

การออกแบบและวิเคราะห์ทางสถาปัตยกรรมของเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์
ด้วยระบบซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์

DESIGN AND ANALYSIS ON COMPUTER COMMUNICATION
NETWORKS ARCHITECTURE BY COMPUTER SOFTWARE



นายศักดิ์ชัย ทิพย์จักษ์มูรัตน์

MR. SAKCHAI THIPCHAKSURAT



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2539

ISBN 974-621-583-3

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 26170
น, เดือน, ปี..... 10 ต.ค. 2539

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND ANALYSIS ON COMPUTER COMMUNICATION
NETWORKS ARCHITECTURE BY COMPUTER SOFTWARE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและวิเคราะห์ทางสถาปัตยกรรมของเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์ด้วยระบบซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์
ชื่อนักศึกษา	นายศักดิ์ชัย ทิพย์จักษ์ภูรัตน์
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.รัตติกร วรากุลศิริพันธุ์
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	อิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ.	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2539

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการสื่อสารนับว่ามีความสำคัญมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสื่อสารทางด้านคอมพิวเตอร์ ซึ่งจุดมุ่งหมายในการนำคอมพิวเตอร์ที่อยู่ต่างสถานที่กันมาเชื่อมต่อกันผ่านตัวกลางสื่อสารเป็นลักษณะของเครือข่ายสื่อสารนั้นเป็นการจัดสรรการใช้งานทรัพยากรซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์เพื่อจุดประสงค์ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารซึ่งกันและกัน ซึ่งการที่เครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์ใดๆ จะบรรลุถึงซึ่งจุดประสงค์ดังกล่าวได้นั้น โครงสร้างโดยรวมหรือสถาปัตยกรรมของเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์นั้น จะต้องได้รับการออกแบบและการวิเคราะห์ในการเชื่อมต่อที่เหมาะสม ซึ่งเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์ที่ได้รับการออกแบบและวิเคราะห์ที่เหมาะสมจะส่งผลให้เครือข่ายนั้นมีประสิทธิภาพที่สูงและประหยัดค่าใช้จ่ายในการสังเคราะห์เครือข่ายขึ้น และยังเป็นประโยชน์ในการขยายเพิ่มเติมเครือข่ายในอนาคต

ในการออกแบบทางสถาปัตยกรรมของเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์ สิ่งแรกที่ต้องวิเคราะห์และพิจารณาคือ โครงสร้างของเครือข่าย กล่าวคือต้องกำหนดลักษณะของการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ เหล่านั้นให้เหมาะสม โดยคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ดังนี้ ความเชื่อถือได้ของเครือข่าย เวลาที่สูญเสียไปในการส่งผ่านข่าวสาร ความสมบูรณ์ของข้อมูลข่าวสารที่ส่งจากสถานีต้นทางไปยังสถานีปลายทาง ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการสังเคราะห์เครือข่ายขึ้น นอกจากนี้จะต้องพิจารณาถึงปัจจัยอื่นๆ ที่มีความสัมพันธ์กับโครงสร้างของเครือข่ายด้วย เช่น เน็ตเวิร์ค โนด สายนำสัญญาณ เป็นต้น ซึ่งต้องอาศัยผู้ที่มีความรู้ความสามารถ ตลอดจนความชำนาญทางด้านเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์เป็นผู้ออกแบบเครือข่ายเพราะขั้นตอนในการออกแบบจะต้องมีการออกแบบโครงสร้างของเครือข่าย และต้องมีการคำนวณหาค่าต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเครือข่าย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สื่อสารคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้มาซึ่งประสิทธิภาพที่สูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้: อย่างไรก็ตามขั้นตอนในการคำนวณค่อนข้างจะมีความยุ่งยากและซับซ้อนเพราะมีองค์ประกอบหลายอย่างที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเครือข่าย ดังนั้นถ้ามีเครื่องมือบางอย่างที่ช่วยให้บุคคลากรสามารถออกแบบและวิเคราะห์ทางสถาปัตยกรรมของเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์ได้สะดวกและง่ายขึ้น จะทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการออกแบบ และการติดตั้งระบบจริง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้เสนอวิธีการออกแบบและวิเคราะห์ทางสถาปัตยกรรมของเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์ตามสภาพความเป็นจริงด้วยระบบซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ การวิจัยและพัฒนาระบบซอฟต์แวร์นี้ จะเน้นถึงองค์ประกอบและตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้งานของเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์ โดยแบ่งการออกแบบเป็นส่วนๆ ตามลำดับความสำคัญ พร้อมกับการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในแต่ละส่วนภายใต้องค์ประกอบและตัวแปรที่เกี่ยวข้อง แล้วแสดงผลการวิเคราะห์ในรูปของโครงสร้างเครือข่าย และกราฟหรือตารางแสดงค่าประสิทธิภาพของการใช้งานเครือข่ายนั้นๆ องค์ประกอบและตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบและวิเคราะห์นี้ จะกำหนดจากผู้ออกแบบ ดังนั้นจึงเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงตามสภาพความเป็นจริงได้ ระบบซอฟต์แวร์ช่วยออกแบบนี้ จะทำการวิเคราะห์หาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด โดยมีการทดสอบผลลัพธ์ด้วยการจำลองสถานการณ์ แล้วแสดงผลบนจอมอนิเตอร์ ทำให้ผู้ออกแบบเห็นผลลัพธ์ก่อนการตัดสินใจได้ตามความต้องการเพื่อการติดตั้งระบบจริงต่อไป เป็นการประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย ตลอดจนสะดวกต่อการเปลี่ยนแปลงหรือขยายขอบเขตการใช้งานของเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์ในอนาคต

