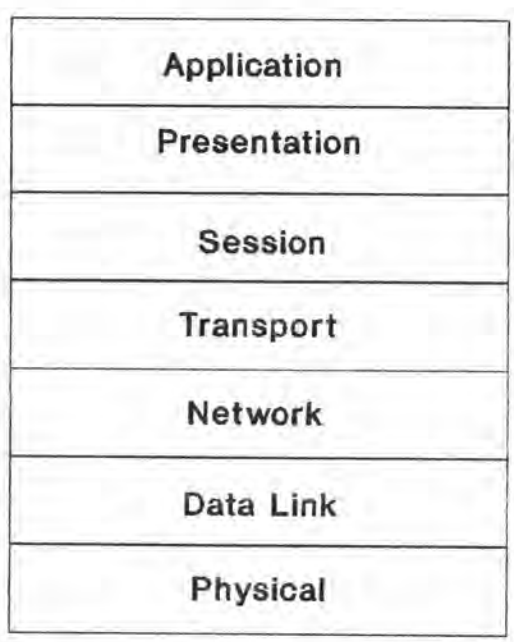
บทที่ 2

ทฤษฎีด้านการสื่อสารสำหรับเครือข่ายแพ็คเก็ต

2.1 การสื่อสารข้อมูล

2.1.1 โครงสร้างของ OSI Model (Tanenbaum, 1989), (Uyless, 1989)

องค์กรมาตรฐานนานาชาติ (International Standard Organization:ISO) ได้กำหนดลักษณะโครงสร้างในการเชื่อมต่อระบบสื่อสารให้เป็นระบบเปิด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดหลักเกณฑ์ให้เป็นระดับเดียวกัน ในการพัฒนาข้อกำหนดที่เกี่ยวกับการเชื่อมต่อระหว่างระบบต่าง ๆ ด้านการสื่อสารข้อมูลให้มีการใช้อุปกรณ์การสื่อสารข้อมูลร่วมกันได้อย่างคล่องตัว การกำหนดโครงสร้างนี้เรียกว่า Open System Interconnection Reference Model โดยแบ่งเป็น 7 ระดับ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้าง OSI Model

(ก) ระดับกายภาพ (Physical Layer)

มีหน้าที่ในการส่งข้อมูลผ่านตัวกลางทางกายภาพ เกี่ยวข้องกับทางกล ทางไฟฟ้า การปฏิบัติหน้าที่และขั้นตอนการปฏิบัติ เช่น ระดับสัญญาณไฟฟ้าจะเป็นกี่โวลต์การจำแนกความแตกต่างระหว่างบิท "1" กับบิท "0" สายเคเบิลและตัวต่อที่จะนำเชื่อมต่อระหว่างเทอร์มินัลกับอุปกรณ์สื่อสาร เป็นต้น

มาตรฐานที่มีใช้งานกันในระดับนี้ได้แก่ EIA/RS232-C หรือ RS-449 หรือ V.24 หรือ X.21

(ข) ระดับการเชื่อมโยงข้อมูล (Data Link Layer)

มีหน้าที่ในการติดต่อและการเลิกติดต่อในการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างตัวส่งกับตัวรับ โดยข้อมูลที่มาจากระดับที่ 3 นำมาประกอบส่วนหัวและส่วนท้ายให้อยู่ในรูปของเฟรมข้อมูลเพื่อส่งต่อให้กับระดับที่1ในทางกลับกันจะรับส่งข้อมูลจากระดับที่ 1 แล้วทำการตัดส่วนหัวและส่วนท้ายของเฟรมข้อมูล ซึ่งก็คือแพ็คเก็ตแล้วส่งต่อไปให้ระดับที่ 3 นอกจากนั้นยังมีหน้าที่ในการซิงโครไนซ์ระหว่างตัวส่งกับตัวรับ การจัดลำดับในการรับส่งเฟรมข้อมูล การตรวจสอบและการแก้ไขความผิดพลาดของการรับส่งข้อมูลรวมไปถึงการส่งเฟรมที่ผิดพลาดได้ใหม่

มาตรฐานที่นิยมใช้ในระดับนี้คือ LAP-B Data Link Protocol ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ Hihg Level Data Link Control (HDLC)

(ค) ระดับเครือข่าย (Network Layer)

มีหน้าที่ในการจัดเครือข่ายได้แก่ การกำหนดเส้นทาง การควบคุมการเดินทางของข้อมูล การแบ่งและรวมข้อมูลให้เป็นแพ็คเก็ต ความสามารถในการแยกแยะจุดต่อเชื่อมด้วยเลขที่ของเครือข่ายทั้งภายในเครือข่ายและระหว่างเครือข่าย ซึ่งเปรียบเสมือนกับหมายเลขโทรศัพท์นั่นเอง มาตรฐานที่นิยมใช้กันมากในระดับนี้ คือ มาตรฐาน CCITT ข้อเสนอแนะ X.25 ระดับที่ 3

(ง) ระดับขนส่ง (Transport Layer)

มีหน้าที่พื้นฐานคือการรับส่งข้อมูลมาจากระดับเซสชั่นและแบ่งข้อมูลให้เป็นหน่วยที่เล็กลงถ้ามีความจำเป็น และส่งผ่านไปยังระดับเครือข่าย และทำให้แน่ใจว่าข้อมูลเหล่านั้นไปถึงจุดหมายปลายทางอย่างถูกต้อง

ชนิดของเครือข่ายที่ใช้สำหรับการสร้างเครือข่ายคอมพิวเตอร์มีอยู่มากมายและยังมีการพัฒนาต่อไปเรื่อย ๆ ดังนั้นขั้นตอนการปฏิบัติงานของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ย่อมแตกต่างกัน การจัดการเกี่ยวกับความแตกต่างกันนี้จะกระทำในระดับนี้ กล่าวคือในระดับขนส่งจะทำหน้าที่ตัดสินใจว่าจะให้บริการเครือข่ายชนิดไหนกับข้อมูลที่รับมาจากระดับเซสชั่น

การเชื่อมต่อในระดับนี้ ที่นิยมใช้กันมากคือการเชื่อมต่อช่องสื่อสารระหว่างจุดต่อจุดแบบไม่เกิดความผิดพลาด (error-free point-to-point channel) ซึ่งจะเป็นตัวนำข้อมูลที่ได้รับมาส่งต่อไป ทำให้การสื่อสารเปรียบเสมือนท่อที่ต่อจากปลายหนึ่งของอุปกรณ์สื่อสารไปยังอีกปลายหนึ่ง

(จ) ระดับช่วงทำงาน (Session Layer)

มีหน้าที่จัดการให้ผู้ใช้ที่อยู่ต่างระบบกันติดต่อกันได้ การจัดการในระดับนี้เน้นในเรื่องการให้บริการต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้แน่นอน นั่นคือการจัดระบบและทำให้การโต้ตอบของระบบต่าง ๆ สอดคล้องกัน การควบคุมการโต้ตอบ (dialoque control) สามารถทำได้ 2 ลักษณะ คือลักษณะ 2 ทาง (two way) และลักษณะทางเดียว (one way) หรือหากมีบางสิ่งดำเนินการผิดพลาดในช่วงทำงานนั้น จะต้องดำเนินการให้กลับคืนสู่สภาพปกติโดยไม่ทำให้ข้อมูลสูญหาย หรือหากดำเนินการไม่สำเร็จก็จะยุติการเซสชั่นนั้นให้ถูกต้องตามขั้นตอน

(ฉ) ระดับการแสดงผล (Presentation Layer)

มีหน้าที่ในการกำหนดวากยสัมพันธ์ (syntax) ในการแสดงผลข้อมูลโดยเกี่ยวข้องกับการเข้ารหัสข้อมูลและชุดสายอักขระที่ประกอบด้วยตัวอักษร ตัวเลขหรือสัญญลักษณ์พิเศษที่เทอร์มินัลที่แตกต่างกันสามารถสื่อความหมายกันได้

ในระดับการแสดงนี้จะให้บริการแก่ผู้ใช้ในระดับบนที่ต้องการติดต่อไป

ยังผู้ใช้อื่นเพื่อให้ผู้ใช้ทั้งสองสามารถสื่อสารกันได้ ทั้งนี้อาจจะต้องทำการเลือกและกำหนดวากยสัมพันธ์ที่จำเป็นต้องใช้สำหรับการส่งต่อไปยังระดับช่วงทำงาน หรืออาจจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงวากยสัมพันธ์ซึ่งก็คือการแปลงผันรหัสอักขระ (code and character conversion)

นอกจากนี้ยังมีหน้าที่อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแสดงผลข้อมูล เช่น การเข้ารหัสลับ (encryption) การอัดข้อมูล (compression) เป็นต้น

(ช) ระดับการประยุกต์ (Application Layer)

มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสนับสนุนการใช้งานหรือระบบที่ดำเนินการอยู่ เช่น การแลกเปลี่ยนข้อมูลราคาหุ้น ระบบจัดการฐานข้อมูล ไปรษณีย์อิเลคทรอนิคส์เป็นต้น ในระดับนี้ยังมีความหลากหลายของงานอยู่มาก ในบางงานก็ยังไม่มีมาตรฐานที่กำหนดแน่ชัดและเป็นที่ยอมรับ นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ของผู้ใช้ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัด คือ ความหลากหลายของเทอร์มินอลซึ่งเกี่ยวข้องกับมาตรฐานหลายเรื่อง ทางแก้ไขที่นิยมดำเนินการ คือ การกำหนดและสร้างเทอร์มินัลแบบเสมือน (virtual terminal) เพื่อที่จะทำให้การใช้งานของโปรแกรมหรือระบบงานที่มีมาตรฐานต่างกันสามารถทำงานร่วมกันได้บนเทอร์มินัลชนิดนี้

2.1.2 เทคนิคในการสื่อสารข้อมูล (Stalling, 1985)

เทคนิคในการสื่อสารข้อมูลมีอยู่ 3 รูปแบบ ดังนี้

(ก) Circuit Switching เป็นการติดต่อสื่อสารระหว่าง 2 สถานีที่มีลักษณะคล้ายกับวงจรโทรศัพท์ การติดต่อวงจรกำหนดเส้นทางก่อนการรับส่งข้อมูล ซึ่งเส้นทางนี้จะถูกใช้งานเฉพาะกับการสื่อสารข้อมูลระหว่าง 2 สถานีนี้จนกว่าจะมีการยกเลิก ประสิทธิภาพของระบบสื่อสารตามรูปแบบนี้จะไม่สูงนักเนื่องจากขีดความสามารถในการใช้งานจะจำกัดเฉพาะ 2 สถานี แต่จะมีประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลได้รวดเร็ว กล่าวคือจะมีการหน่วงเวลา (delay) ที่โนดนั้นน้อยมาก

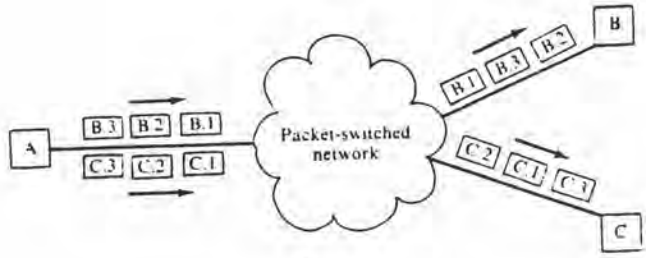
(ข) Message Switching เป็นการติดต่อสื่อสารที่ไม่จำเป็นต้องมีการต่อวงจร (circuit establish) ถ้าสถานีต้องการส่งข้อมูลจะทำการกำหนดเพียงเลขที่ปลายทางเท่านั้น ข้อมูลนั้นจะส่งผ่านเครือข่ายจากโนดไปโนด โดยมีการเก็บไว้ที่บัฟเฟอร์ของโนดเพื่อรอคิวในการส่งออกไปเรียกว่า "store and forward message" ซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลไม่ดีนัก เนื่องจากเกิดการหน่วงเวลาภายในโนด แต่จะสามารถส่งข้อมูลจากผู้ใช้หลายคนในวงจรเดียวได้ดี และสามารถส่งข้อมูลชุดหนึ่งไปให้หลาย ๆผู้ใช้ โดยการทำสำเนาข้อมูลนั้นแล้วจึงส่งไปยังผู้ใช้ตามที่ต้องการ นอกจากนี้ยังสามารถทำการแปลงโปรโตคอลได้ง่ายกว่า circuit switching

(ค) Packet Switching เป็นการติดต่อสื่อสารที่พยายามรวบรวมเทคนิคข้อดีของ circuit switching กับ message switching โดยมีเทคนิคคล้ายกับ message switching แต่ต่างกันที่มีการกำหนดความยาวของขนาดข้อมูล โดยแบ่งเป็นชุดข้อมูลเล็ก ๆ (packet) ส่วนของ message switching จะมีการส่งข้อมูลเป็นชุดใหญ่ ๆ (การให้บริการสลับข้อมูลแบบแพ็กเก็ตจะกล่าวในหัวข้อต่อไป)

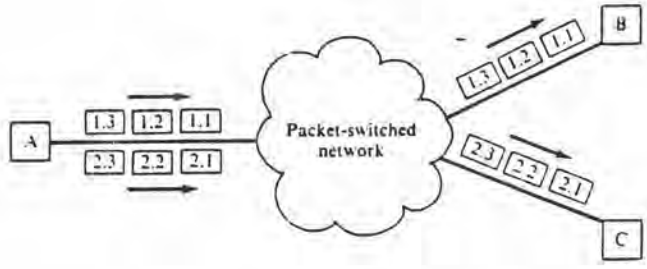
2.2 เครือข่ายแพ็กเก็ต

2.2.1 การให้บริการภายนอกและการทำงานภายในเครือข่ายแพ็กเก็ต (Stalling, 1985)

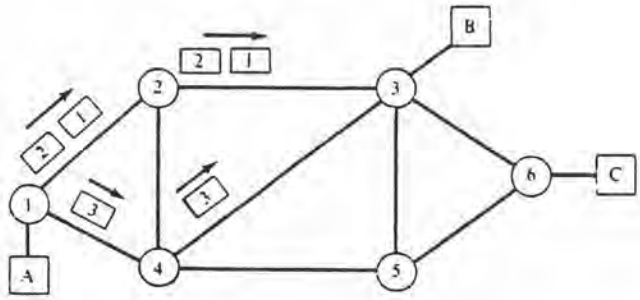
การให้บริการภายนอกและการทำงานภายในเครือข่ายแพ็กเก็ตจะมี 2 ลักษณะ คือ แบบวงจรเสมือน หรือแบบดาตาแกรม ดังรูปที่ 2.2



