

บทที่ 11

เทคโนโลยี WAN

WANs (Wide Area Network) ไม่ใช่เป็นเพียง LANs ที่ขยายออกไปในวงกว้าง แต่เป็นระบบเครือข่ายซึ่งครอบคลุมพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ขนาดใหญ่ และโดยมากจะประกอบด้วย LANs หลายวงเชื่อมต่อกันเข้าด้วยกัน แต่โดยสำคัญแล้ว WANs จะถูกแยกให้เห็นอย่างเด่นชัดด้วยเทคโนโลยีการสื่อสารที่ใช้ในการทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่ต่างเมือง ต่างรัฐ ต่างประเทศ และต่างทวีป สามารถที่จะแลกเปลี่ยนข้อมูลและแบ่งปันการใช้ข้อมูลซึ่งกันและกันได้

ถึงแม้ว่าจะต้องใช้เทคโนโลยีและสื่อในการสื่อสารแตกต่างกันเป็นจำนวนมากในการจัดตั้ง WANs แต่การส่งสัญญาณซึ่ง WANs ใช้ในการโยกย้ายข้อมูลจะมีความทำงานหลักใน physical layer และ data link layer ของระบบเครือข่าย

11.1 WANs and Enterprise Networks

WANs คือทุกสิ่งที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนข้อมูลผ่านพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ขนาดใหญ่ และยังเกี่ยวกับความสามารถในการขยายระบบเครือข่าย (scalability) ซึ่งหมายถึงความสามารถในการเติบโตของระบบเครือข่ายเพื่อรองรับปริมาณผู้ใช้ที่มากขึ้น เท่ากับที่ต้องรองรับความต้องการของผู้ใช้ในการใช้สิ่งอำนวยความสะดวกของระบบเครือข่าย ถึงแม้ว่าธรรมชาติของ WAN โดยทั่วไปจะทำให้เกิดทรูพุต (throughput) ช้า เสียเวลามาก และมีปริมาณการเกิดความผิดพลาดมากกว่าที่เกิดใน LANs แต่ WANs ก็ยังคงเร็วที่สุด และเป็นวิธีในการส่งสัญญาณข้อมูลคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในปัจจุบัน

ทุกวันนี้ ด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์ และเริ่มมีการใช้ระบบเครือข่ายอย่างแพร่หลายมากขึ้น WAN ก็ไม่มีความแตกต่างจาก enterprise network ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานในธุรกิจขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามจะเป็นประโยชน์อย่างมากหากระลึกไว้เสมอว่า ถึงแม้ WAN จะเป็น enterprise network แต่ enterprise network ไม่จำเป็นที่จะต้องเป็น WAN

ดังเช่นที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น WAN เป็นระบบเครือข่ายที่แผ่กระจายออกไปในพื้นที่กว้างโดยอาศัยโครงสร้างพื้นฐานของการสื่อสาร เช่น เครือข่ายโทรศัพท์สาธารณะหรือระบบสื่อสารอื่น คำจำกัดความเช่นนี้แสดงให้เห็นอย่างเด่นชัดว่าสามารถนำไปใช้กับ เครื่องคอมพิวเตอร์ที่จัดรูปแบบเป็น enterprise network โดยการเชื่อมโยงสำนักงานสาขาของบริษัทนานาชาติ เช่นบริษัท Microsoft, IBM และ Boeing ได้ และในกรณีเช่นนี้ enterprise network เหล่านี้ก็เป็น WAN แต่นั่นก็ไม่ใช่เป็นเพียงกรณีเดียว ถึงแม้ว่า enterprise network อาจจะประกอบด้วย การเชื่อมต่อ LANs หลายวงเข้าด้วยกัน แต่ก็ไม่จำเป็นที่จะต้องขยายออกไปในพื้นที่ทางภูมิศาสตร์เป็นวงกว้าง และเมื่อต้องอาศัยการสื่อสาร enterprise network ก็จะได้รับ การอธิบายในความหมายของแพลตฟอร์ม (platform) และ โครงสร้างสถาปัตยกรรมที่ใช้ ซึ่งสนับสนุนให้เกิดการเชื่อมต่อระหว่างระบบเครือข่าย เช่น คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล คอมพิวเตอร์ Macintosh และคอมพิวเตอร์เมนเฟรม ดังนั้นในขณะที่ WAN อาจจะเป็น enterprise network ได้ แต่ enterprise network ไม่จำเป็นที่จะต้องเป็น WAN

11.2 วิธีทางของ WAN

WANs ถูกกำหนดโดยวิธีการที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลให้ออกไปได้ไกลขึ้น นั่นคือวิธีในการสื่อสารจะเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้อง และระบบเครือข่ายที่สร้างเป็น WAN จะต้องมีการทำงานอยู่ โดยผู้บริหารระบบเครือข่ายจะต้องมีความสามารถในการตรวจสอบการขนส่งข้อมูล วางแผนในการขยาย และบรรเทาการเกิดสภาวะคอขวด แต่สุดท้ายก็คือการทำให้ WAN มีความสามารถในการจัดส่งแพ็กเก็ตข้อมูลจากสถานที่แห่งหนึ่งไปยังอีกแห่งหนึ่งผ่านโครงสร้างพื้นฐานอะไรก็ตามที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ในการทำให้ WAN ทำการเคลื่อนย้ายแพ็กเก็ตข้อมูลเหล่านั้นได้อย่างรวดเร็วและปราศจากความผิดพลาด จัดส่งแพ็กเก็ตข้อมูลและข่าวสารที่บรรจุอยู่ไปยังจุดหมายปลายทางได้ตรงตามเงื่อนไขเดียวกับที่ออกมาจากผู้ส่ง ถึงแม้ว่าแพ็กเก็ตข้อมูลเหล่านั้นจะต้องผ่านระบบเครือข่ายอื่นที่ขวางอยู่เป็นจำนวนมาก ลองย้อนไปดูคุณสมบัติที่จำแนก WANs ออกจาก LANs คือการสื่อสาร โดยการสื่อสารของ WAN จะใช้พื้นฐานของการใช้โมเด็มและเทคโนโลยีสื่อสารโทรคมนาคม (Telecommunication) แทนอนาล็อกโมเด็มเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้มีการส่งสัญญาณข้อมูลผ่านจากระบบเครือข่ายไปยังโครงสร้างพื้นฐานของระบบสื่อสารโทรคมนาคม

ลองวาดภาพระบบเครือข่ายขนาดใหญ่ที่มีระบบเครือข่ายย่อยเป็นจำนวนมาก และแต่ละระบบเครือข่ายย่อยก็มีผู้ใช้เป็นจำนวนมาก โดยผู้ใช้สามารถเห็นระบบเครือข่ายขนาดใหญ่ได้อย่างชัดเจน ทำให้ผู้ใช้เหล่านั้นรู้หรืออยากได้ข้อมูลที่ต้องการว่าอยู่บนเครื่อง server A หรือเครื่อง server B ไม่ว่าผู้ที่บุคคลเหล่านั้นต้องการสื่อสารด้วยจะอยู่ในเมือง X หรือเมือง Y หรือไม่ว่าระบบเครือข่ายที่ทำงานอยู่จะใช้โปรโตคอลแบบใดก็ตาม ผู้ใช้เหล่านั้นจะรู้เพียงว่าพวกเขาต้องการให้ระบบเครือข่ายทำงานและทำให้ได้ข้อมูลที่ต้องการอย่างเที่ยงตรง มีประสิทธิภาพ และเร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

ตอนนี้ก็ให้ลองวาดภาพสถานการณ์เดิมจากมุมมองของระบบเครือข่ายดูบ้าง ระบบเครือข่ายจะมองเห็นเครื่องคอมพิวเตอร์ระบบเครือข่าย หรือเครื่องเทอร์มินัลจำนวนนับร้อย นับพัน หรืออาจจะเป็นไปได้ที่มีมากถึงหมื่นเครื่อง และเครื่องเซิร์ฟเวอร์ประเภทต่างๆ จำนวนมาก (print server, file server, mail server และ access server ที่เสนอให้มีการเข้าถึงเครือข่ายอินเทอร์เน็ต) หากไม่คำนึงถึงประเภทของเครื่องคอมพิวเตอร์ เกตเวย์ เราท์เตอร์ และอุปกรณ์การสื่อสารที่แตกต่างกันเป็นจำนวนมาก โดยทฤษฎีแล้วอุปกรณ์ใดๆ เหล่านี้สามารถสื่อสารกับ หรือส่งสัญญาณข้อมูลผ่านอุปกรณ์อื่นได้ ตัวอย่างเช่นเครื่อง PC ใดๆ อาจจะตัดสินใจ access เข้าไปยังเครื่องเซิร์ฟเวอร์ใดๆ บนระบบเครือข่าย ไม่ว่าเครื่องเซิร์ฟเวอร์นั้นจะตั้งอยู่ภายในอาคารเดียวกัน หรืออยู่ในสำนักงานที่อยู่ต่างเมืองกันก็ตาม และเป็นที่ยอมรับว่ามีโอกาสน้อยมากที่จะมีโหนด ซึ่งอยู่ที่ใดที่หนึ่งบนระบบเครือข่ายจะมีการทำงานเพียงโหนดเดียว ในช่วงเวลาที่กำหนด แม้ว่าจะอยู่ในที่ซึ่งหนาวที่สุด หรือในช่วงเวลากลางคืนก็ตาม

ดังนั้นทั้งทางด้านทฤษฎีและการปฏิบัติ ระบบเครือข่ายที่แผ่ออกไปอย่างกว้างขวางนี้จะสิ้นสุดด้วยการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายแต่ละระบบเป็นจำนวนนับพัน หรืออาจจะนับแสนระบบ โดยทำการเชื่อมต่อกันเป็นการชั่วคราวตามความต้องการ สิ่งนี้จะเข้ามาเกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนข้อมูล ตั้งแต่การส่ง e-mail ที่รวดเร็ว จนถึงการส่งเอกสารที่มีขนาดใหญ่ และแม้แต่การส่งไฟล์รูปภาพ ไฟล์เสียง และอื่นๆ ได้อย่างไร ในเมื่อการเชื่อมต่อระหว่างโหนดต่างๆ ในระบบเครือข่ายขนาดใหญ่ที่มีการจัดเหมือนกับเส้นสปาเก็ตตี้ในงานที่พันกันอย่างยุ่งเหยิง ? ทางออกก็คือการกำหนดเส้นทางการขนส่งข้อมูล ซึ่งต้องเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีสวิตซิง (switching) ที่แตกต่างกันเป็นจำนวนมาก

วงจรสวิตซิงแต่ละประเภทจะมีส่วนร่วมในขั้นตอนการเคลื่อนย้ายบางสิ่งผ่านสื่อกลาง หรือผ่านส่วนของระบบเครือข่าย แทนที่จะทำการเคลื่อนย้ายจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดหมายปลายทางโดยตรง ตัวอย่างเช่น ขบวนรถไฟอาจจะถูก

ลับรางไปใช้รางอื่นที่ไม่ถูกขัดขวาง แทนที่จะเล่นบนรางรถไฟเส้นเดียว ก็ยังคงไปถึงจุดหมายปลายทางตามที่ตั้งใจไว้ได้ วงจรสวิตชิงในระบบเครือข่ายก็มีการทำงานในลักษณะเดียวกัน คือแทนที่จะอาศัยการเชื่อมต่ออย่างถาวรระหว่างแหล่งต้นทางกับจุดหมายปลายทางเพียงอย่างเดียว แต่วงจรสวิตชิงจะอาศัยชุดของการเชื่อมต่อเป็นการชั่วคราวที่ถ่ายทอดสัญญาณข้อมูลจากสถานีหนึ่งไปยังอีกสถานีหนึ่ง โดยวงจรสวิตชิงจะให้บริการในวัตถุประสงค์เดียวกับการเชื่อมต่อโดยตรง แต่จะทำให้สามารถใช้ทรัพยากรการสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

11.3 การเชื่อมต่อระบบเครือข่าย WAN

ระบบสื่อสารโทรคมนาคมอาจจะรวมถึงการสื่อสารดาวเทียม การส่งสัญญาณไมโครเวฟ หรือสิ่งที่เรียกว่า POTS (Plain Old Telephone Service) และการส่งสัญญาณข้อมูลก็อาจทำได้ทั้งแบบอนาล็อกและดิจิทัล สำหรับการส่งสัญญาณข้อมูลแบบอนาล็อกจะอยู่บนพื้นฐานการใช้โมเด็ม และสายโทรศัพท์ อย่างน้อยก็ผ่านการเดินสายระบบโทรศัพท์ภายในบริษัท ในการสื่อสารแบบดิจิทัลซึ่งมีความเร็วและความน่าเชื่อถือมากกว่า การส่งสัญญาณข้อมูลอาจจะเดินทางไปตามสายเคเบิลทีวี สายสื่อสาร ISDN (Integrated Service Digital Network) หรือ DSL (Digital Subscriber Line) ที่เริ่มมีบทบาทมากขึ้น โดยการจัดให้มีการส่งสัญญาณข้อมูลแบบดิจิทัลด้วยความเร็วสูงผ่านทางสายโทรศัพท์ที่มีอยู่เดิม

อย่างไรก็ตามในกรณีที่ไม่สามารถเห็นได้อย่างเด่นชัด เช่นการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายระยะไกลที่ต้องอาศัยสิ่งอำนวยความสะดวกในการสื่อสารที่จัดให้มีโดยบริษัทผู้ให้บริการโทรศัพท์ เช่นบริษัท AT&T ในทันทีที่มีการส่งสัญญาณข้อมูลออกไปยังสายสื่อสาร การเชื่อมโยง WAN ก็เป็นเพียงการอาศัยเครือข่ายการสื่อสารโทรคมนาคม (วงจรสวิตชิง สายเคเบิล และ backbone การสื่อสารที่จัดเตรียมโดยบริษัทผู้ให้บริการโทรศัพท์) ในการติดต่อเข้าไปยังระบบเครือข่ายเพื่อคุยกับเพื่อนของคุณ ไม่ว่าจะอยู่บ้านติดกันหรืออยู่ห่างกันคนละซีกโลกก็ตาม

หมายเหตุ นอกจากการใช้โมเด็ม และโครงสร้างพื้นฐานหลักของการสื่อสารแล้ว คุณอาจจะพบกับวิธีการที่ WAN ใช้ในการส่งสัญญาณข้อมูล นั่นคือที่ซึ่งคุณจะพบกับคำว่า **circuit-switching, packet-switching, frame relay** และ **dedicated connection** ซึ่งจะไม่กล่าวถึงในแนวความคิดที่เป็นกลอุบายอยู่เบื้องหลังการพัฒนาในปัจจุบัน คือ **virtual circuit, point-to-point tunneling** และ **virtual private network**

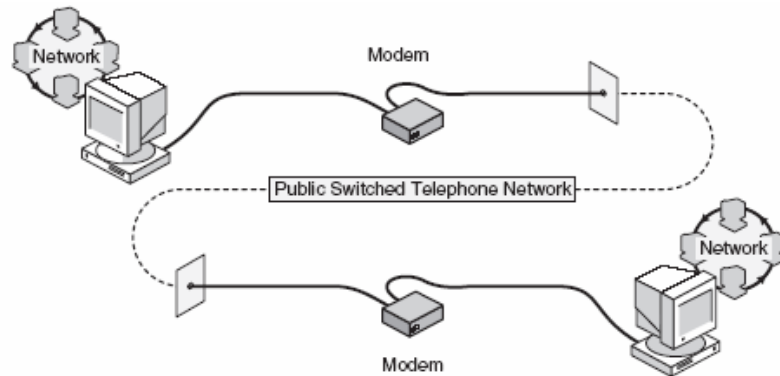
ในเรื่องของ WANs และการสื่อสารนั้น ในทางปฏิบัติท้ายที่สุดก็จะรวมอยู่ที่พาหะในการสื่อสารโทรคมนาคม ไม่ว่าโมเด็มจะเชื่อมต่อกันผ่านทางสายโทรศัพท์ หรือใช้สัญญาณไมโครเวฟ ผู้จัดให้มีการสื่อสารโทรคมนาคมก็เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้อง หรือไม่ว่าการเชื่อมต่อจะดำเนินการผ่านสายสื่อสาร ISDN หรือสายสื่อสาร T1 ผู้จัดให้มีการสื่อสารโทรคมนาคมก็เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้อง มีเพียงการเชื่อมต่อที่กระจายการเชื่อมต่อไปยังระบบเครือข่ายเพียงอย่างเดียว (ในกรณีนี้คือเครือข่ายอินเทอร์เน็ต) ที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับผู้จัดให้มีบริการบนพื้นฐานของสายโทรศัพท์ คือการเชื่อมต่อโดยใช้เคเบิลโมเด็ม เนื่องจากการเชื่อมต่อผ่านสายเคเบิลทีวี ดังที่ได้อธิบายมาแล้ว ในหัวข้อต่อไปนี้จะอธิบายการสื่อสารรูปแบบต่างๆ ที่มีการเชื่อมต่อขึ้นอยู่กับการสื่อสารโทรคมนาคม ซึ่งในปัจจุบันจัดให้มีทั้งการสื่อสารในระบบอนาล็อก (บนพื้นฐานของสายโทรศัพท์) และการสื่อสารในระบบดิจิทัล

