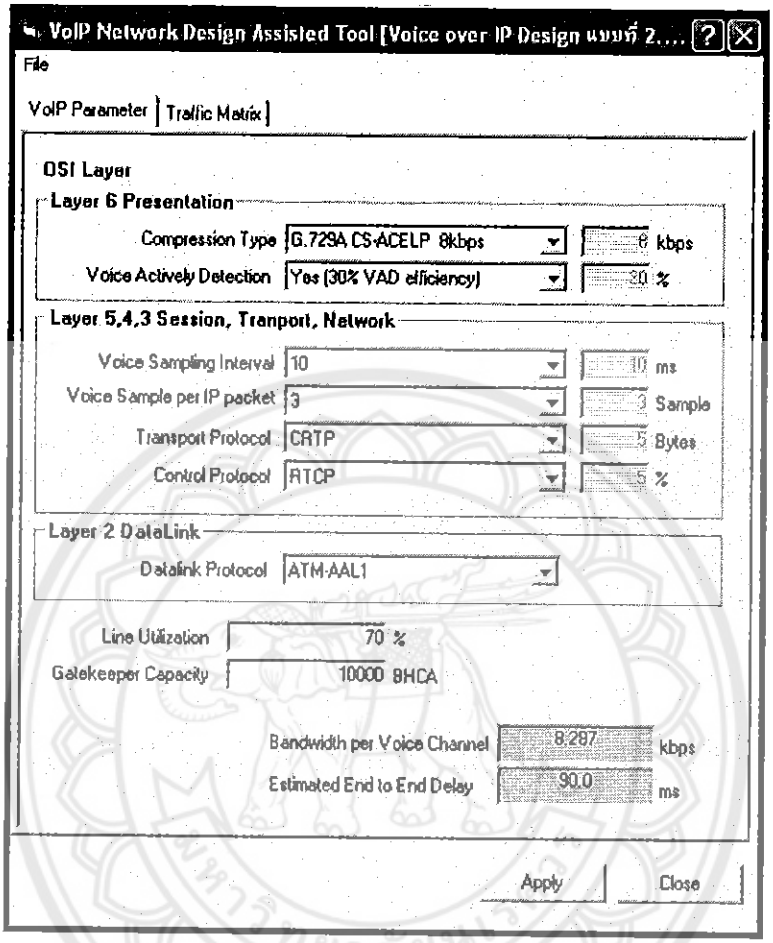
กำหนดอินพุทที่ใช้ในการออกแบบของโครงข่าย VoIP แบบที่ 1 มีค่า Voice Sample per IP Packet เท่ากับ 2 และดาต้าลิงค์โพรโตคอล เป็น ATM-AAL 1 ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างการกำหนดข้อมูลการออกแบบในเฟรม VoIP Parameter และการแสดงผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 1

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าได้ผลค่า Bandwidth per Voice Channel เท่ากับ 8.879 กิโลบิทต่อวินาที และ Estimated End to End Delay เท่ากับ 70 มิลลิวินาที

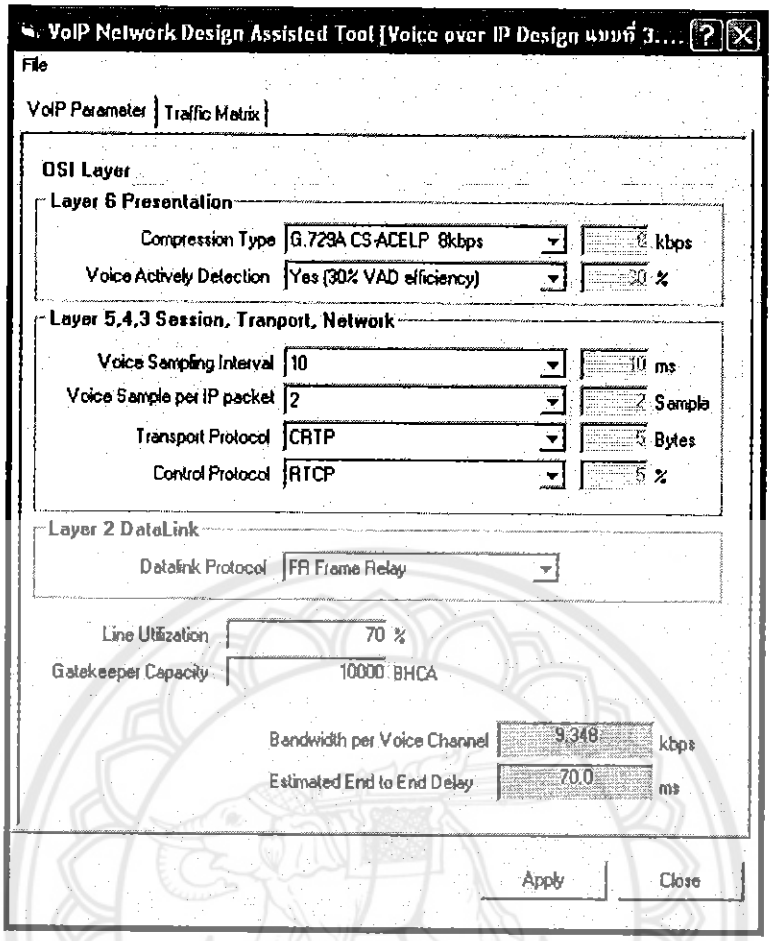
กำหนดอินพุทที่ใช้ในการออกแบบของโครงข่าย VoIP แบบที่ 2 มีค่า Voice Sample per IP Packet เท่ากับ 3 และดาต้าลิงค์โพรโตคอล เป็น ATM-AAL 1 ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างการกำหนดข้อมูลการออกแบบในเฟรม VoIP Parameter และการแสดงผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 2

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าได้ผลค่า Bandwidth per Voice Channel เท่ากับ 8.287 กิโลบิทต่อวินาที และ Estimated End to End Delay เท่ากับ 90 มิลลิวินาที

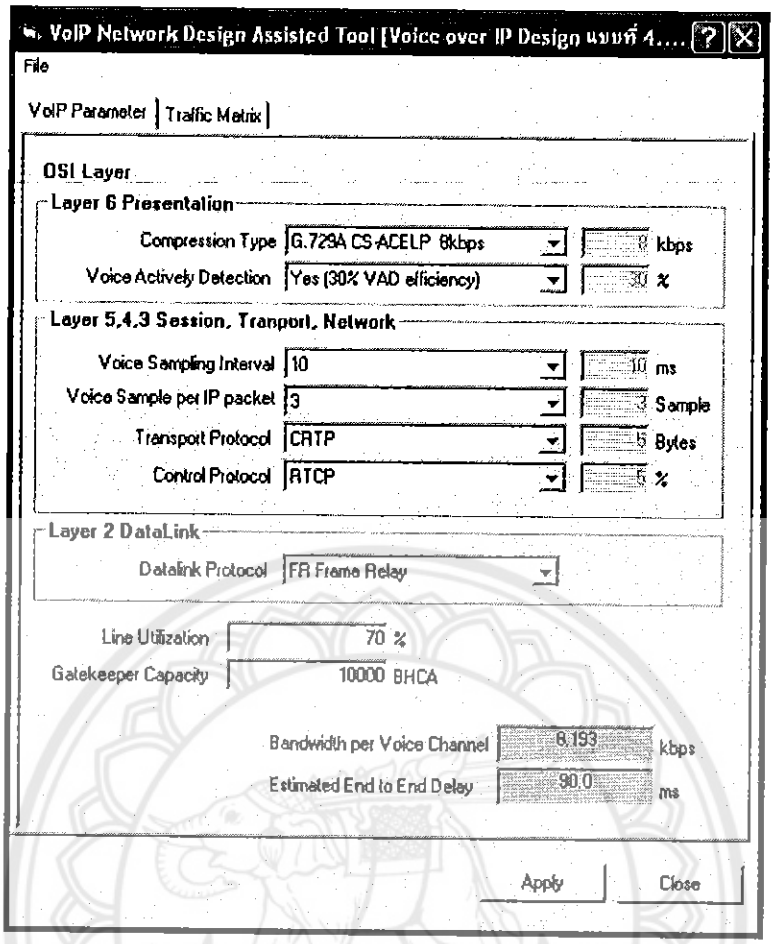
กำหนดอินพุทที่ใช้ในการออกแบบของโครงข่าย VoIP แบบที่ 3 มีค่า Voice Sample per IP Packet เท่ากับ 2 และดาต้าลิงค์โพรโตคอล เป็น Frame Relay ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างการกำหนดข้อมูลการออกแบบในเฟรม VoIP Parameter และการแสดงผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 3

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่า Bandwidth per Voice Channel เท่ากับ 9.348 กิโลบิทต่อวินาทีและ Estimated End to End Delay เท่ากับ 70 มิลลิวินาที

กำหนดอินพุทที่ใช้ในการออกแบบของโครงข่าย VoIP แบบที่ 4 มีค่า Voice Sample per IP Packet เท่ากับ 3 และดาต้าลิงค์โพรโตคอลเป็น Frame Relay ดังแสดงในรูปที่ 4.5

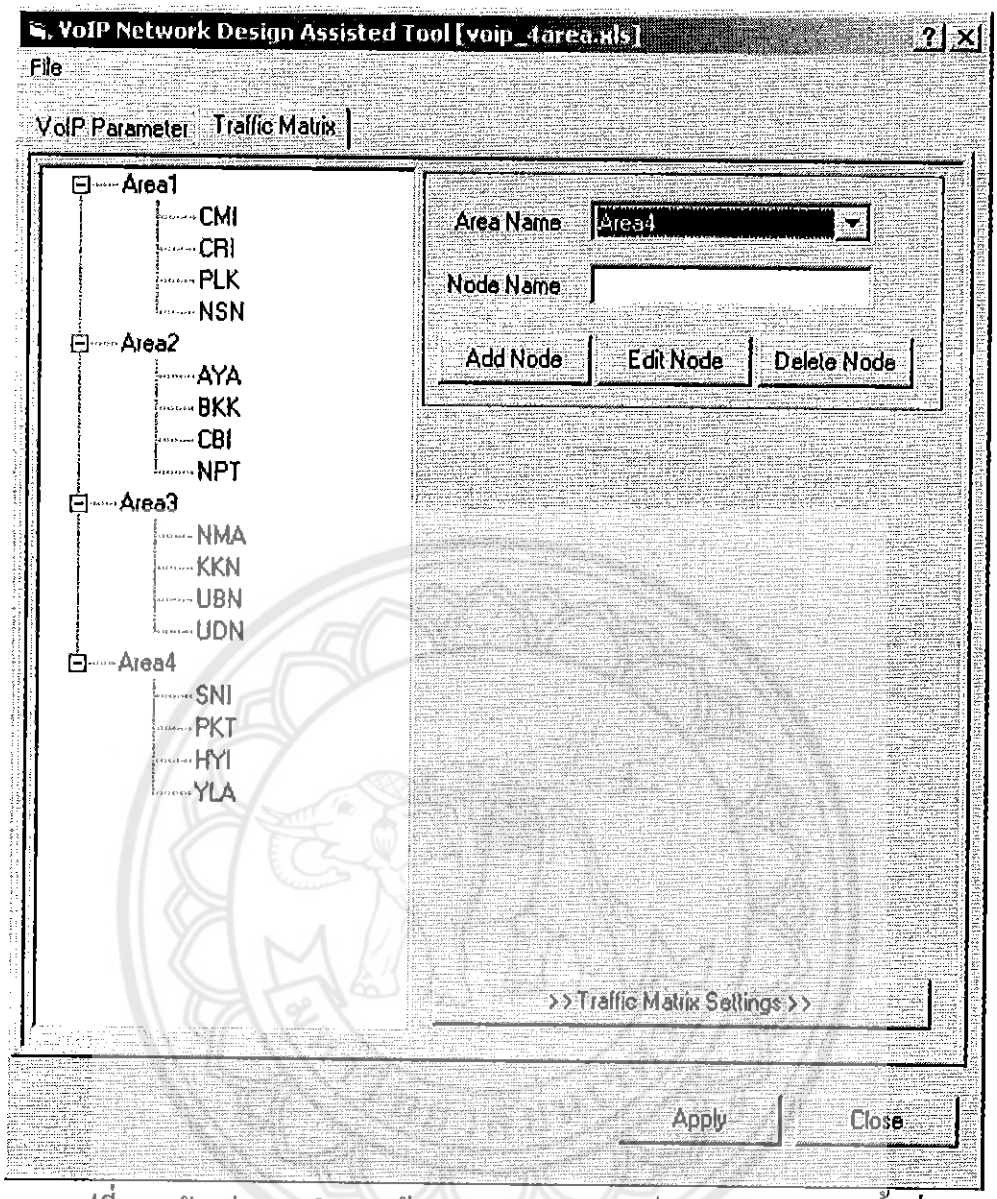


รูปที่ 4.5 ตัวอย่างการกำหนดข้อมูลการออกแบบในเฟรม VoIP Parameter และการแสดงผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 4

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่า Bandwidth per Voice Channel เท่ากับ 8.193 กิโลบิทต่อวินาทีและ Estimated End to End Delay เท่ากับ 90 มิลลิวินาที

4.3.2 กำหนดข้อมูลส่วนลักษณะโครงสร้างของโครงข่าย

กำหนดโครงสร้างของโครงข่ายตามลักษณะของโครงข่ายที่ต้องการออกแบบ คือ มีขนาด 16 โหนดใน 4 พื้นที่ลงในเฟรมทราฟฟิกเมทริกซ์ ของโปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP กำหนดชื่อโหนดในแต่ละเขตพื้นที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.6