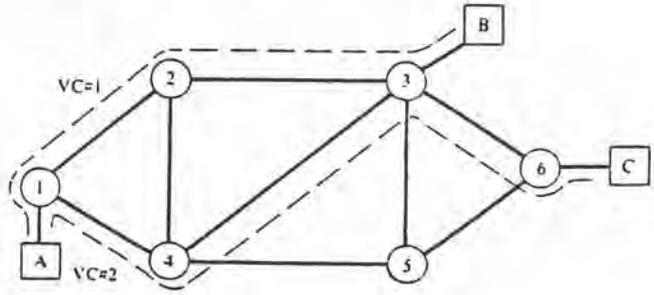
(ก) ลักษณะการให้บริการเป็นดาตาแกรม



(ข) ลักษณะการให้บริการเป็นวงจรเสมือน



(ค) การทำงานภายในเป็นดาตาแกรม



(ง) การทำงานภายในเป็นวงจรเสมือน

รูปที่ 2.2 การให้บริการภายนอกและการทำงานภายในเครือข่ายแพ็กเก็ต

การให้บริการแก่ผู้ใช้ (หรือการทำงานภายนอก) สามารถทำได้ 2 ลักษณะ คือ วงจรเสมือน และดาตาแกรม ถ้าเครือข่ายให้บริการแบบวงจรเสมือน การเชื่อมต่อจากสถานีของผู้ใช้มายังโนดในเครือข่าย ผู้ใช้จะต้องร้องขอการเชื่อมต่อในแต่ละครั้ง รวมทั้งการขอยกเลิกการใช้งานเช่นเดียวกัน และสำหรับการเชื่อมต่อจะมีการใช้ลำดับที่ของแพ็กเก็ตในการควบคุมการเดินทางของข้อมูลและควบคุมความผิดพลาดในการรับส่งแพ็คเก็ต

แต่ถ้าเครือข่ายให้บริการแบบดาตาแกรม การเชื่อมต่อจากสถานีของผู้ใช้มายังโนดนั้น ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องร้องขอการใช้งาน และสำหรับการเชื่อมต่อจะจัดการแต่ละแพ็คเก็ตอย่างอิสระ การส่งข้อมูลของผู้ใช้จะส่งเป็นชุด ๆ ชุดละหลายแพ็กเก็ต เช่น 8 แพ็คเก็ตต่อชุด

สำหรับการทำงานภายในของเครือข่ายมี 2 วิธี ถ้าเป็นวิธีแบบวงจรเสมือน การกำหนดเส้นทางจะกำหนดระหว่างจุดต้นทางถึงจุดปลายทางไว้แน่นอนนับตั้งแต่การร้องขอ และแพ็กเก็ตจะถูกส่งไปตามเส้นทางนั้นอย่างเป็นลำดับต่อเนื่อง

แต่ถ้าเป็นวิธีแบบดาตาแกรมแต่ละแพ็กเก็ตจะมีความอิสระในการส่งแพ็กเก็ตไปยังโนดปลายทางได้หลายเส้นทาง

การออกแบบเครือข่ายทั้งสถานะการให้บริการและวิธีการทำงานภายในของเครือข่ายไม่จำเป็นต้องเลือกใช้ลักษณะและวิธีที่เหมือนกัน กล่าวคือ การให้บริการลักษณะแบบหนึ่งจะใช้วิธีการที่เหมือนหรือต่างกันก็ได้ การให้บริการและวิธีการทำงานภายในที่จะเป็นไปได้ มีได้ 4 กรณี ดังนี้

(ก) ลักษณะการให้บริการเป็นวงจรเสมือนและการทำงานภายในเป็นวงจรเสมือน

เมื่อผู้ใช้ร้องขอการเชื่อมต่อมายังเครือข่าย เครือข่ายจะจัดการการร้องขอและการกำหนดเส้นทางหรือวงจรเชื่อมต่อจากโนดต้นทางไปยังโนดปลายทาง แต่ละแพ็กเก็ตจะถูกส่งตามลำดับไปในเส้นทางเดียวกันจนถึงโนดปลายทางหรือผู้ใช้ปลายทาง

(ข) ลักษณะการให้บริการเป็นวงจรเสมือนแต่การทำงานภายในเป็นดาตาแกรม

การเชื่อมต่อกับเครือข่ายก็จะเหมือนกรณีข้างต้น แตกต่างกันที่การส่งแพ็คเก็ตภายในเครือข่าย ถึงแม้ว่าแพ็คเก็ตที่ส่งมาจากวงจรเสมือนเดียวกัน แต่การส่งแพ็คเก็ตภายในเครือข่ายจะถูกส่งไปตามเส้นทางที่แตกต่างกันได้ ท้ายที่สุดในดปลายทางจะพยายามจัดส่งแพ็คเก็ตให้แก่ผู้ใช้อย่างเป็นลำดับ ซึ่งในดปลายทางอาจจะต้องมีบัพเพอร์ที่จะจัดเก็บแพ็คเก็ตแล้วจึงจัดส่งแพ็คเก็ตอย่างถูกลำดับต่อเนื่อง

(ค) ลักษณะการให้บริการเป็นดาตาแกรมและการทำงานภายในเป็นดาตาแกรม

การทำงานระหว่างผู้ใช้กับในดและระหว่างในดกับในด มีการจัดการแต่ละแพ็คเก็ตอย่างอิสระ

(ง) ลักษณะการให้บริการเป็นดาตาแกรมและการทำงานภายในเป็นวงจรเสมือน

การทำงานในลักษณะนี้ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากการทำงานแบบวงจรเสมือนต้องมีการจัดการที่ซับซ้อนมากและต้นทุนที่สูง แต่ให้ผลประโยชน์ที่ต่ำ เนื่องจากให้บริการแบบดาตาแกรม

ปัจจัยในการพิจารณาการออกแบบลักษณะการให้บริการและการทำงานภายในขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการจัดทำข้อกำหนดและข้อจำกัดในเรื่องการลงทุน

การพิจารณาข้อดี-ข้อเสีย สามารถพิจารณาได้ดังนี้

- การพิจารณาลักษณะการให้บริการ

ถ้าเป็นการให้บริการแบบดาตาแกรม จะให้ประสิทธิภาพในการใช้งานที่ดี เนื่องจากผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องทำการร้องขอการเชื่อมต่อ และอาจจะไม่จำเป็นหรือเกิดขึ้นไม่บ่อยนักที่แพ็คเก็ตจะเกิดความผิดพลาด จนถึงต้องมีการส่งแพ็คเก็ตใหม่ แต่ถ้าเป็นการให้บริการแบบวงจรเสมือน จำเป็นต้องร้องขอการเชื่อมต่อ แต่จะมีความสามารถในการจัดการการควบคุมลำดับการส่งแพ็คเก็ตระหว่างผู้ใช้กับเครือข่าย และการควบคุมความผิดพลาดในการรับส่งแพ็คเก็ต

018492

- การพิจารณาการทำงานภายใน

ถ้าการทำงานภายในเป็นแบบดาตาแกรมจะมีความสามารถในการทำงานที่สูงและมีความยืดหยุ่น ในกรณีที่โนดหรือเส้นทางใดภายในเครือข่ายไม่สามารถใช้งานได้ ก็จะสามารถเลี่ยงไปส่งเส้นทางอื่นได้ และข้อดีอีกอย่างหนึ่งคือ สามารถป้องกันความแออัดภายในเครือข่าย จุดเด่นของวิธีการทำงานแบบดาตาแกรมนั้น เนื่องมาจากหลักในการจัดการแต่ละแพ็คเก็ตเป็นอิสระ

แต่ถ้าการทำงานภายในเป็นแบบวงจรเสมือน จะมีข้อดีในการลดเวลาที่ต้องสูญเสียในการจัดส่งแพ็คเก็ต โดยการกำหนดเส้นทางจำเป็นต้องกำหนดขึ้นมาตั้งแต่เริ่มต้นการร้องขอการเชื่อมต่อกับเครือข่ายและส่งแพ็คเก็ตไปในเส้นทางนั้นตามลำดับกัน และจะได้ประโยชน์มากขึ้นถ้าลักษณะการให้บริการเป็นแบบวงจรเสมือน

อย่างไรก็ตามการให้บริการของเครือข่ายสามารถจัดการโดยใช้โปรโตคอลในระดับชั้นที่สูงกว่าระดับเครือข่ายซึ่งอาจไม่จำเป็นที่จะต้องมีการจัดการซ้ำซ้อนที่ทำในระดับเครือข่ายอีก

เพื่อแสดงลักษณะการให้บริการและการทำงานภายในของเครือข่ายว่ามีการใช้ในเครือข่ายที่มีการใช้งานจริงที่มีอยู่ที่จะเป็นไปได้ใน 3 กรณี ได้แก่ ARPANET, TYMNET, SNA และ DNA เป็นต้น โดยสามารถสรุปได้ว่าในแต่ละเครือข่ายใช้หลักการใดนั้นปรากฏในรูปที่ 2.3

ลักษณะการให้บริการ / การทำงานภายใน	ดาตาแกรม	วงจรเสมือน
ดาตาแกรม	DNA ARPANET	—
วงจรเสมือน	ARPANET	TYMNET SNA

รูปที่ 2.3 แสดงตารางลักษณะการให้บริการและการทำงาน
ภายในเครือข่ายที่มีใช้อยู่

2.2.2 ลักษณะการเชื่อมต่อตามมาตรฐาน X.25 (Stalling, 1985),(Uyless, 1989)

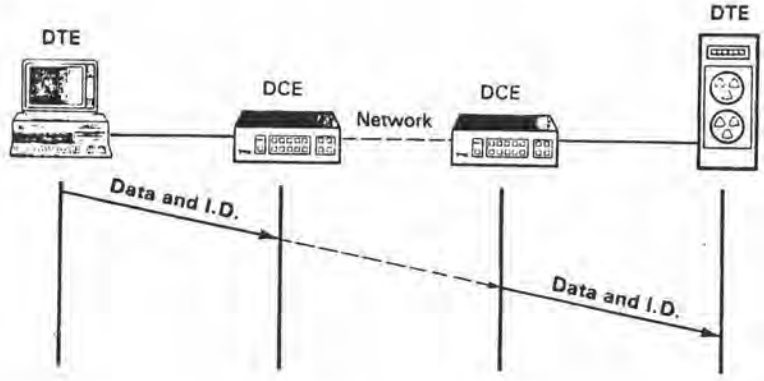
การเชื่อมต่อระหว่าง DTE กับเครือข่ายแพ็กเก็ตตามมาตรฐาน X.25 กำหนดไว้ 3 ลักษณะ

- วงจรเสมือนแบบถาวร (Permanent Virtual Circuit : PVC)
- วงจรเสมือนแบบเรียกหรือร้องขอ (Virtual Call : VC)
- วงจรเสมือนแบบเรียกรวดเร็ว (Fast Select Call)

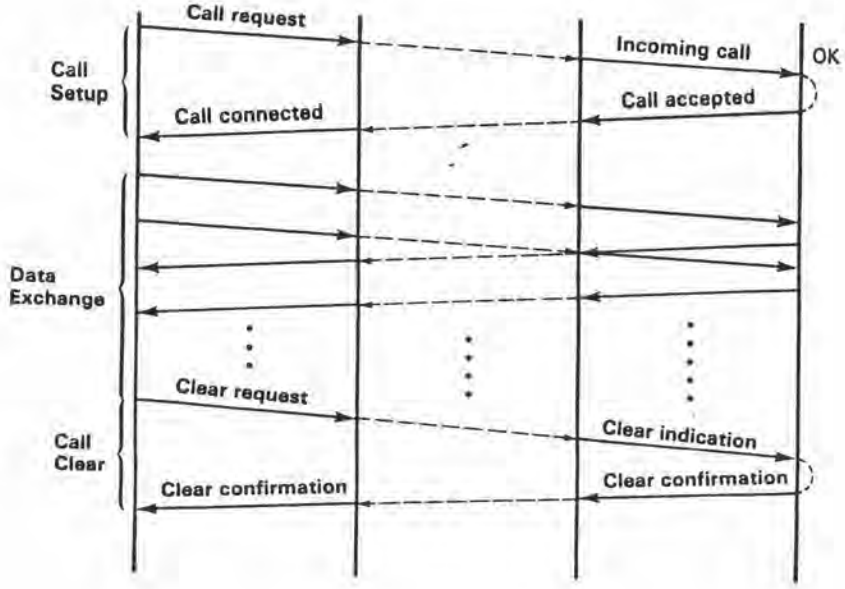
(ก) วงจรเสมือนแบบถาวร

การให้บริการแบบนี้จะคล้ายกับบริการวงจรถาวรหรือวงจรเช่าในระบบโทรศัพท์ที่ใช้ในปัจจุบันที่เรียกว่า leased-circuit switching สำหรับเครือข่าย

แพ็คเก็ต จากรูปที่ 2.4 (ก) การเชื่อมต่อระหว่าง DTE ผู้ส่งกับ DTE ผู้รับ ซึ่งได้มีการตกลงกับผู้บริหารเครือข่ายไว้ล่วงหน้า และได้รับการกำหนดวงจรเส้นทางจากต้นทางไปยังปลายทางเรียบร้อยแล้ว หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ผู้ใช้ทั้งสองจะได้รับการกำหนดเลขที่ของช่องสื่อสารเสมือน (Logical Channel Number : LCN) ดังนั้นการใช้งานของผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องร้องขอการเชื่อมต่อกับเครือข่าย DTE ผู้ส่งสามารถส่งแพ็คเก็ตไปยังช่องสื่อสารเสมือน ผ่านเครือข่าย และส่งออกทางช่องสื่อสารเสมือนไปถึง DTE ผู้รับ

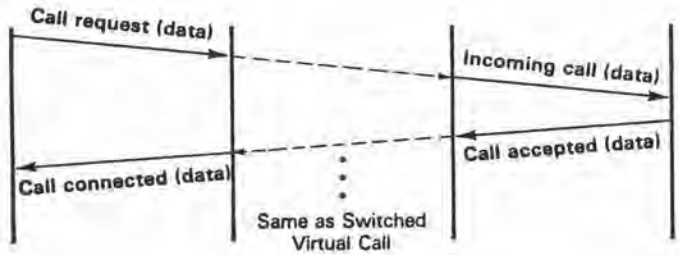


(ก) วงจรเสมือนแบบถาวร

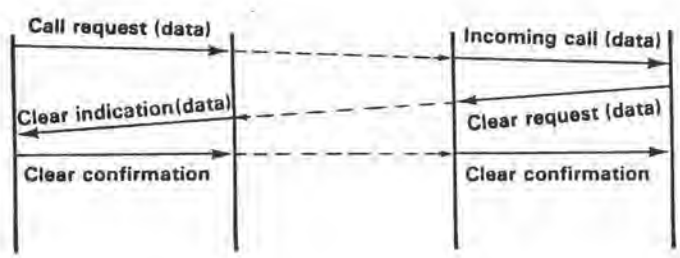


(ข) วงจรเสมือนแบบเรียกหรือร้องขอ

รูปที่ 2.4 ลักษณะการเชื่อมต่อตามมาตรฐาน X.25 (ต่อ)