11.4 การเชื่อมต่อแบบอนาล็อก

เครือข่ายชนิดเดียวกับที่ระบบโทรศัพท์ที่เชื่อมต่อ สามารถนำมาใช้ในการสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ เครือข่ายนี้เรียกว่าเครือข่ายวงจรสลับสายโทรศัพท์สาธารณะ (Public Switched Telephone Network) หรือ PSTN ซึ่งหมายถึงสามารถใช้ในการเชื่อมต่อระบบ WAN ได้

11.4.1 POTS (Plain Old Telephone Service)

การสื่อสารในระบบอนาล็อกผ่านโมเด็ม โดยทั่วไปมีความหมายเดียวกับ POTS (Plain Old Telephone Service) ที่จัดให้มีโดยบริษัทผู้ให้บริการโทรศัพท์ เดิมที่มีความตั้งใจที่จะใช้ในการสื่อสารด้วยเสียง ทำให้ POTS ในทศวรรษที่ผ่านมาเริ่มจะไม่มีคุณค่าสำหรับผู้ที่ต้องการสื่อสารโทรคมนาคมในการติดต่อเข้ามาในระบบเครือข่ายจากระยะไกล และแน่นอนว่าในปัจจุบัน POTS เป็นเท่ากับพื้นฐานในความเป็นอยู่สำหรับผู้ใช้อินเทอร์เน็ต ได้รับข่าวสารบน Web, รับ/ส่ง จดหมายอิเล็กทรอนิกส์ (e-mail), ใช้ห้องสนทนา (chat room), ดูกระดานประกาศ (bulletin boards) และมากกว่านั้นคือ การซื้อสินค้าในระบบออนไลน์อย่างพอเพียง POTS เป็นบริการที่จัดให้มีโดย PSTN (Public Switched Telephone Network) สำหรับการเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายสามารถทำได้ 2 รูปแบบคือใช้สายโทรศัพท์สาธารณะ (dial-up) หรือใช้สายสัญญาเช่า (lease lines) ดังแสดงตามรูปที่ 11 – 1



รูปที่ 11 – 1 การใช้เครือข่ายสายโทรศัพท์สาธารณะแบบอนาล็อก

11.4.2 การต่อโทรศัพท์ (dial-up)

การเชื่อมต่อเครือข่ายโดยการต่อโทรศัพท์เข้าไป เป็นสิ่งที่ทุกคนทำเมื่อทำการโทรศัพท์จากสำนักงาน หรือ access เครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านทางโมเด็ม การต่อโทรศัพท์เข้าไปเป็นการเชื่อมต่อระหว่างผู้ที่โทรเข้าไปกับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่ห่างออกไปเป็นการชั่วคราว และการเชื่อมต่อนี้จะสิ้นสุดลงในทันทีที่ผู้ที่เรียกเข้าไปทำการวางสาย การเชื่อมต่อเครือข่ายโดยการต่อโทรศัพท์เข้าไปยังระบบเครือข่าย เป็นวิธีการทำงานที่ดีสำหรับผู้ที่ต้องการ access เข้าไปยังระบบเครือข่ายของบริษัท และอาจจะเหมาะสมในการเชื่อมต่อ LANs 2 วงเข้าด้วยกัน ถึงแม้ว่าระยะทางในการเชื่อมต่อและปริมาณข้อมูลที่จะทำการโยกย้ายจะแตกต่างกัน แต่ทั้งคู่ก็มีความหมายในด้านราคาและมีความหมายในด้านเวลา

11.4.3 สายสัญญาเช่า (Lease Lines)

การใช้สายสัญญาเช่า เป็นการก้าวหน้าไปอีกขั้นจากการเชื่อมต่อเครือข่ายโดยการต่อโทรศัพท์เข้าไป เมื่อลูกค้าเช่าสายสื่อสารจากบริษัทผู้ให้บริการโทรศัพท์ สายสัญญาเช่านั้นก็จะมีทุกสิ่งทุกอย่างให้กับผู้ใช้ที่ทำการเช่าตลอดเวลา คุณภาพของสายสัญญาเช่าและความเร็วซึ่งข้อมูลสามารถเดินทางไปจะมากกว่าที่เดินทางไปยังสายโทรศัพท์

ตัวอย่างเช่นอัตราการโยกย้ายข้อมูลอาจจะมีตั้งแต่ 56 Kbps เป็นต้นไป ซึ่งแน่นอนว่าค่าใช้จ่ายก็จะสูงขึ้นด้วย สายสัญญาณเช่าโดยมากมักจะได้รับการอธิบายว่าเป็นการเชื่อมต่อโดยตรง ที่ไม่มีเส้นทางผ่านวงจรสวิตซ์ของบริษัทผู้ให้บริการ ถึงแม้ว่าสิ่งนี้จะเป็นความจริง แต่การเชื่อมต่อทางไกลก็จะต้องมีเส้นทางผ่านวงจรสวิตซ์ ถึงแม้ว่าผลที่ได้จะปรากฏเป็นการเชื่อมต่อที่อุทิศให้กับองค์กรโดยเฉพาะ และสายสัญญาณเช่ามักจะถูกคิดว่าเป็นเวอร์ชันของการเชื่อมต่อเครือข่ายโดยการต่อโทรศัพท์เข้าไปแบบถาวร แต่สายสื่อสารในระบบดิจิทัล เช่น ISDN และ T1 ก็เป็นสายสัญญาณเช่าในความรู้อีกที่สำรองไว้ให้ใช้โดยลูกค้าเพียงคนเดียว

11.4.4 การเลือกใช้ Dial-up หรือสายสัญญาณเช่า

ในความเป็นจริงแล้วจะต้องยอมรับว่าไม่มีบริการใดที่ดีทุกอย่าง ทางเลือกที่ดีที่สุดจะต้องพิจารณาจากองค์ประกอบต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ถ้าไม่ต้องการเชื่อมต่อเป็นเวลานานควรพิจารณาใช้ Dial-up แต่หากต้องการให้มีการเชื่อมต่อตลอดเวลาควรพิจารณาใช้สายสัญญาณเช่า
- ราคาค่าบริการ
- ความต้องการช่องสัญญาณที่มีความน่าเชื่อถือสูง
- ความต้องการในการเชื่อมต่อตลอด 24 ชั่วโมง

11.5 การเชื่อมต่อแบบดิจิทัล

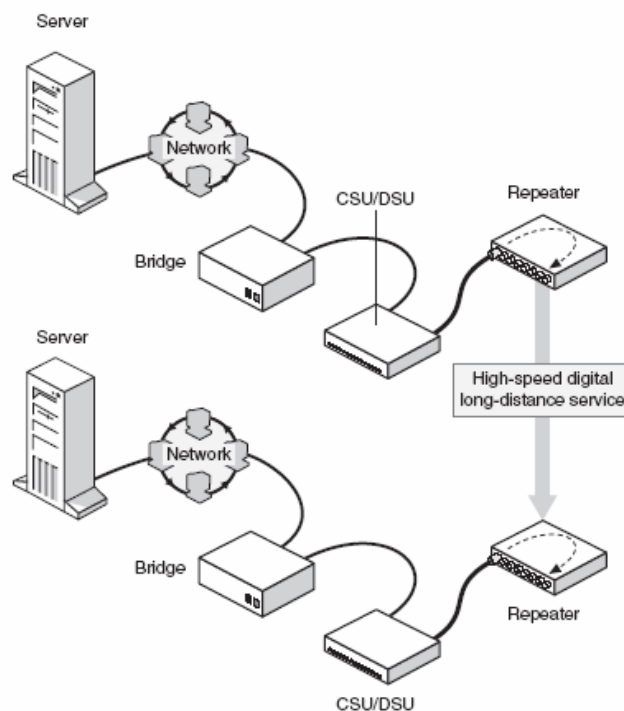
ในบางกรณีสายสัญญาณแบบอนาล็อกก็เพียงพอต่อการใช้งาน แต่เมื่อใดก็ตามที่องค์กรหรือบริษัทมีการเจริญเติบโต และมีการส่งข้อมูลผ่าน WAN ในปริมาณมาก สายสัญญาณแบบอนาล็อกก็เริ่มที่จะรองรับปริมาณการขนส่งข้อมูลไม่เพียงพอ ต้องขอบคุณในความแพร่หลายของเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่ทำให้ทุกคนต้องการความเร็วในการเชื่อมต่อ ใช้เวลาในการดาวน์โหลดข้อมูลเร็วขึ้น และถ้าเป็นไปได้ใช้เวลาในการอัปโหลดข้อมูลได้เร็วขึ้น เมื่อผู้คนเริ่มเข้ามาใช้ World Wide Web มากขึ้น คนเหล่านั้นก็เริ่มจะมีอาการหลอนเพิ่มมากขึ้น แม้จะใช้โมเด็ม 56 Kbps ก็ตาม และกล่าวเสียดสีโดยเปลี่ยนชื่อเป็น World Wide Wait ผู้ให้บริการการเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ต หรือ ISP (Internet Service Provider) ในขณะนี้จึงตั้งดูลูกค้าเป็นประจำด้วยสายสื่อสาร T1 เพื่อเพิ่มความสามารถให้กับสมาชิก และในองค์กรขนาดใหญ่ที่ต้องอาศัยการใช้ระบบเครือข่าย ซึ่งมีความต้องการความเร็ว ความปลอดภัยและความน่าเชื่อถือที่เพิ่มมากขึ้น สิ่งเหล่านี้คือขอบเขตที่การสื่อสารในระบบดิจิทัลเข้ามามีส่วนร่วม ข้อดีของสายสัญญาณดิจิทัล คือความถูกต้องของข้อมูลมีสูงถึง 99% และมีบริการให้เลือกใช้ในหลายรูปแบบ เช่น DDS (Digital Data Service), ISDN, T1, T3, T4 และ xDSL

11.5.1 DDS (Digital data service)

สายสื่อสาร DDS (Digital data service) เป็นเส้นทางที่อุทิศให้การเชื่อมต่อแบบ point-to-point ที่ใช้การสื่อสารแบบ synchronous ในการโยกย้ายข้อมูลด้วยความเร็วสูงถึง 56 Kbps เช่นเดียวกับสายสื่อสาร T1 ที่จะอธิบายต่อไปในภายหลัง สายสื่อสาร DDS จะอาศัยอุปกรณ์ 2 ส่วนที่เรียกว่า CSU (Channel Service Unit) และ DSU (Data Service Unit) ในการเชื่อมต่อระบบเครือข่าย 2 ระบบเข้าด้วยกัน โดยไม่ต้องใช้โมเด็ม โดย DDS จะทำการส่งสัญญาณจากบริดจ์ หรือเราเตอร์ ผ่านทางอุปกรณ์ที่เรียกว่า CSU/DSU ซึ่งจะแปลงสัญญาณ

ดิจิทัลจากเครื่องคอมพิวเตอร์ให้เป็นสัญญาณดิจิทัลแบบ **Bipolar** ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการส่งสัญญาณข้อมูลแบบ **Synchronous** โดยมีการปฏิบัติดังนี้

- ส่วนที่เป็น **CSU** ของอุปกรณ์จะอยู่กึ่งกลางระหว่าง **DSU** และสายสื่อสารโทรคมนาคมจริงที่ปลายแต่ละด้านของการเชื่อมต่อ โดยมีงานในการประมวลผลสัญญาณที่จะทำการส่งผ่านสายสื่อสารในระบบดิจิทัลและแยกสายสื่อสารออกจากปัญหาที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ระบบเครือข่าย
- ส่วนที่เป็น **DSU** ของอุปกรณ์จะอยู่กึ่งกลางระหว่างระบบเครือข่าย (ที่จริงแล้วหมายถึงบริดจ์ หรือเราท์เตอร์ ที่ส่งแพ็กเก็ตข้อมูลออกจากระบบเครือข่าย) กับ **CSU** โดยมีงานในการแปลงข้อมูลจากรูปแบบที่ใช้ในระบบเครือข่ายให้เป็นรูปแบบที่ต้องการสำหรับการส่งสัญญาณข้อมูลแบบ **synchronous** โดยที่ **DSU** จะควบคุมการไหลของข้อมูลให้กับ **CSU**



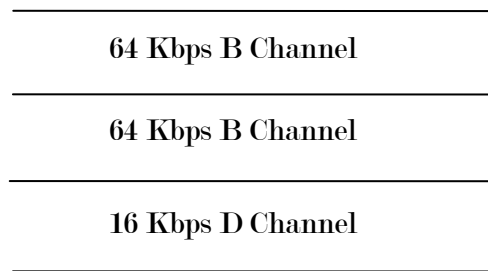
รูปที่ 11 – 2 การเชื่อมต่อ DDS จะอาศัยอุปกรณ์ที่เรียกว่า CSU/DSU

11.5.2 ISDN (Integrated Service Digital Network)

แม้ว่าจะเริ่มมี ISDN มาในช่วงเวลาหนึ่ง (ตั้งแต่ปี 1984) แต่เพียงเมื่อ 2-3 ปีที่ผ่านมาจะเริ่มที่จะเป็นทางเลือกของการสื่อสารในระบบดิจิทัลที่ง่าย อย่างน้อยก็ในประเทศสหรัฐอเมริกา ISDN ได้รับการพัฒนาให้เป็นวิธีในการจัดเตรียมการให้บริการในระบบดิจิทัล แบบ end-to-end ผ่านเครือข่ายโทรศัพท์ ซึ่งในปัจจุบันใช้โดยสมาชิกในภาคธุรกิจและสมาชิกส่วนตัวในบ้าน ที่ซึ่งมีบริการนี้ ISDN ได้รับการออกแบบมาให้จัดส่งสัญญาณเสียง สัญญาณข้อมูล และสัญญาณภาพซึ่งรวมทั้งสัญญาณวิดีโอ ด้วยความเร็ว 64 Kbps

ISDN มีรูปแบบที่แตกต่างกัน 2 รูปแบบคือ BRI (Basic Rate Interface) และ PRI (Primary Rate Interface) โดยกำหนดคุณลักษณะเฉพาะตามวิธีในการแบ่งแบนด์วิธออกเป็นหลายช่องสัญญาณ โดยที่ ISDN ในรูปแบบ BRI จะมี B (bearer) channel 2 ช่องสัญญาณ ซึ่งทำหน้าที่ขนส่งข้อมูลด้วยความเร็ว

64 Kbps และ D (data หรือ delta) channel 1 ช่องสัญญาณ ซึ่งทำหน้าที่ขนส่งสัญญาณการควบคุมด้วยความเร็ว 16 Kbps ดังนั้น BRI จึงเป็นรูปแบบของ ISDN ที่นิยมใช้โดยทั่วไปในบ้าน



รูปที่ 11 – 3 ความกว้างของช่องสัญญาณ BRI

ISDN ในรูปแบบ PRI จะจัดแบ่งสายสื่อสารออกเป็นช่องสัญญาณเป็นจำนวนที่แน่นอนซึ่งมากกว่าขึ้นอยู่กับว่าจัดให้มีบริการนี้ที่ไหนในโลก ในทวีปอเมริกาเหนือและประเทศญี่ปุ่น PRI ประกอบด้วย B channel 23 ช่องสัญญาณและ D channel 1 ช่องสัญญาณ ซึ่งทำงานด้วยความเร็ว 64 Kbps เท่ากัน ในส่วนอื่นของโลกรวมทั้งในทวีปยุโรป PRI ประกอบด้วย B channel 30 ช่องสัญญาณและ D channel 1 ช่องสัญญาณ ISDN ในรูปแบบ PRI โดยทั่วไปจะถูกใช้ในการเชื่อมต่อธุรกิจ PBX ไปยังบริษัทผู้ให้บริการโทรศัพท์ท้องถิ่นและโทรศัพท์ทางไกล

ดังที่ได้อธิบายก่อนหน้านี้ ถึงแม้ว่า ISDN ไม่ต้องการโมเด็ม แต่ก็ต้องการ terminal adapter ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณ ISDN ให้เป็นรูปแบบมาตรฐาน เช่น RS-232 ที่ต้องการโดยอุปกรณ์เช่นเครื่องคอมพิวเตอร์ กล่าวให้ซับซ้อนขึ้นอีกเล็กน้อย adapter นี้จะอยู่ระหว่าง ISDN unit ที่เรียกว่าอุปกรณ์ NT1 (network termination) กับอุปกรณ์ non-ISDN เช่นเครื่องคอมพิวเตอร์ ถึงแม้ว่าจะมีรายละเอียดอีกมาก แต่โดยพื้นฐานแล้ว NT1 จะนำสัญญาณ ISDN ที่เดินทางมาจากศูนย์กลางของบริษัทผู้ให้บริการโทรศัพท์ที่มี 2 เส้น (เรียกว่า U Interface) และแปลงให้เป็น 4 เส้น (เรียกว่า S/T Interface) ซึ่งในทางกลับกันก็นำสัญญาณจากปลั๊กโทรศัพท์ที่ผนังไปยัง ISDN adapter จึงสรุปได้ว่า ISDN