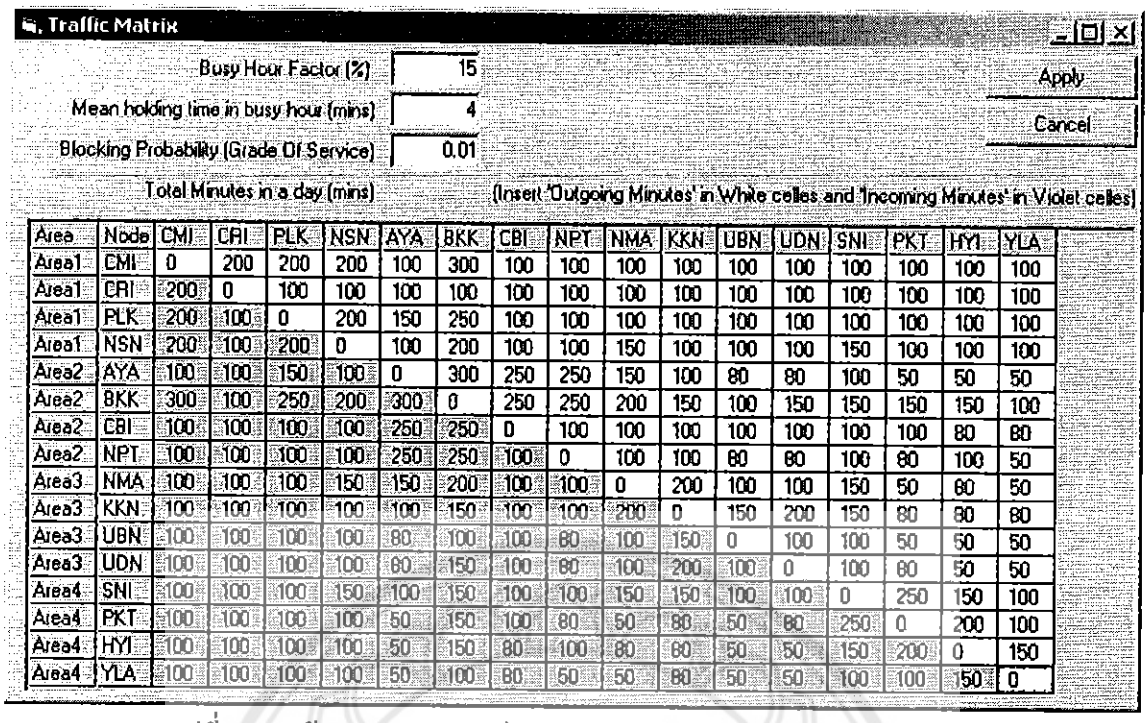


รูปที่ 4.6 ตัวอย่างการกำหนดข้อมูลทราฟฟิกเมทริกซ์ขนาด 16 โหนด 4 พื้นที่

4.3.3 กำหนดข้อมูลด้านปริมาณทราฟฟิก

กำหนดข้อมูลทางด้านปริมาณทราฟฟิกต่างๆ ตามข้อมูลความต้องการใช้งานของโครงข่าย VoIP ดังแสดงในรูปที่ 4.7

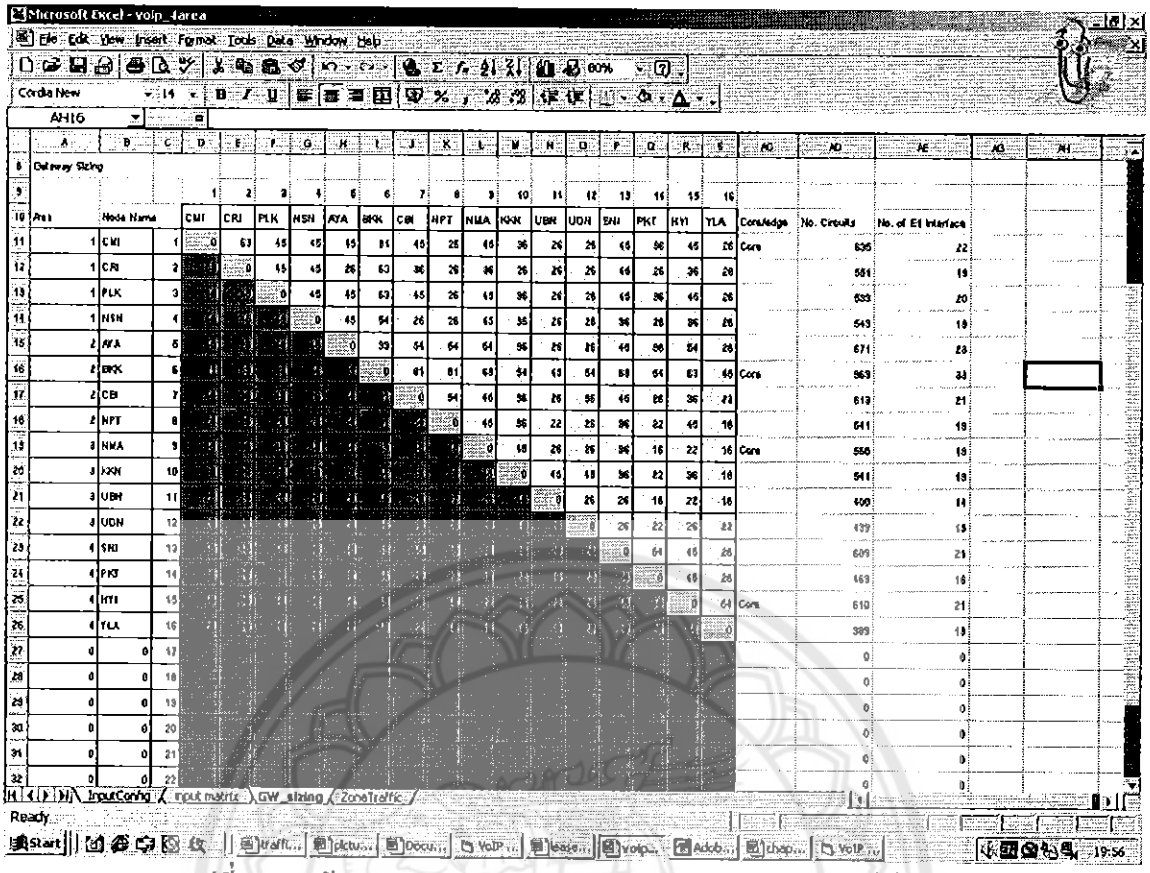
- ปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ในแต่ละวันจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางมีหน่วยเป็นนาที
- Busy Hour Factor เท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์
- Mean Holding Time เท่ากับ 4 นาที
- Blocking Probability (Grade of Service) เท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์



Area	Node	CMI	CRI	PLK	NSN	AYA	BKK	CBI	NPT	NMA	KKN	UBN	UDN	SNI	PKT	HYI	YLA
Area1	CMI	0	200	200	200	100	300	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Area1	CRI	200	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Area1	PLK	200	100	0	200	150	250	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Area1	NSN	200	100	200	0	100	200	100	100	150	100	100	100	150	100	100	100
Area2	AYA	100	100	150	100	0	300	250	250	150	100	80	80	100	50	50	50
Area2	BKK	300	100	250	200	300	0	250	250	200	150	100	150	150	150	150	100
Area2	CBI	100	100	100	100	250	250	0	100	100	100	100	100	100	100	80	80
Area2	NPT	100	100	100	100	250	250	100	0	100	100	80	80	100	80	100	50
Area3	NMA	100	100	100	150	150	200	100	100	0	200	100	100	150	50	80	50
Area3	KKN	100	100	100	100	100	150	100	100	200	0	150	200	150	80	80	80
Area3	UBN	100	100	100	100	80	100	100	80	100	150	0	100	100	50	50	50
Area3	UDN	100	100	100	100	80	150	100	80	100	200	100	0	100	80	50	50
Area4	SNI	100	100	100	150	100	150	100	100	150	150	100	100	0	250	150	100
Area4	PKT	100	100	100	100	50	150	100	80	50	80	50	80	250	0	200	100
Area4	HYI	100	100	100	100	50	150	80	100	80	80	50	50	150	200	0	150
Area4	YLA	100	100	100	100	50	100	80	50	50	80	50	50	100	100	150	0

รูปที่ 4.7 หน้าจอการกำหนดข้อมูลปริมาณทราฟฟิกในทราฟฟิกเมทริกซ์

หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณหาขนาดของเกตเวย์จากจำนวนวงจรที่ใช้ โดยเรียกใช้ฟังก์ชันมาร์โคร Erlang ของโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซลในการคำนวณหาจำนวนวงจร ดังแสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 หน้าจอการคำนวณจำนวนวงจรโดยใช้ไมโครซอฟท์เอ็กเซล

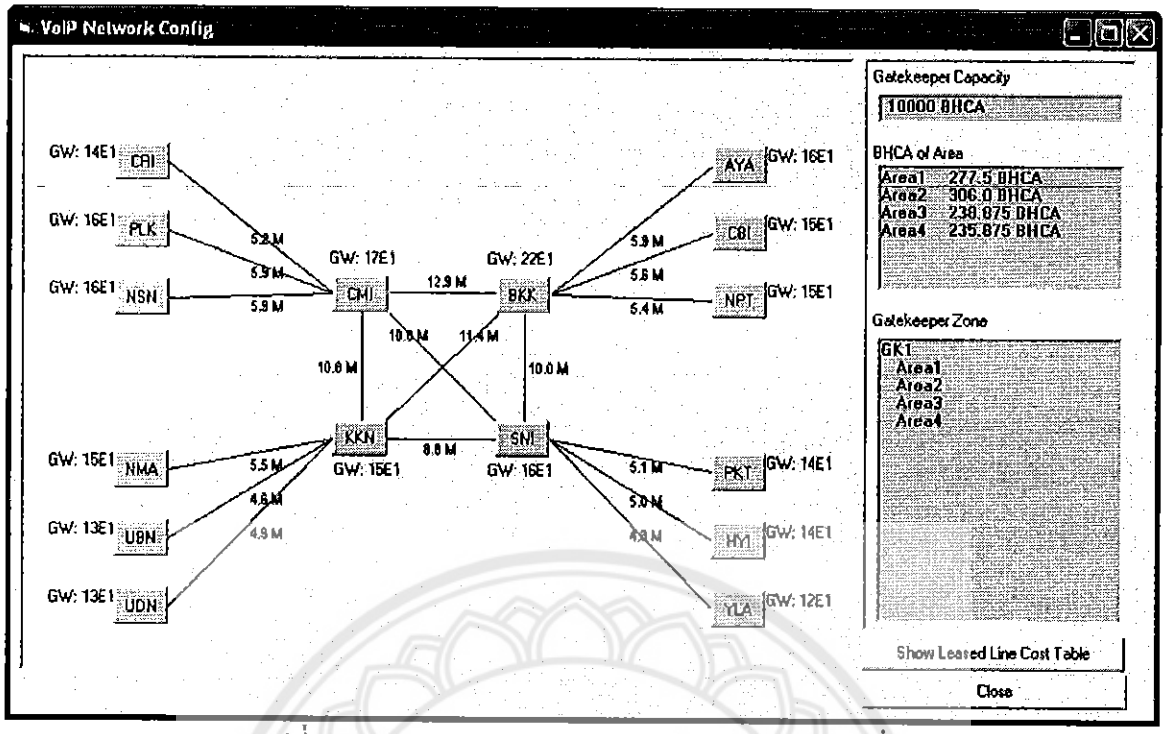
4.4 ผลการออกแบบโครงข่าย VoIP

4.4.1 ผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 1

ในส่วนนี้จะแสดงผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 1 ซึ่งมีอินพุทในการออกแบบดังนี้

- ชนิดของการบีบอัดสัญญาณใช้ G.729a
- Voice Activity Detection (VAD) มีประสิทธิภาพในการตรวจจับและกำจัดช่วงเวลาที่ไม่ใช้งานวงจร 30 เปอร์เซ็นต์
- ช่วงเวลาของการแซมปลิ้งสัญญาณเสียง (Voice Sampling Interval) ของ G.729 เท่ากับ 10 มิลลิวินาที และ Voice Samples per Packet เท่ากับ 2
- เลือกใช้โพรโตคอล CRTP สำหรับจัดการขนส่งข้อมูลเพื่อประหยัดแบนด์วิดท์
- เลือกใช้โพรโตคอล RTCP สำหรับควบคุมคุณภาพการส่งสัญญาณเสียง
- ดาต้าลิงค์โพรโตคอลใช้ ATM AAL-1 เชื่อมต่อ WAN Link
- Line Utilization ของวงจรสื่อสัญญาณเท่ากับ 70 เปอร์เซ็นต์
- อุปกรณ์ Gatekeeper มีความสามารถการจัดการปริมาณทราฟฟิกได้ 10,000 BHCA

ผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.9



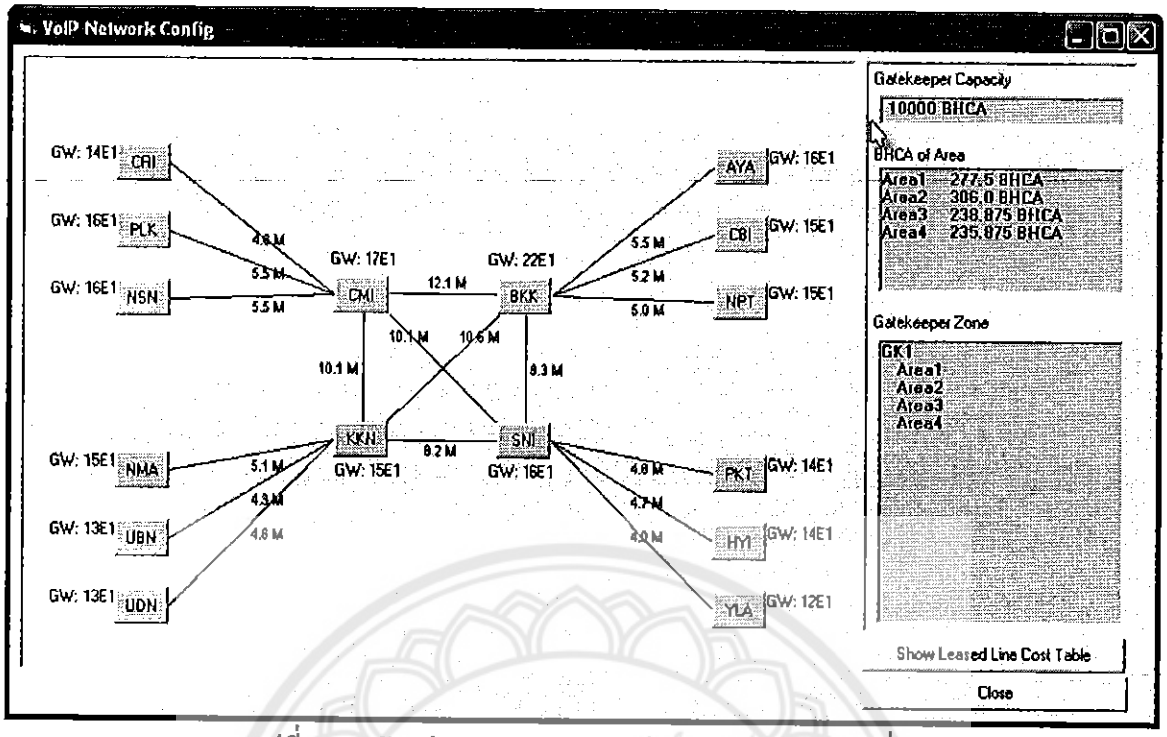
รูปที่ 4.9 ตัวอย่างผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 1

4.4.2 ผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 2

ในส่วนนี้จะแสดงผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 2 ซึ่งมีอินพุทในการออกแบบดังนี้

- ชนิดของการบีบอัดสัญญาณใช้ G.729a
- Voice Activity Detection (VAD) มีประสิทธิภาพในการตรวจจับและกำจัดช่วงเวลาที่ไม่ใช้งานวงจร 30 เปอร์เซ็นต์
- ช่วงเวลาของการแซมปลิ้งสัญญาณเสียง (Voice Sampling Interval) ของ G.729 เท่ากับ 10 มิลลิวินาที และ Voice Samples per Packet เท่ากับ 3
- เลือกใช้โพรโตคอล CRTP สำหรับจัดการขนส่งข้อมูลเพื่อประหยัดแบนด์วิดท์
- เลือกใช้โพรโตคอล RTCP สำหรับควบคุมคุณภาพการส่งสัญญาณเสียง
- ดาต้าลิงค์โพรโตคอลใช้ ATM AAL-1 เชื่อมต่อ WAN Link
- Line Utilization ของวงจรสื่อสัญญาณเท่ากับ 70 เปอร์เซ็นต์
- อุปกรณ์ Gatekeeper มีความสามารถการจัดการปริมาณทราฟฟิกได้ 10,000 BHCA

ผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4.10



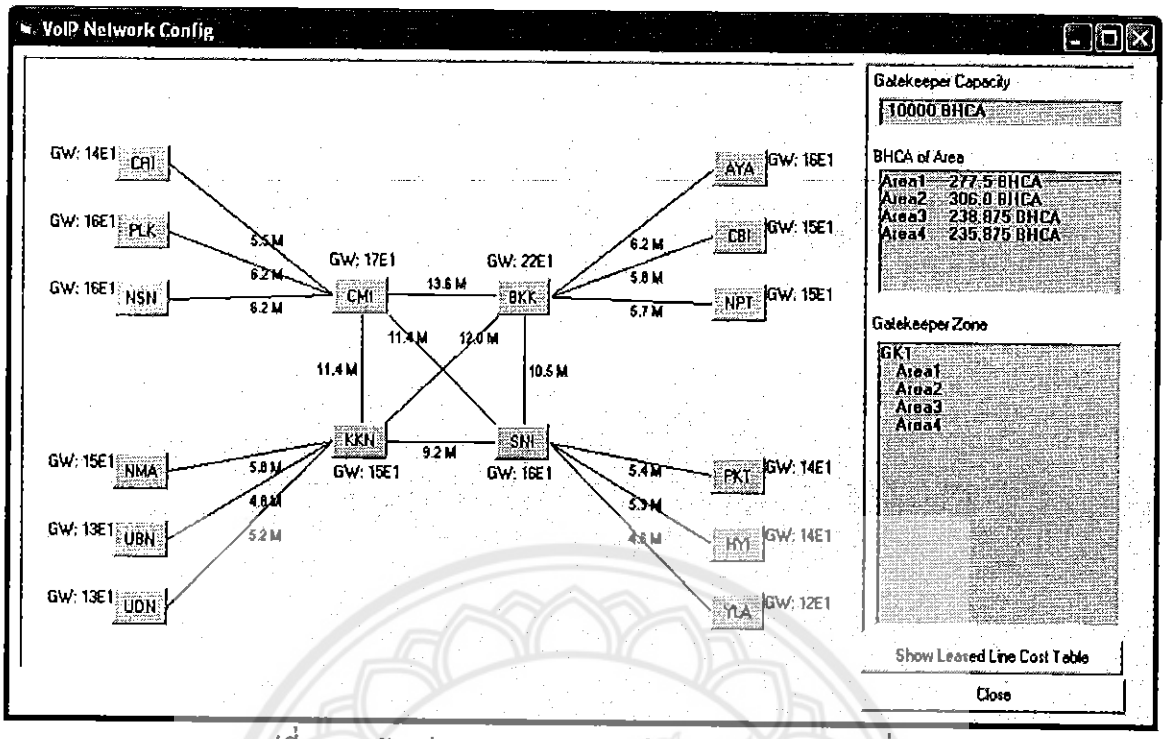
รูปที่ 4.10 ตัวอย่างผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 2

4.4.3 ผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 3

ในส่วนนี้จะแสดงผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 2 ซึ่งมีอินพุทในการออกแบบดังนี้

- ชนิดของการบีบอัดสัญญาณใช้ G.729a
- Voice Activity Detection (VAD) มีประสิทธิภาพในการตรวจจับและกำจัดช่วงเวลาที่ไม่ใช้งานวงจร 30 เปอร์เซ็นต์
- ช่วงเวลาของการแซมปลิ้งสัญญาณเสียง (Voice Sampling Interval) ของ G.729 เท่ากับ 10 มิลลิวินาที และ Voice Samples per Packet เท่ากับ 2
- เลือกใช้โพรโตคอล CRTP สำหรับจัดการขนส่งข้อมูลเพื่อประหยัดแบนด์วิดท์
- เลือกใช้โพรโตคอล RTCP สำหรับควบคุมคุณภาพการส่งสัญญาณเสียง
- ดาต้าลิงค์โพรโตคอลใช้ Frame Relay เชื่อมต่อ WAN Link
- Line Utilization ของวงจรสื่อสัญญาณเท่ากับ 70 เปอร์เซ็นต์
- อุปกรณ์ Gatekeeper มีความสามารถการจัดการปริมาณทราฟฟิกได้ 10,000 BHCA

ผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 3แสดงดังรูปที่ 4.11



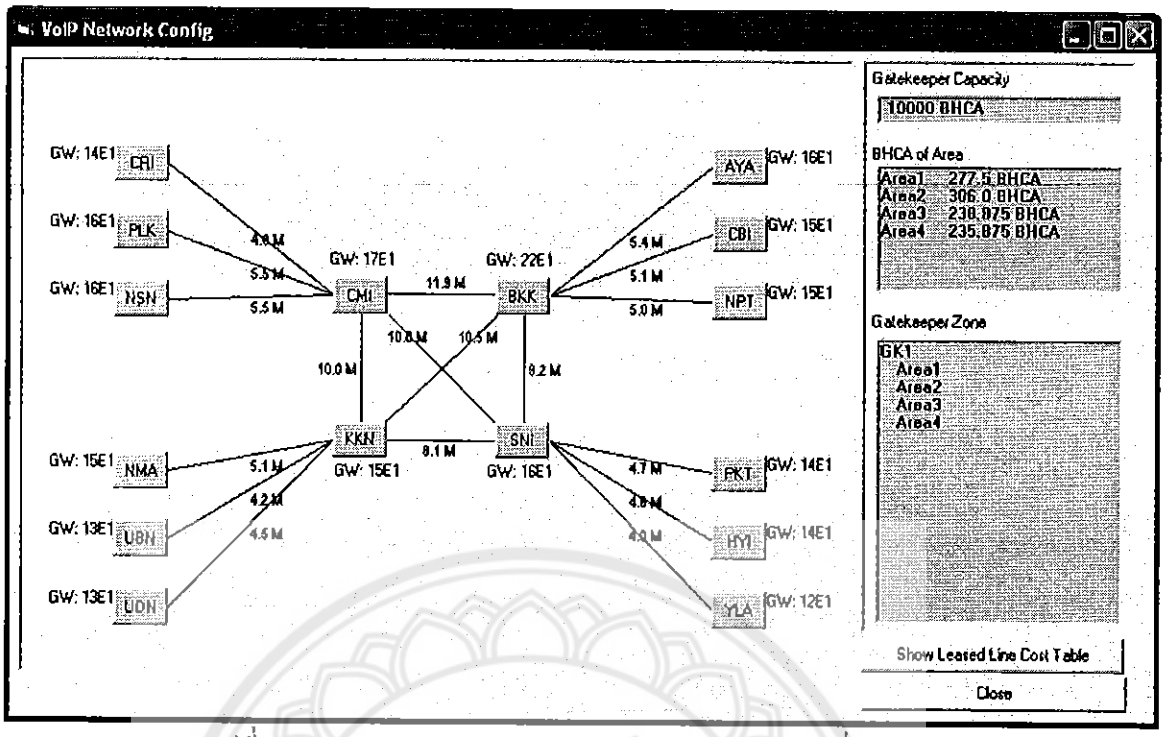
รูปที่ 4.11 ตัวอย่างผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 3

4.4.4 ผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 4

ในส่วนนี้จะแสดงผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 2 ซึ่งมีอินพุทในการออกแบบดังนี้

- ชนิดของการบีบอัดสัญญาณใช้ G.729a
- Voice Activity Detection (VAD) มีประสิทธิภาพในการตรวจจับและกำจัดช่วงเวลาที่ไม่มีการใช้งานวงจร 30 เปอร์เซ็นต์
- ช่วงเวลาของการแซมปลิ้งสัญญาณเสียง (Voice Sampling Interval) ของ G.729 เท่ากับ 10 มิลลิวินาที และ Voice Samples per Packet เท่ากับ 3
- เลือกใช้โพรโตคอล CRTP สำหรับจัดการขนส่งข้อมูลเพื่อประหยัดแบนด์วิดท์
- เลือกใช้โพรโตคอล RTCP สำหรับควบคุมคุณภาพการส่งสัญญาณเสียง
- ดาต้าลิงค์โพรโตคอลใช้ Frame Relay เชื่อมต่อ WAN Link
- Line Utilization ของวงจรสื่อสัญญาณเท่ากับ 70 เปอร์เซ็นต์
- อุปกรณ์ Gatekeeper มีความสามารถการจัดการปริมาณทราฟฟิกได้ 10,000 BHCA

ผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 4 แสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างผลการออกแบบโครงข่าย VoIP แบบที่ 4

4.5 สรุปผลการออกแบบ

จากการทดลองออกแบบโครงข่าย VoIP โดยใช้โปรแกรมช่วยออกแบบ VoIP ที่พัฒนาขึ้นเป็นเครื่องมือช่วยในการออกแบบ สรุปผลได้ดังนี้

1. ผลการออกแบบทั้ง 4 แบบสามารถรองรับปริมาณทราฟฟิกและตรงตามความต้องการของโครงข่าย VoIP กล่าวคือ คุณภาพการให้บริการของสัญญาณเสียงจะต้องมีความล่าช้าในการส่งสัญญาณเสียงจาก เกตเวย์ต้นทางถึงปลายทางไม่เกิน 100 มิลลิวินาที โดยโครงสร้างของโครงข่าย VoIP มีการส่งผ่านสัญญาณเสียงจากโหนดของเกตเวย์ จากต้นทางถึงปลายทางในโครงข่ายไอพีไม่เกิน 4 โหนด
2. ขนาดของเกตเวย์ในแต่ละโหนดแสดงเป็นจำนวน E1 มีผลเท่ากันทั้ง 4 แบบ เนื่องจากมีความต้องการทางด้านปริมาณทราฟฟิกเท่ากัน
3. จำนวนของ Gatekeeper ที่ต้องการคือ 1 ตัว สามารถดูแลพื้นที่ได้ทั้ง 4 พื้นที่ โดยสามารถดูแลจัดการปริมาณทราฟฟิกได้ 10,000 BHCA มีผลเหมือนกันทั้ง 4 แบบเนื่องจากมีความต้องการทางด้านปริมาณทราฟฟิกเหมือนกัน
4. ขนาดของสื่อสัญญาณที่ใช้ขึ้นกับอยู่กับแบนด์วิดท์ต่อวงจร ดังผลจะเห็นว่ารูปแบบที่ 3 มีค่า Bandwidth per Voice Channel สูงสุดคือ 9.348 กิโลบิทต่อวินาที มีผลให้ขนาดของสื่อสัญญาณที่เชื่อมโยงกันในโครงข่าย VoIP มีค่าสูงสุด รูปแบบที่ 4 มีค่า Bandwidth per Voice

