บทที่ 6

การทดสอบแบบจำลองของโนดและสรุปผล

6.1 การทดสอบแบบจำลองของโนดโดยนำโนดมาประกอบเป็นเครือข่าย

ตัวอย่างการนำแบบจำลองของโนดมาประกอบเป็นเครือข่ายเพื่อทดสอบแบบจำลองของโนดในที่นี้กำหนดไว้ 5 โนด คือ โนด A, B, C, D และ E แต่ละโนดจะต่อกับผู้ใช้ (Host) และโนดอื่น โดยที่ทุกโนดจะมีการต่อไปโนดอื่น 3 โนด ยกเว้นโนด C เท่านั้นที่จะต่อกับโนดอื่นเพียง 2 โนด อัตราเร็ว (การส่งข้อมูล) ระหว่างโนดที่ใช้ในเครือข่ายมีทั้ง 2400, 4800 และ 9600 บิตต่อวินาที โดยสมมุติอัตราเร็วระหว่างโนดกับผู้ใช้เร็วมากเมื่อเทียบกับอัตราเร็วระหว่างโนด

การทำงานของเครือข่ายดังกล่าวเราได้เขียนซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงานของทุกโนดและเก็บข้อมูลสถิติเพื่อวัดสมรรถนะและพฤติกรรมของเครือข่าย เช่น Network Throughput, Link Utilization, Delay Time และอื่นๆ การทดสอบสำหรับหาค่าสถิติเหล่านี้ เราได้จำลองการป้อนข้อมูลแพ็กเก็ตแบบสุ่มให้กับโนดต่าง ๆ

6.2 การเก็บข้อมูลสถิติ

การทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทำงานของโนดและเครือข่าย ได้มีการเก็บข้อมูลสถิติเป็นผลจากการทำงานของโปรแกรมในรูปของเมตริกขนาด 5 x 5 ลักษณะในการเก็บข้อมูลจะมี 2 ลักษณะ ดังนี้

6.2.1 การเก็บค่าแบบสะสม (Cumulative values) จะเป็นการเก็บค่าแบบสะสมตั้งแต่การเริ่มการทำงานของโปรแกรมจนถึง ณ ขณะเวลานั้น ได้แก่

- PktGen (Numbers of Generated Packets)
- NetThroughput (Numbers of Complete Packets)
- NoOfTx (Numbers of Transmitted Packets)
- NoOfRx (Numbers of Received Packets)
- NoOfError (Nombers of Error Packets)

(ก) PktGen (Numbers of Generated Packeted) เป็นค่าของจำนวนแพ็คเก็ตที่ได้มีการสร้างขึ้นแบบสุ่ม ในการสร้างแพ็คเก็ตแบบสุ่มจะสุ่มโนดต้นทาง โนดปลายทางและจำนวนแพ็คเก็ตในกลุ่ม ส่วนการเก็บข้อมูลทางสถิติจะเก็บแบบสะสมนับตั้งแต่การเริ่มการทำงานของโปรแกรมสะสมไปเรื่อยๆ จนถึง ณ เวลาขณะนั้น ข้อมูลจะอยู่ในรูปเมตริกขนาด 5 x 5 แนวตั้งเป็นโนดต้นทางและแนวนอนเป็นโนดปลายทาง

(ข) NetThroughput (Numbers of Complete Packets) เป็นค่าของจำนวนแพ็คเก็ตที่เสร็จสิ้นการส่งผ่านเครือข่ายจากโนดต้นทางไปยังโนดปลายทาง การเก็บข้อมูลจะเก็บลักษณะเดียวกันกับ PktGen

(ค) NoOfTx (Numbers of Transmitted Packets between Node Pair) เป็นค่าของจำนวนแพ็คเก็ตที่มีการส่งออกไปยังโนดอื่นของแต่ละช่องสื่อสาร ลักษณะการเก็บข้อมูลจะคล้ายกับวิธีของ PktGen แต่เก็บเฉพาะช่องสื่อสารที่มีเท่านั้น เช่น โนด A จะเก็บ 3 ช่องสื่อสาร คือ ช่องสื่อสาร AB, AD และ AE เป็นต้น

(ง) NoOfRx (Numbers of Received Packets between Node Pair) เป็นค่าของจำนวนแพ็คเก็ตที่มีการรับเข้าจากโนดอื่นของแต่ละช่องสื่อสาร ลักษณะการเก็บข้อมูลคล้ายกับวิธีของ NoOfTx

(จ) NoOfError (Numbers of Error) เป็นค่าของจำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดความผิดพลาดในการรับแพ็คเก็ตของแต่ละช่องสื่อสาร ลักษณะการเก็บข้อมูลคล้ายกับวิธีของ NoOfRx

6.2.2 การเก็บค่าจริงในขณะนั้น (Instantaneous values) จะเป็นการเก็บค่าจริงในขณะนั้น ได้แก่

- MeanPktDelay (Mean Packet Delay Time)
- LU (Link Utilization)
- CurPktInQ (Current Packets In Queue)
- MxPktInQ (Maximum Packets In Queue)
- MeanPktInQ (Mean Packets In Queue)

(ก) MeanPktDelay (Mean Packet Delay Time) เป็นค่าเฉลี่ยของจำนวนเวลาในช่วงตั้งแต่การรับแพ็กเก็ตจากโฮสต้นทาง จนถึงเวลาที่มีการส่งแพ็กเก็ตไปยังโฮสปลายทาง กล่าวคือ ในการเก็บค่านี้ได้จากการคำนวณค่าหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตที่อยู่ในเครือข่ายหรือเรียกว่า lifetime ของแต่ละแพ็กเก็ต โดยที่ค่าของ lifetime ของแพ็กเก็ตจะมีค่าแบบสะสมขึ้นเรื่อย ๆ นับตั้งแต่เริ่มรับแพ็กเก็ตเข้ามาในเครือข่าย ถึงแม้ว่าแพ็กเก็ตจะถูกเก็บไว้ในคิวเพื่อรอการส่งออกก็ตาม ค่า life time ของแพ็กเก็ตก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