- เป็นระบบดิจิทัล
- แบ่งสายสื่อสารออกเป็น B channel 2 ช่องสัญญาณ และ D channel 1 ช่องสัญญาณ (BRI) หรือ B channel 23 หรือ 30 ช่องสัญญาณ และ D channel 1 ช่องสัญญาณ (PRI)
- สามารถนำสัญญาณเสียง สัญญาณข้อมูลและสัญญาณภาพได้
- ใช้โดยสมาชิกส่วนบุคคลและสมาชิกในภาคธุรกิจ
- ราคาถูกกว่าทางเลือก T1 service

11.5.3 T1/T3

T1 หรือในบางครั้งเรียกว่าเป็น T-1 carrier ได้รับการพัฒนาโดย Bell Laboratory และได้รับการแนะนำตั้งแต่ปี 1960s เป็นวิธีในการทำให้สายโทรศัพท์สามารถนำการสนทนาได้มากกว่าในเวลาเดียวกัน ในปัจจุบัน T1 เป็นหนึ่งในประเภทของการสื่อสารที่มีการใช้อย่างแพร่หลายและราคาแพงที่สุด T1 เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารในระบบดิจิทัลที่เร็วกว่า ISDN โดยสามารถนำสัญญาณไปได้ด้วยความเร็ว 1.544 Mbps

ในตอนต้น T1 ได้รับการออกแบบมาสำหรับการส่งสัญญาณข้อมูลแบบ full-duplex ผ่านสายคู่พันเกลียว 4 คู่โดยใช้ 2 คู่ในการส่งและใช้อีก 2 คู่ในการรับ อย่างไรก็ตามในทุกวันนี้สายสื่อสาร T1 อาจจะเป็นเคเบิลใยแก้วนำแสง สายโคแอกซ์เซียม และสัญญาณไมโครเวฟ เพื่อให้สามารถส่งสัญญาณข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงได้เป็นผลสำเร็จ T1 จะ multiplex ช่องสัญญาณขนาด 64 Kbps จำนวน 24 ช่องสัญญาณให้เป็นกระแสข้อมูลดิจิทัลเพียงเส้นเดียว โดยแต่ละช่องสัญญาณจะทำการสุ่มตัวอย่าง 8000 ครั้งต่อวินาที และตัวอย่างนี้จะถูกส่งเป็นเฟรมข้อมูลขนาด 192 บิต ที่แยกออกจากเฟรมถัดไปด้วยช่องว่างขนาด 1 บิต (192 x 8000 และบวกด้วยอีก 8000 สำหรับบิตพิเศษในการส่งสัญญาณข้อมูล ผลลัพธ์ก็คือความเร็วในการส่งสัญญาณข้อมูลของ T1 = 1.544 Mbps)

เมื่อพบกับรายละเอียดของ T1 คุณมักจะเห็นตัวเลข 64 Kbps (ความเร็วของช่องสัญญาณเพียงช่องเดียวในสายสื่อสาร T1) กล่าวว่าเป็น DS-0 หรือเรียกว่าระดับ 0 สำหรับ (Digital Service หรือ Digital Signal) สำหรับความเร็ว 1.544 Mbps ที่เร็วกว่าจะเรียกว่า DS-1 และใช้เป็นพื้นฐานการจัดให้มีความเร็วในการส่งสัญญาณที่เร็วขึ้น ซึ่งประกอบด้วยความเร็วดังต่อไปนี้

- DS-2 เป็นพื้นฐานของสายสื่อสาร T2 ซึ่งรวม T1 channel 4 ช่องสัญญาณและส่งสัญญาณด้วยความเร็ว 6.312 Mbps
- DS-3 เป็นพื้นฐานของสายสื่อสาร T3 ซึ่งรวม T1 channel 28 ช่องสัญญาณและส่งสัญญาณด้วยความเร็ว 44.736 Mbps
- DS-4 เป็นพื้นฐานของสายสื่อสาร T4 ซึ่งรวม T1 channel 168 ช่องสัญญาณและส่งสัญญาณด้วยความเร็ว 274.176 Mbps

สำหรับรายละเอียดอัตราการถ่ายโอนข้อมูลแบบดิจิทัล ดูได้จากตารางที่ 11 – 1 จากความเร็วเหล่านี้สายสื่อสาร T1 และ T2 อาจจะเป็นสายทองแดง ส่วนสาย T3 และ T4 ต้องการใช้เคเบิลใยแก้วนำแสงหรือสัญญาณไมโครเวฟเพื่อลดภาระค่าใช้จ่าย ในการพิจารณาเช่าสายสื่อสาร T1 บริษัทที่ทำธุรกิจสามารถเลือกทางเลือกที่เรียกว่า fractional T1 ซึ่งจะแบ่งให้เช่าเพียงบางส่วนแทนที่จะต้องเช่าช่องสัญญาณทั้งหมดของสายสื่อสาร T1 และที่ปลายอีกด้านหนึ่งของมาตราส่วนก็อาจจะเลือกใช้สายสื่อสาร T3 ในที่มีสายสื่อสาร T1 หลายๆ เส้น

ตารางที่ 11 – 1 อัตราการถ่ายโอนข้อมูลแบบดิจิทัล

Signal level	Carrier system	T-1 channels	Voice channels	Data rate (Mbps)
DS-0	N/A	N/A	1	0.064
DS-1	T1	1	24	1.544
DS-1C	T-1C	2	48	3.152
DS-2	T2	4	96	6.312
DS-3	T3	28	672	44.736
DS-4	T4	168	4032	274.760

หมายเหตุ T1 ที่มีในทวีปอเมริกาเหนือ ประเทศญี่ปุ่นและออสเตรเลีย เทียบได้กับเทคโนโลยี E1 ที่มีในทวีปยุโรป ประเทศแอฟริกา และทวีปอเมริกาใต้ โดย E1 ส่งสัญญาณได้ด้วยความเร็ว 2.084 Mbps

11.5.4 xDSL (Digital Subscriber Line)

xDSL (Digital Subscriber Line) หมายถึงกลุ่มเทคโนโลยีการสื่อสารในระบบดิจิทัลแบบใหม่ที่จัดให้มีการ access เข้าไปยังระบบเครือข่ายด้วยความเร็วสูงผ่านสายโทรศัพท์ทองแดงมาตรฐานที่เดินเข้าไปยังบ้านและสำนักงานซึ่งดำเนินการโดยบริษัทผู้ให้บริการโทรศัพท์ ตัวอักษร x ที่นำหน้า DSL หมายถึงคำหลายคำซึ่งจะอธิบายต่อไป แสดงแทนเวอร์ชันต่างๆ ของการสื่อสาร DSL พื้นฐาน

อย่างไรก็ตามการเริ่มด้วย DSL จะทำให้เพิ่มระดับความน่าสนใจได้มาก เนื่องจาก DSL มีการทำงานบนสายโทรศัพท์ตามปกติ การทำให้มีอัตราการส่งข้อมูลสูง (ตั้งแต่ 8 Mbps จนถึง 52 Mbps) DSL จะอาศัยการ modulation และความเป็นจริงที่ว่าไม่มีความจำเป็นที่จะต้องแปลงสัญญาณดิจิทัลให้เป็นอนาล็อก ถึงแม้ว่าการทำให้เกิดความเร็วที่แท้จริงจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ซึ่งประกอบด้วยระยะทางที่การส่งสัญญาณข้อมูลต้องเดินทางไปบนสายทองแดงและคุณภาพของสายทองแดงเอง แต่ความเร็วของ DSL ก็เพียงพอที่จะทำให้จัดส่งข้อมูล 3-D และสัญญาณภาพและเสียงคุณภาพสูงได้อย่างราบเรียบ เมื่อรวมประโยชน์ที่จะได้รับ เทคโนโลยี DSL จะอนุญาตให้แยกส่วนประกอบออกเป็นส่วนที่เป็นสัญญาณข้อมูลและส่วนที่เป็นสัญญาณเสียง เพื่อที่ระบบเครือข่ายจะได้ไม่ต้องเชื่อมต่อกับระบบโทรศัพท์ทางเสียงตามปกติ

ในปัจจุบัน อย่างน้อยก็ในรูปแบบของ DSL ที่เหนือกว่าเรียกว่า ADSL ได้รับการพิจารณาจากผู้ให้บริการสื่อสารโทรคมนาคมในธุรกิจขนาดเล็ก และสมาชิกแต่ละคนที่ใช้เครือข่ายอินเทอร์เน็ต เป็นหลักกว่ามีความเร็วในการ access สูง อย่างไรก็ตามดังที่ได้กล่าวแล้วในข้างต้นว่า DSL มีอยู่หลายรูปแบบที่แตกต่างกัน และเป็นไปได้ที่จะเพิ่มประโยชน์ในสถานะแวดล้อมของระบบเครือข่ายขนาดใหญ่ โดยตัวเทคโนโลยีเองก็ยังคงใหม่อยู่ (เพิ่งมีในปี 1999) และยังมีแพคเกจสำหรับทุกคน สำหรับเทคโนโลยี DSL ที่เพิ่งจะมีในปัจจุบัน หรือกำลังอยู่ในระหว่างการพัฒนา มีดังนี้

11.5.4.1 ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)

การที่เรียกว่า asymmetric ก็เพราะว่าแบนด์วิธเกือบทั้งหมดของ ADSL อุทิศให้กับการส่งสัญญาณข้อมูลในขาลง (downstream) เนื่องจากความเปลี่ยนแปลงในการดาวน์โหลดข้อมูลจากการเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ต หรืออินทราเน็ต จะมีมากกว่าการอัปโหลดข้อมูล จึงนิยมใช้ ADSL ซึ่งสามารถจัดส่งข้อมูลในขาลงได้เร็วถึง 8 Mbps และขาขึ้น (upstream) ได้เร็ว 640 Kbps ขึ้นอยู่กับระยะทางจากบริษัทผู้ให้บริการโทรศัพท์ (หากอยู่ใกล้บริษัทผู้ให้บริการโทรศัพท์และสายโทรศัพท์ที่มีคุณภาพก็จะส่งสัญญาณข้อมูลได้เร็วขึ้น) ADSL ต้องการการติดตั้งโมเด็ม ADSL ที่มี splitter ในการแยกช่องสัญญาณเสียงและสัญญาณข้อมูล

11.5.4.2 DSL Lite

เป็นการเปลี่ยนแปลงของ ADSL ที่ในปัจจุบันอยู่ในระหว่างการพัฒนา ใน DSL Lite การแยกสัญญาณจะเกิดขึ้นที่บริษัทผู้ให้บริการโทรศัพท์ แทนที่จะเกิดขึ้นที่ผู้รับ การติดตั้ง DSL Lite จะมีความซับซ้อนและเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่า ADSL แต่สิ่งแลกเปลี่ยนที่จะได้รับก็คือความเร็วสูงสุดในการส่งสัญญาณข้อมูลจะลดลงเหลือ 1.544 Mbps

11.5.4.3 HDSL (High bit-rate Digital Subscriber Line)

แตกต่างจาก ADSL ที่เป็น symmetric โดยจัดให้มีแบนด์วิธสำหรับการส่งสัญญาณข้อมูลขาลงและขาขึ้นในปริมาณเท่ากัน ดังนั้นความเร็วในการส่งสัญญาณข้อมูลของทั้งสองทิศทางก็จะเท่ากัน แม้ว่าจะมี

การกล่าวถึงการใช้ HDSL สำหรับสมาชิกผู้ใช้เครือข่ายอินเทอร์เน็ตน้อยกว่า แต่ HDSL ก็มีมาก่อน ADSL โดย HDSL จัดให้มีความเร็วในการส่งสัญญาณข้อมูลเท่ากับสายสื่อสาร T1 (E1 ในทวีปยุโรป) คือ 1.544 Mbps และระยะทางสูงสุดของ HDSL ในการส่งสัญญาณโดยปราศจากรีพีตเตอร์เพื่อให้สัญญาณแรงขึ้น คือ 15,000 ฟุต

11.5.4.4 SDSL (Single-line Digital Subscriber Line)

เหมือนกับ HDSL แต่จะใช้สายเพียงคู่เดียว แทนที่จะใช้สาย 2 คู่เช่นเดียวกับ HDSL ทำให้มีระยะทางการส่งสัญญาณข้อมูลที่ใกล้กว่า (ประมาณ 10,000 ฟุต) อย่างไรก็ตาม SDSL ก็มีความเร็วในการส่งสัญญาณข้อมูลเท่ากับความเร็วของ T1 (หรือ E1) เช่นเดียวกับ HDSL

11.5.4.5 RADSL (Rate Adaptive Digital Subscriber Line)

คล้ายกับ ADSL แต่จะใช้ซอฟต์แวร์ในการปรับแต่งความเร็วในการส่งสัญญาณข้อมูลตามคุณภาพของสายโทรศัพท์และระยะทางที่การส่งสัญญาณข้อมูลจะต้องเดินทางไป การส่งสัญญาณข้อมูลของ RADSL มีความเร็วในขาลงสูงถึง 2.2 Mbps และความเร็วในขาขึ้น 1.088 Mbps

11.5.4.6 VDSL (Very high rate Digital Subscriber Line)

เป็นรูปแบบการพัฒนาของ DSL ที่ทำให้เป็นไปได้ที่จะทำการส่งสัญญาณข้อมูลด้วยความเร็วในขาลงสูงถึง 52 Mbps และความเร็วในขาขึ้น 2.3 Mbps ถึงแม้ว่าอัตราการส่งสัญญาณข้อมูลของ VDSL จะอยู่ในระดับที่น่าพอใจ แต่ในด้านลบแล้วเทคโนโลยีนี้จะทำงานได้ดีในระยะทางสั้นๆ ที่ไม่เกิน 4,500 ฟุต

11.6 ระบบเครือข่ายแพ็กเก็ตสวิตชิง (Packet Switching)

ถึงแม้ว่าแพ็กเก็ตสวิตชิงจะมีส่วนร่วมในการกำหนดเส้นทางการขนส่งข้อมูลภายใน LANs และระหว่าง LANs เช่น เครือข่ายอีเทอร์เน็ต (Ethernet) และโทเคนริง (Token Ring) แต่ก็ยังเป็น backbone ในการกำหนดเส้นทางการขนส่งข้อมูลของ WANs ด้วย โดยที่ไม่ใช่เป็นทางด่วนสำหรับให้ข้อมูลเดินทางไป แต่เป็นระบบการจัดส่งอย่างรวดเร็วและเพื่อเพิ่มปริมาณการขนส่งที่จะนำข้อมูลจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง

เนื่องจากเทคโนโลยีการแบ่งข้อมูลเป็นแพ็กเก็ตขนาดเล็กช่วยให้เกิดความรวดเร็ว และเชื่อถือได้ จึงถูกนำมาใช้ในการส่งข้อมูลในระยะทางไกล เช่นข้ามเมือง ข้ามรัฐ ข้ามประเทศ หรือข้ามทวีป ดังนั้น WANs จึงอาศัยเทคโนโลยีแพ็กเก็ตสวิตชิงเป็นหลัก แต่ก็ยังต้องใช้เซอร์กิตสวิตชิง (circuit switching) เมสเสจสวิตชิง (message switching) และเทคโนโลยีแพ็กเก็ตสวิตชิงความเร็วสูงที่เรียกว่า เซลล์รีเลย์ (cell relay)

11.6.1 เซอร์กิตสวิตชิง (Circuit Switching)

เซอร์กิตสวิตชิงมีส่วนร่วมในการสร้างการเชื่อมต่อทางกายภาพโดยตรงระหว่างผู้ส่งกับผู้รับ โดยมีการเชื่อมต่อตรงเท่าที่ทั้งสองฝ่ายต้องการทำการสื่อสารกัน และแน่นอนว่าเพื่อที่จะให้สิ่งนี้เกิดขึ้นได้จะต้องมีการสร้างการเชื่อมต่อก่อนที่การสื่อสารจะเกิดขึ้น อย่างไรก็ตามในทันทีที่มีการเชื่อมต่อทั้งผู้ส่งและผู้รับจะได้รับส่วนแบ่งการใช้แบนด์วิดท์ตรงเท่าที่การเชื่อมต่อยังคงมีอยู่ อย่างไรก็ตามผู้ส่งและผู้รับจะต้องรักษาความเร็วในการส่งสัญญาณข้อมูล โดยเซอร์กิตสวิตชิงจะเป็นผู้รักษาอัตราเร็วในการส่งสัญญาณข้อมูลให้คงที่ อุปสรรคสำคัญของเซอร์กิตสวิตชิง ก็คือความจริงที่ว่าแบนด์วิดท์ใดๆ ที่ไม่ถูกใช้ก็ยังคงไม่ถูกใช้ เนื่องจากการเชื่อมต่อที่เกิดขึ้นจะสำรองแบนด์วิดท์ไว้สำหรับคู่ที่ทำการสื่อสารกัน

ทำให้การส่งสัญญาณข้อมูลอื่นไม่สามารถขอยืมแบนด์วิธที่ไม่ได้เข้ามาใช้ได้ รูปแบบที่เป็นปกติที่สุดของเซอร์กิตสวิตซิงก็คือในเครือข่ายระบบโทรศัพท์ซึ่งเป็นที่คุ้นเคยกันดี แต่ระบบเครือข่ายอื่นก็สามารถใช้เซอร์กิตสวิตซิงได้ เป็นต้นว่าสายสื่อสาร ISDN ที่มีในปัจจุบันที่เรียกว่า narrowband ISDN และในรูปแบบของ TI ที่เรียกว่า switched TI ก็ใช้เทคโนโลยีการสื่อสารแบบเซอร์กิตสวิตซิง