Channel ต่ำสุด คือ 8.193 กิโลบิทต่อวินาทีมีผลให้ขนาดของสื่อสัญญาณที่เชื่อมโยงกันในโครงข่าย VoIP มีค่าต่ำสุด

5. การกำหนดค่าพารามิเตอร์ดาต้าลิงค์โพรโตคอลแตกต่างกัน มีผลให้ขนาดของ Bandwidth per Voice Channel ต่างกัน กล่าวคือถ้าเลือกดาต้าลิงค์โพรโตคอลที่มีสัดส่วนของเฮดเดอร์ต่อขนาดเฟรมสูงจะส่งผลให้ค่า Bandwidth per Voice Channel สูงขึ้น ตัวอย่างการออกแบบแสดงให้เห็นว่าถ้าขนาดไอพีแพ็คเก็ตเล็ก การเลือกใช้โพรโตคอล ATM –AAL1จะใช้แบนด์วิดท์ต่อวงจรต่ำกว่าโพรโตคอล Frame Relay ดังรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 3 เมื่อค่า Voice Sample per IP Packet เท่ากับ 2 เหมือนกัน การเลือกโพรโตคอล ATM-AAL1ใช้แบนด์วิดท์ต่อวงจรเท่ากับ 8.879 กิโลบิทต่อวินาทีต่ำกว่าการเลือกโพรโตคอล Frame Relay ซึ่งใช้แบนด์วิดท์ต่อวงจรเท่ากับ 9.348 กิโลบิทต่อวินาที ในขณะที่ถ้าขนาดไอพีแพ็คเก็ตใหญ่ การเลือกใช้โพรโตคอล ATM –AAL1 จะใช้แบนด์วิดท์ต่อวงจรสูงกว่าโพรโตคอล Frame Relay ดังรูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 4 เมื่อค่า Voice Sample per IP Packet เท่ากับ 3 เหมือนกัน การเลือกโพรโตคอล ATM-AAL1ใช้แบนด์วิดท์ต่อวงจรเท่ากับ 8.287 กิโลบิทต่อวินาทีสูงกว่าการเลือกโพรโตคอล Frame Relay ซึ่งใช้แบนด์วิดท์ต่อวงจรเท่ากับ 8.193 กิโลบิทต่อวินาที
6. การกำหนดค่าพารามิเตอร์ Voice Sample per IP Packet แตกต่างกัน มีผลให้ขนาดของไอพีแพ็คเก็ตต่างกัน ส่งผลให้ค่า Estimated End to End Delay ต่างกัน กล่าวคือถ้าหากใช้ดาต้าลิงค์โพรโตคอลเหมือนกันเช่น ATM AAL1 ในรูปแบบที่ 1 และ 2 ไอพีแพ็คเก็ตขนาดใหญ่จะส่งผลให้ค่า Estimated End to End Delay สูงกว่าไอพีแพ็คเก็ตขนาดเล็ก ดังผลที่แสดงในรูปแบบที่ 1 เมื่อ Voice Sample per IP Packet มีค่าเท่ากับ 2 จะให้ผลค่า Bandwidth per Voice Channel เท่ากับ 8.879 กิโลบิทต่อวินาที ค่า Estimated End to End Delay เท่ากับ 70 มิลลิวินาที และรูปแบบที่ 2 เมื่อ IP Voice Sample per IP Packet มีค่าเท่ากับ 3 จะให้ผลค่า Bandwidth per Voice Channel เท่ากับ 8.287 กิโลบิทต่อวินาที เท่ากับ 90 มิลลิวินาที

จากผลการออกแบบโครงข่าย VoIP โดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการออกแบบทั้ง 4 รูปแบบ โครงข่าย VoIP แบบที่ 4 เหมาะสมที่สุด เนื่องจากขนาดของสื่อสัญญาณที่เชื่อมโยงกันในโครงข่าย VoIP มีค่าต่ำสุดทำให้ต้นทุนค่าเช่าวงจรต่ำสุดรวมทั้งมีคุณสมบัติอื่น ๆ ตรงตามความต้องการของโครงข่าย

บทที่ 5
สรุปผล และข้อเสนอแนะ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึง สรุปผลการทำงานของโปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP อุปสรรคในการพัฒนาโปรแกรมและการแก้ไข รวมถึงข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

5.1 สรุปผล

โปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP เป็นเครื่องมือเบื้องต้นที่ช่วยในการออกแบบโครงข่าย VoIP โดยมุ่งเน้นในการคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์หลักต่างๆ ในโครงข่าย VoIP เช่น ขนาดของเกตเวย์ จำนวนของGatekeeper ขนาดของสื่อสัญญาณที่ใช้เชื่อมโยงกันในโครงข่ายไอพี โดยคำนึงถึงคุณภาพการให้บริการของสัญญาณเสียง คือ เรื่องข้อจำกัดความล่าช้าของสัญญาณ และประสิทธิภาพการใช้งานของวงจรเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดสภาวะปริมาณทราฟฟิกคับคั่งในโครงข่าย โดยแสดงผลการออกแบบในรูปโครงสร้างของโครงข่าย VoIP ทั้งยังสามารถแสดงตารางค่าเช่าวงจรที่ใช้ในประเทศไทยตามระเบียบขององค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย โดยแนวทางที่ศึกษาได้นี้สามารถนำไปเป็นพื้นฐานประกอบการออกแบบโครงข่าย VoIP จริงของผู้ให้บริการโทรศัพท์พื้นฐาน หรือเป็นการช่วยออกแบบโครงข่ายส่วนตัวขององค์กรขนาดใหญ่ที่มีหลายสาขา เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์และตัดสินใจหารูปแบบโครงข่ายที่เหมาะสมและสอดคล้องตามปริมาณความต้องการใช้งานและค่าใช้จ่าย

การพัฒนาโครงงานโปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

1. สามารถนำกระบวนการออกแบบโครงข่าย VoIP มาเป็นเครื่องมือช่วยในการออกแบบโครงข่าย VoIP ซึ่งจะช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถออกแบบได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น
2. โปรแกรมสามารถทำงานในส่วนการคำนวณต่างๆ ได้ตามวัตถุประสงค์โดยสามารถคำนวณหาขนาดเกตเวย์ ขนาดของสื่อสัญญาณที่ใช้ในแต่ละเส้นทาง ตำแหน่งหรือจุดที่ควรเป็นโหนดหลัก คำนวณหาจำนวน Gatekeeper คำนวณหาขนาดของแบนด์วิดท์ต่อวงจรตามข้อมูลความต้องการใช้งานของระบบโครงข่าย VoIP ทั้งหมด
3. โปรแกรมออกแบบโครงข่าย VoIP สามารถแสดงค่าประมาณความล่าช้าในการส่งสัญญาณเสียงจากจุดต้นทางถึงปลายทาง ทำให้ผู้ออกแบบสามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบคุณภาพของการให้บริการของสัญญาณเสียง
4. จากการทำงานของโปรแกรมสามารถสรุปได้ ว่าการกำหนดความต้องการในการออกแบบโครงข่ายทุกพารามิเตอร์มีผลต่อลักษณะเอ้าท์พุทของโครงข่าย VoIP

5. โปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่ายยังไม่เป็นโปรแกรมประยุกต์สำเร็จรูปที่สามารถทำงานได้อย่างอิสระ เนื่องจากต้องทำงานร่วมกับไมโครซอฟท์เอ็กเซล ทั้งนี้ยังมีข้อจำกัดของโปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP ดังนี้
   1. ลักษณะโครงสร้างของโครงข่าย VoIP มีรูปแบบเดียว คือในแต่ละเขตพื้นที่จะประกอบไปด้วยโหนดหลักและโหนดย่อย การเชื่อมต่อระหว่างโหนดหลักกับโหนดย่อยเป็นแบบสตาร์ (Star) และระหว่างโหนดหลักกับโหนดหลักเป็นแบบเมสซ์ (Mesh)
   2. สามารถออกแบบโครงข่าย VoIP ที่มีจำนวนโหนดไม่เกิน 25 โหนดและเขตพื้นที่ไม่เกิน 5 พื้นที่
   3. โปรแกรมใช้กับอินพุททราฟฟิกที่มีโมเดลการคำนวณหาจำนวนวงจรแบบ Erlang B เท่านั้น

5.2 อุปสรรคในการพัฒนาและการแก้ไข

1. ปัญหาในเรื่องข้อมูลการออกแบบโครงข่าย VoIP เนื่องจากมีข้อมูลจากหลายแหล่งที่กล่าวถึงหลักการของการออกแบบโครงข่าย และมีข้อมูลบางส่วนที่แตกต่างกัน ทำให้ยากต่อการนำเสนอปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบโครงข่าย ผู้จัดทำจึงออกแบบโดยการอ้างอิงข้อมูลการออกแบบของบริษัท Cisco เป็นหลัก
2. เนื่องจากความล่าช้าในการส่งสัญญาณเสียงผ่านโครงข่ายไอพี ต้องขึ้นอยู่กับปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย ณ ขณะนั้น ซึ่งเป็นปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ จึงออกแบบให้ผู้ใช้สามารถกำหนดประสิทธิภาพการใช้งานวงจรสูงสุดได้ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ เพื่อหลีกเลี่ยงสภาวะการเกิดทราฟฟิกคับคั่งในโครงข่าย อันจะส่งผลให้เกิดความล่าช้าในโครงข่ายสูง โดยตั้งสมมติฐานให้ความล่าช้าในโครงข่ายเป็นปัจจัยคงที่
3. ปัญหาการคำนวณหาขนาดวงจร ต้องใช้สูตรคำนวณค่า Erlang ซึ่งทำให้การพัฒนาโปรแกรมมีความซับซ้อนและล่าช้าขึ้น จึงออกแบบโดยนำ Erlang.xla ซึ่งเป็นไฟล์ฟังก์ชัน Add-Ins ของไมโครซอฟท์เอ็กเซล มาใช้หาค่า Erlang ทำให้สามารถคำนวณหาขนาดวงจรได้ง่ายขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

โปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP เป็นเครื่องมือในเบื้องต้นที่ช่วยในการออกแบบโครงข่าย VoIP ทั้งนี้การออกแบบให้มีประสิทธิภาพที่ดีและเหมาะสมกับการใช้งานต้องอาศัยข้อมูลของทราฟฟิก ลักษณะโครงสร้างของโครงข่าย ลักษณะภูมิประเทศซึ่งมีลักษณะเฉพาะของแต่ละโครงข่าย รวมถึงข้อจำกัดทางด้านต้นทุนและความพร้อมของโครงข่ายปัจจุบัน หลังจากออกแบบ

โครงข่าย VoIP แล้วต้องพยายามปรับโครงข่ายเพื่อให้เกิดประสิทธิผลสูงสุด ทั้งในแง่การให้บริการและการประหยัดค่าใช้จ่ายหลังจากเปิดใช้งาน โดยการใช้ข้อมูลทราฟฟิกที่ได้จากการบันทึก นำมาทำการวิเคราะห์และปรับปรุงโครงข่ายต่อไปเพื่อให้สอดคล้องกับปริมาณทราฟฟิก และคุณภาพการให้บริการของสัญญาณเสียง

สำหรับแนวทางการพัฒนาโปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP สามารถพัฒนาเพิ่มเติมในส่วนต่างๆ ดังนี้

1. พัฒนาเพื่อให้สามารถกำหนดจำนวนพื้นที่และโหนดได้มากขึ้น
2. พัฒนาให้สามารถกำหนดรูปแบบของโครงข่ายให้ได้หลายรูปแบบ โดยต้องคำนึงคุณภาพของการให้บริการ และค่าใช้จ่ายที่เหมาะสม
3. พัฒนาระบบให้สามารถใช้เพื่อออกแบบโครงข่าย VoIP สำหรับกรณีอื่น ๆ เช่น ระหว่างองค์กรกับองค์กรที่ใช้ตู้สาขาขนาดเล็กถึงปานกลางโดยใช้โมเดล Erlang แบบ Engset
4. พัฒนาระบบให้สามารถใช้เพื่อออกแบบโครงข่าย VoIP ในรูปแบบที่ใช้โครงข่ายไอพีร่วมกันในการส่งทราฟฟิกประเภทสัญญาณเสียงร่วมกับข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

[1] สุวัฒน์ ปุณณชัยยะ. สุพจน์ ปุณณชัยยะ. ต้น ตันฑ์สุทธิวงศ์. **เปิดโลกของ TCP/IP และโปรโตคอลของอินเตอร์เน็ต.** โปรวิชั่น. 2543. หน้า 17-27.

[2] องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย. **ตารางค่าเช่าวงจรในประทศไทยประเภทที่ 1 สถานที่ผู้เช่าด้านหนึ่งไปยังสถานที่ผู้เช่าอีกด้านหนึ่ง.** อ้างอิงตามระเบียบองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย ว่าด้วยการให้บริการวงจรเช่าระบบดิจิตอล. 2545. หน้า 235.

[3] Blommers J. **Practical Planning for Network Growth.** New Jersey: Prentice Hall PTR. America. 1995. pp. 45 –106.

[4] Davidson J.. Peters J.. **Voice Over IP Fundamentals.** Cisco Press. 2000. pp. 5-250.

[5] Hersent O.. Gurle U.. Petit J.. **IP Telephony; Packet-Based Multimedia Communications Systems.** Great Britain: Addison-Wesley. pp. 197 –374.

[6] Uyless B.. **Voice Over IP.** New Jersey: Prentice Hall PTR. 1999. pp. 218-226.

[7] **Recommendation H.323; Packet-Based Multimedia Communications Systems.** ITU-T. 1999. pp. 131.

