

การวิเคราะห์กราฟฟิคเพื่อปรับปรุงโครงข่ายสำหรับผู้ใช้งานเอดีเอสแอล

TRFFIC ANALYSIS AND IMPROVING NETWORK FOR ADSL USERS

ยุทธนา ศรีมุกดา

YUTTANA SRIMUKDA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2549

ISBN 974-15-2743-8

TRFFIC ANALYSIS AND IMPROVING NETWORK FOR ADSL USERS

YUTTANA SRIMUKDA

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2006

ISBN 974-15-2743-8

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์กราฟฟิกเพื่อปรับปรุงโครงข่ายสำหรับผู้ใช้งานเอดี เอชแอล
นักศึกษา	นายยุทธนา ศรีมุกดา
รหัสนักศึกษา	44061740
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาถิพงษ์
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	ผศ.รศ.นิภา ลีลาธุจิ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับการวิเคราะห์และแนวทางการแก้ไขปัญหากราฟฟิกของโครงข่ายซึ่งเป็นแบบ ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีในการเชื่อมต่อของโครงข่ายการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูง จากที่มีการนำเทคโนโลยีของ Internet Broadband นำมาใช้ในการให้บริการเป็นจำนวนมาก จนทำให้เกิดปัญหาที่เกิดจากความคับคั่งของกราฟฟิก จนทำให้เกิดปัญหาและอุปสรรคในการออกแบบโครงข่าย ADSL ในการวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆ ของกราฟฟิก เช่น คุณสมบัติการกระจายของกราฟฟิก, กราฟฟิกเฉลี่ย โดยนำค่าเหล่านี้มาแปลงเป็นสูตรการคำนวณในพื้นฐานที่เป็นไปได้ เพื่อนำค่าที่เหมาะสมไปใช้ในการออกแบบโครงข่าย ให้เป็นไปอย่างเหมาะสม รวมทั้งช่วยให้ผู้ใช้บริการในโครงข่ายสามารถใช้โครงข่ายได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

Thesis Title	Traffic Analysis to Improving Network for ADSL Users
Student	Mr. Yuttana Srimukda
Student ID.	440617400
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2006
Thesis Advisor	Assis. Prof. Dr. Suthichai Noppanakeepong
Thesis Co advisor	Assoc. Prof. Nipha Leelaruji

ABSTRACT

This thesis presents the traffic analysis and improvement for ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) network to use for high speed technology access network of broadband internet services. The increase of traffic load is being driven by acceleration of internet. The increase of traffic load is being driven made to traffic congestion. This factor may cause some difficulties for the designing ADSL network. In this thesis study and analyze various characteristics in ADSL traffic include traffic distribution properties, average traffic and occurrence patterns, base on the formulation of feasible criteria. Then propose a designing method apply to the deployment of the access network. For the subscribers are very useful in order to define the traffic quantity and network benefits.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี เนื่องด้วยความอนุเคราะห์และกรุณาจากทางอาจารย์สองท่านที่ให้ปรึกษาทุกๆด้านคือ ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาถิพงษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ รศ.นิภา ติลาโรจิ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม รวมทั้ง รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ, ผศ.ดร.พิเชฐ ม่วงนวล และ ผศ.เกรียงไกร วงศ์โรจนภรณ์ ได้กรุณาสละเวลามาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ดังกล่าวข้างต้นไว้เป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณบริษัท ทู คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) ที่เปิดโอกาสให้ข้าพเจ้าให้เข้าไปทำงานและทำการวิจัย ตลอดจนที่ได้สนับสนุนเครื่องมือ ข้อมูล และหนังสือต่างๆ ที่ใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมและบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่มีไมตรีจิตในการติดต่อประสานงานทุกๆด้าน

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดาและมารดาที่ล่วงลับไปแล้ว รวมทั้งครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ยุทธนา ศรีมุกดา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	1
1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน.....	2
1.6 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.7 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบโทรศัพท์และเอดีเอสแอล(ADSL).....	3
2.1 โครงข่ายโทรศัพท์ที่ใช้สายคู่ตีเกลียว (The Telephone Loop Plant).....	3
2.2 สัญญาณรบกวน Crosstalk.....	4
2.2.1 Near End CrossTalk (NEXT)	4
2.2.2 Far End CrossTalk (NEXT)	4
2.3 ความเป็นมาของ ADSL.....	6
2.4 สถาปัตยกรรมของ ADSL (ADSL Architecture).....	7
2.5 โครงข่าย ADSL (ADSL Network).....	10
2.6 การทำงานของ ADSL.....	11
2.7 ADSL Frequency band	12
2.7.1 FDM (Frequency Division Multiplex)	12
2.7.2 Echo-cancellation.....	12
2.8 ADSL Bit rates	13
2.9 Modulation Technique	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.9.1 QAM (Quadrature Amplitude Modulation)	14
2.9.2 CAP (Carrier less Amplitude Phase)	14
2.9.3 DMT (Discrete Multi Tone).....	17
2.10 Constrained Optimization	21
2.11 Water-filling solution	21
2.12 ข้อเปรียบเทียบระหว่าง CAP และ DMT	21
2.13 ADSL Super Frame.....	22
2.14 Fast data buffer ATU-C transmitter	23
2.15 Interleaved data buffer –ATU-C transmitter.....	24
2.16 Tone ordering.....	25
2.17 Constellation encoding	25
2.18 ADSL G.Lite	26
บทที่ 3 มาตรฐานและการทำงานของ xDSL	28
3.1 ADSL2 และ ADSL2+.....	29
3.2 การปรับปรุงทางด้านอัตราเร็วการส่งข้อมูลและระยะทางไกลที่ส่งได้ (Rate and Reach improvement).....	29
3.3 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Diagnostics).....	30
3.4 การปรับปรุงการใช้กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ (Power Management).....	31
3.5 การปรับเปลี่ยนอัตราเร็วการส่งข้อมูล	33
3.6 การใช้ Bonding สำหรับเพิ่มอัตราเร็วการส่งข้อมูลให้สูงขึ้น	34
3.7 การจัดแบ่งช่องสัญญาณเพื่อส่งเสียงและข้อมูลทาง DSL (Channelization and VoDSL).....	36
3.8 ประโยชน์เพิ่มเติมที่ได้รับจาก ADSL2 (Other advantages).....	37
3.9 ADSL2+	38
3.10 HDSL (High speed DSL).....	40
3.11 G.SHDSL (Symmetric HDSL).....	40
3.11.1 Spectral compatibility	43
3.11.2 Handshake	44

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.12 VDSL (Very high-speed DSL).....	44
3.12.1 Frequency plans	45
3.12.1.1 Plan 997	45
3.12.2.2 Plan 998	45
3.12.2 Line code.....	45
3.12.3 Deployment.....	46
3.12.3.1 Fibre to the cabinet (FTTCab).....	46
3.12.3.2 Fibre to the building (FTTB).....	46
3.12.3.3 Fibre to the home (FTTH).....	47
3.12.3.4 Ethernet over VDSL.....	47
3.12.3.5 Extending the corporate LAN.....	47
3.12.3.6 Network Multi-Tenant (MTU).....	47
3.12.3.7 Enhancing Hospitality Services	47
บทที่ 4 การวัด, วิเคราะห์ลักษณะของทรานส์มิกชันและแนวทางในการแก้ไขปัญหา.....	47
4.1 โครงสร้างและการวัดทรานส์มิกชันใน ADSL Network.....	49
4.2 ผลการวัดและวิเคราะห์ทรานส์มิกชันแบบรายเดือน ปี พ.ศ. 2548.....	51
4.3 ผลการวัดทรานส์มิกชันแบบรายวัน ปี พ.ศ. 2548.....	52
4.4 ผลการวัดและวิเคราะห์ทรานส์มิกชันแบบรายชั่วโมง ปี พ.ศ. 2548.....	53
4.4 ผลการวัดและวิเคราะห์ทรานส์มิกชันแบบรายชั่วโมง ปี พ.ศ. 2548.....	53
4.5 แนวทางในการแก้ไขปัญหาเมื่อ Bandwidth มีการใช้งานเป็นจำนวนมาก.....	54
4.6 นำเสนอแนวทางในการออกแบบโครงข่าย ADSL อีกหนึ่งแนวทางนอกเหนือ จากภาคผนวก ก.....	55
4.7 จำนวนสมาชิกผู้ใช้บริการต่อวงจรเชื่อมโยง.....	57
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	60

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม.....	65
ภาคผนวก.....	66
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	67
ประวัติผู้เขียน.....	73

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 QAM Encoding	17
4.1 แสดง Link ระหว่าง Routers, IDC, และ Internet	56
4.2 จำนวนทราฟฟิกที่ใช้งานในแต่ละ Link	57
4.3 จำนวนทราฟฟิกที่ใช้งานในแต่ละ Link ในส่วนของ Interconnect	57
4.4 ทราฟฟิกที่ใช้งานในแต่ละ Link ในส่วนของ Interconnect และ Internet access	57
4.5 Bandwidth ของ Virtual Trunk ที่ให้บริการ VoIP ในแต่ละ Link	57
4.6 ทราฟฟิกในส่วนของ ADSL, Metronet และบริการ VoIP	58

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 Voice Loop Plant เปรียบเทียบกับ Private-line DSL และ Switched DSL.....	3
2.2 การเกิด Near End Crosstalk (NEXT).....	4
2.3 การเกิด Near End Crosstalk (NEXT).....	4
2.4 การเกิด Far End Crosstalk (NEXT).....	5
2.5 การเกิด Far End Crosstalk (NEXT).....	5
2.6 สถาปัตยกรรมของ ADSL	8
2.7 สถาปัตยกรรมของ ADSL	8
2.8 แสดงการแยกสัญญาณระหว่างสัญญาณเสียงและข้อมูล.....	9
2.9 โครงข่าย ADSL (ADSL Network).....	10
2.10 แสดงการแบ่งย่านความถี่ของ ADSL	11
2.11 เปรียบเทียบระหว่าง Frequency Division Multiplex และ Echo-cancellation	12
2.12 เปรียบเทียบการจัดเรียงสเปกตรัมระหว่าง Frequency Division Multiplex และ Echo cancellation.....	13
2.13 Block diagram for ADSL QAM transceiver.....	14
2.14 หลักการเบื้องต้นของ Quadrature Amplitude Modulation (QAM).....	15
2.15 QAM Encoding	15
2.16 Example QAM Encoding.....	16
2.17 CAP (Carrier less Amplitude Phase).....	17
2.18 DMT Transmitter	18
2.19 สเปกตรัมของการเข้ารหัสแบบ DMT	18
2.20 Discrete Multitone.....	18
2.21 ADSL Super frame	22
2.22 Fast byte.....	23
2.23 Fast data buffer ATU-C transmitter	23
2.24 ATU-C Super frame -C transmitter	23
2.25 Tone ordering	25
2.26 Constellation encoding.....	26
2.27 Block diagram of G.Lite ADSL transceiver	26
2.28 แสดงสเปกตรัมของ ADSL G.Lite	26

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1 ADSL2 และ ADSL2+	29
3.2 ระบบ ADSL2 จะช่วยปรับปรุงอัตราเร็วการส่งข้อมูลและระยะทางที่ส่งได้ให้เพิ่มมากขึ้น.....	30
3.3 Low-power mode (L2 และ L3) ของ ADSL2 จะช่วยประหยัดการใช้กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ โดยไม่ไปขัดจังหวะการให้บริการ และไม่ทำให้เกิด bit error ขึ้น.....	33
3.4 คู่สายทองแดงที่อยู่ชิดติดกัน สามารถเหนี่ยวนำให้เกิด crosstalk รบกวนกันจนอาจทำให้ระบบ ADSL หลุดจากการเชื่อมต่อสัญญาณได้.....	34
3.5 อัตราเร็วการส่งข้อมูลสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการใช้ Bonding.....	35
3.6 การจัดสรรแบนด์วิดท์ของ DSL ให้กับ CVoDSL	37
3.7 เปรียบเทียบ CVoDSL, VoATM และ VoIP	37
3.8 ADSL2+ จะเพิ่มแบนด์วิดท์เป็น 2 เท่าสำหรับส่งข้อมูล downstream	38
3.9 ADSL2+ จะมีอัตราเร็วการส่งข้อมูล downstream สูงสุดเป็น 2 เท่า.....	39
3.10 ADSL2+ สามารถใช้ในการลด crosstalk ได้.....	40
3.11 การเชื่อมต่อแบบ Lan-to-Lan ของ G.SHDSL	41
3.12 การนำ G.SHDSL มาใช้งานแทน Lead line	42
3.13 พัฒนาการของ G.SHDSL	43
3.14 การนำ G.SHDSL ไปติดตั้งที่ CO	43
3.15 เปรียบเทียบ G.SHDSL SDSL-2B1Q ที่ 768 kbps	44
4.1 โครงสร้าง ADSL Network ที่ทำการวัดกราฟฟิค.....	49
4.2 โครงสร้าง ADSL Network ที่ประกอบด้วย Distribution Ring ที่มี RCU และ PTN.....	50
4.3 ตำแหน่งการวัดกราฟฟิคของ ADSL ใน RCU	50
4.4 ผลการวัดกราฟฟิคแบบรายเดือน ปี พ.ศ. 2548 ลักษณะของกราฟแท่ง.....	51
4.5 ผลการวัดกราฟฟิคแบบรายเดือน ปี พ.ศ. 2548 ลักษณะของ 3D honeycomb surface chart ...	51
4.6 ผลการวัดกราฟฟิคแบบรายวัน ปี พ.ศ. 2548 ลักษณะของกราฟเส้น.....	52
4.7 ผลการวัดกราฟฟิคแบบรายวัน ปี พ.ศ. 2548 ลักษณะของกราฟเส้น.....	52
4.8 ผลการวัดกราฟฟิคแบบชั่วโมง ปี พ.ศ. 2548 ลักษณะของกราฟเส้น.....	53
4.9 ผลการวัดกราฟฟิคแบบรายชั่วโมง ปี พ.ศ. 2548 ลักษณะของ 3D honeycomb surface chart.....	54
4.10 ลักษณะการเชื่อมต่อของโครงข่าย Broadband เดิม.....	55
4.11 รูปแสดงกราฟฟิคของ Virtual Trunk	58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

4.12 การนำเอาสมการ 4.10 เข้าไปเพิ่มใน ADSL เพื่อหาค่า BER	62
4.13 เปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังที่จะมีการปรับปรุงค่า BER	62

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันการให้บริการ ADSL ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย รวมทั้งผู้ให้บริการ ADSL หลายรายได้มีการจัดรายการจัดรายการส่งเสริมการให้บริการ โดยมีการให้ใช้งานอินเทอร์เน็ตผ่าน ADSL แบบเหมาจ่ายไม่จำกัดจำนวนการใช้งาน บนเครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐานที่เดิมถูกออกแบบเพื่อใช้งานสำหรับการใช้งานสำหรับการพูดคุยหรือสื่อสารผ่านโมเด็มแบบอนาล็อกทั่วไป การวิจัยนี้จะช่วยในการศึกษาเพื่อวิเคราะห์โครงข่ายที่เดิมใช้งานกับโทรศัพท์พื้นฐานให้ใช้งานได้เหมาะสมกับโครงข่ายที่มีการใช้งาน ADSL รวมทั้งเสนอแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของโครงข่ายให้สามารถรองรับกับการใช้งาน ADSL ได้อย่างเหมาะสม

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เนื่องจากปัจจุบันการให้บริการ ADSL ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย รวมทั้งผู้ให้บริการ ADSL หลายรายได้มีการจัดรายการจัดรายการส่งเสริมการให้บริการ โดยมีการให้ใช้งานอินเทอร์เน็ตผ่าน ADSL แบบเหมาจ่ายไม่จำกัดจำนวนการใช้งาน บนเครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐานที่เดิมถูกออกแบบเพื่อใช้งานสำหรับการใช้งานสำหรับการพูดคุยหรือสื่อสารผ่านโมเด็มแบบอนาล็อกทั่วไป การวิจัยนี้จะช่วยในการศึกษาเพื่อวิเคราะห์โครงข่ายที่เดิมใช้งานกับโทรศัพท์พื้นฐานให้ใช้งานได้เหมาะสมกับโครงข่ายที่มีการใช้งาน ADSL รวมทั้งเสนอแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของโครงข่ายให้สามารถรองรับกับการใช้งาน ADSL ได้อย่างเหมาะสม

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เมื่อมีการใช้งาน ADSL เป็นจำนวนมากๆ ในเวลาพร้อมกันทำให้เกิดปัญหาความคับคั่งในการทำงานในโครงข่าย ซึ่งเกิดจากปัจจัยหลายๆอย่าง โดยการศึกษาปัจจัยเหล่านี้ ทำได้โดยการวัดปริมาณทราฟฟิกว่ามีปริมาณมากน้อยเพียงใดและวิเคราะห์ทราฟฟิกตามหลักการว่ามีลักษณะเป็นอย่างไร เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบโครงข่ายให้เหมาะสมกับการใช้งาน ต่อไป

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ได้นำเสนอหลักการในการวัดทราฟฟิกและวิเคราะห์โครงข่ายที่ใช้งานกับ ADSL และนำเสนอหลักการในการออกแบบโครงข่าย ADSL โดยอาศัยหลักการพื้นฐานในการแก้ปัญหา

โครงข่ายมีความคับคั่งรวมทั้งนำเสนอแนวทางในการออกแบบโครงข่าย

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

หลักการที่มีอยู่เดิม โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน ได้ถูกออกแบบมาเพื่อรองรับการให้บริการการใช้งานพูดคุยติดต่อสื่อสารกันแบบใช้สัญญาณเสียง หรือ การสื่อสารรับส่งข้อมูลผ่านโมเด็มแบบอนาล็อกซึ่งมีความเร็วในสื่อสารข้อมูลไม่สูงนักแต่ในการใช้งานในปัจจุบันได้มีการสื่อสารของ ADSL เข้ามาเกี่ยวข้องบนโครงข่ายของโทรศัพท์พื้นฐานเดิม ทำให้ต้องมีการคิดหลักการในการออกแบบโครงข่ายขึ้นมาใหม่ เพื่อให้สามารถรองรับกับจำนวนทราฟฟิกของผู้ใช้งานของ ADSL ซึ่งมีพฤติกรรมในการใช้งานที่ค่อนข้างแตกต่างไปจากการใช้งาน

1.6 ขอบเขตการวิจัย

ได้นำเสนอแนวทางในการวิเคราะห์โครงข่ายที่ใช้งาน ADSL บนโครงข่ายพื้นฐานเดิม เพื่อให้ทราบถึงปัญหาที่แท้จริงของการใช้งาน โดยใช้หลักการวัดปริมาณการใช้ทราฟฟิกจากจำนวนผู้เช่าที่กำหนดไว้ให้เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ และ นำผลจากการวิเคราะห์ปริมาณทราฟฟิกที่เป็นแบบรายชั่วโมง, รายวัน และรายสัปดาห์ รวมทั้งนำเสนอแนวทางในการแก้ไขปัญหาเนื่องจากปริมาณ Bandwidth ที่มีจำนวนมาก

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงวัตถุประสงค์ ความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมาย สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงลักษณะการทำงานและมาตรฐานของ ADSL โครงข่ายของ ADSL รวมทั้งเทคนิคในการมอดูเลตสัญญาณในแบบต่างๆ

บทที่ 3 กล่าวถึงหลักการและมาตรฐานและการทำงานของ xDSL ที่มีการทำงานที่คล้ายคลึงและแตกต่างจาก ADSL รวมทั้งมีพัฒนาการต่างจาก ADSL อย่างไร

บทที่ 4 กล่าวถึงการวัดค่าทราฟฟิกของระบบ ADSL และผลที่ได้จากการจำลองระบบเพื่อเปรียบเทียบให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอนั้นสามารถที่ช่วยให้ระบบมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

บทที่ 5 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

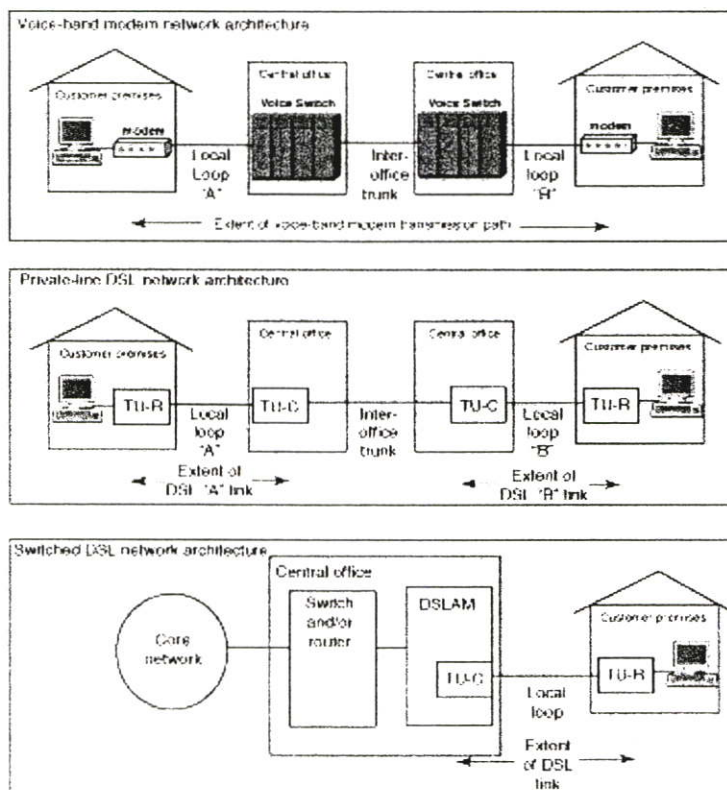
บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบโทรศัพท์และเอดีเอสแอล (ADSL)

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบโทรศัพท์และเอดีเอสแอล (ADSL) ลักษณะการทำงานและการเชื่อมต่อภายในของโครงข่าย ADSL รวมทั้งได้กล่าวถึง ทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการวิจัย เนื้อหาทั้งหมดนี้จำเป็นสำหรับการศึกษา เพื่อการพัฒนาโครงข่ายของ ADSL

2.1 โครงข่ายโทรศัพท์ที่ใช้สายคู่ตีเกลียว (The Telephone Loop Plant)

โครงข่ายที่ใช้สายคู่ตีเกลียวหรือที่เรียกกันว่า Loop plant เชื่อมต่อผู้ใช้บริการกับโครงข่ายของผู้ให้บริการโทรศัพท์ ถูกออกแบบมาเพื่อให้บริการโทรศัพท์แบบดั้งเดิมหรือที่เรียกกันว่า Plain Old Telephone Service (POTS) ที่มีต้นทุนในการลงทุนไม่สูงมากและมีความน่าเชื่อถือในตัวระบบสูง



รูปที่ 2.1 Voice Loop Plant เปรียบเทียบกับ Private-line DSL และ Switched DSL

การนำ Loop plant มาใช้ในการส่งผ่านข้อมูลดิจิทัลที่มีอัตราเร็วสูงๆ จะเกิดปัญหาเช่น การลดทอนของสัญญาณ, สัญญาณรบกวน Crosstalk, การสะท้อนของสัญญาณ, สัญญาณรบกวนจากคลื่นวิทยุ, สัญญาณรบกวน Impulse

2.2 สัญญาณรบกวน Crosstalk

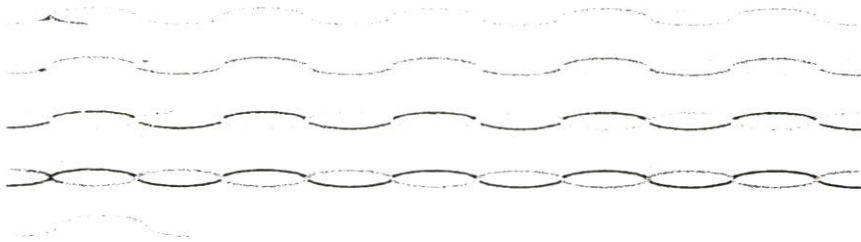
สัญญาณรบกวน Crosstalk เกิดจากสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าของสัญญาณที่ใช้ในทางโทรคมนาคมไปรบกวนอีกสัญญาณที่ไหลอยู่ในสายสัญญาณที่ติดกัน สัญญาณ Crosstalk ที่พบบ่อยที่สุดมีด้วยกันอยู่ 2 ชนิดคือ

Near End Crosstalk (NEXT)

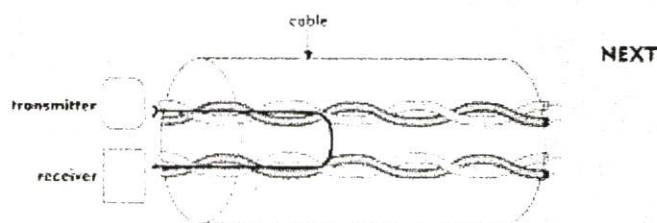
Far End Crosstalk (FEXT)

2.2.1 Near End CrossTalk (NEXT)

เกิดจากสัญญาณที่ภาคส่ง (Near) ไปรบกวนสัญญาณอื่นที่ตัวเองรับได้



รูปที่ 2.2 การเกิด Near End Crosstalk (NEXT)

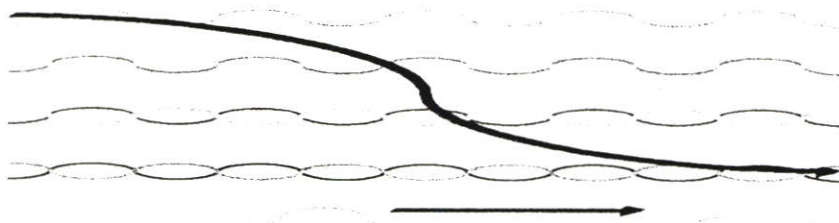


รูปที่ 2.3 การเกิด Near End Crosstalk (NEXT)

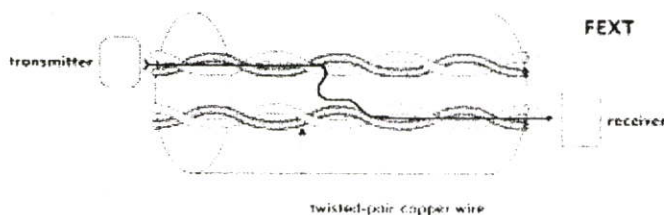
2.2.2 Far End Crosstalk (FEXT)

เกิดจากสัญญาณที่ถูกส่งออกมาตัวเดียวกับในกรณีของ NEXT ไปรบกวนสัญญาณที่กำลังจะถูกส่งออกมาจากภาครับของอีกฝั่ง (Far)

สัญญาณรบกวน NEXT รุนแรงกว่า FEXT เพราะในกรณี FEXT สัญญาณรบกวนเกิดจากสัญญาณที่เดินทางผ่านสายสัญญาณมาพอสมควรแล้ว ซึ่งสัญญาณดังกล่าวได้เกิดการลดทอนไปบนสายสัญญาณเรียบร้อยแล้ว สัญญาณ NEXT ที่เกิดจากการรับส่งสัญญาณผ่านสายเส้นเดียวสามารถหลีกเลี่ยงได้โดยการใช้วิธีส่งสัญญาณแบบ Duplex ซึ่งที่ปลายข้างใดข้างหนึ่ง



รูปที่ 2.4 การเกิด Far End Crosstalk (NEXT)



รูปที่ 2.5 การเกิด Far End Crosstalk (NEXT)

จะไม่ส่งหรือรับสัญญาณที่เวลาเดียวกันและที่ความถี่เดียวกัน แต่ถ้าต้องการจะส่งและรับสัญญาณที่เวลาและแถบความถี่เดียวกัน ในทางปฏิบัติจะมีการใช้อุปกรณ์ Echo Canceller เข้ามาช่วยถ้าต้องการรับส่งข้อมูลที่เวลาและแถบความถี่เดียวกัน

การสะท้อนของสัญญาณมักเกิดจากการใช้อุปกรณ์ Bridged taps โดยสายที่ต่อเพิ่มไม่ได้ถูก Terminate อย่างเหมาะสม สัญญาณจะสะท้อนมาจากสายที่มาต่อเพิ่มกลับไปยังภาคส่งและจะทำให้เกิดร่องลึก (Deep notch) ที่สเปกตรัมของสัญญาณที่ส่งออก การสะท้อนอาจจะเกิดเนื่องจากการใช้สายที่มีขนาด (Gauge) ไม่เท่ากันมาต่อกันเป็นช่องสัญญาณ

สัญญาณวิทยุ RFI (Radio Frequency Interface) สามารถรบกวนระบบ xDSL ได้ง่าย เพราะสายสัญญาณเป็นเพียงสายคู่ตีเกลียวธรรมดาไม่ได้มีการ Shield และสาย Drop Wire ส่วนใหญ่ก็ถูกแขวนอยู่บนเสา ปัญหา RFI ก่อนข้างจะรุนแรงสำหรับกรณีของ ADSL ซึ่งใช้ความถี่ที่ค่อนข้างต่ำ (ไม่เกิน 1.104 MHz) ซึ่งสามารถถูกรบกวนจากสัญญาณวิทยุ Long หรือ Medium wave ได้ง่าย อย่างไรก็ตามปัญหาสัญญาณดังกล่าวถูกทำให้มีความรุนแรงน้อยลงได้ผ่านทางการใช้การมอดูเลตแบบ DMT

2.3 ความเป็นมาของ ADSL

ADSL ย่อมาจากคำว่า “Asymmetric Digital Subscriber Line” ADSL เป็นเทคโนโลยีโมเด็มแบบใหม่ที่สามารถเปลี่ยนแปลงคู่สายโทรศัพท์ที่เป็นแบบสายคู่ตีเกลียวที่มีอยู่เดิม ให้กลายเป็นเส้นทางเข้าถึงมัลติมีเดียและการสื่อสารข้อมูลด้วยความเร็วสูงได้ โดย ADSL สามารถสื่อสารด้วยความเร็วกว่า 6 Mbps ซึ่งอัตราความเร็วดังกล่าวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพความจุของสายโทรศัพท์แบบเดิมได้กว่า 50 เท่า โดยไม่ต้องลงทุนวางสายเคเบิลใหม่ ADSL สามารถแปลงโครงข่ายข้อมูลข่าวสารพื้นฐานที่มีอยู่จากที่เคยจำกัดเพียงการให้บริการด้านเสียง ข้อความ และกราฟิกที่มีรายละเอียดไม่มากนัก ให้กลายเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูง ใช้ได้กับมัลติมีเดีย รวมทั้งการส่งภาพเคลื่อนไหวที่สมบูรณ์แบบไปยังบ้านเรือนต่าง ๆ ในทศวรรษนี้ได้อย่างแพร่หลายทั่วไป ADSL จะก้าวเข้ามามีบทบาทที่สำคัญในอีกสิบกว่าปีข้างหน้า เมื่อบรรดาบริษัทโทรศัพท์ต่าง ๆ พากันเข้าสู่ตลาดใหม่ทางการส่งข่าวสารข้อมูลในรูปของภาพและมัลติมีเดียกันมากขึ้น การวางสายเคเบิลเพื่อรองรับการส่งแบนด์กว้าง (Broadband) ใหม่คงต้องใช้เวลามากกว่าจะได้ลูกค้าตามเป้า ADSL เป็นเทคโนโลยีสื่อสารข้อมูลดิจิทัลความเร็วสูงบนคู่สายทองแดง ออกแบบมาประยุกต์ใช้กับคู่สายโทรศัพท์ การให้บริการของ ADSL ไม่สามารถให้บริการเต็มความสามารถของช่องสัญญาณ(Bandwidth) ที่ขอไป เช่น การใช้งานที่ 128 kbps หากจะใช้งานได้เต็ม 128 kbps บางช่วงเวลาเท่านั้น เพราะ 128 kbps จะถูกแชร์ให้กับผู้ร้องขอของบริการรายอื่นๆ ที่อยู่ละแวกเดียวกัน ซึ่งจะทำให้ต้องแบ่งปันช่องสัญญาณ(Bandwidth) ของการใช้งานออกตามจำนวนของผู้ใช้ แต่ในปัจจุบันได้เริ่มมีปัญหามากมายขึ้น เนื่องจากว่ามีจำนวนของการใช้งานมากอันเนื่องมาจากจำนวนผู้ใช้บริการหรือเกิดจากการแข่งขันในการทำตลาดของผู้ให้บริการเอง ทำให้เกิดสภาวะที่เรียกว่า สภาวะคับคั่ง(Congestion) ตามทฤษฎีของระบบ ADSL นั้นระยะทางจะอยู่ที่ประมาณ 5 กิโลเมตร แต่เชื่อว่าใช้งานได้ที่ 5 กิโลเมตรเสมอไป เนื่องจากทางปฏิบัติ นั้นจะมีอุปสรรคมาลดทอนความเร็ว และระยะทางของระบบลงเมื่อเจอ สัญญาณรบกวน (Noise), คุณภาพของสาย (Line Quality), เส้นผ่าศูนย์กลางของคู่สายทองแดง , ระยะทาง (Distance) อุปสรรคข้างต้นนี้จะทำให้เกิดการลดทอนสัญญาณลง (Loss) เนื่องจากสัญญาณ ADSL นั้นเป็นสัญญาณ ดิจิทัล เมื่อเจออุปสรรคตามที่กล่าวข้างต้น จึงทำให้ความเร็วในการรับส่งข้อมูลแปรผันตามระยะทาง การให้บริการอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง (Broadband) ผ่านระบบ ADSL นั้นมักจะพบในพื้นที่ชุมชนเนื่องจาก