Thesis Title	Design and Analysis on Computer Communication Networks Architecture by Computer Software
Student	Mr.Sakchai Thipchaksurat
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Ruttikorn Varakulsiripunth
Level of Student	Master of Engineering in Electrical Engineering
Department	Electronics, Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Year	1996

Abstract

In the present, the telecommunication networking becomes a very important media for computer communication networks. The main objective of interconnecting different computer systems, which are in different locations, together via telecommunication media is to share useful software and hardware resources of each other sites as well as to exchange data information with each others. In order to achieve these purposes in successfully, the global structure or the architecture of computer communication network have to be considered on networking design and analysis in properly. The appropriate designed and analized computer communication networks will result in good operating performance and economize the expense of establishment, and also useful for future expansion.

On the computer communication network architecture design and analysis, the first step is network's topology consideration. The best interconnection base on good requirements is the main objective, such as high reliability, low transmission delay and high throughput achievement. The other steps of design and analysis which will concern with network topology should be mentioned on network's node, transmission line capacity and so on. A professional computer network analyst is needed since all of the possible effective variables of network's efficiency have to be considered in order to achieve a high performance as possible as. However, the mathematical procedures are very complicated and difficult because there are many factors that will effect on network's performance. Therefore, if there is a tool which can

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

support human to design and analyze the architecture of computer communication networks conveniently and easily, the time and expenses for designing and establishing the real system will be economized.

This thesis has presented a design and analysis on the architecture of computer communication networks in accordance with practical conditions by computer software system. This software system is researched and developed with emphasis on various factors and variables which have effective on the operation of computer communication networks. The designing is divided partly in according to its importance, respectively. At the same time, the mathematical analysis of each part is performed based on concerned factors and variables. Finally, the analysis results are shown as the structure or topology of network and as a graph or table of network's performance characteristics. The factors and variables which used for design and analysis are decided by designers. Therefore, they can be changed or updated in according to the practical conditions. This software aided design system will analyze to achieve an optimal result and approved by simulation test and then display the results on monitor. Designer can see the results before making the decision of establishing the real system. This will save time and expenses and also be convenience for the improvement or expansion on application of computer communication networks in the future.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จเป็นรูปเล่มได้ด้วยดี ผู้เขียนขอขอบพระคุณทุกท่าน ดังต่อไปนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ผู้ซึ่งให้โอกาสในการเล่าเรียน รวมทั้งให้กำลังใจเสมอมา อันเป็นแรงบันดาลใจให้ข้าพเจ้ามีมานะในการทำวิจัย และเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

รองศาสตราจารย์ ดร.รัตติกกร วรากุลศิริพันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางและให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัย ทั้งเอื้ออำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ต่างๆ ที่ช่วยในการทำวิจัย รวมทั้งตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ ที่สนับสนุนอุปกรณ์และสถานที่ทำการวิจัย