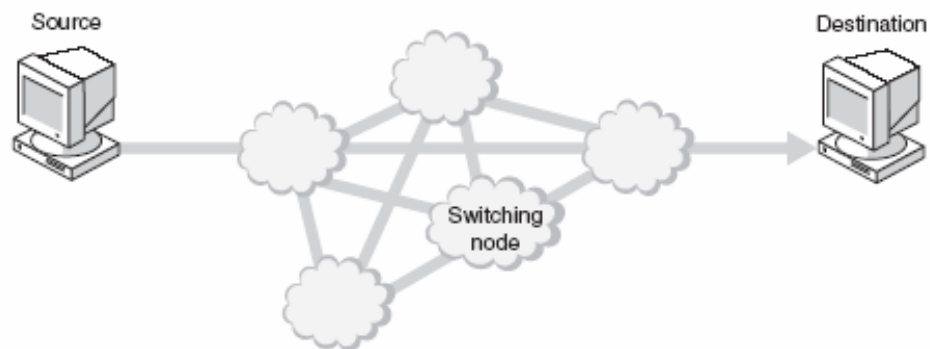
11.6.2 แมสเสจสวิตซิง (Message Switching)

แมสเสจสวิตซิงจะไม่มีส่วนร่วมในการเชื่อมต่อทางกายภาพโดยตรงระหว่างผู้ส่งกับผู้รับ จึงแตกต่างจากเซอร์กิตสวิตซิง เมื่อระบบเครือข่ายอาศัยเทคโนโลยีเซอร์กิตสวิตซิง ผู้ส่งอาจจะส่งสัญญาณข้อมูลออกไป หลังจากที่กำหนดแอดเดรสให้เหมาะสม และเมื่อใดก็ตามที่ต้องการ สัญญาณข้อมูลนั้นก็จะถูกกำหนดเส้นทางการขนส่งผ่านสถานีกลางทาง หรืออาจจะเป็นไปได้อีกที่จะส่งผ่านไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง ตามเส้นทางนี้ สถานีกลางทางก็จะรับข้อมูลทั้งหมดไว้ ตรวจสอบแอดเดรสอย่างพิถีพิถัน แล้วส่งผ่านไปยังอีกฝ่ายหนึ่ง ซึ่งอาจจะเป็นสถานีกลางทางหรือโหนดจุดหมายปลายทางก็ได้

สิ่งที่จำเป็นต้องจดจำเกี่ยวกับระบบเครือข่ายที่ใช้เซอร์กิตสวิตซิง ซึ่งเป็นหนึ่งในคุณสมบัติของระบบเครือข่ายแบบนี้ ก็คือสถานีกลางทางไม่จำเป็นต้องทำการส่งข้อมูลต่อออกไปในทันทีทันใด แต่จะครอบครองข้อมูลนั้นไว้ชั่วขณะก่อนที่จะทำการส่งต่อออกไปยังสถานีต่อไป และนี่คือหนึ่งในข้อดีของเซอร์กิตสวิตซิง เนื่องจากสถานีกลางทางอาจจะรอโอกาสที่จะทำการส่งข้อมูล ทำให้ระบบเครือข่ายสามารถหลีกเลี่ยง หรืออย่างน้อยก็ลดช่วงระยะเวลาการขนส่งข้อมูลอย่างหนักได้ และยังมีการควบคุมบางอย่างที่ทำให้ใช้สายสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

11.6.3 การทำงานของวงจรมัลติแพ็กเก็ตสวิตซิง

ในวงจรมัลติแพ็กเก็ตสวิตซิง สัญญาณข้อมูลทั้งหมดจะถูกแตกออกเป็นหน่วยที่เรียกว่า “แพ็กเก็ต” โดยซ้ำในแต่ละแพ็กเก็ตจะบรรจุข่าวสารที่ระบุแอดเดรสของทั้งโหนดต้นทางและโหนดปลายทาง และแพ็กเก็ตเหล่านี้ก็จะถูกกำหนดเส้นทางการขนส่งผ่านสถานีกลางทางที่เรียกว่า PSEs (Packet Switching Exchanges) จำนวนมากจนกระทั่งไปถึงจุดหมายปลายทาง ในการหยุดระหว่างเส้นทางแต่ละครั้ง PSE จะตรวจสอบแอดเดรสของโหนดปลายทางที่อยู่ในแพ็กเก็ต ปรีกษากับ routing table และส่งต่อแพ็กเก็ตนั้นออกไปด้วยความเร็วสูงสุดเท่าที่จะทำได้ไปยังจุดเชื่อมต่อถัดไปที่โยงไปถึงจุดหมายปลายทาง



รูปที่ 11 – 4 ระบบเครือข่ายแบบแพ็กเก็ตสวิตซิง (Packet Switching)

แพ็กเก็ตข้อมูลแต่ละชุดจะถูกส่งแยกจากกัน โดยแพ็กเก็ต 2 ชิ้นอาจจะถูกส่งไปในเส้นทางที่แตกต่างกันโดยสิ้นเชิง ก่อนที่จะถูกนำไปรวมกันที่ปลายทางเดียวกัน โดยเส้นทางที่ถูกเลือกนั้นจะอยู่บนบรรทัดฐานของการเลือกเส้นทางที่ดีที่สุด และถึงแม้ว่าแพ็กเก็ตที่ถูกส่งออกไปจะเดินทางไปตามเส้นทางที่แตกต่างกัน และไปถึงจุดหมายปลายทางเดียวกันในระยะเวลาที่แตกต่างกัน และไม่อยู่ในลำดับที่ถูกต้อง แต่เครือข่ายปลายทางจะมีความสามารถในการรวบรวม และเรียงเรียงแพ็กเก็ตข้อมูลที่ได้รับให้อยู่ในลำดับที่ถูกต้องเหมือนกับขณะที่ถูกส่งออกมา

ระบบเครือข่ายแบบแพ็กเก็ตสวิตซิงจัดการกับความหนาแน่นของข้อมูลได้เร็วและดี ซึ่งประกอบด้วย การรับและการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลผ่านวงจรสลับสาย ดังนั้นจึงต้องอาศัยความฉลาดบางประการจากเครื่องคอมพิวเตอร์ และอาศัยโปรแกรมบางชนิดในการควบคุมการขนส่งข้อมูล จึงทำให้ระบบเครือข่ายแบบแพ็กเก็ตสวิตซิงประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากกว่า

11.6.4 วงจรเสมือน (Virtual Circuit)

ระบบเครือข่ายแพ็กเก็ตสวิตซิงส่วนใหญ่จะอาศัยวงจรเสมือน (Virtual Circuit) ในการเชื่อมต่อระหว่างผู้ส่งกับผู้รับ โดยแบนด์วิธของวงจรมีขึ้นอยู่กับการร้องขอ การที่แพ็กเก็ตข้อมูลเดินทางไปในลักษณะ **link to link** ทำให้เกิดการขนส่งไปบนสิ่งที่เรียกว่าวงจรเสมือน ซึ่งกำหนดแบนด์วิธเป็นการชั่วคราวให้กับสถานีผู้ส่งและสถานีผู้รับ เพื่อใช้ในการสื่อสาร หลังจากที่ทำความตกลงกันในเรื่องกฎพื้นฐาน เช่น ขนาดของแพ็กเก็ตที่จะทำการส่ง การควบคุมการไหลของข้อมูล และการควบคุมความผิดพลาด ดังนั้นเครือข่ายแพ็กเก็ตสวิตซิงโดยทั่วไปจะไม่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสื่อสารเพื่อประโยชน์สำหรับผู้ส่งและผู้รับ จึงแตกต่างจากวงจรเซอร์กิตสวิตซิง การส่งสัญญาณข้อมูลของวงจรแพ็กเก็ตสวิตซิงต้องการเพียงแบนด์วิธที่จำเป็นต้องใช้ใช้ในการส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลออกไป และเนื่องจากวงจรแพ็กเก็ตสวิตซิงใช้พื้นฐานการ **multiplex** ข้อมูล ทำให้สัญญาณข้อมูลเป็นจำนวนมากสามารถที่จะออกจากสื่อระบบเครือข่ายเดียวได้ในเวลาเดียวกัน

11.6.5 การเชื่อมต่อแบบ Connectionless และ Connection-Oriented

ระบบเครือข่ายแพ็กเก็ตสวิตซิงจะถ่ายโอนข้อมูลเป็นหน่วยขนาดเล็กที่เรียกว่า “แพ็กเก็ต” ไปตามเส้นทางต่างๆ แต่ระบบเครือข่ายนี้จะทำให้เกิดการเชื่อมต่อระหว่างผู้ส่งกับผู้รับได้อย่างไร? ในที่สุดผู้ส่งก็ไม่สามารถคาดเดาได้ว่าแพ็กเก็ตที่ส่งออกไปจะค้นหาเส้นทางไปยังจุดหมายปลายทางที่ถูกต้องได้ จะต้องมีการเชื่อมต่อบางประเภทระหว่างผู้ส่งกับผู้รับ ซึ่งอาจจะอยู่บนพื้นฐานของการบริการการเชื่อมต่อแบบ **Connectionless** หรือ **Connection-Oriented Services** แบบใดแบบหนึ่ง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับประเภทของระบบเครือข่ายแพ็กเก็ตสวิตซิงที่มีส่วนร่วม

11.6.5.1 Connectionless

ในการเชื่อมต่อแบบ **Connectionless** นั้น จะไม่มีการก่อตั้งเส้นทางในการสื่อสารจริงระหว่างผู้ส่งกับผู้รับก่อนที่จะทำการส่งแพ็กเก็ตข้อมูล ดังนั้นข้อมูลแต่ละแพ็กเก็ตที่ถูกส่งออกไปจึงนับว่าเป็นหน่วยอิสระที่ไม่มีความสัมพันธ์กับแพ็กเก็ตอื่น จึงเป็นผลให้ในแพ็กเก็ตจะต้องมีข้อมูลข่าวสารอย่างสมบูรณ์ที่ทำให้สามารถกำหนดเส้นทางในการขนส่งต่างๆ ไปให้ถึงจุดหมายปลายทางได้

11.6.5.2 Connection-Oriented Services

ในบริการการเชื่อมต่อแบบ **Connection-Oriented Service** จะทำการก่อตั้งเส้นทางการสื่อสารก่อนที่จะทำการส่งแพ็กเก็ตข้อมูล เนื่องจากมีการก่อตั้งเส้นทางการสื่อสารขึ้นก่อนการส่งสัญญาณข้อมูลจะเริ่มขึ้น แพ็กเก็ตจะประกอบด้วยข้อมูลข่าวสารที่กำหนดเส้นทางเหมือนกันในการไปถึงจุดหมายปลายทาง ในการก่อตั้งการเชื่อมต่อระหว่างผู้ส่งกับผู้รับนั้นสามารถให้บริการในลักษณะชั่วคราว トラบเท่าที่ยังมีการขนส่งแพ็กเก็ตข้อมูลอยู่ และให้บริการในลักษณะถาวร トラบเท่าที่เครื่องทั้งสองฝั่งยังทำงานอยู่

11.6.5.2.1 Switch Virtual Circuit (SVC)

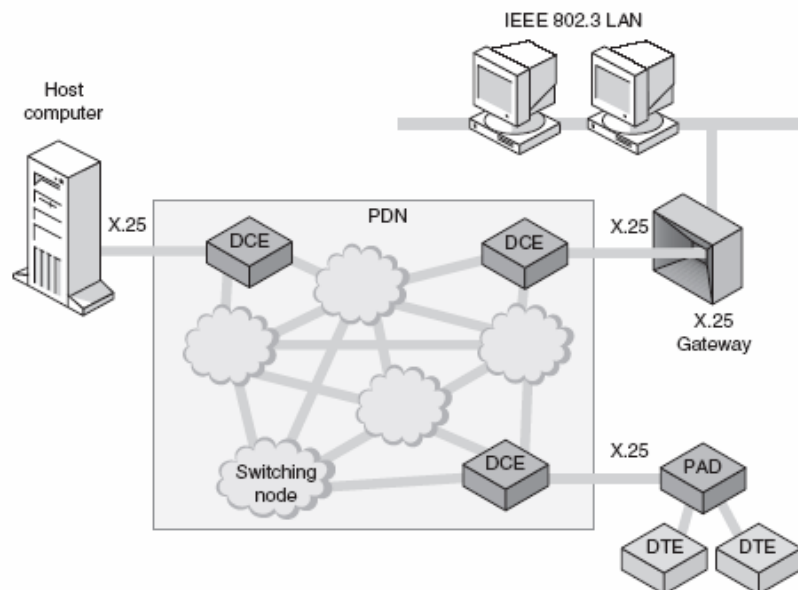
เป็นการให้บริการในลักษณะชั่วคราว การติดต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์จะใช้เส้นทางการขนส่งข้อมูลที่กำหนดไว้ โดยทรัพยากรระบบเครือข่ายจะถูกสำรองไว้สำหรับวงจรนั้นๆ และจะรักษาการเชื่อมต่อไว้จนกว่าจะขนส่งข้อมูลเสร็จสิ้น การเชื่อมต่อในลักษณะนี้จึงเป็นแบบ **Point to Many Point**

11.6.5.2.2 Permanent Virtual Circuit (PVC)

การเชื่อมต่อแบบนี้จะมีการจัดตั้งการเชื่อมต่ออย่างถาวร トラบเท่าที่เครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งสองฝั่งยังคงทำงานอยู่ จึงเหมือนกับการใช้สายสัญญาณเข้าที่มีการเชื่อมต่ออย่างถาวร โดยสายสื่อสารนี้จะพร้อมสำหรับใช้งานตลอดเวลา จะแตกต่างกันที่เมื่อการเชื่อมต่อสิ้นสุดลง ผู้ให้บริการจะหยุดคิดค่าใช้จ่าย ดังนั้นลูกค้าจะชำระค่าบริการเฉพาะเวลาที่ใช้ในการติดต่อระหว่างระบบเครือข่ายจริงเท่านั้น

11.7 ระบบเครือข่าย Packet Switching แบบ X.25

เกิดขึ้นในยุคปี 1970s โดย X.25 เป็น **packet-switching protocol** แบบ **connection-oriented** ที่มีพื้นฐานบนการใช้สายโทรศัพท์ท่อนล็อกแบบเดิม ที่ยังคงเป็นมาตรฐานของระบบเครือข่ายเป็นเวลามากกว่า 20 ปี เครื่องคอมพิวเตอร์ในระบบเครือข่าย X.25 จะทำการสื่อสารกันแบบ **full-duplex** ซึ่งจะเริ่มเมื่อเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่งติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องอื่น และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ถูกเรียกมีการโต้ตอบโดยการตอบรับการเรียกนั้น



รูปที่ 11 – 5 DTE ในระบบเครือข่าย Packet Switching แบบ X.25

ถึงแม้ว่า X.25 จะเป็นโปรโตคอลของระบบเครือข่ายแบบแพ็กเก็ตสวิตซิง แต่ไม่เพียงจะให้ความสนใจกับการกำหนดเส้นทางการขนส่งแพ็กเก็ต จากสวิตช์ของระบบเครือข่ายหนึ่งไปยังสวิตช์ของอีกระบบเครือข่ายหนึ่ง แต่ยังกำหนดวิธีการที่ซึ่งเครื่องคอมพิวเตอร์ผู้ส่งและเครื่องคอมพิวเตอร์ผู้รับ (Data Terminal Equipment – DTEs) ใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์การสื่อสาร (Data Communication Equipment – DCEs) ที่ทำให้สัญญาณข้อมูลไหลผ่านไปได้จริง และแพ็กเก็ตที่สร้างการส่งสัญญาณข้อมูล จะไม่สามารถใช้โปรโตคอล X.25 ในการควบคุมบนเส้นทางที่ข้อมูลเดินทางไปได้จริง เป็นผลให้การแลกเปลี่ยนแพ็กเก็ตระหว่างระบบเครือข่าย X.25 มักจะแสดงเป็นเส้นทางเข้าไปยังรูปเมฆที่จุดเริ่มต้นของเส้นทางการขนส่งข้อมูลและออกจากรูปเมฆที่ปลายทาง ดังแสดงตามรูปที่ 11 – 5

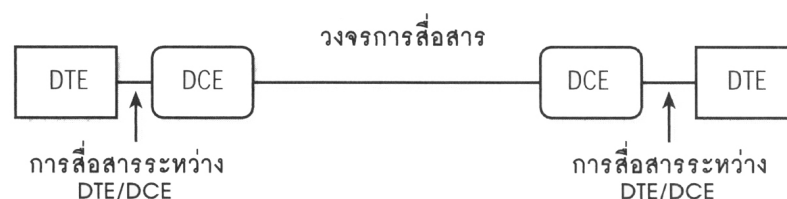
ข้อเสนอแนะของ ITU (เดิมคือ CCITT) โปรโตคอล X.25 จะเกี่ยวข้องกับเลเยอร์ระดับล่างสุด 3 ระดับในโครงสร้าง ISO reference model คือ physical layer, data link layer และ network layer ดังนี้