การลงทุนที่สูงเพราะที่ชุมสายต้องติดตั้งอุปกรณ์ DSLAM และเชื่อมต่อกับเครือข่ายความเร็วสูงผ่านระบบ ATM การจัดเตรียมเครือข่ายความเร็วสูงนั้นส่วนใหญ่จะใช้ใยแก้วนำแสง (Fiber optic) เป็นตัวกลางซึ่งเป็นการลงทุนค่อนข้างสูง

ระยะห่างจากชุมสายถึงผู้ใช้บริการมีขีดจำกัดอยู่ที่ 5 กิโลเมตร โดยประมาณ อาจจะต่ำกว่านี้ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมของคู่สาย สำหรับการใช้งาน ADSL ก็คือ สามารถใช้โทรศัพท์ควบคู่ไป

พร้อมๆ กับการใช้อินเทอร์เน็ตได้ ไม่ต้องวิตกว่าอินเทอร์เน็ตจะหลุดหากมีว่าโทรศัพท์เข้ามา เพราะช่วงสัญญาณของโทรศัพท์และสัญญาณของ ADSL นั้นจะแยกคนละส่วนกัน แต่หากว่าจะใช้งานโทรศัพท์ไปพร้อมๆ กัน โดยต้องมีตัวแยกสัญญาณโทรศัพท์เข้ามาช่วย และราคาค่าใช้จ่ายก็ไม่สูง ทำให้ไม่ต้องขอรุ่ยสายโทรศัพท์มาใช้งานสำหรับการใช้งานอินเทอร์เน็ตโดยเฉพาะ มีการทำนายกันว่าตลาดอุปกรณ์ xDSL ของโลกจะเติบโตขึ้น 12 % นับตั้งแต่ปี 2000 ถึง 2007 ตลาดส่วนใหญ่จะเป็นตลาดของ Asymmetric xDSL (83%) ในปี 2000 ผู้นำส่วนแบ่งตลาดอันดับหนึ่งคือ Alcatel 31% ส่วน Lucent, Cisco และ efficient มีส่วนแบ่งรวมกัน 32% ตลาดของอุปกรณ์แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

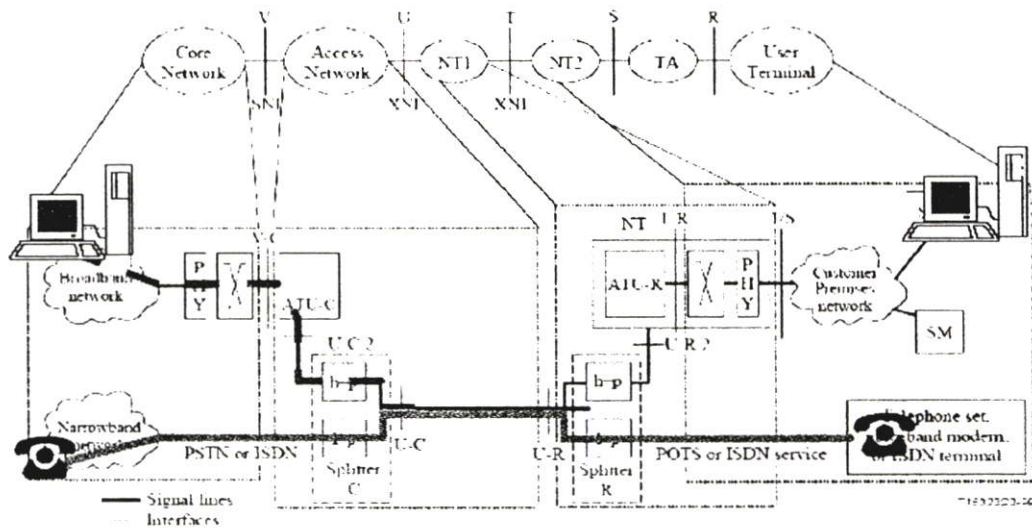
CO Equipment – DSLAM

CP Equipment – DSL Modem, Gateway

2.4 สถาปัตยกรรมของ ADSL (ADSL Architecture)

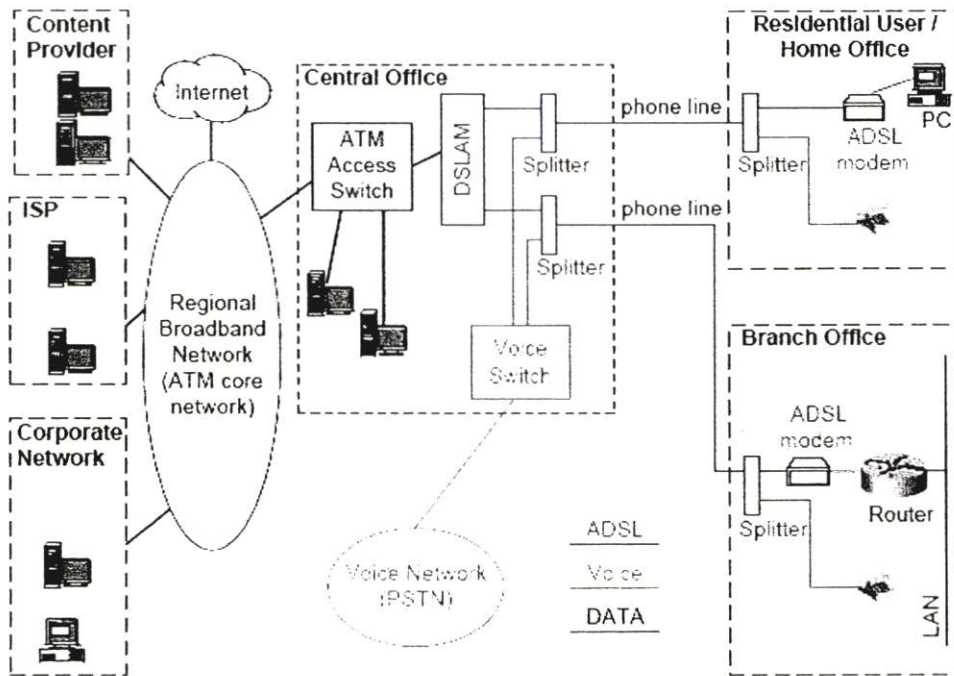
เป็นสถาปัตยกรรมที่ถูกออกแบบมาสำหรับกลุ่มผู้ใช้งานตามบ้านเรือน (Home Use) และธุรกิจขนาดเล็ก เนื่องจากระยะทางไม่สั้นเกินไป และความเร็วเพียงพอต่อการใช้งาน เพราะกลุ่มผู้ใช้นิยมใช้อินเทอร์เน็ตเพื่อเรียกดูข้อมูลเช่นดูเว็บไซต์ ดาวน์โหลดไฟล์มากกว่าการส่งไฟล์ไปให้ผู้อื่นโดยมีความสามารถในการดาวน์โหลดข้อมูลได้สูงสุดกว่า 8 Mbps ในขณะที่การอัพโหลดข้อมูลสูงกว่า 512 kbps โดยสื่อสารผ่านคู่สายโทรศัพท์ช่วงความถี่เหนือเสียงที่มนุษย์ได้ยิน (ตั้งแต่ 20,000 Hz ขึ้นไป) สาเหตุจะต้องมี ADSL ทั้งๆที่เราสามารถใช้ได้ด้วยคู่สายโทรศัพท์เส้นเดิม ทำไมเราไม่ทำบริการให้ใช้ได้กับโมเด็มปัจจุบัน ทั้งนี้ก็เนื่องจากว่า คู่สายโทรศัพท์ที่เราใช้กันอยู่นี้พัฒนาขึ้นมาเพื่อให้คนเราติดต่อสื่อสารขึ้นผ่านสายไฟทองแดง โดยค้นกำเนิดโทรศัพท์ ปัจจุบันอายุก็เกิน 100 ปีขึ้นไปแล้ว โมเด็มที่เราใช้กันอยู่ปัจจุบันก็สร้างขึ้นเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถสื่อสารกันได้ด้วย การรับส่งข้อมูลแบบอนาล็อก แต่ด้วยความต้องการของมนุษย์ที่ต้องการให้ จึงพัฒนาสถาปัตยกรรมแบบใหม่ขึ้นมาสำหรับรับส่งข้อมูลดิจิทัลโดยเฉพาะและไม่มีผลกระทบต่อโครงข่ายโทรศัพท์เดิม

ADSL ไม่ต้องมีการกดหมายเลขโทรศัพท์ ไม่ต้องรอสายโทรศัพท์ว่าง แต่จะทดสอบสัญญาณว่าสามารถสื่อสารกันได้หรือไม่ โดยที่ชุมสายจะมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า DSLAM (DSL Access Multiplexer) ADSL Modem บางตัว จะมีสัญญาณไฟ Sync มาให้ด้วย เพื่อบ่งบอกว่าสามารถติดต่อกับชุมสายโทรศัพท์ได้เรียบร้อยแล้ว โดยหากสัญญาณมีการขาดหายแล้วโมเด็มจะติดต่อกับชุมสายโทรศัพท์ใหม่อัตโนมัติและไม่มีการเสียค่าโทรศัพท์เพิ่มเติม (กล่าวคือจ่ายเพียง



ATU-R (ADSL Transceiver Unit - Remote)
ATU-C or ATU Central office

รูปที่ 2.6 สถาปัตยกรรมของ ADSL

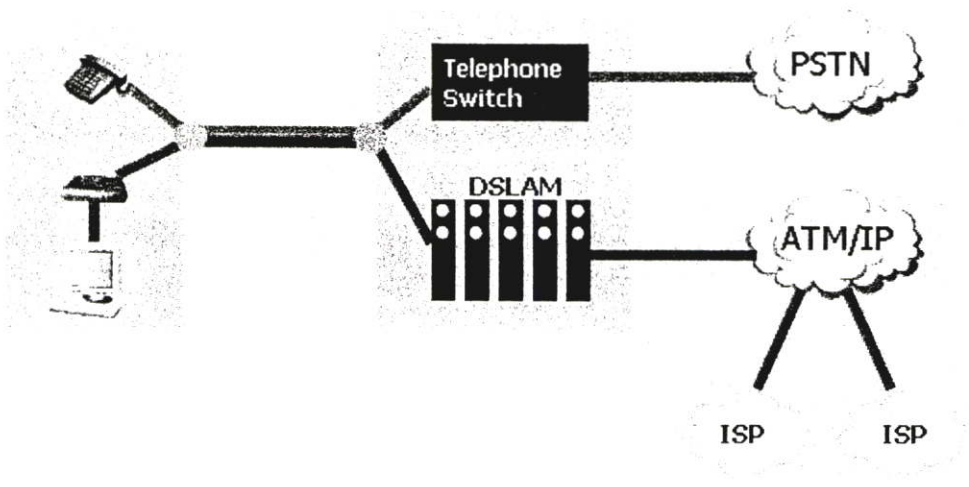


รูปที่ 2.7 สถาปัตยกรรมของ ADSL

ค่าบริการรายเดือน) และภายหลังจาก Sync โมเด็มบางตัวจะส่งข้อมูล Username และ Password เพื่อเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตอัตโนมัติ ทำให้เมื่อเปิดคอมพิวเตอร์จะสามารถใช้อินเทอร์เน็ตได้ทันที คุณสมบัติอย่างหนึ่งที่น่าสนใจคือ ผู้ใช้สามารถคุยโทรศัพท์ระหว่างที่ทำการเชื่อมต่อ

อินเทอร์เน็ตได้ (จากการที่ ADSL ใช้ความถี่เหนือเสียงที่มนุษย์ได้ยิน) แต่ทั้งนี้ จะต้องอาศัย อุปกรณ์ที่ชื่อว่า POTS Splitter (Micro Filter) โดยโมเด็ม (ADSL Modem) บางตัวจะมี POTS Splitter มาให้ด้วย แต่ถ้าไม่มี สามารถหาซื้อได้ที่ร้านอุปกรณ์ทางด้านเน็ตเวิร์ก หรือที่ผู้ให้บริการ โทรศัพท์ มีราคาตั้งแต่สองร้อยบาทขึ้นไปจนถึงพันบาท

หน้าที่ของ POTS Splitter คือการแยกสัญญาณออกจากกันระหว่างสัญญาณความถี่สูง (ADSL) กับสัญญาณความถี่ต่ำ (POTS) ทำให้เราสามารถโทรศัพท์เดิมได้อย่างไม่มีปัญหา อีก ทั้งยังช่วยกรองความถี่ที่เกินช่วง 4000 Hz ออกไปด้วย เพื่อไม่ให้เสียงที่เราพูดผ่านโทรศัพท์ ไป



รูปที่ 2.8 แสดงการแยกสัญญาณระหว่างสัญญาณเสียงและข้อมูล

เกิดเป็นสัญญาณอันไม่พึงประสงค์ (Noise) ของอุปกรณ์ ADSL โดยหาก POTS Splitter มีคุณภาพ ก็จะทำให้คุณภาพสัญญาณไม่ผิดเพี้ยนไปจากเดิม (ไม่มี data lost) ซึ่งการทดสอบคุณภาพของ POTS Splitter นั้นจำเป็นจะต้องมีอุปกรณ์เฉพาะ (POTS Splitter Test System) ซึ่งไม่มีขายทั่วไป ในท้องตลาด แต่ ADSL Modem บางตัว สามารถเช็คสภาพคู่สายโทรศัพท์ได้ จากสัญญาณรบกวน ที่วัดได้ ซึ่งสามารถนำมาใช้วัดประสิทธิภาพของ POTS splitter ได้เช่นกัน แต่การวัด ประสิทธิภาพด้วยวิธีการนี้มีความคลาดเคลื่อนได้ ถ้าหากติดตั้งอุปกรณ์ไม่ดี

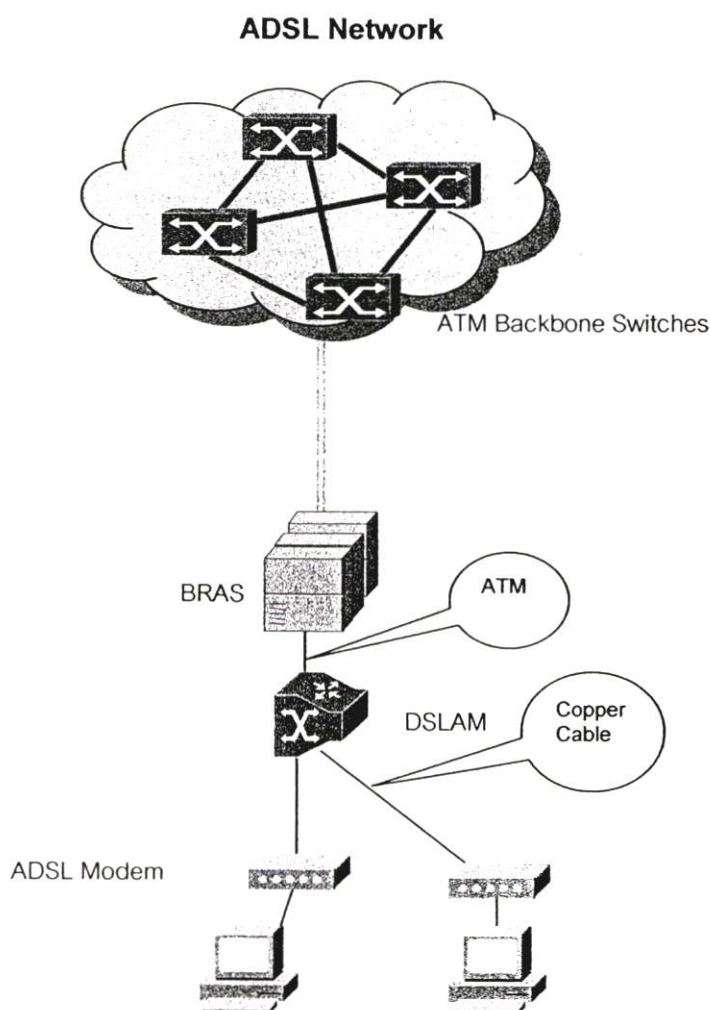
DSLAM เป็นอุปกรณ์ที่มักจะพบที่ CO และ ADSL DSLAM Line cards จะถูกติดตั้งที่ อุปกรณ์ DSLAM เพื่อ Terminate สัญญาณ ADSL โดย DSLAM จะทำหน้าที่รวมเอา ADSL Access line หลายๆ เส้นเข้าด้วยกันเป็นหนึ่ง High speed line ทราฟฟิกที่ถูก MUX แล้วจะถูก เปลี่ยนให้เป็น ATM Cells เพื่อจะส่งไปยัง ATM Backbone

ADSL Modem เป็นอุปกรณ์ที่พบที่ CP เพื่อใช้ในการรับส่งสัญญาณ ADSL ซึ่ง ADSL Modem มีอยู่ 2 ประเภทคือ Internal และ External รวมทั้ง ADSL Gateway จะเป็นอุปกรณ์ที่รวม

เอาหน้าที่ของ Modem และ Router เข้าด้วยกัน สเปกตรัมของ POTS จะเริ่มตั้งแต่ใกล้ DC ไปจนถึง 4 kHz มีแถบความถี่ Guard band คั่นกลางระหว่างสเปกตรัม POTS กับสเปกตรัม ADSL สเปกตรัมของ ADSL เริ่มตั้งแต่ 25.875 kHz จนถึง 1.104 MHz

2.5 โครงข่าย ADSL (ADSL Network)

จากรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่า PC เชื่อมต่อกับ Modem จากนั้น Modem ก็เชื่อมต่อกับ Splitter ซึ่งเป็นตัวแยกสัญญาณโทรศัพท์กับข้อมูล (โดยการกรองความถี่ต่ำออกนั่นก็คือ Voice นั่นเอง) จากนั้นก็เชื่อมต่อไปยัง Service provider (Service provider หมายถึงผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต เช่น ผู้ให้บริการโทรศัพท์และ ISP) เมื่อสายสัญญาณโทรศัพท์เข้ามาที่ชุมสายโทรศัพท์ตัวก็จะผ่านตัว Splitter เพื่อแยกสัญญาณ PSTN เข้าสู่ชุมสายโทรศัพท์ ส่วนสัญญาณข้อมูลจากเข้าสู่อุปกรณ์ DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) เพื่อรวบรวมผู้ใช้งาน (User) แต่ละ



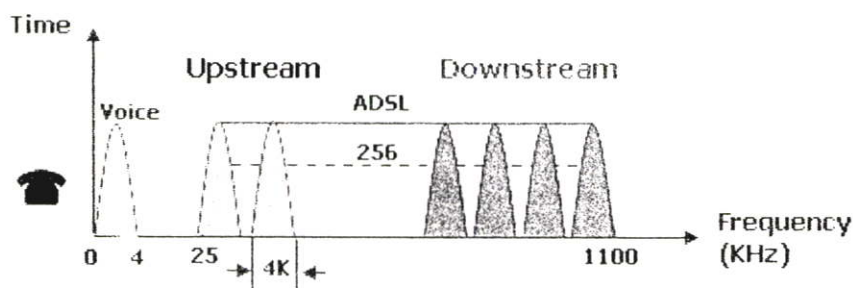
รูปที่ 2.9 โครงข่าย ADSL (ADSL Network)

ผู้ใช้งาน(User) ส่งให้อุปกรณ์ BRAS โดยส่งผ่านระบบ ATM จากนั้น BRAS จะตรวจสอบว่าแต่ผู้ใช้งาน(User) เป็นของ ISP รายใด แล้วจึงส่งข้อมูลให้ ISP รายนั้นต่อไปเพื่อเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตต่อไป

2.6 การทำงานของ ADSL

เนื่องจากว่า สายโทรศัพท์ที่ทำจากลวดทองแดง มีช่องสัญญาณ (Bandwidth) สูงคิดเป็นหลายๆ MHz ดังนั้น จึงมีการแบ่งย่านความถี่นี้ออกเป็นส่วน เพื่อใช้งานโดยวิธีการแบบที่เรียกว่า FDM (Frequency Division Multiplexing) ซึ่งเป็นเทคนิคการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็นหลายๆ ช่อง โดยที่แต่ละช่องสัญญาณจะมีความถี่ที่แตกต่างกัน ดังนั้น จะได้ ช่องสัญญาณ (Bandwidth) ต่างๆ ดังนี้

- ย่านความถี่ขนาดไม่เกิน 4 KHz ปกติจะถูกนำมาใช้เป็นเสียงพูด (Voice) กับ โทรสาร (FAX)
- ย่านความถี่ที่สูงกว่านี้ จะถูกสำรองเอาไว้ให้การรับส่งข้อมูล โดยเฉพาะ ซึ่งจะถูกรับออกเป็นส่วนหลายๆ ย่านความถี่ เช่น ช่องสัญญาณสำหรับการรับข้อมูลแบบ Downstream เช่นการ Download



รูปที่ 2.10 แสดงการแบ่งย่านความถี่ของ ADSL

ข้อมูล ส่วนช่องสัญญาณอื่นมีไว้สำหรับการส่งข้อมูลที่มีความเร็วต่ำกว่า Downstream ซึ่งเรียกว่า Upstream หรือสำหรับการ Upload ข้อมูล เป็นต้น ถ้าฟังการพูดคุยทางโทรศัพท์เราจะใช้ช่องสัญญาณ (Bandwidth) เพียง 3000-4000 เฮิรตซ์ (Hertz) โดยปล่อยให้ ช่องสัญญาณ (Bandwidth) ที่เหลือว่างไว้ไม่ได้ใช้งานอะไร ระบบ ADSL ได้นำช่องสัญญาณ (Bandwidth) ที่เหลือในคู่สายโทรศัพท์นั้นนำมาใช้ในการสื่อสารข้อมูล โดยมีลักษณะการส่งข้อมูลแบบ ดิจิทัล (Digital) อาศัยหลักการ Modulate สัญญาณในการรับส่ง และใช้ความถี่สูงกว่าย่านความถี่เสียงในการรับส่งข้อมูล ดังนั้นการใช้งานระบบ ADSL ควบคู่กับการใช้งานโทรศัพท์ จำเป็นต้องมีอุปกรณ์แยกสัญญาณ เพื่อไม่ให้สัญญาณความถี่สูงไปรบกวนการใช้งานโทรศัพท์ ที่เรียกว่า Splitter เพื่อแยกสัญญาณความถี่สูงและต่ำให้ออกจากกัน การที่จะใช้งาน ADSL ได้นั้น

ชุมสายโทรศัพท์ (Exchange) ต้องติดตั้งอุปกรณ์ DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) เพื่อทำการมัลติเพล็กซ์สัญญาณเมื่อมีผู้ใช้งานหลายคน DSLAM ปรกติแล้วจะติดต่อกับเครือข่ายความเร็วสูง ATM (Asynchronous Transfer Mode)

2.7 ADSL Frequency band

โมเด็มแบบ ADSL มีความสามารถในการจัดสรรช่อง bandwidth ของสัญญาณบนสายโทรศัพท์ได้ 2 วิธี คือ

2.7.1 FDM (Frequency Division Multiplex)

เป็นการกำหนดช่องสัญญาณ สำหรับข้อมูลขาออก (Upstream data) และข้อมูลขาเข้า (Downstream data) ออกจากกัน โดยที่การรับข้อมูลเข้ามาจะใช้เทคนิคการแบ่งสัญญาณออกเป็น 2 ส่วน

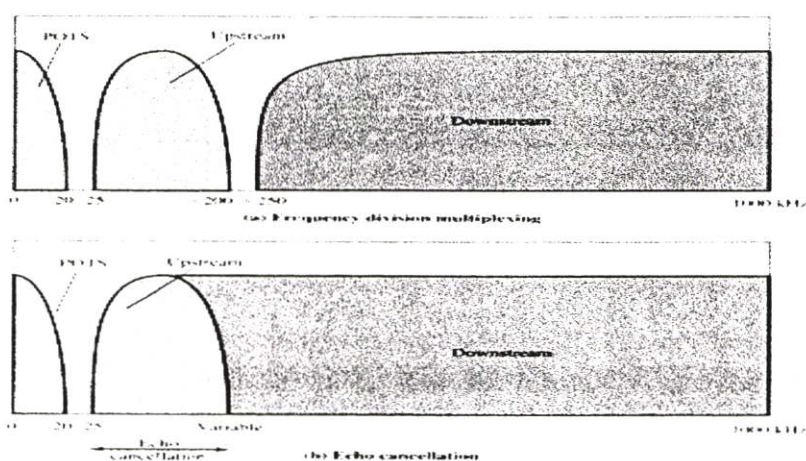
- ส่วนแรก สำหรับช่องสัญญาณความเร็วสูงจะแบ่งโดยใช้เทคนิคการแบ่งช่องสัญญาณแบบช่วงเวลา (Time division multiplexing)

- ส่วนที่สอง เป็นช่องสัญญาณสำหรับการรับข้อมูลความเร็วต่ำส่วนความเร็ว ข้อมูลขาออกนั้น จะใช้เทคนิคการ Multiplex สัญญาณ แบบความเร็วเป็นหลัก

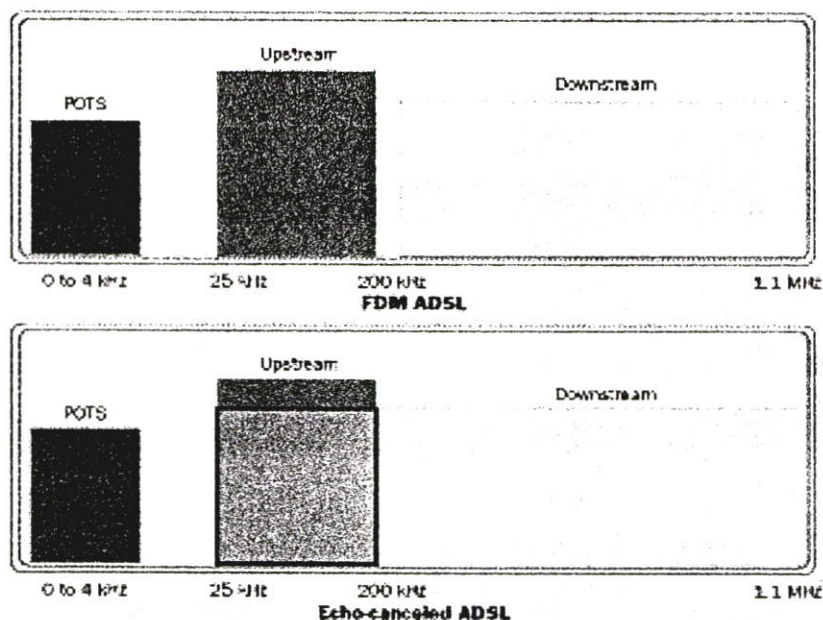
วิธีการจัดเรียงสเปกตรัมของภาค Upstream และ Downstream จะใช้แถบความถี่แยกกัน โดย

- ภาค Upstream จะเริ่มตั้งแต่ความถี่ 25 จนถึง 200 kHz
- ภาค Downstream จะเริ่มตั้งแต่ความถี่ 200 kHz จนถึง 1.104 MHz
- มี Guard band คั่นระหว่างทั้ง 2 ภาค

2.7.2 Echo-cancellation



รูปที่ 2.11 เปรียบเทียบระหว่าง Frequency Division Multiplex และ Echo-cancellation



รูปที่ 2.12 เปรียบเทียบการจัดเรียงสเปกตรัมระหว่าง Frequency Division Multiplex และ Echo cancellation

Echo-cancellation มีการใช้ Echo Canceller เพื่อยอมให้สเปกตรัมของภาค Downstream ซ้อนทับภาค Upstream แล้วแยกสัญญาณ ออกจากกัน โดยการใช้เทคนิค Local echo cancellation ส่งผลให้แบนด์วิดท์ของภาค Downstream เพิ่มขึ้น ซึ่งวิธีการนี้ใช้กันอย่างแพร่หลายใน modem ประเภท v.32 และ v.34

2.8 ADSL Bit rates

อัตราข้อมูล (Bit rates) หรือแบนด์วิดท์ของ ADSL สำหรับภาค Upstream และ Downstream จะมีค่าไม่เท่ากัน (Asymmetric) โดยอัตราข้อมูลสูงสุดของ ADSL คือ

- ภาค Downstream 9 Mbps
- ภาค Upstream 1 Mbps

Bit rates ของ ADSL มีลักษณะ Asymmetric เพื่อตอบสนองต่อคุณสมบัติการรับส่งข้อมูลบนโครงข่ายอินเทอร์เน็ต ในทางปฏิบัติ อัตราข้อมูลมักจะใช้ค่าสูงสุดเพราะ Bit rate ของ ADSL จะขึ้นอยู่กับค่าตัวแปรต่างๆ ต่อไปนี้

- ความยาวของสายทองแดง
- ขนาดของสายทองแดงหรือ Wire Gauge (AWG)
- มี Bridged tap ต่อพ่วงอยู่หรือไม่
- สัญญาณรบกวน Crosstalk

2.9 Modulation Technique

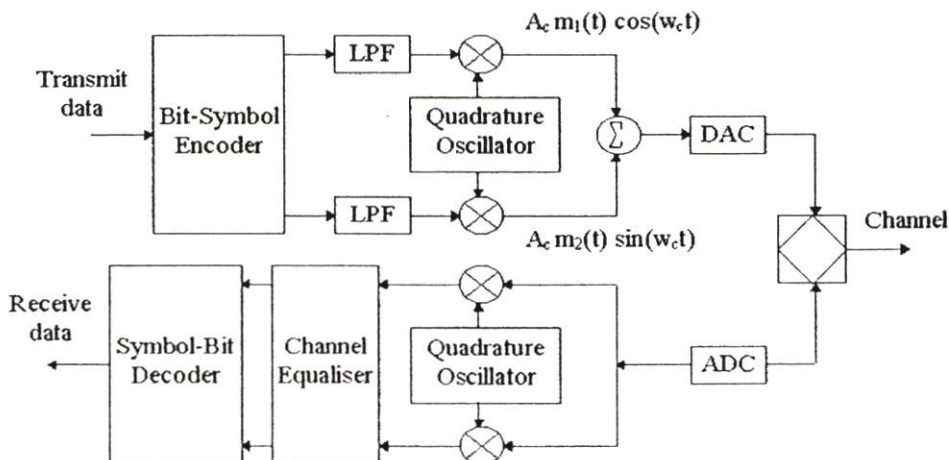
การที่ ADSL สามารถส่งข้อมูลพร้อมกับการใช้งานโทรศัพท์ได้นั้น เนื่องจาก ADSL ใช้เทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณ (Modulation) บนย่านความถี่ที่สูงกว่าการใช้งานโทรศัพท์ โดยทั่วไปซึ่งปกติการใช้งานโทรศัพท์จะใช้ย่านความถี่ที่ 0-4 KHz และการใช้งาน 56KHz Analog โมเด็ม ก็ทำการเข้ารหัสสัญญาณ บนย่านความถี่นี้เช่นกัน ซึ่งเป็นย่านเดียวกับการใช้งานโทรศัพท์ ทำให้เมื่อใช้งานโมเด็มจะไม่สามารถใช้โทรศัพท์ได้ ในขณะที่ ADSL จะเข้ารหัสสัญญาณที่ความถี่ที่สูงกว่า 4 KHz ขึ้นไป ก็คือตั้งแต่ 30 KHz ไปจนถึง 1.1 MHz โดย ADSL มีเทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณ 2 วิธี คือ CAP และ DMT ซึ่งด้วยเทคนิคนี้เอง ทำให้การรับ-ส่งข้อมูลด้วย ADSL จึงสามารถใช้โทรศัพท์ได้เป็นปกติ โดยไม่รบกวนกันแต่อย่างใด โดยมีอุปกรณ์ Pots Splitter ที่ช่วยในการแยกย่านความถี่ของข้อมูลและ ความถี่ในการใช้โทรศัพท์ออกจากกัน

การที่จะทำให้การส่งผ่านข้อมูลด้วยอัตราเร็วระดับ Mbps บนสายโทรศัพท์ธรรมดาจะต้องมีการพัฒนาเทคนิคการมอดูเลตให้สามารถใช้ Information capacity ของช่องสัญญาณได้เต็มที่มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้เทคนิคในการมอดูเลตที่นำมาใช้ใน ADSL มีสามแบบคือ

- Quadrature Amplitude Modulation(QAM)
- Carrierless Amplitude Phase (CAP)
- Discrete MultiTone (DMT)

2.9.1 QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

สัญญาณพาหะ(Carrier) จะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งแอมพลิจูดและเฟสไปพร้อมๆกัน นั้นหมายความว่าเราสามารถส่งสัญญาณได้มากกว่า 1 บิตที่ทุกๆ การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณพาหะ

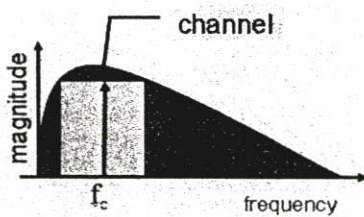
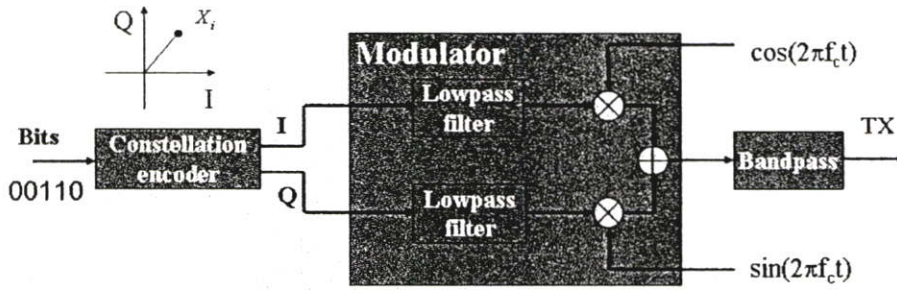


รูปที่ 2.13 Block diagram for ADSL QAM transceiver

ตัวอย่างเช่น หากต้องการให้มีการส่งสัญญาณ 3 บิตต่อหนึ่งครั้ง การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ เราสามารถกำหนดง่าย ๆ ได้ว่ามีการให้มีขนาดแอมพลิจูดที่เป็นไปได้ 2 ค่าคือ 1 และ 2 โวลต์ ส่วนเฟสจะมีการเปลี่ยนแปลงได้ 4 เฟสได้ 4 เฟสคือ $0, \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}$ และ $\frac{3\pi}{4}$

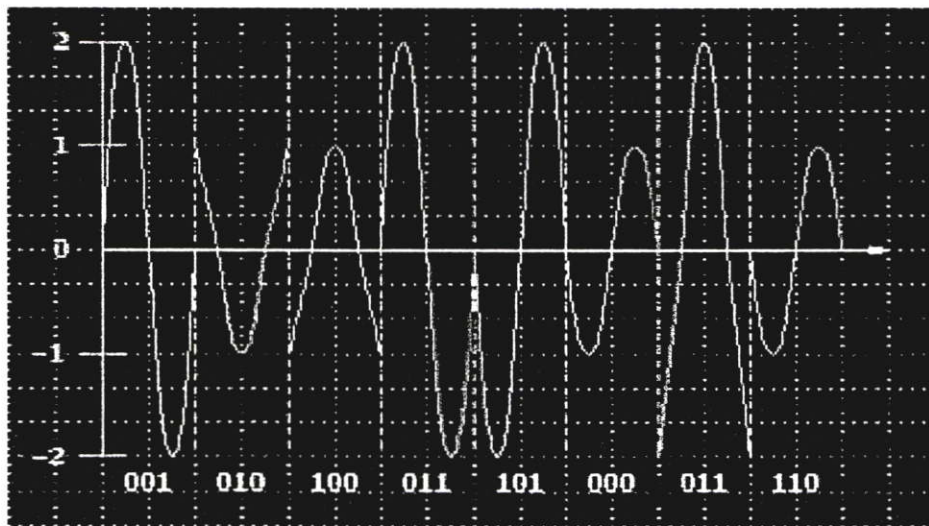
ข้อดีของการมอดูเลตแบบ QAM ที่ได้เปรียบวิธีที่เหลือคือมีความซับซ้อนในการนำไปใช้

Quadrature Amplitude Modulation (QAM)



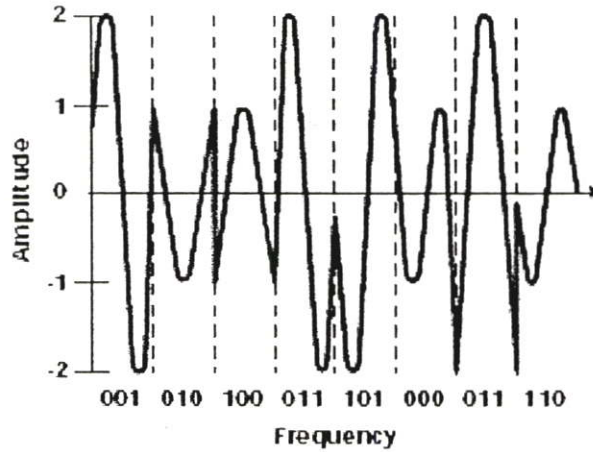
- One carrier
- Single signal, occupying the whole available bandwidth
- The symbol rate is the bandwidth of the signal being centered on carrier frequency

รูปที่ 2.14 หลักการเบื้องต้นของ Quadrature Amplitude Modulation (QAM)



รูปที่ 2.15 QAM Encoding

น้อย อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการใช้แบนด์วิดท์และความทนทานต่อสัญญาณรบกวนของ QAM ยังดีน้อยกว่าสองวิธีที่เหลือไม่ใช่อุปสรรคในการผลิตชิปที่ทำหน้าที่ในการมอดูเลตอีกต่อไป วิธี QAM จึงไม่ได้รับความนิยมนักอีกต่อไป



รูปที่ 2.16 Example QAM Encoding

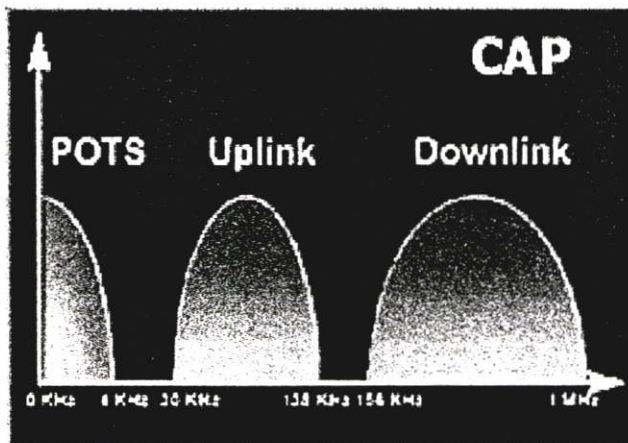
ตารางที่ 2.1 QAM Encoding

Bit Value	Amplitude	Phase Shift
000	1	None
001	2	None
010	1	1/4
011	2	1/4
100	1	1/2
101	2	1/2
110	1	3/4
111	2	3/4

2.9.2 CAP (Carrier less Amplitude Phase)

CAP เป็นเทคนิคในการมอดูเลตที่ค่อนข้างคล้ายคลึงกับ QAM ในแง่ของคณิตศาสตร์แต่ CAP จะไม่ส่งสัญญาณพาหะออกไปด้วย (ซึ่งเป็นที่มาของชื่อ Carrierless) CAP เหมาะสมมากกว่า QAM สำหรับการนำไปใช้ในเชิงดิจิทัล สัญญาณ Orthogonal ถูกนำมา Modulate แบบดิจิทัลโดยใช้อุปกรณ์ Digital transversal band pass filter 2 ตัว สัญญาณทั้ง 2 จะมีขนาดแอมพลิจูดเท่ากันแต่มีเฟสต่างกัน $\frac{\pi}{2}$ (Hilbert Pair) สัญญาณทั้ง 2 จะถูกนำมารวมกันก่อนจะถูกส่งเข้ายังอุปกรณ์ DAC เพื่อทำการส่งออกไปข้อดีของ CAP ก็คือไม่ก่อให้เกิดสัญญาณ Crosstalk มากนัก และใช้การประมวลผลด้าน Digital Signal Processing ไม่หนักมาก อย่างไรก็ตาม CAP มีประสิทธิภาพในการใช้แบนด์วิดท์ดีน้อยกว่าวิธีมอดูเลตแบบ DMT และ CAP ยังถูกรบกวนจาก

สัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI-Electromagnetic Interference) เช่น สัญญาณรบกวนวิทยุได้ง่ายกว่า DMT



รูปที่ 2.17 CAP (Carrier less Amplitude Phase)

CAP เป็นเทคนิคที่ถูกพัฒนาขึ้นมาในช่วงแรกๆ ซึ่งจะแบ่งย่านความถี่ออกเป็น 3 ช่วงกว้างๆ คือ Uplink, Downlink และ Pots (ย่านความถี่โทรศัพท์) ในขณะที่ DMT จะมีการแบ่งแต่ละช่วงความถี่ ออกเป็นช่วงเล็กๆ อีกโดยเรียกว่า Bin ซึ่งแต่ละbinจะถูกแบ่งออกเป็น Bin ละ 4 KHz ซึ่งเทคนิคนี้จะมีคุณสมบัติพิเศษคือ มันจะสามารถเลือกย่านความถี่ที่เหมาะสม กับสภาพแวดล้อมและคุณภาพสายในขณะนั้นได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งปัจจุบันนี้ เทคโนโลยีนี้ ถือเป็นเทคโนโลยีมาตรฐานในการเข้ารหัสสัญญาณของ ADSL

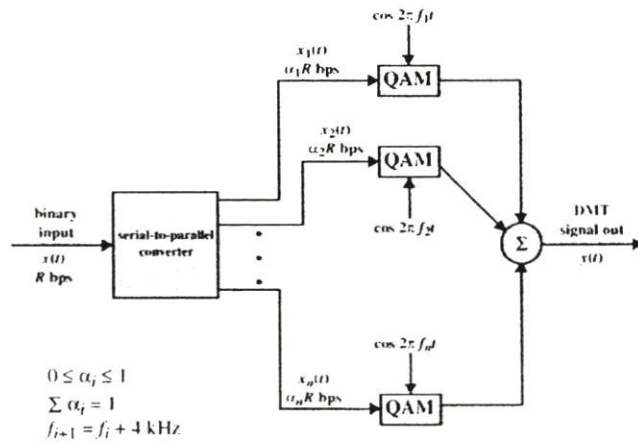
2.9.3 DMT (Discrete Multi Tone)

DMT เป็นวิธีมอดูเลตแบบ Multi Carrier Modulation (MCM) ซึ่งจะอาศัยการแบ่งสัญญาณ Narrow band หลายๆ ตัว (Multi Carrier) แล้วจึงใช้สัญญาณพาหะหลายๆตัวในการมอดูเลตสัญญาณ QAM/CAP เป็นแบบ Single Carrier Modulation (SCM) ซึ่งจะใช้คลื่นพาหะตัวเดียวในการมอดูเลตสัญญาณข้อมูล Wideband

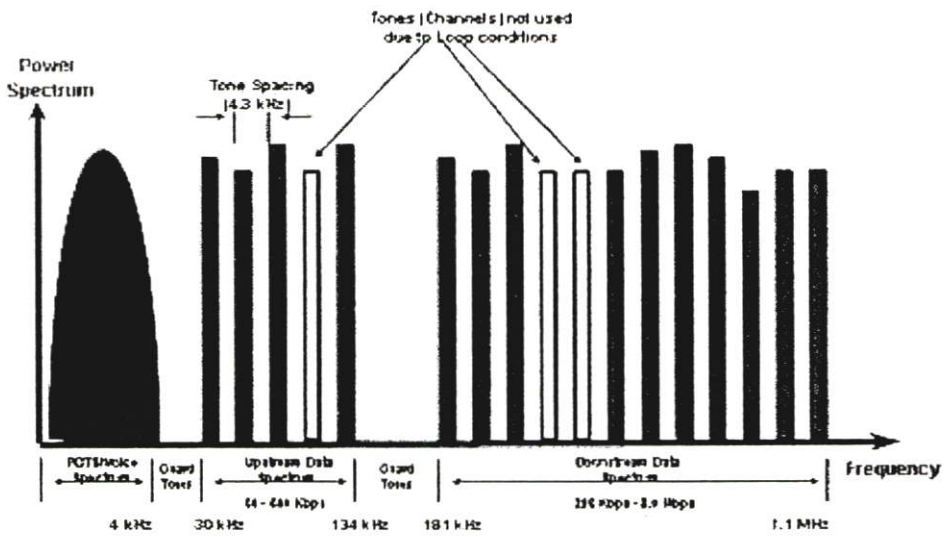
การมอดูเลตแบบ DMT จะมีการแบ่งแบนด์วิดท์ที่ใช้ในการส่งข้อมูล ADSL ออกเป็น 256 ช่องสัญญาณย่อยหรือโทนที่มีลักษณะ Orthogonal กัน โดยเริ่มตั้งแต่ 25 KHz จนถึง 1.1 MHz แต่ละช่องสัญญาณย่อยจะมีแบนด์วิดท์ 4.3125 kHz ภาค Upstream ที่เริ่มตั้งแต่ 26-138 kHz จะสามารถแบ่งออกได้ 25 ช่อง หลักการคร่าวๆ ของ DMT คือ

- วัดค่า SNR ของแต่ละช่องสัญญาณย่อย
- หลังจากนั้นจะมีการจัดสรรจำนวนบิตที่แต่ละช่องสัญญาณจะส่งได้โดยคำนึงถึงคุณภาพ (ค่า SNR) ของช่องสัญญาณนั้นเป็นหลัก โดย DMT จะส่งข้อมูล ไปกับช่องสัญญาณย่อยที่มีค่า

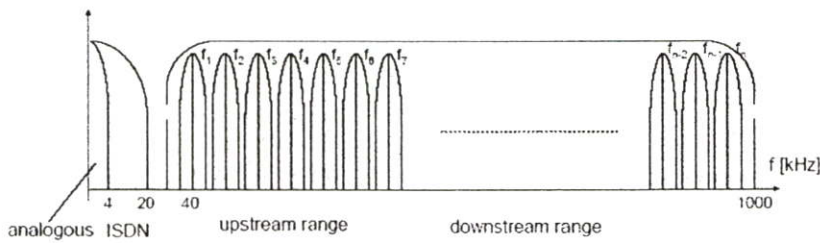
DMT Transmitter



รูปที่ 2.18 DMT Transmitter



รูปที่ 2.19 สเปกตรัมของการเข้ารหัสแบบ DMT



รูปที่ 2.20 Discrete Multitone

SNR คือและหลักเบื้องช่องสัญญาณที่สัญญาณรบกวนมากหรือมีการลดทอนมาก

- แต่ละช่องสัญญาณย่อยจะใช้วิธีการมอดูเลตแบบ QAM กับ Sub carrier ของแต่ละช่อง

$$\text{Channel capacity } C = B \log_2 (1 + \text{SNR}) \quad \text{b/s} \quad (2.1)$$

B คือ Bandwidth ของช่องสัญญาณ

เราสามารถส่งข้อมูล ไปบนช่องสัญญาณ AWGN ที่มีแบนด์วิดท์ B ได้สูงสุดคือ C bps โดยมีความน่าจะเป็นความผิดพลาดของข้อมูลต่ำมาก สมการข้างต้นสามารถเขียนได้ใหม่ว่า

$$C = \frac{1}{2} \log_2 (1 + \text{SNR}) \quad \text{b/channel} \quad (2.2)$$

ในทางปฏิบัติ แม้ว่าเราจะใช้ระบบการเข้ารหัสที่ซับซ้อนขนาดไหนเราก็เพียงแต่สามารถส่งข้อมูลด้วยอัตราข้อมูลสูงสุด R ได้เกือบเท่า C เท่านั้น

$$R = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{\text{SNR}}{\Gamma} \right) \quad \text{b/channel} \quad (2.3)$$

$$\Gamma = \frac{\text{SNR}}{2^{2R} - 1} \quad (2.4)$$

Γ แทนค่า SNR gap ซึ่งเป็นค่าที่ใช้เป็นตัววัดประสิทธิภาพของการส่งข้อมูลในทางปฏิบัติจริงๆ ที่มีการนำการเข้ารหัสมาช่วยเทียบกับการส่งข้อมูลในอุดมคติ

ถ้ากำหนดให้ P แทนกำลังของสัญญาณที่ใช้ในการส่งและ σ^2 เป็นค่า Variance ของสัญญาณรบกวน WGN ในช่องสัญญาณที่วัดที่แบนด์วิดท์ B เราจะได้ค่า SNR ดังนี้

$$\text{SNR} = \frac{P}{\sigma^2} \quad (2.5)$$

$$R = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{P}{\Gamma \sigma^2} \right) \quad \text{b/channel} \quad (2.6)$$

ในการวิเคราะห์ระบบ Multichannel transmission ซึ่งแต่ละช่องสัญญาณย่อยจะมีค่า SNR แยกกัน เราสามารถคำนวณค่าความจุของทั้งระบบ (รวมทุกช่องสัญญาณย่อย) ได้ดังนี้

$$R = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N R_n \quad (2.7)$$

$$= \frac{1}{2N} \sum_{n=1}^N \log_2 \left[1 + \frac{P_n}{\Gamma \sigma_n^2} \right] \quad (2.8)$$

$$= \frac{1}{2N} \log_2 \prod_{n=1}^N \left[1 + \frac{P_n}{\Gamma \sigma_n^2} \right] \quad (2.9)$$

$$= \frac{1}{2} \log_2 \left[\prod_{n=1}^N \left[1 + \frac{P_n}{\Gamma \sigma_n^2} \right] \right]^{\frac{1}{N}} \quad (2.10)$$

สมมุติให้ $(SNR)_{\text{overall}}$ แทนค่า SNR ของทั้งระบบ ดังนั้น สามารถแสดงค่า R ที่มีหน่วยเป็นบิตต่อช่องสัญญาณใหญ่ (รวมเอาช่องสัญญาณย่อยๆ เข้าด้วยกัน) ได้ดังนี้

$$R = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{(SNR)_{\text{overall}}}{\Gamma} \right) \text{ b/channel} \quad (2.11)$$

ถ้าสมมุติให้ มีค่าใหญ่เพียงพอเราจะสามารถประมาณ $(SNR)_{\text{overall}}$ ได้ดังนี้

$$(SNR)_{\text{overall}} = \prod_{n=1}^N \left[\frac{P_n}{\sigma_n^2} \right]^{\frac{1}{N}} \quad (2.12)$$

จะเห็นว่าค่า $(SNR)_{\text{overall}}$ เป็นค่าเฉลี่ย (Geometric mean) ของค่า SNR ของแต่ละช่องสัญญาณย่อย ค่า $(SNR)_{\text{overall}}$ จะสามารถปรับปรุงได้โดยการกระจายกำลังงานที่ใช้ในการส่งไปบนช่องสัญญาณย่อยจำนวน N ช่องแบบ Nonuniform กระบวนการดังกล่าวจะเรียกว่า Loading

กำหนดให้
$$g_n = |H(f_n)|, n=1,2,\dots,N \quad (2.13)$$

เป็นขนาดของผลตอบสนองเชิงความถี่ของสายสัญญาณ ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามความถี่ต่างๆ สมมุติให้ g_n มีค่าคงที่ตลอดช่วงความถี่ Δf

$$R = \frac{1}{2N} \sum_{n=1}^N \log_2 \left[1 + \frac{g_n^2 P_n}{\Gamma \sigma_n^2} \right] \quad (2.14)$$

เราสามารถหาค่าอัตราข้อมูล R ที่ดีที่สุดได้ผ่านการจัดสรรกำลังงานที่ใช้ในการส่งไปที่แต่ละช่องสัญญาณย่อยต่างๆ ได้

2.10 Constrained Optimization

ในการที่จะเพิ่มอัตราข้อมูล R สำหรับระบบ Multichannel transmission ให้มีค่าสูงสุดได้นั้น จะต้องมีการจัดสรรกำลังงานที่ใช้ในการส่ง P ให้กระจายไปยังช่องสัญญาณย่อยจำนวน N ช่อง โดยมีเงื่อนไขว่าค่า P ต้องมีค่าคงที่หรือ

$$\sum_{n=1}^N P_n = P = \text{constant} \quad (2.15)$$

ใช้วิธี Lagrange multipliers เข้ามาช่วย ซึ่งในท้ายที่สุดเราจะได้คำตอบของปัญหา Constrained Optimization ออกมาดังนี้

$$P_n + \frac{\Gamma \sigma_n^2}{g_n^2} = K, n = 1, 2, \dots, N \quad (2.16)$$

$$\text{และ} \quad \sum_{n=1}^N P_n = P = \text{constant} \quad (2.17)$$

ค่า K จะเป็นค่าคงที่ที่ถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้ในการออกแบบระบบทั้งสอปเงื่อนไขจะถูกใช้ในการแก้ปัญหาคงที่ Constrained Optimization

2.11 Water-filling solution

เปรียบเทียบการ Loading ให้เหมือนกับการเติมน้ำ (กำลังงานที่ใช้ส่ง) ลงไปในภาชนะที่มีหลุมลึกอยู่ 6 หลุม แต่ละหลุมก็มีความลึกไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับกำลังงานของสัญญาณรบกวน น้ำที่เทลงไปจะต้องรักษาระดับบนสุดให้คงที่ทุกหลุม ถ้าหลุมใดตื้นก็จะเติมปริมาณน้ำน้อย และถ้าหลุมใดมีสูงทะลุขึ้นมาเหนือระดับน้ำ (มีสัญญาณรบกวนจำนวนมาก) น้ำจะไม่ไหลลงหลุมนั้นๆ และถ้าหลุมมีความลึกมาก (มีสัญญาณรบกวนน้อยมาก) น้ำจะไหลลงไปมาก หรือกำลังงานจะถูกกระจายไปที่หลุมนี้มาก

2.12 ข้อเปรียบเทียบระหว่าง CAP และ DMT

- ที่อัตราข้อมูลเท่ากัน CAP ต้องใช้กำลังไฟในการมอดูเลตมากกว่า
- DMT เหมาะสมกับการสื่อสารผ่านอินเทอร์เน็ต
- DMT มีความสามารถในเรื่องของ Rate adaptive ดีกว่า
- DMT มีอัตราข้อมูลสูงกว่าและมีระยะทางในการให้บริการยาวกว่า

- DMT เป็นมาตรฐานระดับนานาชาติซึ่งผู้ผลิตแต่ CAP ยังคงเป็นเทคโนโลยีแบบ Proprietary
- DMT มีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า CAP

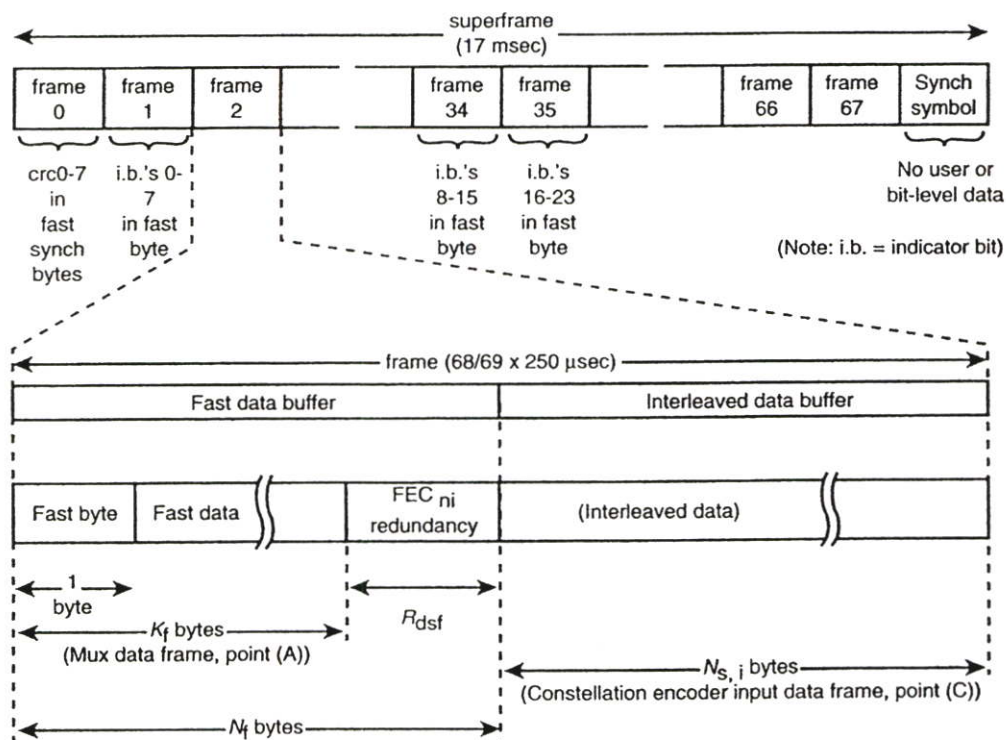
2.13 ADSL Super Frame

ข้อมูลภาค Downstream จะถูกส่งออกเป็นเฟรม Super Frame ขนาด 17 msec

Super Frame ประกอบด้วย 68 Data frames + 1 Synch frame

Data Frame มีสองส่วนคือ Fast Data และ Interleave โดยแต่ละส่วนจะมาจากเส้นทาง Fast และ Interleave ตามลำดับ

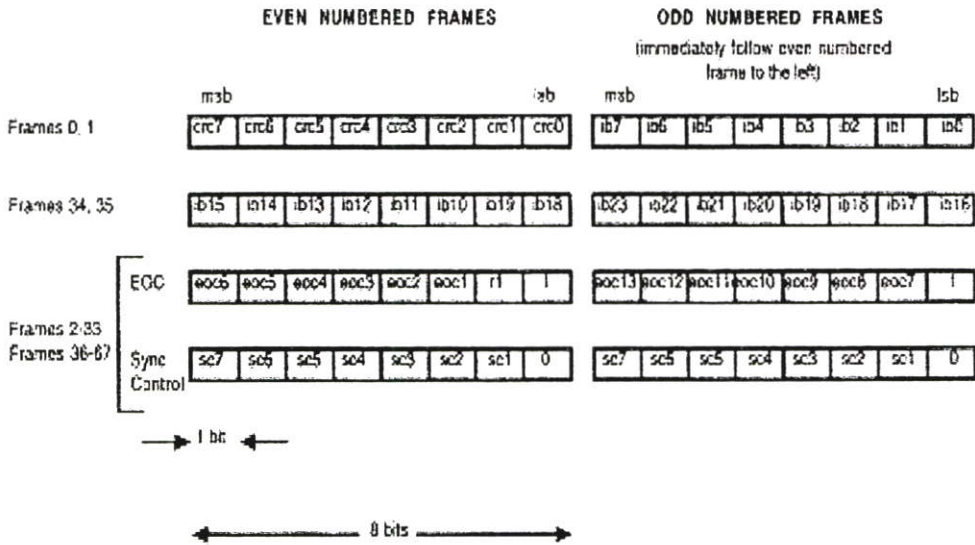
Synch Frame จะถูกใช้เมื่อเฟรมเกิดการสูญหายเนื่องจากเกิดเหตุผิดปกติกับสายสัญญาณช่วงเวลาสั้นๆ



รูปที่ 2.21 ADSL Super frame

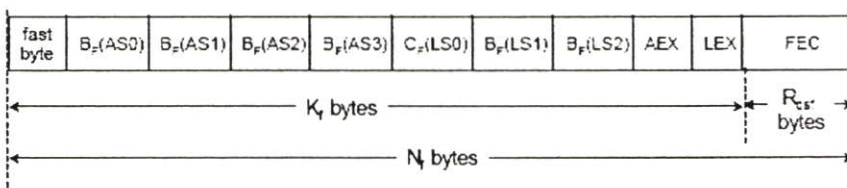
เฟรม 0 ใน Super frame จะมีหน้าที่ CRC คอยตรวจสอบความผิดพลาดของ Fast data buffer (crc0-7) Indicator bit (ib0-23) จะถูกกำหนดเพื่อใช้หน้าที่ OAM Data Frame ทั้ง 68 เฟรมจะมีความยาวของเฟรมตามที่ได้ มีการประมวลผลในขั้นตอน Rate negotiations บิต 0 ของ Fast byte ที่เป็นเฟรมเลขคู่ (ยกเว้นเฟรม 0 และ 34) และบิต 0 ของ Fast byte ที่เป็นเฟรมเลขคี่ จะถูก

กำหนดให้เป็น 0 เพื่อระบุว่าเฟรมเหล่านี้มีข่าวสารการควบคุมการ Synchronize(Synch Control) จะถูกกำหนดให้เป็น 1 เฟรมดังกล่าวเป็นเฟรมที่มีข้อมูล EOC (Embedded Operation Channel) จะถูกกำหนดให้เป็น 1 เฟรมดังกล่าวเป็นเฟรมที่มีข้อมูล EOC (Embedded Operation Channel) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ ATC-C ใช้ในการสั่งให้ ATU-R ทำตามคำสั่ง



รูปที่ 2.22 Fast byte

2.14 Fast data buffer ATU-C transmitter



AEX = 0 if the simplex streams (ASx) have no data

LEX = 0 if both the simplex (ASx) and duplex (LSx) streams have no data

รูปที่ 2.23 Fast data buffer ATU-C transmitter

$$N_F = K_F + R_F \tag{2.18}$$

R_F = number of FEC redundancy bytes per RS codeword

$$K_F = 1 + B_F + A_F + L_F \tag{2.19}$$

$$B_F = \sum_{x=0}^3 B_F(AS_x) + C_F(LS_0) + \sum_{x=1}^2 B_F(LS_x) \tag{2.20}$$

$$C_F(LSO) = 0$$

$$\text{if } B_I(LSO) = 255(\text{binary } 11111111) \quad (2.21)$$

$$= B_F(LSO) \quad \text{otherwise} \quad (2.22)$$

$$A_F = 0 \quad (2.23)$$

$$\text{if } B_F(ASx) = 0 \text{ for } x = 0 - 3 \quad (2.24)$$

$$L_F = 0 \quad (2.25)$$

$$\text{if } B_F(ASx) = 0 \text{ for } x = 0 - 3 \text{ and} \quad (2.26)$$

$$B_F(LSx) = 0 \text{ for } x = 0 - 2$$

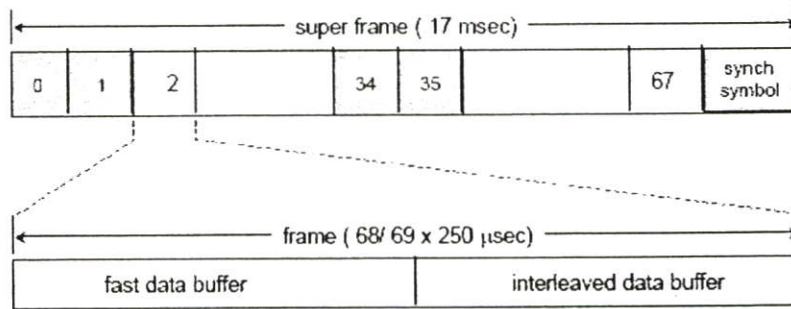
$$= 1 \text{ otherwise (including } B_F(LSO) = 255) \quad (2.27)$$

2.15 Interleaved data buffer –ATU-C transmitter

$$N_I = (SxK_I + R_I) / S \quad (2.28)$$

$$R_I = \text{number of FEC redundancy bytes per RS codeword} \quad (2.29)$$

$$S = \text{number of DMT symbols per RS codeword} \quad (2.30)$$



รูปที่ 2.24 ATU-C Super frame

$$K_I = 1 + B_I + A_I + L_I \quad (2.31)$$

$$B_I = \sum_{N=0}^3 B_I(ASx) + C_I(LSO) + \sum_{N=0}^2 B_I(LSx) \quad (2.32)$$

$$C_F(LSO) = 0 \text{ if } B_I(LSO) = 255(\text{binary } 11111111) \quad (2.33)$$

$$= B_I(LSO) \quad \text{otherwise} \quad (2.34)$$

$$A_I = 0 \text{ if } B_I(ASx) = 0 \text{ for } x = 0 - 3$$

$$= 1 \text{ otherwise} \quad (2.35)$$

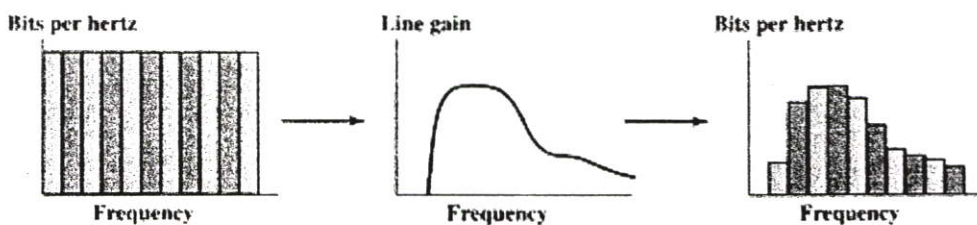
$$L_l = 0 \text{ if } B_l(ASx) = 0 \text{ for } x = 0-3 \quad (2.36)$$

$$\text{and } B_l(LSx) = 0 \text{ for } x = 0-2 \\ = 1 \text{ otherwise (including } B_l(LSO) = 255) \quad (2.37)$$

สัญญาณในเชิงเวลาของ DMT นั้นจะมีค่า Peak-to-average สูงมากจนอาจจะถูกขลิบออกโดยอุปกรณ์ DAC ทำให้เกิดการผิดพลาดขึ้น เปรียบได้ว่าเป็นสัญญาณ Impulse ที่มีค่าเป็นลบมาหักล้างกับสัญญาณเดิมในช่วงเวลาที่สัญญาณถูกขลิบออกกำลังงานของสัญญาณ Impulse นี้เมื่อมองในเชิงความถี่จะถูกแผ่ออกไปตลอดทุกโทนที่เป็นของสัญญาณที่ถูกขลิบ

