บทที่ 4

แบบการจำลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงแบบการจำลองการทำงานที่ได้นำไปใช้ทดสอบการทำงานอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนแบบพลวัต, อัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิค Per-VC accounting และอัลกอริทึม EPD พื้นฐาน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโครงข่ายและความเท่าเทียมกันในการส่งข้อมูล

4.1 แบบจำลองการทำงาน

การจำลองการทำงานทุกการจำลองในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้แบบการจำลองที่แตกต่างกันเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของแต่ละอัลกอริทึม แบบจำลองที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้มีทั้งหมด 3 แบบ ดังนี้

1. แบบจำลอง Peer to Peer
2. แบบจำลอง Parking Lot
3. แบบจำลอง Chain

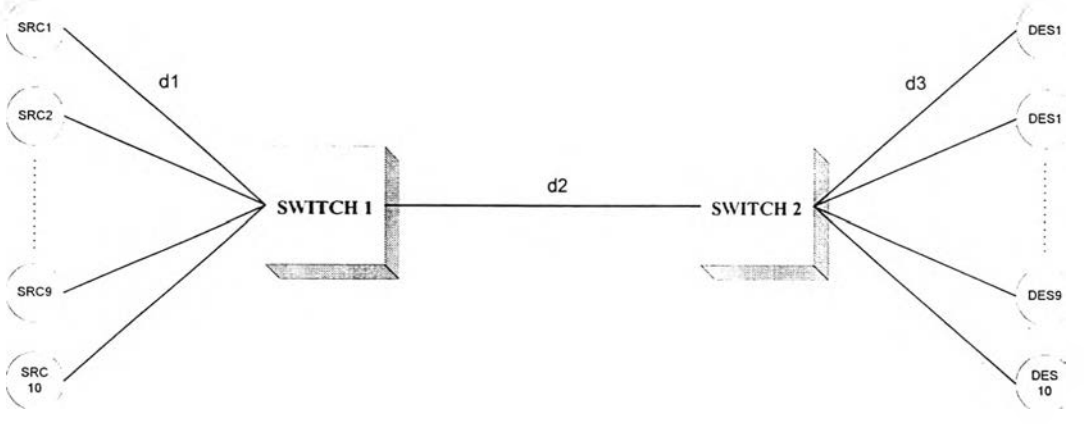
4.1.1 แบบจำลอง Peer to Peer

แบบจำลอง Peer to Peer เป็นแบบจำลองอย่างง่ายที่สุดที่ใช้ทดสอบการทำงานของอัลกอริทึมแบบต่างๆ ซึ่งแบบจำลองนี้เป็นต้นแบบในการทดสอบหาประสิทธิภาพของโครงข่ายและความเท่าเทียมกันในการส่งข้อมูล โดยแบบจำลอง Peer to Peer จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดจำนวน N แหล่งกำเนิด ดังแสดงในรูปที่ 4.1 แหล่งกำเนิดจะประกอบด้วย แหล่งกำเนิดข้อมูลหรือทราฟฟิก, แหล่งกำเนิด TCP, และ ATM Adaptation Layer 5 (AAL5) โดย AAL5 ทำหน้าที่แบ่งแพ็กเกจของ TCP ให้เป็นเซลล์ ATM และประกอบเซลล์ ATM ให้เป็นแพ็กเกจของ TCP ส่วนด้านปลายทางก็จะมีส่วนประกอบเหมือนกับด้านต้นทางคือ AAL5, TCP ทางด้านรับ และอุปกรณ์ปลายทางรับข้อมูล

ข้อกำหนดของแบบจำลอง Peer to Peer มีดังนี้

- จำนวนแหล่งกำเนิดของแบบจำลองมีจำนวน 10 แหล่งกำเนิด
- ทุกแหล่งกำเนิดจะส่งข้อมูลต่อเนื่องตลอดเวลา (persistent sources) หรือส่งข้อมูลเป็นช่วงๆ (burst) โดยโพรโตคอล TCP จะคอยควบคุมการส่งข้อมูลให้เป็นไปตาม window ของโพรโตคอล TCP