- ที่เลเยอร์ระดับต่ำที่สุด (physical layer) โปรโตคอล X.25 จะกำหนดคุณสมบัติของวิธีการที่ทำให้เกิดการสื่อสารบนสื่อทางกายภาพ ในเลเยอร์นี้ โปรโตคอล X.25 จะครอบคลุมมาตรฐาน เช่น RS-232, คุณลักษณะเฉพาะ V.24 ของ ITU สำหรับการเชื่อมต่อสากล และข้อเสนอแนะ V.35 ของ ITU สำหรับโมเด็มความเร็วสูงในการส่งสัญญาณไปบนวงจรโทรศัพท์หลายวงจร
- ในเลเยอร์ระดับถัดขึ้นมา (data link layer) โปรโตคอล X.25 จะครอบคลุมโปรโตคอลการเชื่อมต่อที่เรียกว่า LAPB (Link Access Protocol, Balanced) ที่กำหนดโครงสร้างของแพ็กเก็ต โดย LAPB ทำให้มั่นใจว่าอุปกรณ์การสื่อสาร 2 ชั้นจะสามารถก่อตั้งการเชื่อมต่อได้โดยปราศจากความผิดพลาด
- ในเลเยอร์ระดับสูงที่สุด (network layer ในความหมายของ X.25) โปรโตคอล X.25 จะครอบคลุมการจัดรูปแบบของแพ็กเก็ตข้อมูล และการกำหนดเส้นทางการขนส่ง และการ multiplex สัญญาณข้อมูลที่ส่งระหว่างอุปกรณ์การสื่อสาร

ในระบบเครือข่าย X.25 โดยทั่วไปสัญญาณข้อมูลจะถูกแตกออกเป็นแพ็กเก็ตขนาด 128 ไบต์ อย่างไรก็ตามแพ็กเก็ตข้อมูลนี้ก็จะมีขนาดเล็กได้ถึง 64 ไบต์ หรือมีขนาดใหญ่ได้ถึง 4096 ไบต์

11.7.1 DTEs และ DCEs

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าเครื่องคอมพิวเตอร์ผู้ส่งและเครื่องคอมพิวเตอร์ผู้รับบนระบบเครือข่าย X.25 ไม่ได้เรียกว่าเครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องเซิร์ฟเวอร์ เกตเวย์ หรือโหนด แต่จะเรียกว่า DTEs ในวิธีการของ X.25 นั้น DTEs คืออุปกรณ์ที่ส่งผ่านแพ็กเก็ตข้อมูลไปยัง DCEs สำหรับส่งผ่านการเชื่อมต่อที่สร้างให้เป็น WAN ดังนั้น DTEs จะอยู่ที่ปลายทั้งสองด้านของการเชื่อมต่อบนระบบเครือข่าย ในทางตรงกันข้าม DCEs จะอยู่ที่ปลายทั้งสองด้านของวงจรการสื่อสาร ดังแสดงตามรูปที่ 11 – 6



รูปที่ 11 – 6 DTE และ DCE

11.7.2 PADs

เนื่องจากแพ็กเก็ตข้อมูลมีความสำคัญต่อระบบเครือข่ายแพ็กเก็ตสวิตซิง เช่นเดียวกับอะตอมในวัตถุ มีอะไรบางอย่างที่เกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ทำการสร้างและประกอบแพ็กเก็ต? ในกรณี เช่นเครื่องคอมพิวเตอร์ X.25 gateways (DTE) ที่อยู่ระหว่าง LAN กับ WAN จะดูแลการจัดรูปแบบแพ็กเก็ต หรือในกรณีอื่นด้วยการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ปกติ (DTE ประเภทอื่น) งานนี้จะสนับสนุนโดยอุปกรณ์ที่เรียกว่า PAD (Packet Assembler and Disassembler) ในกรณีนี้ PAD จะตั้งอยู่ระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับระบบเครือข่าย และทำการจัดรูปแบบของแพ็กเก็ตก่อนที่จะส่งออกไป และเมื่อได้รับแพ็กเก็ตทั้งหมด จะทำการประกอบแพ็กเก็ตขึ้นมาใหม่ตามลำดับที่ถูกต้องให้เหมือนเดิม

สิ่งนี้ยากต่อการทำงานหรือไม่? สำหรับมนุษย์แล้วอาจจะเป็นเรื่องยากเนื่องจากแพ็กเก็ตจะถูกส่งออกไปตามเส้นทางที่ดีที่สุดที่มีในขณะนั้น ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่ข้อมูลข่าวสารเดียวกันจะถูกแยกส่งผ่านเส้นทางที่แตกต่างกัน และไปถึงจุดหมายปลายทางไม่เป็นลำดับ ลองพิจารณาปริมาณการขนส่งข้อมูลที่เกิดขึ้นบน WAN และพิจารณาจำนวนโหนดผู้ส่งและโหนดผู้รับที่มี ดูเหมือนว่างานในการประกอบแพ็กเก็ตให้เป็นข้อมูลข่าวสารจะเป็นงานที่ใหญ่มาก ดังนั้นจึงเป็นเรื่องยากสำหรับมนุษย์ แต่สำหรับ PAD แล้วงานเหล่านี้ไม่ใช่เป็นเรื่องยาก การจัดวางแพ็กเก็ตที่เหมือนหอยซึ่งมีปริมาณมากมายมหาศาลเหล่านี้ให้เป็นข้อมูลข่าวสาร จะเป็นเหมือนการทำงานประจำวันของ PAD ที่ต้องทำซ้ำแล้วซ้ำเล่าอยู่ตลอดเวลา

11.8 เฟรมรีเลย์ (Frame Relay)

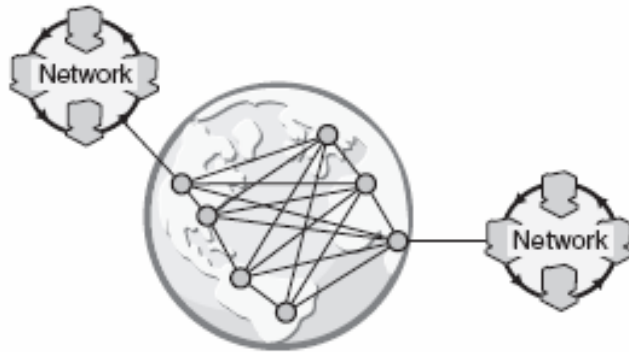
เฟรมรีเลย์เป็นรูปแบบของแพ็กเก็ตสวิตซิงที่ใหม่กว่า เร็วกว่าและยุ่งยากน้อยกว่า X.25 โดยมักถูกเรียกว่าเป็นเทคโนโลยีแพ็กเก็ตสวิตซิงความเร็วสูง เพราะเฟรมรีเลย์สามารถโยกย้ายแพ็กเก็ตที่มีขนาดความยาวไม่แน่นอนถึง 4 MB ได้ด้วยความเร็ว 56 Kbps หรือ ความเร็วของ T1 (1.544 หรือ 2 Mbps) บนวงจรเสมือนแบบถาวร

เฟรมรีเลย์มีการทำงานใน data link layer ซึ่งทำได้ดีกว่าโปรโตคอล X.25 โดยการแยกรายละเอียด เช่นการแก้ไขข้อผิดพลาดและการควบคุมการไหลของกระแสข้อมูล ซึ่งเป็นที่ต้องการในสภาวะแวดล้อมของ X.25 ออกไป ทำไมต้องทำเช่นนี้? เนื่องจากเฟรมรีเลย์ได้รับการออกแบบให้นำข้อดีของความสามารถในการส่งสัญญาณข้อมูลในระบบดิจิทัล เช่นเคเบิลใยแก้วนำแสงและ ISDN มาใช้ จึงแตกต่างจาก X.25 ที่ในตอนแรกต้องอาศัยการเชื่อมต่อผ่านสายโทรศัพท์ที่ไม่ค่อยมีความน่าเชื่อถือ ด้วยการส่งสัญญาณข้อมูลในระบบดิจิทัลทำให้มีความน่าเชื่อถือและลดอัตราการเกิดข้อผิดพลาด จึงทำให้ไม่มีความต้องการกลไกในการตรวจสอบและเฝ้าตรวจแบบเดียวกับที่ X.25 ต้องการ

ตัวอย่างเช่นเฟรมรีเลย์จะมีวิธีการในการตรวจจับสัญญาณข้อมูลที่ถูกขัดขวางโดยการใช้ Cyclic Redundancy Check (CRC) ซึ่งสามารถตรวจจับได้ว่าบิตใดๆ ในสัญญาณข้อมูลถูกเปลี่ยนไปจากเดิมระหว่างการเดินทางจากแหล่งต้นทางไปยังจุดหมายปลายทาง แต่ก็ไม่มีภาระอันยุ่งยากใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแก้ไขข้อผิดพลาด ในทำนองเดียวกัน เฟรมรีเลย์อาจจะอาศัยโปรโตคอลในระดับที่สูงกว่าในการดำเนินการในเรื่องที่เกี่ยวกับการทำให้มั่นใจว่าผู้ส่งจะไม่ครอบงำผู้รับโดยการส่งสัญญาณข้อมูลไปยังผู้รับมากเกินไป ระบบเครือข่ายแบบเฟรมรีเลย์จึงมีวิธีการในการโต้ตอบกับระบบเครือข่ายในทำนองว่า “ขณะนี้มีการขนส่งข้อมูลมามากจนเกินไปแล้ว”

นอกจากนั้น เนื่องจากเฟรมรีเลย์มีการทำงานบนวงจรเสมือนแบบถาวร หรือ PVCs (Permanent Virtual Circuit) สัญญาณข้อมูลจะเดินทางไปตามเส้นทางที่กำหนด จึงไม่มีความต้องการอุปกรณ์การส่งที่สามารถค้นหา

เส้นทางการส่งที่ดีที่สุดที่จะใช้ในขณะนั้น นั่นคือไม่มีทางเลือกอื่น เนื่องจากการกำหนดเส้นทางการขนส่งข้อมูลที่ใช้ในเฟรมรีเลย์อยู่บนพื้นฐานของ PVCs ที่เรียกว่า DLCIs (Data Link Connection Identifiers) อย่างไรก็ตามระบบเครือข่ายเฟรมรีเลย์อาจจะประกอบด้วย DLCIs หลายตัว โดยแต่ละตัวจะต้องมีความสัมพันธ์กับเส้นทางการขนส่งข้อมูลโดยเฉพาะไปยังจุดหมายปลายทางโดยเฉพาะอย่างถาวร



รูปที่ 11 – 7 Frame Relay ใช้การเชื่อมต่อแบบ Point-to-Point

การเพิ่มความสมดุลในด้านความเร็วก็ยังคงเป็นความจริงที่ว่าอุปกรณ์ระบบเครือข่ายเฟรมรีเลย์ ไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับความเป็นไปได้ในการที่จะมีวิธีการรวบรวมแพ็กเก็ตข้อมูล หรือประกอบเฟรม ขึ้นมาใหม่เมื่อข้อมูลมีการเดินทาง โดยหัวใจสำคัญก็คือเฟรมรีเลย์จะจัดให้มีการบริการ end-to-end ผ่านเส้นทางการสื่อสารในระบบดิจิทัล และต้องอาศัยความน่าเชื่อถือของเทคโนโลยีระบบดิจิทัลที่ใช้เป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามเฟรมรีเลย์ก็อยู่บนพื้นฐานของการส่งแพ็กเก็ตที่มีขนาดความยาวไม่แน่นอน และมีการกำหนดการเชื่อมต่อระหว่าง DTEs กับ DCEs เช่นเดียวกับ X.25 นอกจากนี้เฟรมรีเลย์ยังใช้พื้นฐานการ multiplex วงจร (เสมือน) ที่มีเป็นจำนวนมากให้อยู่บนสายสื่อสารเพียงเส้นเดียว

ในการทำงานของระบบเครือข่ายเฟรมรีเลย์นั้น สวิตช์ของเฟรมรีเลย์จะอาศัยข้อมูลแอดเดรสในส่วนหัวของแต่ละเฟรม ในการพิจารณาว่าจะส่งแพ็กเก็ตไปที่ใด เช่นเดียวกับ X.25 ระบบเครือข่ายก็จะส่งแพ็กเก็ตเหล่านี้ไปด้วยอัตราที่มีการกำหนดไว้ล่วงหน้าทีละตัวว่าจะมีอิสระในการปฏิบัติการส่งข้อมูล ถึงแม้ว่าระบบเครือข่ายเฟรมรีเลย์จะไม่สามารถควบคุมการไหลของข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายด้วยตัวเองได้ แต่จะอาศัยบิตพิเศษที่ส่วนหัวของเฟรมซึ่งเต็มไปด้วยข้อมูลเกี่ยวกับแอดเดรส การโต้ตอบกับความคับคั่งอย่างแรกก็คือการร้องขอให้โปรแกรมประยุกต์ของผู้ส่งให้ค่อยๆ ลดความเร็วในการส่งข้อมูลลงบ้าง อย่างที่สองคือมีส่วนร่วมในการละทิ้งเฟรมที่มีลำดับความสำคัญต่ำออกไปก่อน ดังนั้นความคับคั่งก็จะลดลงไปเช่นเดียวกับการโยนสินค้าทิ้งไปบ้าง และแน่นอนว่าระบบเครือข่ายเฟรมรีเลย์จะเชื่อมต่อกับระบบเครือข่าย LANs เข้ากับ WANs ได้โดยใช้อุปกรณ์เราท์เตอร์ และสวิตช์ที่มีความสามารถในการจัดเตรียมการต่อเชื่อมเฟรมรีเลย์ที่เหมาะสม

11.9 Asynchronous Transfer Mode (ATM)

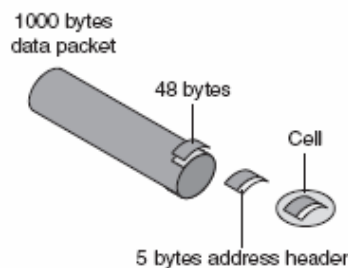
ATM คือวิธีการขนส่งที่ไม่เพียงมีความสามารถในการขนส่งสัญญาณข้อมูล แต่ยังสามารถขนส่งสัญญาณเสียงและสัญญาณภาพไปในเวลาเดียวกัน ผ่านทางสายสื่อสารเดียวกันได้ คลื่นตัวกลางที่นำสัญญาณจึงได้รับการพิจารณา

ต่อไปในการเพิ่มความสามารถของ LAN และ WAN นอกจากนั้น ATM ยังเป็นเทคโนโลยีการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายแบบ connection-oriented ที่มีความใกล้เคียงกับข้อเสนอแนะของ ITU ในเรื่อง broadband ISDN (BISDN) ที่เปิดตัวในปี ค.ศ. 1988

ATM เหมาะสำหรับการเชื่อมต่อระบบเครือข่าย LAN และ WAN ความเร็วสูงผ่านสายเคเบิลตัวกลางประเภทต่างๆ ตั้งแต่สายโคแอกซ์เฮลิคัลแบบเดิม สายคู่พันเกลียวและเคเบิลใยแก้วนำแสง สำหรับบริการการสื่อสารในอนาคต ซึ่งประกอบด้วย Fiber Channel, FDDI และ SONET

11.9.1 เซลล์รีเลย์ (cell relay)

ATM อยู่บนพื้นฐานของแพ็กเก็ตสวิตติง ซึ่งเช่นเดียวกับระบบเครือข่าย X.25 และเฟรมรีเลย์ อย่างไรก็ตาม ATM ก็ต้องอาศัยเซลล์รีเลย์ (cell relay) ซึ่งเป็นวิธีการส่งสัญญาณข้อมูลความเร็วสูง ที่ใช้พื้นฐานของการส่งเป็นหน่วยที่มีขนาดคงที่ (ขนาดเล็กที่มีความยาวเพียง 53 ไบต์) ที่เรียกว่า “เซลล์” และทำการ multiplex เซลล์ต่างๆ ลงบนตัวนำสัญญาณ รูปที่ 11-8 แสดงให้เห็นเซลล์ของ ATM ซึ่งประกอบด้วยข้อมูล 48 ไบต์ และส่วนหัว (Header) ขนาด 5 ไบต์ ดังนั้นข้อมูลขนาด 1000 ไบต์ จึงถูกแบ่งออกเป็น 21 เฟรม และข้อมูลแต่ละเฟรมจะถูกนำไปใส่ในเซลล์จึงส่งผลให้ข้อมูลที่ถูกล่องออกไปจะเหมือนกันหมด