(ค) วงจรเสมือนแบบเรียกรวดเร็ว



(ง) วงจรเสมือนแบบเรียกรวดเร็วพร้อมกับการยกเลิกทันที

รูปที่ 2.4 ลักษณะการเชื่อมต่อตามมาตรฐาน X.25

(ข) วงจรเสมือนแบบเรียกหรือร้องขอ

การให้บริการแบบนี้จะคล้ายกับบริการโทรศัพท์ที่ต้องต่อหรือหมุนหมายเลขโทรศัพท์ไปยังผู้ใช้อื่น เป็นไปได้ว่าอาจต่อโทรศัพท์ได้สำเร็จหรือไม่ก็ได้

รูปที่ 2.4 (ข) DTE ผู้ส่งจะต้องส่งแพ็คเก็ตที่ร้องขอการเชื่อมต่อ (call request packet) เครือข่ายก็จะทำหน้าที่ส่งผ่านแพ็คเก็ตนี้และส่งแพ็คเก็ตนี้ในรูปของ

แพ็คเก็ตแจ้งการเรียกเข้า (incoming call packet) พร้อมกับเลขที่ของช่องสื่อสารเสมือน (LCN)

ถ้า DTE ผู้รับพร้อมที่จะรับการติดต่อจาก DTE ผู้ส่ง DTE ผู้รับก็จะส่งแพ็คเก็ตยอมรับการเรียก (call accept packet) เครือข่ายจะทำหน้าที่ส่งผ่านแพ็คเก็ตนี้ และส่งแพ็คเก็ตนี้ในรูปของแพ็คเก็ตการต่อเรียบร้อย (call connected packet)ให้แก่ DTE ผู้ส่ง หลังจากนั้นจึงจะเริ่มการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้

เมื่อสิ้นสุดการส่งหรือรับข้อมูลจะเป็น DTE ผู้ส่งหรือผู้รับก็ตาม DTE ผู้ขอยกเลิกการต่อเชื่อมก็จะส่งแพ็คเก็ตยกเลิกการเรียก (clear request packet) เครือข่ายก็จะทำหน้าที่ส่งผ่านแพ็คเก็ตนี้ และส่งแพ็คเก็ตในรูปของแพ็คเก็ตแจ้งการยกเลิกการเรียก (clear indication packet) ไปยัง DTE ตรงกันข้าม และ DTE ด้านตรงกันข้ามจะส่งแพ็คเก็ตยืนยันการยกเลิกการเรียก (clear comfirm packet) ส่งกลับไปยัง DTE ผู้ขอยกเลิก

(ค) วงจรเสมือนแบบเรียกรวดเร็ว

แนวความคิดที่เกิดบริการลักษณะนี้เนื่องจากความต้องการในการส่งข้อมูลแบบโต้ตอบ (interactive) ซึ่งจะมีปริมาณการส่งข้อมูลไม่มากหรือใช้เวลาในการส่งสั้นๆ บริการลักษณะนี้นำไปใช้งานต่าง ๆ ได้แก่ งานบริการการขาย ณ จุดต่างๆ (point of sale) หรือการตรวจสอบบัตรเครดิต หรือการรายงานราคาหุ้น เป็นต้น

ดังนั้นถ้าจะใช้บริการลักษณะวงจรเสมือนแบบเรียกก็จะไม่ได้ประสิทธิภาพมากเท่าที่ควร เนื่องจากต้องสูญเสียเวลาในการเรียกและยกเลิกมาก และยิ่งไปกว่านั้นหากใช้บริการลักษณะวงจรเสมือนแบบถาวรก็จะยิ่งไม่คุ้มค่ามากยิ่งขึ้นเนื่องจากต้องลงทุนสูงมาก

การให้บริการการรับส่งข้อมูลแบบโต้ตอบสามารถใช้ลักษณะการเชื่อมต่อแบบดาตาแกรมได้ และได้ถูกรวบรวมอยู่ในมาตรฐาน X.25 ในปี 1980 แต่เนื่องจากไม่ได้รับการสนับสนุนจากภาคธุรกิจ และอุตสาหกรรมอันเนื่องมาจากการขาดความปลอดภัยในการรับส่งข้อมูล และไม่มีการควบคุมความผิดพลาดในการส่งข้อมูล ทำให้การเชื่อมต่อแบบดาตาแกรมไม่ได้ถูกรวบรวมไว้ในมาตรฐาน X.25 ในปี 1984

โรงงานผู้ผลิตได้ให้การสนับสนุนลักษณะการเชื่อมต่อแบบการเรียกรวดเร็วในมาตรฐาน X.25 ดังรูปที่ 2.4(ค) DTE ต้นทางสามารถส่งแพ็กเก็ตที่ร้องขอการเชื่อมต่อ (call request packet) ที่สามารถฝากข้อมูลไปด้วยได้มากที่สุด 128 ไบต์ และ DTE ปลายทางก็จะส่งแพ็กเก็ตยอมรับการตอบรับการเรียก (call connected packet) ที่สามารถฝากข้อมูลไปด้วยเช่นเดียวกัน หลังจากการเชื่อมต่อวงจรแล้วก็จะอยู่ในช่วงของการส่งข้อมูลซึ่งจะเหมือนกับการเชื่อมต่อลักษณะวงจรเสมือนแบบเรียก ตลอดจนถึงการยกเลิกการเรียก

การให้บริการลักษณะวงจรเสมือนแบบเรียกรวดเร็วยังสามารถให้บริการแบบเรียกรวดเร็วพร้อมกับการยกเลิกทันที (fast selected with immediate clear) ดังรูปที่ 2.6 (ง) กล่าวคือจะมีการติดต่อเหมือนกับการเรียกรวดเร็ว โดยที่ DTE ต้นทางจะส่งแพ็กเก็ตที่ร้องขอการเชื่อมต่อ (call request packet) พร้อมกับส่งข้อมูลไปด้วย (ได้สูงสุด 128 ไบต์) และถูกส่งไปยัง DTE ปลายทาง พร้อมกันนั้น DTE ปลายทางก็จะส่งแพ็กเก็ตยกเลิกการเรียก (clear request packet) พร้อมกับส่งข้อมูลไปให้ DTE ต้นทางด้วยเช่นเดียวกัน หลังจาก DTE ต้นทางได้รับแพ็กเก็ตแจ้งการยกเลิกการเรียก (clear indication packet) ก็จะส่งแพ็กเก็ตการตอบรับการยกเลิก (clear comfirm packet) โดยไม่มีการส่งข้อมูลรวมไปในแพ็กเก็ตนี้

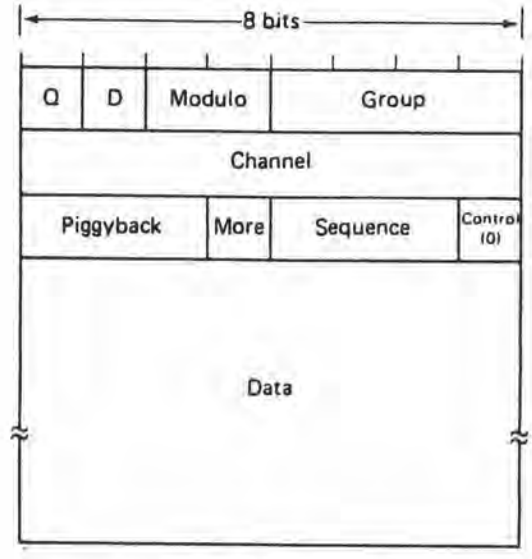
2.2.3 โครงสร้างทั่วไปของแพ็คเก็ต (Stalling, 1985), (CCITT X.25, 1984)

มาตรฐาน X.25 ได้เสนอแนะแพ็กเก็ตชนิดต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.5 แพ็กเก็ตเหล่านี้จะใช้สำหรับการส่งถ่ายข้อมูล การควบคุมและการตรวจสอบ ซึ่งมีรายละเอียดมากพอสมควร สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก (CCITT X.25, 1984)

Packet Type		Service	
From DCE to DTE	*From DTE to DCE*	*VC*	*PVC*
	Call Setup and Clearing		
Incoming call	Call request	X	
Call connected	Call accepted	X	
Clear indication	Clear request	X	
DCE clear confirmation	DTE clear confirmation	X	
	Data and Interrupt		
DCE data	DTE data	X	X
DCE interrupt	DTE interrupt	X	X
DCE interrupt confirmation	DTE interrupt confirmation	X	X
	Flow Control and Reset		
DCE RR	DTE RR	X	X
DCE RNR	DTE RNR	X	X
	DTE REJ	X	X
Reset indication	Reset request	X	X
DCE reset confirmation	DTE reset confirmation	X	X
	Restart		
Restart indication	Restart request	X	X
DCE restart confirmation	DTE restart confirmation	X	X
	Diagnostic		
Diagnostic		X	X
	Registration		
Registration confirmation	Registration request	X	X

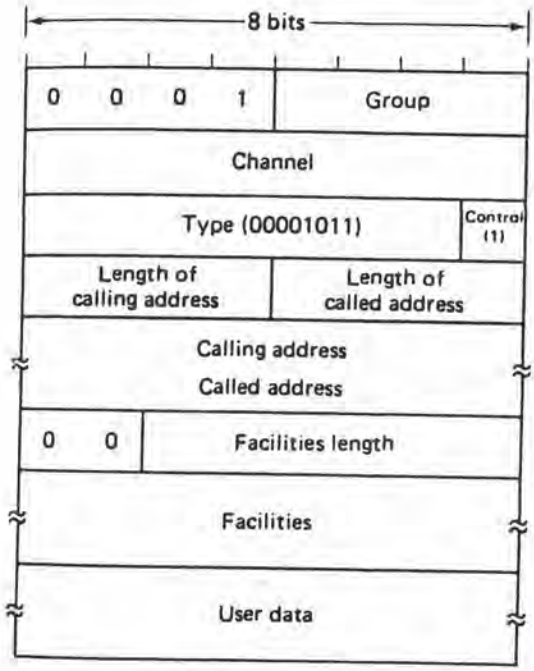
รูปที่ 2.5 ชนิดของแพ็กเก็ตตามมาตรฐาน X.25

ในที่นี้จะขอกล่าวถึงโครงสร้างโดยทั่วไปของแพ็กเก็ต สำหรับแพ็กเก็ตข้อมูลโดยปกติกำหนดไว้ว่าขนาดของข้อมูลมีความยาวได้ 128 ไบต์ แต่มาตรฐาน X.25 ก็สามารถกำหนดให้สามารถใช้ขนาดข้อมูลอื่นมีความยาวได้แก่ 16, 32, 64, 256, 512, 1024, 2048 และ 4096 ไบต์ โครงสร้างของแพ็กเก็ตข้อมูลสามารถแสดงได้ดังรูป ที่ 2.6 (ก)



(ก) แพ็กเก็ตข้อมูล

รูปที่ 2.6 โครงสร้างของแพ็กเก็ต (ต่อ)



(ข) แพ็กเก็ตควบคุม

Type	Third byte
DATA	PPPMSSS0
CALL REQUEST	00001011
CALL ACCEPTED	00001111
CLEAR REQUEST	00010011
CLEAR CONFIRMATION	00010111
INTERRUPT	00100011
INTERRUPT CONFIRMATION	00100111
RECEIVE READY	PPP00001
RECEIVE NOT READY	PPP00101
REJECT	PPP01001
RESET REQUEST	00011011
RESET CONFIRMATION	00011111
RESTART REQUEST	11111011
RESTART CONFIRMATION	11111111
DIAGNOSTIC	11110001

(ค) ตารางแสดงรหัส ของแพ็กเก็ตชนิดต่าง ๆ

รูปที่ 2.6 โครงสร้างของแพ็กเก็ต

แต่ละแพ็กเก็ตจะถูกส่งผ่านระหว่าง DTE กับ DCE และจะต้องมีส่วนหัวของแต่ละแพ็กเก็ตอย่างน้อย 3 ไบต์ รายละเอียดของโครงสร้างทั่วไปของแพ็กเก็ตมีดังนี้

ไบต์แรกจะมี 2 ส่วน ส่วนแรก (บิตที่ 5-8)คือข้อกำหนดทั่วไปของแพ็คเก็ต (General Format Identifier) บิตที่ 5 และ 6 จะเป็นตัวกำหนดว่าจำนวนลำดับเลขที่ของการรับส่งแพ็คเก็ตสูงสุดมีมาตรฐานกำหนดไว้ 2 แบบ คือ แบบ มอดูโล 8 มีเลขลำดับที่ของแพ็คเก็ตตั้งแต่ 0-7 และแบบมอดูโล 128 มีเลขที่ของแพ็คเก็ตตั้งแต่ 0 ถึง 127 ส่วนบิตที่ 7 เป็นการกำหนดการตอบรับแพ็คเก็ตเรียกว่า D-bit (Delivery-bit) ถ้า D-bit เท่ากับ 0 จะตอบรับการส่งแพ็คเก็ตโดยเครือข่าย แต่ถ้า D-bitเท่ากับ 1 จะตอบรับแบบปลายถึงปลาย เช่น ระหว่าง DTE กับ DTE อื่น หรือ DTE กับ Remote DTE เป็นต้น ส่วนบิตที่ 8 เป็นข้อกำหนดที่ใช้กับแพ็คเก็ตพิเศษ เรียกว่า Qualifier bit ซึ่งอาจใช้ในการแยกความแตกต่างระหว่างแพ็คเก็ตข้อมูลกับแพ็คเก็ตควบคุมในมาตรฐาน X.25 ที่ใช้กับเทอร์มินัลแบบ start-stop mode

รูปที่ 2.6 (ข) ส่วนที่สอง (บิตที่ 1-4) เป็นเลขที่กลุ่มของช่องสื่อสารเสมือน (Logical Channel Group Number) และในไบต์ที่ 2 ตั้งแต่บิตที่ 1-8 จะเป็นเลขที่ของช่องสื่อสารเสมือน (Logical Channel Number) ทั้งสองส่วนรวมกันแล้วเรียกว่า Logical Channel Identifier : LCI จะมีความยาว 12 บิต ฉนั้นเลขที่ของช่องสื่อสารเสมือนจะมีได้สูงสุด 4096 ช่อง ซึ่งถ้าเป็นแพ็คเก็ตข้อมูล การกำหนดเลขที่ของช่องสื่อสารเสมือนนี้จะเป็นการเพียงพอในการรับส่งแพ็คเก็ตข้อมูลระหว่าง 2 DTE แต่ถ้าเป็นแพ็คเก็ตควบคุมจำเป็นที่จะต้องมีการเพิ่มเติมการกำหนดเลขที่ของ DTE ลงไปในแพ็คเก็ตด้วย ดังจะกล่าวถึงต่อไป