(ข) LU (Link Utilization) เป็นค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพในการใช้งานของแต่ละช่องสื่อสาร ลักษณะการเก็บข้อมูลคล้ายกับวิธีของ NoOfTx การคำนวณหาได้จาก

LU = จำนวนแพ็กเก็ตที่ส่งจริง/{(จำนวนแพ็กเก็ตสูงสุดที่ส่งได้ต่อวินาที)x เวลาที่ใช้จริง}

= NoOfTx[From,To]/{MxLu[From, To] x RealTime}

(ค) CurPktInQ (Current Packets In Queue) เป็นค่าของจำนวนแพ็กเก็ตที่รอคิวส่งออกไปยังโนดอื่นของแต่ละช่องสื่อสาร ลักษณะการเก็บข้อมูลคล้ายกับวิธีของ NoOfTx

(ง) MxPktInQ (Maximum Packets In Queue) เป็นค่าสูงสุดของจำนวนแพ็กเก็ตที่มีการใช้งานอยู่ในคิวหรืออยู่ในคิว ลักษณะการเก็บข้อมูลคล้ายกับวิธีของ CurPktInQ

(จ) MeanPktInQ (Mean Packets In Queue) เป็นค่าเฉลี่ยของจำนวนแพ็กเก็ตที่มีการใช้งานในคิวของแต่ละช่องสื่อสาร ลักษณะการเก็บข้อมูลคล้ายกับวิธีของ CurPktInQ

6.3 การแสดงผลการทำงานของโปรแกรม

6.3.1 การแสดงผลในภาวะข้อความ

การแสดงผลในภาวะข้อความนี้ มีวัตถุประสงค์ในการแสดงลักษณะการทำงานของแต่ละโนด โดยสามารถดูรายละเอียดของทุก ๆ หน่วย ได้แก่หน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้ภาครับ (UserRx) หน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้ภาคส่ง (UserTx) หน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาครับ (NetwRx) หน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาคส่ง (NetwTx) และหน่วยควบคุมโนด (NodeCon) การทำงานของสถานะต่าง ๆ ได้กล่าวไว้แล้วอย่างละเอียดในหัวข้อ 3.3

สำหรับการแสดงผลข้อมูลสถิติสามารถเลือกดูได้ 3 หัวข้อ จากทั้งหมด 10 หัวข้อ ดังได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 6.2 นอกจากการศึกษาสถานะการทำงานของแต่ละหน่วยแล้วนั้นยังสามารถดูแต่ละคิวของโนด การแสดงตัวชี้ในแต่ละคิวมี 3 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นแพ็กเก็ตสำหรับการส่งไปใหม่ ส่วนที่สองเป็นเป็นแพ็กเก็ตที่อยู่หัวคิว ส่วนที่สามเป็นแพ็กเก็ตที่อยู่ท้ายคิว ในการแสดงผลจะบอกเป็นเลขที่ของแพ็กเก็ต

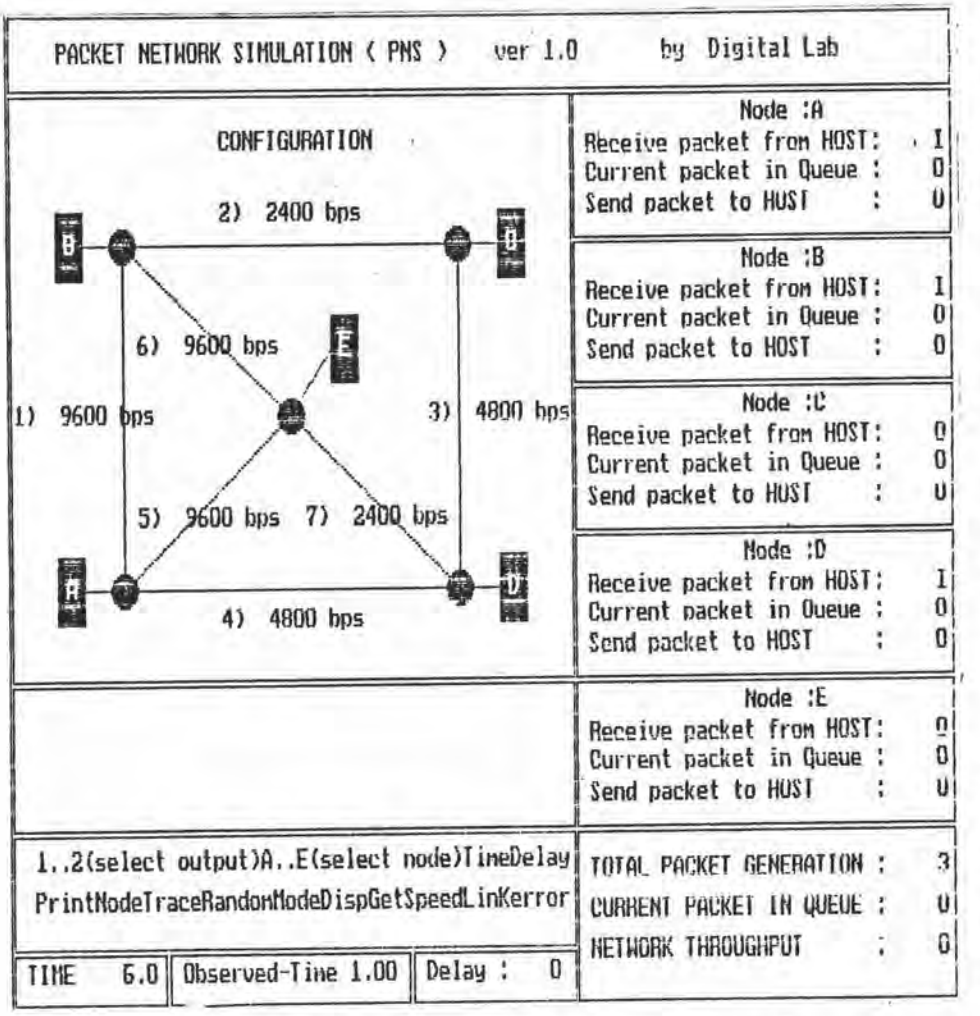
การแสดงผลในภาวะข้อความ ดังรูปที่ 6.1 สำหรับการใช้งานโปรแกรมในภาวะข้อความและรายละเอียดอยู่ในภาคผนวกที่ 2

```
Node A Display
UsedList 12 MaxList
 100 Time 452.00
                        A:B ReTx-G7N1     NetwRx A:B          NetwTx A:B
UserRx A                A:B Head-G16N1    Rx G5N1  367.00    G8N1 47.00/125.00
Wait Node Control.      A:B Tail-G16N2

UserTx A
Waiting for job.        A:D ReTx-G3N1     NetwRx A:D          NetwTx A:D
                        A:D Head-G3N2     Rx G15N1   92.00    End sending
                        A:D Tail-G3N2
Node Control A          A:E ReTx-G1N2     NetwRx A:E          NetwTx A:E
Routing assign port     A:E Head-G10N1    Rx G17N1   57.00    G4N2 27.00/125.00
.                       A:E Tail-G10N2

A
   -  0  0  0  3     -  0  0  0 248        -0.39    -  00.70
   0  -  0  0  1     0  -  0  0 133     0.65    -  0    -  0
   0  0  -  0  0     0  0  -  0  0        -  0    -  0    -
   0  0  0  -  0     0  0  0  -  0        0  -  0    -  0
   2  0  0  0  -   202  0  0  0  -     0.60  0    -  0    -
        NetThroughPut          MeanPktDelay          LU
```