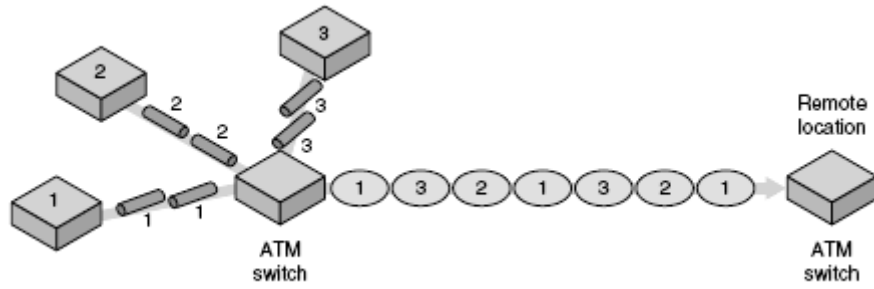


รูปที่ 11-8 ATM Cell มีข้อมูล 48 ไบต์ และส่วนหัว 5 ไบต์

เนื่องจากเซลล์ที่มีขนาดเหมือนกัน จะสามารถเดินทางไปได้เร็วกว่าและสามารถกำหนดเส้นทางการส่งได้เร็วกว่าแพ็กเก็ตซึ่งมีขนาดแตกต่างกัน จึงเป็นเพียงเหตุผลเดียวที่ทำให้ ATM มีความเร็วสูง ตามปกติการส่งสัญญาณข้อมูลจะมีความเร็วตั้งแต่ 56 Kbps ถึง 1.544 Mbps แต่ ITU ได้กำหนดความเร็วในการส่งสัญญาณข้อมูลของ ATM ไว้ประมาณ 622 Mbps (ผ่านเคเบิลใยแก้วนำแสง)

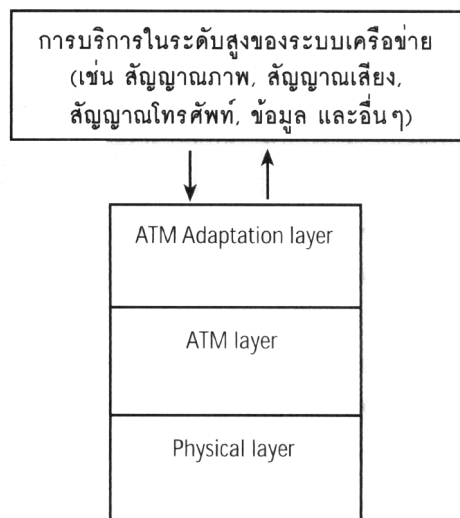
11.9.2 การทำงานของ ATM

ให้จินตนาการถึงเครื่องโดยทั่วไป ที่สามารถรองรับวัสดุใดๆ ได้ ไม่ว่าจะถูกจัดส่งมาเป็นกระยะๆ หรือถูกจัดส่งมาเป็นกระแสดอย่างต่อเนื่อง และเปลี่ยนวัสดุนั้นๆ ให้มีลักษณะเหมือนการจัดหีบห่อ นั่นคือพื้นฐานการทำงานที่ทางเข้าของ ATM โดยจะรับกระแสของสัญญาณข้อมูล สัญญาณเสียง สัญญาณภาพ หรืออะไรก็ตามแต่ที่จัดหีบห่อของเนื้อหาบรรจุอยู่ในเซลล์ที่มีขนาด 53 ไบต์ ที่ขาออก ATM จะส่งเซลล์ออกไปบน WAN ในรูปแบบของกระแสของเซลล์ที่แน่นอนสำหรับการจัดส่ง ดังแสดงตามรูปที่ 11-9



รูปที่ 11 – 9 ATM จะแตกกระแสข้อมูลออกเป็นเซลล์ซึ่งมีขนาดคงที่ และจัดส่งเซลล์เหล่านี้ไปบน WAN

พึงระลึกไว้เสมอไว้ว่า ATM ได้รับการออกแบบมาเพื่อรองรับความต้องการในการจัดส่งข้อมูลประเภทมัลติมีเดีย ซึ่งประกอบด้วยการรวมข้อมูลประเภทต่างๆ ซึ่งมีคุณลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันและต้องได้รับการจัดการที่แตกต่างกันโดยอุปกรณ์ที่ทำงานกับข้อมูลแต่ละประเภท และโดยโปรโตคอลระบบเครือข่ายในระดับสูง การที่จะใช้ ATM จะต้องมีการเชื่อมต่อบางสิ่งเข้ากับอุปกรณ์ที่แตกต่างกันและจะต้องทำการจัดหีบห่อข้อมูลประเภทต่างๆ เหล่านี้ให้เป็นรูปแบบของ ATM cell สำหรับการขนส่ง บางสิ่งที่กล่าวถึงนี้ก็คือ ATM-capable node ที่จัดการการแปลงที่กำหนดคุณลักษณะเฉพาะเป็น ATM model จำนวน 3 เลเยอร์ ดังแสดงตามรูปที่ 11 – 10



รูปที่ 11 – 10 ATM Model

11.9.2.1 ATM Adaptation Layer (AAL)

ATM Adaptation Layer (AAL) เป็นเลเยอร์ระดับสูงที่สุด อยู่ระหว่างสิ่งที่คุณอาจจะพิจารณาว่าเป็น ATM ที่เหมาะกับอุปกรณ์ระบบเครือข่ายและโปรโตคอลในระดับสูง ที่ส่งและรับข้อมูลประเภทต่างๆ กับเครือข่าย ATM โดย AAL จะเป็นตัวกลางที่ทำการปรับ ATM layer กับโปรโตคอลในระดับสูงให้มีความเหมาะสม ปรับโครงสร้างการให้บริการบางอย่างเพื่อให้เข้ากันได้กับบริการอย่างอื่น AAL นับว่าเป็นสถานที่ซึ่งมีเสน่ห์จับใจ ที่ว่า AAL จะรับข้อมูลทุกรูปแบบ (สัญญาณเสียง สัญญาณภาพ และเฟรมข้อมูล) และจัดหีบห่อใหม่ให้เป็น payloads ขนาด 48 ไบต์ ก่อนที่ส่งไปยัง ATM layer ในระดับอื่น เพื่อเตรียมการต่อไป

11.9.2.2 ATM Layer

ATM Layer เป็นเลเยอร์ที่ทำการติดส่วนหัว (header) ขนาด 5 ไบต์ ให้กับ **ATM payloads** อาจจะมีมองว่าเป็นการง่าย แต่ก็ไม่สามารถพูดได้ว่าส่วนหัวเป็นเซลล์ ในส่วนหัวประกอบด้วยข้อมูลที่กำหนดเส้นทางและวงจรที่เซลล์จะใช้ในการเดินทาง จึงทำให้ **ATM switch** และ **ATM router** ทำการจัดส่งเซลล์ไปยังจุดหมายปลายทางที่ตั้งใจได้อย่างถูกต้อง นอกจากนั้น **ATM layer** ยังทำการ **multiplex** เซลล์ต่างๆ สำหรับการส่งก่อนที่จะส่งต่อไปยัง **physical layer** ดังที่คุณเห็นแล้วว่างานที่ต้องทำในเลเยอร์นี้เป็นงานใหญ่ ที่ชวนให้นึกถึงความวุ่นวายในสนามบิน สถานีรถไฟ ... หรือห้างสรรพสินค้าขนาดใหญ่ในช่วงวันหยุด

11.9.2.3 Physical Layer

Physical Layer เป็นเลเยอร์ในระดับต่ำที่สุด ที่เทียบได้กับ **physical layer** ของ **ISO/OSI Reference Model** จึงคำนึงถึงการเคลื่อนย้ายข้อมูล (ในกรณีนี้ หมายถึง **ATM cell** ขนาด 53 ไบต์) ไปยังสื่อกลางการสื่อสาร ซึ่งอาจจะเป็นสื่อทางกายภาพประเภทต่างๆ ประกอบด้วยเคเบิลใยแก้วนำแสงของ **SONET (Synchronous Optical Network)** สายสื่อสาร **T1** หรือ **E1** หรือแม้แต่โมเด็ม ทั้งสื่อกลางการสื่อสารและข้อมูลในกรณีนี้ จะแยกต่างหากจากกันอย่างชัดเจนเนื่องจากว่า **ATM** เป็นวิธีการขนส่งและเป็นอิสระจากสื่อการส่งสัญญาณ ข้อมูลที่ใช้ในการเดินทางของข้อมูล

จะเกิดอะไรขึ้นบ้าง หลังจากที่ **ATM** ทำการกรองข้อมูลผ่าน **AAL, ATM** และ **physical layers**? ในทันทีที่ **physical layer** ส่งเซลล์ออกไปตามเส้นทาง เซลล์ก็จะเดินทางไปยังจุดหมายปลายทางผ่านการเชื่อมต่อที่อาจจะทำการสลับวงจรการเดินทางไปใช้วงจรอื่น ในระหว่างการเดินทาง สวิตช์และเราท์เตอร์จะรักษาการต่อเชื่อมที่จัดเตรียมแบนด์วิดท์อย่างน้อยที่สุดที่จำเป็นในการทำให้ระบบเครือข่ายสามารถรับรองคุณภาพในการบริการ (**Quality of Service – QOS**) ให้กับผู้ใช้ได้

เมื่อเซลล์ไปถึงจุดหมายปลายทางก็ผ่านกระบวนการในทางกลับกัน โดย **ATM layer** จะส่งเซลล์ไปยังบริการที่เหมาะสม (สัญญาณเสียง สัญญาณข้อมูล สัญญาณภาพ) ที่อยู่ใน **AAL** ที่ซึ่งเซลล์จะได้รับการแปลงกลับมาเป็นรูปแบบเดิม ทุกสิ่งทุกอย่างจะได้รับการตรวจสอบเพื่อให้มั่นใจว่าเซลล์มาถึงอย่างถูกต้อง และข้อมูลที่ปรับแต่งแล้วนี้จะถูกจัดส่งไปยังอุปกรณ์ของเครื่องผู้รับต่อไป

11.9.3 Availability

เมื่อ **ATM** เป็นวิธีการในการขนส่งข้อมูลทุกประเภทด้วยความเร็วสูงที่น่ามหัศจรรย์ มีความน่าเชื่อถือ มีความอ่อนตัวสูง และเร็ว การที่ **ATM** ใช้โปรโตคอลในระดับสูงในการตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาด ทำให้สามารถเชื่อมต่อกับระบบเครือข่าย **narrowband** และ **broadband** ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะเหมาะสมสำหรับใช้ใน **backbone** ระบบเครือข่าย อย่างไรก็ตาม **ATM** ก็ยังมีข้อเสียอยู่บ้าง เริ่มจากระบบเครือข่าย **ATM** จะต้องจัดตั้งจากอุปกรณ์ที่เข้ากันได้กับ **ATM** ซึ่งทั้งหายากและมีราคาแพง นอกจากนั้น ปัญหาที่ยากลำบากแบบเดียวกับปัญหาที่กล่าวไป ในการจัดให้มี **ATM** อย่างเหมาะสม คือ ในภาคธุรกิจต่างๆ ไม่ประสงค์ที่จะลงทุนในการจัดหาอุปกรณ์ที่มีความสามารถของ **ATM** หากบริการ **ATM** ยังไม่พร้อมที่จะมีบริการการสื่อสารในพื้นที่กว้าง และผู้ลงทุนก็ยังไม่ต้องการที่จะเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก ถ้ายังไม่มีความต้องการใช้บริการนี้อย่างเพียงพอ

ไม่ต้องสงสัยเลยว่า ในที่สุด ATM ก็จะเป็นผู้ชนะ เมื่อโลกต้องการความเร็ว และการจัดส่งที่น่าเชื่อถือของ ATM กว่าที่จะถึงเวลานั้น ATM ก็เติบโตอย่างเต็มที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้วยความช่วยเหลือขององค์กรที่เรียกว่า ATM Forum ซึ่งเป็นกลุ่มของผู้จำหน่ายผลิตภัณฑ์ และคณะอื่นที่มีความสนใจทำงานร่วมกันในการพัฒนามาตรฐาน จัดเตรียมให้มีข้อมูล และสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีที่มีความสัมพันธ์กับ ATM เมื่อเวลาผ่านไป ATM ได้รับการคาดหวังว่าจะสร้างกระบวนการที่สมบูรณ์และทำให้บรรลุผลตามที่ได้สัญญาไว้ และแน่นอนว่าเป็นการเพิ่มความต้องการใช้ระบบเครือข่ายและเพิ่มความต้องการวิธีที่เร็วกว่าและซ้ำซ้อนกว่าในการจัดส่งข้อมูลมัลติมีเดีย และนั่นคือสถานที่สำหรับเทคโนโลยีนี้

และนั่นคือ ATM อย่างย่อ อย่างไรก็ตาม ก่อนที่จะออกจากเนื้อหาในเรื่องนี้ จะมีคุณค่าเป็นอย่างมากในการดูเกี่ยวกับ broadband ISDN ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ยังไม่เติบโตเต็มที่ และได้รับการระบุอยู่ใน ATM layer

11.9.4 BISDN (Broadband ISDN)

BISDN เป็นเทคโนโลยี ISDN ในยุคต่อไป ซึ่งสามารถจัดส่งข้อมูลทุกประเภทผ่านไปยังระบบเครือข่ายได้ ในความหมายของ BISDN ข้อมูลเหล่านี้สามารถจัดแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ interactive services และ distributed services

11.9.4.1 Interactive services

คือการโต้ตอบประเภท you-and-me เช่นการประชุมทางไกล (video conferencing) การส่งข่าวสาร (messaging) และการเรียกดูข้อมูล

11.9.4.2 Distributed services

ประกอบด้วยการส่งข้อมูล you-to-me ที่ทำการจัดส่งหรือแพร่กระจายข้อมูลไปยังผู้รับบริการนี้ยังแบ่งออกเป็นประเภทที่ผู้รับสามารถควบคุมได้ (เช่น e-mail โทรศัพท์แบบมีภาพ และเทเล็กซ์) กับประเภทที่ผู้รับไม่สามารถควบคุมได้มากไปกว่าการปรับเครื่องรับให้เหมาะสม (เช่นการออกอากาศสัญญาณวิทยุและโทรทัศน์)

แต่คุณอาจคิดว่า narrowband ISDN ในปัจจุบันก็มีความสามารถในการจัดส่งข้อมูล สัญญาณภาพและสัญญาณเสียงได้เช่นเดียวกัน แล้วจะแตกต่างกันอย่างไร? ความแตกต่างก็คือวิธีที่ใช้ในการจัดส่งข้อมูล การส่งสัญญาณข้อมูลของ narrowband ISDN จะใช้พื้นฐานของเวลาในการจัดแบ่งข้อมูล (Time Division Multiplexing – TDM) ที่ใช้ช่วงจังหวะเวลาเป็นตัวกำหนดการนำสัญญาณข้อมูลต่างๆ ให้ไปที่ละสัญญาณ ในทางตรงกันข้าม BISDN จะใช้ ATM ด้วยการจัดส่งเซลล์ขนาด 53 ไบต์ ด้วยเทคโนโลยีแพ็กเก็ตสวิตชิง ดังนั้น ATM จึงเป็นตัวกำหนด BISDN หรืออย่างน้อยก็เป็นส่วนหนึ่งที่ได้รับความคิดเห็นในการจัดส่งข้อมูล ถ้าเปรียบ BISDN กับรายการบริการซื้อสินค้าที่จัดส่งทุกอย่างให้ไม่ว่าจะเป็นอาหารหรือเสื้อผ้า ATM จึงเปรียบได้กับกล่องที่ผลิตภัณฑ์เหล่านั้นได้รับการบรรจุและจัดส่ง

11.10 FDDI (Fiber Distributed Data Interface)

FDDI ซึ่งส่วนใหญ่จะออกเสียงว่า “ฟิดดี้” หรือ “เอฟ-ดี-ดี-ไอ” หมายถึง Fiber Distributed Data Interface คุณจึงเดาได้โดยไม่มีข้อสงสัยเลยว่าใช้พื้นฐานของการส่งสัญญาณข้อมูลบนเคเบิลใยแก้วนำแสง และยังคงอยู่

บนพื้นฐานของ topology แบบวงแหวน (Ring) และใช้วิธี Token Passing ดังนั้น FDDI จึงเป็นเทคโนโลยีในระดับสูงของระบบเครือข่ายโทแกนริงบนเคเบิลใยแก้วนำแสง

FDDI ได้รับการพัฒนาด้วยเหตุผล 2 ประการ คือ เพื่อสนับสนุนและให้ความช่วยเหลือความสามารถในการขยาย LAN ที่มีอยู่เดิม เช่นเครือข่ายอีเทอร์เน็ต และโทแกนริง และเพื่อจัดให้มีโครงสร้างพื้นฐานที่น่าเชื่อถือสำหรับภาคธุรกิจ ในการเคลื่อนการประยุกต์ที่นับว่าวิกฤติไปยังระบบเครือข่าย ตามมาตรฐานที่สร้างโดยคณะกรรมการใน ANSI ที่เรียกว่า X3T9.5 คุณลักษณะเฉพาะ FDDI จึงได้รับการเปิดตัวในปี 1986