[8] **Voice Design and Implementation Guide; Traffic Engineering [Online].** Available : http://www.cisco.com/warp/public/788/pkt-voice-general/9.html, [2001 , June 1]. Cisco System Inc.. 2001.

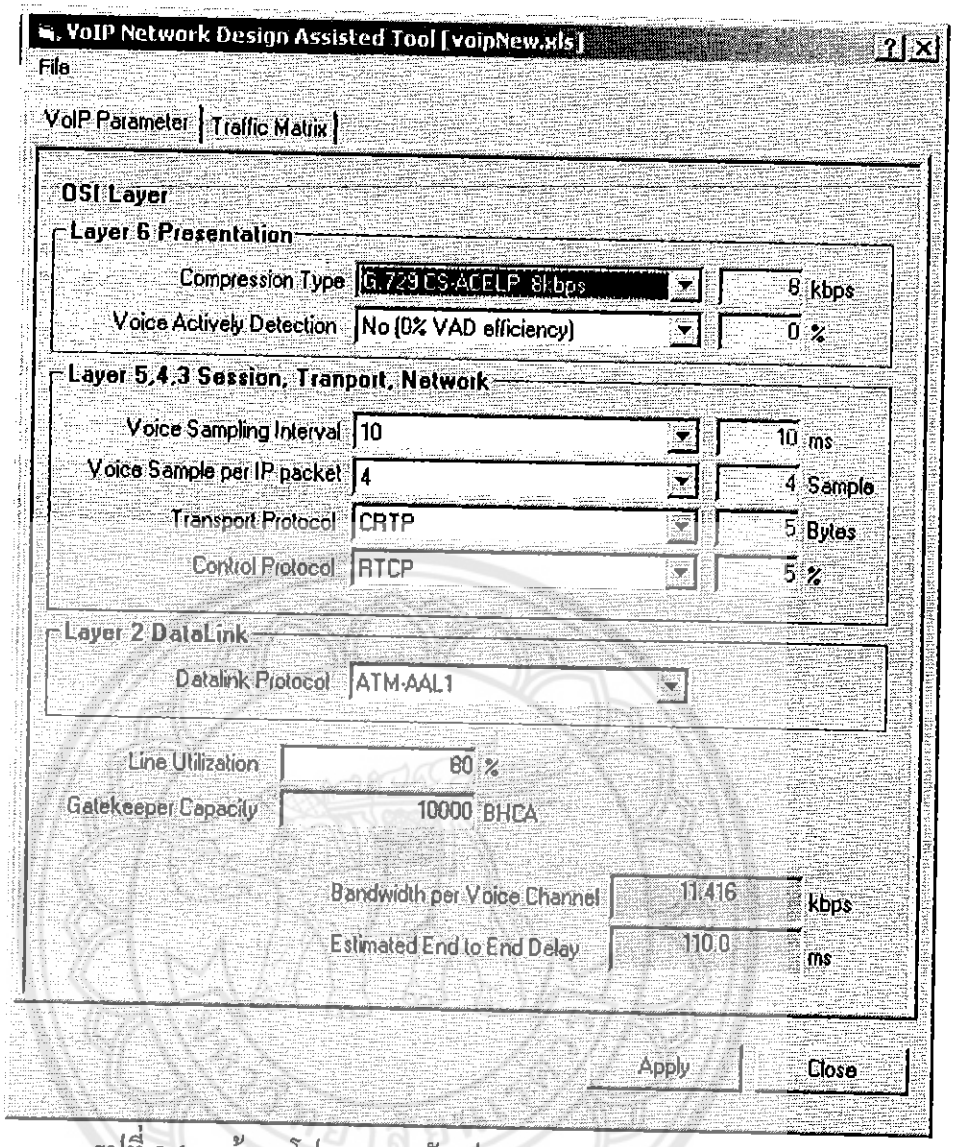
ภาคผนวก ก.

คู่มือการใช้งานโปรแกรม

VoIP Network Design Assistant Tool

ในภาคผนวก ก. นี้จะเป็นการแสดงรายละเอียดวิธีการใช้งานโปรแกรม VoIP Network Designed Assistant Tool

1. การทำงานโปรแกรม VoIP Network Design Assistant Tool จะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ
   1. ส่วนโปรแกรมหลัก เป็นส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานโดยจะรับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบมาทำการประมวลผล และแสดงผลการออกแบบ ดังรูปที่ ก. 1, ก. 2, ก. 3, ก. 4 และ ก. 6
   2. ส่วนเก็บข้อมูลและประมวลผลทราฟฟิก เป็นส่วนที่เก็บค่าพารามิเตอร์ ทำการประมวลผลทราฟฟิก และส่งข้อมูลคืนส่วนโปรแกรมหลัก รวมทั้งใช้แสดงตารางค่าเช่าวงจร ดังรูปที่ ก. 5 และ ก. 7



รูปที่ ก.1 หน้าจอโปรแกรมหลักเฟรม VoIP Parameter

- กด File → New กรณีต้องการสร้างไฟล์ใหม่
- File → Open ระบุที่ตั้งของไฟล์กรณีที่ต้องการเปิดไฟล์ที่ทำการประมวลผลไว้แล้วเพื่อนำมาแสดงผลหรือแก้ไข
- กด File → Save..As , Save กรณีต้องการเก็บบันทึกข้อมูลที่ทำการประมวลผลแล้ว
- กด File → Exit กรณีต้องการออกจากโปรแกรม

1. กำหนดค่าอินพุทพารามิเตอร์ในเฟรม VoIP Parameter เพื่อนำมาคำนวณหา Bandwidth per Voice Channel, Estimated End to End Delay และ Line Speed ของไอพีลิงค์โดยผู้ใช้ต้องทำการกำหนดค่าหรือเลือกค่า VoIP Parameter ต่างๆ ดังนี้

ชั้นที่ 6 พรีเซ็นเตชั่น

ประเภทของการบีบอัดสัญญาณ (Compression Type) เป็นการกำหนดประเภทของ Voice Coder สามารถกำหนดหรือเลือกประเภทของการบีบอัดสัญญาณค่าต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 การกำหนดค่าประเภทของ Voice Coder

ประเภทของ Voice Coder	อัตราการเข้ารหัส (kbps)
G.711 PCM	64
G.721 ADPCM	32
G.726 ADPCM	16
G.726 ADPCM	24
G.726 ADPCM	32
G.726 ADPCM	40
G.723.1 ACELP	5.3
G.723.1 MLQ-ACELP	6.3
G.728 LD CELP	16
G.729 CS-ACELP	8
G.729a- CS-ACELP	8
Custom	ผู้ใช้กำหนดเอง

Voice Activity Detection หรือ Silence Suppression สามารถกำหนดหรือเลือกค่าของ Voice Activity Detection ดังแสดงในตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 การกำหนดค่า Voice Activity Detection

Voice Activity Detection (VAD)	VAD Efficiency (%)
Yes	30% VAD Efficiency
No	0% VAD Efficiency
Custom	ผู้ใช้กำหนดเอง

ชั้นที่ 3 - 5 : เน็ตเวิร์ก ทรานสปอร์ต เซสชั่น

Voice Sampling Interval เป็นการกำหนดช่วงเวลาของการ Sampling สัญญาณเสียง

ตารางที่ ก.3 การกำหนดค่า Voice Sampling Interval

Voice Sampling Interval	Interval (ms)
1	10
2	20
3	30
Custom	ผู้ใช้กำหนดเอง

Voice Sample Per Packet เป็นการกำหนดจำนวน Voice Sample ต่อ 1 IP Packet

ตารางที่ ก.4 การกำหนดค่า Voice Sample per IP Packet

Voice Sample Per Packet	No. Voice Samples per Packet (Samples)
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
Custom	ผู้ใช้กำหนดเอง

ทรานสปอร์ตโพรโตคอล เป็นการกำหนดชนิดของโพรโตคอลที่ใช้ในการจัดส่งข้อมูลจากต้นทางถึงปลายทางมีค่าต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ ก.5

ตารางที่ ก.5 การกำหนด ทรานสปอร์ตโพรโตคอล ที่ใช้ในชั้นที่ 3-5

ทรานสปอร์ตโพรโตคอล	ขนาดของเฮดเดอร์ (ไบท์)
RTP/UDP/IP	40
CRTP	5
Custom	ผู้ใช้กำหนดเอง

คอนโทรลโพรโตคอล เป็นการกำหนดอัตราส่วนของสัญญาณควบคุมต่อข้อมูลที่ส่ง มีค่าต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ ก.6

ตารางที่ ก.6 การกำหนดอัตราส่วนของสัญญาณควบคุมต่อข้อมูลที่ส่ง

คอนโทรลโพรโตคอล	อัตราส่วนของสัญญาณควบคุม (%)
RTCP	5%
Custom	ผู้ใช้กำหนดเอง

ชั้นที่ 2 ดาต้าลิงค์โพรโตคอล

เป็นการกำหนดชนิดของโพรโตคอลที่ใช้ในชั้นที่ 2 ดาต้าลิงค์มีค่าต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ ก.7

ตารางที่ ก.7 การกำหนดชนิดของโพรโตคอลที่ใช้ในชั้นดาต้าลิงค์

ดาต้าลิงค์โพรโตคอล	ชนิดของโพรโตคอล
1	ATM-AAL1
2	ATM-AAL5
3	FR (Frame Relay)
4	PPP
5	802.3 Ethernet

Line Utilization มีค่า 1-80 เปอร์เซ็นต์ เป็นการกำหนดประสิทธิภาพการใช้งานของสื่อสัญญาณโดยต้องกำหนดไม่เกิน 80 เปอร์เซ็นต์ เพื่อป้องกันการเกิดสภาวะทราฟฟิกคับคั่งในโครงข่าย ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพการให้บริการของสัญญาณเสียง

Gatekeeper Capacity ให้ผู้ใช้กำหนดค่าเอง โดยค่านี้จะแสดงประสิทธิภาพในการให้บริการปริมาณทราฟฟิกของอุปกรณ์ Gatekeeper 1 ตัว มีหน่วยเป็น BHCA

หลังจากกำหนดค่าอินพุท VoIP Parameter เรียบร้อยแล้วโปรแกรมจะทำการประมวลผลและแสดงผลการคำนวณค่าต่อไปนี้

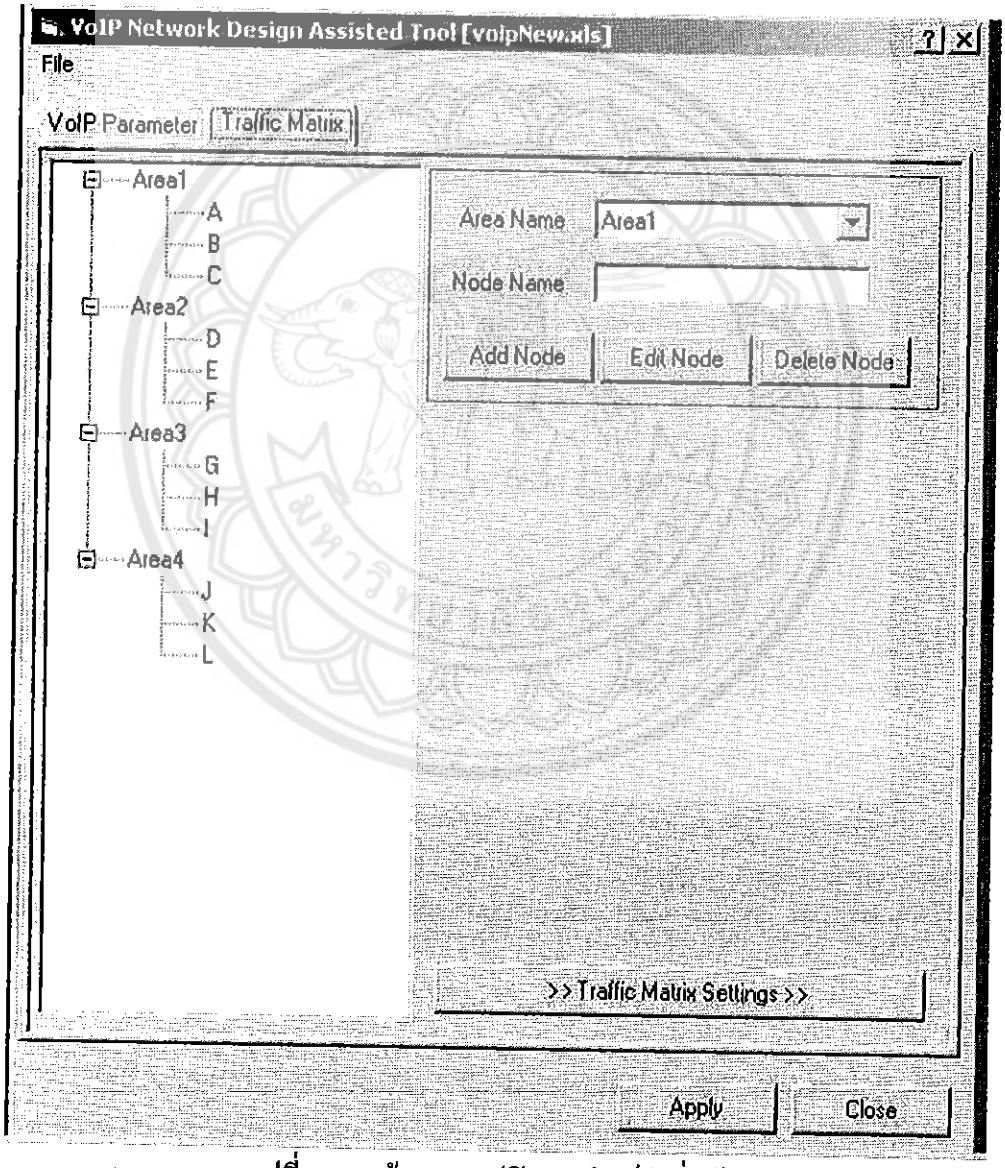
- Bandwidth per voice Channel (kbps)
- Estimated End to End delay (ms)