2.16 Tone ordering

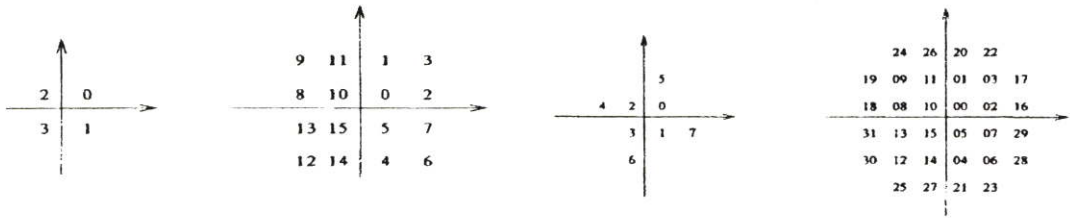
ในช่วงขั้นตอนการทำ Initialize ตัว ATU-R จะทำการคำนวณออกมาว่าที่แต่ละช่วงสัญญาณย่อยจะส่งข้อมูลได้กี่บิตรวมทั้งค่า Gain ที่จะนำมาใช้ที่แต่ละช่องสัญญาณ แล้วส่งกลับไปให้ ATU-C ค่าจำนวนบิตและค่า Gain สำหรับช่องสัญญาณแต่ละโทนจะถูกนำมาเรียงตามลำดับจำนวนบิตที่ใช้เป็นตาราง Bit Allocation Table ขึ้นแรกทุกบิตจาก Fast Buffer (เช่น $8 \cdot NF$ บิต) จะถูกกำหนดให้ลงไปโทนที่มีจำนวนบิตน้อยที่สุด แล้วค่อยกำหนดให้บิตต่างๆจาก Interleaved buffer ให้ลงไปโทนที่เหลือจะเห็นได้ว่าบิตจาก Fast buffer จะถูกส่งไปยังโทนที่รับผิดชอบจำนวนบิตน้อยๆเพื่อจะได้ค่า Latency ที่ต่ำ



รูปที่ 2.25 Tone ordering

2.17 Constellation encoding

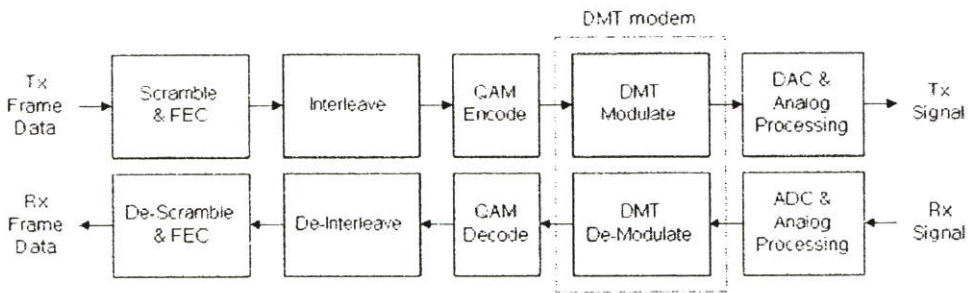
ในการเขียนผัง Constellation สำหรับจำนวนบิต b เป็นเลขคู่ เราจะยึดผังที่ถ้าจำนวนบิต $b = 2$ สำหรับเลขคู่และ $b = 3$ สำหรับเลขคี่เป็นหลัก แล้วจะอาศัยการขยายแต่ละ Quadrant ออกไปเรื่อยๆ โดยการแทนแต่ละ Label n ด้วยเมตริกซ์ 2×2



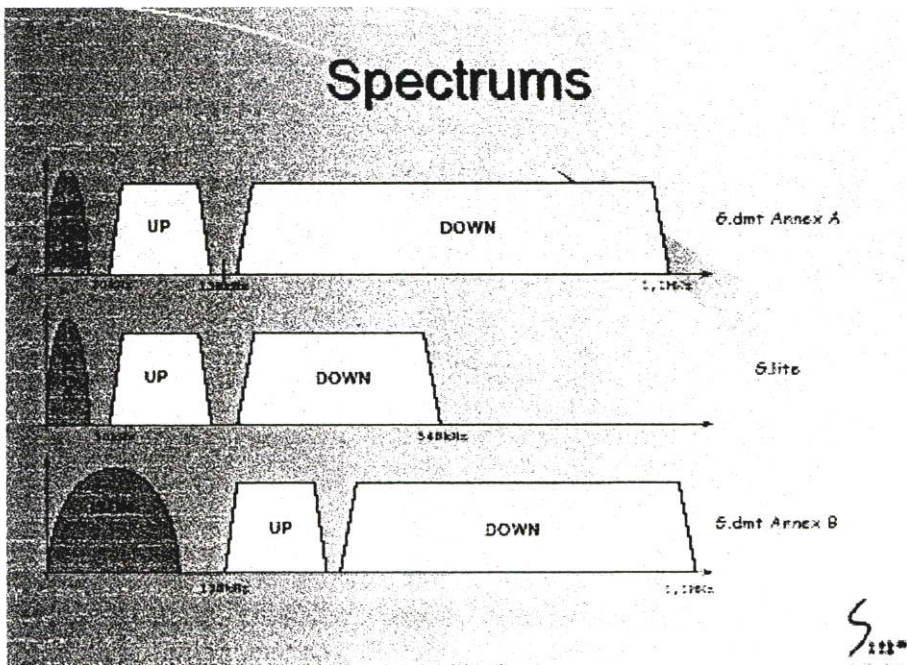
รูปที่ 2.26 Constellation encoding

2.18 ADSL G.Lite

G.Lite (G.922.2) หรือ Splitterless ADSL เป็นมาตรฐานที่ถูกกำหนดขึ้นเพื่อแก้ปัญหา



รูปที่ 2.27 Block diagram of G.Lite ADSL transceiver



รูปที่ 2.28 แสดงสเปกตรัมของ ADSL G.Lite

ความยุ่งยากที่บริษัทผู้ให้บริการต้องติดตั้งอุปกรณ์ Splitter ที่ฝั่งผู้ใช้บริการ G.Lite ถูกออกแบบมา เพื่อให้ผู้ใช้บริการสามารถติดตั้งโมเด็ม ADSL ได้ด้วยตนเอง อย่างไรก็ตามแม้ว่าความยุ่งยากในการติดตั้งจะลดน้อยลง แต่ก็ต้องแลกมาด้วยความเร็วในการเชื่อมต่อสูงสุดที่ลดลง โดย G.Lite จะมีความเร็วสูงสุดที่ 1.544 Mbps เนื่องจากอัตราข้อมูลสูงสุดที่ลดลง การออกแบบฮาร์ดแวร์สำหรับมาตรฐาน G.Lite จะง่ายขึ้นมากเมื่อเทียบกับ ADSL

บทที่ 3

มาตรฐานและการทำงานของ xDSL

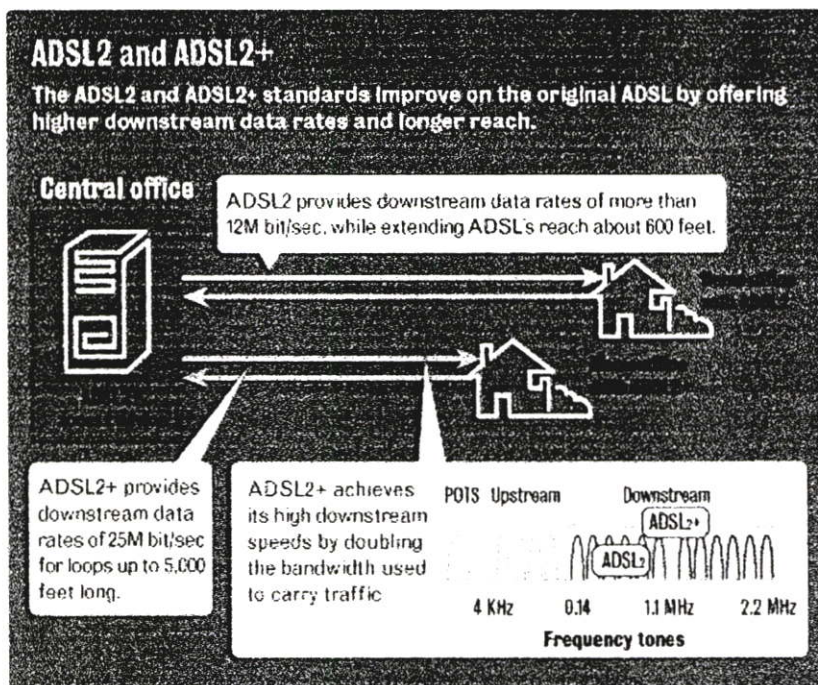
3.1 ADSL2 และ ADSL2+

เมื่อเดือนกรกฎาคม 2545 ทางสมาคมโทรคมนาคมระหว่างประเทศ หรือ ITU (International Telecommunication Union) ได้เสร็จสิ้นการจัดทำข้อกำหนดมาตรฐาน G.992.3 หรือ G.DMT.bis ที่เป็นมาตรฐานของ full-rate ADSL2 รวมทั้งข้อกำหนดมาตรฐาน G.992.4 หรือ G.Lite.bis ที่เป็นมาตรฐานของ G.Lite ทั้งสองข้อกำหนดมาตรฐานนี้ ถูกเรียกรวมๆ ว่า “ADSL2” และล่าสุดเมื่อเดือนมกราคม 2546 ทาง ITU ได้ออกข้อกำหนดมาตรฐานใหม่ของ ADSL2 ออกมาอีก คือ G.992.5 หรือ ADSL2+ โดยที่ผู้ให้บริการและผู้ใช้บริการนั้นมีบทบาทสำคัญมากในการพัฒนามาตรฐาน ADSL2 โดยได้ให้ข้อมูลที่มีค่าเกี่ยวกับการใช้งานอันเป็นประโยชน์แก่ ITU สำหรับนำไปพัฒนาปรับปรุงมาตรฐานให้ดีขึ้นต่อไป

มาตรฐาน ADSL2 (ITU G.992.3 และ G.992.4) ได้มีการเพิ่มคุณสมบัติและหน้าที่การทำงานใหม่ๆ เข้าไป โดยมีจุดมุ่งหมายอยู่ที่การเพิ่มประสิทธิภาพและความสามารถในการทำงานร่วมกัน (Interoperability) รวมทั้งเพิ่มการรองรับการทำงานร่วมกับแอปพลิเคชันใหม่ๆ ADSL2 (ITU G.992.3 และ G.992.4) ได้เพิ่มลักษณะเด่นและฟังก์ชันใหม่ๆ เข้าไป เพื่อปรับปรุงเรื่องสมรรถนะของการทำงานและการทำงานร่วมกันระหว่างอุปกรณ์และยังเพิ่มการสนับสนุนเพื่อรองรับบริการและการใช้งานใหม่ๆ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นก็คือ การปรับปรุงในเรื่องของอัตราเร็วการส่งข้อมูลและระยะทางที่ส่งได้, การปรับเปลี่ยนอัตราเร็วการส่งข้อมูลให้เหมาะสม (rate adaptation), การหาสาเหตุของปัญหาเพื่อทำการแก้ไข (diagnostics), การเพิ่ม stand-by mode เพื่อประหยัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้งาน และยังมีลักษณะเด่นอื่นๆ อีกหลายอย่าง que เพิ่มขึ้นมา

ADSL2+ (ITU G.992.5) มีการเพิ่มแบนด์วิดท์ที่ใช้สำหรับการส่งข้อมูล Downstream ขึ้นเป็น 2 เท่า ทำให้อัตราเร็วการส่งข้อมูลสูงสุดของ downstream เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงทำให้เราสามารถส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็ว 20 Mbps บนสายโทรศัพท์ได้ไกลถึง 5,000 ฟุต ADSL2+ สามารถทำงานได้หลายโหมด นั่นคือนอกจากจะทำงานร่วมกับ ADSL2+ ด้วยตัวเองแล้ว ยังสามารถทำงานร่วมกับ ADSL และ ADSL2 อีกด้วย

ADSL2+ จะช่วยให้ผู้ให้บริการสามารถพัฒนาเปลี่ยนแปลงเครือข่ายให้สามารถรองรับบริการที่ก้าวหน้าได้ เช่น การส่งสัญญาณวิดีโอ ADSL2+ จะรวมลักษณะเด่นต่างๆ และข้อดีของสมรรถนะการใช้งานของ ADSL2 เอาไว้ทั้งหมด ขณะที่ยังคงสามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ดั้งเดิมอื่นๆ ได้ ดังนั้นผู้ให้บริการสามารถนำเทคโนโลยีใหม่นี้เข้ามาใช้ร่วมกับอุปกรณ์เดิมที่มีอยู่ได้ เป็นการเปลี่ยนแปลงทีละเล็กละน้อยไปสู่บริการที่ก้าวหน้าขึ้น



รูปที่ 3.1 ADSL2 และ ADSL2+

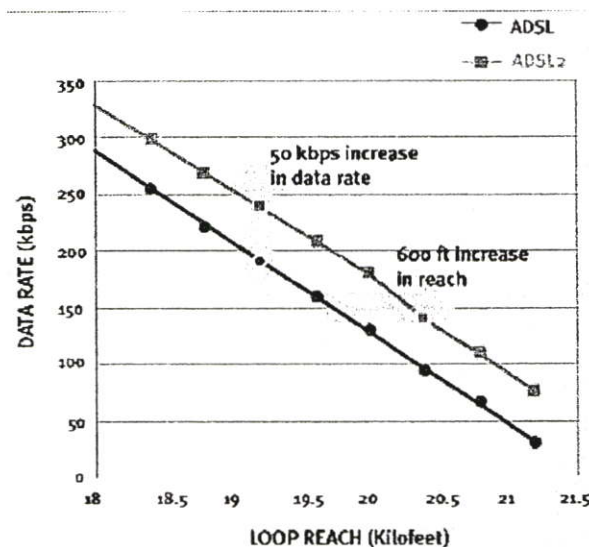
3.2 การปรับปรุงทางด้านอัตราเร็วการส่งข้อมูลและระยะทางไกลที่ส่งได้ (Rate and Reach improvement)

ADSL2 ได้รับการออกแบบมาเพื่อเพิ่มทั้งอัตราการส่งข้อมูล (Rate) และระยะทาง (Reach) ADSL2 จะใช้เทคนิคการมอดูเลชันที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น, ลดขนาดโอเวอร์เฮดของแต่ละเฟรมข้อมูลปรับปรุงค่า Gain ที่ได้จากการเข้ารหัสให้มีความสูงขึ้น, ปรับปรุง Initialization state machine และมีการนำเอาอัลกอริทึมด้าน Signal Processing ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นมาใช้เทคนิคการมอดูเลชันที่ ADSL2 นำมาใช้คือ DMT ร่วมกับการเข้ารหัสแบบ 4-dimensional, 16-state trellis ช่วยให้การส่งผ่านข้อมูลผ่านสายสัญญาณที่มีความยาวด้วยอัตราข้อมูลที่สูงขึ้นแม้สายจะมีค่า SNR ต่ำ ADSL2 ลดโอเวอร์เฮด ของเฟรมข้อมูลลงโดยเราสามารถโปรแกรมไว้ล่วงหน้าได้ว่าจะใช้ส่วนของโอเวอร์เฮดเท่าไร (4 ถึง 32 kbps) จะแตกต่างจาก ADSL รุ่นแรกในแง่ที่ว่าโอเวอร์เฮดต่อเฟรมจะมีค่าคงที่และจะถูกนำไปใช้ราว 32 kbps ของข้อมูล Payload ถ้าเส้นทางสายส่งยาวๆ ADSL2 สามารถเพิ่ม Gain การเข้ารหัสให้มีความสูงขึ้นด้วยการเข้ารหัสแบบ Reed-Solomon มีการปรับปรุง Initialization state machine เพื่อเพิ่มอัตราข้อมูลให้สูงขึ้น

ความสามารถในการลดพลังงานที่ใช้ในการส่งข้อมูลที่ทั้งสองฝั่งของสายสัญญาณเพื่อลดสัญญาณ NEXT และลดระดับของสัญญาณ Crosstalk ทั้งหมดควบคุมระยะเวลาของการทำ Initialization ได้โดยทั้งภาครับและภาคส่งเพื่อให้การประมวลผลกระบวนการ Training สัญญาณที่ภาครับและภาคส่งได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

มีการพัฒนากระบวนการ Channel identification เพื่อให้การประมวลผลกระบวนการ Training มีประสิทธิภาพมากที่สุด

ADSL2 ได้ถูกออกแบบมาโดยเฉพาะเพื่อปรับปรุงอัตราเร็วของการส่งข้อมูลและระยะทางที่สามารถส่งได้ของ ADSL โดยจะมี performance ที่ดีกว่าบนคู่สายทองแดงที่ยาวและมี narrowband interference เกิดขึ้น ADSL2 จะมีอัตราเร็วการส่งข้อมูลในทิศทาง Downstream และ Upstream ประมาณ 12 Mbps และ 1 Mbps ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับความยาวของสายทองแดงและปัจจัยอื่นๆ ADSL2 สามารถทำแบบนี้ได้ก็โดยการปรับปรุงในเรื่องของ modulation efficiency, ลด framing overhead ให้น้อยลง, เพิ่ม coding gain ให้สูงขึ้น, ปรับปรุง initialization state machine และใช้อัลกอริทึมของการประมวลผลสัญญาณที่ดีขึ้น ทำให้ ADSL2 มี performance ที่สูงขึ้นกว่ามาตรฐาน ADSL แบบเดิมอย่างมาก



รูปที่ 3.2 ระบบ ADSL2 จะช่วยปรับปรุงอัตราเร็วการส่งข้อมูลและระยะทางที่ส่งได้ให้เพิ่มมากขึ้น

รูปด้านบน แสดงอัตราเร็วของการส่งข้อมูลและระยะทางไกลที่ส่งได้ของ ADSL2 โดยเปรียบเทียบกับของมาตรฐาน ADSL ในยุคแรก ADSL2 จะมีอัตราเร็วการส่งข้อมูลเพิ่มขึ้น 50 kbps ในทิศทาง upstream และ downstream เป็นการเพิ่มขึ้นที่สำคัญสำหรับความต้องการของลูกค้าส่วนใหญ่ นอกจากการเพิ่มขึ้นของอัตราเร็วการส่งข้อมูลแล้ว ระยะทางไกลที่สามารถส่งได้ก็เพิ่มขึ้นประมาณ 600 ฟุต ซึ่งก็หมายถึงการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ครอบคลุมประมาณ 6% หรือ 2.5 ตารางไมล์

3.3 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Diagnostics)

ADSL2 จะมีการเพิ่มความสามารถในการวินิจฉัย (Diagnostics) มากขึ้นสามารถดังกล่าวจะเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการแก้ปัญหาทั้งในระหว่างและหลังการติดตั้ง, ใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพระหว่างการให้บริการและการอัปเดตข้อกำหนดการให้บริการต่างๆในการวินิจฉัยและแก้ปัญหาแต่ละครั้งนั้น อุปกรณ์รับส่ง ADSL2 นั้นจะมีการใช้การวัดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในสายสัญญาณ, การลดทอนของสัญญาณที่เกิดใน Loop และค่า SNR ที่ทั้งสองฝั่งของสายสัญญาณค่าต่างๆที่ได้จากการวัดเหล่านี้จะสามารถถูกเก็บได้โดยการใช้การเลือกการทำงานไปที่โหมดการทำงานพิเศษที่ใช้ในการวินิจฉัยปัญหา ซึ่งสามารถเลือกโหมดการทำงานนี้ได้แม้ว่าคุณภาพของสาย ณ เวลานั้นจะแย่เกินกว่าจะเชื่อมต่อแบบ ADSL ได้ ADSL2 มีการพัฒนาให้มีการจ่ายกำลังไฟเฉพาะในยามที่ใช้งานและสามารถปรับตัวโมเด็มให้อยู่ในสถานะ Standby/sleep ในขณะที่ไม่มีการใช้งานช่วยให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากและจะส่งผลให้โมเด็มติดตั้งอยู่ที่ DLC เล็กๆ ไม่ต้องกังวลปัญหาเรื่องความร้อนจากตัวเครื่องอีกต่อไป

การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา บ่อยครั้งที่มันเป็นอุปสรรคที่ทำทนายในการใช้งาน ADSL ดังนั้นเพื่อที่จะแก้ปัญหานี้ อุปกรณ์รับส่งสัญญาณของ ADSL2 จึงถูกเพิ่มความสามารถที่จะช่วยวิเคราะห์หาต้นเหตุของปัญหาให้ได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งที่จะนำไปใช้แก้ปัญหาในระหว่างและหลังการติดตั้ง, การใช้เฝ้าตรวจสอบ performance ในขณะที่ใช้งาน และใช้ในการปรับปรุงคุณภาพและบริการให้ดีขึ้น

อุปกรณ์รับส่งสัญญาณของ ADSL2 จะมีเครื่องมือสำหรับทำการวัด line noise, loop attenuation และ signal-to-noise ratio (SNR) ที่ทั้งสองด้านของสายส่งเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุและแก้ปัญหา ผลการวัดเหล่านี้สามารถถูกรวบรวมโดยใช้โหมดการทดสอบ diagnostics แบบพิเศษ ถึงแม้ว่าคุณภาพของสายส่งจะต่ำเกินกว่าที่จะทำการเชื่อมต่อ ADSL ได้ อย่างสมบูรณ์ก็ตาม

นอกจากนี้ ADSL2 ยังมีความสามารถในการเฝ้าตรวจสอบ performance แบบ real-time อีกด้วย ซึ่งจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพของสายส่งและสถานะของสัญญาณรบกวนที่ปลายทั้ง 2 ด้านของสายส่ง ข้อมูลนี้จะถูกวิเคราะห์โดยซอฟต์แวร์และถูกนำมาใช้โดยผู้ให้บริการ สำหรับเฝ้าตรวจสอบคุณภาพของการเชื่อมต่อสัญญาณของ ADSL และป้องกันไม่ให้เกิด service failure ขึ้นในอนาคต ข้อมูลนี้ยังสามารถนำมาใช้ในการบ่งบอกว่า สามารถที่จะให้บริการการส่งข้อมูลแก่ลูกค้ารายหนึ่งด้วยอัตราเร็วที่สูงกว่าเดิมได้หรือไม่

3.4 การปรับปรุงการใช้กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ (Power Management)

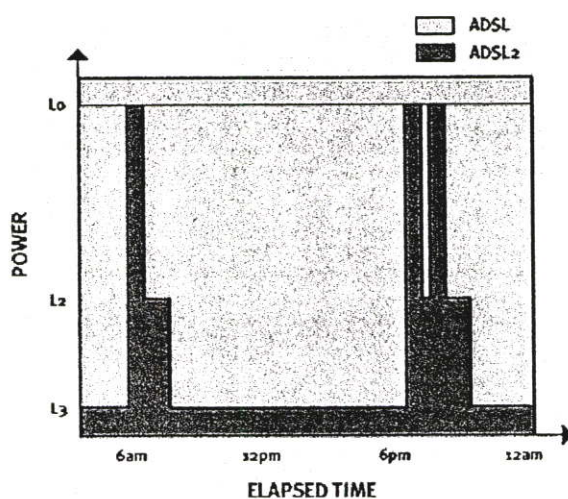
อุปกรณ์รับส่งสัญญาณ ADSL ในยุคแรกนั้น จะทำงานใน full-power mode ตลอดวันตลอดคืนแม้แต่ในช่วงไม่ใช้งานก็ตาม เนื่องจากมีโมเด็ม ADSL ใช้งานอยู่หลายล้านเครื่อง การประหยัดการใช้กำลังไฟฟ้าสามารถทำได้หากโมเด็มทำงานในสถานะ standby/sleep mode เหมือน

อย่างเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งยังเป็นการช่วยประหยัดกำลังไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์รับส่ง ADSL ที่ใช้งานอยู่ใน remote unit และตู้ DLC (Digital Loop Carrier) ที่ตั้งอยู่ภายนอกและต้องการการระบายความร้อนสูง (รูปด้าน 3.3) ด้วยข้อจำกัดดังกล่าวนี้ ทำให้มาตรฐาน ADSL2 มีโหมดของการจัดการกำลังไฟฟ้าอยู่ 2 โหมด ที่จะช่วยลดการใช้กำลังไฟฟ้าให้น้อยลงขณะที่ยังคงรักษาฟังก์ชัน “always-on” ของ ADSL ให้แก่ผู้ใช้บริการ ADSL2 ได้นำเทคนิคการจัดพลังงานมาใช้ใน 2 ลักษณะเพื่อที่จะลดการใช้พลังงานโดยมีเงื่อนไขว่าตัวโมเด็มจะต้องอยู่ในสภาวะ “Always-on” อยู่ตลอดลักษณะทั้ง 2 ดังกล่าวคือ

L2 low-power mode โหมดนี้จะช่วยประหยัดกำลังไฟฟ้าที่อุปกรณ์รับส่ง ADSL ทางฝั่งด้าน central-office (ATU-C) โดยมีการเข้าและออกจาก low power mode เป็นไปตามสถิติปริมาณทราฟฟิกอินเทอร์เน็ตที่วิ่งอยู่บน ADSL connection

L3 low-power mode โหมดนี้จะช่วยประหยัดกำลังไฟฟ้าโดยรวม ทั้งทางฝั่งด้าน central-office (ATU-C) และฝั่งด้าน remote (ATU-R) โดยจะเข้าสู่ sleep mode เมื่อการเชื่อมต่อไม่ได้ถูกใช้งานในช่วงระยะเวลาหนึ่ง L2 power mode เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของมาตรฐาน ADSL2 อุปกรณ์รับส่งสัญญาณ ADSL2 สามารถที่จะเข้าและออกจาก L2 low power mode ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณทราฟฟิกอินเทอร์เน็ตที่วิ่งอยู่บน ADSL connection เมื่อไฟล์ขนาดใหญ่กำลังถูกดาวน์โหลดอุปกรณ์ ADSL2 ก็จะทำงานอยู่ใน full power mode (ที่เรียกว่า L0 power mode) เพื่อที่จะให้อัตราเร็วการดาวน์โหลดนั้นสูงที่สุด แต่เมื่อทราฟฟิกอินเทอร์เน็ตลดลง เช่น เมื่อผู้ใช้กำลังอ่าน text page อยู่ ระบบ ADSL2 ก็จะเปลี่ยนไปสู่

L2 low power mode ซึ่งอัตราเร็วข้อมูลจะลดลงอย่างมากและการใช้กำลังไฟฟ้างี้จะลดลงด้วย ขณะที่กำลังอยู่ในโหมด L2 ระบบ ADSL2 สามารถที่จะเปลี่ยนกลับไปยังโหมด L0 ได้ทันที



รูปที่ 3.3 Low-power mode (L2 และ L3) ของ ADSL2 จะช่วยประหยัดการใช้กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ โดยไม่ไปขัดจังหวะการให้บริการ และไม่ทำให้เกิด bit error ขึ้น

และเพิ่มอัตราเร็วการส่งข้อมูลให้สูงสุดได้ทันทีที่ผู้ใช้เริ่มมีการดาวน์โหลดไฟล์ กลไกการเข้าและออกจากโหมด L2 รวมทั้งการปรับเปลี่ยนอัตราเร็วการส่งข้อมูลนั้น สามารถเกิดขึ้นได้โดยไม่ไปขัดจังหวะการให้บริการที่กำลังดำเนินการอยู่ ไม่ทำให้เกิด bit error และไม่ทำให้สามารถสังเกตได้จากผู้ใช้งาน L3 power mode เป็น sleep mode ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อผู้ใช้งานไม่ได้ออนไลน์ทำให้ไม่มีทราฟฟิกวิ่งติดต่อกับสาย ADSL connection แต่เมื่อผู้ใช้กลับมาออนไลน์ตามปกติอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ ADSL จะใช้เวลาประมาณ 3 วินาที ในการเริ่มต้นและเข้าสู่โหมดการสื่อสารตามปกติ

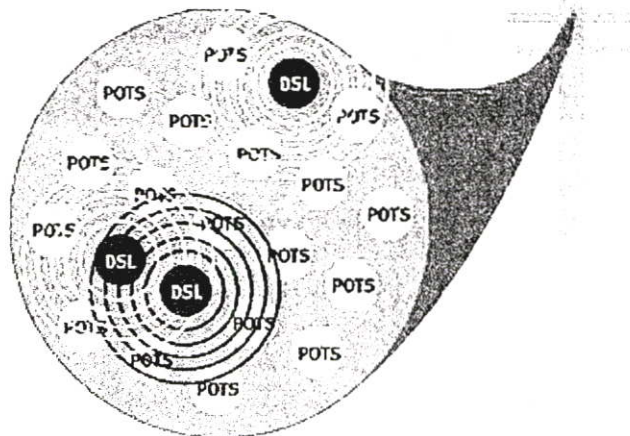
3.5 การปรับเปลี่ยนอัตราเร็วการส่งข้อมูล (Seamless Rate Adaptation (SRA))

ระบบ ADSL2 สามารถลดความรุนแรงของสัญญาณ Crosstalk ได้โดยอาศัยการปรับเปลี่ยนอัตราข้อมูลแบบ Real-time หรือ Seamless Rate Adaptation วิธีนี้จะช่วยให้ระบบสามารถปรับเปลี่ยนอัตราข้อมูลได้ในขณะที่ระบบทำงานอยู่โดยไม่รบกวนการให้บริการหรือทำให้เกิด Bit errors ระบบ ADSL2 จะทำการตรวจสอบและสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในช่องทางการเชื่อมต่อและระบบจะใช้ข้อมูลที่สังเกตได้ดังกล่าวไปปรับช่องทางการเชื่อมต่อให้เหมาะสมต่อการส่งผ่านข้อมูลโดยไม่ไปกระทบต่อผู้ใช้บริการ เทคนิค SRA จะใช้หลักการ decoupling ในส่วนการมอดูเลชัน โดยระบบ ADSL2 จะยอมให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับอัตราการส่งข้อมูล โดยจะไม่ไปปรับแต่งค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการจัดเรียงเฟรมข้อมูลเพราะมันอาจจะทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนในการทำ Frame synchronization ซึ่งอาจจะส่งผลให้เกิด Bit errors จำนวนมากจนระบบต้องเริ่มทำงานใหม่ SRA ยังใช้กระบวนการ Online Reconfiguration (OLR) ในการเปลี่ยนแปลงอัตราข้อมูลของการเชื่อมต่อแบบ “ไร้รอยต่อ” โดยขั้นตอนในการทำงานจะมีดังนี้

ภาครับจะทำการตรวจสอบค่า SNR ของช่องสัญญาณและจะใช้ค่าดังกล่าวในการตัดสินใจว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราข้อมูลจำเป็นหรือไม่ต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในช่องสัญญาณ ถ้าจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงอัตราข้อมูล ภาครับจะส่งข้อความไปยังภาคส่งเพื่อเริ่มขั้นตอนการเปลี่ยนแปลง ภาคส่งจะส่งสัญญาณ “Sync Flag” กลับมาเพื่อใช้เป็นตัวบอกว่าเมื่อไหร่ที่อัตราข้อมูลใหม่และตัวแปรการส่งข้อมูลใหม่และตัวแปรการส่งข้อมูลตัวใหม่ได้ถูกนำมาใช้ เมื่อภาครับได้รับสัญญาณ “Sync Flag” ทั้งภาครับและภาคส่งจะพร้อมสำหรับการส่งผ่านข้อมูลที่อัตราใหม่ โดยการเปลี่ยนจะเป็นไปในลักษณะไม่ทำให้ผู้ใช้บริการสังเกตเห็นได้

สายโทรศัพท์โดยปกติจะถูกมัดรวมกันเป็นกลุ่มที่เรียกว่า binder โดยแต่ละ binder ประกอบด้วยคู่สายทองแดงที่ตีเกลียวไปด้วยกัน ประมาณ 25 คู่ หรือมากกว่านั้น ผลที่ตามมาก็คือทำให้สัญญาณไฟฟ้าจากคู่สายหนึ่งสามารถเหนี่ยวนำทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปยังคู่สายอื่นที่อยู่ชิดติดกัน ใน binder เดียวกันได้ (รูปที่ 3.4) ปรากฏการณ์นี้ถูกเรียกว่า “crosstalk” และจะทำให้

performance ของอัตราการส่งข้อมูลของ ADSL นั้นต่ำลง การเปลี่ยนแปลงของระดับ crosstalk ใน binder อาจเป็นสาเหตุให้ระบบ ADSL หลุดจากการเชื่อมต่อสัญญาณได้ crosstalk ไม่ได้เป็นเพียงสาเหตุหนึ่งเท่านั้นที่ทำให้การเชื่อมต่อสัญญาณหลุดไป ยังมีสาเหตุอื่นๆ อีก อย่างเช่น การรบกวนทางคลื่น AM radio, การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และการมีน้ำเข้าไปใน binder เป็นต้น