- ทุกๆ link จะมีค่าช่วงเวลาประวิง (delay time) เป็น 3 microseconds (ประมาณระยะทาง 600 เมตร) สำหรับโครงข่ายที่เป็น Local Area Network (LAN) หรือ 5 milliseconds (ประมาณระยะทาง 1000 กิโลเมตร) สำหรับโครงข่ายที่เป็น Wide Area Network (WAN)
- โครงข่ายแบบ LAN มีค่า Propagation delay เป็น 18 μs และ 30 ms สำหรับโครงข่ายแบบ WAN
- ทุกๆ link มีแบนด์วิดท์ 155.52 Mbps เมื่อหัก header ของ SONET ออกจะเหลือ 149.76 Mbps
- ขนาดแพ็กเกจของ TCP เท่ากับ 8192 ไบท์ (8 KB)
- ค่า TCP timer granularity ถูกตั้งไว้ที่ 100 ms ซึ่งค่านี้จะมีผลกระทบกับ retransmission timeout เนื่องจากแพ็กเกจสูญเสีย ค่า timeout ที่ใช้กับ TCP โดยทั่วไปจะถูกตั้งไว้ที่ค่า 100 และ 500 ms ค่า retransmission timeout เป็นตัวแปรที่สำคัญในการหาเวลาสูญเสียขณะเกิดความคับคั่ง ถ้าใช้เวลา timer granularity น้อยจะทำให้โครงข่ายมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นได้ เนื่องจากใช้เวลาในการรอน้อยเป็นผลให้มีการส่งข้อมูลใหม่ได้เร็วขึ้น
- ข้อมูลจะส่งไปในทิศทางเดียว (unidirectional) โดยแหล่งกำเนิดจะส่งข้อมูลออกไปอย่างเดียว ส่วนด้านรับจะส่ง ACK เท่านั้น
- ขนาดของ TCP maximum receiver window มีค่าเป็น 64 KB
- เวลาที่ใช้จำลองเป็น 3 ms สำหรับโครงข่ายแบบ LAN และ 5 ms สำหรับโครงข่ายแบบ WAN
- ทุกแหล่งกำเนิดเริ่มส่งข้อมูลพร้อมกัน



รูปที่ 4.1 แบบจำลอง Peer to Peer

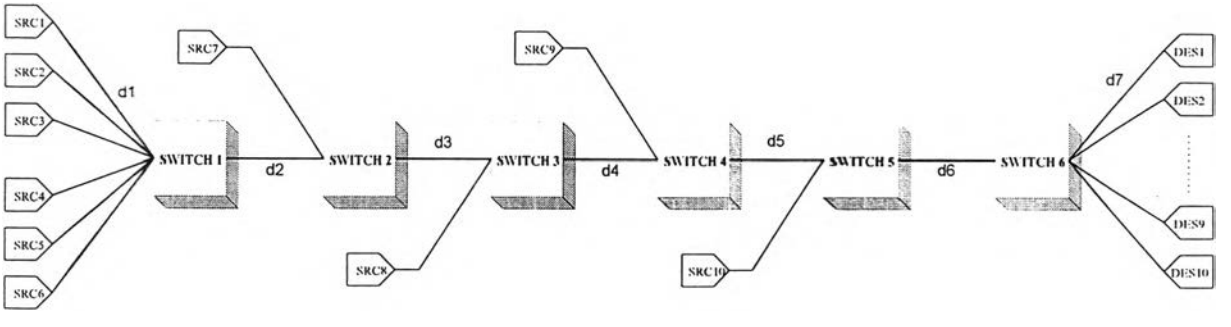
4.1.2 แบบจำลอง Parking Lot

แบบจำลอง Parking Lot เป็นแบบจำลองที่ใช้ทดสอบปัญหา link เป็นคอขวด (link bottleneck) กับอัลกอริทึมแบบต่างๆ และแบบจำลอง Parking Lot ที่ใช้เป็นแบบที่มีสวิตช์ต่อกันหลาย hop เพื่อทดสอบถึง

