บทที่ 3

การสร้างแบบจำลองของโนดสำหรับเครือข่ายการสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเก็ต

3.1 ข้อกำหนดในการออกแบบจำลองของโนด

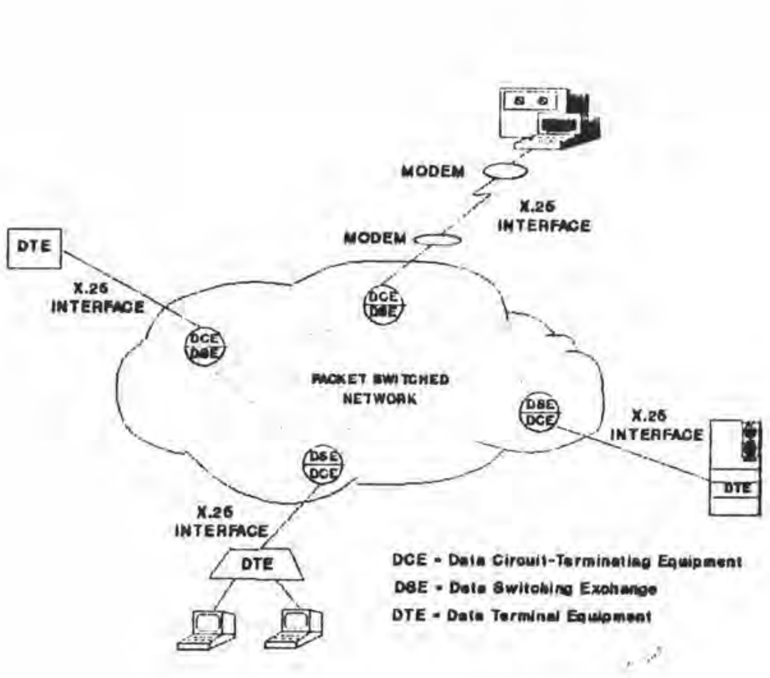
3.1.1 การนิยามโนด

ในส่วนของการให้บริการ Packet Switching นั้น CCITT ได้แนะนำไว้ใน X.25 ภายใต้หัวข้อเรื่อง "การเชื่อมโยงระหว่าง DTE กับ DCE สำหรับเทอร์มินัลที่ทำงานในลักษณะของแพ็กเก็ตที่เกี่ยวกับ Public Data Networks" [CCIT84]

Packet Network Access Protocol มีการกำหนดมาตรฐานไว้ 3 ระดับ ดังนี้

- X.25 ระดับ 1 (Physical Layer)
- X.25 ระดับ 2 (Data Link Layer)
- X.25 ระดับ 3 (Packet Layer)

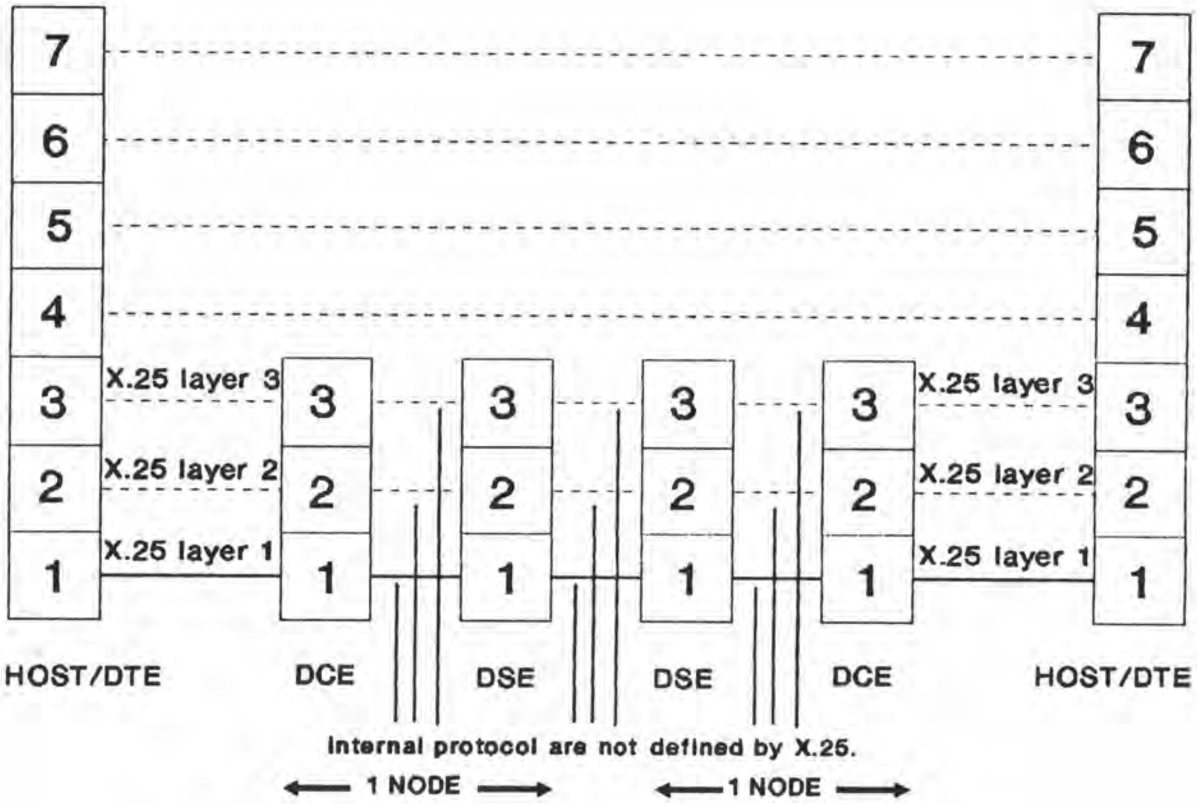
ข้อเสนอแนะของ CCITT ในหัวข้อ X.25 นั้น มีการกำหนดมาตรฐานไว้เฉพาะการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ DTE กับ DCE เท่านั้น ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งแสดงเครือข่ายการสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเก็ต แต่ในส่วนของชุมสายแพ็กเก็ตหรือ DSE (Packet Switching Exchange or Data Switching Exchange) ไม่ได้มีการกำหนดมาตรฐานเอาไว้



รูปที่ 3.1 แสดงเครือข่ายการสื่อสารข้อมูลแบบแพ็คเก็ต

การนิยามโนดในที่นี้หมายถึงอุปกรณ์ DCE และ DSE รวมทั้งโปรโตคอลและกลไกการทำงานระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองนี้ เราสามารถพิจารณาได้ว่าโนดจะทำหน้าที่ครอบคลุมข้อกำหนดโครงสร้างของ OSI Model (ดูบทที่ 2) แต่ไม่จำเป็นต้องอยู่ภายในข้อกำหนดของ x.25 ทั้ง 3 ระดับ ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของโนดกับข้อกำหนดของ x.25 และ OSI Model

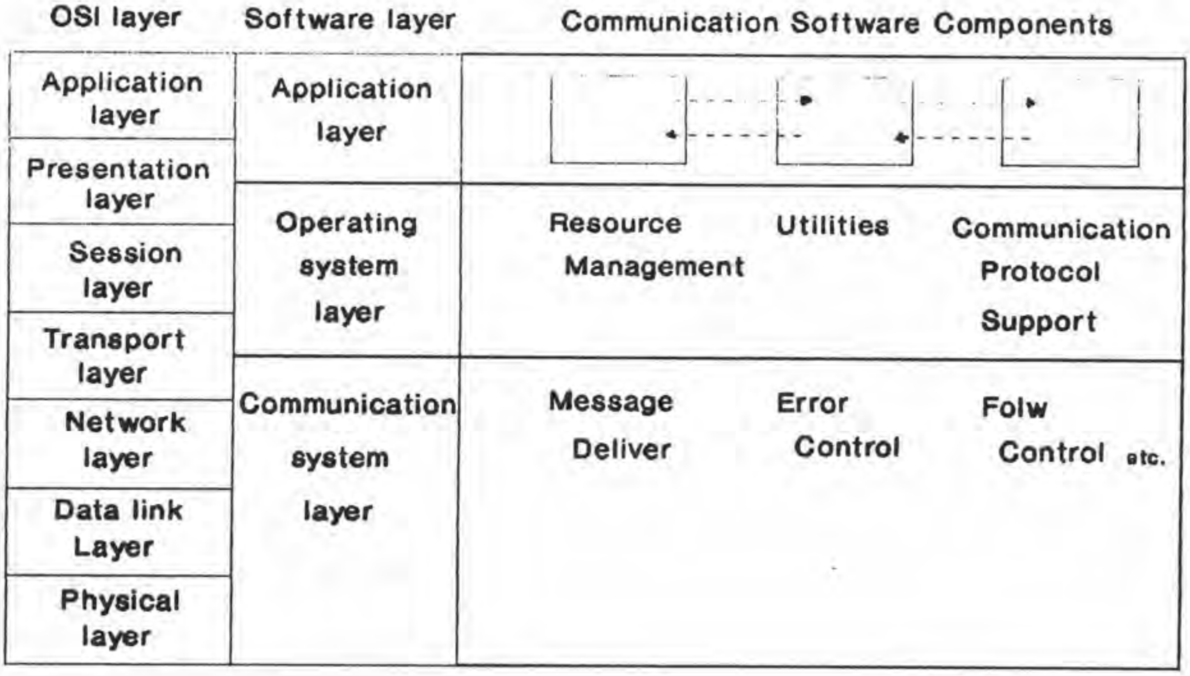
ดังนั้นการนิยามโนดตามความหมายของข้อกำหนดโครงสร้างของ OSI Model โนดจะมีความสอดคล้องกับข้อกำหนดในระดับ 3 ถึง ระดับ 1 โดยมีหน้าที่ในระดับ 3 ได้แก่ การกำหนดเส้นทาง การควบคุมการเดินทาง และการควบคุมความผิดพลาดของแพ็คเก็ตข้อมูล เป็นต้น สำหรับหน้าที่ในระดับ 2 ได้แก่ การติดต่อและเลิกติดต่อการเชื่อมโยงข้อมูล การควบคุมการซิงโครไนซ์ การจัดลำดับและควบคุมความผิดพลาด เป็นต้น (เฉพาะหน้าที่ในการควบคุมความผิดพลาดของข้อมูลนั้นสามารถทำได้ทั้งในระดับ 3 และ 2 แต่ลักษณะความผิดพลาดในแต่ละระดับอาจแตกต่างกัน) สำหรับหน้าที่ในระดับ 1 จะเกี่ยวกับตัวกลางการสื่อสารในเชิงกายภาพ ได้แก่ การกำหนดคุณสมบัติทางกล คุณสมบัติทางไฟฟ้า เป็นต้น



รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ของโนดกับข้อกำหนดของ x.25 และ OSI Model

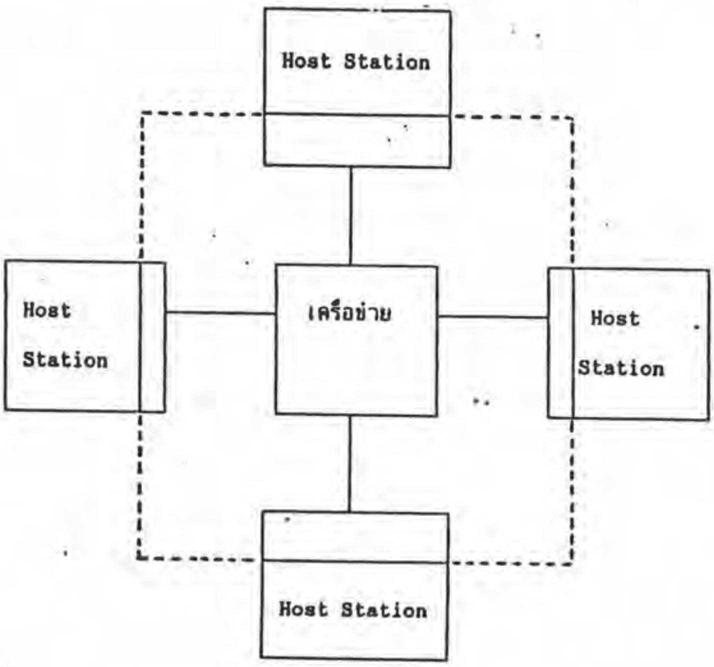
3.1.2 การนิยามเครือข่าย

ก่อนที่จะพิจารณาความหมายของคำว่าเครือข่ายให้พิจารณาถึงการสร้างระบบเครือข่ายใด ๆ ก็ตาม จะอยู่ภายใต้ข้อกำหนดโครงสร้างของ OSI Model ทั้ง 7 Layer ที่กล่าวไปแล้ว เพื่อความสะดวกเราสามารถมองโครงสร้างดังกล่าวในลักษณะทางซอฟต์แวร์ (Sloman, and Kramer) จะมีอยู่ 3 ระดับ คือ Application, Operating System และ Communication System ดังรูปที่ 3.3