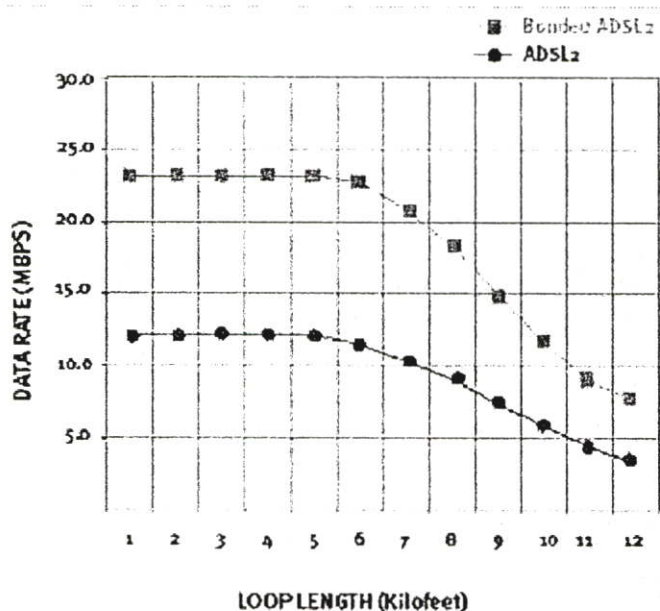
รูปที่ 3.4 คู่สายทองแดงที่อยู่ชิดติดกัน สามารถเหนี่ยวนำให้เกิด crosstalk รบกวนกันจนอาจทำให้ระบบ ADSL หลุดจากการเชื่อมต่อสัญญาณได้

ADSL2 แก้ปัญหานี้โดยวิธีการปรับเปลี่ยนอัตราเร็วการส่งข้อมูลในลักษณะแบบ real-time ที่เรียกว่า seamless rate adaptation (SRA) ด้วยวิธีการนี้ จะทำให้ระบบ ADSL2 สามารถเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วการส่งข้อมูลขณะมีการเชื่อมต่อใช้งาน โดยไม่ไปขัดจังหวะการให้บริการ หรือทำให้เกิด bit error ขึ้นแต่อย่างใด ADSL2 จะตรวจจับการเปลี่ยนแปลงสถานะของช่องสัญญาณ โดยตรวจสอบจากค่า SNR (signal-to-noise ratio) ของช่องสัญญาณ และทำการปรับเปลี่ยนอัตราเร็วการส่งข้อมูลให้เหมาะสมกับสถานะของช่องสัญญาณที่เป็นอยู่ โดยผู้ใช้งานจะไม่รับรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

3.6 การใช้ Bonding สำหรับเพิ่มอัตราเร็วการส่งข้อมูลให้สูงขึ้น

อัตราการส่งผ่านข้อมูลไปยังบ้านหรือหน่วยงานธุรกิจสามารถทำให้มีค่ามากขึ้นได้โดยการรวมสายโทรศัพท์หลายๆสายเข้าไว้ด้วยกันเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลที่อัตราเร็วสูงขึ้น เพื่อที่จะทำให้การรวมสายโทรศัพท์เป็นไปได้ มาตรฐาน ADSL2 ได้มีการนำเอาเทคนิคของ ATM forum ที่เรียกว่า Inverse Multiplexing for ATM หรือ IMA (af-phy-0086.001) มาใช้ ด้วยเทคนิคนี้ ซิตเซต ADSL2 จะสามารถรวมเอาสายทองแดงตั้งแต่ 2 คู่ขึ้นไปเข้าไว้ด้วยกันเป็น ADSL link ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คืออัตราข้อมูลจะมีค่าสูงขึ้นมาก มาตรฐาน IMA ได้มีการกำหนดชั้นย่อย (Sublayer) ขึ้นมา

ใหม่ระหว่างชั้น ADSL physical (PHY) และชั้น ATM layer ที่ภาคส่งชั้นย่อยหรือ IMA sublayer จะมีการนำสายข้อมูลสายหนึ่งที่ส่งมาจากชั้น ATM layer มากระจายไปยังชั้น ADSL PHY หลายๆตัว ในทางกลับกันที่ฝั่งภาครับชั้น IMA sublayer จะรับเอา ATM cells มาจากชั้น ADSL PHY หลายๆตัวเข้ามาแล้วนำมาสร้างเป็นสายข้อมูล ATM ใหม่ที่เหมือนกับสายข้อมูลที่ฝั่งภาคส่ง ความต้องการที่เหมือนกันอย่างหนึ่งของผู้ใช้บริการก็คือ ความสามารถที่จะให้บริการแก่ลูกค้าต่างๆ ตามข้อตกลง Service level agreement (SLA) ที่ได้ทำกันไว้ อัตราเร็วการส่งข้อมูลเป็น



รูปที่ 3.5 อัตราเร็วการส่งข้อมูลสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการใช้ Bonding

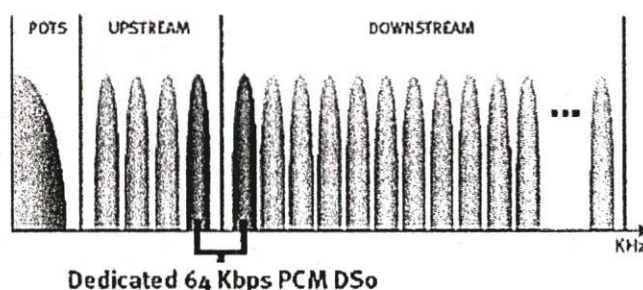
หรือที่เรียกว่า Inverse multiplexing ซึ่งเป็นเทคนิคการส่งสัญญาณ ADSL ด้วยคู่สายทองแดง ประเด็นหนึ่งที่มีผลกระทบคือ อัตราเร็วการส่งข้อมูลสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการใช้ Bonding ตั้งแต่ 2 คู่ขึ้นไป มาตรฐาน ADSL2 นี้จะใช้เทคนิค inverse multiplexing (IMA) ตามมาตรฐานของ ATM ทำให้สามารถส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็วที่สูงกว่าเดิมมาก (รูปที่ 3.5)

มาตรฐาน IMA ของ ATM นี้ จะกำหนด sublayer ใหม่ขึ้นมา ที่ชื่อว่า IMA sublayer ซึ่งจะวางอยู่ระหว่าง ADSL physical layer (PHY) และ ATM layer ทางด้านส่ง IMA sublayer นี้จะทำหน้าที่แบ่ง ATM stream ที่ได้รับจาก ATM layer ออกเป็นหลาย stream และส่งกระจาย stream เหล่านี้ไปยัง ADSL physical layer จำนวนหลายเส้นทางด้วยกัน ขณะที่ทางด้านรับนั้น IMA sublayer จะทำการรับ ATM cell จากแต่ละเส้นทางของ ADSL physical layer และทำการสร้าง ATM stream เดิมกลับออกมา ด้วยหลักการดังกล่าวนี้ จึงทำให้ ADSL2 สามารถรองรับการส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็วสูงได้

3.7 การจัดแบ่งช่องสัญญาณเพื่อส่งเสียงและข้อมูลทาง DSL (Channelization and VoDSL)

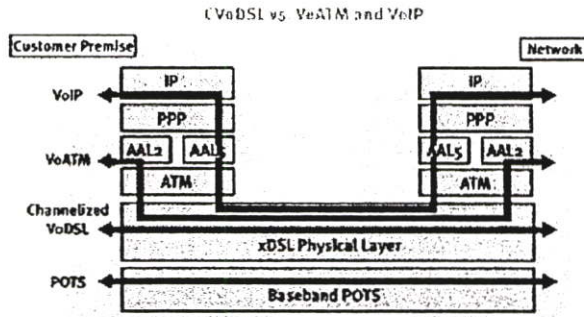
ADSL2 สามารถแบ่งขอบแบนด์วิดท์ออกเป็นช่องสัญญาณย่อยๆ ที่มีคุณสมบัติต่างกัน สำหรับแอปพลิเคชันต่างๆกัน ตัวอย่างเช่น ADSL2 สามารถให้บริการแอปพลิเคชันทางเสียง ซึ่งต้องการค่า Latency ต่ำแต่ยอมให้มีการผิดพลาดในการส่งข้อมูลได้ค่อนข้างมาก ร่วมกับการให้มีการผิดพลาดในการส่งข้อมูลได้ค่อนข้างมาก ร่วมกับการให้บริการแอปพลิเคชันด้านข้อมูลซึ่งสามารถยอมให้มีค่า Latency ได้มากกว่าแต่ค่อนข้างเคร่งครัดในเรื่องของความผิดพลาดในการส่งข้อมูล ความสามารถในการแบ่งช่องสัญญาณดังกล่าว ทำให้ ADSL2 สามารถให้บริการเสียงผ่านทาง การจัดสรรช่องสัญญาณเสียงให้เฉพาะบนโครงข่าย DSL หรือ Channelized Voice over DSL (CVoDSL) VoDSL จะต่างจากการให้บริการทางเสียงบน DSL อื่นๆในแง่ที่ว่ามันจะส่งผ่าน สัญญาณเสียงภายในชั้น PHY และยอมให้มีการส่งช่องสัญญาณเสียงบน DSL bandwidth โดยไม่ไป รบกวนแบนด์วิดท์ของ POTS และอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง ผลดังกล่าวจะช่วยให้อุปกรณ์ สมัยใหม่สามารถให้บริการทางเสียงได้ง่าย, ยืดหยุ่นและประหยัด CVoDSL จะมีการช่องสัญญาณ ของแบนด์วิดท์ของ DSL ขนาด 64 kbps เอาไว้เพื่อใช้ในการส่งสัญญาณ PCM จากโมเด็ม DSL ไปยังอุปกรณ์ปลายทางหรือชุมสายโทรศัพท์ในลักษณะที่คล้ายกับ POTS วิธีดังกล่าวจะช่วยลด ความจำเป็นในการสร้างทรานซิปิกเสียงให้อยู่ในรูปแบบ Packet บนสายโทรศัพท์เพื่อใช้บน โปรโตคอล ชั้นบนๆ เช่น ATM และ IP อย่างที่โปรโตคอล VoIP หรือ VoATM

ADSL2 มีความสามารถที่จะแบ่งแบนด์วิดท์ของ DSL ออกเป็นช่องสัญญาณต่างๆ หลายๆ ช่อง เพื่อใช้สำหรับส่งสัญญาณเสียงและข้อมูลไปพร้อมๆ กันได้ ความสามารถนี้ของ



รูปที่ 3.6 การจัดสรรแบนด์วิดท์ของ DSL ให้กับ CVoDSL

ADSL2 ทำให้สามารถส่งช่องสัญญาณเสียงด้วยวิธีการที่เรียกว่า Channelized Voice over DSL (CVoDSL) ได้ ดังในรูปที่ 3.6 นอกจากนี้ยังสามารถส่งช่องสัญญาณเสียงด้วยวิธีการของ VoIP หรือ VoATM ได้เช่นกัน รูปที่ 3.7 แสดงเปรียบเทียบถึงข้อแตกต่างระหว่าง CVoDSL,



รูปที่ 3.7 เปรียบเทียบ CVoDSL, VoATM และ VoIP

VoATM และ VoIP โดย CVoDSL จะไม่มีการจัดแบ่งข้อมูลเสียงออกเป็น packet เหมือนอย่างของ VoATM หรือ VoIP

3.8 ประโยชน์เพิ่มเติมที่ได้รับจาก ADSL2 (Other advantages)

ขั้นตอนในการทำ Initialization ของ ADSL2 ช่วยเพิ่มความสามารถในการทำงานร่วมกันให้มีประสิทธิภาพ มากขึ้นเมื่ออุปกรณ์รับส่ง ADSL ต้องเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ชีพที่ผลิตจากผู้ผลิตต่างกัน ADSL2 มีโหมดในการ Startup เร็วมากขึ้นซึ่งจะช่วยเวลาในการ Initialization ลงจากมากกว่า 10 วินาที ให้เหลือเพียงน้อยกว่า 3 วินาที ADSL2 จะมีโหมดการทำงานหนึ่งที่ยอมให้มีการส่งผ่านข้อมูล ADSL ส่วนของแบนด์วิดท์ที่ใช้ส่งสัญญาณเสียง ทำให้ช่วยเพิ่มอัตราข้อมูลของภาค upstream อีก 256 kbps ADSL2 จะยอมให้มีการส่งผ่านข้อมูลแบบแพ็คเกจในลักษณะ Transconvergence layer (PTM-TC) ด้วยการส่งในลักษณะดังกล่าวจะช่วยให้เราสามารถส่งข้อมูลที่เป็นลักษณะแพ็คเกจเช่น Ethernet ผ่านทางระบบ ADSL2 ได้ ADSL2 ยังมีลักษณะเด่นที่สำคัญอื่นๆ อีกหลายอย่าง นอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้ว อย่างเช่น

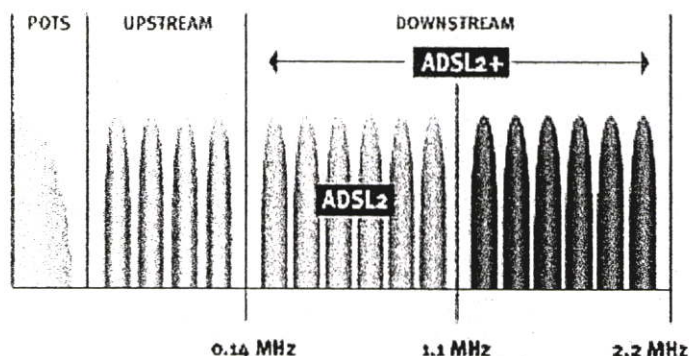
การปรับปรุงในเรื่องของการทำงานร่วมกันระหว่างอุปกรณ์ ข้อกำหนดของ ADSL2 จะทำให้การทำงานร่วมกันระหว่างอุปกรณ์จาก supplier ต่างๆ มี performance ที่ดีกว่าเดิม

การเริ่มต้นใช้งานของอุปกรณ์เป็นไปอย่างรวดเร็ว ADSL2 จะมีโหมดของการเริ่มต้นใช้งาน ที่ลดช่วงเวลา initialization time จากมากกว่า 10 วินาที ลดลงเหลือน้อยกว่า 3 วินาที เท่านั้นเอง มีโหมดการส่งข้อมูลที่เป็นแบบดิจิทัลทั้งหมด ADSL2 ยังมีโหมดที่เป็นทางเลือกสำหรับการส่งข้อมูล ADSL ในย่านแบนด์วิดท์ของเสียง ทำให้สามารถเพิ่มอัตราเร็วการส่งข้อมูล upstream ได้อีก 256 kbps ซึ่งเหมาะกับธุรกิจที่ใช้บริการของเสียงและข้อมูลบนคู่สายทองแดงคนละคู่กัน และต้องการแบนด์วิดท์ upstream ที่เพิ่มมากขึ้นสามารถรองรับบริการแบบ Packet-Based Services ได้ ADSL2 จะประกอบด้วย layer ที่ชื่อว่า packet mode transmission transconvergence

layer (PTM-TC) ซึ่งจะทำให้ packet-based service อย่างเช่น Ethernet สามารถถูกส่งบน ADSL2 ได้

3.9 ADSL2+

ADSL2+ ได้รับความเห็นชอบจาก ITU เมื่อเดือนมกราคม 2546 ให้ร่วมเป็นมาตรฐานหนึ่งในตระกูลของ ADSL2 โดยใช้ชื่อข้อกำหนดว่า G.992.5 ADSL2+ จะเพิ่มแบนด์วิดท์ของ downstream ขึ้นเป็น 2 เท่า ทำให้มีอัตราเร็วการส่งข้อมูล downstream เพิ่มขึ้นบนคู่สายทองแดงที่สั้นกว่าระยะ 5,000 ฟุต ข้อกำหนดอื่นของมาตรฐาน ADSL2 คือ G.992.3 และ G.992.4 จะกำหนดแถบความถี่ของ downstream ไว้ไม่เกิน 1.1 MHz และ 552 kHz ตามลำดับ แต่ ADSL2+

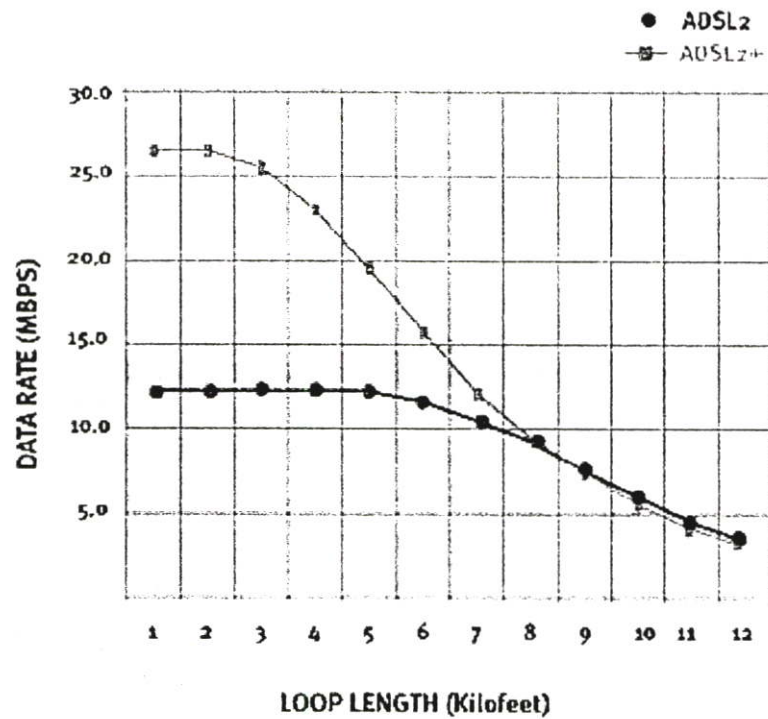


รูปที่ 3.8 ADSL2+ จะเพิ่มแบนด์วิดท์เป็น 2 เท่าสำหรับส่งข้อมูล downstream

จะกำหนดย่านความถี่ของ Downstream ไว้สูงถึง 2.2 MHz ดังรูปข้างต้นทำให้มีอัตราเร็วการส่งข้อมูล downstream เพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงระยะทางสั้นๆ (ไม่เกินประมาณ 5,000 ฟุต) ของสายทองแดง (รูปที่ 3.8) อัตราเร็วการส่งข้อมูลของ upstream นั้น จะประมาณ 1 Mbps ทั้งนี้ขึ้นกับสภาพของคู่สายทองแดงที่ใช้

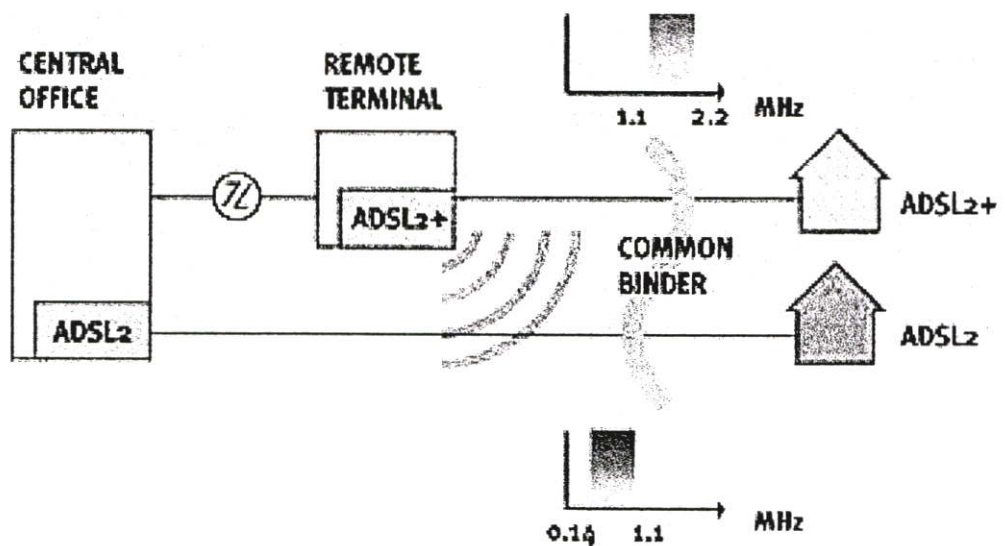
ADSL2+ เป็นมาตรฐานใหม่ที่กำหนดโดย ITU และเป็นมาตรฐานที่อยู่ในตระกูลของ ADSL2 โดยมาตรฐาน ADSL2+ จะเพิ่มแบนด์วิดท์ภาค downstream เป็น 2 เท่าซึ่งจะช่วยเพิ่มอัตราข้อมูลให้สูงมากขึ้นบนสายโทรศัพท์ที่สั้นกว่า 2.7 กิโลเมตร ในขณะที่ G.992.3 (G.DMT.bis) และ (G.Lite.bis) ซึ่งเป็น 2 มาตรฐานแรกที่อยู่ในตระกูล ADSL2 มีความถี่สูงสุดของภาค downstream อยู่ที่ 1.1 MHz และ 552 kHz ตามลำดับ ADSL2+ ได้มีการกำหนดความถี่สูงสุดของภาค downstream อยู่ที่ 2.2 MHz

ADSL2+ ยังสามารถนำมาใช้ในการลด crosstalk อีกด้วย ADSL2+ สามารถที่จะใช้เฉพาะความถี่ระหว่าง 1.1 MHz และ 2.2 MHz โดยความถี่ downstream ที่ต่ำกว่า 1.1 MHz จะถูกขจัดทิ้ง



รูปที่ 3.9 ADSL2+ จะมีอัตราเร็วการส่งข้อมูล downstream สูงสุดเป็น 2 เท่า

ไป คุณสมบัตินี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งเมื่อมีการใช้บริการ ADSL หลายคู่สายบน binder เดียวกัน crosstalk จากบริการ ADSL ของคู่สายหนึ่งสามารถเข้าไปรบกวนการส่งข้อมูลบนอีกคู่สายหนึ่งได้ ADSL2+ สามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยการใช้ความถี่ที่ต่ำกว่า 1.1 MHz บนคู่สายหนึ่ง และความถี่ระหว่าง 1.1 MHz และ 2.2 MHz บนอีกคู่สายหนึ่ง ซึ่งก็จะช่วยขจัด crosstalk



รูปที่ 3.10 ADSL2+ สามารถใช้ในการลด crosstalk ได้ ส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นได้ (รูปที่ 3.10)

3.10 HDSL (High speed DSL)

ในปี 1988 ANSI ได้ตั้งคณะกรรมการ T1E1.4 เพื่อนำเอาเทคโนโลยี DSL ความเร็ว 1.544 Mbps มาทดแทนการใช้วงจรเชื่อมโยง T1 ในปี 1989 มีความประสบความสำเร็จในการทดลองภาคสนามและได้ตั้งชื่อเทคโนโลยีว่า HDSL (High bit rate DSL) เทคโนโลยี HDSL ที่มีการนำมาใช้แทนที่วงจร T1 ในอเมริกาเหนือจะประกอบด้วยระบบ Full-duplex 2 ระบบโดยมีการใช้สาย 2 เส้น (Two-pair) หรือ Dual-duplex ที่แต่ละระบบมีอัตราข้อมูล 784 kbps ในปี พ.ศ. 2539 ETSI ได้นำเอามาตรฐาน Dual-duplex ที่ใช้ในอเมริกาเหนือมาปรับเป็นมาตรฐาน ETR และใช้สายเพียง 1 เส้น (Single-pair HDSL) ซึ่งสามารถรับการส่ง E1 payload ได้ที่ 2.32 Mbps HDSL เวอร์ชัน นี้เป็นที่รู้จักกันในชื่อ Symmetric single-pair HDSL) ซึ่งสามารถรับการส่ง E1 payload ได้ที่ 2.32 Mbps HDSL เวอร์ชันนี้เป็นที่รู้จักกันในชื่อ Symmetric single-line DSL (SDSL)

วิธีการมอดูเลตที่มีการนำมาใช้กับ HDSL คือ 2B1Q(2 Binary 1-Quaternary) และ QAM ในการเข้ารหัส แต่ละระดับ จะใช้แทนข้อมูลจำนวน 2 บิต ตัวอย่างเช่นถ้าต้องการส่งขบวนบิต 01110100 (ตัวอักษร J ตามรหัส ASCII) ข้อดีของการมอดูเลตแบบ 2B1Q ก็คือความง่ายต่อการนำไปใช้และไม่ได้รับผลกระทบจากสัญญาณรบกวน NEXT มาก อย่างไรก็ตาม 2B1Q มีประสิทธิภาพในการใช้แบนด์วิดท์ค่อนข้างน้อยกว่าการมอดูเลตแบบอื่นๆ HDSL2 ที่มีการใช้ไลน์โคดตัวใหม่คือ OTIS(Overlapped PAM Transmission with Interlocking Spectra) ที่มีประสิทธิภาพมากกว่าเทคนิค 2B1Q อย่างไรก็ตาม OPTIS นั้นค่อนข้างซับซ้อนและต้องการกำลังงานในการส่งสัญญาณมากขึ้น ในช่วงทศวรรษที่ 90 HDSL ได้มีการนำมาใช้งาน 2 รูปแบบ

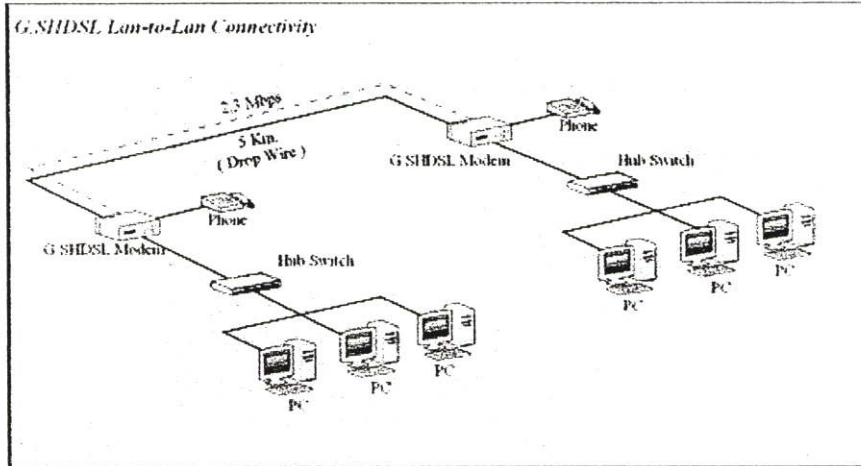
- ใช้เทคโนโลยี HDSL ในการต่อเชื่อมโครงข่าย E1/T1 ซึ่งอาจจะใช้แทนอุปกรณ์ Repeater ที่ชุมสายต่อผ่านได้
- ใช้เป็นวงจรเชื่อมวง LAN 2 วงเข้าด้วยกันโดยการใช้โมเด็ม HDSL 2 ตัวติดตั้งอยู่ที่ทั้งต้นทางและปลายทางโดยจะมีอินเตอร์เฟซความเร็วสูงเช่น V.35 ต่อเชื่อมกับวง LAN

HDSL และ SDSL อาจจะนำไปใช้ในการเชื่อมต่อสถานีฐานของโทรศัพท์มือถือเข้ากับชุมสายโทรศัพท์มือถือและอาจจะใช้เชื่อมกันชุมสาย PSTN ใ้ลๆก็ได้

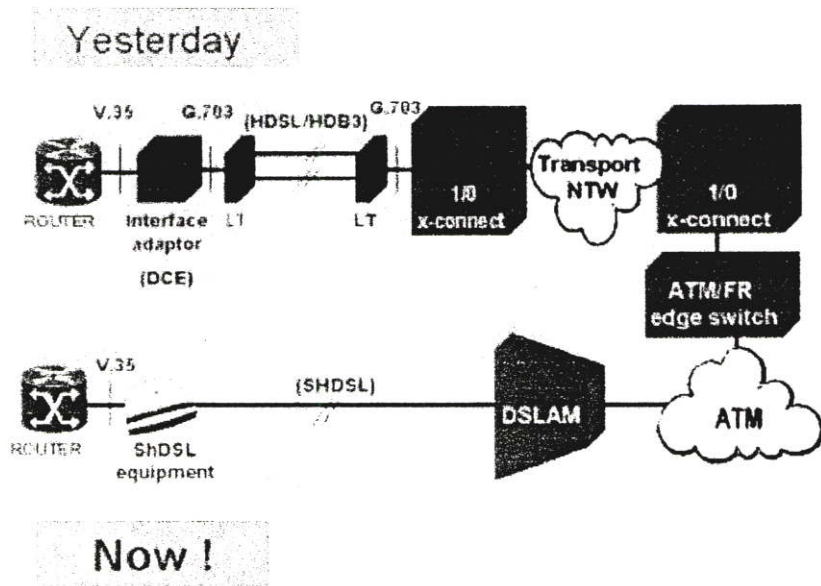
3.11 G.SHDSL (Symmetric HDSL)

เป็นมาตรฐานที่พัฒนามาจาก HDSL และได้รับการรองรับจาก ITU G.991.2 Single-Pair High-Speed DSL ปัจจุบัน SHDSL ซึ่งเป็นหนึ่งเทคโนโลยีตระกูล DSL โดยเทคโนโลยี DSL (Digital Subscriber Line) เป็นเทคโนโลยีโมเด็มที่ทำให้คู่สายทองแดงธรรมดาให้กลายเป็นสื่อสัญญาณดิจิทัลความเร็วสูง โดยใช้เทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูล (Modulation) ในย่านความถี่ที่สูงกว่า การใช้งานโทรศัพท์โดยทั่วไปทำให้สามารถส่งข้อมูลในขณะเดียวกับการใช้งานโทรศัพท์ได้ ซึ่งความสามารถพิเศษของเทคโนโลยี G.SHDSL นี้คือ คืออีกหนึ่งเทคโนโลยีที่

สามารถเชื่อมต่อเครือข่าย LAN ผ่านสายทองแดงได้ไกลถึง 4-9.7 กิโลเมตร G.SHDSL Modem มีคุณสมบัติสำคัญคือ สัญญาณมีเสถียรภาพสูงมาก จึงทำให้ G.SHDSL กำลังจะกลายเป็นมาตรฐานในการให้บริการ Leased Line ในอนาคต และนอกจากนั้น G.SHDSL ยังมี Interface ที่หลากหลายทั้งแบบ Ethernet, V.35 และ E.1(G.703) ซึ่งคุณสามารถเลือกใช้ได้ตามความต้องการ



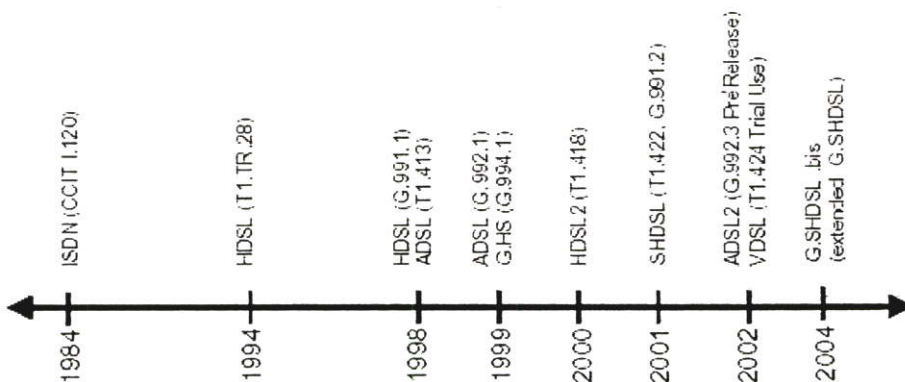
รูปที่ 3.11 การเชื่อมต่อแบบ Lan-to-Lan ของ G.SHDSL



รูปที่ 3.12 การนำ G.SHDSL มาใช้งานแทน Lead line

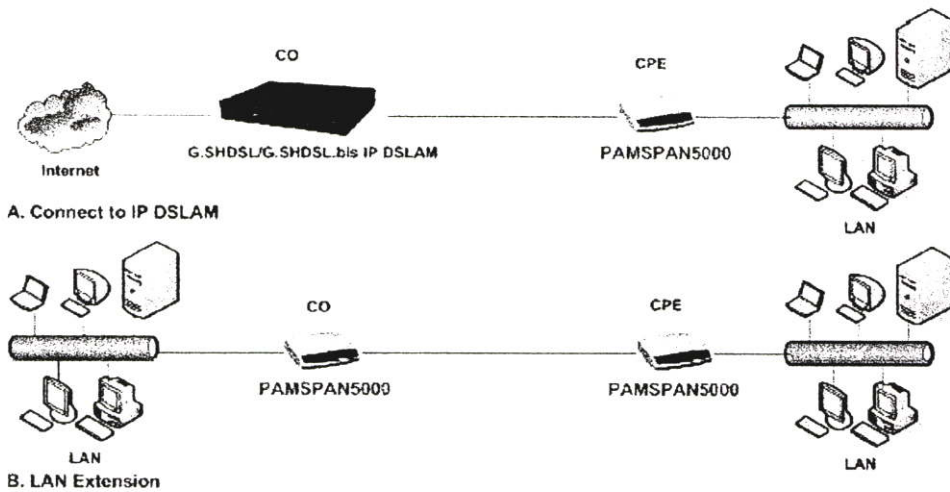
จากที่ผ่านมาเทคโนโลยี xDSL ได้เข้ามามีบทบาทมากขึ้นในการให้บริการเครือข่ายข้อมูลมีความเร็วในการรับข้อมูล (Downstream) สูงถึง 8Mbps และ 24Mbps สำหรับ ADSL2+ แต่ ADSL เองก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของความเร็วในการส่งข้อมูล (Upstream) ซึ่งสามารถทำได้เพียง 1Mbps

ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับการให้บริการสำหรับองค์กรที่ต้องการติดตั้ง Server เพื่อให้บริการต่างๆ เช่น Web/Mail/FTP/ASP/Co Location Server หรือแม้แต่การทำ VPN ก็ตาม ซึ่ง Application เหล่านี้ ต้องการความเร็วในการส่งข้อมูลเพื่อให้บริการแก่ Client โดย G.SHDSL (ITU-T G.991.2) คือมาตรฐานที่รองรับการทำงานในโหมด Symmetric หรือสามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วเท่ากัน ซึ่งสามารถรองรับการใช้งานขององค์กรได้เป็นอย่างดี นอกจากนั้น G.SHDSL ยังเป็นอีกบริการหนึ่งที่ผู้ให้บริการเสนอแก่ลูกค้า เพื่อทดแทนวงจร Leased Line (TDM), Frame Relay หรือ ATM เป็นต้น เนื่องจากมีต้นทุนในการให้บริการที่ต่ำกว่า แต่ในปัจจุบันองค์กรมีความต้องการความเร็วของวงจรเชื่อมต่อสูงขึ้น ทำให้การเชื่อมต่อที่ความเร็วต่ำอาจจะไม่เพียงพอสำหรับหลายๆองค์กรที่ผ่านมาทางเลือกสำหรับวงจรความเร็วสูงก็คือ วงจรเช่าผ่าน Fiber Optic หรือแม้แต่ VDSL ที่ให้บริการในปัจจุบัน แต่ทั้งสองเทคโนโลยีมีข้อจำกัด สำหรับ Fiber Optic นั้นถือเป็นสื่อที่ดีที่สุด แต่ต้นทุนก็สูงที่สุดเช่นกัน ส่วน VDSL นั้นมีถึงแม้จะมีความเร็วสูงสุด (Symmetric) ถึง 10Mbps และ 72Mbps (4-Band VDSL) แต่มีจุดอ่อนที่สำคัญคือ ระยะทางที่สามารถทำงานได้นั้นทำได้เพียง 800-1,200 เมตร ดังนั้นผู้ให้บริการจึงจำเป็นต้อง ติดตั้ง Aggregation Node (DSLAM) ไว้ให้ใกล้กับลูกค้ามากที่สุด จึงเหมาะแก่การให้บริการในอาคารต่างๆเท่านั้น นอกจากนั้น VDSL ยังมีปัญหาเรื่องคุณภาพสัญญาณที่มีความอ่อนไหว



รูปที่ 3.13 พัฒนาการของ G.SHDSL

ค่อนข้างสูง G.SHDSL คืออีกเทคโนโลยีที่ได้รับการออกแบบเพื่อตอบโจทยที่ว่า ทำอย่างไรให้ วงจรมีความเร็วสูงขึ้น โดยที่ยังคงระยะทาง (Loop Reach) ในการทำงานได้ไกลเช่นเดิม จนในที่สุด ITU-T ได้รับรองมาตรฐาน G.SHSL เมื่อปี พ.ศ. 2547 คือ G.991.2 (ค.ศ. 2003) โดย G.SHDSL มีการเปลี่ยนแปลงการ Modulation จาก G.SHDSL เล็กน้อยเพื่อให้มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงขึ้น และสนับสนุนการทำงานแบบ Multi-core Cable

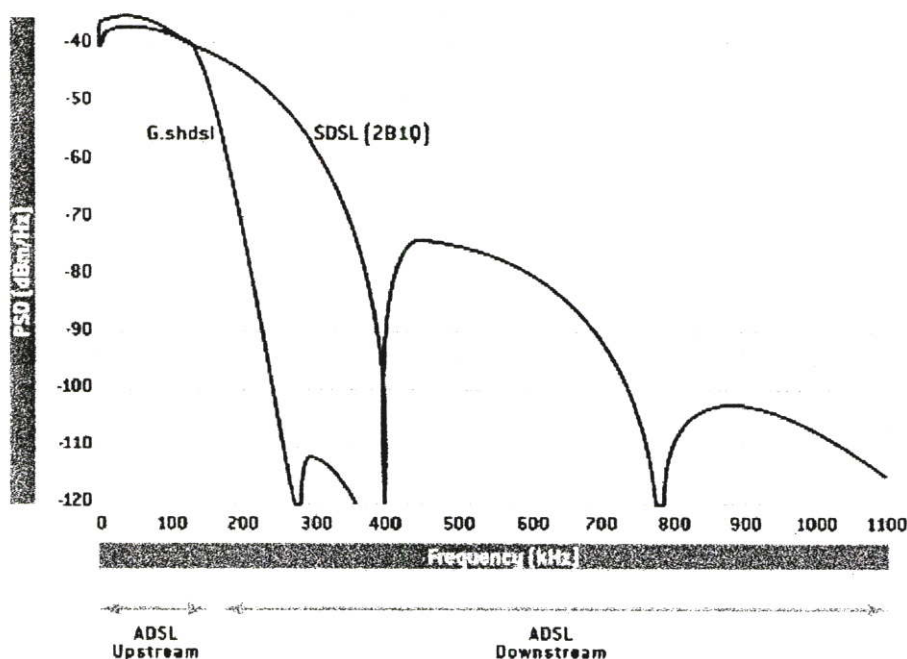


รูปที่ 3.14 การนำ G.SHDSL ไปติดตั้งที่ CO

โดย G.SHDSL มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงสุด (Symmetric) ที่ 5.69Mbps, 11.38Mbps และ 22.76Mbps บนสายทองแดง 1คู่, 2คู่ และ 4คู่ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสนับสนุนการทำ Load Balancing ในกรณีที่สายเส้นใดเส้นหนึ่งเสียหาย โดย G.SHDSL มีระยะทางในการทำงานสูงสุดที่ 9.7 กิโลเมตร ซึ่งผู้ให้บริการสามารถวางอุปกรณ์ Aggregation Node (DSLAM) ไว้ที่ชุมสายเคเบิลได้ และยังสามารถใช้คู่สายทองแดงเคเบิลที่มีการวางไว้อยู่แล้วได้ ทำให้ G.SHDSL มีต้นทุนต่ำกว่า G.SHDSL จึงเหมาะสมในการนำมาใช้สำหรับการให้บริการเครือข่ายความเร็วสูงสำหรับองค์กร ตั้งแต่การให้บริการอินเทอร์เน็ต, IP-VPN หรือวงจร Private Network หรือใช้ G.SHDSL สำหรับการขยายเครือข่าย Ethernet (LAN Extender) ในกรณีที่สาย UTP ไม่สามารถทำงานได้ เช่น ในมหาวิทยาลัย หรือ โรงงาน เป็นต้น

3.11.1 Spectral compatibility

Power Spectral Density (PSD) ของ G.SHDSL ที่ได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้นจาก SDSL ที่ใช้ไลน์โคดแบบ 2B1Q พลังงานในย่านแถบความถี่มีขนาดลดลง ทำให้โอกาสที่จะถูกรบกวนจากผู้ใช้อDSL ก็ลดลงตามไปด้วย SHDSL พัฒนาเพื่อรองรับ Spectral compatibility กับไลน์โคดที่ได้รับการพัฒนามาจาก HDSL2 จะใช้ TC-PAM ซึ่งเป็นการเข้ารหัส 16 ระดับซึ่งมากกว่า 4 ระดับที่ได้จากการใช้ 2B1Q ประสิทธิภาพของสเปกตรัมก็ได้รับการปรับปรุงขึ้นด้วยนอกจากนี้ยังมีการใช้การเข้ารหัสแบบ Trellis และการถอดรหัสแบบ Viterbi



รูปที่ 3.15 เปรียบเทียบ G.SHDSL SDSL-2B1Q ที่ 768 kbps

3.11.2 Handshake

ข้อได้เปรียบของ SHDSL ที่มีเหนือ HDSL คือมีการนำเอามาตรฐาน Signaling G.994.1 “Handshake Procedures for DSL Transceiver” หรือ G.hs มาใช้ G.hs เป็นข้อกำหนดเกี่ยวกับสัญญาณและกระบวนการที่ถูกใช้แลกเปลี่ยนกันระหว่างอุปกรณ์ DSL การใช้ signaling ดังกล่าว จะเกิดขึ้นหลังจากอุปกรณ์ DSL ได้ผ่านกระบวนการ Initialize และเข้าสู่โหมดที่ตัวมันเอง ต้องการสร้างลักษณะของการทำงานที่แน่นอน โดยอัตโนมัติก่อนสัญญาณจะถูกแลกเปลี่ยน ตัวอย่างเช่น G.hs ที่ถูกใช้เพื่อทำให้เกิด Rate adaptation การกระจายกำลังงานลงไปในแต่ละโทน จะถูกทำขึ้นโดยอัตโนมัติ

3.12 VDSL (Very high-speed DSL)

การลงทุนการให้บริการ Broadband อย่างประหยัดที่สุดก็คือการให้บริการผ่านโครงข่าย โทรศัพท์พื้นฐาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบันการลงทุนไปกับการติดตั้งโครงข่าย FTTH (Fiber all way To The Home) ยังคงมีราคาแพงอยู่ ทางเลือกหนึ่งซึ่งช่วยประหยัดเงินลงทุนได้มากกว่าคือ ใช้สายไฟเบอร์ออฟติกเชื่อมโยงระหว่าง CO กับ ONU (Optical Network Unit) และใช้สายทองแดงเชื่อมจาก ONU ไปบ้านผู้ใช้บริการผ่านการใช้ VDSL (Very High rate DSL)

VDSL จะสามารถส่งข้อมูลความเร็วสูงบนสายคู่ตีเกลียวระยะทางสั้นๆ ได้ อัตราข้อมูลภาค downstream สูงสุดที่ใช้กับสายยาว 300 เมตรจะอยู่ระหว่าง 51-55 Mbps และถ้าเพิ่มความยาว

สายเป็น 1.5 กม. อัตราข้อมูลจะลดลงเหลือ 13 Mbps อัตราข้อมูลของภาค Upstream ในช่วงแรก จะได้รับการออกแบบมาใช้แบบ Asymmetric เช่นเดียวกับ ADSL ที่ความเร็ว 1.6-2.3 Mbps โดยทั้งภาค Upstream และ Downstream จะแยกแถบความถี่ออกมาจากแถบความถี่ที่ใช้กับ POTS หรือ ISDN ปัจจุบัน VDSL สามารถให้บริการแบบ Symmetric ได้ผ่านทางการใช้ Echo cancellation

3.12.1 Frequency plans

เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดปัญหา Crosstalk กับสัญญาณ ADSL ทิศทางการไหลของกราฟฟิคของระบบ VDSL จะไหลในทิศทางตรงข้ามเพื่อที่ว่าสเปกตรัมที่อยู่ใกล้แถบความถี่ของ ADSL ที่เป็นภาค downstream แทนการส่งผ่านข้อมูลของ VDSL จะต้องเริ่มที่ความถี่มากกว่า 1.104 MHz ซึ่งเป็นขอบของสเปกตรัมที่ใช้กันใน ADSL คณะทำงานมาตรฐานของ VDSL ได้พัฒนา Frequency plan ขึ้นมา 3 แผนเพื่อระบุถึงสเปกตรัมที่ใช้โดย VDSL (0.138 MHz – 12 MHz) ในการกำหนดช่วงความถี่ภายในสเปกตรัมที่จะใช้ในการส่งและการรับ Frequency plan ต่างๆกันจะส่งผลต่ออัตราข้อมูลที่ระบบสามารถทำได้ต่างๆกันทั้งแบบ Symmetric และ Asymmetric แต่จะไม่มีให้นำเอา plan ต่างกันมาใช้ผสมปนกันบนสายสัญญาณเส้นเดียวกัน

3.12.1.1 Plan 997

เป็นแผนที่ใช้กันในยุโรป โดยมีจุดประสงค์ในการออกแบบมาสำหรับ Symmetric VDSL มีการระบุถึงแถบความถี่ 4 แถบที่ใช้สำหรับภาค Upstream และ Downstream แต่ละภาคจะถูกแบ่งออกเป็นสองแถบความถี่ย่อย สเปกตรัมระหว่าง 0.138 MHz ถึง 3.0 MHz และ 5.1 MHz ถึง 7.05 MHz จะใช้สำหรับภาค Downstream ในขณะที่สเปกตรัมระหว่าง 3 MHz ถึง 5.1 MHz และ 7.05 MHz ถึง 12.0 MHz จะใช้สำหรับภาค Upstream

3.12.1.2 Plan 998

เป็นแผนที่ใช้กันในอเมริกาเหนือ, ญี่ปุ่น และ ยุโรป รองรับการให้บริการ Full asymmetric ทั้งแผน 997 และ 998 เป็นแผนที่ได้รับการยอมรับโดยผู้ให้บริการส่วนใหญ่ของโลก และทั้งสองแผนก็ได้รับการยอมรับจากทั้ง ANSI, ETSI และ ITU มีการระบุแถบความถี่ 4 แถบที่ใช้สำหรับภาค Upstream และ Downstream แต่ละภาคจะถูกแบ่งออกเป็นสองแถบความถี่ย่อย สเปกตรัม

3.12.2 Line code

เทคนิคในการทำไลน์โคดที่ถูกนำมาใช้ใน VDSL นั้นคือ QAM และ DMT ปัจจุบัน QAM มักจะถูกนำมาใช้กับ VDSL เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่มีราคาถูกลงและใช้กำลังงานในการส่งน้อย แม้ว่าประสิทธิภาพในการทำงานจะสู้เทคนิค DMT ไม่ได้ สำหรับ VDSL เทคนิคการมอดูเลตแบบ

DMT จะค่อนข้างยุ่งยากและใช้กำลังงานมากกว่าที่ใช้ใน ADSL มาก แต่แนวโน้มของการนำเทคนิคมาใช้ในอนาคตจะเอนไปหาเทคนิค DMT เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้แบนด์วิดท์

3.12.3 Deployment

AN (Access Node) จะเป็นส่วนที่ถูกติดตั้งอยู่ที่ CO โดยประกอบด้วย ATM CC (Cross-connect) และตัวคอนโทรลเลอร์คอยควบคุมการทำงาน ทราฟฟิคจากหลายๆ ONU จะเข้ามาที่ AN เพื่อผ่านไปยังผู้ให้บริการ อุปกรณ์ LU (Line Unit) เป็นอินเตอร์เฟซเพื่อเชื่อมโยงไปยังผู้ให้บริการ อินเตอร์เฟซที่ใช้กันโดยทั่วไปคือ SONET/SDH: OC3/STM1 ที่ 155 Mbps, OC12/STM4 ที่ 622 Mbps หรือ OC12/STM4 ที่ 2.5 Gbps อินเตอร์เฟซบนอุปกรณ์ LU ที่เชื่อมไปหา ONU อาจจะเป็น APON (ATM Passive Optical Network-ITU-T G.983) หรือ SONET/SDH: OC3/STM1 หรือ OC1/STM4 โดยทั่วไป AN สามารถรองรับการให้บริการได้ราว 10,000 ผู้เช่าที่ CPE จะมีอุปกรณ์ VDSL Network Termination (NT) ที่เป็นเสมือนจุดเชื่อมต่อระหว่างผู้ให้บริการ โครงข่ายโทรศัพท์และ โครงข่ายโทรศัพท์และ โครงข่ายที่ติดตั้งภายในพื้นที่ผู้ใช้ โดย VDSL NT อาจจะเป็นโมเด็ม VDSL ที่อาจจะมีอินเตอร์เฟซมากกว่าหนึ่งอินเตอร์เฟซก็ได้

ONU จะประกอบด้วยอุปกรณ์ VDSL LIM (Line Interface Modules), ONT (Optical Network Termination) และ Multiplexer โดยทั่วไปอุปกรณ์ VDSL LIM จะรองรับ VDSL line Termination ได้หลายๆตัว โครงข่าย (Topology) ที่ใช้กับเทคโนโลยี VDSL จะมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “FTTx (Fiber to the x)” โดยที่ x จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของ ONU

3.12.3.1 Fibre to the cabinet (FTTCab)

FTTCab เป็นวิธีในการนำเอา VDSL ไปใช้ที่เป็นไปได้และง่ายที่สุดเพราะระยะทางจาก ONU ไปยังอุปกรณ์ NT ที่บ้านผู้เช่าอยู่ในระยะที่ VDSL สามารถให้บริการได้ (น้อยกว่า 1.5 กม.) สายไฟเบอร์ออปติกจะถูกลากจากอุปกรณ์ AN ที่ชุมสายมาที่ตู้สายกระจาย (Distribution cabinet) ซึ่งที่ตู้ดังกล่าวจะมีการติดตั้ง ONU ปัญหาที่ต้องคำนึงถึงคือพื้นที่ในตู้จะมีเพียงพอแก่การติดตั้ง ONU หรือไม่และความร้อนที่เกิดจากอุปกรณ์ที่ใช้กำลัง ถูกติดตั้งเข้าไปเพิ่มได้รับการระบายความร้อนดีเพียงใด

3.12.3.2 Fibre to the building (FTTB)

วิธีนี้มักจะถูกนำไปใช้ในเขตเมือง โดยจุด Endpoint ของสายไฟเบอร์หรือ ONU จะอยู่ที่ชั้นล่างของอาคาร สายที่ใช้ในอาคารเป็นสายทองแดงมีความยาวน้อยกว่า 100 เมตร รูปแบบการติดตั้งดังกล่าวจะทำให้อัตราข้อมูลมีค่าสูงถึง 100-150 Mbps เนื่องจากระยะสายทองแดงที่ใช้มักจะสั้นกว่าแบบ FTTCab ที่ต้องการลากตู้สายกระจายมาถึงบ้านผู้ให้บริการ รูปแบบการส่งผ่านข้อมูลอาจจะนำเอาเทคโนโลยี ATM เข้ามาช่วยให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

3.12.3.3 Fibre to the home (FTTH)

วิธีนี้เหมาะกับบริเวณที่มีบ้านพักอาศัยหรือหน่วยธุรกิจขนาดเล็กรวมตัวอยู่กันเยอะ วิธีนี้ยอมให้มีการลากสายไฟเบอร์ต่อตรงถึงบ้านผู้ใช้บริการหรือสำนักงานและสายคู่ตีเกลียวจะไม่ถูกนำมาใช้ในกรณีนี้ ดังนั้นอุปกรณ์ที่ฝั่งผู้บริการจะต่อตรงกับสายไฟเบอร์แทน อัตราเพิ่มข้อมูลจะมีค่าเพิ่มขึ้นมหาศาล แต่วิธีนี้ยังมีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติน้อย เพราะการที่จะลากสายไฟเบอร์ไปยังแต่ละบ้านผู้ใช้บริการนั้นค่อนข้างที่จะสิ้นเปลือง

3.12.3.4 Ethernet over VDSL

Ethernet over VDSL หรือ EoV ช่วยให้ผู้วางระบบเน็ตเวิร์คสามารถสร้างถึงความเร็วสูงระดับ 10 Mbps full duplex โดยสายโทรศัพท์ธรรมดาได้ยาวถึง 1.2 กม. มาตรฐานแบบ Proprietary ที่กำหนดมาเพื่อรองรับ EoV คือ 10BaseS โดย 10BaseS รองรับการส่งข้อมูลความเร็วสูงไปพร้อมกับสัญญาณ POTS, ISDN หรือ PBX โดยไม่ไปรบกวนสัญญาณดังกล่าว VDSL ช่วยลดต้นทุนในการเดินสาย LAN ใหม่ได้มากเพราะสายโทรศัพท์ที่เชื่อมต่อระหว่างสาขา มักจะถูกติดตั้งเรียบร้อยแล้วตั้งแต่ก่อสร้างโครงการครั้งแรก

3.12.3.5 Extending the corporate LAN

VDSL ช่วยในการเชื่อมต่อ Remote office เข้ากับเครือข่าย LAN หลักโดยใช้สายโทรศัพท์ที่มีอยู่แล้ว หรือติดตั้งใหม่ได้ไกลถึง 1.2 กม. ซึ่งยาวกว่าระยะที่สาย Unshielded UTP จะไปถึงได้ ผู้ใช้ที่ Remote office ก็สามารถใช้บริการโทรศัพท์และส่งผ่านข้อมูลได้โดยใช้โครงสร้างการวางสายเดียวกัน ความเร็วในการเชื่อมต่อได้จาก 10BaseS over VDSL มีมากกว่าแบนด์วิธของวงจร T1 ถึง 6 เท่าและมากกว่า 4 เท่าเมื่อเทียบกับวงจร E1 ในขณะที่ค่าใช้จ่ายต่างกันหลายเท่า

3.12.3.6 Network Multi-Tenant (MTU)

10BaseS ช่วยให้เจ้าของอาคารชุดที่มีพักอาศัยอยู่จำนวนมาก สามารถให้บริการเพิ่มรายได้ด้วยการจัดหาเครือข่ายที่เชื่อมลูกค้าในแต่ละห้องเข้าด้วยกัน เพื่อให้บริการ เซิร์ฟเวอร์พิมพ์หรือแฟกซ์, อินเทอร์เน็ต หรือเกมส์ออนไลน์ การติดตั้งระบบเครือข่ายในอาคารชุดที่มีจำนวนหลายห้องค่อนข้างจะสิ้นเปลืองมากถ้าต้องมีการเดินสาย LAN ใหม่หมดทั้งอาคาร ปัญหาดังกล่าวจะหมดไป ถ้ามีการนำเอา VDSL มาใช้บนสายโทรศัพท์ที่มีการติดตั้งไว้แต่แรกแล้ว

3.12.3.7 Enhancing Hospitality Services

โรงแรมหรือโรงพยาบาลที่มีสายโทรศัพท์เดินทุกห้องสามารถสร้างความประทับใจให้ลูกค้าที่เข้ามาใช้บริการ ได้โดยการนำเสนอบริการ Video on Demand (VoD), Videoconferencing หรืออินเทอร์เน็ต ลูกค้าที่ต้องการติดต่อด้านธุรกิจที่ต้องการความเป็นส่วนตัวเจ้าของกิจการอาจจะนำเอาเทคโนโลยี VLAN (Virtual LAN) มาใช้สำหรับการเชื่อมต่อแบบ End-

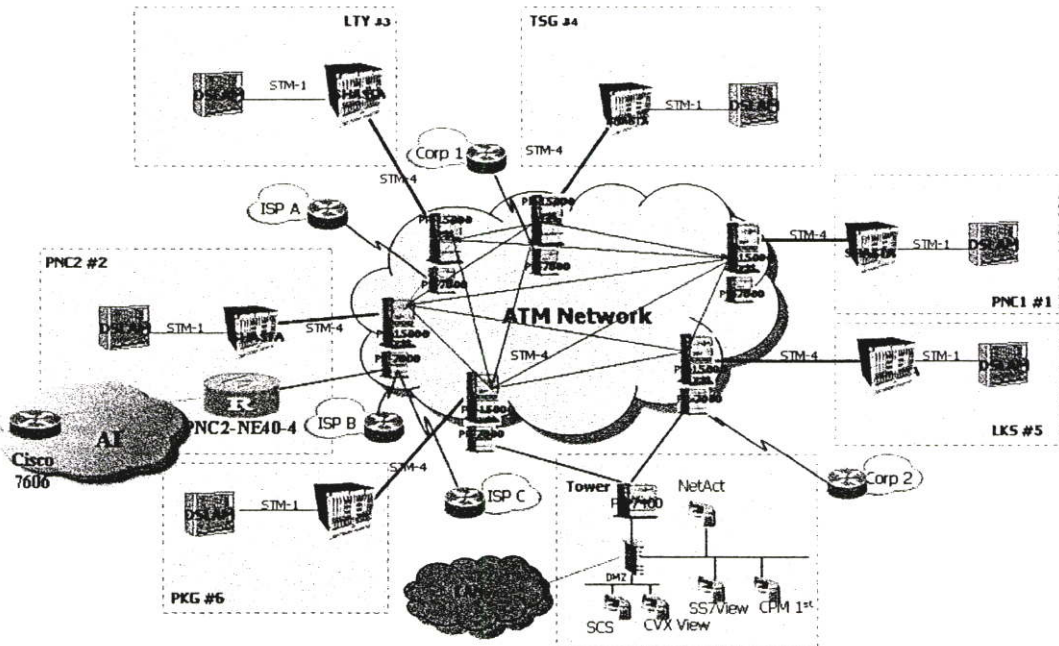
to-end ในส่วนของการจัดทำใบเรียกเก็บเงิน เจ้าของอาคารก็เพียงแค่ติดตั้ง billing servers เพิ่มเท่านั้น

บทที่ 4

การวัด, วิเคราะห์ลักษณะของกราฟฟิคและแนวทางในการแก้ไข ปัญหาในโครงข่าย ADSL

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวัดและวิเคราะห์ระดับกราฟฟิคของ ADSL รวมทั้งแนวทางในการแก้ไขปัญหาในโครงข่าย ADSL เพื่อช่วยให้โครงข่ายและผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

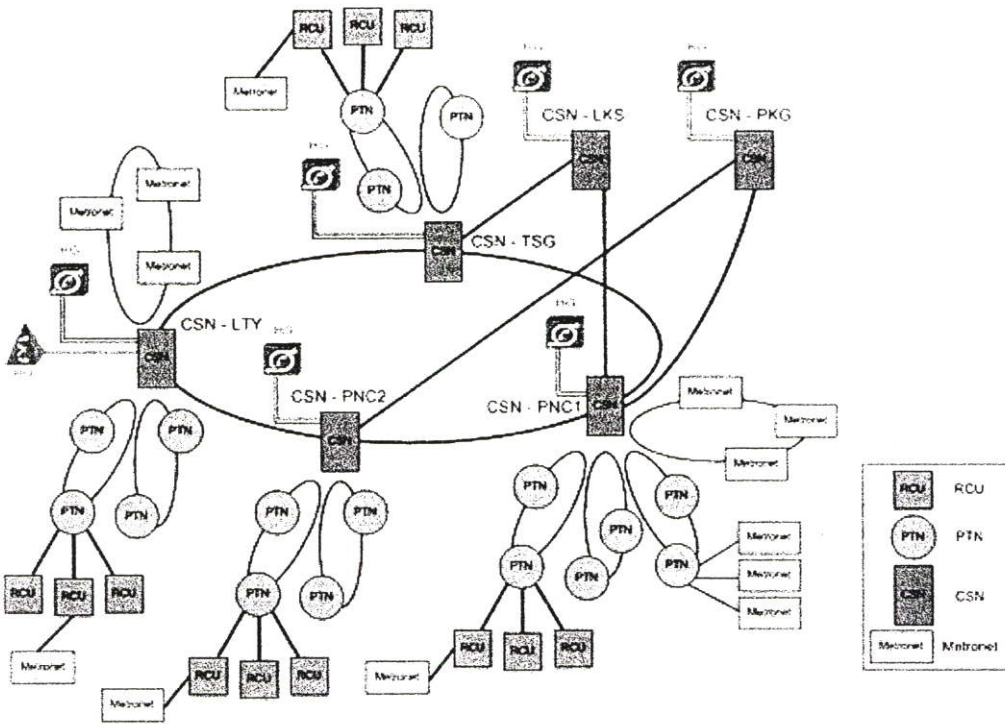
4.1 โครงสร้างและการวัดกราฟฟิคใน ADSL Network



รูปที่ 4.1 โครงสร้าง ADSL Network ที่ทำการวัดกราฟฟิค

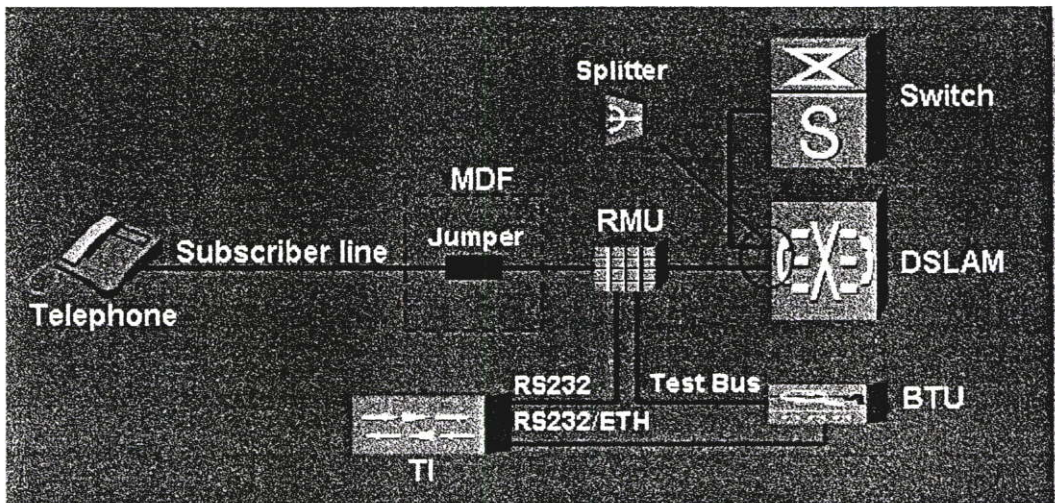
การวัดกราฟฟิคของผู้ใช้งาน ADSL จะมีการกำหนดให้มีการตั้งวัดกราฟฟิคของผู้ใช้งานในแต่ละ RCU (Remote Concentrator Unit) จำนวนหมายเลขโทรศัพท์ไม่ต่ำกว่า 20% ของหมายเลขโทรศัพท์ที่ใช้งานทั้งหมดในแต่ละ RCU จะเริ่มทำการดึงข้อมูลการใช้งาน ADSL ของแต่ละเมื่อถึงเวลา 01:00 น. ของวันถัดไปโดยเรียงลำดับกันไป ข้อมูลการใช้งาน ADSL แต่ละเลขหมายจะถูกเก็บลงฐานข้อมูลที่เครื่องแม่ข่าย (Server) เพื่อรอประมวลผล การเลือกข้อมูลการใช้งานกราฟฟิคจะเลือกจากผู้ใช้งาน ADSL ที่มีหมายเลขไม่ซ้ำกัน (ในกรณีของการวัดกราฟฟิคแบบรายเดือน)

โดยระยะเวลาในการเก็บข้อมูล คือตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2548 ถึง วันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2548



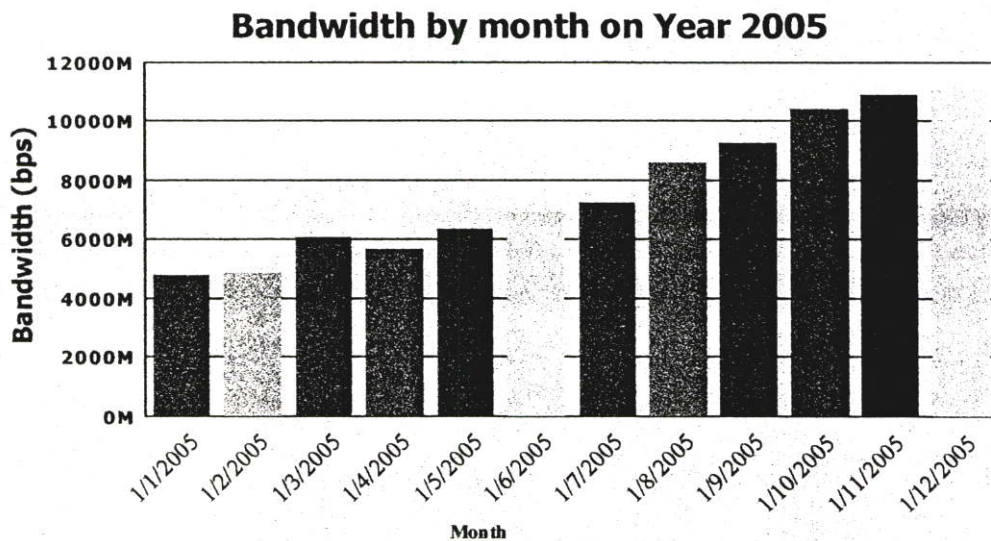
รูปที่ 4.2 โครงสร้าง ADSL Network ที่ประกอบด้วย Distribution Ring ที่มี RCU และ PTN