ความล่าช้าแต่ละแหล่งกำเนิดจะมีผลต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายหรือไม่ แบบจำลอง Parking Lot ที่มีหลาย hop แสดงในรูปที่ 4.2 ส่วนระบบปลายทาง (ด้านต้นทางและปลายทาง) จะมีส่วนประกอบเหมือนกับแบบจำลอง Peer to Peer

แบบจำลอง Parking Lot เป็นแบบจำลองที่มีสวิตช์ต่อกัน 6 สวิตช์ ที่สวิตช์ 1 จะมีแหล่งกำเนิดต่อเข้ากับสวิตช์จำนวน 6 แหล่งกำเนิด และสวิตช์ที่ 2-5 จะมีแหล่งกำเนิดต่อเข้ากับสวิตช์จำนวนสวิตช์ละ 1 แหล่งกำเนิด เพื่อทำการทดสอบปัญหา link เป็นคอขวดโดยแหล่งกำเนิดที่เพิ่มขึ้นมาอีก 1 แหล่งกำเนิดนี้จะไปแย่งใช้ทรัพยากรของโครงข่ายกับอีก 6 แหล่งกำเนิดที่ต่อเข้ากับสวิตช์ 1 เราจะศึกษาถึงผลกระทบจาก link ที่เป็นคอขวด ซึ่งแบบจำลอง Parking Lot จะมีข้อกำหนด ดังนี้

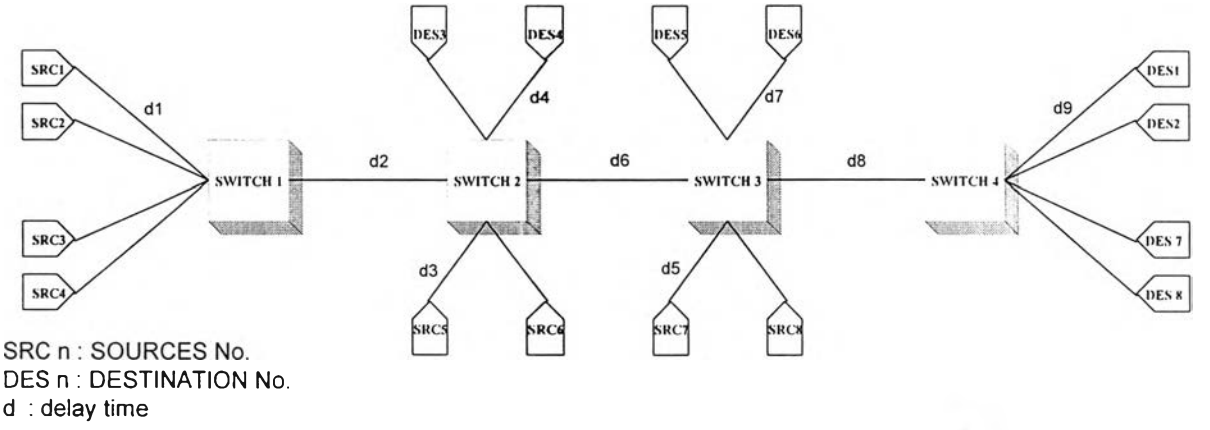
- แบบจำลอง Parking Lot มีแหล่งกำเนิดทั้งหมด 10 แหล่งกำเนิด
- ทุกแหล่งกำเนิดจะส่งข้อมูลตลอดเวลา (persistent source) โดยโพรโตคอล TCP จะคอยควบคุมการส่งข้อมูลให้เป็นไปตาม window ของโพรโตคอล TCP
- ทุกๆ link จะมีค่าช่วงเวลาประวิง (delay time) เป็น 3 microseconds (ประมาณระยะทาง 600 เมตร) สำหรับโครงข่ายที่เป็น Local Area Network (LAN) หรือ 5 milliseconds (ประมาณระยะทาง 1000 กิโลเมตร) สำหรับโครงข่ายที่เป็น Wide Area Network (WAN)
- โครงข่ายมี Propagation delay เป็น 42 μs, 36 μs, 30 μs, 24 μs และ 18 μs สำหรับแหล่งกำเนิดที่ 1-6, แหล่งกำเนิดที่ 7, แหล่งกำเนิดที่ 8, แหล่งกำเนิดที่ 9 และแหล่งกำเนิดที่ 10 ตามลำดับ
- ทุกๆ link มีแบนด์วิดท์ 155.52 Mbps เมื่อหักส่วนหัวของ SONET ออกจะเหลือ 149.76 Mbps
- ขนาดแพ็กเกจของ TCP เท่ากับ 8192 ไบท์ (8 KB)
- ค่า TCP timer granularity ถูกตั้งไว้ที่ 100 ms ซึ่งค่านี้จะมีผลกระทบกับ retransmission timeout เนื่องมากจากแพ็กเกจสูญเสีย ค่า timeout ที่ใช้กับ TCP โดยทั่วไปจะถูกตั้งไว้ที่ค่า 100 และ 500 ms