โดยจะทำการเก็บค่าตัวคูณไว้ในส่วนเก็บข้อมูลพารามิเตอร์ในการออกแบบเพื่อนำไปใช้ คำนวณหา Line Speed ของไอพีลิงค์ต่อไป

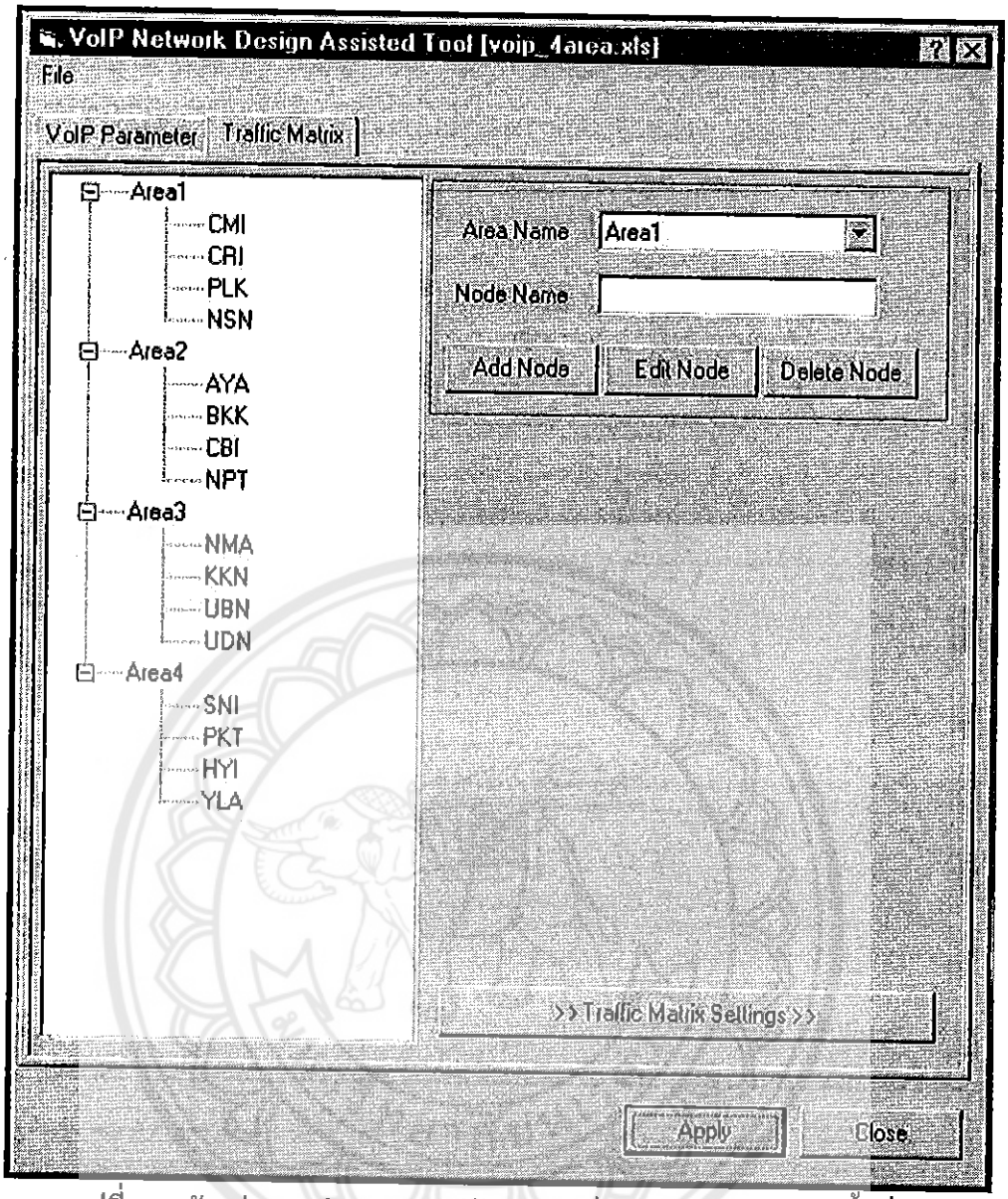
4. กำหนดค่าอินพุทจากเฟรมทราฟฟิกเมทริกซ์ดังแสดงในรูปที่ ก.2 เพื่อนำมาสร้าง ทราฟฟิกเมทริกซ์ใช้คำนวณหาขนาดของเกตเวย์ และ BHCA ของแต่ละพื้นที่โดยกำหนด ชื่อ และพื้นที่ของแต่ละโหนดเพื่อนำไปสร้างทราฟฟิกเมทริกซ์

- Area Name สามารถกำหนดให้มีมากสุดถึง 5 พื้นที่
- Node Name สามารถกำหนดได้มากสุดถึง 25 โหนด

สามารถเพิ่ม ลด หรือเปลี่ยนแปลงอินพุทของทราฟฟิกเมทริกซ์ได้โดยเลือก Area และ Node แล้ว กดปุ่ม Add Node, Delete Node หรือ Edit Node ตามลำดับ ตัวอย่างการกำหนดขนาดของทราฟฟิก Matrix โดยกำหนดชื่อโหนดใน 4 พื้นที่ดังแสดงในรูปที่ ก.3



รูปที่ ก.2 หน้าจอทราฟฟิกเมทริกซ์ค่าเริ่มต้น



รูปที่ ก.3 ตัวอย่างการกำหนดทราฟฟิกเมทริกซ์ขนาด 16 โหนดใน 4 พื้นที่

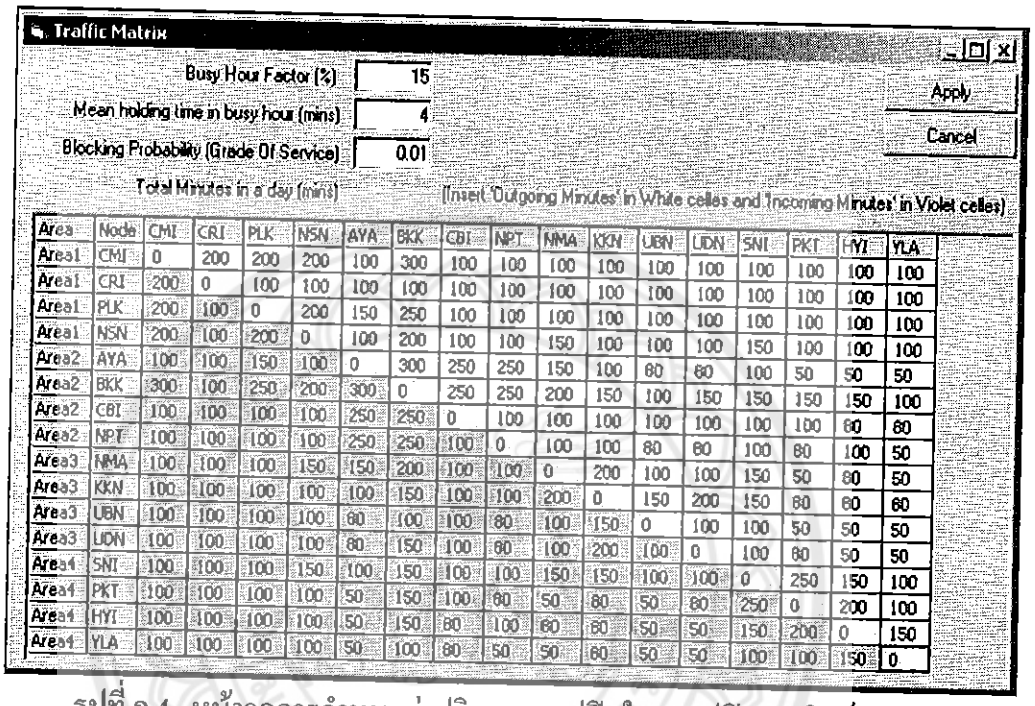
5. กดปุ่ม Traffic Matrix Setting โปรแกรมจะแสดงตารางเมทริกซ์ขนาด จำนวนโหนด x จำนวนโหนด ทำการกำหนดค่าต่างๆ ใน ทราฟฟิกเมทริซ์ดังแสดงในรูปที่ ก.4 โดยป้อนค่าอินพุทของ ทราฟฟิก ดังนี้

   - Outgoing Call Minutes per day /Incoming Call Minutes per day (mins.) เป็นการกำหนดเวลาที่ใช้ในการโทรเข้าและโทรออกใน 1 วันมีหน่วยเป็นนาที โดยกำหนดจำนวนเวลารวมที่ใช้ของการโทรออกใน 1 วันในช่องสีขาว และกำหนดจำนวนเวลารวมที่ใช้ในการรับสายโทรเข้าในช่องสีทึบซึ่งจะกำหนดค่าเริ่มต้นให้เท่ากับจำนวนเวลาที่ใช้ในการโทรออก ทั้งนี้ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้

- Busy Hour Factor (%) เป็นค่าระบุสัดส่วนปริมาณการใช้ในช่วงชั่วโมงที่มีการใช้งานมากที่สุดเทียบกับปริมาณการใช้งานใน 1 วัน

- Mean Holding Time (mins.) เป็นค่าเวลาเฉลี่ยของการใช้โทรศัพท์ต่อครั้งมีหน่วยเป็นนาที

- Blocking Probability (Grade of Service) เป็นค่าระบุคุณภาพของการให้บริการ โดย กำหนดความเป็นไปได้ของอัตราการโทรที่ไม่สำเร็จหรือการโทรที่ไม่ได้รับการบริการ



Area	Node	CMI	CRI	PLK	NSN	AYA	BKK	CBI	NPT	NMA	KKN	UBN	UDN	SNI	PKT	HYI	YLA
Area1	CMI	0	200	200	200	100	300	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Area1	CRI	200	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Area1	PLK	200	100	0	200	150	250	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Area1	NSN	200	100	200	0	100	200	100	100	150	100	100	100	150	100	100	100
Area2	AYA	100	100	150	100	0	300	250	250	150	100	80	80	100	50	50	50
Area2	BKK	300	100	250	200	300	0	250	250	200	150	100	150	150	150	150	100
Area2	CBI	100	100	100	100	250	250	0	100	100	100	100	100	100	100	80	80
Area2	NPT	100	100	100	100	250	250	100	0	100	100	80	80	100	80	100	50
Area3	NMA	100	100	100	150	150	200	100	100	0	200	100	100	150	50	80	50
Area3	KKN	100	100	100	100	100	150	100	100	200	0	150	200	150	80	60	60
Area3	UBN	100	100	100	100	80	100	100	80	100	150	0	100	100	50	50	50
Area3	UDN	100	100	100	100	80	150	100	80	100	200	100	0	100	80	50	50
Area4	SNI	100	100	100	150	100	150	100	100	150	150	100	100	0	250	150	100
Area4	PKT	100	100	100	100	50	150	100	80	50	80	50	80	250	0	200	100
Area4	HYI	100	100	100	100	50	150	80	100	80	80	50	50	150	200	0	150
Area4	YLA	100	100	100	100	50	100	80	50	50	60	50	50	100	100	150	0

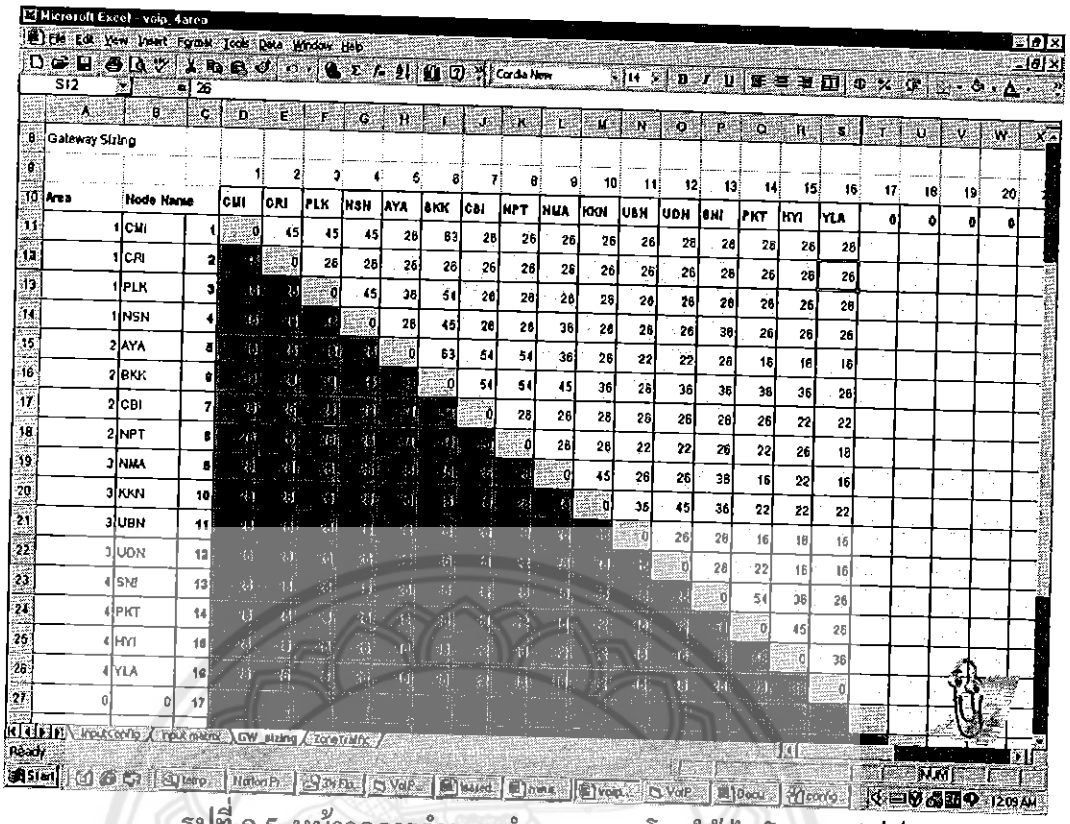
รูปที่ ก.4 หน้าจอการกำหนดค่าปริมาณทราฟฟิกในทราฟฟิกเมทริกซ์