ส่วนไบต์ที่ 3 เป็นตัวกำหนดว่าแพ็คเก็ตนั้นเป็นแพ็คเก็ตชนิดใด ซึ่งจะบ่งบอกหน้าที่ของแพ็คเก็ตนั้น ในรูปที่ 2.6 (ค) ตารางจะแสดงถึงรหัสของแพ็คเก็ตชนิดต่าง ๆ และถ้าเป็นแพ็คเก็ตข้อมูลจะสามารถกำหนดลำดับที่ของการส่งและรับแพ็คเก็ตลงในส่วนไบต์นี้

ส่วนของไบต์ที่ 4 เป็นค่าความยาวของเลขที่ของ DTE ผู้ส่งและผู้รับบอกให้ทราบว่าความยาวจะมีกี่หลักในรูปของรหัสฐานสอง 4 บิต ดังนั้นค่าความยาวของเลขที่ของ DTE จะมีจำนวนหลักสูงสุด 15 หลัก โดยที่

บิตที่ 1-4 เป็นค่าความยาวของเลขที่ของ DTE ผู้รับ

บิตที่ 5-8 เป็นค่าความยาวของเลขที่ของ DTE ผู้ส่ง

ส่วนของไบต์ที่ 5 เป็นต้นไปเป็นเลขที่ของ DTE ผู้รับ อยู่ในรูปของรหัส BCD ขนาด 4 บิต แทน 1 หลัก ดังนั้นใน 1 ไบต์ จะแทนได้ 2 หลัก และมีเลขที่สูงสุดได้ 15 หลัก ส่วนที่ต่อจากเลขที่ของ DTE ผู้รับก็จะเป็นเลขที่ของ DTE ผู้ส่ง จำนวนเลขที่ของ DTE ทั้งสองจะมีกี่หลักขึ้นอยู่กับไบต์ที่ 4

โดยทั่วไปเลขที่ของ DTE ทั้ง 15 หลักนี้จะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

- Data Network Identification (DNIC)
- Network Number
- Option Subaddress

ส่วนที่ถัดมาคือ ส่วนกำหนดความยาวของ facilities ว่าจะมีการกำหนด facilities เป็นจำนวนเท่าใด

ส่วนที่ถัดมาจะเป็น facilities เพื่อเป็นตัวเลือกในการเลือกใช้ในบริการพิเศษของแต่ละเครือข่ายเท่าที่ผู้ใช้จะได้รับอนุญาตจากเครือข่าย บริการพิเศษได้แก่ การแบ่งกลุ่มผู้ใช้ การกำหนดการส่งอย่างเดียว การกำหนดให้รับอย่างเดียว หรือลักษณะการเก็บค่าบริการต่าง ๆ เป็นต้น โดยส่วนใหญ่ facilities ต่าง ๆ จะแจ้งไว้ในแพ็กเก็ตควบคุม เช่น แพ็กเก็ต Call Request, Call Accepted, Call Connected, Clear Request และ Clear Indication เป็นต้น

2.2.4 X.25 ระดับที่ 1 (Stalling, 1985), (Uyless, 1989)

X.25 ระดับที่ 1 ประกอบด้วยข้อกำหนดทางกล ทางไฟฟ้า หน้าที่ควบคุม และวิธีปฏิบัติที่ใช้สำหรับการเชื่อมต่อ การเชื่อมต่อที่คงอยู่และการปลดออกจากสายกายภาพ (physical line) ระหว่าง DTE กับ DCE หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ระหว่างผู้ใช้กับเครือข่ายนั่นเอง X.25 ระดับที่ 1 ตรงกับ physical layer ของโครงสร้างของ OSI Model

มาตรฐาน X.25 แนะนำให้ใช้มาตรฐาน X.21 สำหรับ X.25 ระดับที่ 1 หรือจะใช้มาตรฐานอื่น อาทิเช่น EIA 232 หรือ V.24/V.28 หรือ RS449 และ V.35 ก็ได้

2.2.5 X.25 ระดับที่ 2 (Stalling, 1985)

X.25 ระดับที่ 2 ประกอบด้วย Link Access Procedure ซึ่งใช้สำหรับแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่าง DTE กับ DCE การดำเนินการควรใช้หลักการและข้อกำหนดของ High Level Data Link Control (HDLC)

ที่นิยมใช้กันมากคือ Link Access Procedure Balanced ทำหน้าที่ในการติดต่อและเลิกการติดต่อการเชื่อมโยงข้อมูล การควบคุมการซิงโครไนซ์ การจัดลำดับและการตรวจสอบและการแก้ไขความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูล

โครงสร้างของเฟรมดังรูปที่ 2.7 ประกอบด้วย

- flag ขนาด 8 บิต เป็นรหัสฐานสองมีค่าเท่ากับ "01111110" เป็นการกำหนดส่วนหัวและส่วนท้ายของเฟรม

- ส่วนเลขที่ (address) มีขนาดตั้งแต่ 8 บิต หรือเป็นจำนวนเท่าของ 8 บิต เป็นการกำหนดการใช้เลขที่ของเฟรม ซึ่งช่วยในการเลือกสถานีที่ต้องการติดต่อได้

- ส่วนควบคุมมีขนาด 8 บิตหรือ 16 บิต ใช้สำหรับการกำหนดลำดับที่การส่งและการควบคุมความผิดพลาด หรือบอกชนิดของเฟรม ทั้งหมดนี้เป็นการติดต่อระหว่าง DCE กับ DTE

- ส่วนข้อมูลมีขนาดไม่แน่นอน ข้อมูลในที่นี้คือแพ็กเก็ตจากระดับที่ 3 ส่วนประกอบของแพ็กเก็ตดังกล่าวในหัวข้อ 2.2.3 โครงสร้างทั่วไปของแพ็กเก็ต

- ส่วนตรวจสอบเฟรม (Frame Check Sequence) ตรวจสอบความผิดพลาดในการรับส่งเฟรม

2.2.6 X.25 ระดับที่ 3 (Stalling, 1985), (Uyless, 1989)

โปรโตคอลที่ใช้ในระดับนี้จะทำหน้าที่กำหนดเส้นทาง การควบคุมการเดินทางแพ็กเก็ตในเครือข่าย การควบคุมความผิดพลาดในการรับส่งแพ็กเก็ต ในส่วนประกอบของแพ็กเก็ตดังได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 2.2.3 โครงสร้างทั่วไปของแพ็กเก็ต

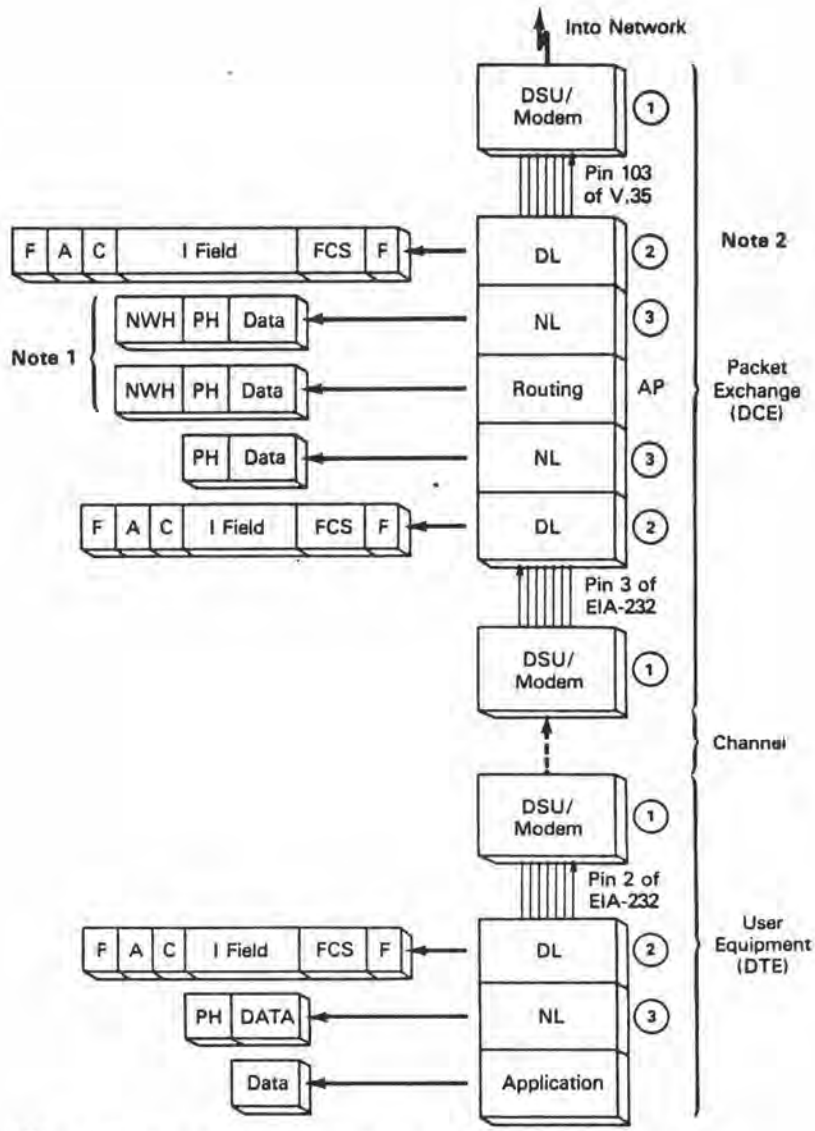
เพื่อแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ในแต่ละระดับทั้ง 3 เราจะพิจารณาจากรูปที่ 2.7 เป็นการอธิบายการใช้งานระหว่างเทอร์มินัลแบบ X.25 กับ DCE (DCE ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของเครือข่ายแพ็คเก็ต) ข้อมูลของผู้ใช้จะถูกส่งผ่านจากระดับบนมายังระดับที่ 3 (Network Layer)

X.25 ระดับที่ 3 ก็จะทำหน้าที่ดังกล่าวไปแล้ว เช่น จัดการกับแพ็คเก็ตที่ร้องขอการเชื่อมต่อ (call request packet) การตรวจสอบเลขประจำตัวของผู้ใช้ (verifying user ID) การเลือกบริการพิเศษ (selecting facilities) และการกำหนดเลขที่ของช่องสื่อสารเสมือน (logical channel number) ในระดับนี้จะทำการเพิ่มเติมส่วนหัวของแพ็คเก็ต (packet header) รวมกับข้อมูลที่รับมาจากระดับบน

จากนั้นจะส่งต่อไปยังระดับที่ 2 (data link layer) แพ็คเก็ตจะถือว่าเป็นส่วนของข้อมูลของระดับที่ 2 ในระดับที่ 2 จะทำหน้าที่เติมส่วนหัวและส่วนท้ายตามข้อกำหนดของ LAP-B ดังได้กล่าวไปแล้ว

จากนั้นเฟรมจะถูกส่งต่อไปให้ระดับที่ 1 (physical layer) ซึ่งจะทำหน้าที่ แปลงสัญญาณข้อมูลเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ข้อมูลจะถูกส่งไปยังชุมสายแพ็คเก็ตผ่านทางสายส่ง โมเด็มของชุมสายแพ็คเก็ตก็จะแปลงสัญญาณไฟฟ้ากลับมาเป็นสัญญาณข้อมูล ก็คือเฟรมมาตรฐานที่ใช้ในระดับนี้ในการเชื่อมต่อระหว่างเทอร์มินัลกับโมเด็ม เช่น X.21bis หรือ RS-232 หรือ V.24

ในระดับที่ 2 ของชุมสายแพ็คเก็ตก็จะตรวจสอบเฟรมและทำหน้าที่ตัดส่วนหัวและท้ายของเฟรมเหลือแต่ส่วนข้อมูล ซึ่งก็คือแพ็คเก็ต แล้วส่งต่อไปให้ระดับที่ 3 ทำหน้าที่กำหนดเส้นทางเพื่อส่งต่อ (routing) และอาจจะทำหน้าที่อื่นๆ ในส่วนของชุมสายแพ็คเก็ตไม่จำเป็นต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดของมาตรฐาน X.25 ขึ้นอยู่กับการออกแบบของผู้ผลิต เมื่อแพ็คเก็ตได้รับการกำหนดเส้นทางก็จะส่งต่อไปให้ระดับที่ 2 เพื่อสร้างเป็นเฟรม ซึ่งอาจจะใช้หรือไม่ใช้ตามข้อกำหนด LAP-B ก็ได้ จากนั้นก็จะทำการส่งเฟรมในระดับที่ 2 ไปยังระดับที่ 1 การเชื่อมต่อจากระดับที่ 2 ไปยังระดับที่ 1 ในส่วนของชุมสายแพ็คเก็ตอาจใช้การเชื่อมต่อแบบ V.35 ก็ได้ และส่งผ่านไปยังชุมสายแพ็คเก็ตอื่นโดยโมเด็ม



(1) : Physical Level
(2) : Link Level
(3) : Network Level

AP: Application Process
F: Flag
A: Address
C: Control
I: Information Field (Contains User Packet)
FCS: Frame Check Sequence
PH: X.25 Packet Header
NWH: Network Header for Internal Network Control
DSU: Data Service Unit (For Digital Lines)
DTE: Data Terminal Equipment
DCE: Data Circuit-Terminating Equipment

Note 1: X.25 Packet Header typically retained for use at destination DCE. The Network Header (NWH) added for internal network control; stripped-off at destination DCE.

Note 2: X.25 usually not invoked here, unless it is the last node to the remote DTE.

รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ใน X.25 3 ระดับ

2.3 การกำหนดเส้นทาง (Routing Function) (Stalling,1985), (Tanenbaum,1989)

2.3.1 ปัจจัยในการกำหนดเส้นทาง

หน้าที่ในการกำหนดเส้นทางถือเป็นหน้าที่สำคัญอันหนึ่งของเครือข่ายแพ็กเก็ต การกำหนดเส้นทางในการส่งแพ็กเก็ตจากต้นทางไปยังปลายทางนั้นอาจจะมีได้หลายเส้นทาง และวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ก็มีด้วยกันหลายวิธี ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ได้แก่

- ความถูกต้อง (Correction)
- ความง่าย (Simplicity)
- ความเชื่อถือได้ (Stability)
- ความสามารถในการทำงาน (Robustness)
- ความชัดเจน (Fairness)
- การหาจุดเหมาะสม (Optimality)

เครือข่ายมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความสามารถในการเปลี่ยนเส้นทางเมื่อพบว่าเส้นทางที่จะใช้มีความผิดพลาด หรือโนดมีสภาวะการทำงานที่เกินขีดความสามารถเพื่อไม่ให้แพ็กเก็ตที่ส่งสูญหาย หรือได้รับความกระทบกระเทือนหรือไม่ให้เกิดการหยุดการทำงานในการส่งแพ็กเก็ตไปยังปลายทาง ในการเปลี่ยนเส้นทางหรือย้ายการทำงานไปโนดอื่นจะต้องป้องกันไม่ให้เกิดการส่งซ้ำกลับไปกลับมา หรือเกิดสภาวะแพ็กเก็ตวนลูปอยู่ในเครือข่าย

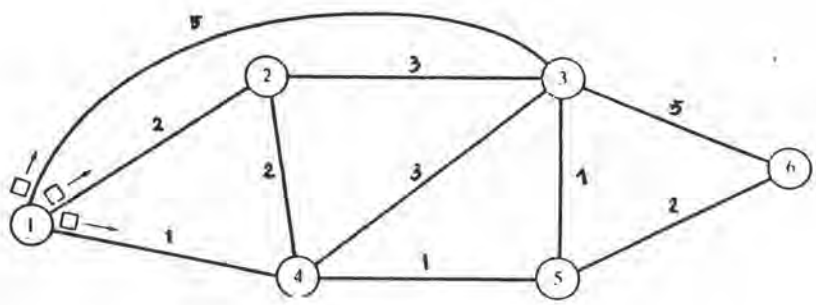
ดังนั้นคุณสมบัติในหัวข้อต่างๆ ที่กล่าวข้างต้นจึงต้องหาระดับที่เหมาะสม และสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเพิ่มเติมก็คือ วิธีการกำหนดเส้นทางมีความเกี่ยวข้องกับเวลาและสภาพแวดล้อมของโนด ในการเพิ่มความสามารถอันหนึ่งอาจมีผลทำให้ความสามรถในอีกด้านหนึ่งลดลงจึงต้องหาระดับที่เหมาะสมที่สุด

(ก) การเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดและราคาประเมินต่ำสุด

วิธีที่ใช้ในการกำหนดเส้นทางอยู่บนพื้นฐานของเกณฑ์สมรรถนะ (performance criterion) เกณฑ์ที่ง่ายที่สุดคือการเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุด (shortest route) วิธีการพิจารณาเส้นทางที่สั้นที่สุดวิธีหนึ่งก็คือ การวัดจำนวนโนดที่ต้องผ่านในเส้นทาง บางครั้งเรียกว่าจำนวน hop (ในที่นี้ hop หมายถึงการเชื่อมโยงระหว่างโนดถึงโนด) นอก

จากการเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดแล้ว ยังต้องพิจารณาเกณฑ์อื่นเพิ่มเติม คือการประเมินราคาต่ำสุด ซึ่งรวมทั้งค่าใช้จ่ายและเวลาที่ต้องสูญเสีย

ในแต่ละการเชื่อมโยงจะมีราคาประเมินและตลอดเส้นทางที่เลือกนั้นก็จะเห็นเส้นทางที่มีราคาประเมินต่ำสุดได้จากหลาย ๆ เส้นทางที่เป็นไปได้ ดังรูปที่ 2.8 การเลือกเส้นทางจากโนดที่ 1 ไปโนดที่ 6 ตัวเลขที่ปรากฏในแต่ละเส้นเชื่อมโยง (link) เป็นราคาประเมินของการใช้เส้นทางเชื่อมโยงนั้น



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างเครือข่ายแพ็กเก็ต

รูปที่ 2.8 ตัวอย่างเครือข่ายแพ็กเก็ตเมื่อพิจารณาการกำหนดเส้นทางที่สั้นที่สุด (พิจารณาจากจำนวน hop ที่กล่าวข้างต้นจะได้จำนวน hop น้อยที่สุด = 2) คือเส้นทางจาก โนดที่ 1, 3 และ 6 แต่ถ้าพิจารณาจากการประเมินราคาต่ำสุด คือ เส้นทางจากโนดที่ 1, 4, 5 และ 6 (การประเมินราคา = 1+1+2 = 4)

ราคาประเมินของแต่ละเส้นเชื่อมโยงจะขึ้นอยู่กับความสามารถของเส้นเชื่อมโยงนั้น คืออัตราเร็วในการส่งข้อมูลหรือค่าหน่วงเวลาของคิว (queue delay) ในขณะเวลานั้น สิ่งสำคัญในการประเมินราคานั้นจะต้องได้จำนวนแพ็กเก็ตที่ส่งถึงปลายทาง (throughput) สูงสุด และให้มีค่าหน่วงเวลาที่น้อยที่สุด

(ข) การตัดสินใจขึ้นอยู่กับเวลาและสถานที่

การตัดสินใจในการเลือกเส้นทางนอกจากพิจารณาจากเกณฑ์สมรรถนะดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น จำเป็นต้องพิจารณาคุณลักษณะสำคัญที่เป็นตัวบ่งชี้ในการตัดสินใจเพิ่มเติมอีก 2 เรื่อง คือ เรื่องเวลาและสถานที่ในการตัดสินใจในแต่ละครั้ง

- ในส่วนที่ขึ้นกับเวลา ถ้าเป็นการทำงานภายในของเครือข่ายเป็นแบบดาต้าแกรมการตัดสินใจในการกำหนดเส้นทางนั้นเป็นอิสระของแต่ละแพ็คเก็ต ถ้าเป็นเครือข่ายแบบวงจรเสมือน การตัดสินในในการกำหนดเส้นทางจะขึ้นอยู่กับแต่ละเวลาในขณะนั้นที่จะทำการต่อวงจร และหลังจากนั้นแต่ละแพ็คเก็ตจะส่งไปในเส้นทางเดียวกันตลอด

- ในส่วนที่ขึ้นกับสถานที่ ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับการทำงานภายในเครือข่าย ในบางเครือข่ายแต่ละโนดจะมีส่วนในการรับผิดชอบในการเลือกเส้นทางได้เอง เมื่อมีแพ็คเก็ตเข้ามายังโนด โดยส่วนใหญ่จะเป็นเครือข่ายที่มีการทำงานกำหนดเส้นทางปรับตัวแบบกระจาย (distributed routing) แต่ถ้าเป็นเครือข่ายที่มีการทำงานกำหนดเส้นทางปรับตัวแบบศูนย์รวม (centralized routing) ซึ่งการกำหนดเส้นทางจะอยู่ภายใต้การควบคุมของโนดศูนย์กลาง ดังนั้นจึงมีการตัดสินใจที่ขึ้นกับสถานที่น้อยกว่าแบบกระจาย ในรายละเอียดการกำหนดเส้นทางปรับตัวแบบกระจายและแบบศูนย์รวมจะกล่าวต่อไปในภายหลัง

การพิจารณาในการตัดสินใจการกำหนดเส้นทางจึงขึ้นอยู่กับเวลาและสถานที่ เมื่อเวลาเปลี่ยนไปราคาประเมินของแต่ละเส้นทางอาจเปลี่ยนไป โดยเฉพาะถ้าเครือข่ายเป็นแบบดาตาแกรมอาจมีการส่งแพ็คเก็ตไปยังเส้นทางที่ต่างกันได้ ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมของแต่ละโนด แต่ถ้าเป็นเครือข่ายแบบวงจรเสมือน แต่ละโนดจะรู้ว่าแพ็คเก็ตจะต้องถูกส่งไปเส้นทางใดโดยเส้นทางนั้นได้ถูกกำหนดขึ้นมาตั้งแต่ตอนเริ่มต้นติดต่อเข้ามาในเครือข่าย (establish) ซึ่งโนดจะส่งแพ็คเก็ตไปตามเส้นทางที่ตัดสินใจไว้แล้ว ซึ่งอาจไม่ต้องมีการตัดสินใจใหม่

(ค) แหล่งข้อมูลเครือข่าย

ส่วนประกอบในการพิจารณากำหนดเส้นทางอีกอย่างหนึ่งคือ แหล่งข้อมูลเครือข่าย เพื่อเป็นข้อมูลประกอบในการตัดสินใจ การเก็บข้อมูลเครือข่ายมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับเกณฑ์สมรรถนะที่ต้องการและการตัดสินใจที่ขึ้นอยู่กับเวลาและสถานที่ รวมทั้งวิธีการกำหนดเส้นทาง ข้อมูลเครือข่ายจะเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีเครือข่ายหรือปริมาณข้อมูลที่รับส่ง หรือปริมาณข้อมูลที่ส่งออกหรือราคาประเมิน

วิธีการกำหนดเส้นทางปรับตัวแบบกระจายที่มีการตัดสินใจขึ้นอยู่กับสถานที่ (คือขึ้นอยู่กับแต่ละโนด) แต่ละโนดจะให้ข้อมูลเฉพาะที่ (local) ของโนดตัวเอง เช่น ราคาประเมินของการส่งออกในแต่ละเส้นทางเชื่อมโยง หรือขนาดของคิวที่รอการส่งออกในแต่ละเส้นทางเชื่อมโยง ที่มาของแหล่งข้อมูลมักจะมาจากโนดข้างเคียง แต่ก็อาจมีอัลกอริทึมเพิ่มเติมเพื่อให้ได้รับข้อมูลจากโนดทุกโนดก็ได้ เพื่อการตัดสินใจที่ดีที่สุด

ส่วนวิธีการกำหนดเส้นทางปรับตัวแบบศูนย์รวม โนดศูนย์กลางจะทำหน้าที่รับข้อมูลจากโนดทุกโนด ถ้าได้รับข้อมูลมากขึ้นอย่างเพียงพอ การกำหนดเส้นทางก็จะได้เส้นทางที่ดีและเหมาะสม

การได้มาของข้อมูลเครือข่ายจะได้จากโนดข้างเคียง หรือจากโนดที่อยู่ในเส้นทางหรือจากโนดทั้งหมด การปรับปรุงข้อมูลให้ทันต่อเหตุการณ์เป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากมีผลกระทบต่อการตัดสินใจในการกำหนดเส้นทางอยู่มาก

2.3.2 การกำหนดเส้นทางตายตัว (Fixed Routing)

เป็นวิธีหนึ่งที่มีความง่าย เส้นทางในการเดินทางของแพ็กเก็ตจากโนดต้นทางไปยังโนดปลายทางจะกำหนดไว้ตายตัว การเปลี่ยนแปลงอาจจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีของเครือข่ายในการเชื่อมโยงโนดต่าง ๆ วิธีการนี้จะอยู่บนพื้นฐานในเรื่องของราคาประเมินและปริมาณของการรับส่งแพ็คเก็ตที่จะประมาณการณ์ไว้ล่วงหน้า ดังนั้นวิธีการนี้จะไม่แปรตามตัวแปรพลวัตร ได้แก่ ปริมาณของการรับส่งแพ็กเก็ต หรือจำนวนคิวที่รอส่งออกเป็นต้น

รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างของวิธีการกำหนดเส้นทางตายตัว ไดเรคทอรีในการกำหนดเส้นทางจะถูกสร้างขึ้นมา บางครั้งอาจเก็บไว้ที่ศูนย์ควบคุมการทำงานของเครือข่าย ข้อสังเกตหนึ่งคือ แต่ละโนดอาจไม่จำเป็นต้องทราบข้อมูลในการกำหนดเส้นทางระหว่างโนดต้นทางกับโนดปลายทางทั้งหมด เพียงแต่ต้องทราบข้อมูลสำหรับโนดตัวเองว่าการกำหนดเส้นทางไปยังโนดอื่นจะเลือกส่งไปยังโนดถัดไปโนดใดเท่านั้นก็เป็นการเพียงพอ กล่าวอีกนัยหนึ่งแต่ละโนดจะมีไดเรคทอรีเฉพาะของตัวเองเท่านั้น ไม่ต้องมีไดเรคทอรีของโนดอื่น

เกณฑ์สมรรถนะในการกำหนดเส้นทางตายตัวจำเป็นต้องคำนึงถึงระยะทางที่สั้นที่สุดและราคาประเมินต่ำที่สุด และปริมาณข้อมูลที่ต้องการรับส่ง จึงนิยมใช้กับเครือข่ายที่มีเสถียรภาพ (reliability) แน่นอน สำหรับข้อดีในการกำหนดเส้นทางตายตัวก็คือ ความง่ายและเหมาะสมสำหรับเครือข่ายที่มีความเชื่อถือและปริมาณข้อมูลที่รับส่งอยู่ตัว ส่วนข้อเสียนั้นคือเครือข่ายจะขาดความยืดหยุ่นทำให้ไม่สามารถแก้ไขปัญหาของเครือข่ายที่เกิดความแออัด (congestion) ของข้อมูลหรือการเกิดความผิดพลาดของอุปกรณ์ในเครือข่าย

เพื่อความยืดหยุ่นมากขึ้นในการกำหนดเส้นทางตายตัวอาจจะให้แต่ละโนดมีเส้นทางสำรองในแต่ละเส้นทาง เช่น จากรูปที่ 2.9 อาจให้มีเส้นทางสำรองสำหรับไดเรคทอรีการกำหนดเส้นทางของโนดที่ 1 ในการส่งออกไปโนดถัดไปคือ 4,3,2,3 และ 3 ตามลำดับ เพื่อสำรองในกรณีไม่สามารถใช้เส้นทางหลักได้

โนดปลายทาง

โนดต้นทาง	1	2	3	4	5	6
1	-	2	4	4	4	4
2	1	-	3	4	4	4
3	5	2	-	5	5	5
4	1	2	5	-	5	5
5	4	4	3	4	-	6
6	5	5	5	5	5	-

Node 1 directory

Destination	Next Node
2	2
3	4
4	4
5	4
6	4

Node 1 directory (alternate)

Destination	Next Node
2	4
3	3
4	2
5	3
6	3

รูปที่ 2.9 วิธีกำหนดเส้นทางแบบตายตัว

2.3.3 การกำหนดเส้นทางแบบปรับตัว (Adaptive Routing)

ในหัวข้อที่ผ่านมาเป็นการกำหนดเส้นทางแบบตายตัว ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายไม่มีการเปลี่ยนการกำหนดเส้นทางภายในเครือข่าย ที่จะกล่าวต่อไปนี้จะกล่าวถึงการกำหนดเส้นทางแบบปรับตัวที่มีการเปลี่ยนแปลงการกำหนดเส้นทางในเครือข่ายได้ โดยขึ้นอยู่กับสถานะการทำงานของเครือข่ายในสภาวะแวดล้อมและเวลาที่แตกต่างกัน

วิธีในการกำหนดเส้นทางแบบปรับตัวมีอุปสรรคที่สำคัญคือ

- การตัดสินใจในการกำหนดเส้นทางเป็นเรื่องยุ่งยากซับซ้อนและเป็นการเพิ่มภาระหน้าที่สำหรับเครือข่าย

- โดยทั่วไปวิธีการกำหนดเส้นทางแบบปรับตัวจะขึ้นอยู่กับข้อมูลเครือข่ายที่มีการเก็บรวบรวมในที่ต่าง ๆ ภายในเครือข่าย เพื่อนำไปใช้ในการตัดสินใจในการกำหนดเส้นทาง