รูปที่ 4.2 แบบจำลอง Parking Lot ที่มีหลาย hop

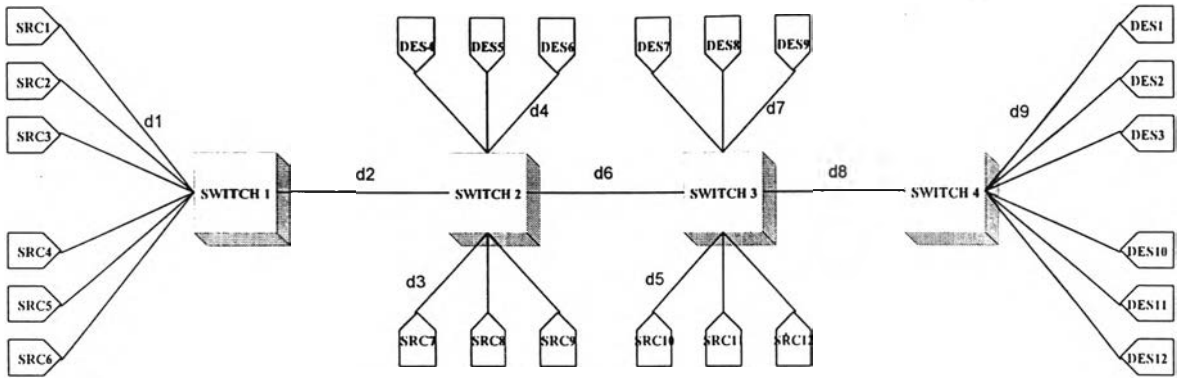
4.1.3 แบบจำลอง Chain

แบบจำลอง Chain เป็นแบบจำลองหนึ่งที่ใช้ทดสอบอัลกอริทึมแบบต่างๆกับโครงข่ายที่มีปัญหา link เป็นคอขวด และทดสอบว่า Propagation delay จะมีผลอย่างไรก็โครงข่าย โดยแบบจำลอง Chain จะมีแหล่งกำเนิดที่ส่งข้อมูลผ่านหลายสวิตช์หลาย hop (เช่น แหล่งกำเนิดที่ 1 และ 2) กับแหล่งกำเนิดที่ส่งข้อมูลเพียง hop เดียว (เช่น แหล่งกำเนิดที่ 3 ถึง 8) ดังแสดงในรูปที่ 4.3 โดยแบบจำลอง Chain จะมีแหล่งกำเนิดที่แทรกเข้าและแทรกออกซึ่งแบบจำลองนี้ศึกษาผลกระทบของการแทรกเข้าและแทรกออกของแหล่งกำเนิด ข้อกำหนดต่างๆของแบบจำลอง Chain จะเหมือนกับข้อกำหนดของแบบจำลอง Peer to Peer