รูปที่ 6.1 แสดงผลการทำงานของโปรแกรมในภาวะข้อความ

6.3.2 การแสดงผลในภาวะกราฟิก

การแสดงผลในภาวะกราฟิก มีวัตถุประสงค์เพื่อการสรุปสาระของการทำงานของโปรแกรมโดยพิจารณาเฉพาะข้อมูลหลัก 3 ส่วน ได้แก่ จำนวนแพ็คเก็ตที่รับมาจากโฮส จำนวนแพ็คเก็ตที่รออยู่ในคิว และจำนวนแพ็คเก็ตที่ส่งให้โฮส ค่าที่แสดงจะเป็นของแต่ละโนดและผลรวมของทุกโนดหรือของเครือข่ายนั้นเอง และแสดงโทโพโลยีของเครือข่ายทั้ง 5 โนด ดังรูปที่ 6.2

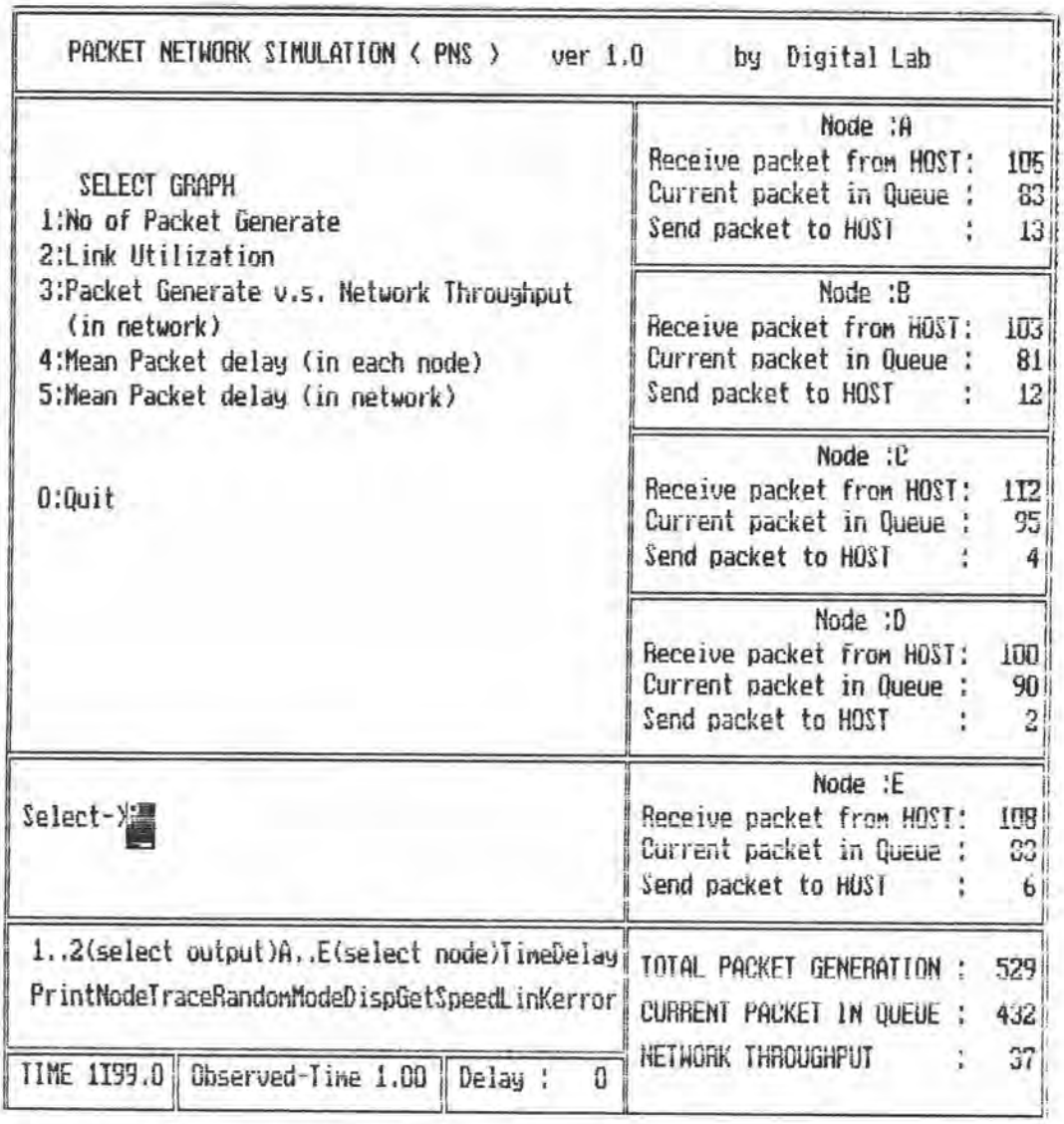


รูปที่ 6.2 แสดงผลการทำงานของโปรแกรมในภาวะกราฟิก

รูปที่ 6.2 จะมีส่วนเพิ่มเติมคือส่วนแสดงผลเกี่ยวกับเวลาดังนี้ ส่วนแรกคือเวลาที่ใช้ในการจำลอง (Time) ส่วนที่สองคือค่าเวลาในการสังเกต (Observed time) ส่วนสุดท้ายคือค่าของการหน่วงเวลาในการแสดงผลหน้าจอ (Delay) ค่าทั้ง 3 นี้จะมีหน่วยเป็นหน่วยเวลา (unittime) ในที่นี้กำหนดไว้ว่า 1000 หน่วยเวลาเท่ากับเวลาจริง 1 วินาที สำหรับการใช้งานโปรแกรมในภาวะกราฟิกและรายละเอียดอยู่ในภาคผนวกที่ 2

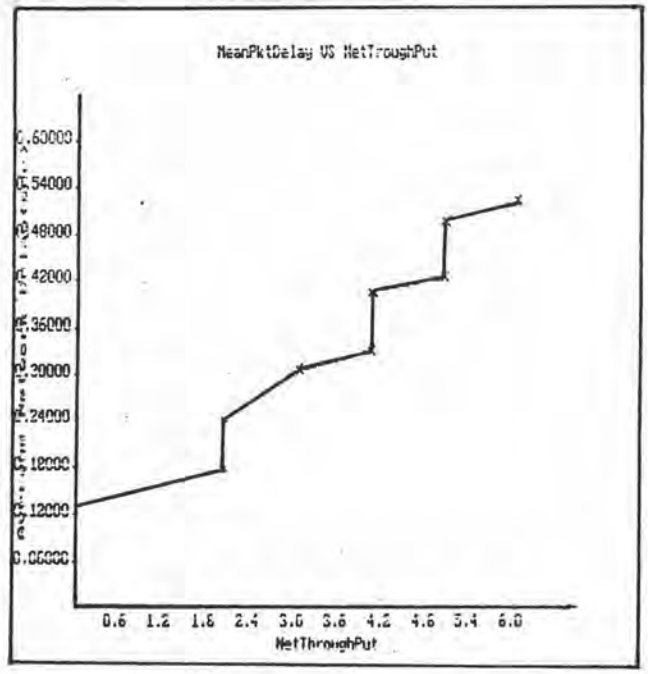
6.4 การวิเคราะห์ผลการทำงานของโปรแกรม

สำหรับการแสดงผลการทำงานของโปรแกรมในภาวะกราฟิกเมื่อเสร็จสิ้นการทำงานของโปรแกรมจะมีส่วนแสดงผลเพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์ข้อมูลสถิติไว้ 5 หัวข้อ ในรูปที่ 6.3 การเก็บข้อมูลสถิติเพื่อการวิเคราะห์จะมีการบันทึกค่าที่เกี่ยวข้องใน 