- ในการใช้วิธีการกำหนดเส้นทางแบบปรับตัวได้ ถ้าทำงานได้อย่างรวดเร็วอาจทำให้เกิดความแออัดในการเดินทางของข้อมูลในโนดใดโนดหนึ่งหรือบางส่วนของเครือข่าย แต่ถ้าทำงานช้าไปก็จะไม่ก่อให้เกิดประโยชน์อะไรขึ้นมา

ผลดีของวิธีการนี้อาจเกิดขึ้นหรือไม่เกิดขึ้น นอกจากจะขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบและวิธีการกำหนดเส้นทางแล้ว จำเป็นต้องพิจารณาถึงการได้รับข้อมูลเครือข่าย ซึ่งมีหลายวิธี อาจเลือกวิธีใดวิธีหนึ่งหรือหลายวิธีประสมประสานกันก็ได้ เพื่อให้การใช้ข้อมูลเครือข่ายมีประสิทธิภาพสูงสุด วิธีการทำงานของการกำหนดเส้นทางแบบปรับตัวมี 3 แบบ คือ แบบแยกอิสระ แบบกระจาย และแบบศูนย์รวม ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

(ก) การกำหนดเส้นทางปรับตัวแบบแยกอิสระ
(Isolated adaptive routing)

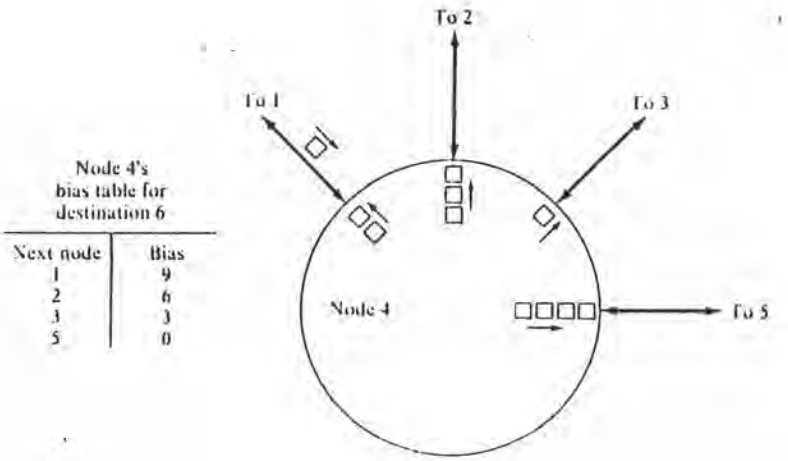
วิธีนี้จะให้ผลดีในการควบคุมความสมดุลของแต่ละคิวส่งออก ในแต่ละคิวส่งออกที่ส่งไปยังโนดข้างเคียงจะมีการตั้งจุดทำงานในแต่ละคิวเรียกว่า ไบแอส (Bias)

รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างของวิธีการกำหนดเส้นทางปรับตัวแบบแยกอิสระ รูปนี้จะแสดงในส่วนของโนดที่ 4ของรูปที่ 2.8 เมื่อมีแพ็กเก็ตที่ส่งออกจากโนดที่ 1 ไปยังโนดที่ 6 โดยผ่านโนดที่ 4 โนดที่ 4 จะต้องทำหน้าที่นำแพ็กเก็ตไปต่อในคิวต่าง ๆ การพิจารณาว่าจะนำไปต่อคิวใดนั้นขึ้นอยู่กับความยาวของคิว และค่าตั้งจุดทำงานสำหรับส่งไปโนดที่ 6 ดัง

1234567890

ตารางในรูปที่ 2.10 ซึ่งพิจารณาแล้วว่าค่าผลรวมระหว่างความยาวของคิวกับค่าตั้งจุดทำงานที่มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 4 (3+1) ก็คือคิวส่งออกที่ไปยังโนดที่ 3

วิธีการกำหนดเส้นทางปรับตัวแบบแยกอิสระนี้ไม่เป็นที่นิยมมากนัก เนื่องจากมีการใช้ข้อมูลเครือข่ายที่น้อย ทำให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายไม่สูงนัก



รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างกำหนดเส้นทางปรับตัวแบบแยกอิสระ

(ข) การกำหนดเส้นทางปรับตัวแบบกระจาย

ในวิธีนี้โนดจะมีตารางของค่าหน่วงเวลาที่จะแสดงให้ทราบว่าในแต่ละเส้นทางเชื่อมโยงที่ต่อไปยังโนดข้างเคียงมีค่าเท่าใด โนดจะคำนวณหาเส้นทางที่ดีที่สุดที่จะต้องส่งแพ็คเก็ตไปยังโนดต่าง ๆ และจะปรับปรุงตารางกำหนดเส้นทางตามตัวอย่างในรูปที่ 2.9 ที่แสดงให้เห็นว่าการส่งแพ็คเก็ตไปยังโนดปลายทางควรส่งออกไปยังโนดถัดไปอะไร

(ค) การกำหนดเส้นทางปรับตัวแบบศูนย์รวม

ในวิธีนี้จะมีโนดหนึ่งที่ได้รับการกำหนดให้เป็นโนดดูแล (supervisory node) หรือโนดศูนย์กลาง โนดศูนย์กลางจะทำหน้าที่เลือกเส้นทางที่ดีที่สุดและส่งข้อมูลการกำหนดเส้นทางที่จำเป็นสำหรับการต่อวงจรเสมือนไปยังโนดที่เกี่ยวข้อง เมื่อได้รับการร้องขอการเชื่อมต่อ

หรือการยกเลิกการเชื่อมต่อวงจร ก็จะทำหน้าที่แจ้งกลับไปให้โนดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง หรือทำหน้าที่กำหนดเส้นทางใหม่เมื่อได้รับแจ้งการเกิดอุปสรรคในการส่งข้อมูลในเส้นทางเดิม

วิธีการนี้มีปัญหาที่สำคัญหลายปัญหาคือ อันดับแรกคือ ความเชื่อถือได้ ถ้าโนดศูนย์กลางไม่สามารถใช้การได้ ทางแก้ไขอาจจะสร้างโนดสำรองขึ้นมาทำหน้าที่แทน และสามารถพิจารณาได้ว่าวิธีการนี้เหมาะสมกับเครือข่ายแบบวงจรเสมือน และอีกปัญหาหนึ่งคือการควบคุมความแออัดของข้อมูล โนดศูนย์กลางอาจจะรับภาระหน้าที่มากเกินไป เพราะโนดศูนย์กลางจะต้องรับทราบการร้องขอการเชื่อมต่อกับเครือข่ายและการรับข้อมูลเครือข่ายจากโนดต่างๆ รวมทั้งต้องส่งข้อมูลข่าวสารที่เกี่ยวกับการกำหนดเส้นทางไปยังทุกๆ โนด

ส่วนข้อดีของวิธีการนี้คือ การลดเวลาที่ต้องสูญเสียไปในการคิดคำนวณการกำหนดเส้นทางของแต่ละโนด ซึ่งน้อยกว่าวิธีกำหนดเส้นทางปรับตัวแบบกระจาย ข้อดีอีกข้อหนึ่งคือจะให้ความถูกต้องและให้ผลที่ดีในการกำหนดเส้นทาง เพราะโนดศูนย์กลางจะมองเห็นภาพรวมของเครือข่ายได้ดีกว่าวิธีอื่น อีกทั้งยังป้องกันการส่งแพ็กเก็ตวนลูปวนกลับไปวนกลับมา ซึ่งมักจะเกิดได้บ่อยครั้งถ้ามีการใช้วิธีแบบกระจาย อันเนื่องจากแต่ละโนดจะทำหน้าที่อิสระในการกำหนดเส้นทางได้เอง

2.4 การควบคุมการเดินทางของข้อมูล (Stalling, 1985), (Tanenbaum, 1989)

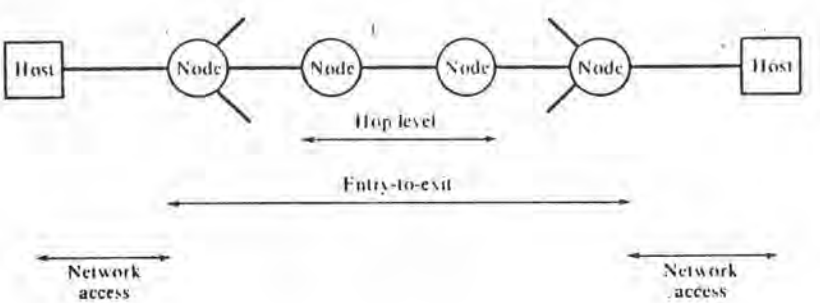
2.4.1 การควบคุมความแออัดของข้อมูล (congestion control)

วัตถุประสงค์ในการควบคุมความแออัดของข้อมูล คือ การรักษาระดับของแพ็กเก็ตภายในเครือข่ายหรือบางส่วนของเครือข่ายให้มีระดับที่เหมาะสม ซึ่งไม่ทำให้เกิดการหน่วงเวลาในการส่งมากเกินไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งแล้วถือได้ว่าเครือข่ายแพ็กเก็ตเป็นเครือข่ายของคิว แต่ละโนดจะมีคิวของแพ็กเก็ตสำหรับการส่งออก ถ้าอัตรการเข้ามาของแพ็กเก็ตและเก็บในคิวมีมากกว่าอัตราการส่งออกของแพ็กเก็ต จะทำให้ขนาดของคิวมีขนาดเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ อย่างไม่มีขอบเขต ทำให้ค่าหน่วงเวลาในการส่งมีค่ามาก โดยทั่วไปถ้ามีแพ็กเก็ตในคิวเพิ่มขึ้นถึง 80 % ของบัฟเฟอร์ อาจจะต้องมีการเตือนให้โนดทราบและจัดการบางสิ่งบางอย่างก่อนที่บัฟเฟอร์จะเต็ม อันจะเป็นสาเหตุที่ทำให้โนดนั้นต้องหยุดการทำงาน หรือเครือข่ายต้องอยู่ในสภาพใช้งานไม่ได้

การควบคุมความแออัดของเครือข่ายจะใช้วิธีการควบคุมการส่งแพ็คเก็ต (flow control) ซึ่งเป็นวิธีที่จะรักษาระดับของการส่งแพ็คเก็ตระหว่างจุด 2 จุด โดยที่ตัวรับจะจำกัดปริมาณการรับแพ็คเก็ต ส่งผลให้ตัวส่งต้องมีการปรับตัวในการส่ง เทคนิคที่ใช้จะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป ซึ่งจะเป็นลักษณะจุดต่อจุด และโปรโตคอลที่ใช้ในการควบคุมการส่ง ได้แก่ โปรโตคอลแบบ HDLC หรือ LAP-B

การควบคุมความแออัดของเครือข่ายสามารถใช้สำหรับเครือข่ายที่มีการส่งข้อมูลระหว่างสถานีต้นทางและปลายทางที่ไม่ได้ต่อถึงกันตรง ๆ เช่นเครือข่ายแพ็คเก็ตแบบวงจรเสมือน หรือแบบดาตาแกรม ซึ่งสามารถทำได้ 3 ระดับ ดังรูป 2.11

- ระดับ hop
- ระดับ entry-to-exit
- ระดับ network access



รูปที่ 2.11 ระดับในการควบคุมความแออัดของเครือข่าย

(ก) ระดับ hop

เกี่ยวข้องกับการควบคุมระหว่างโนด 2 โนดที่ต่อถึงกัน วิธีนี้ใช้สำหรับการหลีกเลี่ยงการเกิดการแออัดของบัฟเฟอร์เฉพาะที่หรือเฉพาะโนดตัวเอง

(ข) ระดับ entry-to-exit

เป็นการควบคุมระหว่างโนดต้นทางและโนดปลายทาง วิธีนี้จะมีใช้กันมากในเครือข่ายแบบดาตาแกรมซึ่งจะรับข้อมูลจากโฮสแต่ละครั้งได้สูงสุดประมาณ 8 แพ็คเก็ต โดยที่โนดต้นทางจะร้องขอให้โนดปลายทางกันที่สำหรับข้อมูลที่จะส่งมาให้ ถ้าบัฟเฟอร์ของโนดปลายทางมีไม่เพียงพอตามที่โนดต้นทางร้องขอก็จะระงับการส่งเพื่อป้องกันความแออัดของบัฟเฟอร์ของโนดตัวเอง

(ค) ระดับ network access

เป็นการจำกัดจำนวนแพ็กเก็ตจากสถานีที่ต่อเชื่อมกับเครือข่ายที่จะส่งเข้ามาในเครือข่าย เพื่อป้องกันความแออัดภายในเครือข่าย กล่าวคือ เป็นการควบคุมระหว่างผู้ใช้กับโนด

สำหรับเครือข่ายแบบวงจรเสมือนเราอาจใช้วิธีใดวิธีหนึ่ง หรือใช้ร่วมกันหลายวิธีก็ได้เช่นเครือข่าย Tymnet นั้นใช้วิธีในระดับ network access และระดับ hop ส่วนเครือข่ายแบบดาตาแกรม เช่น เครือข่าย Arpanet นั้นใช้วิธีในระดับ entry-to-exit และระดับ hop

ในส่วนของรายละเอียดในเรื่องการควบคุมความแออัดของเครือข่ายยังมีรายละเอียดอีกมาก สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก (Ahuja , 1985), (Stalling, 1985) (Tanenbaum, 1989)

2.4.2 การควบคุมการส่งแพ็กเก็ตระหว่าง 2 สถานี

วิธีการควบคุมการส่งแพ็กเก็ตระหว่าง 2 สถานี เพื่อให้มั่นใจได้ว่าสถานีที่กำลังส่งนั้นสามารถส่งได้ไม่เกินความสามารถของสถานีผู้รับที่จะรับได้ สถานีผู้รับจะกำหนดรูปแบบและวิธีในการจัดการบัฟเฟอร์เพื่อการรับข้อมูลและประมวลผลข้อมูลที่รับเข้ามาเพื่อส่งออกและเมื่อปลายทางได้รับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว สถานีผู้ส่งจึงเคลียร์บัฟเฟอร์สำหรับเตรียมรับข้อมูลใหม่ต่อไป

วิธีการที่ง่ายที่สุดคือ หยุดและรอ (stop and wait) โดยที่สถานีผู้รับจะต้องแสดงความพร้อมที่จะรับข้อมูล อาจทำได้โดยการส่ง poll หรือ responding ไปให้สถานีผู้ส่งทราบ โดยปกติข้อมูลที่ผู้ใช้ต้องการส่งอาจจะเป็นไฟล์หรือบล็อกข้อมูล อย่างไรก็ตามสถานีผู้ส่ง