6. กดปุ่ม Apply โปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่าต่างๆ ดังนี้

- ขนาดของ เกตเวย์ในแต่ละโหนด มีหน่วยเป็น E1

- จัดระดับของโหนดในแต่ละพื้นที่ โดยโหนดที่มีขนาดของเกตเวย์ใหญ่ที่สุดในแต่ละพื้นที่จะจัดเป็นระดับ Core ส่วนโหนดอื่นในพื้นที่นั้นๆ จัดให้เป็น ระดับ Edge

- BHCA ของแต่ละพื้นที่ โดยในระหว่างการประมวลผลหน้าจอของโปรแกรมจะทำเรียกโปรแกรมไมโครซอฟล์เอ็กเซล เนื่องจากต้องเรียกใช้ฟังก์ชันมาร์โคร Erlang ของโปรแกรมไมโครซอฟล์เอ็กเซลในการคำนวณหาจำนวนวงจร ดังแสดงในรูปที่ ก.5



รูปที่ ก.5 หน้าจอการคำนวณจำนวนวงจรโดยใช้ ไมโครซอฟท์เอ็กเซล

7. กดปุ่ม Apply เพื่อแสดงผล VoIP Network Configuration โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าต่างดังนี้

- ทำการหาค่าของ Line Speed ของแต่ละเส้นทาง
- จัดโซนของ GateKeeper ว่าแต่ละตัวดูแลพื้นที่ใด
- แสดงหน้าจอของ VoIP Network Configuration ดังแสดงในรูปที่ ก.6 โดยแสดงค่าต่างๆ ดังนี้

VoIP Network Diagram

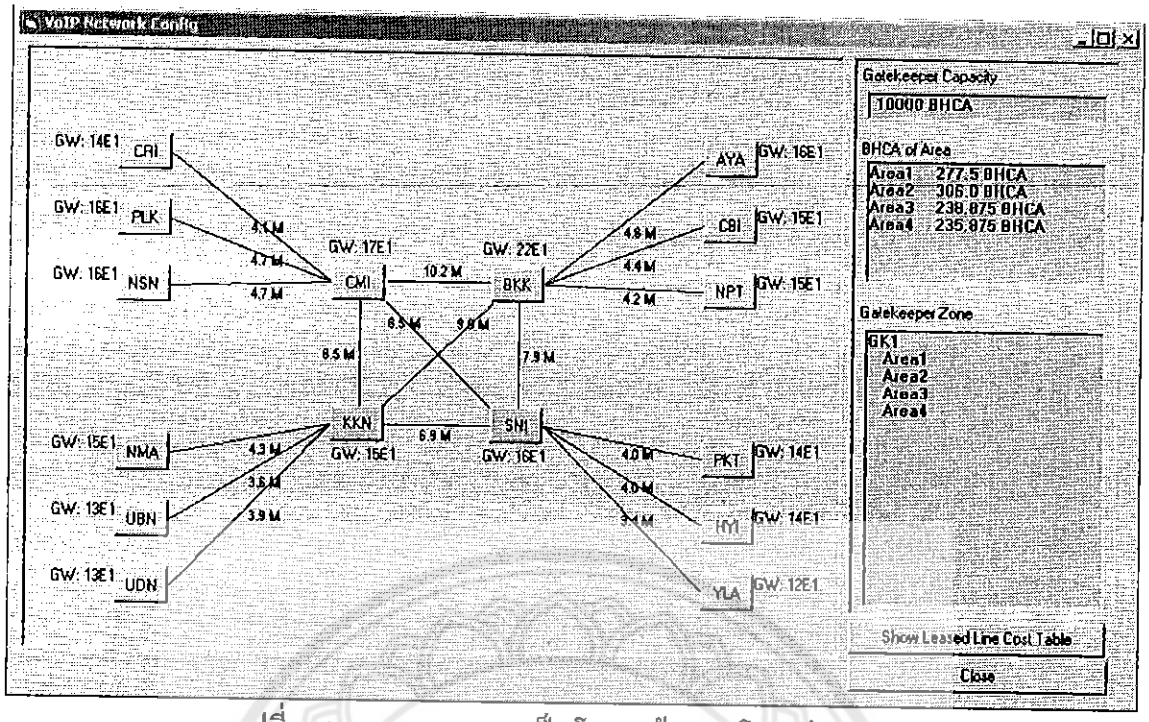
เกตเวย์ (E1) ของแต่ละโหนด

Line Speed (Mbps/kbps)

Gatekeeper Capacity (BHCA)

BHCA of Area

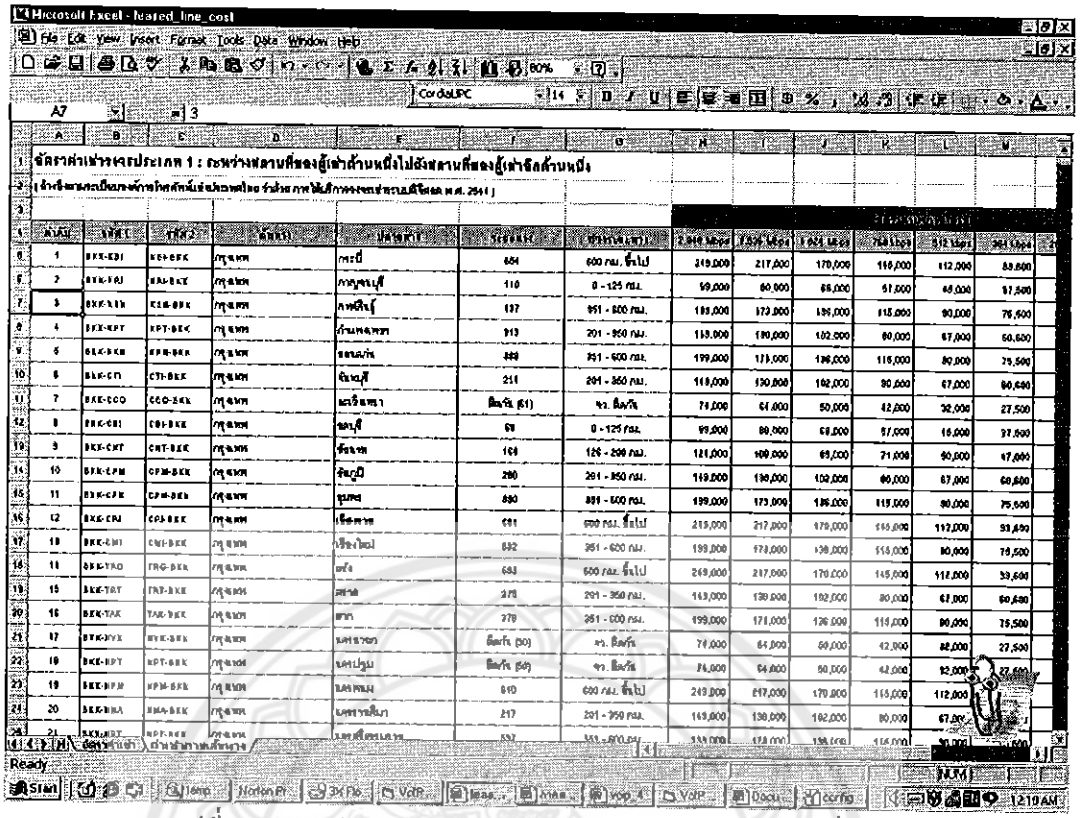
GateKeeper Zone



รูปที่ ก.6 ผลการออกแบบเป็นโครงสร้างของโครงข่าย VoIP

8. กดปุ่ม Leased Line Cost Table

โปรแกรมจะสวิตช์หน้าจอไปยังโปรแกรมไมโครซอล์ฟเอ็กเซลแสดงตารางค่าเช่าวงจรในประทศไทยประเภทที่ 1 สถานที่ผู้เช่าด้านหนึ่งไปยังสถานที่ผู้เช่าอีกด้านหนึ่งอ้างอิงตามระเบียบองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย ว่าด้วยการให้บริการวงจรเช่าระบบดิจิตอล พ.ศ. 2545 ดังแสดงในรูปที่ ก.7 เพื่อใช้ประกอบในการคิดค่าเช่าวงจรของ โครงข่าย VoIP



รูปที่ ก.7 ตัวอย่างตารางค่าเช่าวงจรในประทศไทยประเภทที่ 1

ภาคผนวก ข.

ซอร์สโค้ดโปรแกรมช่วยออกแบบโครงข่าย VoIP

1. ส่วนการคำนวณหาค่าแบนด์วิทด์ต่อวงจร

```
Subroutine การคำนวณค่า Bandwidth per Voice Channel ()
    sBVAD = 1 - (Val(.txtVAD) / 100) ' BVAD
    sDControl = 100 / (100 - ControlProtocol) 'datalink protocol
    Select Case DatalinkProtocol
    Case ATM-AAL1
     sGLink = 1.205
    Case ATM-AAL5
     sGLink = 1.1218
    Case FR Frame Relay
     sGLink = (ControlProtocol + (IntervalTime * SampleRate * Compression / 8) * sDControl)
     sGLink = (7 + sGLink) / sGLink
    Case PPP
     sGLink (ControlProtocol + (IntervalTime * SampleRate * Compression / 8) * sDControl)
     sGLink = (6 + sGLink) / sGLink
    Case 802.3 Ethernet
     sGLink = (ControlProtocol + (IntervalTime * SampleRate * Compression / 8) * sDControl)
     sGLink = (26 + sGLink) / sGLink
    End Select
    sResult = (IntervalTime * SampleRate * CompressionType / 8)
    sResult = (ControlProtocol + sResult) / sResult
    sResult = (CompressionType * sBVAD / 64) * sResult * sDControl * sGLink
                        (Bandwidth per voice Channel) = sResult
End Sub
```

2. ส่วนการคำนวณหา BHCA ของแต่ละโหนด

```
Subroutine คำนวณBHCA ()
  For each FromNode In InputMatrix
    Sumทราฟฟิก = 0
    For each ToNode In InputMatrix
      If FromNode <> ToNode then
        SumTraffic = SumTraffic+ InputMatrix(FromNode,ToNode)
    Next ToNode
        BHCA(FromNode) = SumTraffic*(BusyHourFactor)/(MeanHoldingTime)
  Next FromNode
End sub
```

3. ส่วนการคำนวณหาจำนวนวงจรจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง

```
Subroutine GwSizingMatrix()
For each FromNode in InputMatrix
    For each ToNode in InputMatrix
      GwSizingmatrix(FromNode,ToNode) = Erlang(InputMatrix(FromNode,ToNode))
    Next toNode
  Next FromNode
End sub
```

4. ส่วนการคำนวณหาขนาดของเกตเวย์

```
Subroutine Circuit&E1()
For each FromNode in GwSizingMatrix
Sumcircuit = 0
For each ToNode in GwSizingMatrix
SumCircuit = SumCircuit + GwSizingMatrix(FromNode,ToNode)
Next tonode
NumOfCircuit(FromNode) = sumcircuit
NumOfE1(FromNode) = SumCircuit/30
Next FromNode
End sub
```

5. ส่วนการตรวจสอบและกำหนดโหนด Edge และ Core

```
Subroutine การตรวจสอบและกำหนด Core/Edge Node()
  iMax = 0
  CoreNode = 0
  For each Area in Network
    For each Node in Area
      If NumOfCircuit(node) > iMax then
        CoreStatus(Node)  = 0
        CoreNode = Node
        CoreStatus(Node)  = 1
        iMax = NumOfCircuit(node)
      End if
    Next Node
  Next Area
```

6. ส่วนการคำนวณค่าปริมาณ ทราฟฟิก ระหว่างพื้นที่

```
Subroutine การคำนวณค่าทราฟฟิกโหลดระหว่างพื้นที่ ()
  For each FromArea in Network
    For each ToArea in Network
      If FromArea <> ToArea then
        For each FromNode in FromArea
          For each ToNode in ToArea
            AreaTraffic(FromArea,ToArea) = AreaTraffic(FromArea,ToArea) +
NodeTraffic(FromNode,ToNode)
          Next ToNode
        Next FromNode
      End if
    Next ToArea
  Next FromArea
End sub
```

7. ส่วนการคำนวณค่า BHCA ของแต่ละพื้นที่

```
Subroutine คำนวณBHCAของArea ()
  For each Area in Network
    SumBHCA =0
    For each Node In Area
      SumBHCA = SumBHCA +  BHCA(node)
    Next Node
    AreaBHCA(Area) = SumBHCA
  Next Area
```

ภาคผนวก ค.