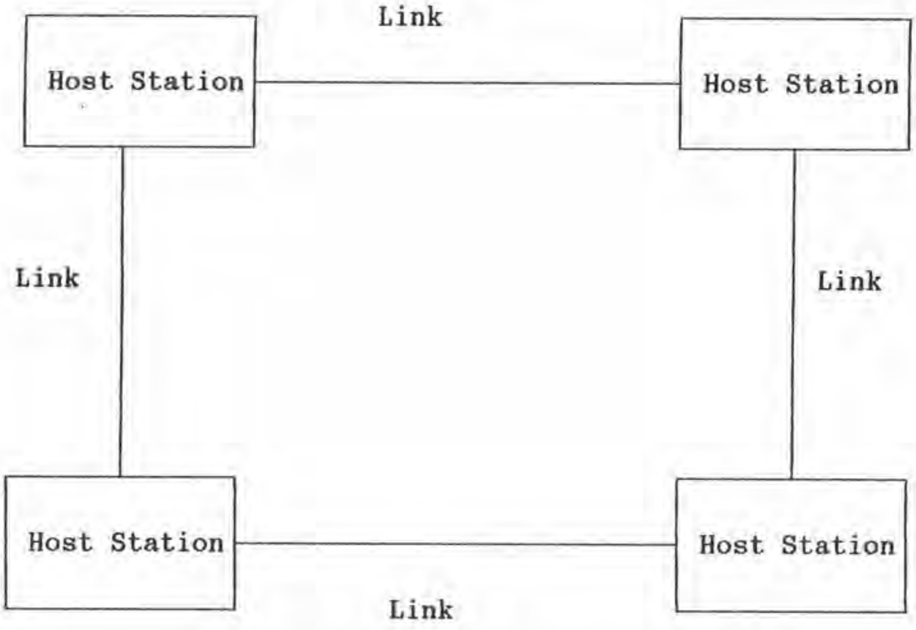
รูปที่ 3.3 การแสดงโครงสร้างทางซอฟต์แวร์ของระบบเครือข่าย

ระบบเครือข่ายเป็นการรวบรวมอุปกรณ์ทางฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่จะสนับสนุนการทำงานส่งข้อมูลระหว่างสถานีที่ต่อเชื่อมกับเครือข่าย ดังรูปที่ 3.4



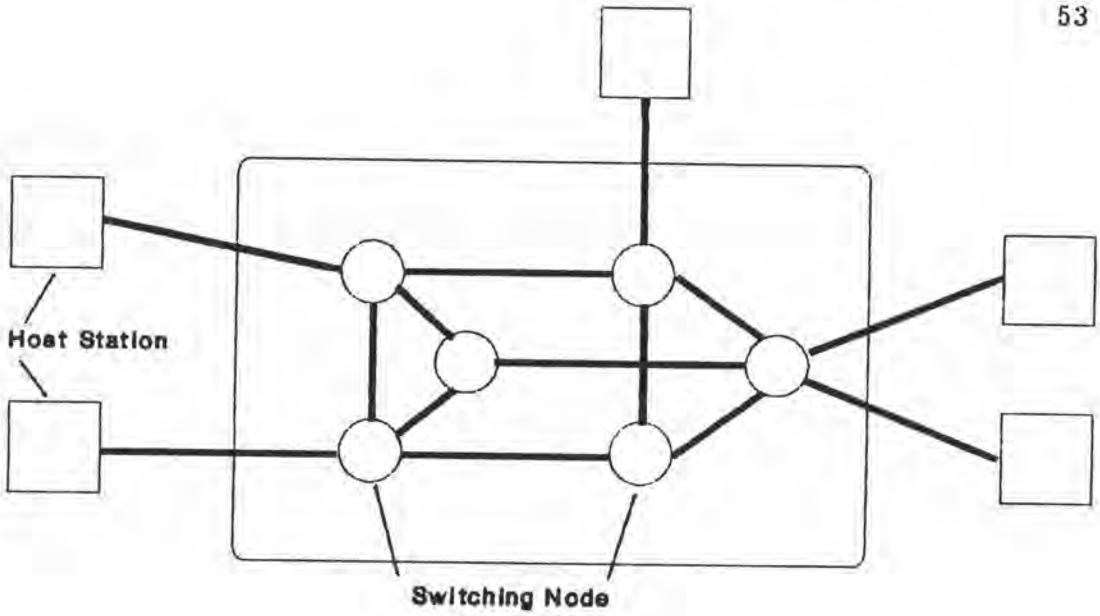
รูปที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระบบเครือข่ายกับโฮส

ทิศทางการเชื่อมต่อระหว่าง 2 สถานี (station) หรือมากกว่านั้นเรียกว่า การเชื่อมโยง (Link) ตัวประมวลผลกลางที่ทำงาน Application ต่าง ๆ บางครั้งจะเรียกว่าโฮส โฮสคอมพิวเตอร์ซึ่งหมายถึงเมนเฟรม มินิคอมพิวเตอร์ หรือไมโครคอมพิวเตอร์นั้นสามารถเชื่อมโยงแบบจุดต่อจุดให้ทำงานเป็นเครือข่ายอย่างง่ายด้วยการต่อตรงไปตรงมา ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงการเชื่อมโยงจุดต่อจุดในเครือข่ายอย่างง่าย

ในอีกวิธีหนึ่งโฮสคอมพิวเตอร์สามารถเชื่อมโยงกัน โดยผ่านเครือข่ายสาธารณะ (ดังรูปที่ 3.6) ซึ่งมีความยุ่งยากซับซ้อนในการเชื่อมโยงระหว่างโนดชุมสาย โนดชุมสายจะทำหน้าที่สวิทช์ข้อมูลระหว่างโฮสคอมพิวเตอร์ที่ไม่ได้มีการต่อตรงถึงกัน เครือข่ายสาธารณะเหล่านี้มักเป็นบริการสาธารณะ (เช่น กรณีในประเทศไทย ได้แก่ องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย และการสื่อสารแห่งประเทศไทย)



รูปที่ 3.6 การเชื่อมโยงระหว่างโนดขุมสายในเครือข่ายสาธารณะ

การนิยามเครือข่าย ในที่นี้จะหมายถึงการเชื่อมโยงระหว่างโนดต่างๆ เท่านั้น โดยมีโฮสต่อเชื่อมมายังโนดที่อยู่ใกล้ เครือข่ายจะทำหน้าที่รับส่งข้อมูลรวมทั้งควบคุมการเดินทางและความผิดพลาดของข้อมูลในการเชื่อมโยงระหว่างโนดกับโนดและระหว่างโนดกับโฮส

หมายเหตุ ถ้าจะนิยามเครือข่ายให้ขยายครอบคลุมถึงบริเวณภายในกรอบของเส้นประ ดังรูปที่ 3.4 ก็ยังพอยอมรับได้ แต่เราจะใช้นิยามเดิมเพราะชัดเจนกว่า)

สำหรับเทคนิคในการทำงานของเครือข่ายการสื่อสารข้อมูลนั้น ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 คือมีอยู่ 3 แบบ คือ Circuit Switching, Message Switching และ Packet Switching

เครือข่ายที่เราพิจารณาในที่นี้เป็นเครือข่ายการสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเก็ตแบบ permanent virtual circuit เป็นการพิจารณาในช่วงเวลาถ่ายเทข้อมูลเท่านั้น ไม่พิจารณาในช่วงเวลาการ call setup และการ clear setup

3.1.3 ข้อกำหนดของแบบจำลองของโนด

การสร้างแบบจำลองของโนดสำหรับเครือข่ายการสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเก็ตต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบต่าง ๆ เช่น องค์ประกอบทางฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ รวมถึงหน้าที่การทำงานของโนดสำหรับเครือข่ายการสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเก็ต (Ahuja, 1985), (Sloman et al., 1987) โดยมีรายละเอียดดังนี้

องค์ประกอบทางฮาร์แวร์ของโนดนั้นจะประกอบด้วย

- ตัวประมวลผลกลาง 1 ตัว หรือมากกว่า
- หน่วยความจำ (แบบใช้ร่วมหรือแยกกัน)
- อุปกรณ์ Input/Output
- การเชื่อมต่อภายในและการเชื่อมต่อในการสื่อสาร

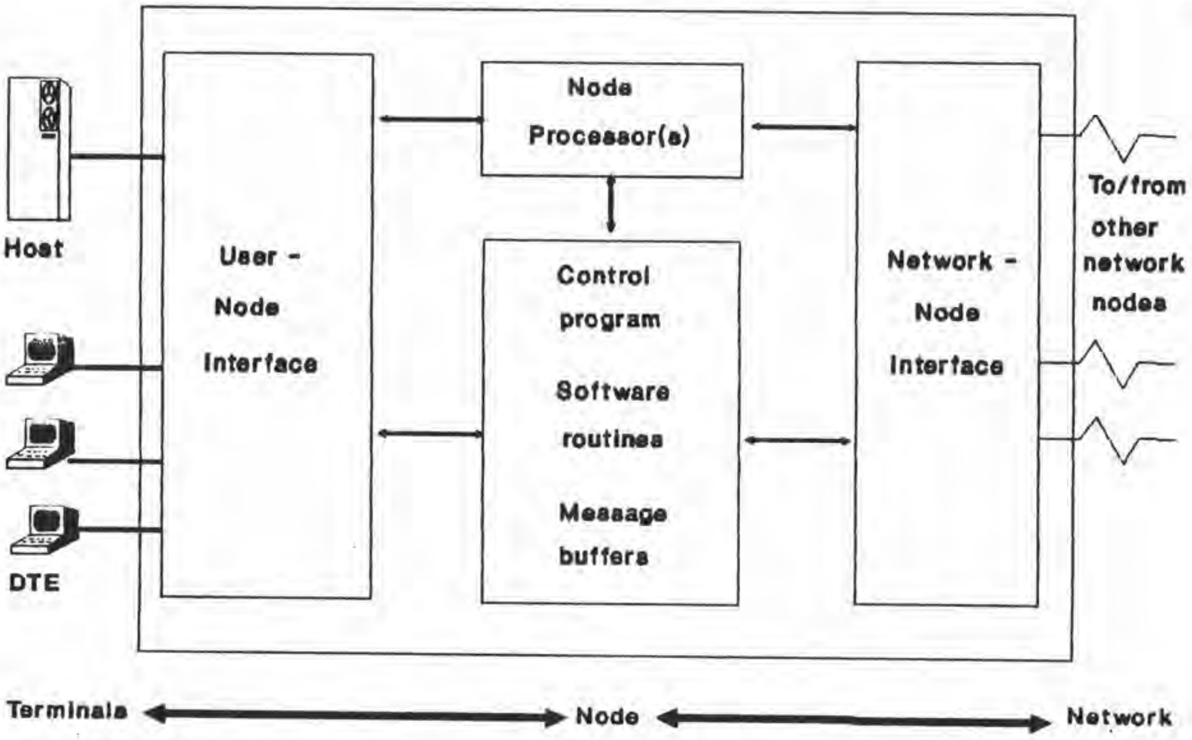
องค์ประกอบทางซอฟต์แวร์จะประกอบด้วย

- โปรแกรมควบคุมหรือระบบปฏิบัติการ
- ซอฟต์แวร์รูทีนต่าง ๆ

หน้าที่การทำงานของโนดหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ หน้าที่การทำงานของเครือข่ายได้กล่าวในรายละเอียดแล้วในบทที่ 2 สรุปได้ว่า หน้าที่สำคัญของโนดมีดังนี้

- รับส่งแพ็คเก็ตแบบเก็บเพื่อส่งต่อ
- กำหนดเส้นทาง
- ควบคุมการเดินทาง
- ควบคุมความผิดพลาดของแพ็คเก็ต

จากองค์ประกอบทางฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ เราสามารถแสดงให้เห็นองค์ประกอบของโนดในระดับตรรกะ ดังรูปที่ 3,7



รูปที่ 3.7 องค์ประกอบของโนด

การสร้างแบบจำลองของโนดจะพิจารณาในระดับตรรกะ (Logical) ดังนั้นการพิจารณาหน้าที่การทำงานของโนดนั้น จะเกี่ยวข้องกับข้อกำหนดโครงสร้างของ OSI Model ในระดับ 3 (Network Layer) เป็นสำคัญ โดยจะกล่าวถึงข้อกำหนดของหน้าที่กำหนดเส้นทางการจัดการบัฟเฟอร์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับหน้าที่การควบคุมการเดินทางและการควบคุมความผิดพลาด ของแพ็คเก็ต มีรายละเอียดดังนี้

(ก) ข้อกำหนดและข้อสมมุติของหน้าที่กำหนดเส้นทาง

หน้าที่กำหนดเส้นทางเป็นหน้าที่ที่ยุ่งยากซับซ้อน มีเทคนิคต่าง ๆ มากมาย และเป็นหัวข้อการวิจัยที่มีการศึกษาพอสมควร (ดูการอ้างอิงในบทที่ 2) วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ไม่ได้มุ่งเน้นในการศึกษาการหาเทคนิคการกำหนดเส้นทางที่ดีที่สุด ดังนั้นเทคนิคที่ใช้จึงเน้นที่ความถูกต้อง ไม่ยุ่งยากซับซ้อนและให้มีเสถียรภาพในระดับหนึ่ง โดยการกำหนดเส้นทางหลักและเส้นทางรองแบบคาดการณ์ล่วงหน้า

รูปที่ 3.8 (ก) แสดงตารางเส้นทางหลักโดยให้แนวตั้งเป็นโนดต้นทาง (SA; Source Address) และแนวนอนเป็นโนดปลายทาง (DA; Destination Address) แต่ถ้าเส้นทางหลักใช้งานไม่ได้เนื่องจากเส้นทางชำรุดก็สามารถกำหนดเส้นทางใหม่ได้จากตารางกำหนดเส้นทางรองดังรูปที่ 3.8 (ข)