5 หัวข้อดังกล่าวในแต่ละช่วงเวลา ในที่นี้จะบันทึกไว้ 10 ครั้ง ณ ขณะเวลาต่าง ๆ นับตั้งแต่เริ่มจนสิ้นสุดการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 6.3 การแสดงผลเมื่อสิ้นสุดการทำงานของโปรแกรม

ในการพิจารณาการทำงานของโปรแกรมตามแบบจำลองของโนดที่สร้างขึ้นมา เกณฑ์ในการพิจารณาสมรรถนะของโนดต่าง ๆ หรือของเครือข่าย สิ่งสำคัญอันดับแรก คือ การพิจารณาเวลาที่ใช้ในการส่งแพ็คเก็ตจากโนดต้นทางไปยังโนดปลายทางจะใช้เวลาเท่าใด ซึ่งพิจารณาได้จากหัวข้อที่ 5 ในรูปที่ 6.3 คือ Mean Packet Delay (in network) โดยเปรียบเทียบกับ Network Throughput ดังรูปที่ 6.4 (ก) จะพบว่าค่าของ Mean Packet Delay จะแปรตามจำนวน Network Throughput กล่าวคือ ถ้าค่า Network Throughput มีค่าสูงขึ้นค่าของ Mean Packet delay ก็จะมีค่าสูงตามไปด้วย ทำให้เราสามารถคาดคะเนได้ว่า ถ้าเรากำหนดค่า Network Throughput ที่สนใจ ค่าของ Mean Packet Delay จะเป็นเท่าใด ดังรูปที่ 6.4 (ข)



(ก) แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่าง Mean Packet Delay กับ Network Throughput

Network Throughput (Packet)	Mean Packet Delay (Sec)
2	0.18 - 0.24
3	0.30
4	0.33 - 0.40
5	0.42 - 0.50
6	0.52

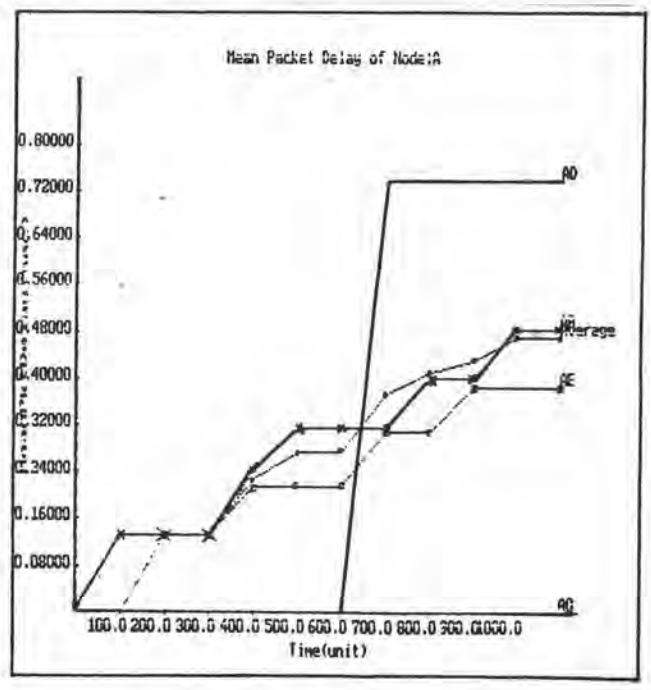
(ข) ตารางแสดงค่า Mean Packet Delay กับ Network Throughput