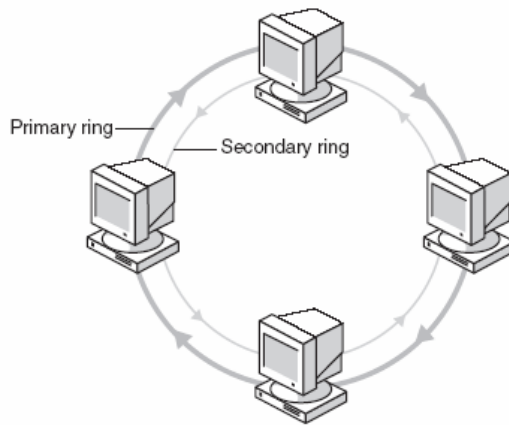
ถึงแม้ว่า FDDI จะไม่ใช่เทคโนโลยี WAN (โครงสร้างแบบวงแหวนจะถูกจำกัดด้วยระยะทางสูงสุด 100 กิโลเมตร หรือ 62 ไมล์) ซึ่งพื้นที่ที่สามารถครอบคลุมได้ทำให้เหมาะสมสำหรับใช้เป็น backbone สำหรับเชื่อมต่อ LANs ขนาดเล็กเข้าด้วยกัน และสามารถจัดให้เป็นแกนกลางของระบบเครือข่ายที่ขนาดใหญ่ได้เท่ากับ MAN (Metropolitan Area Network) ในลักษณะนี้ FDDI จะเป็นมากกว่า LAN แต่น้อยกว่า WAN นอกเหนือจากนั้น เนื่องจาก FDDI จะโยกย้ายข้อมูลด้วยความเร็วสูงมาก (100 Mbps) โดยมากจึงมักจะใช้ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ทันสมัย เช่นเครื่องคอมพิวเตอร์เมนเฟรม เครื่องมินิคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์เสริมอื่น หรือใช้ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์สมรรถนะสูงภายใน LAN ตัวอย่างเช่นเครื่องเวิร์กสเตชันของวิศวกรที่เป็น video/graphic ที่จะได้รับประโยชน์จาก FDDI เพราะเครื่องเหล่านี้ต้องพิจารณาใช้แบนด์วิดท์ในการส่งข้อมูลเป็นจำนวนมาก เพื่อให้ได้ความเร็วที่น่าพอใจ

FDDI ได้รับการพัฒนาภายใต้แนวความคิดเกี่ยวกับการใช้เคเบิลใยแก้วนำแสง ในความเป็นจริงก็คือประเภทของสายเคเบิลที่ใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องการส่งสัญญาณข้อมูลด้วยความเร็วสูงผ่านระยะทางที่ไกล (2,000 ถึง 10,000 เมตร หรือประมาณ 1 ถึง 6 ไมล์) อย่างไรก็ตามการส่งสัญญาณข้อมูลในระยะใกล้ (ประมาณ 100 เมตร หรือ 330 ฟุต) ก็สามารถใช้เทคโนโลยี FDDI บนสายเคเบิลที่เป็นทองแดงได้ ดังนั้นโดยรวมแล้ว FDDI สามารถสนับสนุนบนสายเคเบิลที่แตกต่างกัน 4 ประเภท คือ

- Multimode fiber-optic cable สายเคเบิลประเภทนี้สามารถใช้ได้ในระยะทาง 2,000 เมตร และใช้ LEDs เป็นแหล่งกำเนิดแสง
- Single mode fiber-optic cable สายเคเบิลประเภทนี้สามารถใช้ได้ในระยะทางสูงสุด 10,000 เมตร และใช้เลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสง แกนกลางของสายเคเบิลประเภทนี้จะบางกว่าสายแบบ multimode แต่จัดให้มีแบนด์วิดท์มากกว่า เนื่องจากวิธีที่แสงเดินทางผ่านสายเคเบิล
- Category 5 Unshielded Twisted Pair copper wiring สายเคเบิลประเภทนี้จะมีสายไฟ 8 เส้น เช่นเดียวกับประเภทต่อไป สามารถนำมาใช้ได้ในระยะทาง 30 เมตร
- IBM Type 1 Shielded Twisted Pair copper wiring เป็นสายคู่พันเกลียว 2 คู่และมีลิ่งห่อหุ้มสำหรับสายแต่ละคู่

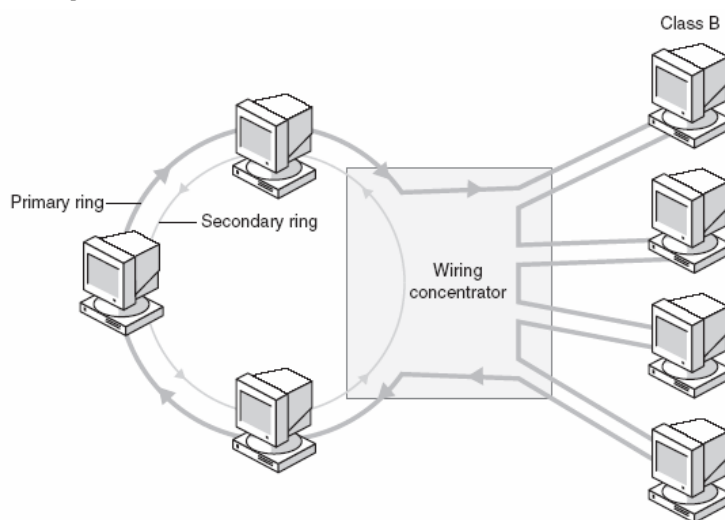
11.10.1 FDDI topology and fault tolerance

Topology ของเครือข่าย FDDI และการทำงานจะเหมือนกับเครือข่ายโทแกนริง เว้นแต่ว่า FDDI จะใช้เคเบิลใยแก้วนำแสงเป็นพื้นฐานการเชื่อมต่อ นอกจากนั้น FDDI ยังถูกกำหนดคุณลักษณะเฉพาะโดยการมีวงแหวนซ้อนกัน 2 ชั้นที่เรียกว่า counter-rotating ring (dual-ring topology) ดังแสดงตามรูปที่ 11 – 11



รูปที่ 11 – 11 FDDI ใช้ Topology แบบวงแหวนคู่

วงแหวนวงที่สองมีไว้สำหรับการรับประกัน ตามปกติในเครือข่าย FDDI วงแหวนวงหนึ่ง (เรียกว่าวงแหวนหลัก) จะทำหน้าที่นำพาโทแกนและข้อมูล และวงแหวนวงที่สองจะอยู่เฉยๆ ไม่มีการทำงานและจะถูกใช้เป็นวงแหวนสำรองสำหรับการแก้ไขความผิดพลาด เมื่อใดก็ตามที่มีโหนดใดโหนดหนึ่งเป็นสาเหตุทำให้วงแหวนวงแรกหยุดการขนส่งข้อมูลจะถูกหุ้มอยู่บนโหนดที่เกิดปัญหา และวงแหวนวงที่สองก็จะทำการนำสัญญาณข้อมูลต่อไป จะแตกต่างกันเพียงในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับวงแหวนเดิม ด้วยวิธีนี้ถึงแม้ว่าจะมีโหนดที่เสียหาย ระบบเครือข่ายก็ยังคงทำงานต่อไปได้ และแน่นอนว่าอาจเป็นไปได้ที่จะมี 2 โหนดที่เสียหายการหุ้มหุ้มทั้งสองแห่ง จะทำให้แยกส่วนวงแหวนวงเดียวออกเป็น 2 ส่วนที่ไม่สามารถทำการสื่อสารได้ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดเหตุการณ์ที่ร้ายแรงเช่นนี้ ระบบเครือข่าย FDDI จะอาศัยอุปกรณ์ต่อทางอ้อมที่เรียกว่า concentrators ที่จะเหมือนกับฮับหรือ MAU ที่สามารถเชื่อมต่อกับโหนดได้หลายโหนด และทำหน้าที่ในการแยกโหนดที่เสียหายออกจากวงแหวน จึงทำให้การส่งข้อมูลในระบบเครือข่ายสามารถดำเนินต่อไปได้ ดังแสดงตามรูปที่ 11 – 12



รูปที่ 11 – 12 คอมพิวเตอร์ Class B จะเชื่อมต่อวงแหวนเพียงวงเดียว

อย่างไรก็ตามในบางครั้งก็จะใช้วงแหวนทั้งสองวงสำหรับขนส่งข้อมูล ในกรณีนี้ข้อมูลจะเดินทางในทิศทางหนึ่ง (ตามเข็มนาฬิกา) บนวงแหวนวงแรก และในอีกทิศทางหนึ่ง (ทวนเข็มนาฬิกา) บนวงแหวนอีกรวงหนึ่ง การ

ใช้วงแหวนทั้งสองวงสำหรับขนส่งข้อมูลหมายถึงเพิ่มปริมาณการขนส่งข้อมูลเป็น 2 เท่าในเวลาเท่าเดิม ดังนั้นความเร็วในการทำงานของระบบเครือข่ายก็จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าด้วย (จาก 100 Mbps เป็น 200 Mbps)

11.10.2 FDDI token passing

วิธีการ Token passing บนระบบเครือข่าย FDDI จะมีการทำงานในวิถีทางเช่นเดียวกับการทำงานบนระบบเครือข่ายโทแกนริง นั่นคือโหนดจะส่งโทแกนออกไปรอบๆ วงแหวน และจะมีเพียงโหนดที่ครอบครองโทแกนที่มีสิทธิในการส่งเฟรมข้อมูล อย่างไรก็ตามอาจจะบิดเบือนจากนี้ไปบ้างในขณะที่เกิดข้อบกพร่องขึ้นบนเครือข่าย FDDI คือเมื่อโหนดในวงแหวนตรวจพบว่ามีปัญหา โหนดนั้นจะไม่เพียงอยู่เฉยๆ แล้วบอกว่าไม่สามารถส่งโทแกนออกไปได้และหยุดการทำงาน แต่โหนดนั้นจะสร้างเฟรมที่เรียกว่า “beacon” และส่งออกไปบนระบบเครือข่าย เมื่อโหนดข้างเคียงตรวจจับ beacon ได้ ก็จะส่ง beacon ออกไปด้วย และเมื่อเกิดลักษณะเช่นนี้โดยรอบวงแหวน เมื่อโหนดที่เริ่มกระบวนการนี้ได้รับ beacon ของตนเองกลับมา (โดยทั่วไปมักจะเกิดขึ้นเมื่อระบบเครือข่ายสลับไปใช้วงแหวนวงที่สอง) โหนดนั้นก็จะสมมติเอาว่าปัญหาที่เกิดขึ้นได้ถูกแยกออกไปแล้ว หรือได้รับการแก้ไขแล้ว ก็จะทำการสร้างโทแกนใหม่และเริ่มส่งออกไปตามเดิมอีกครั้ง

11.10.3 โครงสร้างของระบบเครือข่าย FDDI (Structure of a FDDI network)

ดังเช่นที่กล่าวมาแล้วว่าระบบเครือข่าย FDDI ไม่สามารถที่จะสร้างวงแหวนที่ไกลเกินกว่า 100 กิโลเมตรได้ ข้อจำกัดอื่นของระบบเครือข่าย FDDI ก็คือวงแหวนแต่ละวงไม่สามารถรองรับโหนดได้มากกว่า 500 โหนด ถึงแม้ว่าในภาพรวมของ topology ระบบเครือข่ายจะต้องเป็นวงแหวนทางตรรกะ ดังนั้นวงแหวนจึงไม่จำเป็นต้องจัดวางเป็นรูปวงกลม แต่อาจจะเชื่อมต่อกันแบบดาวผ่านฮับ หรือ concentrators และยังสามารถจัดเป็นรูปต้นไม้ได้โดยรวบรวมการต่อฮับเป็นลำดับชั้น ตราบเท่าที่การต่อแบบดาวและแบบต้นไม้เหล่านั้นมีการเชื่อมต่อเป็นวงแหวนทางตรรกะ ก็เป็นระบบเครือข่าย FDDI สำหรับโหนดที่ต่อเชื่อมเข้ากับวงแหวนมีอยู่ 2 ประเภท ขึ้นอยู่กับว่าจะเชื่อมต่อกับวงแหวน FDDI อย่างไร ประเภทแรกเรียกว่า SAS (Single Attachment Station) สำหรับเชื่อมต่อผ่าน concentrator ไปยังวงแหวนหลัก การที่ SAS ต้องเชื่อมต่อไปยัง concentrator ทำให้ concentrator สามารถแยกโหนดประเภทนี้ออกจากวงแหวนได้หากเกิดความเสียหาย สำหรับโหนดประเภทที่สองเรียกว่า DAS (Dual Attachment Station) ซึ่งมีการเชื่อมต่อไปยังระบบเครือข่าย 2 ทาง ทำให้สามารถเชื่อมต่อไปยังโหนดอื่น และ concentration ได้ หรืออาจจะเชื่อมต่อไปยัง concentrator 2 ตัว ในกรณีที่การทำงานของโหนดเป็นจุดวิกฤติต่อระบบเครือข่าย โดยที่ทางหนึ่งจะใช้เป็นเส้นทางสำรองในกรณีที่อีกเส้นทางหนึ่งเสียหาย โดย concentrator ประเภทที่เชื่อมต่อไปยังแหล่งทรัพยากรเดียว เช่นเครื่องเซิร์ฟเวอร์ที่มีการทำงานวิกฤติ นี้เรียกว่า dual homing และใช้ในการจัดให้มีกลไกในการสำรองสำหรับความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้น โดยรวมแล้ว FDDI เป็นระบบเครือข่ายความเร็วสูง ที่มีแบนด์วิธมากซึ่งมีการส่งสัญญาณข้อมูลโดยใช้แสงและการจัดตั้งก็มีราคาสูง อย่างไรก็ตามได้มีการปรับแต่งให้มีเสถียรภาพในระดับสูง จึงมักถูกใช้เป็น backbone สำหรับระบบเครือข่ายในการเชื่อมต่อ LAN สมรรถนะสูง และเครื่องเวิร์กสแตชันอื่นที่มีความต้องการความเร็วในการส่งข้อมูลเป็นจำนวนมาก

11.11 Synchronous Optical Network (SONET)

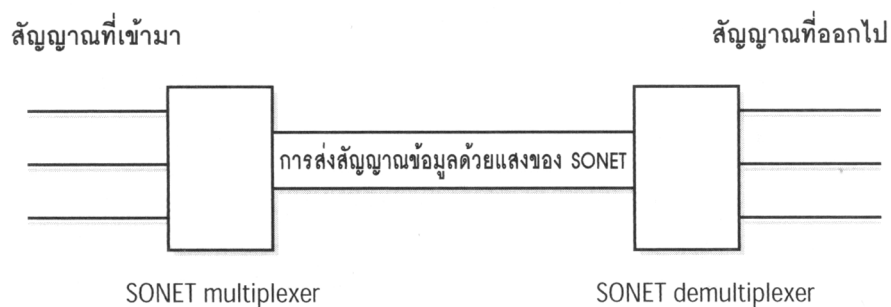
SONET เป็นมาตรฐานของ ANSI สำหรับการส่งข้อมูลมัลติมีเดีย (สัญญาณข้อมูล สัญญาณภาพ สัญญาณเสียง) ผ่านเคเบิลใยแก้วนำแสงที่ใช้อย่างกว้างขวางในการสื่อสารทางไกล โดยได้รับการออกแบบให้จัดเตรียมสื่อกลางการสื่อสาร ด้วยมาตรฐานการเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายที่ใช้แสงเป็นตัวนำสัญญาณ SONET ได้รับการคิดค้นโดยองค์กรที่เรียกว่า ECSA (Exchange Carriers Standard Association) และในภายหลังรวมเข้ากับข้อเสนอแนะของ ITU ที่เรียกว่า SDH (Synchronous Digital Hierarchy)

ในปัจจุบันถ้าแยกความแตกต่างในเรื่องขนาดเล็กกว่าออก SONET และ SDH ก็จะเท่าเทียมกัน (SONET มีในทวีปอเมริกาเหนือ ส่วน SDH มีในทวีปยุโรป) เมื่อรวมกันก็จะเป็นก็จะเป็นตัวแทนของมาตรฐานระบบเครือข่ายแบบดิจิทัลที่ทำให้มีระบบการส่งสัญญาณข้อมูลไปทั่วทั้งโลกผ่านสื่อกลางที่เป็นแสง SONET เปรียบเทียบได้กับมาตรฐานที่ทำให้มั่นใจว่าวงจรไฟจะได้รับการออกแบบตามคุณลักษณะที่กำหนด ทำให้สามารถเชื่อมต่อเพื่อให้ขบวนรถไฟแล่นไปตามรางได้โดยอิสระและปราศจากปัญหา

SONET เริ่มได้รับการออกแบบในกลางยุคปี 1980s โดยมีการทำงานใน physical layer และคำหนึ่งเกี่ยวกับรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับการจัดรูปแบบของเฟรม การ multiplex การจัดการ และการส่งข้อมูลออกไปบนสื่อกลางที่เป็นแสงแบบ synchronous โดย SONET จะกำหนดคุณลักษณะมาตรฐานในการ multiplex ข้อมูลจำนวนมากที่มีความเร็วต่ำลงไปบนการส่งสัญญาณข้อมูลขนาดใหญ่กว่า และเร็วกว่า ในความสัมพันธ์กับความสามารถในการ multiplex นี้ กำหนดให้มี 2 สัญญาณที่เป็นหัวใจสำคัญของมาตรฐาน SONET

- Optical carrier (OC) levels ซึ่งถูกใช้โดยสื่อกลางที่เป็นเคเบิลใยแก้วนำแสง และแปลงมาเป็นความเร็วและความจุในการนำสัญญาณ
- Synchronous transfer signal (STS) เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าที่เทียบเท่ากับ OC level และถูกนำมาใช้กับสื่อที่ไม่ใช้เส้นใยนำแสง