	A	B	C	D	E
A	—	B	B	D	E
B	A	—	C	A	E
C	B	B	—	D	D
D	A	A	C	—	E
E	A	B	D	D	—

(ก) ตารางกำหนดเส้นทางหลัก

	A	B	C	D	E
A	—	E	D	E	B
B	E	—	E	E	A
C	D	D	—	B	B
D	E	E	A	—	A
E	B	A	B	A	—

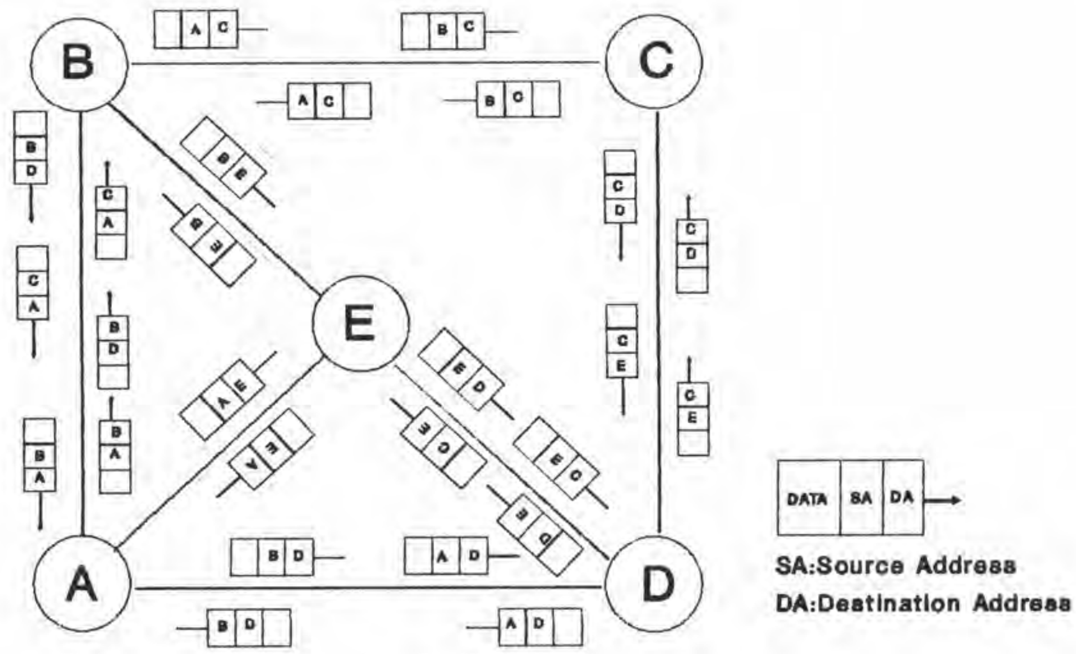
(ข) ตารางกำหนดเส้นทางรอง

รูปที่ 3.8 ตัวอย่างกำหนดเส้นทางของเครือข่าย 5 โนด (ต่อ)

Node A Directory		Node B Directory		Node C Directory	
Destination	Next Node	Destination	Next Node	Destination	Next Node
B	B	A	A	A	B
C	B	C	C	B	B
D	D	D	A	D	D
E	E	E	E	E	D

Node D Directory		Node E Directory	
Destination	Next Node	Destination	Next Node
A	A	A	A
B	A	B	B
C	C	C	D
E	E	D	D

(ค) Directory ของแต่ละโนด



(ง) แสดงแพ็คเก็ตที่ส่งไปยังโนดต่าง ๆ

รูปที่ 3.8 ตัวอย่างกำหนดเส้นทางของเครือข่าย 5 โนด

แต่ละโนดจะกำหนดเส้นทางจาก Directory ของโนดตัวเอง ซึ่งได้มาจากตารางกำหนดเส้นทาง โดยตรวจสอบแพ็คเก็ตนั้นว่ามีปลายทางไปโนดใด และจะถูกส่งต่อไปโนดใดดังรูปที่ 3.8 (ค) ส่วนรูปที่ 3.8 (ง) แสดงแพ็คเก็ตที่ส่งไปยังโนดต่าง ๆ ของเครือข่าย 5 โนด

รูปที่ 3.9 แสดงเส้นทางในการส่งแพ็คเก็ตในกรณีต่างๆ เช่น โนด A ส่งไปโนด B, C, D และ E ในกรณีปกติจะใช้เส้นทาง ดังนี้ AB, ABC, AD และ AE ตามลำดับ ในกรณีที่เส้นทาง AB Fail ก็ต้องใช้เส้นทาง AEB, AEDC, AD และ AE ตามลำดับ เป็นต้น

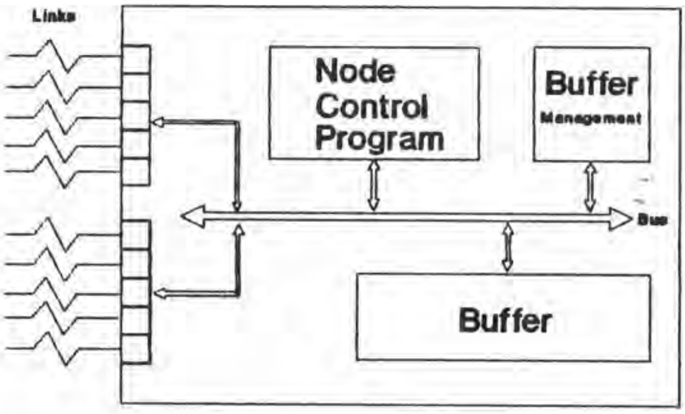
สภาวะเส้นทาง	ปกติ	AB/BA Fail	AD/DA Fail	AE/EA Fail	BC/CB Fail	BE/EB Fail	CD/DC Fail	DE/ED Fail
A ไป B	AB	(AEB)	AB	AB	AB	AB	AB	AB
A ไป C	ABC	(AEDC)	ABC	ABC	(ABEDC)	ABC	ABC	ABC
A ไป D	AD	AD	(AED)	AD	AD	AD	AD	AD
A ไป E	AE	AE	AE	(ABE)	AE	AE	AE	AE
B ไป A	BA	(BEA)	BA	BA	BA	BA	BA	BA
B ไป C	BC	BC	BC	BC	(BEDC)	BC	BC	BC
B ไป D	BAD	BAD	(BAED)	BAD	BAD	BAD	BAD	BAD
B ไป E	BE	BE	BE	BE	BE	(BAE)	BE	BE
C ไป A	CBA	(CBEA)	CBA	CBA	(CDA)	CBA	CBA	CBA
C ไป B	CB	CB	CB	CB	(CDAB)	CB	CB	CB
C ไป D	CD	CD	CD	CD	CD	CD	(CBAD)	CD
C ไป E	CDE	CDE	CDE	CDE	CDE	CDE	(CBE)	(CDAE)
D ไป A	DA	DA	(DEA)	DA	DA	DA	DA	DA
D ไป B	DAB	(DAEB)	(DEB)	DAB	DAB	DAB	DAB	DAB
D ไป C	DC	DC	DC	DC	DC	DC	(DABC)	DC
D ไป E	DE	DE	DE	DE	DE	DE	DE	(DAE)
E ไป A	EA	EA	EA	(EBA)	EA	EA	EA	EA
E ไป B	EB	EB	EB	EB	EB	(EAB)	EB	EB
E ไป C	EDC	EDC	EDC	EDC	EDC	EDC	(EDABC)	EDC
E ไป D	ED	ED	ED	ED	ED	ED	ED	(EAD)

รูปที่ 3.9 แสดงเส้นทางในการส่งแพ็คเก็ตในกรณีต่าง ๆ

การใช้ตารางกำหนดเส้นทางรองนี้จะใช้ไม่ได้สำหรับกรณีที่มีการชำรุดของเส้นทางมากกว่า 1 เส้นทาง ถ้าเกิดกรณีนี้ขึ้นจำเป็นต้องมีอัลกอริทึ่มเพิ่มเติมซึ่งจะยุ่งยากมาก จึงสมมุติให้เกิดการชำรุดของเส้นทางพร้อมกันได้ไม่เกิน 1 เส้นทางต่อครั้ง เพื่อป้องกันมิให้เกิดการส่งแพ็กเก็ตวนอยู่ในเครือข่ายโดยไม่ถึงโนดปลายทาง

(ข) ข้อกำหนดและข้อสมมุติของการจัดการบัฟเฟอร์

องค์ประกอบของโนดดังรูปที่ 3.7 จะเห็นว่าหน่วยความจำจะประกอบด้วยโปรแกรมควบคุม ซอฟต์แวร์รูทีน และบัฟเฟอร์ข้อมูล สามารถแสดงให้เห็นโครงสร้างในส่วนการจัดการบัฟเฟอร์ ดังรูปที่ 3.10 จะมีแพ็คเก็ตที่เข้าและออกทางวงจรเชื่อมโยงระหว่างโนดกับโนดหรือโนดกับโฮส เพื่อนำมาเก็บในบัฟเฟอร์เพื่อรอคิวบริการส่งต่อไปยังโนดอื่น ภายใต้การควบคุมของโปรแกรมควบคุมและซอฟต์แวร์รูทีน "การจัดการบัฟเฟอร์" (Buffer Management)



รูปที่ 3.10 โครงสร้างการจัดการบัฟเฟอร์ของโนด

การออกแบบการจัดการบัฟเฟอร์นั้นมีเทคนิคต่างๆ มากมาย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้อุปกรณ์ เช่น การเลือกตัวประมวลผลกลางว่าเป็นตัวประมวลผลทั่วไป (General Purpose Processor) หรือตัวประมวลผลกลางชนิดพิเศษเฉพาะ (Special Purpose Processor) การเลือกชนิดของหน่วยความจำว่าเป็นหน่วยความจำแคช (Cache Memory) หรือ หน่วยความจำเข้าถึงแบบสุ่ม (Random Access Memory) เป็นต้น และการเลือกอัลกอริทึ่มหรือขั้นตอน วิธีจัดการทำงานต่าง ๆ

หัวข้อ 3.1.1ได้กล่าวว่า ในส่วนชุมสายหรือโนดแพ็กเก็ต (โนด หมายถึงอุปกรณ์ DCE และ DSE รวมทั้งโปรโตคอลและกลไกการทำงานระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองนี้) ไม่ได้มีการกำหนดเป็นมาตรฐาน เป็นกลไกการทำงานที่เป็นอิสระขึ้นอยู่กับวิธีการต่าง ๆ ที่ผู้ผลิตได้ออกแบบและกำหนดขึ้นมาเอง และข้อมูลเหล่านี้ไม่ได้รับการเปิดเผย ดังนั้นในการทำวิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอวิธีการที่เป็นไปได้ตามข้อกำหนดและข้อสมมุติที่ผู้ทำได้กำหนดขึ้น เพื่อเป็นขอบเขตในการออกแบบวิธีการจัดการบัพเฟอร์

แบบจำลองของโนดที่สร้างขึ้นนี้จะมีกระบวนการในการจัดการบัพเฟอร์ที่ใช้เพื่อการเก็บและส่งต่อของแพ็กเก็ตที่รับมาจากโฮสหรือโนดอื่น

ข้อสมมุติที่กำหนดขึ้นสำหรับการจัดการบัพเฟอร์ มีดังนี้

- โนดจะมีขนาดของบัพเฟอร์ระดับหนึ่ง
- ในบัพเฟอร์หนึ่งจะประกอบด้วยหลายคิว คิวคือส่วนประกอบของแพ็กเก็ตที่นำมาต่อกันในบัพเฟอร์เพื่อรอการส่งออกไปให้โนดอื่น
- แพ็กเก็ตที่นำมาต่อในคิวจะเป็นแบบเข้าก่อนออกก่อน (FIFO)
- บัพเฟอร์และคิวมีโครงสร้างข้อมูลแบบเชื่อมโยง (Link List)
- จำนวนคิวในบัพเฟอร์ไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับโทโพโลยีของเครือข่าย
- ขนาดของคิวและขนาดของพื้นที่ว่างเป็นอิสระต่อกันขึ้นอยู่กับการใช้งาน

ข้อสมมุติที่กำหนดขึ้นในการควบคุมการเดินทางของแพ็กเก็ตที่ส่งออก

- จะส่งแพ็กเก็ตได้อย่างต่อเนื่องในแต่ละคิว
- แพ็กเก็ตที่ส่งออกไปแล้วยังไม่นำออกไปจากคิว ต้องรอการตอบรับจากโนดปลายทางผู้รับ
- การตอบรับแพ็กเก็ตที่ได้รับจะตอบรับทีละหลายแพ็กเก็ต กำหนดให้เท่ากับ 8 แพ็กเก็ต เรียกว่า การตอบรับแบบ "รับครบกลุ่ม"
- เมื่อได้รับการตอบรับแบบ "รับครบกลุ่ม" ก็จะนำแพ็กเก็ตทั้ง 8 ออกจากคิว พื้นที่นั้นจะกลายเป็นบัพเฟอร์ที่ว่างของโนด

ข้อสมมุติที่กำหนดขึ้นสำหรับควบคุมความผิดพลาดของแพ็กเก็ต

- ใช้เทคนิคแบบ Go-Back-N ARQ ดังได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2
- เมื่อโนดปลายทางผู้รับได้รับแพ็กเก็ตที่ผิดพลาดจะส่งแพ็กเก็ตควบคุม "ขอให้ส่งใหม่"

- เมื่อโนดต้นทางผู้ส่งได้รับแพ็คเก็ตควบคุม "ขอให้ส่งใหม่" ก็จะกลับไปเริ่มต้นการส่งใหม่ตั้งแต่แพ็คเก็ตที่ผิดพลาด

ข้อสมมุติที่กำหนดเพิ่มเติมสำหรับการจัดการบัฟเฟอร์เพื่อสนับสนุนงานการควบคุมการเดินทางและการควบคุมความผิดพลาดของแพ็คเก็ต มีดังนี้

- การตรวจสอบพื้นที่ที่ว่างของบัฟเฟอร์ก่อนนำแพ็คเก็ตมาต่อท้ายคิว ในกรณีบัฟเฟอร์เต็มจะหมายความว่ายังสามารถรับแพ็คเก็ตเพิ่มเติมได้อีก 2 แพ็คเก็ต เพื่อเป็นการรับประกันว่าในช่วงเวลาตั้งแต่การเริ่มสร้างแพ็คเก็ตควบคุม "ขอให้หยุดส่ง" แจ้งกลับไปให้โนดต้นทางทราบว่าบัฟเฟอร์ของผู้รับเต็ม ขอให้หยุดส่งชั่วคราว จนถึงเวลาที่โนดต้นทางได้รับแพ็คเก็ตควบคุมนั้น จะไม่มีการสูญหายของแพ็คเก็ตที่อยู่ในช่วงเวลาดังกล่าว