มูลนิธิเพื่อการศึกษาคอมพิวเตอร์และการสื่อสาร ที่สนับสนุนทุนวิจัย

ขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ

ท้ายนี้ ผู้เขียนขอขอบพระคุณ

- รองศาสตราจารย์ ดร.รัตติกกร วรากุลศิริพันธุ์
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญวัฒน์ อัดชู
- รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ
- ดร.บุญธีร์ เครือตราฐ
- ดร.เอื้อน ปิ่นเงิน

ที่ให้ความกรุณามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ศักดิ์ชัย ทิพย์จักรรัตน์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	IX
บทที่	
1. บทนำ.....	1
ความเป็นมาของวิทยานิพนธ์.....	1
จุดประสงค์และขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	4
โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	5
2. ระบบการออกแบบ โครงสร้างเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์.....	6
บทนำ.....	6
ขบวนการสร้างข้อมูลแผนที่.....	7
ขบวนการกำหนดตำแหน่งของคอนเซนทร์เตอร์.....	17
ขบวนการกำหนดการเชื่อมต่อคอนเซนทร์เตอร์กับกลุ่ม โนด.....	21
ขบวนการลดจำนวนคอนเซนทร์เตอร์.....	22
ขบวนการปรับปรุงรูปแบบการเชื่อมต่อคอนเซนทร์เตอร์กับกลุ่ม โนด.....	22
ขบวนการกำหนดการเชื่อมต่อระหว่างคอนเซนทร์เตอร์.....	24
การกำหนดอัตราเฉลี่ยของการส่งข้อมูลของ โนด.....	24
การกำหนดค่าความจุขั้นต่ำของสายนำสัญญาณ.....	26
3. ระบบการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์.....	28
บทนำ.....	28
ค่าใช้จ่ายจาก โครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบ.....	29
เวลาของการส่งผ่านข้อมูลภายในเครือข่าย.....	39
อัตราการใช้งานเครือข่าย.....	52

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่		
	เนื้อหาของบัพเฟออร์ภายในคอนเสิร์ตเตอร์.....	57
4.	การพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อช่วยออกแบบเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์.....	64
	บทนำ.....	64
	การออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์ของระบบ.....	64
	การใช้งานซอฟต์แวร์ของระบบ.....	84
	ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบ.....	106
5.	บทสรุป.....	107
	บทนำ.....	107
	ประโยชน์ที่ได้รับ.....	108
	การนำผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้กับงานอื่น.....	109
	บรรณานุกรม.....	111
	ประวัติผู้เขียน.....	112

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

1	แสดงการคำนวณค่าใช้จ่ายจากโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบในภาพที่ 9 โดยกำหนดราคาของสายนำสัญญาณ 500 บาท/เมตร.....	37
2	แสดงการคำนวณค่าใช้จ่ายจาก โครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบในภาพที่ 10 โดยกำหนดราคาของสายนำสัญญาณ 500 บาท/เมตร.....	38
3	แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพต่างๆ ของโครงสร้างเครือข่ายทั้ง 2 แบบ.....	106