รูปที่ 6.4 การพิจารณาค่า Mean Packet Delay ของเครือข่าย

สิ่งสำคัญอันดับที่สองคือ การพิจารณาค่าหน่วงเวลาในการส่งแพ็คเก็ตจากโนดหนึ่งไปยังอีกโนดหนึ่งจะใช้เวลาเท่าใด ซึ่งพิจารณาได้จากหัวข้อที่ 4 ในรูปที่ 6.3 คือ Mean Packet Delay in Each Node ดังรูปที่ 6.5 แสดงตัวอย่างของโนด จะแสดงค่าหน่วงเวลาในการส่งแพ็คเก็ตจากโนด A ไปยังโนด B, C, D และ E ตามลำดับ รวมทั้งการหาค่าเฉลี่ยของค่าหน่วงเวลาในการส่งแพ็คเก็ตจากโนด A ไปยังโนดต่าง ๆ

Mean Packet Delay of Node:A

Time(unit)	AB	AC	AD	AE	Averag
0.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
100.0	0.13000	0.00000	0.00000	0.00000	0.13000
200.0	0.13000	0.00000	0.00000	0.13000	0.13000
300.0	0.13000	0.00000	0.00000	0.13000	0.13000
400.0	0.24000	0.00000	0.00000	0.21400	0.22700
500.0	0.31333	0.00000	0.00000	0.21400	0.27360
600.0	0.31333	0.00000	0.00000	0.21400	0.27360
700.0	0.31333	0.00000	0.73800	0.30900	0.37214
800.0	0.40075	0.00000	0.73800	0.30900	0.40850
900.0	0.40075	0.00000	0.73800	0.38400	0.43078
1000.0	0.48060	0.00000	0.73800	0.38400	0.46770



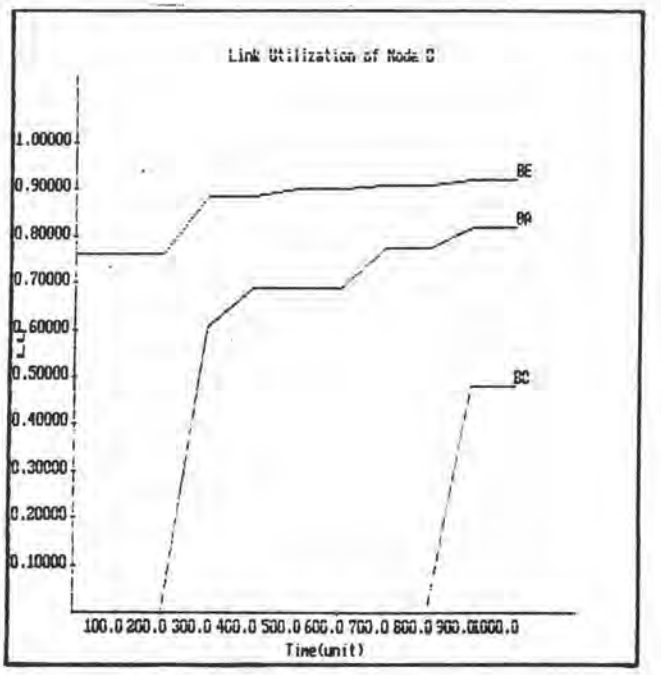
รูปที่ 6.5 การพิจารณาค่า Mean Packet Delay จากโนด A

สิ่งสำคัญอันดับที่สามคือ การพิจารณาค่าประสิทธิภาพการใช้ช่องสื่อสารของแต่ละโนดมีค่าเท่าใด ซึ่งพิจารณาได้จากหัวข้อที่ 2 ในรูปที่ 6.3 คือ Link Utilization

รูปที่ 6.6 แสดงตัวอย่างของโนด B สามารถพิจารณาค่าประสิทธิภาพการใช้งานของช่องสื่อสาร BA, BC และ BE ตามลำดับ

Link Utilization of Node B

Time(unit)	BA	BC	BE
0.0	0.00000	0.00000	0.76220
100.0	0.00000	0.00000	0.76220
200.0	0.00000	0.00000	0.76220
300.0	0.60533	0.00000	0.88443
400.0	0.68934	0.00000	0.88443
500.0	0.68934	0.00000	0.89928
600.0	0.68934	0.00000	0.89928
700.0	0.77447	0.00000	0.90799
800.0	0.77447	0.00000	0.90799
900.0	0.82006	0.47893	0.92081
1000.0	0.82006	0.47893	0.92081



รูปที่ 6.6 การพิจารณาค่า Link Utilization ของโนด B

สำหรับการพิจารณาในหัวข้อการเปรียบเทียบระหว่างการรับแพ็คเก็ตจากโฮสกับการส่งแพ็คเก็ตไปให้โฮส ซึ่งพิจารณาได้จากหัวข้อที่ 3 ในรูปที่ 6.3 คือ Packet Generate VS Network Throughput กล่าวคือเป็นการเปรียบเทียบอินพุตและเอาพุตของเครือข่าย สำหรับรูปแสดงไว้ในผนวกที่ 2

นอกจากนั้นแล้วยังสามารถศึกษาและวิเคราะห์การทำงานของแต่ละโนดอย่างละเอียดด้วยการทำงานของโปรแกรมในภาวะข้อความ เพื่อที่จะศึกษาหลักการทำงานของโนดโดยรู้สถานะการทำงานของโนดและการแสดงผลข้อมูลสถิติอย่างละเอียดดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 6.3 และภาคผนวกที่ 2