- แพ็คเก็ตควบคุมที่สร้างขึ้นจะได้รับสิทธิในการนำไปต่อที่หัวคิวได้ทันที การส่งแพ็คเก็ตควบคุมจะต้องรอให้แพ็คเก็ตที่ส่งก่อนหน้านั้นส่งเสร็จเรียบร้อยก่อน จึงจะส่งแพ็คเก็ตควบคุมได้

- การส่งแพ็คเก็ตควบคุมนั้นจะไม่เกิดความผิดพลาดหรือสูญหาย เนื่องจากเราไม่ได้มีการกำหนดการตั้งเวลารอการตอบรับ (Time Out) ข้อสมมุตินี้เป็นจริงได้ถ้าความผิดพลาด ในการรับส่งแพ็คเก็ตระหว่างโนดเกิดได้น้อยมาก (ถ้าพิจารณาให้การยอมรับอัตราการเกิดความผิดพลาดของข้อมูลที่ส่งออกน้อยกว่า 10^{-6} บิท/วินาที ประมาณได้ว่า 1 ใน 1000 แพ็คเก็ตที่ส่งออกเท่านั้นที่จะเกิดความผิดพลาด)

- บัฟเฟอร์ส่วนที่เป็นพื้นที่ว่าง จะมีตัวชี้ส่วนหัวของพื้นที่ที่ว่าง (Head of Available) และตัวชี้ส่วนท้ายของพื้นที่ที่ว่าง (Tail of Available) ซึ่งแพ็คเก็ตที่ถูกนำออกจากคิวจะถูกนำไปต่อที่ส่วนท้ายของ Available เพื่อใช้งานได้ใหม่ต่อไป

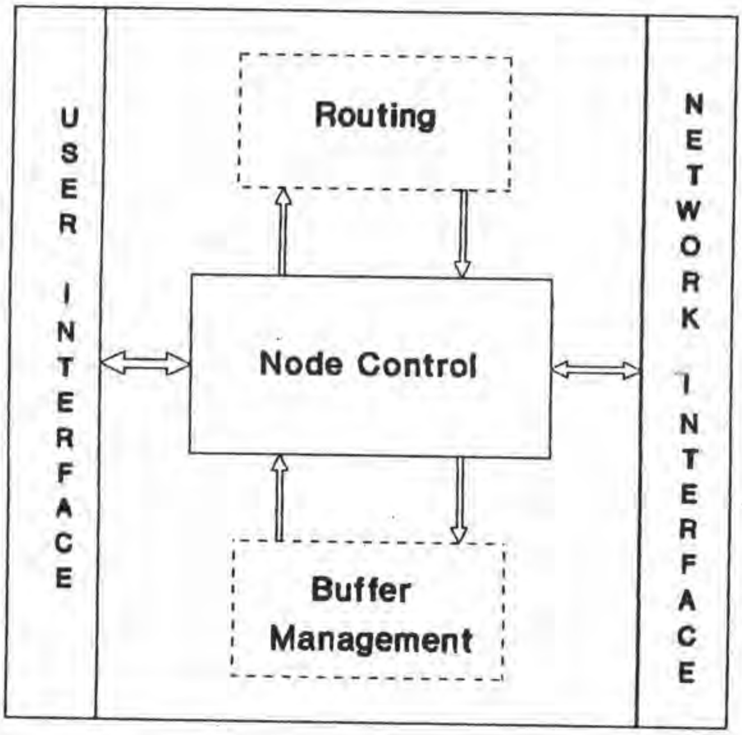
- สำหรับแต่ละคิวจะมีตัวชี้หัวคิว (Head of Queue) เป็นการกำหนดพื้นที่ที่ใช้งานของคิวนั้น และมีตัวชี้การส่งใหม่ (ReTx) เป็นการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงของคิวนั้นในการตอบรับแพ็คเก็ตควบคุม "ขอให้ส่งใหม่" เพื่อเลื่อนตัวชี้หัวคิวมาที่ตำแหน่งของแพ็คเก็ตที่ผิดพลาด เพื่อเริ่มต้นส่งใหม่ หรือการตอบรับแพ็คเก็ตควบคุม "รับครบกลุ่ม" เพื่อนำแพ็คเก็ตออกจากคิว 8 แพ็คเก็ต นับจากตำแหน่งที่ตัวชี้การส่งใหม่ชี้อยู่

- ตัวชี้หัวคิวจะเลื่อนไปชี้ตำแหน่งถัดไปเมื่อส่งออกแพ็คเก็ตในคิวแต่ละครั้งแล้วเสร็จ

3.2 การออกแบบแบบจำลองของโนด (Design of Node Modeling) (สุริยัน ติษยาธิคม และ รังสรรค์ จันทร์นฤกุล, 2534)

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการออกแบบจำลองของโนดโดยพิจารณาตามฟังชั่นการทำงาน ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 หน่วย ดังนี้

- หน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้ (User Interface Unit)
- หน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่าย (Network Interface Unit)
- หน่วยควบคุมการทำงานของโนด (Node Control Unit) เราจะเรียกหน่วยนี้สั้น ๆ ว่า หน่วยควบคุมโนด



รูปที่ 3.11 ส่วนประกอบแบบจำลองของโนด

การออกแบบจำลองของทั้ง 3 หน่วยนี้ จะพิจารณาในระดับตรรกะ (Logical) เท่านั้น จะไม่พิจารณาถึงระดับกายภาพ(Physical) ทั้งนี้เนื่องจากการออกแบบทางกายภาพนั้นมีรายละเอียดมากและมีหลายรูปแบบ ทำให้แบบจำลองนั้นไม่ยืดหยุ่น

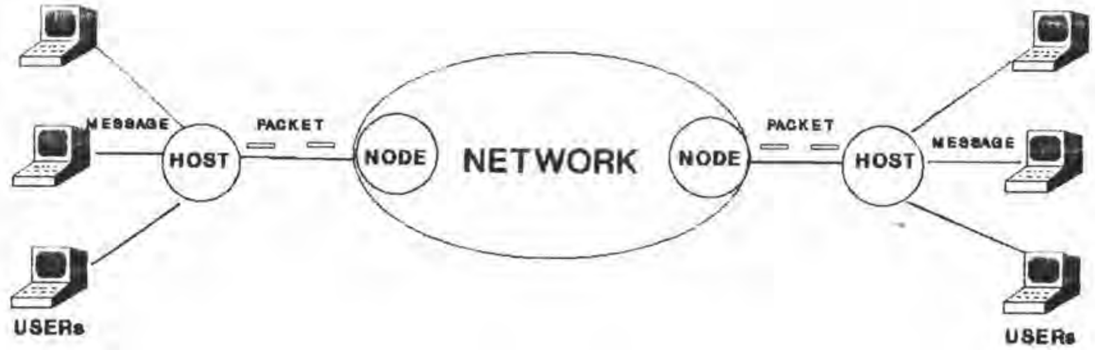
การออกแบบระดับตรรกะนั้น สามารถมีเงื่อนไขหรือเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ในระดับกายภาพ และเป็นการรับประกันได้ว่าแบบจำลองในระดับตรรกะจะสามารถนำไปสร้างแบบจำลองทางซอฟต์แวร์หรือโปรแกรมได้

3.2.1 หน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้ มีหน้าที่สำคัญ ดังนี้

- ทำหน้าที่รับแพ็คเก็ตจากผู้ใช้ไปเก็บไว้ในบัฟเฟอร์เพื่อส่งต่อให้กับหน่วยควบคุมโนด

- ทำหน้าที่ส่งแพ็คเก็ตให้กับผู้ใช้โดยที่แพ็คเก็ตนั้นรับมาจากหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายผ่านหน่วยควบคุมโนด

ในความเป็นจริง ผู้ใช้จริงหลายคนสามารถต่อกับโนดใดโนดหนึ่ง แต่ในการจำลอง เราสมมุติว่าผู้ใช้ทุกคนรวมกันเป็นผู้ใช้เดียว เรียกว่า โฮส (Host) หรือพูดอีกนัยหนึ่งคือ โนดติดต่อกับโฮสเท่านั้น ส่วนโฮสติดต่อกับผู้ใช้จริงหลายคน ดังรูปที่ 3.12



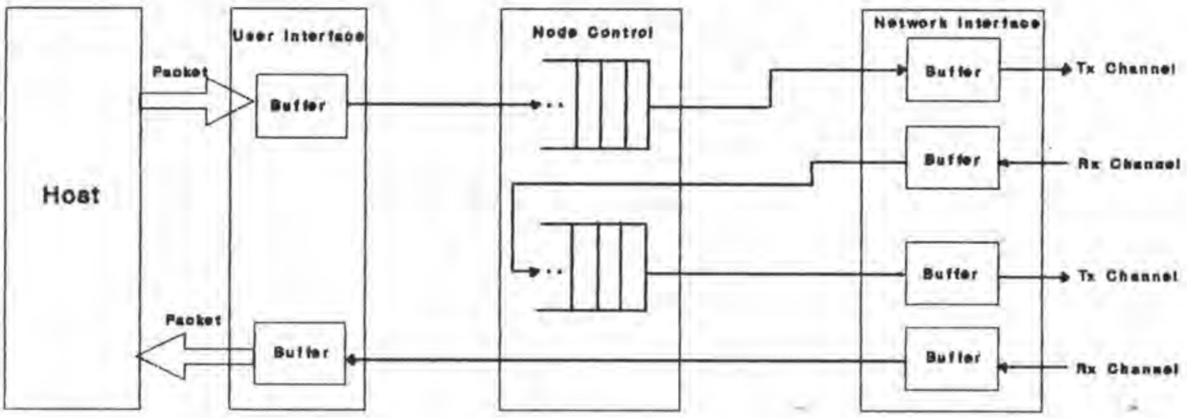
รูปที่ 3.12 การรับส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้

จากรูปที่ 3.12 ผู้ใช้ที่ต้องการส่งข้อมูลจะติดต่อผ่านโฮส โดยที่โฮสจะจัดรูปแบบของข้อมูลที่จะส่งผ่านเครือข่ายให้เป็นแพ็คเก็ต

ในทางกลับกันเมื่อโฮสได้รับแพ็คเก็ตจากเครือข่ายก็จะรวบรวมข้อมูลที่เป็นแพ็คเก็ตให้เป็นลักษณะข้อมูลที่ผู้ใช้ต้องการแล้วจึงส่งต่อให้กับผู้ใช้

หน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้จึงมีหน้าที่รับและส่งแพ็คเก็ตระหว่างโฮสกับโนด ดังรูปที่ 3.12 นอกจากนั้นหน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้ต้องประสานการทำงานกับหน่วยควบคุมโนด กล่าวคือ เมื่อมีการรับแพ็คเก็ตจากโฮสมาหนึ่งแพ็คเก็ตใส่ไว้ในบัฟเฟอร์ของหน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้เรียบร้อย จะแจ้งให้หน่วยควบคุมโนดทราบเพื่อส่งให้กับโนดอื่นต่อไป หรือเมื่อได้รับการแจ้งจากหน่วนควบคุม

โนดว่ามีแพ็คเก็ตที่ได้รับมาจากหน่วยเชื่อมต่อจากเครือข่ายภาครับซึ่งต้องการส่งให้โฮส หน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้จะรับแพ็คเก็ตจากบัฟเฟอร์ของหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาครับมายังบัฟเฟอร์ของหน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้ภาคส่ง เพื่อส่งแพ็คเก็ตให้กับโฮสต่อไป

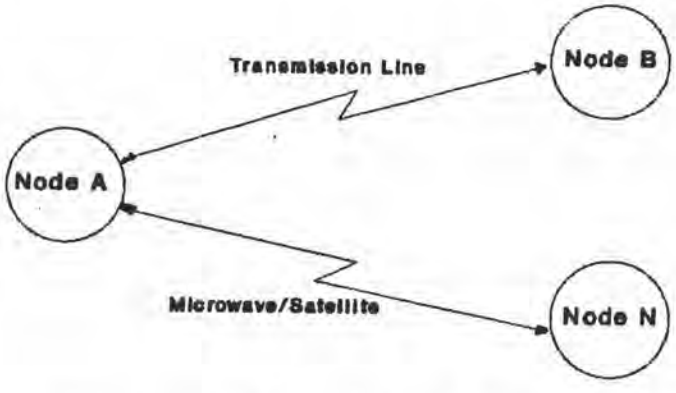


รูปที่ 3.13 แสดงเส้นทางของข้อมูลระหว่างโฮสกับโนด

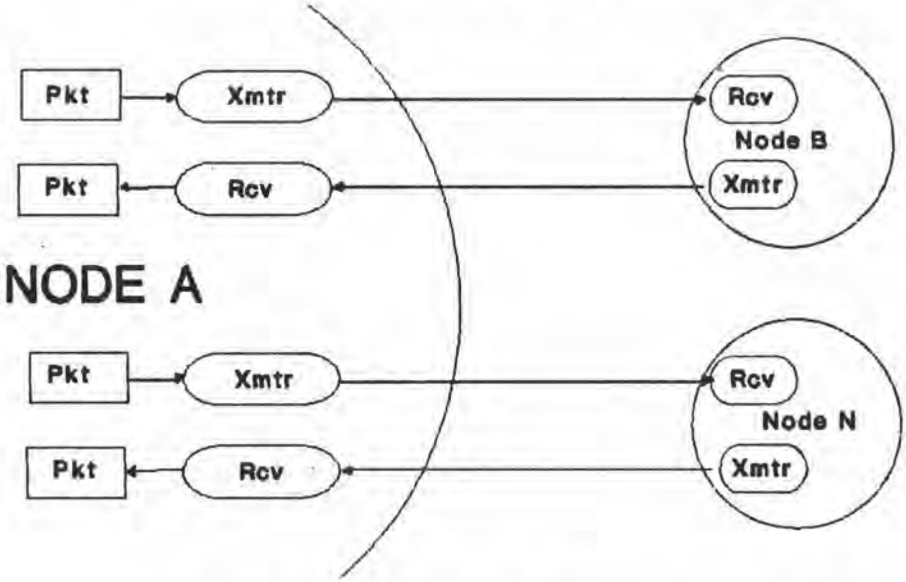
การส่งแพ็คเก็ตจากบัฟเฟอร์ของหน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้ภาคส่งให้กับโฮสนั้น เราสมมุติว่าสามารถส่งได้เร็วมากโดยไม่มีปัญหา และเรายังสมมุติอีกว่าเมื่อส่งออกให้โฮสแล้ว บัฟเฟอร์ดังกล่าวพร้อมที่จะรับแพ็คเก็ตใหม่ได้ทันที ข้อสมมุตินี้สามารถใช้ได้เนื่องจากในทางกายภาพการส่งข้อมูลระหว่างโฮสกับโนดใช้อัตราเร็วที่สูงกว่า (เช่น 10 Mbs) ในขณะที่ระหว่างโนดด้วยกันจะรับส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็วที่ต่ำกว่า (เช่น 64 Kbs) แต่ถ้าอัตราเร็วของการรับส่งข้อมูลระหว่างโนดต่อโนดใกล้เคียงกับอัตราเร็วระหว่างโนดกับโฮส ข้อสมมุติข้างต้นจะใช้ไม่ได้ กรณีเช่นนี้เราต้องสร้างคิวบัฟเฟอร์ขึ้นมาซึ่งทำให้ยุ่งยากยิ่งขึ้น ดังนั้นเพื่อลดความซับซ้อนเราจึงใช้ข้อสมมุติข้างต้นในวิทยานิพนธ์นี้