มักจะทำการแบ่งข้อมูลนั้นเป็นบล็อกเล็ก ๆ เรียกว่า เฟรมหรือแพ็คเก็ต แล้วจึงส่งแพ็คเก็ตนั้นเรียงกันไปตามลำดับ

อีกวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้กันมาก คือ วิธีเลื่อนหน้าต่าง (sliding window) วิธีนี้มีประสิทธิภาพที่ดี เนื่องจากมีการกำหนดขนาดของบัฟเฟอร์ของสถานีผู้ส่งและสถานีผู้รับ และมีการรับส่งแบบ 2 ทางได้พร้อมกัน สามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้ สถานี A และสถานี B มีการติดต่อกันแบบ 2 ทางพร้อมกัน สถานี B จะกำหนดขนาดของบัฟเฟอร์ของตัวเองว่ามีขนาดเท่ากับ n PDU (PDU ในที่นี้หมายถึง Protocol Data Unit) แสดงถึงขนาดของบัฟเฟอร์ที่จะรับข้อมูลได้จำนวนเท่าใด ขึ้นอยู่กับโปรโตคอลที่ใช้

ดังนั้นสถานี B จะสามารถรับข้อมูลได้ n PDU และสถานี A สามารถส่งข้อมูลได้ n PDU โดยไม่ต้องรอการตอบรับ การตอบรับของสถานี B จะตอบรับด้วยการบอกล่วงหน้าว่าลำดับเลขที่ของ PDU ที่ต้องการรับต่อไปเป็นเลขที่อะไร การตอบรับแบบนี้จะเป็นการบอกให้ทราบว่าสถานีเตรียมที่จะรับ PDU เลขที่อะไร

ตัวอย่างเช่นสถานี B จะได้รับ PDU2, PDU3, PDU4 แต่ยังไม่ตอบรับกลับไปจนกว่าจะได้รับ PDU4 เป็นที่เรียบร้อย โดยจะส่งการตอบรับ ACK5 เลข "5" จะหมายถึงสถานี B เตรียมที่จะรับ PDU5 เป็นลำดับต่อไป และแสดงว่าสถานี B ได้รับ PDU2, PDU3 และ PDU4 เรียบร้อยแล้ว

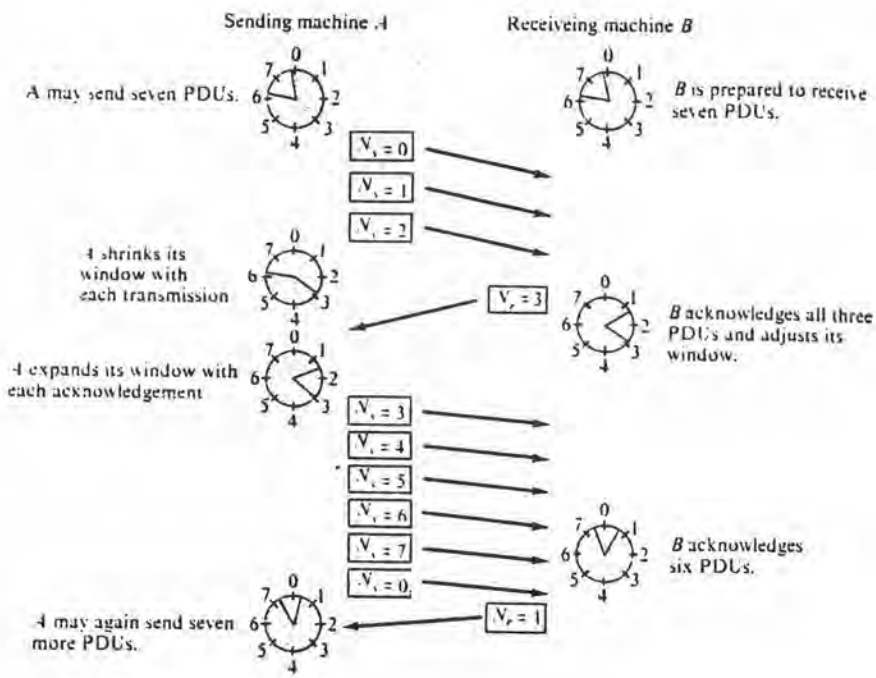
ขนาดของบัฟเฟอร์ที่เตรียมไว้สำหรับแพ็คเก็ตนี้จะเรียกว่าขนาดของ window โดยทั่วไปจะมีการกำหนดลำดับเลขที่ของการตอบรับลงไปเป็นส่วนหนึ่งของ PDU ของผู้ส่งที่ส่งไปให้ ซึ่งลำดับเลขที่ที่ใส่ไว้ใน PDU จะเป็นตัวเลขฐานสอง ถ้ากำหนดไว้ k bit field ใน PDU ลำดับเลขที่จะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง $2^k - 1$ เช่น ถ้า k = 3 bit ลำดับของเลขที่จะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 7 และถ้าลำดับเลขที่เท่ากับ 7 ก็จะกลับไปเริ่มต้นที่ 0 ใหม่

การกำหนดขนาดสูงสุดของ window จะเท่ากับ $2^k - 1$ เช่น ถ้า k = 3 ขนาดของ window ที่จะมีได้สูงสุดเท่ากับ 7 ทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันความผิดพลาดในการตอบรับ

รูปที่ 2.12 แสดงการทำงานของวิธี sliding window flow control ในตัวอย่างนี้ใช้ 3 bit sequence number field และมีขนาดของ window สูงสุดเท่ากับ 7 สภาวะเริ่มต้น สถานี A และ B มีขนาดของ window เท่ากับ 7 ทั้งคู่ สถานี A จะส่งได้ 7 PDU ต่อเนื่องโดยไม่ต้องรอการตอบรับ เมื่อสถานี A เริ่มส่ง PDU0, PDU1 PDU2 ไปให้สถานี B ขนาดของ window จะลดลงเหลือ 4 PDU และเมื่อได้รับการตอบรับว่าสถานี B ได้รับ PDU2 เรียบร้อยแล้ว ขนาดของ window ก็จะขยายขึ้นเป็น 7 PDU ตามเดิม

ในเวลาต่อมาสถานี A เริ่มส่ง PDU3, PDU4, PDU 5, PDU6, PDU7 และ PDU0 ไปให้สถานี B ในขณะที่กำลังส่ง PDU ต่าง ๆ ออกไป ขนาดของ window ของสถานี A ก็จะลดลงเรื่อย ๆ

ในตอนท้ายของรูปที่ 2.12 เมื่อสถานี A ได้รับการตอบรับว่า สถานี B ได้รับ PDU0 เรียบร้อย (สถานี B ตอบรับแบบหลาย PDU คือ 6 PDU ดังนั้นสถานี B ก็จะยังไม่ตอบรับ PDU3, PDU4, PDU5, PDU6 และ PDU7 จนกว่าจะได้รับ PDU0 เรียบร้อย) สถานี B ก็จะมีขนาดของ window เท่ากับ 7 ตามเดิม



รูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างวิธีควบคุมการส่งแบบเลื่อนหน้าต่าง

2.5 การควบคุมความผิดพลาด (Stalling, 1985), (Tanenbaum, 1989)

ในการส่งแพ็กเก็ตในเครือข่ายอาจจะเกิดการสูญหายของแพ็กเก็ตได้หลายเหตุการณ์ เช่น

- แพ็กเก็ตถูกละทิ้งโดยการทำงานภายใต้การควบคุมการเดินทางของข้อมูล
- การเชื่อมโยงเกิดความผิดพลาด ใช้งานไม่ได้
- โนดเกิดความผิดพลาด ใช้งานไม่ได้
- สถานีผู้รับปลายทางเกิดความผิดพลาด ใช้งานไม่ได้

ใน 3 เหตุการณ์หลังนั้น จะอยู่ภายใต้การควบคุมของกลไกการควบคุมการส่งข้อมูลในวงจรเชื่อมโยง (data link control) เป็นการเชื่อมโยงระหว่างโนดกับโนด หรือโนดกับโฮส ในเครือข่ายก็จะมีวิธีการควบคุมความผิดพลาดที่แตกต่างกันไป ดังจะกล่าวต่อไปนี้

2.5.1 การควบคุมความผิดพลาดของเครือข่าย

สำหรับเครือข่ายแบบวงจรเสมือนนั้นเมื่อโนดหรือวงจรการเชื่อมโยง (link) มีความผิดพลาดเกิดขึ้น ถ้าเครือข่ายนั้นมีการกำหนดเส้นทางแบบรวมศูนย์แล้ว โนดที่อยู่ติดกันจะส่งรายงานความผิดพลาดไปให้โนดศูนย์กลางรับทราบ โนดศูนย์กลางจะทำหน้าที่ยกเลิกการใช้งานตารางกำหนดเส้นทางเดิมและการใช้บัฟเฟอร์ในแต่ละโนดที่ได้รับผลกระทบ และจะกำหนดเส้นทางขึ้นมาใหม่

นอกจากการกำหนดเส้นทางขึ้นมาใหม่แล้ว ยังต้องพิจารณาอีกว่าแพ็กเก็ตต่าง ๆ ที่ยังส่งค้างอยู่ หรือการสูญหายของแพ็กเก็ตที่ส่ง ในการจัดการมีวิธีแตกต่างกันหลายวิธี โดยปกติโนดต้นทางจะมีการบันทึกลำดับเลขที่ของแพ็กเก็ตที่ส่งออก และรอการตอบรับจากโนดปลายทางว่าได้รับแพ็กเก็ตเรียบร้อยหรือไม่ ซึ่งโนดต้นทางหรือโนดที่อยู่ในเส้นทาง จะต้องทำการส่งแพ็กเก็ตที่สูญหายไปใหม่ ซึ่งเทคนิคในการส่งไปใหม่จะกล่าวถึงต่อไปในหัวข้อ 2.5.2 ถึง 2.5.4

สำหรับเครือข่ายแบบดาตาแกรมอาจไม่จำเป็นต้องมีการควบคุมความผิดพลาดในการส่งแพ็กเก็ต เนื่องจากว่าเป็นหลักการทำงานตามหน้าที่ของวิธีการแบบดาตาแกรม เมื่อโนดต้นทางส่งแพ็กเก็ต (ปกติมักจะส่งครั้งละ 8 แพ็กเก็ต) โนดต้นทางจะยังคงเก็บรักษาแพ็กเก็ตทั้ง 8 ไว้ก่อน รวมทั้งการนับลำดับเลขที่ของข้อมูลแพ็กเก็ต ถ้าไม่ได้รับการตอบรับ (RFNM =

Ready For Next Message) ภายในเวลาที่กำหนดไว้ ซึ่งโนดต้นทางอาจพิจารณาได้ว่าข้อมูลถูกส่งไปยังโนดปลายทางได้ครบถ้วน แต่การส่ง "RFNM" มาไม่ถึงโนดต้นทาง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโนดต้นทางจะเป็นผู้ตัดสินใจว่าจะส่งใหม่หรือไม่ แต่ถ้าโนดปลายทางตอบรับว่าได้รับข้อมูลไม่ครบถ้วน โนดต้นทางก็จะส่งแพ็กเก็ตไปให้ใหม่และถ้าโนดต้นทางมีความผิดพลาดหรือไม่ประสบความสำเร็จในการได้รับการตอบรับจากโนดปลายทางในเวลาที่กำหนดไว้ โนดต้นทางก็จะแจ้งกลับไปให้โฮสทราบถึงผลนี้ แล้วให้โฮสเป็นผู้ตัดสินใจว่าจะทำอย่างไรต่อไป

การควบคุมความผิดพลาดในการส่งข้อมูลมี 2 หน้าที่ คือ

- การตรวจสอบความผิดพลาด ซึ่งอาจจะตรวจสอบความผิดพลาดในส่วนของข้อมูล โดยการตรวจสอบ Frame check sequence ที่ใช้เทคนิคแบบ CRC (Cyclic Redundancy Check) ในแต่ละแพ็กเก็ตที่ได้รับ หรือการไม่ได้รับการตอบรับจากโนดปลายทางในเวลาที่กำหนด หรือการได้รับการตอบรับว่าได้รับแพ็กเก็ตผิดพลาด ทั้ง 3 กรณีนี้ถือว่าเกิดความผิดพลาดในการส่งแพ็กเก็ต โนดต้นทางจะต้องทำหน้าที่ในการส่งแพ็กเก็ตไปใหม่

- การส่งไปใหม่ ถ้าพบความผิดพลาดเกิดขึ้นจากกรณีข้างต้น โนดต้นทางผู้ส่งจะทำการส่งแพ็กเก็ตที่ผิดพลาดไปให้ใหม่ ในหลักการของการส่งไปใหม่มี 3 วิธีที่นิยมใช้ คือ แบบหยุดและรอ หรือแบบกลับไปเริ่มต้นส่งที่ตำแหน่งที่ผิดพลาด หรือแบบเฉพาะแพ็กเก็ตที่ผิดพลาด รายละเอียดจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

2.5.2 การส่งไปใหม่แบบหยุดและรอ (Stop-and-Wait ARQ)

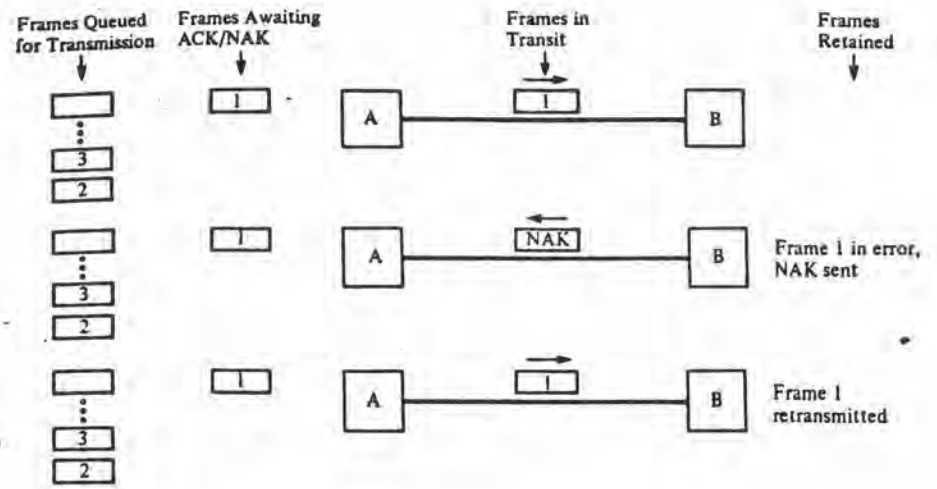
เป็นวิธีการตอบรับแบบง่าย สถานีผู้ส่งจะส่งแพ็กเก็ตที่ละ 1 แพ็กเก็ตแล้วจะรอการตอบรับ จะยังไม่มีการส่งแพ็กเก็ตอื่นออกไปจนกว่าสถานีผู้ส่งจะได้รับการตอบรับจากสถานีผู้รับว่าได้รับแพ็กเก็ตเรียบร้อยแล้ว ถ้าแพ็กเก็ตที่ได้รับถูกต้องสถานีผู้รับจะส่งการตอบรับแบบ positive acknowledgement (ACK) แต่ถ้าแพ็กเก็ตที่ได้รับมีความผิดพลาด สถานีผู้รับก็จะส่งการตอบรับแบบ negative acknowledgement (NAK) ดังแสดงในรูปที่ 2.13 (ก)