ในหัวข้อที่ 4.2 เราได้กำหนดเวลาของสถานะการทำงานของหน่วยต่าง ๆ ในโนด เราสามารถคาดคะเนค่าสถิติต่าง ๆ ได้ เช่น แพ็คเก็ตที่ส่งผ่านเครือข่ายตามรูปที่ 6.2 จะมีค่าหน่วงเวลาต่ำสุดในแต่ละโนดประมาณ 0.01 - 0.02 วินาที ซึ่งขึ้นอยู่กับแต่ละหน้าที่ที่โนดนั้นให้บริการ และถ้าเป็นหน้าที่ในการรับส่งแพ็คเก็ตระหว่างโนด จะต้องรวมเวลาที่ใช้ในการส่งแพ็คเก็ตไปด้วย ดังนี้

- ถ้าช่องสื่อสารมีอัตราเร็ว = 2400 bps จะใช้เวลาในการส่งแพ็คเก็ต = 0.5 sec
- ถ้าช่องสื่อสารมีอัตราเร็ว = 4800 bps จะใช้เวลาในการส่งแพ็คเก็ต = 0.25 sec
- ถ้าช่องสื่อสารมีอัตราเร็ว = 9600 bps จะใช้เวลาในการส่งแพ็คเก็ต = 0.125 sec

การคาดคะเนค่า Network Throughput ของเครือข่ายในช่วงเวลา 1 วินาที โดยกำหนดให้ค่าหน่วงเวลามีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้ในการส่งแพ็คเก็ต จะสามารถหาค่า Network Throughput สูงสุดในช่วงเวลา 1 วินาที = 36 แพ็คเก็ต

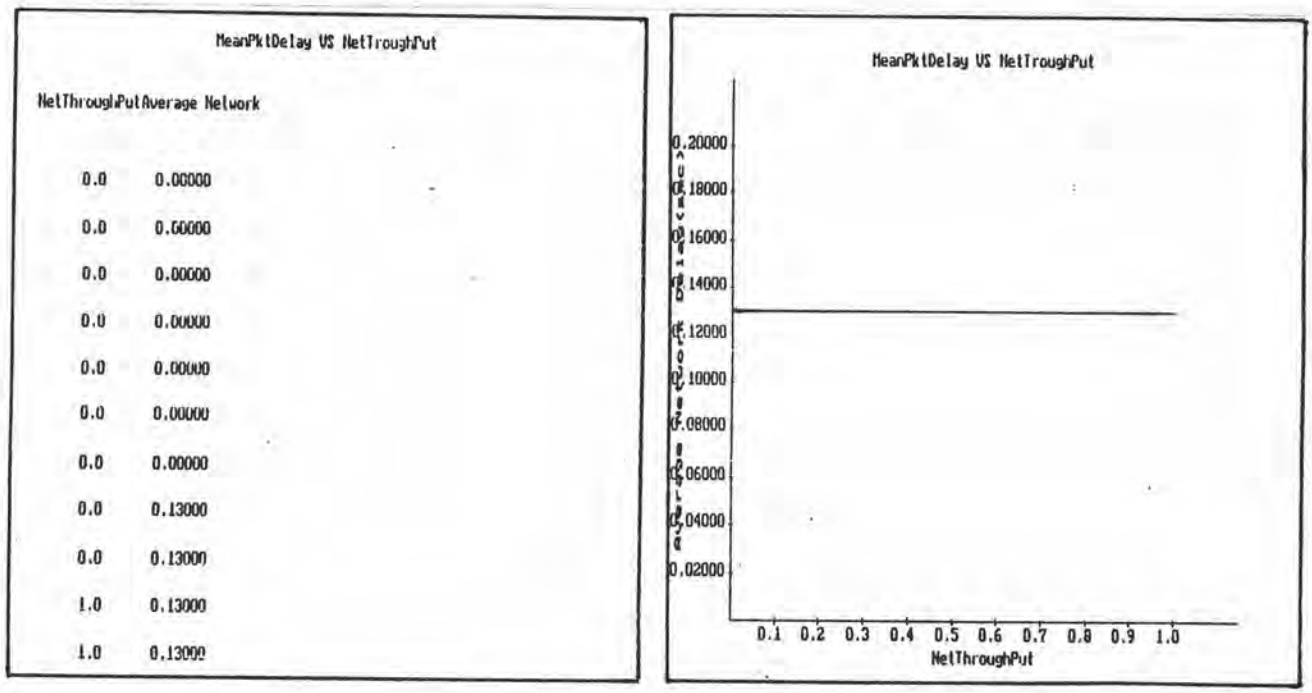
ในการทดสอบการทำงานของโปรแกรมในช่วงเวลา 1000 หน่วยเวลา(1 วินาที) ซึ่งเป็นช่วงที่เริ่มต้นการทำงานทำให้ค่าหน่วงเวลาในแต่ละโนดยังมีค่าไม่สูงนัก จะได้ค่าNetwork Throughput = 29 แพ็คเก็ต ดังนั้นการเปรียบเทียบผลระหว่างการทดสอบและการคาดคะเนถือว่ามีนัยสำคัญที่ใกล้เคียงและให้ผลการทำงานที่ถูกต้อง

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบการนำโนดมาประกอบเป็นเครือข่ายตามรูปที่ 6.2 จะให้ผลการทำงานของเครือข่ายโดยพิจารณาจากค่าสถิติต่าง ๆ เช่น Mean Packet Delay และ Network Throughput เป็นต้น จะให้ค่าที่เหมาะสมและสามารถนำไปต่อใช้งานจริงได้