3.2.2 หน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่าย มีหน้าที่สำคัญ ดังนี้

- ทำหน้าที่รับแพ็กเก็ตจากโนดอื่นผ่านช่องสื่อสาร เพื่อส่งออกให้กับผู้ใช้ (กรณีชื่อโนดปลายทางของแพ็กเก็ตเป็นโนดนี้ โดยผ่านโฮสที่ต่อกับโนดนี้) หรือส่งออกให้หน่วยควบคุมโนดนำไปต่อคิวสำหรับส่งต่อให้กับโนดอื่น
- ทำหน้าที่ส่งแพ็กเก็ตให้โนดอื่น โดยรับแพ็กเก็ตมาจากหน่วยควบคุมโนด ซึ่งแพ็กเก็ตเหล่านี้ถูกจัดเก็บเป็นคิวสำหรับส่งออกให้แต่ละช่องสื่อสาร



(ก) แสดงการเชื่อมต่อระหว่างโนด A กับโนดอื่น



(ข) แสดงการเชื่อมต่อระหว่างช่องสื่อสารของโนด A กับโนดอื่น

รูปที่ 3.14 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างโนด A กับโนดอื่น

จากรูปที่ 3.14 หน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายของโนด A มีช่องสื่อสารที่ต่อกับโนด B ถึงโนด N ซึ่งระหว่างโนดที่ต่อกันมีช่องสื่อสารภาครับ 1 ช่อง และภาคส่ง 1 ช่อง ทั้งนี้จำนวนช่องสื่อสารของแต่ละโนดอาจมีไม่เท่ากัน

ช่องสื่อสารในที่นี้หมายถึงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงข้อมูลเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าส่งผ่านตัวกลางต่างๆ เช่น สายโทรศัพท์ คลื่นไมโครเวฟ เป็นต้น โดยสมมุติว่าสัญญาณควบคุมและการทำงานระดับกายภาพเป็นไปโดยอัตโนมัติ นอกจากนี้เราสมมุติว่าในแต่ละโนด ช่องสื่อสารภาครับทุกช่องสามารถทำงานเหมือนกันและการทำงานของทุกช่องเป็นอิสระต่อกัน (ทำงานขนานกันได้) แต่ช่องสื่อสารภาคส่งของโนดหนึ่งจะทำงานประสานกันกับช่องสื่อสารภาครับของอีกโนดหนึ่ง (ที่ต่อถึงกัน) การประสานการทำงานระหว่างช่องสื่อสารภาครับกับภาคส่งก็อาศัยหลักการทั่วไปทางด้านการสื่อสารข้อมูล กล่าวคือ มีกรณีหลัก 3 กรณี

- ภาครับพร้อม ภาคส่งไม่พร้อม
- ภาครับไม่พร้อม ภาคส่งพร้อม
- ภาครับพร้อม ภาคส่งพร้อม

การทำงานของหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาครับ จากรูปที่ 3.13 เมื่อช่องสื่อสารภาครับรับข้อมูลเข้ามาก็จะเก็บข้อมูลทั้งแพ็คเก็ตเอาไว้ในบัพเฟอร์ (ของหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาครับ) แล้วแจ้งให้หน่วยควบคุมโนดทราบ เพื่อนำแพ็คเก็ตไปต่อคิวส่งให้กับโนดอื่น หรือกรณีที่แพ็คเก็ตนี้เป็นของโนดนี้ก็จะถ่ายให้กับบัพเฟอร์ของหน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้ภาคส่ง

การทำงานของหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาคส่ง จากรูปที่ 3.13 เมื่อช่องสื่อสารภาคส่งรับข้อมูลจากหัวคิวของหน่วยควบคุมโนด และช่องสื่อสารภาครับของโนดที่ต่อถึงกันมีบัพเฟอร์ว่าง ช่องสื่อสารภาคส่งก็จะเริ่มส่งแพ็คเก็ตไปจนครบแพ็คเก็ต แต่ถ้ายังมีแพ็คเก็ตที่รอส่งในคิวอยู่ก็จะรับจากหัวคิวของหน่วยควบคุมโนด แล้วเริ่มต้นการส่งได้ใหม่

การทำงานของหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาคส่งจะหยุดส่งเมื่อไม่มีแพ็คเก็ตที่รอส่งออกในคิวของหน่วยควบคุมโนด หรือกรณีที่ได้รับการแจ้งจากโนดที่ต่อถึงกันว่าบัพเฟอร์ของโนดเต็มไม่พร้อมที่จะรับข้อมูล หน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาคส่งจะหยุดการส่งชั่วคราว จนกว่าจะได้รับการแจ้งจากโนดที่ต่อถึงกันว่าบัพเฟอร์ของโนดว่างแล้ว พร้อมที่จะรับข้อมูลได้ใหม่

3.2.3 หน่วยควบคุมโนด มีหน้าที่สำคัญ ดังนี้

- ทำหน้าที่รับแพ็กเก็ตจากภาครับของหน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้ และหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่าย เพื่อนำแพ็กเก็ตมาเก็บในบัฟเฟอร์ของโนด

- ทำหน้าที่ส่งแพ็กเก็ตที่อยู่ในคิวสำหรับส่งออกให้กับแต่ละช่องสื่อสารของหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาคส่ง เพื่อส่งออกให้กับโนดอื่น

- ทำหน้าที่ส่งผ่านแพ็กเก็ตจากช่องสื่อสารของหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาครับให้กับหน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้ภาคส่ง เพื่อส่งออกให้กับโฮสต์

- การตรวจสอบความผิดพลาดของแพ็กเก็ตที่ส่งมาให้โนด
- การตรวจสอบชนิดของแพ็กเก็ตว่าเป็นแพ็กเก็ตข้อมูลหรือแพ็กเก็ตควบคุม
- การตรวจสอบบัฟเฟอร์ของโนดว่าว่างหรือไม่
- การกำหนดเส้นทางการส่งแพ็กเก็ต
- การจัดการบัฟเฟอร์และการนำแพ็กเก็ตไปต่อคิวในบัฟเฟอร์ของโนด
- การสร้างแพ็กเก็ตควบคุม
- การแปลรหัสคำสั่งแพ็กเก็ตควบคุม

การทำงานของหน่วยควบคุมโนดนั้นอาจเปรียบได้กับตัวประมวลผลกลางและโปรแกรมควบคุมระบบ ที่ทำหน้าที่ควบคุมระบบดำเนินงานของโนด และประสานการทำงานของหน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้และหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่าย การอธิบายการทำงานของหน่วยควบคุมโนด เราสามารถอธิบายเป็นกรณีๆ ได้ดังนี้

(ก) กรณีรับแพ็กเก็ตจากภาครับของหน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้

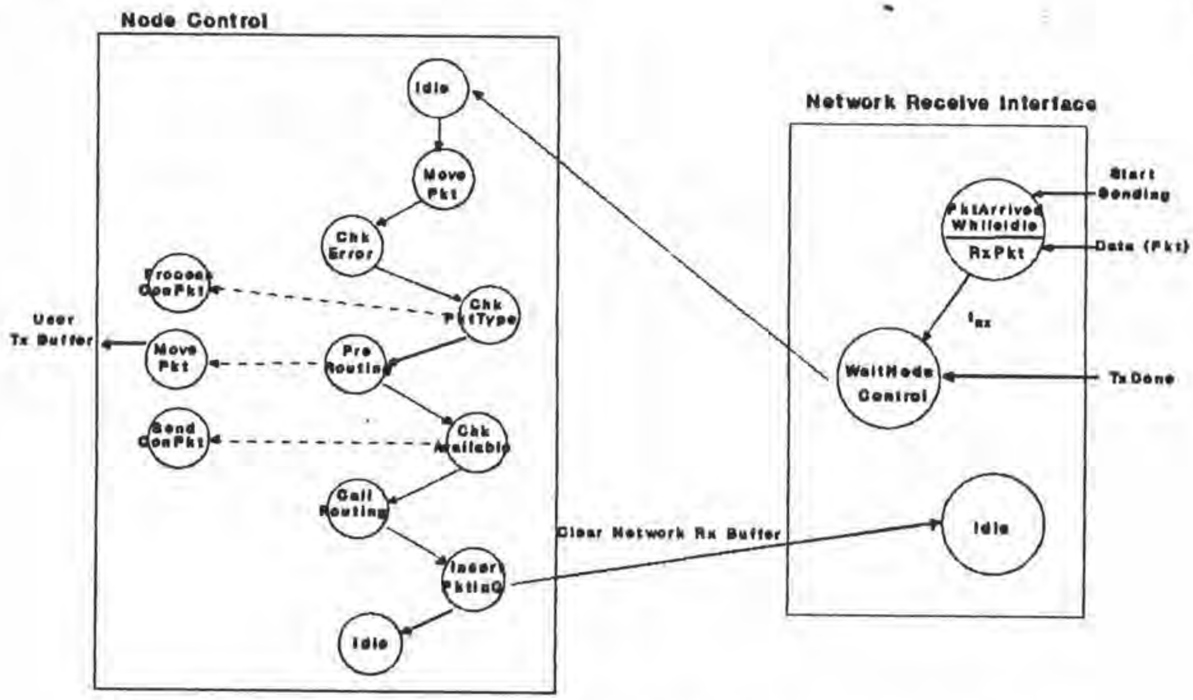
ในการจำลองนั้น เราสมมุติให้การส่งและรับแพ็กเก็ตระหว่างโฮสต์กับโนดไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นจะจำลองความผิดพลาดในการส่งและรับแพ็กเก็ตระหว่างโนดกับโนดเท่านั้น ดังนั้น ในกรณีนี้หน่วยควบคุมโนดจึงไม่ต้องทำหน้าที่ตรวจสอบความผิดพลาดของแพ็กเก็ตที่ส่งมาให้กับโนด หน่วยควบคุมโนดจึงสามารถข้ามขั้นตอนการตรวจสอบความผิดพลาด การตรวจสอบชนิดของแพ็กเก็ต

เมื่อหน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้ภาครับแจ้งให้หน่วยควบคุมโนดทราบว่ามีแพ็คเก็ตต้องการส่งต่อไปยังโนดอื่น หน่วยควบคุมโนดจะเรียกหน่วยจัดการบัฟเฟอร์เพื่อตรวจบัฟเฟอร์ของโนดว่าว่างหรือไม่ ถ้าบัฟเฟอร์ของโนดว่าง หน่วยควบคุมโนดจะถ่ายข้อมูลแพ็คเก็ตมาไว้ในบัฟเฟอร์ของโนดและเรียกหน่วยกำหนดเส้นทางการส่งแพ็คเก็ต และเรียกหน่วยจัดการบัฟเฟอร์เพื่อนำแพ็คเก็ตนั้นไปต่อคิวตามหมายเลขคิวที่หน่วยกำหนดเส้นทางกำหนดมาให้แล้ว เมื่อแพ็คเก็ตถูกต่อคิวแล้วเสร็จ หน่วยควบคุมโนดจะแจ้งให้หน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้ภาครับทำการเคลียร์บัฟเฟอร์เพื่อรับแพ็คเก็ตใหม่ต่อไปได้ และถือว่าทำหน้าที่กรณีรับแพ็คเก็ตจากภาครับของหน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้เสร็จสิ้น หน่วยควบคุมโนดจะมีความพร้อมที่จะทำหน้าที่กรณีอื่นต่อไป

แต่ถ้าบัฟเฟอร์ของโนดเต็มหน่วยควบคุมโนดจะให้หน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้รอจนกว่าบัฟเฟอร์ของโนดจะว่างเสียก่อนจึงจะสามารถให้บริการได้

(ข) กรณีรับแพ็คเก็ตจากภาครับของหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่าย

การทำงานของหน่วยควบคุมโนดกรณีรับแพ็คเก็ตจากภาครับของหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายสามารถแสดงการประสานการทำงานกับหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาครับได้ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงการประสานการทำงานระหว่างหน่วยควบคุมโนดกับหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาครับ

เมื่อหน่วยควบคุมโนดได้รับการแจ้งว่ามีแพ็คเก็ตรอการจัดการที่บัฟเฟอร์ของหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาครับ หน่วยควบคุมโนดก็จะตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลใน แพ็คเก็ตนั้น ถ้าแพ็คเก็ตนั้นมีความถูกต้อง ก็จะตรวจสอบชนิดของแพ็คเก็ตว่าเป็นแพ็คเก็ตข้อมูลหรือแพ็คเก็ตควบคุม

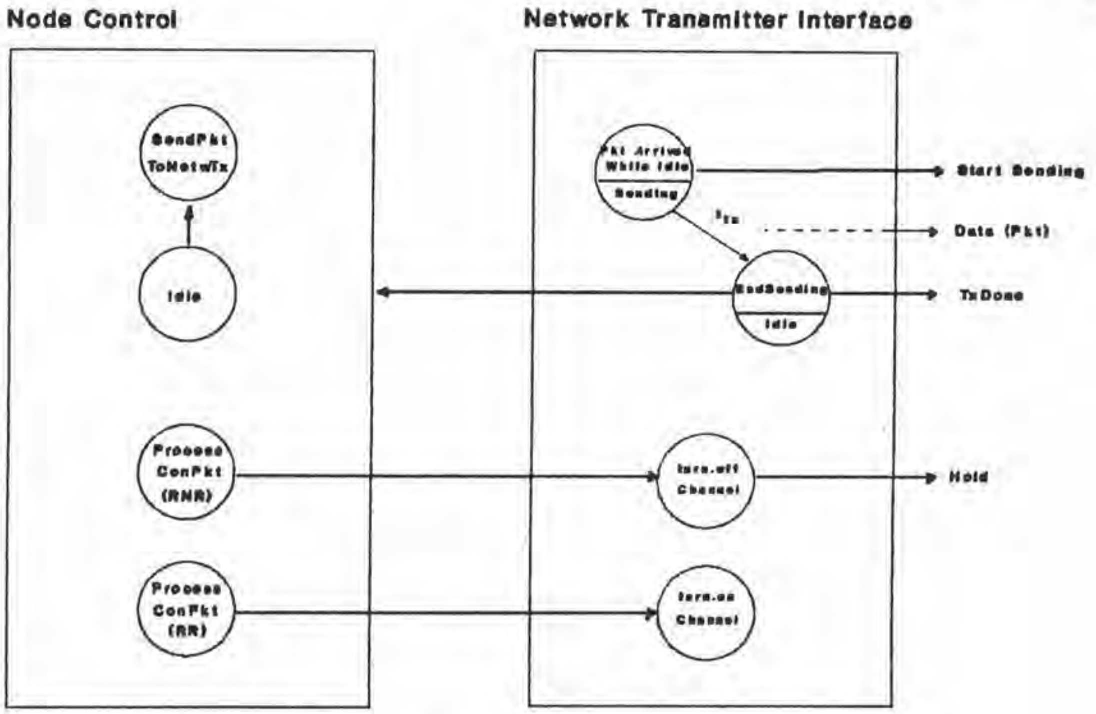
ถ้าตรวจสอบแพ็คเก็ตนั้นว่าเป็นแพ็คเก็ตข้อมูล หน่วยควบคุมโนดจะเรียกหน่วยกำหนดเส้นทาง เพื่อตรวจสอบเลขที่ปลายทางโนดของแพ็คเก็ตนั้นว่าเป็นโนดใด

ถ้าแพ็คเก็ตนั้นมีโนดปลายทางเป็นโนดนี้แล้ว หน่วยควบคุมโนดจะทำหน้าที่ส่งผ่านแพ็คเก็ตจากบัฟเฟอร์ของหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาครับไปยังบัฟเฟอร์ของหน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้ภาคส่ง เพื่อส่งออกแพ็คเก็ตนั้นไปยังโฮสต่อไป การส่งผ่านแพ็คเก็ตไปยังหน่วยเชื่อมต่อกับ ผู้ใช้ภาคส่งแล้วเสร็จ ถือว่าเป็นการเสร็จหน้าที่ในการรับแพ็คเก็ตจากภาครับของหน่วยเชื่อมต่อกับ เครือข่าย หน่วยควบคุมโนดจะมีความพร้อมที่จะทำหน้าที่กรณีอื่นต่อไป

แต่ถ้าแพ็คเก็ตนั้นมีโนดปลายทางเป็นของโนดอื่น หน่วยควบคุมโนดจะทำหน้าที่เรียกหน่วยจัดการบัฟเฟอร์ เพื่อตรวจสอบว่าบัฟเฟอร์ของโนดว่างหรือไม่ ถ้าบัฟเฟอร์ของโนดเต็มหน่วยควบคุมโนดจะทำหน้าที่สร้างแพ็คเก็ตควบคุม "ขอให้หยุดส่ง" แล้วส่งกลับไปยังโนดต้นทางผู้ส่ง แต่ถ้าบัฟเฟอร์ของโนดว่าง หน่วยควบคุมโนดจะถ่ายข้อมูลแพ็คเก็ตมาไว้ในบัฟเฟอร์ของโนดแล้วจะเรียกหน่วยกำหนดเส้นทางการส่งแพ็คเก็ต และเรียกหน่วยจัดการบัฟเฟอร์นำแพ็คเก็ตนั้นไปต่อคิวตามหมายเลขของคิวที่หน่วยกำหนดเส้นทางกำหนดมาให้แล้ว เมื่อแพ็คเก็ตถูกต่อคิวแล้วเสร็จ หน่วยควบคุมโนดจะแจ้งให้หน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาครับเคลียร์บัฟเฟอร์และถือว่าเสร็จหน้าที่กรณีรับแพ็คเก็ตจากภาครับของหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่าย หน่วยควบคุมโนดก็พร้อมที่จะทำหน้าที่กรณีอื่นต่อไป

(ค) กรณีส่งแพ็คเก็ตที่อยู่ในคิวสำหรับส่งออกไปยังบัฟเฟอร์ของหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาคส่ง

เราสามารถแสดงการประสานงานระหว่างหน่วยควบคุมโนดกับหน่วยเชื่อมต่อ กับเครือข่ายภาคส่ง ได้ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แสดงการประสานการทำงานระหว่างหน่วยควบคุมโนด
กับหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาคส่ง

เมื่อหน่วยควบคุมโนดตรวจสอบพบว่ามีแพ็คเก็ตที่รอส่งออกในคิว และบัฟเฟอร์ของหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาคส่งว่างอยู่ หน่วยควบคุมโนดจะจัดส่งแพ็คเก็ตนั้นไปยังบัฟเฟอร์ของหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาคส่ง เพื่อส่งออกให้กับโนดอื่นต่อไป

ถ้าปรากฏว่าโนดปลายทางผู้รับไม่พร้อม เนื่องจากบัฟเฟอร์ของโนดเต็ม โดยโนดปลายทางได้ส่งแพ็คเก็ตควบคุม "ขอให้หยุดส่ง" กลับมา หน่วยควบคุมโนดของโนดต้นทางจะสั่งให้หน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาคส่งหยุดการส่งแพ็คเก็ตชั่วคราว จนกว่าโนดปลายทางจะส่ง แพ็คเก็ตควบคุม"ขอให้ส่งต่อ" จึงจะเริ่มส่งแพ็คเก็ตต่อไปได้ใหม่

(ง) กรณีตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลในแพ็คเก็ต

หน่วยควบคุมโนดจะทำหน้าที่ตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลในแพ็คเก็ตที่อยู่ในบัฟเฟอร์ของหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาครับ การเกิดความผิดพลาดของข้อมูลในแพ็คเก็ตนั้นเกิดจากการจำลองโดยวิธีการสุ่ม

เมื่อหน่วยควบคุมโนดตรวจพบว่าเกิดความผิดพลาดก็จะสร้างแพ็คเก็ตควบคุม "ขอให้ส่งใหม่" ในแพ็คเก็ตควบคุมนั้นจะมีเลขที่ของแพ็คเก็ตที่ต้องการให้ส่งไปใหม่ เพื่อ

ให้โนดต้นทางผู้ส่งกลับไปเริ่มต้นการส่งใหม่อย่างถูกต้อง

(จ) กรณีเรียกหน่วยกำหนดเส้นทางการส่งแพ็คเก็ต

หน่วยควบคุมโนดจะเรียกหน่วยกำหนดเส้นทาง เพื่อทำหน้าที่ดังนี้

- ตรวจสอบเลขที่โนดปลายทางของแพ็คเก็ตว่าเป็นของโนดนี้หรือเป็นของโนดอื่น

- กำหนดเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตว่าจะไปต่อคิวสำหรับส่งออกหมายเลขใด

การกำหนดเส้นทางการส่งแพ็คเก็ต หน่วยกำหนดเส้นทางจะตรวจสอบเลขที่ปลายทางของโนด จากนั้นจะเทียบกับตารางกำหนดเส้นทางหลัก และตรวจสอบว่าช่องสื่อสารที่จะใช้ตามตารางที่กำหนดให้อยู่ในสถานะพร้อมที่จะใช้งานหรือไม่ ถ้าช่องสื่อสารนั้นไม่พร้อมที่จะใช้งาน หน่วยกำหนดเส้นทางจะกำหนดเส้นทางให้ใหม่จากตารางกำหนดเส้นทางรอง

(ฉ) กรณีเรียกหน่วยจัดการบัฟเฟอร์

หน่วยควบคุมโนดจะเรียกหน่วยจัดการบัฟเฟอร์เพื่อทำหน้าที่ ดังนี้

- จัดเก็บแพ็คเก็ตต่อในคิวสำหรับแต่ละช่องสื่อสารเพื่อรอส่งออก

- บริหารการใช้บัฟเฟอร์ที่ว่าง โดยนำพื้นที่ของแพ็คเก็ตที่ปลายทางได้รับเรียบร้อยมาใช้ใหม่

- การตรวจสอบจำนวนบัฟเฟอร์ที่ว่าง

การจัดการบัฟเฟอร์ของโนด แพ็คเก็ตที่นำมาต่อในคิวจะเป็นแบบเข้าก่อนออกก่อน (FCFS) และใช้โครงสร้างข้อมูลแบบเชื่อมโยง (Link List) โดยมีตัวชี้หัวคิวสำหรับแพ็คเก็ตที่จะได้รับบริการก่อน ตัวชี้การส่งใหม่สำหรับส่งแพ็คเก็ตที่ผิดพลาดไปให้ใหม่และตัวชี้พื้นที่ว่าง กล่าวคือ เมื่อให้บริการในการส่งแพ็คเก็ต ณ ตำแหน่งที่ตัวชี้หัวคิวกำหนดไว้ เมื่อดำเนินการส่งแพ็คเก็ตเสร็จ ตัวชี้หัวคิวจะเลื่อนไปชี้ตำแหน่งถัดไป และแพ็คเก็ตเดิมจะยังไม่ถูกกำจัดออกไป ต้องรอการตอบรับจากโนดปลายทางว่าได้รับแพ็คเก็ตครบกลุ่มเรียบร้อยแล้ว

การควบคุมการส่งแพ็คเก็ตใช้เทคนิคการตอบรับแบบ Go-Back-N Automatic Repeat Request จะทำการส่งแพ็คเก็ตออกไปเรื่อยๆ และเมื่อได้รับการตอบรับ

จึงกำจัดแพ็คเก็ตที่ได้รับการตอบรับออกจากบัฟเฟอร์ แต่ถ้าได้รับการตอบรับว่าได้รับแพ็คเก็ตผิดพลาดจะกลับไปเริ่มต้นการส่งที่ตำแหน่งแพ็คเก็ตนั้นใหม่ ดูรายละเอียดรวมทั้งตัวอย่างการจัดการบัฟเฟอร์ในหัวข้อ 3.1.3

(ช) กรณีสร้างแพ็คเก็ตควบคุม และแปลรหัสคำสั่งของแพ็คเก็ตควบคุม

หน่วยควบคุมโนดจะทำหน้าที่สร้างแพ็คเก็ตควบคุม และนำไปแทรกไว้ที่หัวคิว ถึงแม้ว่าบัฟเฟอร์ของโนดเต็มอยู่ก็สามารถแทรกไว้ที่หัวคิวได้เพราะมีการกันไว้สำหรับแพ็คเก็ตควบคุม การสร้างแพ็คเก็ตควบคุมมี 4 กรณีหลัก ดังนี้

- "ขอให้ส่งใหม่"

เมื่อโนดปลายทางผู้รับตรวจสอบพบความผิดพลาดของข้อมูลในแพ็คเก็ตที่ได้รับ จะสร้างแพ็คเก็ตควบคุม "ขอให้ส่งใหม่" พร้อมกับกำหนดเลขที่ของแพ็คเก็ตนั้นส่งไปให้โนดต้นทาง เพื่อส่งแพ็คเก็ตที่ต้องการไปใหม่ โนดต้นทางผู้ส่งเมื่อได้รับแพ็คเก็ตควบคุมดังกล่าว จะกลับไปเริ่มต้นการส่งใหม่ ณ ตำแหน่งที่แพ็คเก็ตนั้นผิดพลาด

- "ขอให้หยุดส่ง"

เนื่องจากบัฟเฟอร์ของโนดปลายทางเต็ม แพ็คเก็ตที่โนดต้นทางส่งมาให้ไม่สามารถรับไว้ได้ หน่วยควบคุมโนดก็จะสร้างแพ็คเก็ตควบคุม "ขอให้หยุดส่ง" ที่มีการกำหนดเลขที่ของแพ็คเก็ตที่ไม่สามารถรับไว้ได้ โนดต้นทางผู้ส่งเมื่อได้รับแพ็คเก็ตควบคุมดังกล่าวจะทำการหยุดส่งแพ็คเก็ตชั่วคราว รอจนกว่าโนดปลายทางจะส่งแพ็คเก็ตควบคุม "ขอให้ส่งต่อ" จึงเริ่มส่งได้อีก