นั่นหมายความว่าอะไร? ลองย้อนกลับไปสักเล็กน้อย SONET คือการขนส่งสัญญาณด้วยแสง แต่ก็เป็น การขนส่งในระยะทางไกล ถึงแม้ว่าการส่งสัญญาณข้อมูลผ่านระบบ SONET จะเป็นรูปแบบของแสง แต่สัญญาณเหล่านั้นก็ไม่ได้มีจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดแบบนั้น สัญญาณข้อมูลจะถูก multiplex ไปบนสื่อกลางที่นำแสงของ SONET แต่สัญญาณเหล่านั้นจะมาจาก การขนส่งข้อมูลในรูปแบบดิจิทัลประเภทอื่น เช่น TI ด้วยวิธีเช่นนี้จะเป็นการช่วยเหลือได้ ถ้าคิดว่า SONET เป็นบางสิ่งที่เหมือนกับแม่น้ำ Mississippi และมีสายน้ำสาขาไหลมารวมเป็นแม่น้ำ สายน้ำสาขาเหล่านี้ถูกเรียกว่า “แคว (Tributaries)” ดังแสดงตามรูปที่ 11 – 13



รูปที่ 11 – 13 SONET

เนื่องจาก SONET มีการขนส่งข้อมูลแบบ *synchronous* การทำงานกับสัญญาณต่างๆ จึงยึดช่วงระยะเวลาเป็นหลัก และมีความเร็วในการส่งสัญญาณหลายระดับซึ่งอยู่บนพื้นฐาน อัตราการขนส่งพื้นฐานที่เรียกว่า STS-1 (*Synchronous Transport Signal level-1*) ซึ่งมีความเร็วเท่าเทียมกับสัญญาณแสง OC-1 อัตราการส่งเบื้องต้นนี้มีการทำงานด้วยความเร็ว 51.84 Mbps ซึ่งดูเหมือนว่าจะเร็วมาก และแสดงให้เห็นว่าทำไม SONET จึงได้รับการพิจารณาให้เป็นวิธีในการขนส่งข้อมูลซึ่งเร็วที่สุด สำหรับอัตราการส่งข้อมูลของ SONET ในระดับที่สูงขึ้นไปจะเพิ่มเป็นทวีคูณ ตัวอย่างเช่นในขั้นต่อไปคือ ST-3 (เทียบเท่ากับ OC-3) ซึ่ง *multiplex* สัญญาณ ST-1 รวม 3 สัญญาณเข้าเป็นกระแสข้อมูลเดียว จึงมีความเร็วในการทำงานเป็น 3 เท่าของอัตราการส่งเบื้องต้น คือ $3 \times 51.84 = 155.520$ Mbps และยังมี STS-12 (OC-12) ที่มีความเร็วในการทำงานเป็น 12 เท่าของอัตราการส่งข้อมูลพื้นฐาน นั่นคือ 622.08 Mbps สำหรับความเร็วสูงสุดที่ SONET ทำได้ในปัจจุบันคือ STS-48 (OC-48) ที่กำหนดความเร็วในการส่งสัญญาณข้อมูลไว้ 2.488 Gbps

11.11.1 การทำงานของ SONET

ดังที่เห็นจากรูปที่ 11 – 13 แล้วว่า SONET จะแปลงสัญญาณทางไฟฟ้า (STS) ให้เป็นระดับสัญญาณแสง (OC) สำหรับการขนส่ง และยังแปลงกลับมาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า (OC เป็น STS) ณ จุดที่สัญญาณข้อมูลเดินทางออกจากสื่อของ SONET เพื่อเดินทางต่อไปตามสื่อประเภทใดก็ตามที่ทำให้สัญญาณข้อมูลไปถึงจุดหมายปลายทาง

เริ่มต้นจาก SONET ไม่ได้มีเคเบิลใยแก้วนำแสงที่มีความยาวมากเพียงเส้นเดียว (นั่นหมายความว่าซึ่งเคเบิลเพียงเส้นเดียวไปทั่วโลก) ตลอดระยะทางจากแหล่งกำเนิดสัญญาณไปยังจุดหมายปลายทาง สัญญาณข้อมูลจะถูกส่งผ่าน *multiplexer* ตัวกลางมากกว่า 1 แห่ง รวมทั้งต้องผ่านสวิตช์ เราท์เตอร์ และรีพีตเตอร์ สำหรับขยายสัญญาณ ส่วนต่างๆ ตามเส้นทางนี้ทำให้ SONET มีการเรียกชื่อที่แตกต่างกัน ดังนี้

- **Section** คือส่วนความยาวของเคเบิลใยแก้วนำแสงเพียงเส้นเดียว
- **Line** คือ *section* ใดๆ ที่เดินระหว่าง *multiplexers* 2 ตัว
- **Path** เส้นทางการส่งสัญญาณที่สมบูรณ์ จาก *multiplexer* ของแหล่งต้นทาง (ที่ซึ่งสัญญาณจากสาขาต่างๆ มารวมกัน) ไปยัง *multiplexer* ของปลายทาง (ที่ซึ่งสัญญาณถูกแยกออกจากกันและถูกส่งไปตามเส้นทางของแต่ละสัญญาณ)

การส่งสัญญาณข้อมูลนั้น จะมีการสร้างเฟรมข้อมูลที่มีขนาด 810 ไบต์ และถูกส่งออกไปด้วยอัตราเร็ว 8000 เฟรมต่อ 1 วินาที โดยเฟรมข้อมูลเหล่านี้ไม่เพียงแต่จะบรรจุเฉพาะข้อมูล แต่ยังมีบางส่วนที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบ การจัดการ และอื่นๆ ดังนั้นเพื่อเรียกร้องความสนใจของผู้ที่เข้ามาใช้เครือข่าย จึงมีลักษณะวิธีการจัดการเฟรมข้อมูลเหล่านี้เป็นพิเศษ 2 ประการ คือ

- ประการแรก คือ SONET จะทำการส่งกระแสของเฟรมข้อมูลออกไปอย่างคงที่ ไม่ว่าจะมีส่วนข้อมูลบรรจุอยู่ในเฟรมข้อมูลหรือไม่ก็ตาม หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่าเป็นเหมือนตู้ลิ้นค้ำที่ฟ่วงอยู่ท้ายขบวนรถไฟ ถ้ามีข้อมูลที่จะส่งมาถึงทันเวลา SONET ก็จะรวมเข้าไปในเฟรม ถ้าไม่มีข้อมูลมาถึงเฟรมก็จะออกเดินทางจากสถานีด้วยความว่างเปล่า

- ประการที่สอง เนื่องจาก SONET เป็นการขนส่งข้อมูลแบบ synchronous แต่ละเฟรมจะมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า “พอยน์เตอร์ (pointer)” ที่ระบุจุดเริ่มต้นของข้อมูลจริงอยู่ที่ใดในเฟรม โดยพอยน์เตอร์นี้จะเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นเพราะการกำหนดช่วงระยะเวลา เป็นส่วนที่สำคัญของการส่งสัญญาณข้อมูลของ SONET แต่ด้วยตัวของระบบเครือข่ายเองไม่สามารถคาดเดาได้ว่ากระแสของข้อมูลที่มาถึงจะอ้างอิงกับช่วงจังหวะเวลาของสัญญาณนาฬิกาเดียวกันหรือไม่ (น่าจะเป็นไปไม่ได้) SONET จะอนุญาตให้มีปริมาณข้อมูลคงที่และผันแปรทางด้านเวลา โดยจะใช้พอยน์เตอร์ในการทำให้มั่นใจว่าข้อมูลมีจุดเริ่มต้นที่ใดในการเรียกคืนมาที่จุดหมายปลายทาง

11.11.2 Protocol layers ในมาตรฐาน SONET

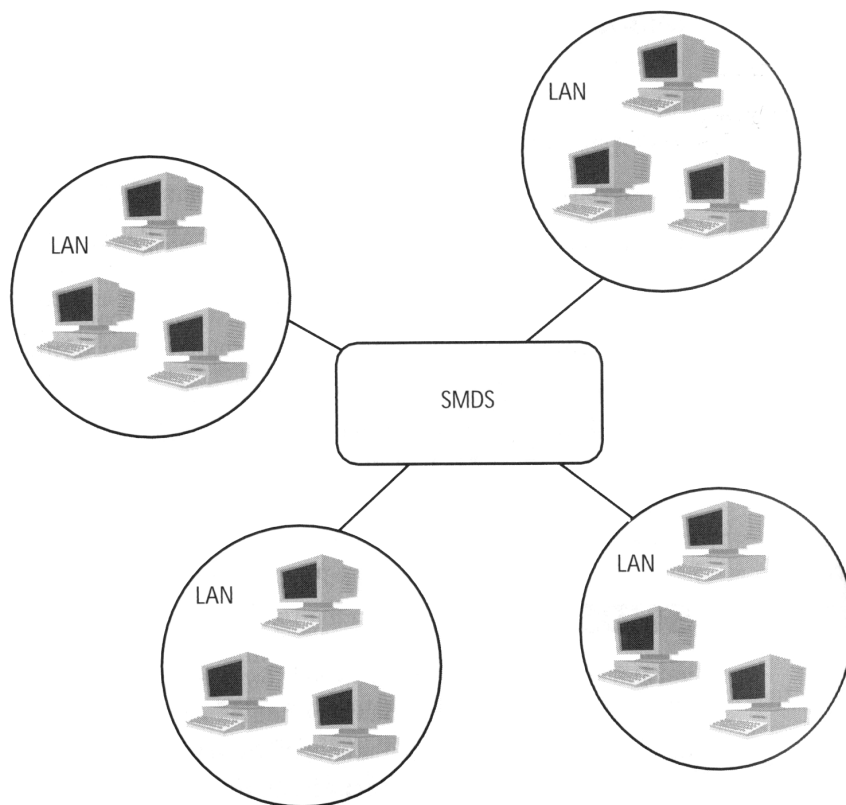
การทำงานทั้งหมดในการจัดโครงสร้างเฟรม การ multiplexing การส่งสัญญาณ และการกำหนดเส้นทางการขนส่งเฟรมข้อมูลนั้น SONET จะต้องอาศัย protocol layer 4 ระดับชั้น ซึ่งแต่ละเลเยอร์จะสนับสนุนการทำงานอย่างหนึ่งในการส่งสัญญาณ ซึ่งมีดังต่อไปนี้

- **Photonic layer** ทำการแปลงสัญญาณระหว่างสัญญาณทางไฟฟ้าและสัญญาณแสง
- **Section layer** ทำการสร้างเฟรมและดูแลการตรวจสอบความผิดพลาด
- **Line layer** มีหน้าที่ในการ multiplexing, synchronizing และ demultiplexing
- **Path layer** ให้ความสนใจกับการนำเฟรมจากแหล่งต้นทางไปยังปลายทาง

11.12 Switched Multi-megabit Data Service (SMDS)

SMDS เป็นการบริการระบบเครือข่ายสาธารณะที่เสนอให้มีโดยใช้สื่อกลางการสื่อสารเป็นธุรกิจในการเชื่อมต่อ LAN ในสถานที่ต่างๆ SMDS เป็นเทคโนโลยีแพ็กเก็ตสวิตชิงแบบ connectionless ที่ได้รับการออกแบบให้จัดเตรียมวิธีการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายที่มีราคาต่ำกว่าการใช้สายสัญญาณเช่า (lease line) ให้กับภาคธุรกิจ นอกจากนี้ช่วยลดค่าใช้จ่ายแล้ว SMDS ยังมีชื่อเสียงในด้านความเหมาะสมสำหรับคุณลักษณะการสื่อสารของ LAN (LAN-to-LAN) ประเภทที่เกิดขึ้นอย่างฉับพลัน หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่าจะมีการทำงานเมื่อมีความต้องการ

เนื่องจาก SMDS เป็นการเชื่อมต่อแบบ connectionless จึงสามารถมีใช้ได้เมื่อต้องการแทนที่จะต้องมีใช้อยู่ตลอดเวลา และยังเป็นเทคโนโลยีที่นับว่าเร็ว คือมีความเร็วในการส่งสัญญาณข้อมูล 1 Mbps ถึง 45 Mbps (ในประเทศสหรัฐอเมริกา) พื้นฐานการเชื่อมต่อของ SMDS คือ network address ที่ได้รับการออกแบบให้เหมือนกับหมายเลขโทรศัพท์ที่มีทั้งรหัสประเทศ รหัสเมือง และรหัสพื้นที่ โดยแอดเดรสเหล่านี้จะกำหนดให้โดยผู้ให้บริการและใช้ในการเชื่อมต่อ LAN เข้ากับ LAN และมี group address สำหรับใช้ในการออกอากาศข้อมูลไปยัง LAN หลายวงในเวลาเดียวกัน ผู้ใช้ที่ต้องการถ่ายโอนข้อมูลไปยัง LAN วงอื่นสามารถทำได้โดยง่ายเพียงเลือกแอดเดรสที่เหมาะสมในการระบุว่าจะให้จัดส่งข้อมูลไปที่ใด SMDS ก็ให้นำข้อมูลจากที่นั่นและพยายามทำให้ข้อมูลไปถึงจุดหมายปลายทางโดยไม่มีการตรวจสอบข้อผิดพลาดในการส่งสัญญาณข้อมูล และไม่มี ความพยายามที่จะควบคุมการไหลของข้อมูล งานต่างๆ เหล่านี้จะปล่อยให้เป็นที่ของ LANs



รูปที่ 11 – 14 Switched Multi-megabit Data Service

สำหรับแพ็กเก็ตที่จะส่งผ่าน SMDS ก็จะเป็นแบบง่าย คือมีความยาวที่ผันแปรได้ที่รวบรวมบรรจุแอดเดรสของแหล่งต้นทางและจุดหมายปลายทาง และส่วนที่เป็นข้อมูลที่มีความยาวได้มากถึง 9188 ไบต์ โดยแพ็กเก็ตเหล่านี้จะถูกกำหนดเส้นทางการขนส่งโดยเฉพาะ และสามารถบรรจุข้อมูลในรูปแบบใดก็ได้ที่ตามลักษณะการทำงานของ LAN ผู้ส่ง (Ethernet packet, Token Ring packet และอื่นๆ) SMDS มีความจำเป็นเพียงการนำข้อมูลจากสถานที่แห่งหนึ่งไปยังสถานที่อีกแห่งหนึ่งโดยไม่คำนึงถึงรูปร่างและรูปแบบของข้อมูล หรืออาจกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่า SMDS จะแสดงเป็นบางสิ่งๆที่เหมือนกับบริการการส่งข่าวสาร

SMDS ได้รับการพัฒนาตามมาตรฐาน IEEE 802.6 (MAN) เช่นเดียวกับ BISDN โดยใช้ DQDB (Distribution Queue Dual Bus) เป็นเทคโนโลยีในการเชื่อมต่อเครือข่าย จึงถูกจัดให้เป็นสถาปัตยกรรมแบบเปิด (Open System Architecture) แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมาตรฐาน 802.6 ยังไม่มีการกำหนดมาตรฐานในการจัดการการเชื่อมต่อ และการจัดเก็บค่าบริการไว้

แบบฝึกหัดท้ายบท

1. WAN คืออะไร และแตกต่างจาก **Enterprise Network** อย่างไร
2. จงอธิบายข้อพิจารณาในการเลือกใช้ **Dial-up** หรือสายสัญญาณเช่า (**Leased Line**)
3. **ISDN** มีการจัดแบ่งแบนด์วิธที่รูปแบบ อะไรบ้าง จงอธิบาย
4. จงอธิบายการทำงานของวงจรแพ็กเก็ตสวิตซ์ซึ่งมาพอสังเขป
5. วงจรเสมือน (**Virtual Circuit**) คืออะไร มีประโยชน์อย่างไรต่อเทคโนโลยีแพ็กเก็ตสวิตซ์
6. จงอธิบายความแตกต่างระหว่างการเชื่อมต่อแบบ **Connectionless** กับ **Connection-Oriented**
7. จงอธิบายหลักการทำงานของ **DTEs** และ **DCEs**
8. จงอธิบายหลักการทำงานของระบบเครือข่าย **X.25**
9. จงอธิบายหลักการทำงานของระบบเครือข่ายเฟรมรีเลย์ (**Frame Relay**)
10. **Cyclic Redundancy Check** คืออะไร จงอธิบาย
11. จงอธิบายหลักการทำงานของระบบเครือข่าย **ATM**
12. **ATM Cell** แตกต่างจากแพ็กเก็ตข้อมูลอย่างไร
13. **ATM Model** แบ่งโครงสร้างออกเป็นกี่เลเยอร์ อะไรบ้าง จงอธิบาย
14. **Broadband ISDN** มีบริการโดยทั่วไปอยู่ที่ประเภท อะไรบ้าง จงอธิบาย
15. จงอธิบายการทำงานของระบบเครือข่าย **FDDI**
16. วิธีการขนส่งข้อมูลแบบ **Token Passing** ของระบบเครือข่าย **FDDI** แตกต่างจากวิธีการ **Token Passing** ของระบบเครือข่ายโทเคนริงอย่างไร
17. โหนดที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบเครือข่าย **FDDI** มีอยู่ 2 ประเภท อะไรบ้าง จงอธิบาย
18. **SONET** คืออะไร มีการทำงานอย่างไร
19. โปรโตคอลเลเยอร์มาตรฐานของ **SONET** มีกี่เลเยอร์ อะไรบ้าง จงอธิบาย
20. จงอธิบายหลักการทำงานของบริการ **SMDS**