สารบัญญภาพ

หน้า

1. แสดงโครงสร้างแบบระบบกระจายรวมศูนย์.....	3
2. แสดงขั้นตอนการออกแบบและวิเคราะห์เครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์ของวิทยานิพนธ์.....	4
3. แสดงขั้นตอนการกำหนดตำแหน่ง โหนด โดยผู้ใช้กำหนดตำแหน่งบนจอภาพคอมพิวเตอร์.....	8
4. แสดงตัวอย่างแผนที่จริง.....	9
5. แสดงการหาระยะทางระหว่าง โหนด A และ B.....	11
6. แสดงตัวอย่างตำแหน่ง โหนดต่าง ๆ.....	12
7. แสดงระยะทางระหว่าง โหนดในรูปของเมตริกซ์.....	13
8. แสดงโพลีชาร์ตของการหา Minimum Link Capacity.....	27
9. แสดงตัวอย่าง โครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบ.....	31
10. แสดงการปรับปรุงแบบการเชื่อมต่อคอนเซนที่เตอร์กับกลุ่มโหนด.....	34
11. แสดง โมเดลและการวิเคราะห์.....	40
12. แสดง Queueing Model ของคอนเซนที่เตอร์.....	42
13. แสดง State-Transition Rate Diagram for M/M/1 Queueing Systemy.....	43
14. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Blocking Probability กับขนาดของบัฟเฟอร์.....	60
15. แสดงขั้นตอนการทำงานของซอฟต์แวร์ระบบ.....	66
16. แสดงโพลีชาร์ตส่วนการสร้างข้อมูลแผนที่.....	67
17. แสดงโพลีชาร์ตขั้นตอนโดยรวมของการเลือกคอนเซนที่เตอร์.....	68
18. แสดงโพลีชาร์ตการหาโหนดใกล้เคียงของแต่ละ โหนด.....	69
19. แสดงโพลีชาร์ตการหาความถี่ของการปรากฏของแต่ละ โหนด.....	70
20. แสดงโพลีชาร์ตการคำนวณค่าเฉลี่ยของความถี่.....	71
21. แสดงโพลีชาร์ตการเลือกคอนเซนที่เตอร์.....	72
22. แสดงโพลีชาร์ตการเชื่อมต่อ โหนดกับคอนเซนที่เตอร์.....	73
23. แสดงโพลีชาร์ตการลดคอนเซนที่เตอร์.....	74
24. แสดงโพลีชาร์ตปรับปรุงรูปแบบการเชื่อมต่อ โหนดกับคอนเซนที่เตอร์ใหม่.....	76
25. แสดงโพลีชาร์ตการเชื่อมต่อคอนเซนที่เตอร์.....	77

26. แสดงโพลีชาร์ตการคำนวณค่าใช้จ่ายจากเครือข่าย.....
ไม่ว่าการณีโดยทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

หน้า

27. แสดงโพลีชาร์ตการคำนวณเวลาของการส่งผ่านข้อมูลภายในเครือข่าย.....	81
28. แสดงโพลีชาร์ตการคำนวณอัตราการใช้งานเครือข่าย.....	83
29. แสดงโพลีชาร์ตการคำนวณเนื้อที่ของบัฟเฟอร์ภายในคอนเซ้นท์เตอร์.....	85
30. แสดงขั้นตอนการเรียกใช้ซอฟต์แวร์ของระบบ.....	86
31. แสดงหน้าจอแรกของระบบ.....	87
32. แสดงเมนูสั่งงานของระบบ.....	88
33. แสดงการเข้าสู่เมนูการโหลดแผนที่.....	89
34. แสดงการเลือกแฟ้มข้อมูลภาพแผนที่.....	90
35. แสดงหน้าจอให้ผู้ผู้กำหนดรายละเอียดแผนที่.....	91
36. แสดงการกำหนดตำแหน่งโหนดบนจอภาพ.....	92
37. แสดง Configuration ของระบบ.....	93
38. แสดงเมนูการ Design.....	94
39. แสดงหน้าจอการเลือกคอนเซ้นท์เตอร์.....	95
40. แสดงผลจากการประมวลผลการเลือกตำแหน่งคอนเซ้นท์เตอร์.....	96
41. แสดงตำแหน่งคอนเซ้นท์เตอร์ที่ระบบทำการเลือกให้.....	98
42. แสดงการเชื่อมต่อคอนเซ้นท์เตอร์กับกลุ่มโหนดก่อนทำการลดคอนเซ้นท์เตอร์.....	99
43. แสดงโครงสร้างเครือข่ายที่ได้หลังจากลดจำนวนคอนเซ้นท์เตอร์.....	100
44. แสดงโครงสร้างเครือข่ายที่ปรับปรุงการเชื่อมต่อ.....	101
45. แสดงโครงสร้างเครือข่ายหลังจากทำการเชื่อมต่อระหว่างคอนเซ้นท์เตอร์.....	102
46. แสดงโครงสร้างเครือข่ายที่ปรับปรุงหลังจากทำการเชื่อมต่อระหว่างคอนเซ้นท์เตอร์.....	103
47. แสดงรายการ โหนดแยกตามคอนเซ้นท์เตอร์.....	104
48. แสดงการคำนวณค่าใช้จ่ายจาก โครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบ.....	104
49. แสดงการคำนวณ Delay time และ Utilization ของ โครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบ.....	105
50. แสดงขนาดของบัฟเฟอร์ของแต่ละคอนเซ้นท์เตอร์ หน่วย ไบท์.....	105