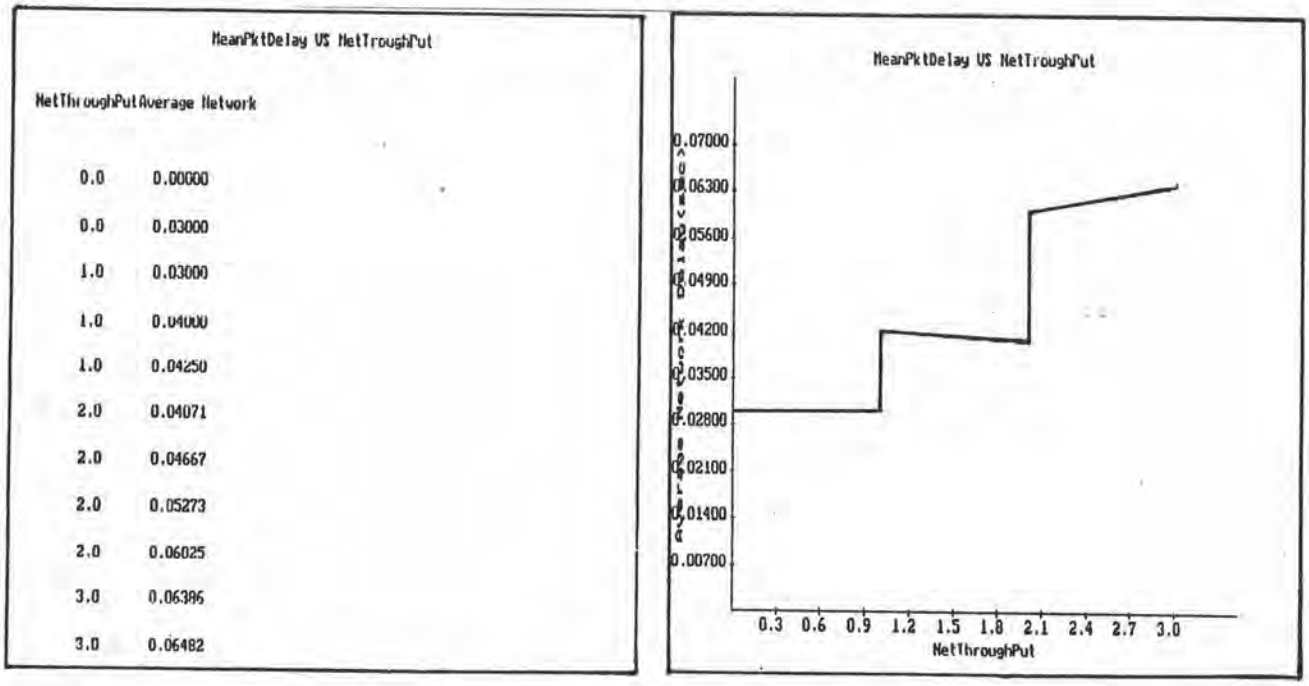
รูปที่ 6.7 เป็นการแสดงตัวอย่างการวิเคราะห์สมรรถนะของเครือข่าย โดยมีตัวแปรคืออัตราเร็วในการส่งข้อมูลที่ต่างกัน คือ แบบปกติ แบบเพิ่มเป็น 5เท่าของปกติ แบบเพิ่มเป็น 10 เท่าของปกติ ดังรูปที่ 6.7 องค์ประกอบและตัวแปรอื่น ๆ เหมือนกันหมด จะให้ผลการทำงานของโปรแกรมดังนี้

- เมื่อสิ้นสุดการทำงานและเวลาในการทำงาน = 0.2 วินาที (10 คาบ) จะได้ค่า Network Throughput = 2, 17 และ 26 แพ็คเก็ตตามลำดับ
- ในช่วงเวลา 0.02 วินาที (1 คาบ) และค่า Network Throughput = 1 จะมีค่า Mean Packet Delay = 0.13, 0.04 และ 0.02 วินาที ตามลำดับ

จะพบว่าถ้าอัตราเร็วในการส่งข้อมูลเพิ่มขึ้น ค่า MeanPacket Delay จะลดลง และค่า Network Throughput จะมีค่าเพิ่มขึ้น



(ก) อัตราเร็วในการส่งข้อมูลแบบปกติ

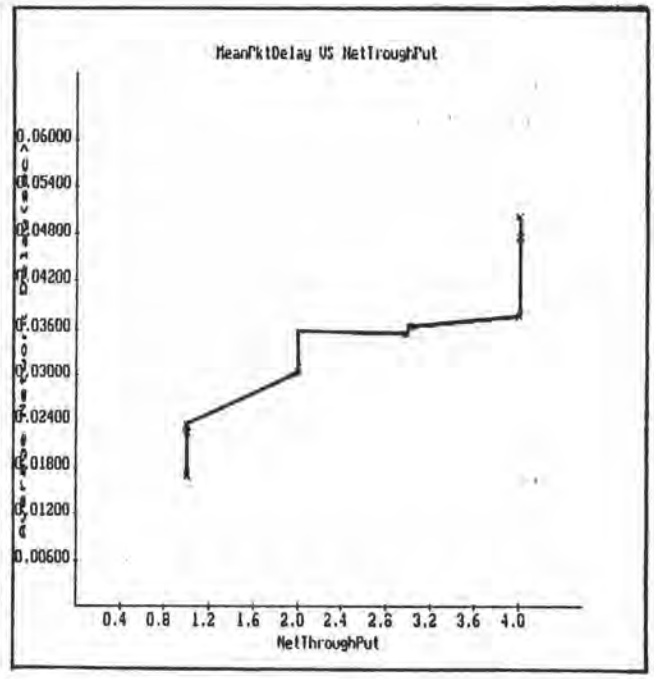


(ข) อัตราเร็วในการส่งข้อมูลแบบเพิ่มเป็น 5 เท่าของปกติ

รูปที่ 6.7 แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์สมรรถนะของ
เครือข่ายที่มีอัตราเร็วในการส่งข้อมูลต่างกัน (ต่อ)

MeanPktDelay VS NetThroughPut

NetThroughPut	Average Network
1.0	0.01700
1.0	0.02314
1.0	0.02350
1.0	0.02350
2.0	0.03022
2.0	0.03575
3.0	0.03531
3.0	0.03607
4.0	0.03761
4.0	0.04788
4.0	0.05014



(ค) อัตราเร็วในการส่งข้อมูลแบบเพิ่มเป็น10 เท่าของปกติ

รูปที่ 6.7 แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์สมรรถนะของ
เครือข่ายที่มีอัตราเร็วในการส่งข้อมูลต่างกัน