- "ขอให้ส่งต่อ"

เมื่อโนดปลายทางมีบัฟเฟอร์ว่าง จะต้องแจ้งกลับไปให้โนดต้นทางที่หยุดส่งแพ็คเก็ตชั่วคราว ให้เริ่มต้นการส่งได้ใหม่

- "รับครบกลุ่ม"

การตอบรับแพ็คเก็ตที่ได้รับเรียบร้อยใช้เทคนิค Go_Back_N ARQ ดังที่กล่าวไปแล้ว ในการจำลองเรากำหนดให้ตอบรับแพ็คเก็ตครบกลุ่มเท่ากับ 8 แพ็คเก็ต หน่วยควบคุมโนดจะสร้างแพ็คเก็ตควบคุม "รับครบกลุ่ม" ส่งไปให้โนดต้นทางผู้ส่ง เมื่อโนดต้นทางผู้ส่งได้รับแพ็คเก็ตควบคุมดังกล่าวจะเคลียร์บัฟเฟอร์ของ 8 แพ็คเก็ตที่รอการตอบรับ ทำให้บัฟเฟอร์ของโนดมีพื้นที่ว่างเพิ่มขึ้น

3.3 การสร้างแบบจำลองของโนด

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงซอฟท์แวร์โมดูลต่าง ๆ ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแทนการทำงานของส่วนประกอบแบบจำลองของโนด และการทำงานของหน่วยต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.2

3.3.1 องค์ประกอบทางซอฟท์แวร์

งานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองของโนดในระดับตรรกะซึ่งสามารถจำลองได้ด้วยซอฟท์แวร์เพื่อแทนการทำงานของส่วนประกอบ 3 หน่วย รายการซอฟท์แวร์โคมูลหลักแบ่งตามหน่วยทำงานมีดังรูปที่ 3.17 และ 3.18

หน่วยทำงาน	ชื่อโมดูล
หน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้	
– ภาครับ	UserRx.Wait UserRx.RxPkt UserRx.WaitNodeCon
– ภาคส่ง	UserTx.Wait UserTx.TxPkt

รูปที่ 3.18 รายการซอฟต์แวร์โมดูลหลักของหน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้

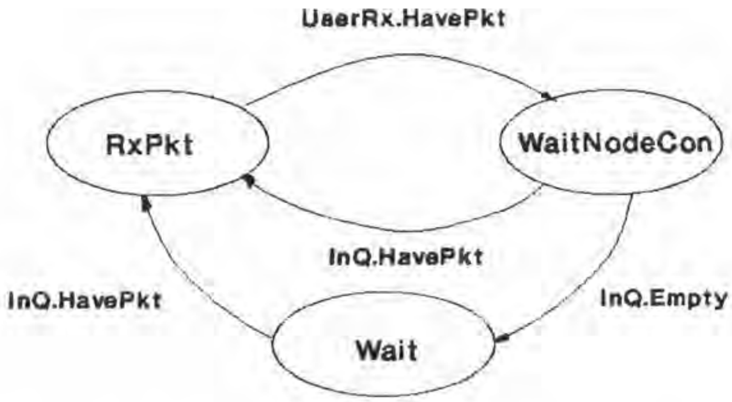
หน่วยทำงาน	ชื่อโมดูล
หน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่าย	
– ภาครับ	NetwRx[From].Wait
	NetwRx[From].RxPkt
	NetwRx[From].WaitNodeCon
– ภาคส่ง	NetwTx[To].Wait
	NetwTx[To].TxPkt
	NetwTx[To].EndSending
หน่วยควบคุมโนด	NodeCon.Manager
	NodeCon.MovePkt [Here, There]
	NodeCon.ChkError
	NodeCon.ChkPktType
	NodeCon.ProcessConPkt
	NodeCon.SendConPkt
– หน่วยกำหนดเส้นทาง	NodeCon.PreRouting
	NodeCon.CallRouting
– หน่วยจัดการบัฟเฟอร์	NodeCon.ChkAvailable
	NodeCon.InsertPktInQ
	NodeCOn.ClearBuffer

รูปที่ 3.19 รายการซอฟต์แวร์โมดูลหลักของหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่าย
และหน่วยควบคุมโนด

3.3.2 การทำงานของหน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้

(ก) หน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้ภาครับ

สถานะการทำงานของหน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้ภาครับจะมี 3 สถานะ คือ Wait, RxPkt และ WaitNodeCon ดังแผนภูมิสถานะ รูปที่ 3.19

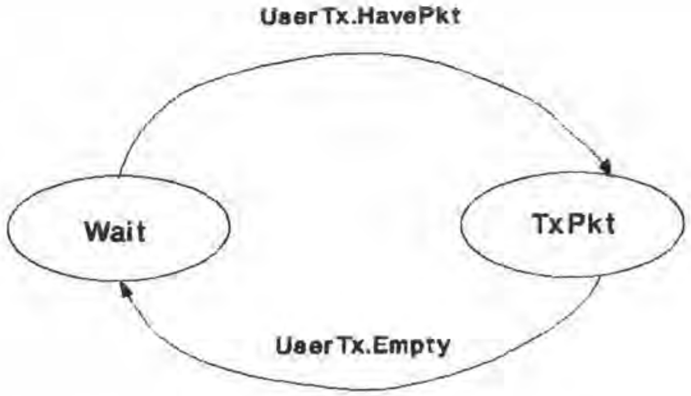


รูปที่ 3.19 สถานะการทำงานของหน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้ภาครับ

สถานะเริ่มต้นจะอยู่ที่ Wait เมื่อมีแพ็คเก็ตจากผู้ใช้ใน Input Queue (InQ.HavePkt = true) UserRx จะเปลี่ยนสถานะการทำงานมาที่ RxPkt ซึ่งจะถ่ายแพ็คเก็ตจาก InQ.Head มาเก็บใน UserRx.Buffer เมื่อทำงานเสร็จ (UserRx. HavePkt = true และปรับตำแหน่ง InQ.Head) ก็จะเปลี่ยนสถานะเป็น WaitNodeCon และ UserRx จะรออยู่ที่สถานะนี้จนกว่า NodeCon จะมารับแพ็คเก็ตไป เมื่อ NodeCon รับแพ็คเก็ตไปแล้ว (UserRx.HavePkt = false) สถานะของ UserRx จะเปลี่ยนสถานะไปที่ RxPkt หรือ Wait ขึ้นอยู่กับ InQ.HavePkt เป็นจริงหรือเท็จ

(ข) หน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้ภาคส่ง

สถานะการทำงานของหน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้ภาคส่ง จะมี 2 สถานะ คือ Wait และ TxPkt ดังแผนภูมิสถานะรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 สถานะการทำงานของหน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้ภาคส่ง

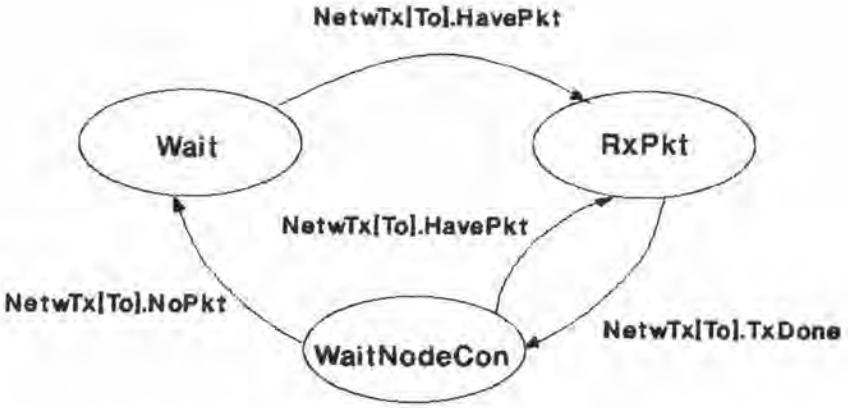
ปกติสถานะการทำงานของ UserTx จะอยู่ที่ Wait เมื่อโนดมีแพ็คเก็ตที่ต้องการส่งออกให้ผู้ใช้ซึ่งเป็นแพ็คเก็ตที่มาจากช่องสื่อสาร NetwRx[from] ช่องใดช่องหนึ่ง (UserTx.HavePkt = true) สถานะของ UserTx ก็จะเปลี่ยนเป็น TxPkt เพื่อเตรียมรับแพ็คเก็ตจาก NetwRx[From].Buffer มาเข้า UserTx.Buffer (กระบวนการที่ทำงานถ่ายแพ็คเก็ตคือ NodeCon.MovePkt) แล้วถ่ายต่อไปให้กับ Output Queue (ตำแหน่งของ Buffer ที่ชี้โดย OutQ.Tail โดยสมมุติว่า OutQ รับแพ็คเก็ตได้เสมอ) จากนั้นสถานะของ UserTx จะกลับไปที่ wait

หมายเหตุ ข้อสมมุติ OutQ รับแพ็คเก็ตได้เสมออาจไม่เป็นจริง ถ้าโนดส่งแพ็คเก็ตให้ผู้ใช้ได้มากและเร็วกว่าที่ผู้ใช้จะรับได้ ถ้าเป็นเช่นนี้เราอาจเพิ่มสถานะทำงาน WaitUser เพื่อทำหน้าที่ถ่ายแพ็คเก็ตจาก UserTx.Buffer ไปยังตำแหน่งที่ชี้โดย OutQ.Tail แต่ในการทดลองพบว่า เราสามารถใช้ UserTx.Buffer แทน OutQ ได้ เพราะแพ็คเก็ตที่ส่งออกให้ผู้ใช้ (จาก NetwRx[From].Buffer) มีอัตราต่ำ (จำนวนน้อย)

3.3.3 การทำงานของหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่าย

(ก) หน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาครับ

สถานะการทำงานของหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาครับจะมี 3 สถานะ คือ Wait, RxPkt และ WaitNodeCon ดังแผนภูมิสถานะรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 แผนภูมิสถานะของหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาครับ

NetwRx[From] หมายถึงช่องสื่อสารภาครับช่องใดช่องหนึ่งของโนด การทำงานของช่องสื่อสารแต่ละช่องก็ถือว่าเป็นอิสระต่อกัน แต่หลักการทำงานของภาครับทุกช่องจะเหมือนกัน

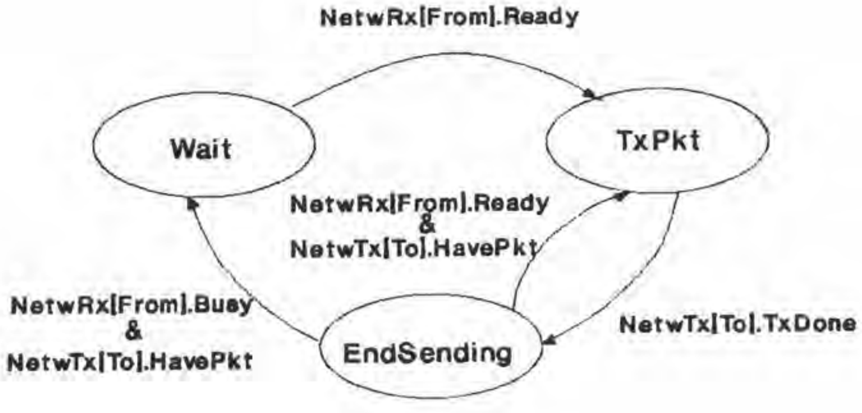
สถานะ Wait ของ NetwRx[From] หมายถึง สถานะที่ช่องสื่อสารรอรับแพ็คเก็ตจากโนดต้นทางผู้ส่ง หรือสถานะพร้อมที่จะรับแพ็คเก็ต (ถ้าจำเป็นต้องส่งสัญญาณตอบรับ handshake โนดต้นทางผู้ส่งจะได้รับสัญญาณ Channel Ready หรือ NetwRx[From]. Ready แล้วตอบกลับด้วยสัญญาณ Data Ready หรือ NetwTx[To].HavePkt)

เมื่อโนดต้นทางผู้ส่งมีแพ็คเก็ตพร้อมที่จะส่ง (NetwTx[To].HavePkt= true) เพื่อให้โนดปลายทางผู้รับรับแพ็คเก็ตมาใส่ใน NetwRx[From].Buffer (เริ่มการส่งข้อมูลโดยสัญญาณ StartTx ตามด้วยข้อมูล แล้วจบด้วย TxDone เมื่อโนดปลายทางรับข้อมูลเสร็จผู้รับอาจตอบกลับด้วยสัญญาณ Busy หรือ Receive Ready)

เมื่อโนดปลายทางผู้รับรับแพ็คเก็ตเสร็จ ก่อนจะเปลี่ยนสถานะเป็น WaitNodeCon ก็จะจำลองการเกิดความผิดพลาดของการรับแพ็คเก็ตแบบสุ่ม (Random Error) แล้วบันทึกว่าเกิด Error หรือไม่ แล้วไปรออยู่ที่สถานะ WaitNodeCon (NetwRx[From]. HavePkt = true) จนกว่า NodeCon จะมารับแพ็คเก็ตไป เสร็จแล้วก็จะกลับไปที่สถานะ Wait

(ข) หน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาคส่ง

สถานะการทำงานของหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาคส่ง จะมี 3 สถานะ คือ Wait, TxPkt และ WaitNodeCon ดังแผนภูมิสถานะรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 แผนภูมิสถานะของหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาคส่ง