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของวิทยานิพนธ์

ปัจจุบันหลายๆ องค์กร ไม่ว่าจะ เป็นองค์กรที่เป็นหน่วยงานของรัฐและองค์กรเอกชน ได้มีการนำเอาคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานอย่างแพร่หลาย โดยการใช้งานคอมพิวเตอร์ในระยะเริ่มแรกเป็นการใช้งานแบบแยกกันทำงาน (Stand Alone) ซึ่งในสภาพการใช้งานจริงคอมพิวเตอร์เหล่านี้จะถูกติดตั้งไว้ในสถานที่ต่างๆ กัน ตัวอย่างเช่น ในบริษัทหนึ่งมีอยู่หลายแผนก เช่น แผนกบัญชี แผนกบุคคล หรือคลังสินค้า เป็นต้น และแต่ละแผนกก็มีคอมพิวเตอร์ใช้งานของตนเอง ข้อมูลที่แต่ละแผนกอาจจะมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งในการกำหนดนโยบายโดยรวมของบริษัททั้งบริษัทจำเป็นต้องใช้ความสัมพันธ์ทางข้อมูลของทุกแผนกในบริษัทเพื่อช่วยในการตัดสินใจเพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดแนวทางในการพัฒนาการทำงานของบริษัทหรือกำหนดงบประมาณในด้านต่างๆ ของบริษัทเพื่อให้ได้ประสิทธิผลที่ดีที่สุด และในยุคที่ข้อมูลข่าวสารมีความสำคัญอย่างมาก การติดต่อสื่อสารและแลกเปลี่ยนข่าวสารความรู้ทางวิชาการ ข้อมูลต่างๆ การประสานงานวิจัย การค้นหาข้อมูลจากฐานข้อมูลระยะไกลระหว่างกัน เป็นเรื่องจำเป็นอย่างยิ่ง จากความจำเป็นดังกล่าวจึงเกิดแนวความคิดที่จะทำการเชื่อมโยงคอมพิวเตอร์เข้าด้วยกันเป็นเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์ เพื่อเป็นการจัดสรรทรัพยากร และอำนวยความสะดวกในด้านข้อมูลข่าวสารและซอฟต์แวร์ที่สำคัญร่วมกัน ซึ่งเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์ไม่จำกัดว่าต้องเป็นเพียงคอมพิวเตอร์มาเชื่อมต่อกันเท่านั้น เครือข่ายอาจจะเป็นการเชื่อมต่อกันระหว่างระบบคอมพิวเตอร์กับระบบคอมพิวเตอร์ หรือเครือข่ายสื่อสารท้องถิ่น (LAN) กับเครือข่ายสื่อสารท้องถิ่น

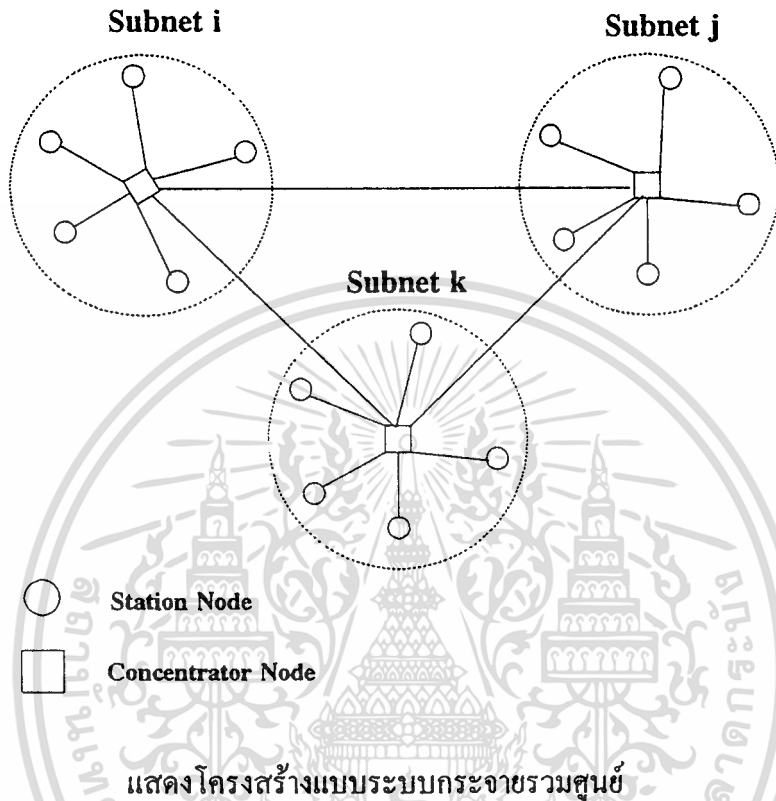
สิ่งที่ปัญหาเบื้องต้นในการออกแบบโครงสร้างเครือข่ายก็คือ จะทำการเชื่อมต่อหน่วยสื่อสารต่างๆ ที่กระจายอยู่ตามพื้นที่ทางภูมิศาสตร์อย่างไร เพื่อที่จะให้ได้โครงสร้างเครือข่ายที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด การใช้ตลอดคืนจนสามารถที่จะเอื้ออำนวยประโยชน์สำหรับการเพิ่มการดำเนินงานไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขยายเครือข่ายในอนาคต ซึ่งลักษณะของการเพิ่มขยายเครือข่ายในอนาคต อาจจะเป็นการเพิ่มจำนวนหน่วยสื่อสารในเครือข่าย การเพิ่มจำนวนสายนำสัญญาณหรือเพิ่มความสามารถของสายนำสัญญาณ เป็นต้น