ในวิธีการนี้ อาจเกิดกรณีที่แพ็กเก็ตส่งไปไม่ถึงสถานีผู้รับ ทำให้สถานีผู้ส่งไม่ได้รับการตอบรับจากสถานีผู้รับ ซึ่งอาจทำให้สถานีต้องเสียเวลารอนานมากเกินไป ดังนั้นสถานีผู้ส่งเมื่อส่งแพ็กเก็ตออกไปเรียบร้อยแล้วจะทำการตั้งค่าเวลาสำหรับรอการตอบรับ ถ้าถึงเวลาที่กำหนดแล้วยังไม่ได้รับการตอบรับ ก็จะทำการส่งแพ็กเก็ตเดิมไปใหม่อีกครั้ง ในการทำเช่นนี้จะทำให้สถานีผู้ส่งนั้นต้องเก็บรักษาแพ็กเก็ตเดิมที่ส่งออกไปจนกว่าจะได้รับการตอบรับว่าได้รับแพ็กเก็ต

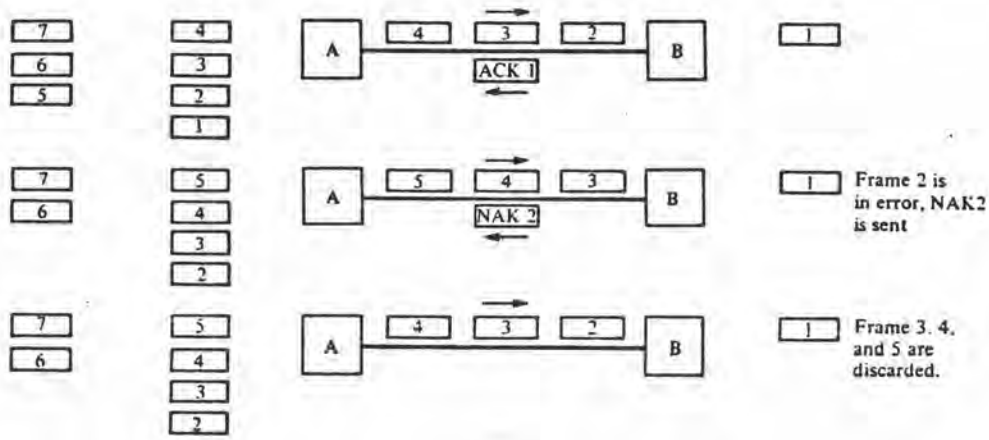
เรียบร้อยแล้ว จึงจะยกเลิกการใช้แพ็คเก็ตเดิมนั้นและไม่ต้องเก็บรักษาต่อไป

ถ้าพิจารณาเพิ่มเติมอาจพบว่า ถ้าสถานี A ส่งแพ็คเก็ตออกไปให้สถานี B สถานี B ได้รับแพ็คเก็ตอย่างถูกต้องและตอบรับ ACK กลับไปให้สถานี A แต่สถานี A ไม่ได้รับการตอบรับ ดังนั้นเมื่อถึงเวลาที่กำหนดไว้แล้ว สถานี A ก็จะส่งแพ็คเก็ตเดิมออกไปใหม่ ซึ่งจะทำให้สถานี B ได้รับแพ็คเก็ตซ้ำของเดิม เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้สถานีผู้รับจะทำการตอบรับแบบ ACK0 หรือ ACK1 ซึ่งจะส่งสลับกันไป

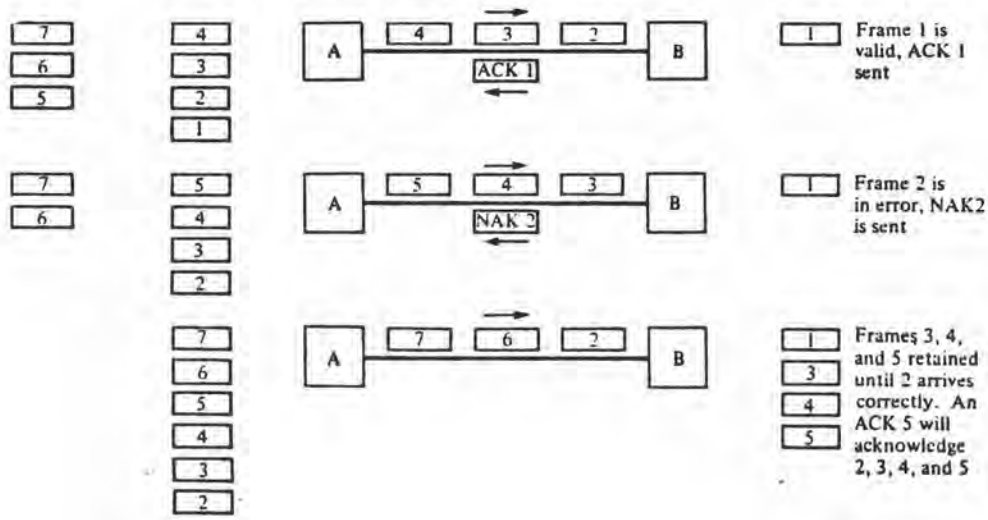
ข้อดีของวิธีการนี้คือ ความสะดวกและง่าย แต่ประสิทธิภาพในการทำงานจะไม่สูงนัก จึงมักนิยมใช้วิธีแบบ Go-Back-N ดังจะกล่าวในหัวข้อถัดไป



(ก) แบบหยุดและรอ



(ข) แบบกลับไปเริ่มต้นส่งที่ตำแหน่งที่ผิดพลาด



(ค) แบบเฉพาะแพ็กเก็ตที่ผิดพลาด

รูปที่ 2.13 วิธีการส่งไปใหม่แบบต่างๆ

2.5.3 การส่งไปใหม่แบบกลับไปเริ่มต้นส่งที่ตำแหน่งที่ผิดพลาด (Go-back-N ARQ)

วิธีการนี้สถานีผู้ส่งสามารถส่งออกแพ็กเก็ตได้เป็นชุด ชุดละหลายแพ็กเก็ตอย่างต่อเนื่อง ถ้าสถานีผู้รับตรวจสอบพบแพ็กเก็ตที่ผิดพลาดก็จะส่ง NAK สำหรับแพ็กเก็ตที่ผิดพลาด ในขณะเดียวกันสถานีผู้รับจะละทิ้งแพ็กเก็ตที่ส่งต่อมาจากแพ็คเก็ตที่ผิดพลาดจนกว่าจะได้รับแพ็กเก็ตซึ่งเดิมผิดพลาดอยู่ได้รับถูกต้อง ถ้าเช่นนั้นเมื่อสถานีผู้ส่งได้รับ NAK ก็จะกลับไปเริ่มต้นส่งแพ็กเก็ตที่ผิดพลาดไปใหม่แล้วตามด้วยแพ็กเก็ตอื่นตามลำดับ

รูปที่ 2.13 (ข) แสดงการส่งไปใหม่แบบกลับไปเริ่มต้นส่งที่ตำแหน่งที่ผิดพลาด การติดต่อระหว่างสถานี A และ B เป็นแบบ 2 ทางพร้อมกัน ในขณะที่แพ็กเก็ตที่ 2, 3 และ 4 ถูกส่งออกไป จากสถานี A ไป B และได้รับแพ็กเก็ตตอบรับจากสถานี B ว่าได้รับแพ็กเก็ตที่ 1 เรียบร้อยแล้ว ในเวลาต่อมา สถานี B ได้รับแพ็คเก็ตที่ 2 และพบว่าเกิดความผิดพลาด ในขณะที่แพ็กเก็ตที่ 3, 4 และ 5 อยู่ในระหว่างการส่ง สถานี B จะส่ง NAK2 ตอบรับว่าได้รับแพ็กเก็ตที่ 2 ผิดพลาด ขอให้ส่งใหม่ แจ้งกลับไปให้สถานี A ในขณะที่สถานี A เพิ่งจะส่งแพ็กเก็ตที่ 5 เสร็จ ดังนั้นก่อนที่สถานี A จะเปลี่ยนไปส่งแพ็กเก็ตที่ 6 สถานี A จะต้องกลับไปเริ่มต้นส่งแพ็กเก็ตที่ 2, 3, 4 และ 5 ซึ่งในการทำงานนั้น สถานี A จะต้องมีการเก็บรักษาแพ็กเก็ตเดิมที่ส่งออกไปแล้วยังไม่ได้รับการตอบรับจนกว่าจะได้รับการตอบรับว่าได้รับถูกต้อง

2.5.4 การส่งไปใหม่แบบเฉพาะแพ็กเก็ตที่ผิดพลาด (Selective-Repeat ARQ)

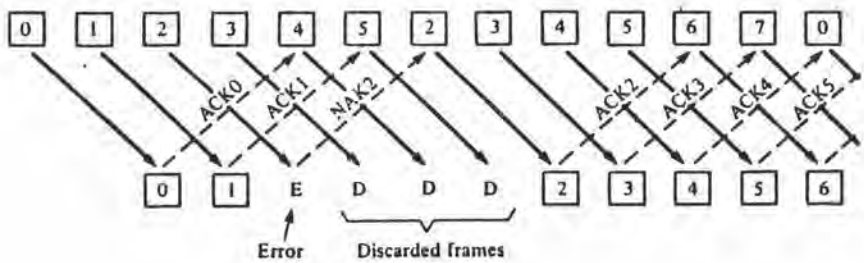
เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบที่กลับไปเริ่มต้นส่งที่ตำแหน่งที่ผิดพลาด เนื่องจากสถานีผู้ส่งจะส่งเฉพาะแพ็กเก็ตที่ผิดพลาดไปให้เท่านั้น ตัวอย่างในรูปที่ 2.13 (ค) จะส่งไปใหม่เฉพาะแพ็กเก็ตที่ 2 เท่านั้น วิธีการนี้มีความยุ่งยากซับซ้อนมาก เนื่องจากสถานีผู้ส่งจะต้องมีวิธีการที่จะเลือกส่งเฉพาะแพ็กเก็ตที่ผิดพลาด และจะต้องไปแทรกแพ็กเก็ตอื่นที่จะส่งออก ส่วนสถานีผู้รับก็จะต้องมีบัฟเฟอร์เก็บแพ็กเก็ตอื่นที่ได้รับไว้ก่อน จนกว่าแพ็กเก็ตที่ผิดพลาดจะถูกส่งมาใหม่ ดังนั้นวิธีการทำงานที่ยุ่งยากและต้องมีบัฟเฟอร์ขนาดใหญ่ จึงมักนิยมใช้วิธีกลับไปเริ่มต้นส่งที่ตำแหน่งที่ผิดพลาดมากกว่าวิธีแบบเฉพาะแพ็กเก็ตที่ผิดพลาด

รูปที่ 2.14 เป็นการเปรียบเทียบวิธีการทำงานของทั้งสองวิธี ในรูปที่ 2.14 (ก) เป็นวิธีแบบกลับไปเริ่มต้นส่งที่ตำแหน่งที่ผิดพลาด และใช้ขนาดของ window = 7 ในการส่งแพ็กเก็ตที่ 2 ผิดพลาด และสถานีผู้รับส่ง NAK2 และส่งแพ็กเก็ตที่ 2 ไปใหม่ สถานีผู้รับก็จะได้รับแพ็กเก็ตที่ 3, 4 และ 5 ถึงแม้จะไม่เกิดความผิดพลาดก็ตามสถานีผู้รับก็จะละทิ้งแพ็กเก็ตทั้ง 3 ส่วนวิธีแบบเฉพาะแพ็กเก็ตที่ผิดพลาดก็จะมีการรับแพ็กเก็ตอย่างต่อเนื่อง โดยเก็บรอไว้ในบัฟเฟอร์จนกว่าจะได้รับแพ็กเก็ตที่ 2 ถูกต้อง

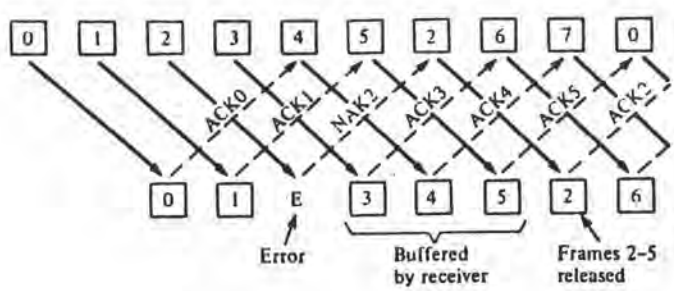
ตัวอย่างข้างต้นเป็นการตอบรับทุกแพ็กเก็ต แต่อาจจะกำหนดให้ตอบรับทีละหลายแพ็กเก็ตก็ได้ ตัวอย่างเช่น สถานี A ส่งแพ็กเก็ตที่ 0, 1, 2 และ 3 สถานี B จะส่งแพ็กเก็ตตอบรับ ACK0 ว่าได้รับแพ็กเก็ตที่ 0 ถูกต้อง แต่อาจไม่จำเป็นต้องตอบรับสำหรับแพ็กเก็ตที่ 1 และ 2 ก็ได้ หลังจากได้รับแพ็กเก็ตที่ 3 สถานี B ก็จะส่ง ACK3 เป็นการตอบรับ

ว่าได้รับแพ็กเก็ตที่ 3 และแพ็กเก็ตก่อนหน้านั้นได้รับถูกต้อง

ในทางปฏิบัติการตอบรับอาจใช้วิธีเลื่อนหน้าต่าง ดังที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 2.4.2 ซึ่งไม่ต้องส่งแพ็กเก็ตตอบรับ ACK แต่ส่งการตอบรับลงในแพ็กเก็ตข้อมูล และอาจเป็นการตอบรับทีละหลายเฟรม



(ก) แบบกลับไปเริ่มต้นส่งที่ตำแหน่งที่ผิดพลาด



(ข) แบบเฉพาะแพ็กเก็ตที่ผิดพลาด

รูปที่ 2.14 ตัวอย่างการส่งไปใหม่แบบกลับไปเริ่มต้นส่งที่ตำแหน่งที่ผิดพลาด และแบบเฉพาะแพ็กเก็ตที่ผิดพลาด

รายละเอียดของข้อมูลในหัวข้อ 2.2 ถึง 2.5 สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก (Brady , 1988), (Pawlita, 1981), (Pouzin, 1981), (Tymes, 1981)