ADSL Test

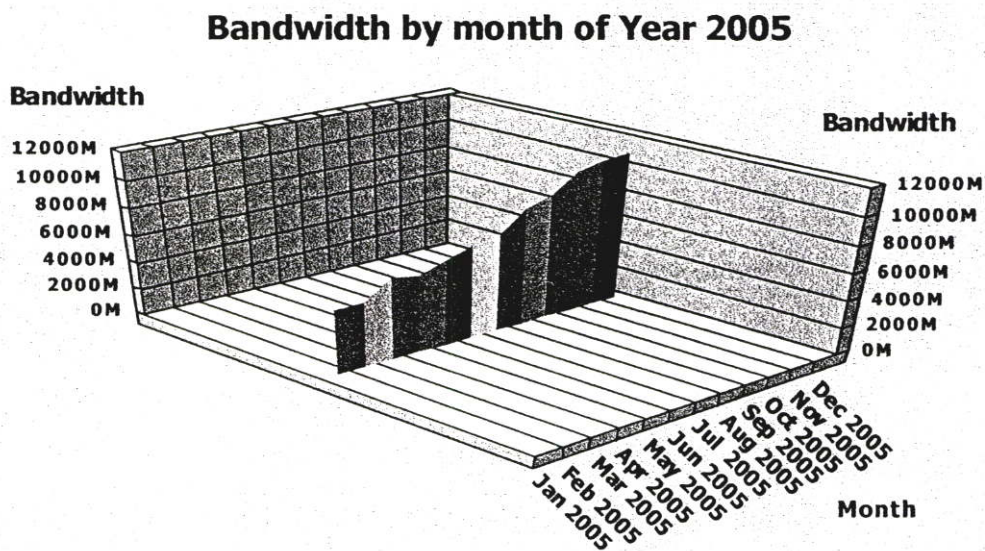


รูปที่ 4.3 ตำแหน่งการวัดกราฟฟิคของ ADSL ใน RCU

4.2 ผลการวัดและวิเคราะห์กราฟฟิคแบบรายเดือน ปี พ.ศ. 2548



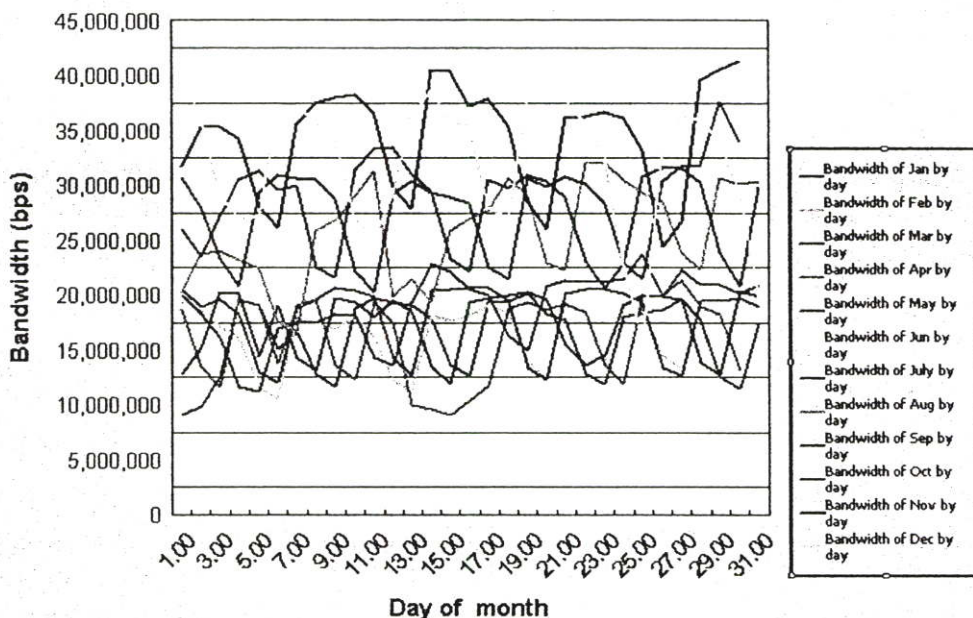
รูปที่ 4.4 ผลการวัดกราฟฟิคแบบรายเดือน ปี พ.ศ. 2548 ลักษณะของกราฟแท่ง



รูปที่ 4.5 ผลการวัดกราฟฟิคแบบรายเดือน ปี พ.ศ. 2548 ลักษณะของ 3D honeycomb surface chart

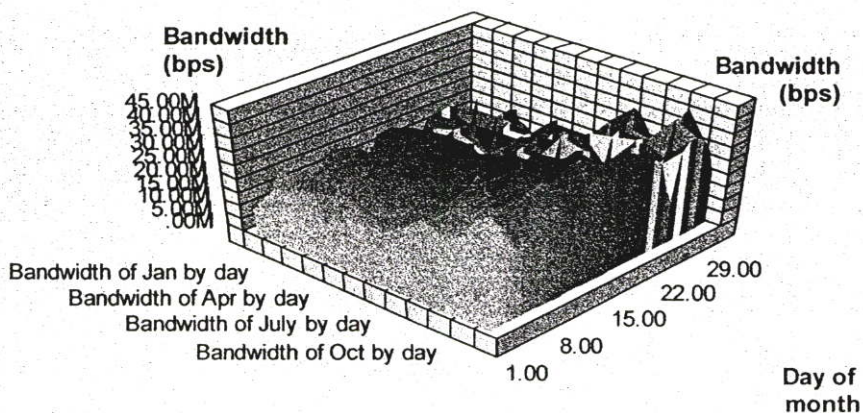
4.3 ผลการวัดกราฟฟิกแบบรายวัน ปี พ.ศ. 2548

Bandwidth by Day on 2005



รูปที่ 4.6 ผลการวัดกราฟฟิกแบบรายวัน ปี พ.ศ. 2548 ลักษณะของกราฟเส้น

Bandwidth by Day on 2005

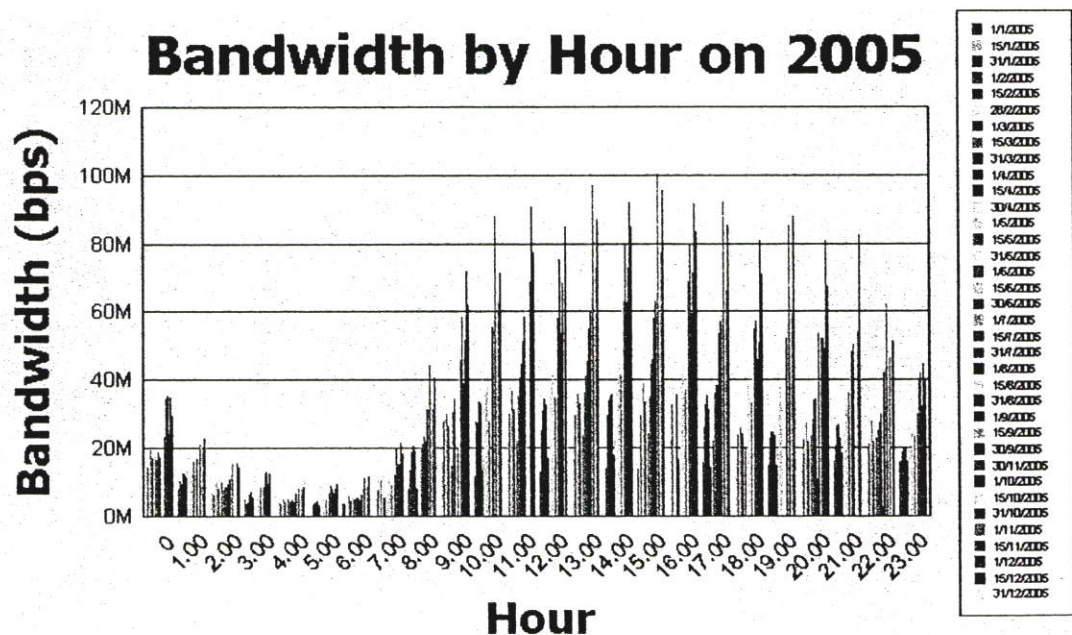


รูปที่ 4.7 ผลการวัดกราฟฟิกแบบรายวัน ปี พ.ศ. 2548 ลักษณะของ 3D honeycomb surface chart

จากรูป 4.6 และ 4.7 การวัดกราฟฟิคของผู้ใช้งาน ADSL จำนวน 100 รายที่กระจายอยู่ทั่วกรุงเทพและปริมณฑลที่วัดมาเป็นระยะเวลาตั้งแต่ 1 มกราคม พ.ศ. 2548 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2548 พบว่าจำนวน Bandwidth ของเดือน ธันวาคมมีมากที่สุด เนื่องมาจากการใช้งาน Hi-Speed Internet แบบไม่จำกัดการใช้งาน ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นแทนที่การใช้งานอินเทอร์เน็ตผ่าน พ.ศ. 2548 พบว่าจำนวน Bandwidth ของเดือน ธันวาคมมีมากที่สุด เนื่องมาจากการใช้งาน Hi-Speed Internet แบบไม่จำกัดการใช้งาน ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นแทนที่การใช้งานอินเทอร์เน็ตผ่าน โมเด็มแบบอนาล็อกบนคู่สายโทรศัพท์ อีกทั้งระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2548 โดยเฉพาะช่วงปลายเดือนธันวาคม พ.ศ. 2548 ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาวันส่งท้ายปีเก่าต้อนรับปีใหม่ผู้ใช้งาน ADSL ได้เข้าไปใช้บริการส่ง Mail ไปอวยพร, ผ่านระบบ Chat หรือ ส่งข้อความอวยพรจาก Website ไปยังหมายเลขโทรศัพท์มือถือ ส่งผลให้จำนวน Bandwidth ของเดือนธันวาคม พ.ศ. 2548 เพิ่มขึ้นสูงกว่าเดือนที่ผ่านมาของปีเดียวกัน

4.4 ผลการวัดและวิเคราะห์กราฟฟิคแบบรายชั่วโมง ปี พ.ศ. 2548

จากรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 แสดงถึงผลการวัดกราฟฟิคแบบรายชั่วโมงปี พ.ศ. 2548 โดยได้ทำการตั้งวัดกราฟฟิคของผู้ใช้ ADSL จำนวน 100 รายที่กระจายอยู่ทั่วกรุงเทพและปริมณฑล จาก

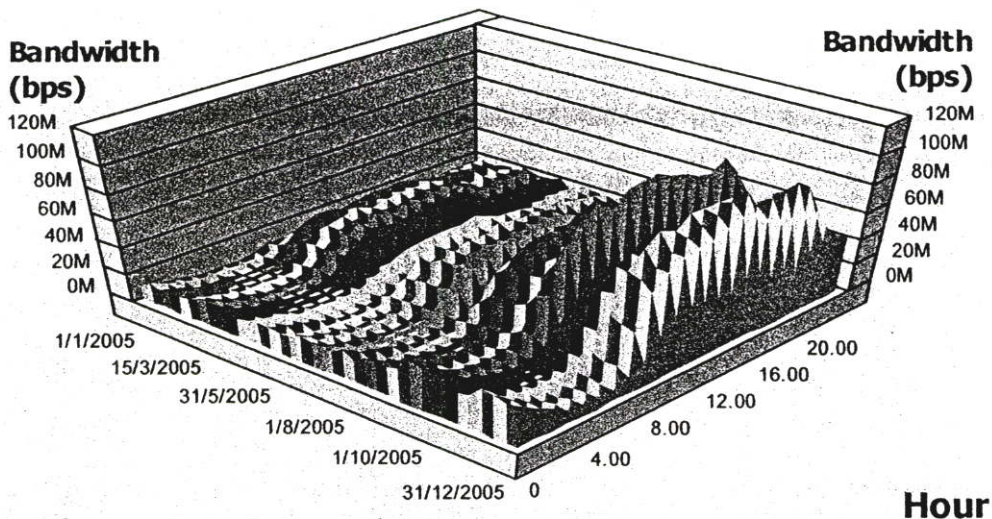


รูปที่ 4.8 ผลการวัดกราฟฟิคแบบรายชั่วโมง ปี พ.ศ. 2548 ลักษณะของกราฟเส้น

วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2548 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2548 โดยได้สุ่มจำนวนผู้ใช้งานเฉพาะวันที่ 1, 15 และทุกสิ้นเดือนของทุกเดือนและทุกๆ ชั่วโมง ผลการวัดกราฟฟิค พบว่าจำนวน Bandwidth

ที่มีการใช้งานมากที่สุดคือ ในช่วงเวลา 15:00 น. ถึง 16:00 น. จากการตรวจสอบข้อมูลที่ทำให้การตั้ง
 วัตถุประสงค์พบว่าสาเหตุที่ทำให้มีการใช้งานกราฟฟิคในช่วงเวลาดังกล่าวมากที่สุดเนื่องมาจาก

Bandwidth by Hour on 2005



รูปที่ 4.9 ผลการวัดกราฟฟิคแบบรายชั่วโมง ปี พ.ศ. 2548 ลักษณะของ 3D honeycomb surface chart

ปัจจัยหลักอยู่ 3 กลุ่มคือ

- กลุ่มผู้ใช้ที่เป็นหน่วยงานราชการ สาเหตุที่มีการใช้ Bandwidth ในช่วงเวลานี้มาก เนื่องจากเป็นช่วงเวลาใกล้เลิกงาน ต้องมีการ โหลดข้อมูล, สํารองข้อมูลจากสำนักงานต่างสาขา หรือควบคุมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ต่างสาขาระหว่างหน่วยงานที่ใช้ ADSL ต่อแบบ VPN (Virtual Private Network) รวมทั้งมีการ ใช้งานจากเจ้าหน้าที่ที่ใช้งานอินเทอร์เน็ตหลังจากมีการทำงานมา ทั้งวัน

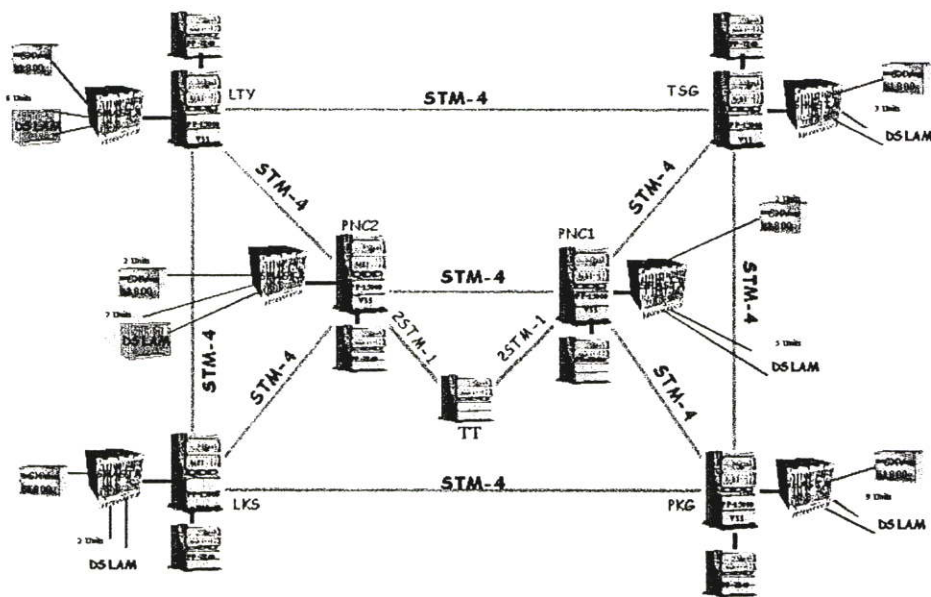
- กลุ่มสถาบันการศึกษาที่นำเอา ADSL (ซึ่งยังใช้ความเร็วที่ 256 kbps อยู่) มาต่อกับ Router หรือ Port Sharing เพื่อกระจายให้นักเรียน, นักศึกษาให้ใช้งานอย่างทั่วถึง หลังจากว่างเว้นจากการเรียนหรือหลังเลิกเรียน

- กลุ่มร้านที่ให้บริการอินเทอร์เน็ต โดยนำเอา ADSL (ซึ่งยังใช้ความเร็วที่ 256 kbps อยู่) ต่อกับ Router หรือ Port Sharing เพื่อกระจายให้ลูกค้าซึ่งมีทั้งนักเรียน, นักศึกษาที่นอกเหนือจาก กลุ่มข้างต้นและประชาชนทั่วไปได้ใช้งาน

4.5 แนวทางในการแก้ไขปัญหาเมื่อ Bandwidth มีการใช้งานเป็นจำนวนมาก

- จากกราฟฟิคที่วัดได้แบบรายชั่วโมงทำให้ทราบถึงปัญหาว่าเนื่องจากมีการนำเอา Hi-Speed Internet ที่ความเร็ว 256 kbps ใช้งานที่ไม่เหมาะสมจำนวนต่อของความเร็วจ่ายให้ได้ จึงควรนำเสนอให้หน่วยงาน สถาบันการศึกษา และร้านอินเทอร์เน็ตเปลี่ยนไปเลือกใช้บริการความเร็วที่สูงขึ้น ซึ่งจะสามารถแก้ปัญหของกราฟฟิคมีลักษณะเป็นคอขวดภายในโครงข่ายของร้านได้อีกทางหนึ่งด้วยเช่นกัน

4.6 นำเสนอแนวทางในคำนวณค่ากราฟฟิคเพื่อรองรับแพฟฟิคที่เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.10 ลักษณะการเชื่อมต่อของโครงข่าย Broadband เดิม

จากรูปข้างต้น เป็นโครงข่ายที่มีการเชื่อมต่อกันอยู่บนโครงข่าย ATM เป็นหลัก เรากำหนดให้ทั้งโครงข่ายมี 6 CSN (Centralized Switching Node) ประกอบไปด้วย LTY, TSG, PNC2, PNC1, LKS, PKG และประกอบไปด้วย DSLAM (Digital Subscriber Line Access Module) จำนวน 300 DSLAM อยู่ใน RCU (Remote Concentrator Unit) บนโครงข่าย ATM นี้จะมีทั้งการให้บริการ ADSL, Metronet และ VoIP ซึ่งจะครอบคลุมเขตพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล

ซึ่งจะสามารถรองรับผู้ใช้บริการได้ทั้งหมด 100,000 ราย ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการ Metronet 100 อาคาร

4.6.1 วิเคราะห์กราฟฟิกของผู้ใช้งาน ADSL

ได้กำหนดเงื่อนไขดังต่อไปนี้เพื่อใช้ในการคำนวณ

- กำหนดให้อัตราส่วนของ Bandwidth ต่อผู้ใช้งานเท่ากับ 768 kbps ใช้อัตราส่วนเท่ากับ 1:25 จะมี Bandwidth ต่อผู้ใช้งาน ทั้งโครงข่าย = $(768\text{kbps}/25) = 30 \text{ kbps}$
- อัตราส่วนของกราฟฟิกของ External และ Local คือ 2:8

External หมายถึง กราฟฟิกที่ส่งไปยัง ISP ซึ่งมีประมาณ 20%

Local หมายถึง กราฟฟิกที่วิ่งภายในโครงข่าย มีประมาณ 80%

ตารางที่ 4.1 แสดง Link ระหว่าง Routers, IDC, และ Internet

Link		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Traffic of ADSL (Mbps)	Internet access		750		750								
	IDC									1200	1200		
	External											300	300
	Subtotal	0	750	0	750	0	0	0	0	1200	1200	300	300

จากตารางข้างต้นสามารถขยายความได้ดังนี้ กราฟฟิกแต่ละ CSN มีเท่ากับ $100,000/4 * 30 \text{ kbps} = 750 \text{ Mbps}$ สำหรับ LTY สังเกตที่ Link หมายเลข 2 ซึ่งต่อไปยัง PNC2 จะถูกแยกเป็น 2 ส่วน คือ ส่งไปยัง Internet และ IDC

- สามารถหาค่า Bandwidth ของ Link 9 หรือที่ส่งไปยัง IDC เท่ากับ $80% * 750 \text{ Mbps}$ มีค่าเท่ากับ 600 Mbps

- สามารถหาค่า Bandwidth ของ Link 11 หรือที่ส่งไปยัง ISP เท่ากับ $20% * 750 \text{ Mbps}$ มีค่าเท่ากับ 150 Mbps

ในกรณีของ PNC1, PNC2 และ TSG สามารถหาได้ในลักษณะเดียวกับซึ่งเป็นที่มาของตารางที่ 4.1

4.6.2 วิเคราะห์กราฟฟิกของ Metronet

กำหนดให้ 100 Metronet ต่ออยู่กับ 4 CSN และแต่ละอาคารจะมีการใช้ Bandwidth เท่ากับ 40 Mbps แบ่งเป็น 10 Mbps เป็นส่วนของ Internet Access และ 30 Mbps เป็นส่วนของ Interconnect

- โดยให้ LTY ต่ออยู่กับ 35 Metronet สามารถคำนวณค่ากราฟฟิกเท่ากับ $35 * 10 \text{ Mbps}$ เท่ากับ 350 Mbps

- กราฟฟิกของ Link 9 คือส่งจาก LTY ไปยัง IDC เท่ากับ $80% * 350 \text{ Mbps} = 280 \text{ Mbps}$

- ทราฟฟิคของ Link 11 คือส่งจาก LTU ไปยัง Internet เท่ากับ $20\% * 350 \text{ Mbps} = 70 \text{ Mbps}$ ซึ่งจะแสดงค่าดังตารางที่ 4.2 ในการคำนวณหาทราฟฟิคในแต่ละ Link

ในส่วนการให้บริการ Interconnect ตัวอย่างเช่น ทราฟฟิคระหว่าง LTU และ TSG จากข้อกำหนดข้างต้น กำหนดให้ 30 Mbps เป็นส่วนของทราฟฟิค Interconnect ดังนั้นทราฟฟิคแต่ละตัวที่ต่ออยู่กับ Interconnect โดยไม่รวมตัวมันเองเท่ากับ $30 \text{ Mbps} / 99 = 0.3 \text{ Mbps}$ ซึ่งกำหนดให้ LTU ต่ออยู่กับ Node ทั้งหมด 15 Node ของ TSG จำนวนทราฟฟิคเท่ากับ $0.3 \text{ Mbps} * 15 = 4.5 \text{ Mbps}$ ดังนั้นรวม Node ที่ต่อรวมอยู่กับ LTU เองทั้งหมดมี Node เท่ากับ 35 Node จำนวนทราฟฟิค Interconnect ระหว่าง LTU และ TSG เท่ากับ $4.5 \text{ Mbps} * 35 = 158 \text{ Mbps}$ ซึ่งทราฟฟิคของแต่ละ link จะแสดงดังตารางที่ 4.3 ซึ่งหากรวมทราฟฟิคของในส่วน Internet Access และ Interconnect เข้าด้วยกันแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 จำนวนทราฟฟิคที่ใช้งานในแต่ละ Link

Link		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Traffic of MetroNet (Mbps)	Internet access		350		150								
	IPC									400	400		
	External											120	120

ตารางที่ 4.3 จำนวนทราฟฟิคที่ใช้งานในแต่ละ Link ในส่วนของ Interconnect

Link		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Interconnect	593	225	158	525								

ตารางที่ 4.4 ทราฟฟิคที่ใช้งานในแต่ละ Link ในส่วนของ Interconnect และ Internet access

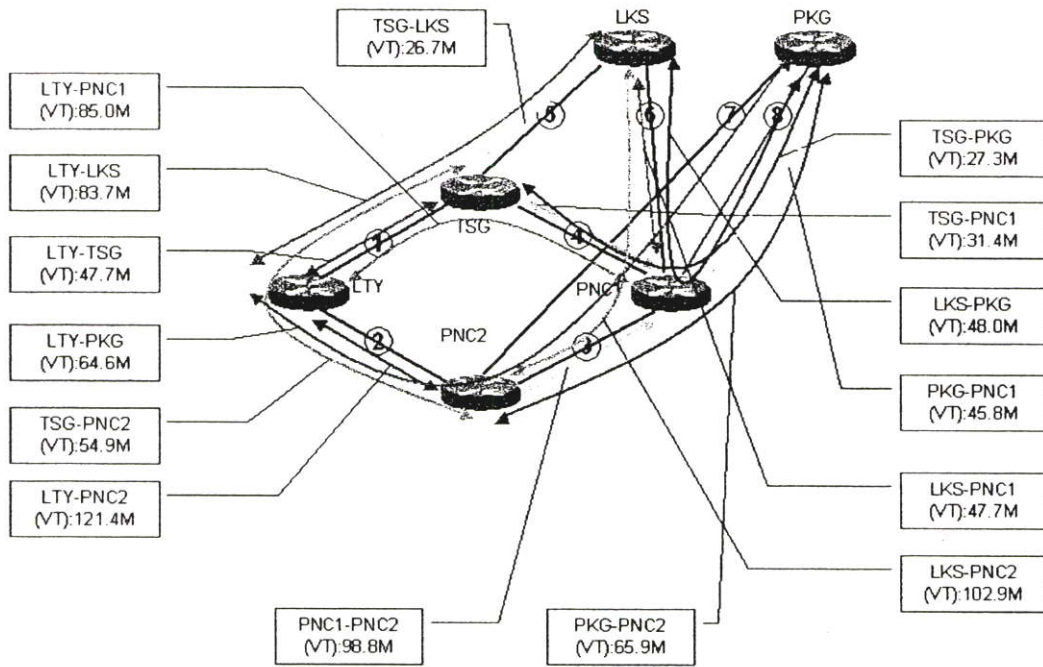
Link		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Traffic of MetroNet (Mbps)	Internet access		350		150								
	IPC									400	400		
	External											120	120
	Interconnect	593	225	158	525								
	Subtotal	593	575	158	675	0	0	0	0	400	400	120	120

4.6.3 วิเคราะห์ทราฟฟิคของ Virtual Trunk

ทราฟฟิคในแต่ละ CSN ซึ่งทราฟฟิคเป็นลักษณะสองทิศทางแต่มีขนาดของทราฟฟิคไม่เท่ากัน ตารางที่ 4.5 แสดงถึงค่าของ Bandwidth ของ Virtual Trunk ที่ให้บริการ VoIP

ตารางที่ 4.5 Bandwidth ของ Virtual Trunk ที่ให้บริการ VoIP ในแต่ละ Link

Link		1	2	3	4	5	6	7	8
Virtual Trunk		271	241	268	144	110	199	65	187



รูปที่ 4.11 รูปแสดงกราฟฟิคของ Virtual Trunk

ดังนั้นสามารถหาผลรวมของกราฟฟิคในส่วนของ ADSL, MetroNet และ Virtual Trunk ที่ให้บริการ VoIP ได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 กราฟฟิคในส่วนของ ADSL, MetroNet และบริการ VoIP

Link		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Traffic of MetroNet (Mbps)	Internet access		350		150								
	IDC									400	400		
	External											120	120
	Interconnect	593	225	158	525								
	Subtotal	593	575	158	675	0	0	0	0	400	400	120	120
Traffic of ADSL (Mbps)	Internet access		750		750								
	IDC									1200	1200		
	External											300	300
	Subtotal	0	750	0	750	0	0	0	0	1200	1200	300	300
Virtual Trunk		271	241	268	144	110	199	65	187				
Total		864	1566	425	1569	110	199	65	187	1600	1600	420	420

จากตารางที่ 4.6 จะได้ผลรวมของแต่ละ Link ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่า Bandwidth 2.5 Gbps เพียงพอสำหรับการใช้งานของ Network ที่มีการใช้งานสูงสุดที่ประมาณ 1569 Mbps หากในอนาคตต้องการเพิ่ม IDC ให้มากขึ้นเช่นที่ LTY หรือ TSG ซึ่ง Link 2 และ 4 จะใช้ Bandwidth น้อยกว่า 1 Gbps

4.7 นำเสนอแนวทางในการออกแบบโครงข่าย ADSL อีกหนึ่งแนวคือเพิ่ม BER

จากทฤษฎี Central Limit Theorem (CLT) ซึ่งเป็นทฤษฎีที่ว่าด้วยการกระจายแบบปกติของค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง [2] โดยกล่าวว่าหากมีประชากร ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ และความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ σ ถ้าสุ่มกลุ่มตัวอย่างจำนวนหลายๆ กลุ่มจากประชากรกลุ่มนี้ แล้วนำค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่ได้จากการคำนวณมากระจาย จะ ได้ค่าเฉลี่ยของ

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left\{ \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n - n\mu}{\sigma\sqrt{n}} \leq \right\} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{x^2}{2}\right] dx \quad (4.1)$$

เมื่อ $x_1 + x_2 + \dots + x_n$ เป็นตัวแปรเชิงสุ่ม

ถ้ามีประชากรขนาดใหญ่หนึ่งกลุ่ม ที่มีการกระจายของประชากรแบบปกติค่าเฉลี่ย = μ ค่าความแปรปรวน = σ^2 แล้วถ้ามีการสุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม โดยให้ตัวแปรเชิงสุ่ม X แทนค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่มีขนาด n_1 และตัวแปรเชิงสุ่ม Y แทนค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่มีขนาด n_2 โดยที่มีการสุ่มตัวอย่างจากประชากร ของกลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มนั้นเป็นอิสระกัน จาก Central Limit Theorem ได้ถ้ากลุ่มตัวอย่างเป็นอิสระกันขนาด n_1 และ n_2 ถูกสุ่มจากประชากรที่มีค่าเฉลี่ย = μ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน = σ แล้วการกระจายของผลรวมค่าเฉลี่ย ของกลุ่มตัวอย่างจะมีการกระจายแบบปกติ โดยหาค่าเฉลี่ย ($\mu_{x,y}$) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\mu_{x,y}$) ได้ดังนี้

$$\text{เมื่อ } X : E(X) = \mu_x : V(X) = \sigma^2$$

$$\text{เมื่อ } Y : E(Y) = \mu_y : V(Y) = \sigma^2$$

$$W = X+Y \quad (4.2)$$

$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (4.3)$$

$$f_y(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (4.4)$$

$$f_w(w) = f_x(x) * f_y(y) = \int_{-\infty}^{\infty} f_x(x) - f_y(w-x) dx$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma^2}\right] \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{(w-x-\mu_y)^2}{2\sigma^2}\right] dx$$

$$= \frac{1}{2\sigma\sqrt{\pi}} \exp\left[-\frac{(w - (\mu_x + \mu_y))^2}{4\sigma^2}\right] \quad (4.5)$$

$$E(W) = \mu_x + \mu_y \quad (4.6)$$

$$V(W) = 2\sigma^2 \quad (4.7)$$

จะเห็นได้ว่าเมื่อกลุ่มตัวอย่างที่อิสระต่อกัน มีลักษณะการกระจายตัวของตัวแปรที่ได้จากค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง เป็นแบบปกติ ค่าเฉลี่ยรวมของกลุ่มตัวอย่างจะมีค่าเป็น 2 เท่าของค่าเฉลี่ยของประชากร และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะเป็น $\sqrt{2}$ ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร ดังนั้นกรณีทราฟฟิกที่มีลักษณะการกระจาย ของค่าเฉลี่ยจากกลุ่มตัวอย่างที่ได้จากการสุ่มหลายๆกลุ่มที่มีการกระจายเป็นแบบปกติสามารถหาค่าเฉลี่ย และค่าความแปรปรวนของประชากร ซึ่งเป็นสมาชิกผู้ให้บริการ (Subscribers) ได้จากสมการดังนี้

$$\left. \begin{aligned} W &= X \cdot N \\ E(W) &= N \cdot \mu_x \\ V(W) &= N \cdot \sigma_x^2 \end{aligned} \right\} \quad (4.8)$$

ได้นำเสนอแนวทางในการออกแบบโครงข่ายอีกหนึ่งแนวทางนอกเหนือจากอีกวิธีการออกแบบโครงข่ายในเอกสารภาคผนวก ก. เพื่อเป็นอีกแนวทางเลือกหนึ่ง ในการออกแบบขนาดวงจรเชื่อมโยงของโครงข่าย ADSL ควรมีความสามารถพอ ที่จะรองรับความต้องการในสภาวะปกติของสมาชิกผู้ให้บริการได้ เว้นแต่กรณีที่มีการใช้งานอย่างคับคั่งเกินไป อย่างไรก็ตามในการออกแบบต้องคำนึงถึงค่าสูญเสียของค่าใช้จ่าย และ Bandwidth ด้วย ดังนั้นในการออกแบบ ให้ค่าเทฟฟิคเฉลี่ยต่ำกว่าความจุของวงจรเชื่อมโยงอย่างน้อยเป็น 3 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} m - \mu &= 3 \cdot \sigma \\ \mu &= \mu_0 \cdot N \quad \text{และ} \quad \sigma = \sigma_0 \cdot \sqrt{N} \\ m &= \mu + 3 \cdot \sigma = \mu_0 \cdot N + 3 \cdot \sigma_0 \cdot \sqrt{N} \end{aligned} \quad (4.9)$$

เมื่อกำหนดให้

$$\begin{aligned} m &= \text{ความจุของวงจรเชื่อมโยง} \\ \mu_0 &= \text{เทฟฟิคเฉลี่ยของสมาชิกผู้ให้บริการ 1 ราย} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_0 &= \text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมาชิกผู้ให้บริการ 1 ราย} \\ N &= \text{จำนวนสมาชิกผู้ให้บริการทั้งหมด}\end{aligned}$$

4.7.1 จำนวนสมาชิกผู้ให้บริการต่อวงจรเชื่อมโยง

จากสมการ (4.9) เมื่อทราบจำนวนของสมาชิกผู้ให้บริการแต่ละวงจรเชื่อมโยง ทำให้ทราบปริมาณความจุสูงสุดของวงจรมัน แต่ขนาดความจุของวงจรเชื่อมโยงระหว่าง ISP กับ BRAS แล้วต้องการทราบจำนวนสูงสุดที่สามารถรองรับสมาชิกผู้ให้บริการ หาได้จากสมการ (4.10)

$$N = \frac{2m\mu_0 + 9\sigma_0^2 - \sigma_0\sqrt{36m\mu_0 + 81\sigma_0^2}}{2\mu_0^2} \quad (4.10)$$