รูปที่ 4.3 แบบจำลอง Chain ที่มีแหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลต่อเนื่องทั้งหมด

การทดสอบการทำงานของแบบจำลอง Chain เมื่อแหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลอย่างต่อเนื่องและแบบเบิรสต์ ซึ่งแบบจำลอง Chain ในรูปที่ 4.3 จะมีการเพิ่มจำนวนแหล่งกำเนิดมากขึ้น เพราะถ้าแหล่งกำเนิดแบบเบิรสต์ไม่ส่งข้อมูล แหล่งกำเนิดแบบส่งข้อมูลอย่างต่อเนื่องจะทำการส่งข้อมูลจำนวนมากจนกระทั่งถึงช่วงเวลาที่แหล่งกำเนิดแบบเบิรสต์ส่งข้อมูลก็ไม่สามารถส่งข้อมูลได้เพราะไม่มีที่ว่างในบัฟเฟอร์ ฉะนั้นจึงทำการเพิ่มจำนวนแหล่งกำเนิดแบบส่งข้อมูลอย่างต่อเนื่องเข้าไปอีกชุดละหนึ่งแหล่งกำเนิด โดยในรูปที่ 4.4 แบบจำลอง Chain ที่ใช้กับการทำสอบการทำงานที่มีแหล่งกำเนิดแบบส่งข้อมูลอย่างต่อเนื่องและแบบเบิรสต์ จากรูปที่ 4.4 แหล่งกำเนิดที่ 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 10 และ 11 เป็นแหล่งกำเนิดแบบส่งข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ส่วนแหล่งกำเนิดที่ 3, 6, 9 และ 12 เป็นแหล่งกำเนิดแบบเบิรสต์



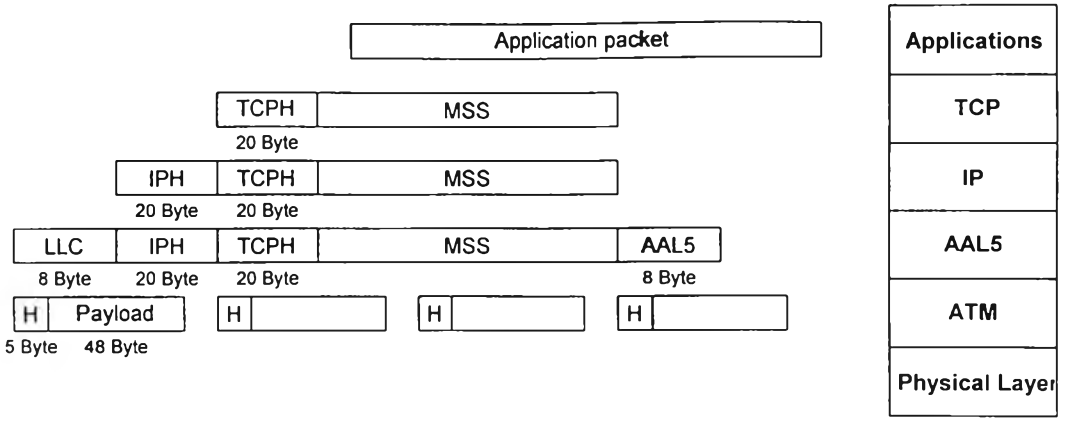
SRC n : SOURCES No.
DES n : DESTINATION No.
d : delay time

รูปที่ 4.4 แบบจำลอง Chain ที่มีแหล่งกำเนิดแบบส่งข้อมูลต่อเนื่องและแบบเบิร์สต์

4.2 การหาสมรรถนะของ TCP

ก่อนที่จะกล่าวถึงการหาสมรรถนะของ TCP เราจะกล่าวถึงโครงสร้าง Protocol Data Unit (PDU) ของแต่ละชั้นก่อนเพื่อทราบถึงสถาปัตยกรรมในแต่ละลำดับชั้นแล้ววิธีการคำนวณหาสมรรถนะ โดยโครงสร้าง Protocol Data Unit ในแต่ละลำดับชั้นแสดงในรูปที่ 4.5