6.5 สรุปผล

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้กล่าวถึงการสร้างแบบจำลองของโนดสำหรับเครือข่ายการสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเก็ต โดยเสนอส่วนประกอบแบบจำลองของโนด ประกอบด้วย 3 หน่วย คือ หน่วยเชื่อมต่อกับผู้ใช้ หน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่าย และหน่วยควบคุมการทำงานของโนด การออกแบบแบบจำลองของโนดนี้จะพิจารณาในระดับตรรกะเท่านั้น จะไม่พิจารณาถึงระดับกายภาพ และสามารถครอบคลุมหน้าที่การทำงานของโนดที่สำคัญ ดังนี้ การกำหนดเส้นทางแบบตายตัวที่มีเส้นทางหลักและเส้นทางรอง การจัดการบัฟเฟอร์ของโนดแบบ FIFO เพื่อนำแพ็กเก็ตมาเก็บไว้ในคิวรอการส่งออก รวมทั้งการควบคุมการเดินทางและความผิดพลาดในการรับส่งแพ็กเก็ต การทำงานในหน่วยต่าง ๆ ของโนดแสดงการทำงานโดยใช้แผนภูมิสถานะ และอธิบายการทำงานนั้นด้วยซอฟต์แวร์โมดูลหลักที่พัฒนาขึ้น

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองนำแบบจำลองของโนดมาประกอบเป็นเครือข่าย โดยได้เขียนซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงานของทุกโนดและเก็บข้อมูลสถิติเพื่อวัดสมรรถนะและพฤติกรรมของเครือข่าย เช่น Network Throughput, Link Utilization, Delay Time และอื่นๆ การทดสอบสำหรับหาค่าสถิติเหล่านี้ เราได้จำลองการป้อนแพ็กเก็ตแบบสุ่มให้กับโนดต่าง ๆ

ซอฟต์แวร์โมดูลหลักที่พัฒนาขึ้นเป็นแบบจำลองทางซอฟต์แวร์และสามารถแทนการทำงานของแบบจำลองของโนดที่สร้างขึ้นมาได้ และเมื่อนำแบบจำลองของโนดมาประกอบเป็นเครือข่าย จะสามารถศึกษาหลักการทำงาน คุณลักษณะพิเศษเฉพาะ และพฤติกรรมของเครือข่ายการสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเก็ต ทำให้มีความเข้าใจกระบวนการทำงานของเครือข่าย โดยรู้สถานะการทำงานและข้อมูลสถิติเพื่อวัดสมรรถนะของเครือข่ายการสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเก็ต ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นมานี้ทำให้มีเครื่องมือทางซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงาน และแสดงผลการทำงานของเครือข่ายการสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเก็ต

6.6 ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการสร้างแบบจำลองของโนด ประการแรกคือเทคโนโลยีในการสร้างและพัฒนาโนดนั้นไม่มีมาตรฐานที่จะกำหนดเป็นการเฉพาะ มาตรฐานที่เป็นบรรทัดฐานก็ยังเป็นระบบที่เปิดกว้างให้แก่ผู้ผลิตต่าง ๆ ที่จะพัฒนาเทคนิคและวิธีการกันขึ้นมาเอง ดังนั้นข้อมูลและรายละเอียดของเทคนิคและวิธีการในการสร้างและพัฒนาโนดจึงอยู่ในวงจำกัดและไม่เป็นที่เปิดเผยเท่าที่ควร

ในงานวิจัยนี้จึงเป็นการเสนอวิธีการที่เป็นไปได้และให้ผลสำเร็จได้ในระดับหนึ่ง กล่าวคือ แบบจำลองของโนดที่สร้างขึ้นมานี้ให้ประสิทธิภาพในการทำงานที่ยอมรับได้

ปัญหาประการที่สอง คือวิธีการในการจำลองการทำงานแบบขนานซึ่งเป็นการนำโนดมาประกอบเป็นเครือข่าย การตัดสินใจว่าวิธีการใดจะเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ จะต้องทำการทดสอบและวัดผลความถูกต้องในการจำลองแบบขนาน โดยต้องคำนึงถึงความถูกต้องในการปฏิบัติงานได้จังหวะกันของโนดต่าง ๆ ที่ประกอบเป็นเครือข่าย การทดสอบนั้นต้องอาศัยความพยายามและเวลาเป็นจำนวนมาก

ในงานวิจัยนี้จึงไม่สามารถที่จะทดสอบได้อย่างละเอียด ทำได้แต่เพียงการตรวจสอบผลข้อมูลสถิติที่เก็บไว้เปรียบเทียบกับการคาดคะเนความเป็นไปได้ และตรวจสอบจากสถานะการทำงานของโนดตามที่ได้ออกแบบไว้ว่ามีความถูกต้อง

อย่างไรก็ตามแม้การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเพียงขั้นแรกในการสร้างแบบจำลองของโนดสำหรับเครือข่ายการสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเก็ตเท่านั้น แต่ก็สามารถนำไปใช้ศึกษาหลักการทำงานและพฤติกรรมของโนดรวมทั้งเครือข่ายได้เป็นอย่างดี และเป็นพื้นฐานในการพัฒนาแบบจำลองของโนด ให้มีความสามารถในการทำงานที่สูงกว่านี้ต่อไปในอนาคต

6.7 ข้อเสนอแนะในการพัฒนางานวิจัย

- พัฒนาแบบจำลองของโนดให้มีหน้าที่การทำงานที่มีความยืดหยุ่น โดยให้ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนโครงสร้างและหน้าที่การทำงานของโนดได้
- พัฒนาขีดความสามารถในการนำแบบจำลองของโนดมาประกอบเป็นเครือข่ายได้อย่างอิสระ ขึ้นกับการออกแบบเครือข่ายของผู้ใช้
- พัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงานของทุกโนดให้สามารถตรวจสอบและวัดผลความถูกต้องได้โดยง่าย
- พัฒนาแบบจำลองของโนด ไม่จำกัดเฉพาะการทำงานด้านการสื่อสารข้อมูล แต่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านอื่น เช่น ระบบการจราจร ระบบการผลิตในโรงงาน เป็นต้น