จากสมการของ Bit Error Rate

$$P_b = \sum_{d=f}^{\infty} c_d P_d \quad (4.11)$$

$$P_d = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left[\sqrt{dR \frac{E_b}{N}} \right] \quad (4.12)$$

$P_b = \text{Pairwise error}$

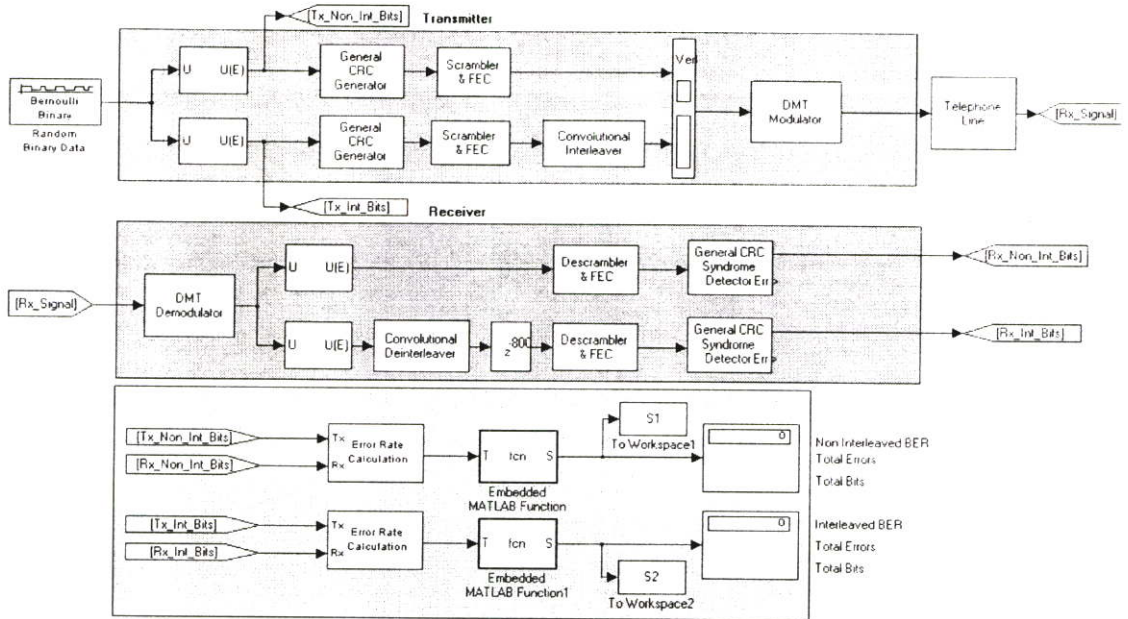
$R = \text{code of } \frac{1}{2}$

$\operatorname{erfc} = \text{MATLAB complementary function}$

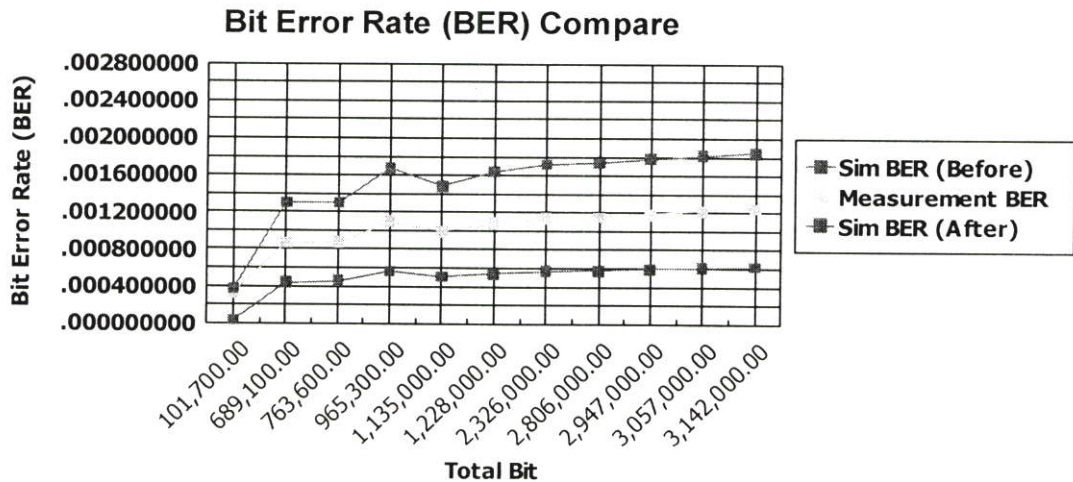
$$\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\pi} \int_x^{\infty} e^{-t^2} dt \quad (4.13)$$

ได้จำลองการทำงานของ ADSL ใน MATLAB เพื่อหาค่า BER (Bit Error Rate) เพื่อทำเป็นค่าอ้างอิงในการนำไปเปรียบเทียบกับ Bit Error Rate ที่ได้จากการ Simulation MATLAB หลังจากได้นำสมการ 4.10 ใส่อำเข้าไปใน Block Diagram 256-Channel ADSL ของ MATLAB ดังรูปที่ 4.10

256 Channel ADSL - ITU-T G.992.1



รูปที่ 4.12 การนำเอสมการ 4.10 เข้าไปเพิ่มใน ADSL เพื่อหาค่า BER



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังที่จะมีการปรับปรุงค่า BER

จากรูปที่ 4.12 แสดงค่า Bit Error Rate (BER) ของค่าที่ Simulation จาก MATLAB คือ เส้นกราฟชื่อว่า "Sim BER (Before)" เปรียบเทียบกับค่าที่มีการปรับปรุงค่า BER คือกราฟที่ชื่อว่า "BER Sim (After)" และ เปรียบเทียบกับค่า BER ที่เกิดจากการวัดที่มีชื่อเส้นกราฟว่า "Measurement BER" จากกราฟที่มีการเปรียบเทียบแสดงได้ว่าการนำเสนอแนวทางในการออกแบบโครงข่ายทำให้แนวทางนี้เป็นแนวทางที่เป็นไปได้ว่าทำ BER ตีกว่าค่าเดิม

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

ADSL เป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยมจากผู้ใช้งานในภาคธุรกิจและประชาชนทั่วไป จะเห็นได้ว่ามีการให้บริการที่เติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นต้องวางแผนในการออกแบบเชื่อมต่อโครงข่าย ให้มีความสามารถเพียงพอที่จะรองรับปริมาณทราฟฟิกได้และต้องให้โครงข่ายที่มีอยู่เดิมใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาลักษณะของทราฟฟิกที่เกิดขึ้น และลักษณะของทราฟฟิกที่แบ่งกลุ่มตามรายชั่วโมง, แบ่งกลุ่มตามรายวัน และ แบ่งกลุ่มตามรายเดือน โดยข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์มีประมาณ 1 ปี แล้วนำค่า ไปวิเคราะห์ และคำนวณเพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงปัญหาทราฟฟิกที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยพิจารณาจากสภาพการใช้งานจริง ให้สามารถใช้งานจริงที่วางอยู่ในขณะนั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

จากการศึกษาลักษณะของทราฟฟิก ADSL เพื่อหาช่วงเวลาของทราฟฟิกที่มีการจับใช้งานมากๆ จะพบว่าพฤติกรรมของผู้ใช้งานทราฟฟิก ADSL มีมากที่สุดในช่วงเวลา 15:00 น. ถึง 16:00 น. ของปี พ.ศ. 2548 ช่วงเดือนที่มีการใช้งานมากที่สุดคือเดือนธันวาคม สาเหตุที่ทำให้มีการใช้งานในเวลา 15:00 น. ถึง 16:00 น. แบ่งได้เป็นสามกลุ่มหลักคือกลุ่มสำนักงาน ราชการ ที่ใกล้เวลาจะเลิกจากงาน ก่อนเลิกจากงานหากต้องมีการเก็บข้อมูลจากต่างสาขา หรือต้องมีการ Remote เข้าไปใช้งานอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ต่างสาขาผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ต เป็นต้น อีกกลุ่มหนึ่งคือโรงเรียนหรือสถาบันการศึกษาที่ยังไม่เปลี่ยนการให้บริการ ADSL ไปใช้งานในความเร็วที่สูงกว่า 256 kbps โดยนำเอา Router หรือ Port Sharing มาเชื่อมต่อเพื่อกระจายให้บุคลากรในสถาบันสามารถใช้งานได้อย่างทั่วถึง กลุ่มสุดท้ายที่ทำให้เกิดการใช้งานในช่วงนี้มากคือ กลุ่มร้านที่ให้บริการอินเทอร์เน็ต ADSL ที่นำเอา Router หรือ Port Sharing มาเชื่อมต่อเพื่อให้บริการลูกค้าเช่นกัน ได้นำเสนอแนวทางแก้ไขปัญหานี้ไว้ 3 วิธีคือ หากเป็นผู้ให้บริการ ADSL ควรนำเอารายงานการวัดทราฟฟิกไปนำเสนอหน่วยงานหรือร้านอินเทอร์เน็ตนั้นๆ เพื่อให้เลือกเพิ่มความเร็วในการใช้งาน ADSL ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหของหน่วยงานหรือร้านเองในแง่ของปัญหาคอขวดของทราฟฟิกภายในหน่วยงานได้อีกทางหนึ่ง หากแต่ถ้ามีการใช้งานแพฟฟิกมากๆ ได้นำเสนอแนวทางไว้ในการเพิ่มโครงข่ายให้ใหญ่กว่าเดิมซึ่งแนวทางนี้จะเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมากแต่จะทำให้โครงข่ายเพียงพอต่อความต้องการในอนาคตได้เป็นอย่างดี และได้นำเสนอแนวทางในการออกแบบโครงข่ายอีกแนวทาง ซึ่งได้ทำการพิสูจน์กับการ Simulate ใน MATLAB เพื่อเปรียบเทียบ BER ที่เกิดขึ้นกับการออกแบบโครงข่าย สามารถพิสูจน์ได้ในระดับหนึ่งว่าน่าจะเป็นแนวทางที่ทำให้เกิด BER น้อยลง

เนื่องด้วยเกิดการแข่งขันในการให้บริการ ADSL จากผู้ให้บริการเป็นจำนวนมากในแง่ของการส่งเสริมการตลาดในการให้บริการแบบจ่ายราคาเดียวสามารถใช้งาน ADSL ได้ตลอดไม่จำกัดเวลาทำให้เกิดปัญหากราฟฟิคของ ADSL มีการคับคั่งมากกว่าปกติรวมทั้งมีการใช้งานในลักษณะของ Peer to Peer ทำให้มีแนวความคิดในการออกแบบเพื่อขยายโครงข่าย ADSL ให้เหมาะสมกับการใช้งานมากขึ้น ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ยังไม่ได้กล่าวถึงที่ทำให้ผู้ใช้งาน ADSL มีประสิทธิภาพมากขึ้น ในบทที่ 3 ได้นำเสนอแนวทาง เทคโนโลยีใหม่ที่เกี่ยวข้องหรือพัฒนาต่อจาก ADSL เพื่อให้มีการใช้งานบนเครือข่ายเดิมและเปรียบเทียบกับโครงข่ายประเภทอื่นว่าเป็นอย่างไร

บรรณานุกรม

- [1] R. ชูศรี วงศ์รัตน์. “เทคนิคการใช้สถิติเพื่อการวิจัย” ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พิมพ์ครั้งที่ 4, หน้า 60-131, กรกฎาคม 2530.
- [2] รสสุคนธ์ หังสพฤกษ์. “สถิติวิเคราะห์เบื้องต้น” ฝ่ายตำรามหาวิทยาลัยรามคำแหง พิมพ์ครั้งที่ 5, หน้า 35-53, สิงหาคม 2530.
- [3] Geneva, “Draft New Recommendation G.992.1: Asymmetrical Digital Subscriber Line (ADSL) Transceivers (ex G.dmt)”, International Telecommunication Union (ITU), Switzerland, 1999.
- [4] I. Mann, S. McLaughlin, W. Henkel, R. Kirkby, and T. Kessler, “Impulse generation with appropriate amplitude, length, interarrival, and spectral characteristics,” *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 20, pp. 901–912, June 2002.
- [5] W. Henkel, T. Kessler, and H. Y. Chung, “Coded 64-CAP ADSL in an impulse-noise environment—Modeling of impulse noise and first simulation results,” *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 13, pp. 1611–1621, Dec. 1995.
- [6] D. B. Levey and S. McLaughlin, “Calculating error-free seconds in xDSL systems corrupted by impulse noise,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 5, pp. 319–321, July 2001.
- [7] J. W. Modestino and D. H. Sargrad, “Use of coding to combat impulse noise on digital subscriber loops,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 36, pp. 529–537, May 1988.
- [8] N. Nedev, S. McLaughlin, D. Laurenson, and R. Daley, “ATM cell error performance of xDSL under impulse noise,” in *Proc. Int. Conf. Communications*, vol. IV, Helsinki, Finland, pp. 1254–1258, June 2001.
- [9] S. B. Wicker, *Error Control Systems for Digital Communication and Storage*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1995.
- [10] Z.L.Zhang, V.Ribeiro, S.Moon, and C.Diot. Small time scaling behavior of Internet backbone traffic: An empirical study. In *Proc. Infocom 2003*.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. S. Noppakeepong, Y. Srimukda, N. Leelaruji, “**Design pure IP solutions on ADSL, MetroNet and VoIP network,**” International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC’2006), Chiang Mai, Thailand, July 10-13, 2006.

ITC-CSCC 2006

*The International Technical Conference on
Circuits/Systems, Computers and Communications*

PROCEEDINGS

VOLUME II



Sponsored By

- THE ELECTRICAL ENGINEERING/ELECTRONICS, COMPUTER, TELECOMMUNICATIONS AND INFORMATION ASSOCIATION (ECTI), THAILAND**
- THE INSTITUTE OF ELECTRONICS ENGINEERS OF KOREA (IEEK), KOREA**
- THE INSTITUTE OF ELECTRONICS, INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS (IEICE), JAPAN**
- NATIONAL ELECTRONICS AND COMPUTER TECHNOLOGY CENTER, THAILAND**

DESIGN PURE IP SOLUTIONS ON ADSL, METRONET AND VOIP NETWORK

Yuttana Srimukda, Suthichai Noppanakeepong, Nipha Leelaruji

Telecommunication Department, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand, s4061740@kmitl.ac.th,
knsuthic@kmitl.ac.th, klnipa@kmitl.ac.th

ABSTRACT

This paper provides technical proposals for new ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), MetroNet and VoIP (Voice over Internet Protocol) network. This solution can be called "Pure IP solution on ADSL, MetroNet and VoIP network", which means the new ADSL, MetroNet, and VoIP network is mainly based on IP technology. Now IP technology and "Everything on IP" is a trend, which will integrate data, voice, text, graphic, and video seamlessly in the united data network. Compared to traditional IP technology, which cannot guarantee QoS (Quality of Service); the new IP technology that integrates MPLS (Multi-protocol Label Switching) technology, TE technology etc, has overcome the shortage of traditional IP technology, which offers a solid foundation for evolution to NGN (Next Generation Network) network. Hereinafter, in this paper will give a detail description of the network design, respective system.

1. OVERALL NETWORK DESIGN ARCHITECTURE

1.1 Overall Network Design Architecture Requirements Analysis

The existing ADSL, MetroNet, VoIP network is shown in Fig. 1. It is ATM based network comprise six ATM core nodes, BRAS, several ATM edge nodes and 300 DSLAMs. We assume 6 Centralized Switching Nodes (CSN) as L, P2, P1, T, L2, and P11 for broadband network in Bangkok Metropolitan Area. We have deployed the Digital Subscriber Line Access Module (DSLAM) into 300 sites of Remote Concentrator Unit (RCU) with the ADSL, MetroNet, VoIP Subscriber Management System (SMS) in 6 Centralized Switching Nodes (CSN). Such network overlaying the ATM backbone has given the ADSL, MetroNet, VoIP service to both Business and Residential. We assume plans to expand the Existing ADSL, MetroNet, and VoIP Network. The new ADSL, MetroNet, VoIP network will have full coverage in the

Bangkok Metropolitan Area with a total capacity of 100,000 subscribers, and to expand the Existing MetroNet Network to cover additional 100 buildings.

We have the intention to designate a nearby RCU as a Pseudo TN (PTN) to represent the new Core Network Node, which will be the root node for the FOB Distribution Network to its subordinate RCUs. The number of PTN node will be 64, and the 64 PTN consists

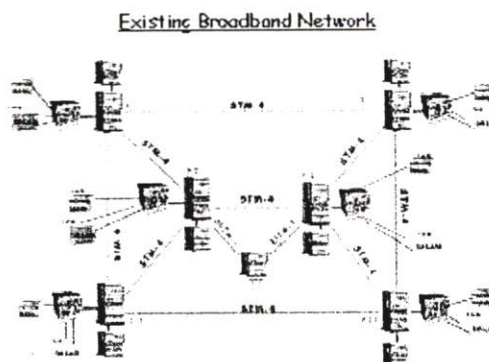


Fig. 1: Existing Broadband Network

of distribution ring. Now also provides and will expand MetroNet service for business customer to 100 buildings. 40 MetroNet will 2 rings with 20 nodes for each. The 60 MetroNet will be connected the RCU. We will offer TLS service for business customer. According to Annex 6 & 7, the DSLAM capacity for RCU varies from 16 ports to 656 ports.

1.2 Bandwidth Analysis Of over Overall Network Design Architecture Requirements

To ensure the bandwidth for all the traffic including ADSL, MetroNet, VoIP and reservation for the future services, we should calculate the traffic in detail. Here, we will analysis it in three parts separately: ADSL,

MetroNet and Virtual Trunk. After that, we can acquire the total traffic consumption by adding them together.

2. ADSL SUBSCRIBER TRAFFIC

To identify the links between the routers, IDC and Internet, we mark them with a number as shown in the Table 1. Before calculate we should make two assumptions: According to assumption, the bandwidth per subscriber is 768 Kbps at concentration ratio of 1:25. That means each subscriber will occupy 768 Kbps/25 = 30 Kbps bandwidth of the backbone.

The ratio between external and local traffic is 2:8. That means 80% of the ADSL Internet access traffic will go to the IDC (which will be set at the P2 node and connect to both P1 and P2), while 20% will go external through the ISP.

Table 1: Links between the routers, IDC and Internet

Link		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Traffic of ADSL (Mbps)	Internet access		750		750								
	IDC									1200	1200		
	External											300	300
	Subtotal	0	750	0	750	0	0	0	0	1200	1200	300	300

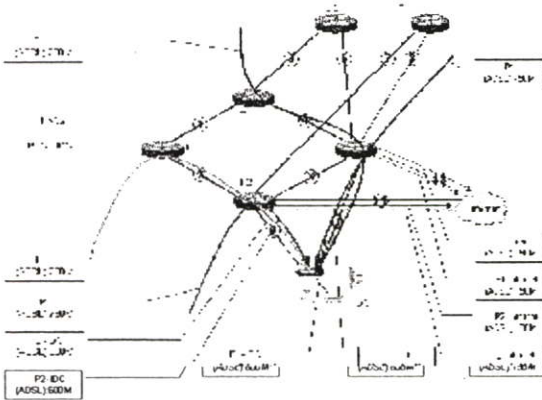


Fig. 2: Traffic Analysis – ADSL subscriber

Base on these assumption, we know that the traffic concentrated to each CSN is $100,000/4 * 30 \text{ Kbps} = 750 \text{ Mbps}$. For L, it will go through link 2 to P2 and after that divide into 2 parts, $80\% * 750 \text{ Mbps} = 600 \text{ Mbps}$ goes to IDC through link 9, $20\% * 750 \text{ Mbps} = 150 \text{ Mbps}$ goes to ISP through link 11. We can get the link consumption of P1, P2 and T in the same way. Then we add them together, we get the Table 2 below:

3. METRONET TRAFFIC

Totally, there are 100 MetroNet nodes connecting to the four CSNs. 40 in the MetroNet ring and 60 attached to the PTN ring. We assume that these 60 nodes distributes averagely. So there are 15 nodes attached to P2 and T, 35 nodes attached to L and P1 as shown in the Fig.2.

According us to requirement, each building should be equipped with at least 40 Mbps bandwidth. We assume

that among 40 Mbps, 10 Mbps is for Internet access while 30 Mbps for interconnect. Let us calculate the Internet access service first. Take L for example, it connects to 35 MetroNet nodes, the Internet access traffic will be $35 * 10 \text{ Mbps} = 350 \text{ Mbps}$, $80\% * 350 \text{ Mbps} = 280 \text{ Mbps}$ of which go through link 9 to IDC and $20\% * 350 \text{ Mbps} = 70 \text{ Mbps}$ will go through link 11 to Internet. Each CNS's traffic is shown in the Fig.2. Through this, we can get the traffic consumption Table 3 below:

Table 2: Traffic consumption of Internet access, IDC and External

Link		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Traffic of MetroNet (Mbps)	Internet access		350		150								
	IDC									400	400		
	External											120	120

Concerning the interconnect service. Let's take the traffic between L and T for example. Averagely, the bandwidth MetroNet node occupied to interconnect with each other is $30 \text{ Mbps}/99 = 0.3 \text{ Mbps}$. So each node attached to L will connect with all the nodes (15 totally) attached to T with $0.3 \text{ Mbps} * 15 = 4.5 \text{ Mbps}$. Totally, since L has 35 nodes, the bandwidth interconnected between L and T will be $4.5 \text{ Mbps} * 35 = 158 \text{ Mbps}$. Each interconnect traffic is shown indicated in the table. Through this, we can calculate all the traffic as shown in the following Table 4.

Table 3: Traffic consumption between L and T

Link		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Traffic of MetroNet (Mbps)	Interconnect	99	22	19	52								
	Internet access		350		150								
	IDC									400	400		
	External											120	120
	Interconnect	99	22	19	52								
	Subtotal	99	575	129	675	0	0	0	0	400	400	120	120

4. VIRTUAL TRUNK

We draw the picture below that shows the traffic between each CSN. When the two-direction traffic is not balanced, we take the higher one into account to ensure the bandwidth.

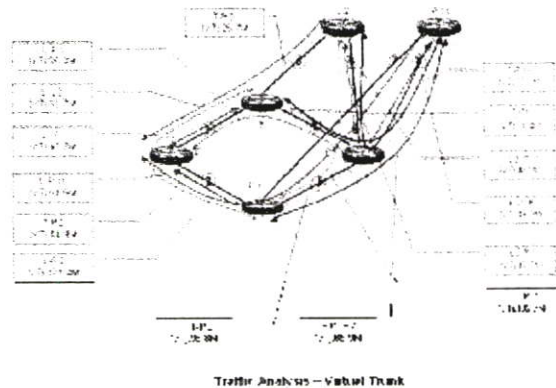


Fig. 3: Traffic Analysis – Virtual Trunk

Table 4: Bandwidth each link.

Link	1	2	3	4	5	6	7	8
Virtual Trunk	271	241	268	144	110	199	65	187

After careful calculation, we got the following Table 4, which indicate the bandwidth occupied by the VoIP service of each link.

5. ADSL ACCESS SYSTEM

The ADSL access system is shown in Fig. 4

According to Annex 6 & 7, the DSLAM capacity varies from 16 ports to 656 ports. Considering about the cost, we propose two types DSL equipments for different capacity as below.

(1) Capacity no more than 144 lines: Mini DSLAM.

The Mini DSLAM is a compact model with 0.8G switch capacity. The Mini DSLAM is 2U high by 19 inch and provides 24 xDSL ports (24 ADSL ports or 16 ADSL port + 8 SHDSL port). Small capacity DSLAM provides 2*FE interface (one for uplink, one for cascade). 6-level cascade with Mini DSLAM provides 144 xDSL ports.

(2) Capacity more than 144 lines: Large capacity DSLAM.

The Large capacity DSLAM equipment is a modular system that comprises of a full 42U panel of 992 ports,

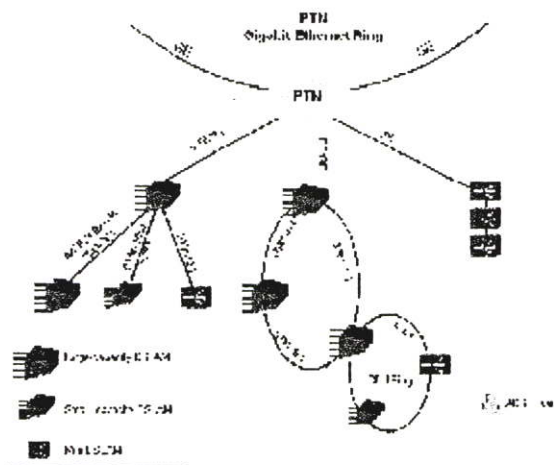


Fig. 4: Proposed ADSL access system

consisting of a main 17U chassis of 480 ports and a second (Identical) 17U chassis of 512 ports (The Small capacity DSLAM can fully function with just the 480 port chassis installed).

For RCU site with a MetroNet, we suggest large capacity DSLAM. The Large capacity DSLAM provides the most powerful network capability, and can provide FE, FE trunk or GE interface connected to MetroNet or to PTN site.

6. INTRANET MPLS – BASED L2/L3 INTEGRATION SOLUTION INTERCONNECT SERVICE

There are more and more subscribers who will benefit from the MetroNet service with higher bandwidth but lower cost. The integration between the existing ADSL, MetroNet, VoIP network and the new IP network is a focus. Based on IP/MPLS technology, the ZXR10 can integrate Ethernet service such as MetroNet TLS and ATM/Frame Relay traffic over a single shared infrastructure, to allow offer new Ethernet service and support the existing service based on ATM at the same time. We have discussed the TLS over MetroNet which is based on IP and Ethernet network. For IP/MPLS technology, it is similar in an integrated network that aggregates both IP and ATM. It is MPLS' ability to tunnel various types of traffic. In the recent Martini Drafts, the IETF has focused on specifying MPLS Layer-2 transport tunnels to accommodate Frame Relay and other forms of legacy traffic. Specifically, the Martini drafts define encapsulation and label distribution mechanisms that can be used to transport Frame Relay, ATM, Ethernet, High-level Data Link Control (HDLC) and Point-to-Point Protocol (PPP) traffic within Label Switched Paths (LSPs) across an MPLS network. One result is a network like that pictured below: A multi-purpose MPLS/Ethernet cloud that aggregates both Ethernet and Frame Relay/ATM service traffic.

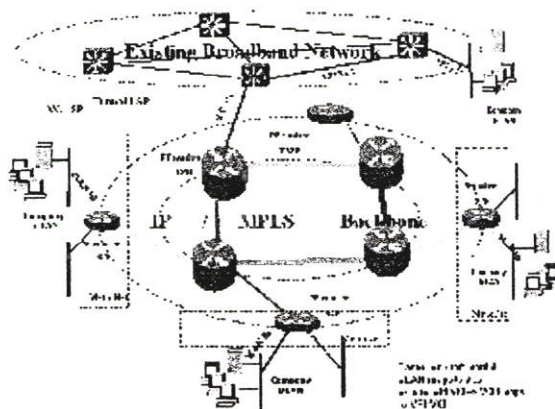


Fig. 5: MPLS L2 VPN over integrated ATM and Ethernet Network

This is a MPLS L2 VPN solution. In this solution, we propose ATM link to connect the new IP ADSL, MetroNet, VoIP network with the existing ATM based network. In CSN-P1 & PNC, the router provides one 4-port ATM155 module to connect the Nortel ATM switch PP15K.

In Fig. 6, the backbone router, router acts a PE router (provider edge router, equal to Label edge router). The

provider's equipment forwards customer data packets based on information in the packets' data link layer headers, such as ATM VPI/VCI or the Ethernet 802.1q virtual LAN (VLAN) tag. MPLS VPN technology makes it easy to realize the above integration requirement. The implementation based on IP/MPLS for the five integration model is shown in the Fig. 6.

(1) New MetroNet & Existing MetroNet

To connect with the new MetroNet and Existing MetroNet, we provide GE interface to connect the existing MetroNet ring at the backbone router. We can implement MPLS L2 VPN – TLS service. The VLAN ID is mapped into VC LSP at the entry of LER point. The packet then is forwarded through established MPLS LSP in IP/MPLS backbone. At the peer LER, the packet will be added with corresponding VLAN ID, or sent to the corresponding physical port. The IP/MPLS is transparent to the subscriber.

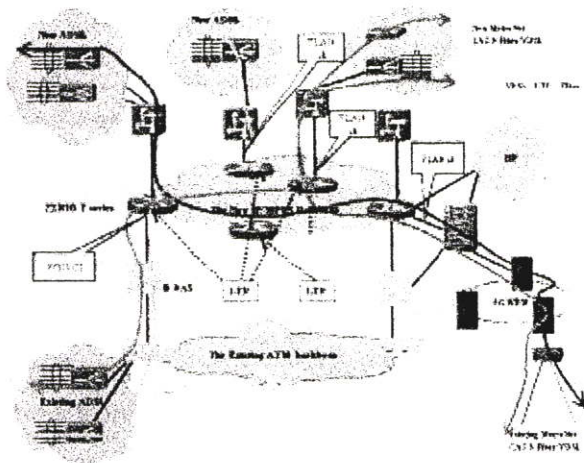


Fig. 6: MPLS VPN based integration implement solution

(2) New MetroNet & Existing ADSL

It can be implement integration based on MPLS VPN technology. The existing ADSL subscriber establishes PVC, and the PVC is terminated at the IP backbone router, which here acts as a LER. The ATM VPI/VCI is mapped into VC tunnel. The packet then is forwarded through established MPLS LSP in IP/MPLS backbone. At the peer LER, the reverse procedure is done: the L2 packet will be added with a VLAN id, or will be sent to the corresponding physical port. This is the whole procedure. The IP/MPLS network is transparent for the service.

(3) New MetroNet & New ADSL

Because this is an pure IP solution, and we propose IP uplink interface for ADSL; so the interconnect procedure is the same as New & Existing MetroNet.

(4) New ADSL & Existing MetroNet

The same implement mechanism as New MetroNet & Existing MetroNet.

(5) New ADSL & Existing ADSL

The same implement mechanism as New MetroNet & Existing ADSL.

7. CONCLUSION

We conclusion 2 points about us integration mainly:

1. The existing residential subscribers' immigration from the existing to the new Pure IP solution on ADSL, MetroNet and VoIP network.
2. Intranet Interconnect service between the existing ADSL, MetroNet, VoIP network and the new ADSL, MetroNet, VoIP network.

The MetroNet Access System shall be designed with high availability objective of 99.999% with the integrated network topology to optimize fiber utilization as well as fiber reliability as much as possible. The design criteria shall meet following assumptions:

The IP pure solution has good integration with the existing ADSL, MetroNet, and VoIP network.

8. REFERENCES

- [1] F. Hellstrand and A. Veres, "Simulation of TCP/IP Router Traffic over ATM using GFR and VBR.3," *ATM Forum 98-0087*, Feb. 1998.
- [2] O. Bonaventure, "Integration of ATM under TCP/IP to Provide Services with Minimum Guaranteed Bandwidth," *Ph.D. thesis, Univ. of Liege*, Mar. 1999.
- [3] R. Goyal, "Traffic Management for TCP/IP over Asynchronous Transfer Mode (ATM) Networks," *Ph.D. thesis, Ohio State Univ.*, 1999.
- [4] M. Labrador and S. Banerjee, "Packet Dropping Policies for ATM and IP Networks," *IEEE Commun. Surveys*, pp. 2-14, 1999
- [5] V. Rosolen, O. Bonaventure, and G. Leduc, "A RED Discard Strategy for ATM Networks and its Performance Evaluation with TCP/IP Traffic," *ACM Comp. Commun. Rev.*, July 1999.
- [6] W. Yu, G. Ginis, I. M. Ciuffi Diswibured "Power control for digital subscriber lines," *Areas Commun.*, pp. 11-15, June 2002.
- [7] R. Cendillon, W. Yu, I. Verlinden, T. Bostoen, M. Moonen. Oprimol Muhi-user Specrrum Management for Digital Subscriber Lines, *Submitted to IEEE Trans. Commun.*, 2003.
- [8] P. Duvaut et al., "Spectral Compatibility of Selectable Mask Systems for ADSL," *GlobespanVirata, ITU-T Meeting*, Geneva, Switzerland, Jan. 20-31, 2003.

ประวัติผู้เขียน

นายอุทธนา ศรีมุกดา เกิดเมื่อวันที่ 8 ตุลาคม พ.ศ.2513 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี
อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ จากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ในปีการศึกษา 2536 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรม
โทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใน
ปีการศึกษา 2544 เคยทำงานที่บริษัทเทคโนโลยีแอปพลิเคชัน จำกัด (มหาชน) เป็นเวลา 1 ปี และที่
บริษัททรูคอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) เป็นเวลา 10 ปี