แพ็กเกจในชั้น Application เมื่อมาถึงชั้น TCP จะถูกแบ่งออกเป็นแพ็กเกจย่อยๆ เรียกว่า TCP Maximum Segment Size (MSS) หรือขนาดแพ็กเกจของ TCP ซึ่ง MSS จะเป็นส่วนหนึ่งของ Maximum Transmission Unit (MTU) ในชั้น TCP จะทำการเพิ่มส่วนหัวของ TCP เข้าไป segment ซึ่งมีขนาด 20 ไบต์ แล้วส่งไปที่ชั้น Internet Protocol (IP) ซึ่งชั้นนี้ก็จะเพิ่มส่วนหัวของ IP เข้าไปอีก 20 ไบต์ จากนั้นแพ็กเกจจะถูกส่งที่ ATM Adaptation Layer 5 (AAL5) ในชั้น AAL5 นี้จะเพิ่มส่วนท้ายเข้าไป 8 ไบต์เพื่อให้แพ็กเกจนี้อยู่ในรูปแบบเฟรมของ AAL5 จากนั้น AAL5 ก็จะทำการแบ่งเฟรมนี้ออกเป็นเซลล์ ATM (ซึ่งมี payload ขนาด 48 ไบต์และส่วนหัวขนาด 5 ไบต์) โดยจะแบ่งบรรจุเฟรมนี้ลงในส่วน payload และ AAL5 ก็จะเพิ่มส่วนหัวเข้าไปที่เซลล์ ATM ในส่วนหัวของเซลล์ ATM จะมีบิต End of Message (EOM) ทุกๆเซลล์ของเฟรมบิต EOM จะถูกตั้งไว้ที่ 0 ยกเว้นเซลล์สุดท้ายของเฟรมจะถูกตั้งไว้เป็น 1 บิต EOM จะถูกใช้สำหรับให้ชั้น ATM รู้ขอบเขตของเฟรม



รูปที่ 4.5 แสดงลำดับชั้นและโครงสร้าง Protocol Data Units ของ TCP/IP บนโครงข่าย ATM

เมื่อโครงข่าย ATM ได้มีการใช้โพรโตคอล TCP/IP สมรรถนะของโครงข่ายจากด้นทางจนถึงปลายทางสามารถหาได้จากชั้น TCP ในรูปของวิสัยสามารถของ TCP การวัดค่าวิสัยสามารถของทุกๆ TCP ที่ส่งข้อมูลผ่านเข้าไปใน link ที่เป็นคอขวดต่อความจุทั้งหมดของ link ที่เป็นคอขวด ก็จะได้ค่าสมรรถนะของ TCP ซึ่งเรียกว่าประสิทธิภาพของโครงข่าย (efficiency of the network) [12]

กำหนดให้ N คือจำนวนคู่ของแหล่งกำเนิดกับปลายทางของ TCP ที่ส่งข้อมูลเข้าไปในโครงข่ายที่มีความจุของ link เป็นคอขวดมีค่า R บิตต่อวินาที ให้ X_i คือวิสัยสามารถของแหล่งกำเนิดที่ i และให้ C คือวิสัยสามารถของ TCP ที่มากที่สุดที่เป็นไปได้ (Maximum possible TCP throughput) ของ link ดังนั้นประสิทธิภาพของโครงข่ายคืออัตราส่วนของผลรวมวิสัยสามารถของ TCP จริงๆ (Sum of TCP throughput) ต่อวิสัยสามารถที่เป็นไปได้ของ TCP สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{ผลรวมวิสัยสามารถของTCP}}{\text{วิสัยสามารถของTCP ที่มากที่สุดที่เป็นไปได้}} \tag{4.1}$$

หรือเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\text{Efficiency} = \frac{\sum_{i=1}^{N} X_i}{C} \tag{4.2}$$

ค่าวิสัยสามารถของ TCP (X_i) เกิดจากการวัดที่ชั้น TCP ของปลายทาง ค่าวิสัยสามารถคือจำนวนไบต์ทั้งหมดที่ปลายทางรับได้ (ไม่รวมการส่งแพ็กเกจใหม่และแพ็กเกจสูญเสีย) หารด้วยเวลาทั้งหมดที่มีการเชื่อมต่อ ค่าวิสัยสามารถที่เป็นไปได้มากที่สุดของ TCP (C) คือค่าวิสัยสามารถที่ชั้น TCP ได้รับเมื่อส่งข้อมูลไป

I18981148

บนโครงข่ายที่มีความจุของ link เป็น R ในวิทยานิพนธ์นี้ส่วนใหม่จะใช้ขนาดแพ็กเกจของ TCP เท่ากับ 8192 ไบต์ ฉะนั้นเราจะหาวิสัยสามารถที่เป็นไปได้มากที่สุดของ TCP ดังนี้

เมื่อโพรโตคอล TCP ทำงานอยู่บนการบริการ UBR ซึ่งมีความเร็วการส่งข้อมูล 155.52 Mbps แต่ถ้าหักส่วนหัวของ SONET ออกไปแล้วจะเหลือความเร็วการส่งข้อมูลประมาณ 149.76 Mbps ขนาดแพ็กเกจของ TCP เป็น 8192 ไบต์ ในชั้น ATM จะได้รับข้อมูลขนาด 8192 ไบต์รวมกับส่วนหัวของ TCP 20 ไบต์. ส่วนหัวของ IP 20 ไบต์, ส่วนหัวของ LLC 8 ไบต์ และส่วนท้ายของ AAL5 อีก 8 ไบต์ โดยจะมีการเติมบิตเพิ่มเข้าไปเพื่อให้ได้ 171 เซลล์ ATM ดังนั้นในแต่ละแพ็กเกจของ TCP ในระดับชั้น ATM จะได้จำนวนทั้งหมด 9063 ไบต์ ฉะนั้นค่าวิสัยสามารถที่เป็นไปได้มากที่สุด = 8192/9063 = 90.39% = 135.37 Mbps โดยประมาณ ในรูปที่ 4.5 แสดงลำดับชั้นและโครงสร้างของ Protocol Data Units

ในโครงข่ายจะต้องมีการจัดสรรให้ค่าวิสัยสามารถของการแหล่งกำเนิดที่แข่งขันกันใช้โครงข่ายมีความเท่าเทียมกัน ค่าความเท่าเทียมกัน (fairness) ถูกกำหนดขึ้นเพื่อเป็นการรับประกันการบริการ ถึงแม้ว่าการบริการ UBR จะไม่มีการรับประกันใดๆ ค่าความเท่าเทียมกันของ TCP บนการบริการ UBR สามารถกำหนดให้เป็นความสามารถอันหนึ่งของการบริการ UBR เพื่อทำให้ค่าวิสัยความสามารถเท่ากันทุกๆการเชื่อมต่อของ TCP ที่มีการส่งข้อมูลอย่างต่อเนื่อง กำหนดให้ค่าความเท่าเทียมกันจะใช้ตัวแปร Fairness index (F) ซึ่งค่า Fairness index เป็นฟังก์ชันของความแปรปรวนของวิสัยความสามารถของ TCP [6,12] โดยเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Fairness\ index = \frac{\left(\sum_{i=1}^{N} X_i\right)^2}{N \times \sum_{i=1}^{N} X_i^2} \qquad (4.3)$$

ค่า X_i คือค่า Effective throughput ของการเชื่อมต่อ i และ N คือจำนวนแหล่งกำเนิด TCP ค่า Effective throughput กำหนดให้เป็นจำนวนแพ็กเกจที่ปลายทางรับในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง [6]