ตารางค่าเช่าวงจรในประทศไทยประเภทที่ 1 ตามระเบียบองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย ว่าด้วยการให้บริการวงจรเช่าระบบดิจิตอล พ.ศ. 2545

ตารางที่ ค.1 อัตราค่าเช่าวงจรในประทศไทยประเภทที่ 1 ตามระเบียบองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย (หน่วย: บาท)

รายการ	จังหวัดติดกัน	0 – 125 กม.	126 – 200 กม.	201 – 351 กม.	351-600 กม.	600 กม. ขึ้นไป
2.048 Mbps	74,000	99,000	124,000	149,000	199,000	249,000
1.536 Mbps	64,000	80,000	108,000	130,000	173,000	217,000
1.024 Mbps	50,000	68,000	85,000	102,000	136,000	170,000
768 kbps	42,000	57,000	71,000	80,000	115,000	145,000
512 kbps	32,000	45,000	50,000	67,000	90,000	112,000
384 kbps	27,500	37,500	47,000	60,600	75,500	93,600
256 kbps	21,500	20,500	37,000	44,500	59,500	74,600
192 kbps	17,500	26,000	31,500	37,600	50,500	62,500
128 kbps	13,500	19,500	24,600	20,500	30,500	40,600
64 kbps	9,000	12,500	16,500	19,500	25,500	32,500
19.2 kbps	6,800	9,800	12,200	14,000	19,500	24,300
9.6 kbps	4,500	6,500	8,100	9,800	12,900	16,200

ภาคผนวก ง.

ตัวอย่างข้อมูลระยะทางและช่วงระยะทาง เพื่อใช้ประกอบการคิดค่าเช่าวงจร

ตารางที่ ง.1 ตัวอย่างข้อมูลระยะทางและช่วงระยะทางเพื่อใช้ประกอบในการคิดค่าเช่าวงจรจากต้นทางถึงปลายทาง

ลำดับ	ต้นทาง	ปลายทาง	ระยะทาง (กม.)	ช่วงระยะทาง
1	กรุงเทพ	กระบี่	654	600 กม. ขึ้นไป
2	กรุงเทพ	กาญจนบุรี	110	0 - 125 กม.
3	กรุงเทพ	กาฬสินธุ์	437	351 - 600 กม.
4	กรุงเทพ	กำแพงเพชร	319	201 - 350 กม.
5	กรุงเทพ	ขอนแก่น	388	351 - 600 กม.
6	กรุงเทพ	จันทบุรี	214	201 - 350 กม.
7	กรุงเทพ	ฉะเชิงเทรา	ติดกัน (61)	จว. ติดกัน
8	กรุงเทพ	ชลบุรี	68	0 - 125 กม.
9	กรุงเทพ	ชัยนาท	164	126 - 200 กม.
10	กรุงเทพ	ชัยภูมิ	280	201 - 350 กม.
11	กรุงเทพ	ชุมพร	390	351 - 600 กม.
12	กรุงเทพ	เชียงราย	684	600 กม. ขึ้นไป
13	กรุงเทพ	เชียงใหม่	582	351 - 600 กม.
14	กรุงเทพ	ตรัง	693	600 กม. ขึ้นไป
15	กรุงเทพ	ตราด	275	201 - 350 กม.
16	กรุงเทพ	ตาก	376	351 - 600 กม.
17	กรุงเทพ	นครนายก	ติดกัน (90)	จว. ติดกัน
18	กรุงเทพ	นครปฐม	ติดกัน (50)	จว. ติดกัน
19	กรุงเทพ	นครพนม	610	600 กม. ขึ้นไป
20	กรุงเทพ	นครราชสีมา	217	201 - 350 กม.
21	กรุงเทพ	นครศรีธรรมราช	597	351 - 600 กม.
22	กรุงเทพ	นครสวรรค์	221	201 - 350 กม.

ตารางที่ ง.1 ตัวอย่างข้อมูลระยะทางและช่วงระยะทางเพื่อใช้ประกอบในการคิดค่าเช่าวงจรจากต้นทางถึงปลายทาง (ต่อ)

ลำดับ	ต้นทาง	ปลายทาง	ระยะทาง(กม.)	ช่วงระยะทาง
23	กรุงเทพ	นราธิวาส	823	600 กม. ขึ้นไป
24	กรุงเทพ	น่าน	557	351 - 600 กม.
25	กรุงเทพ	บุรีรัมย์	312	201 - 350 กม.
26	กรุงเทพ	ประจวบคีรีขันธ์	230	201 - 350 กม.
27	กรุงเทพ	ปราจีนบุรี	99	0 - 125 กม.
28	กรุงเทพ	ปัตตานี	767	600 กม. ขึ้นไป
29	กรุงเทพ	พะเยา	602	600 กม. ขึ้นไป
30	กรุงเทพ	พังงา	627	600 กม. ขึ้นไป
31	กรุงเทพ	พัทลุง	681	600 กม. ขึ้นไป
32	กรุงเทพ	พิจิตร	298	201 - 350 กม.
33	กรุงเทพ	พิษณุโลก	341	201 - 350 กม.
34	กรุงเทพ	เพชรบุรี	95	0 - 125 กม.
35	กรุงเทพ	เพชรบูรณ์	302	201 - 350 กม.
36	กรุงเทพ	แพร่	487	351 - 600 กม.
37	กรุงเทพ	ภูเก็ต	693	600 กม. ขึ้นไป
38	กรุงเทพ	มหาสารคาม	402	351 - 600 กม.
39	กรุงเทพ	มุกดาหาร	547	351 - 600 กม.
40	กรุงเทพ	แม่ฮ่องสอน	673	600 กม. ขึ้นไป
41	กรุงเทพ	ยโสธร	451	351 - 600 กม.
42	กรุงเทพ	ยะลา	801	600 กม. ขึ้นไป
43	กรุงเทพ	ร้อยเอ็ด	423	351 - 600 กม.
44	กรุงเทพ	ระนอง	468	351 - 600 กม.
45	กรุงเทพ	ระยอง	145	126 - 200 กม.
46	กรุงเทพ	ราชบุรี	80	0 - 125 กม.
47	กรุงเทพ	ลพบุรี	116	0 - 125 กม.
48	กรุงเทพ	ลำปาง	515	351 - 600 กม.

ตารางที่ ง.1 ตัวอย่างข้อมูลระยะทางและช่วงระยะทางเพื่อใช้ประกอบในการคิดค่าเช่าวงจรจากต้นทางถึงปลายทาง (ต่อ)

ลำดับ	ต้นทาง	ปลายทาง	ระยะทาง(กม.)	ช่วงระยะทาง
49	กรุงเทพ	ลำพูน	557	351 - 600 กม.
50	กรุงเทพ	เลย	434	351 - 600 กม.
51	กรุงเทพ	ศรีสะเกษ	438	351 - 600 กม.
52	กรุงเทพ	สกลนคร	542	351 - 600 กม.
53	กรุงเทพ	สงขลา	725	600 กม. ขึ้นไป
54	กรุงเทพ	สตูล	792	600 กม. ขึ้นไป
55	กรุงเทพ	สมุทรสงคราม	68	0 - 125 กม.
56	กรุงเทพ	สมุทรสาคร	ติดกัน (35)	จว. ติดกัน
57	กรุงเทพ	สระแก้ว	169	126 - 200 กม.
58	กรุงเทพ	สระบุรี	ติดกัน (95)	จว. ติดกัน
59	กรุงเทพ	สิงบุรี	127	126 - 200 กม.
60	กรุงเทพ	สุโขทัย	367	351 - 600 กม.
61	กรุงเทพ	สุพรรณบุรี	90	0 - 125 กม.
62	กรุงเทพ	สุราษฎร์ธานี	527	351 - 600 กม.
63	กรุงเทพ	สุรินทร์	345	201 - 350 กม.
64	กรุงเทพ	หนองคาย	514	351 - 600 กม.
65	กรุงเทพ	หนองบัวลำภู	434	351 - 600 กม.
66	กรุงเทพ	อยุธยา	ติดกัน (66)	จว. ติดกัน
67	กรุงเทพ	อ่างทอง	92	0 - 125 กม.
68	กรุงเทพ	อำนาจเจริญ	500	351 - 600 กม.
69	กรุงเทพ	อุดรธานี	473	351 - 600 กม.
70	กรุงเทพ	อุตรดิตถ์	433	351 - 600 กม.
71	กรุงเทพ	อุทัยธานี	187	126 - 200 กม.
72	กรุงเทพ	อุบลราชธานี	496	351 - 600 กม.

ภาคผนวก จ.

ตัวอย่างตาราง Erlang B

ตารางที่ จ.1 ตัวอย่างตางราง Erlang B แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Probability of Blocking ((E_1) กับจำนวนวงจร (n) เมื่อทราบค่าทราฟฟิกที่เข้ามา (Traffic Offered :Ao)

n \ E	0.001	0.002	0.005	0.010	0.020	0.050	0.100
1	0.001	0.002	0.005	0.010	0.020	0.052	0.111
2	0.045	0.065	0.105	0.152	0.223	0.381	0.595
3	0.193	0.248	0.349	0.455	0.602	0.899	1.270
4	0.439	0.535	0.701	0.869	1.092	1.524	2.045
5	0.762	0.899	1.132	1.360	1.657	2.218	2.881
6	1.145	1.325	1.621	1.909	2.275	2.960	3.758
7	1.578	1.798	2.157	2.500	2.935	3.737	4.666
8	2.051	2.310	2.729	3.127	3.627	4.542	5.597
9	2.557	2.854	3.332	3.782	4.344	5.370	6.546
10	3.092	3.426	3.960	4.461	5.084	6.215	7.510
11	3.651	4.021	4.610	5.159	5.841	7.076	8.487
12	4.231	4.636	5.278	5.875	6.614	7.950	9.474
13	4.830	5.270	5.963	6.607	7.401	8.834	10.469
14	5.446	5.919	6.663	7.351	8.200	9.729	11.473
15	6.077	6.582	7.375	8.108	9.009	10.632	12.483
16	6.721	7.258	8.099	8.875	9.828	11.543	13.500
17	7.378	7.945	8.833	9.651	10.655	12.461	14.521
18	8.045	8.643	9.578	10.436	11.490	13.385	15.548
19	8.723	9.351	10.330	11.230	12.332	14.314	16.578
20	9.411	10.068	11.091	12.030	13.181	15.249	17.613
21	10.107	10.792	11.859	12.837	14.035	16.188	18.651
22	10.812	11.525	12.634	13.651	14.895	17.132	19.692

ตารางที่ จ.1 ตัวอย่างตางราง Erlang B แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Probability of Blocking ((E_1) กับจำนวนวงจร (n) เมื่อทราบค่าทราฟฟิกที่เข้ามา (Traffic Offered :Ao) (ต่อ)

n \ E	0.001	0.002	0.005	0.010	0.020	0.050	0.100
23	11.524	12.264	13.416	14.470	15.760	18.079	20.736
24	12.243	13.011	14.203	15.295	16.630	19.030	21.783
25	12.968	13.763	14.996	16.124	17.504	19.985	22.833
26	13.700	14.521	15.794	16.958	18.382	20.943	23.884
27	14.438	15.285	16.598	17.797	19.264	21.903	24.938
28	15.181	16.054	17.405	18.640	20.150	22.867	25.994
29	15.930	16.827	18.217	19.486	21.039	23.833	27.052
30	16.683	17.606	19.033	20.337	21.931	24.801	28.112
31	17.442	18.388	19.853	21.191	22.826	25.772	29.173
32	18.204	19.175	20.677	22.048	23.724	26.745	30.236
33	18.971	19.966	21.504	22.908	24.625	27.720	31.301
34	19.742	20.760	22.335	23.771	25.529	28.697	32.367
35	20.517	21.559	23.169	24.638	26.434	29.676	33.434
36	21.295	22.360	24.006	25.507	27.343	30.657	34.502
37	22.078	23.165	24.846	26.378	28.253	31.639	35.572
38	22.863	23.973	25.688	27.252	29.166	32.623	36.642
39	23.652	24.784	26.533	28.128	30.080	33.609	37.714
40	24.444	25.598	27.381	29.007	30.997	34.595	38.787
41	25.239	26.415	28.232	29.888	31.915	35.584	39.861
42	26.036	27.234	29.084	30.771	32.836	36.573	40.935
43	26.837	28.057	29.939	31.656	33.758	37.564	42.011
44	27.640	28.881	30.796	32.542	34.681	38.556	43.087
45	28.446	29.708	31.656	33.431	35.606	39.550	44.165
46	29.254	30.537	32.517	34.322	36.533	40.544	45.243
47	30.065	31.369	33.380	35.214	37.461	41.540	46.321

ตารางที่ จ.1 ตัวอย่างตางราง Erlang B แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Probability of Blocking ((E_1) กับจำนวนวงจร (n) เมื่อทราบค่า Traffic Offered (Ao) (ต่อ)

n \ E	0.001	0.002	0.005	0.010	0.020	0.050	0.100
48	30.878	32.202	34.245	36.108	38.391	42.536	47.401
49	31.694	33.038	35.112	37.004	39.322	43.534	48.481
50	32.511	33.876	35.981	37.901	40.255	44.533	49.562
51	33.331	34.716	36.852	38.800	41.188	45.532	50.643
52	34.153	35.557	37.724	39.700	42.123	46.532	51.725
53	34.977	36.401	38.598	40.601	43.059	47.534	52.808
54	35.802	37.246	39.473	41.504	43.997	48.536	53.891
55	36.630	38.093	40.350	42.409	44.935	49.539	54.975
56	37.459	38.942	41.229	43.314	45.875	50.543	56.059
57	38.291	39.792	42.108	44.221	46.816	51.547	57.144
58	39.124	40.644	42.990	45.129	47.757	52.552	58.229
59	39.958	41.498	43.872	46.039	48.700	53.558	59.315
60	40.794	42.353	44.756	46.949	49.644	54.565	60.401

ประวัติผู้เขียนโครงงาน

ชื่อ	นางสาวทิตติโสม ศักดิ์สอ
ภูมิลำเนา	บ้านเลขที่ 100/1 หมู่ 4 ตำบล วังหลวง
	อำเภอ หนองม่วงไข่ จังหวัด จ.แพร่ 54170
ประวัติการศึกษา	
ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนม่วงไข่พิทยาคม จังหวัดแพร่
ระดับปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก
E – mail:	tittisom_s@yahoo.com