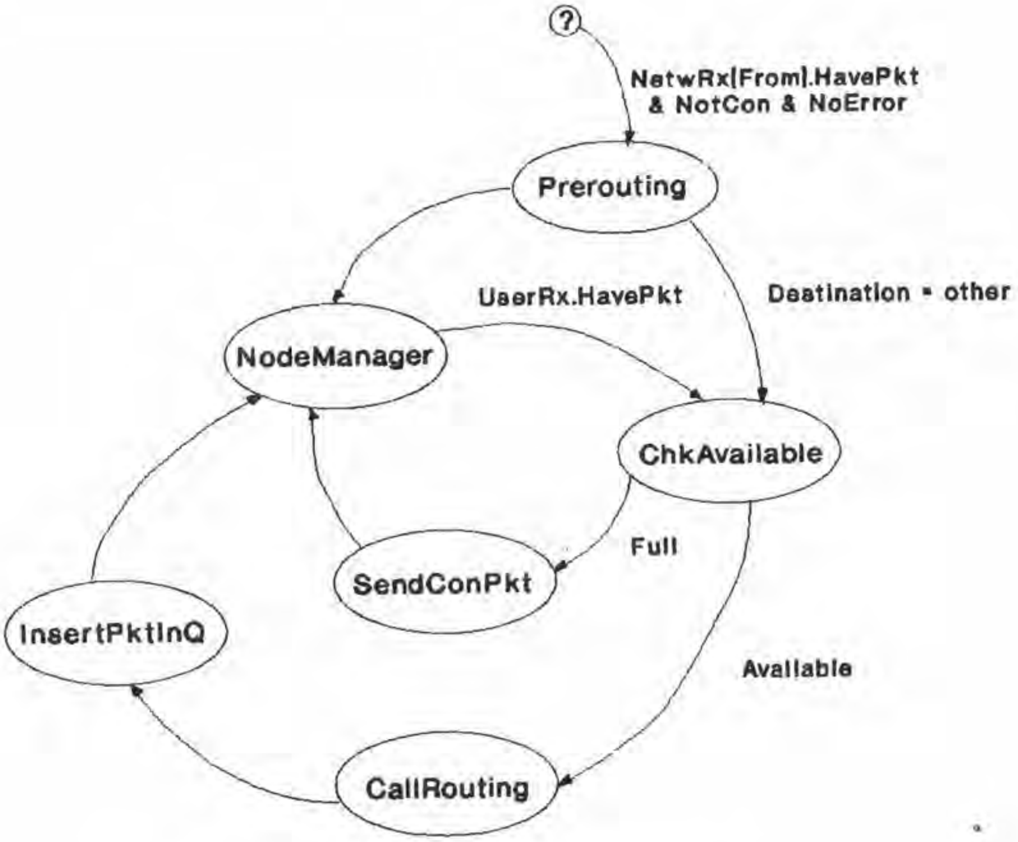
สถานะเริ่มต้นถือว่าอยู่ที่ EndSending ซึ่งเป็นสถานะที่รอรับแพ็คเก็ตจาก NodeCon โดย MovePkt จะถ่ายแพ็คเก็ตจาก Queue[To].Head ไปยัง NetwTx[To].Buffer แล้วเปลี่ยนสถานะเป็น Wait (เมื่อ Netwtx[To].HavePkt = true และ NetwRx[From].Busy) เพื่อรอส่งแพ็คเก็ต

เมื่อโนดปลายทางผู้รับพร้อม (NetwRx[From].Ready = true) ก็จะเปลี่ยนสถานะไปที่ TxPkt (ซึ่งในช่วงเวลาเดียวกันโนดปลายทางผู้รับจะอยู่ที่สถานะ RxPkt) เมื่อส่งแพ็คเก็ตให้กับผู้รับเรียบร้อยแล้วก็จะกลับไปที่สถานะ EndSending เพื่อเตรียมส่งแพ็คเก็ตใหม่ (ถ้ามี) ต่อไป

หมายเหตุ ถ้าผู้รับอยู่ในสถานะWait ก่อน คือ NetwRx[From]. Ready ในขณะที่ผู้ส่งอยู่ที่ EndSending สถานะการทำงานของผู้ส่งสามารถข้ามไปที่ TxPkt โดยไม่ต้องผ่านสถานะ Wait

3.3.4 การทำงานของหน่วยควบคุมโนด

สถานะการทำงานของหน่วยควบคุมโนดจะมี 10 สถานะ คือ NodeManager, ChkError, PreRouting, ChkAvailable, CallRouting, InsertPktInQ, MovePkt, ProcessConPkt และ SendConPkt ดังแผนภูมิสถานะรูปที่ 3.23 และรูปที่ 3.24



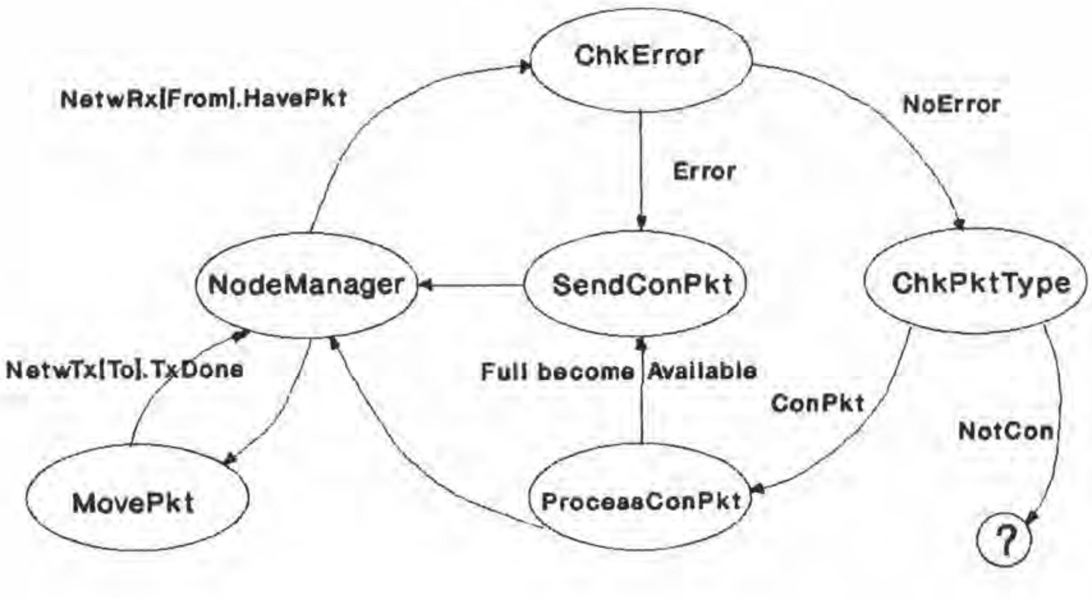
รูปที่ 3.23 สถานะการทำงานของหน่วยควบคุมโนดส่วนที่ 1

การทำงานของหน่วยควบคุมโนด สามารถอธิบายได้ตามกรณีต่าง ๆ ที่กล่าวมาในหัวข้อที่ 3.2.3 ได้ดังนี้

(ก) ในกรณีรับแพ็คเก็ตจากหน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้ภาครับ NodeCon จะทำงาน ที่สถานะ NodeManager เมื่อหน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้ภาครับมีแพ็คเก็ต (UserRx.HavePkt) และรออยู่ที่สถานะ WaitNodeCon หน่วยควบคุมโนดก็จะเปลี่ยนสถานะไปยัง ChkAvailable ถ้าบัฟเฟอร์ของโนดเต็ม (แต่มีกันไว้สำหรับแพ็คเก็ตควบคุม) ก็จะสร้างแพ็คเก็ตควบคุม แล้วไป

แทรกที่หัวคิว (Queue[To].Head) เพื่อส่งออกไปให้กับโนดอื่นบอกให้หยุดส่ง แล้วกลับไปที่สถานะ NodeManager

ถ้าบัฟเฟอร์ของโนดไม่เต็ม ก็จะเรียก MovePkt เพื่อถ่ายแพ็คเก็ต จาก UserRx.Buffer มายังบัฟเฟอร์ของโนด แล้วเปลี่ยนสถานะเป็น CallRouting (หน่วยเชื่อม ต่อกับผู้ใช้ภาครับเปลี่ยนสถานะไปที่ UserRx.Wait หรือ UserRx.RxPkt) ที่สถานะ Call Routing จะเป็นการเลือกว่าแพ็คเก็ตที่เพิ่งรับมาควรจะไปต่อคิวตามเส้นทางหลักหรือเส้นทางรอง (โดยสมมุติว่าสามารถต่อคิวใดคิวหนึ่งได้) ผลที่ได้ก็คือ PortNo เพื่อแพ็คเก็ตนั้นจะไปต่อคิวสำหรับช่องสื่อสาร NetwTx [PortNo] โดย InsertPktInQ จัดการต่อคิวให้ เสร็จ แล้วจะกลับไปที่สถานะ NodeManager



รูปที่ 3.24 สถานะการทำงานของ NodeCon ส่วนที่ 2

(ข) ในกรณีรับแพ็คเก็ตข้อมูลจากหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาครับ จากรูปที่ 3.24 (สถานะการทำงานของโนดส่วนที่ 2) เมื่อได้รับแจ้งจากหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาครับว่ามีแพ็คเก็ตที่ต้องการให้หน่วยควบคุมโนด (NetwRx[From].HavePkt = true) และตรวจสอบความผิดพลาดของแพ็คเก็ตว่าไม่มีความผิดพลาด (No Error) และตรวจสอบชนิดของ

แพ็คเก็ตว่าเป็นแพ็คเก็ตข้อมูล (NotConPkt) NodeCon ก็จะไปที่สถานะ PreRouting ดังรูปที่ 3.23 (NodeCon ส่วนที่1) การทำงานของสถานะนี้เป็นการตรวจดูว่าแพ็คเก็ตที่อยู่ใน NetWRx[From].Buffer มี Destination Address เป็นของโนดนี้หรือไม่ ถ้าใช่จะกำหนดค่า NodeCon.HavePkt = true แล้วเรียก MovePkt ถ่ายแพ็คเก็ตจาก NetwRx[From].Buffer ไปที่ UserTx.Buffer แล้วกลับไปสถานะ NodeManager แต่ถ้า Destination Address เป็นของโนดอื่นจะเปลี่ยนสถานะเป็น ChkAvailable ถ้าบัฟเฟอร์ของโนดไม่เต็ม แพ็คเก็ตจาก NetwRx[From].Buffer จะถูกถ่ายมาเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ของโนดโดย MovePkt เพื่อกำหนดเส้นทางและต่อคิวต่อไป การทำงานจะเหมือนกรณีรับแพ็คเก็ตจากหน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้ภาครับ ดังที่กล่าวไปแล้ว

(ค) ในกรณีที่ส่งแพ็คเก็ตที่อยู่ในหัวคิวสำหรับส่งออกไปยังบัฟเฟอร์ของหน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาคส่ง เมื่อ NodeCon อยู่ในสถานะ NodeManager แล้วตรวจสอบว่ามีแพ็คเก็ตที่รอส่งออกในคิวและบัฟเฟอร์ของ NetwTx[To].Buffer ว่างอยู่(NetwTx[To].TxDone) NodeCon ก็จะเปลี่ยนสถานะไปยัง MovePkt เพื่อถ่ายแพ็คเก็ตจาก Queue[To].Head ไปยัง NetwTx[To].Buffer

(ง) ในกรณีตรวจสอบความผิดพลาดของแพ็คเก็ต สถานะ NodeManager จะเปลี่ยนเป็น ChkError เมื่อมีแพ็คเก็ตใน NetwRx[From].Buffer เรียบร้อยแล้ว ถ้ามีความผิดพลาดเกิดขึ้น NodeCon จะไปที่สถานะ SendConPkt เพื่อสร้างแพ็คเก็ตควบคุมกรณี Error ส่งกลับไปให้โนดต้นทางผู้ส่งให้ส่งแพ็คเก็ตมาใหม่ ถ้าไม่มีความผิดพลาด NodeCon จะเปลี่ยนสถานะเป็น ChkPktType

(จ) ในกรณีตรวจสอบชนิดของแพ็คเก็ตและการแบรรหัสคำสั่งของแพ็คเก็ตควบคุม เมื่อ NodeCon อยู่ที่สถานะ ChkPktType จะตรวจสอบชนิดของแพ็คเก็ต ถ้าเป็นแพ็คเก็ตข้อมูล ก็จะเปลี่ยนสถานะไปยัง PreRouting (รูปที่ NodeCon 1) ถ้าเป็นแพ็คเก็ตควบคุม (ConPkt) ก็จะไปทำงานที่สถานะ ProcessConPkt การทำงานของ ProcssConPkt มี 4 กรณีหลัก คือ

- กรณี "ขอให้ส่งใหม่" เนื่องจากเกิดข้อผิดพลาดในการรับส่ง ขอให้ส่งแพ็คเก็ตที่ต้องการมาให้ใหม่

- กรณี "ขอให้หยุดส่ง" เนื่องจากบัฟเฟอร์เต็ม ให้หยุดส่ง

- กรณี "ขอให้ส่งต่อ" เนื่องจากมีบัฟเฟอร์ว่างสามารถรับแพ็คเก็ตได้อีก ให้เริ่มส่งได้อีก

- กรณี "รับครบกลุ่ม" เนื่องจากปลายทางได้รับแพ็คเก็ตครบกลุ่ม เช่น 8 แพ็คเก็ต ให้โนดต้นทางผู้ส่ง Clear Buffer (แพ็คเก็ตที่รอการตอบรับ) และถ้าบัฟเฟอร์ของโนดเต็มอยู่ก่อนให้สร้าง ConPkt แทรกไว้หัวคิว (Queue.Head) เพื่อบอกให้โนดต้นทางผู้ส่งทราบว่าบัฟเฟอร์ว่างแล้ว ดังกรณีที่ 3 ข้างต้น