ดังนั้นถ้าในการออกแบบเครือข่าย ได้มีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมแล้ว จะนำมาซึ่งค่าใช้จ่ายและประสิทธิภาพของเครือข่ายที่เหมาะสมด้วย ซึ่งปกติแล้วการออกแบบเครือข่าย เป็นหน้าที่ของวิศวกรหรือผู้ออกแบบ ที่ต้องเป็นบุคคลที่มีความเชี่ยวชาญเกี่ยวกับเครือข่ายสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์เป็นอย่างดี ซึ่งบทบาทที่สำคัญของผู้ออกแบบเครือข่ายก็คือ การดูแลในการติดตั้งระบบ การบำรุงรักษาระบบ ตลอดจนการแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในเครือข่าย ปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครือข่ายอาจจะเป็นปัญหาที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนมากนัก เช่น การตอบคำถามในข้อสงสัยหรือความสับสนของผู้ใช้เครือข่าย หรือปัญหาที่ค่อนข้างจะมีความยุ่งยากซับซ้อน เช่น ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ที่เป็นองค์ประกอบของเครือข่าย นอกจากนี้การเพิ่มขนาดของเครือข่ายให้มีขนาดใหญ่ขึ้นย่อมจะทำให้ปัญหาต่างๆ เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งทำให้ขอบเขตของบทบาทหน้าที่ของผู้ออกแบบเครือข่ายซับซ้อนขึ้นด้วย และเพื่อทำให้งานเหล่านี้สำเร็จลุล่วงได้ดี

ในสภาพความเป็นจริง ที่ตั้งของหน่วยสื่อสารต่างๆ อาจอยู่ใกล้กันหรือไกลกัน พื้นที่เดียวกันหรือต่างพื้นที่กันก็ได้ แต่อย่างไรก็ตามจุดมุ่งหมายหลักก็คือ ทำอย่างไรจึงจะสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลถึงกันได้หมด การเชื่อมต่อหน่วยสื่อสารที่ง่ายที่สุดคือการเชื่อมต่อแบบถึงกันหมด แต่การเชื่อมต่อลักษณะนี้ต้องใช้สายนำสัญญาณจำนวนมากเกินความจำเป็นทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการเชื่อมต่อที่สูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงขอเสนอวิธีการออกแบบ โครงสร้างเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์ โดยการแบ่งกลุ่มของหน่วยสื่อสารออกเป็นกลุ่มๆ และทำการกำหนดตัวแทนของหน่วยสื่อสารเรียกว่า โหนดศูนย์กลาง และในการติดต่อสื่อสารจะกระทำผ่านโหนดศูนย์กลาง จึงเกิดเป็นกลุ่มของหน่วยสื่อสารเรียกว่า เครือข่ายย่อย (Subnet) ซึ่งพื้นที่ที่จะเชื่อมต่ออาจจะเป็นพื้นที่ขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ ดังนั้นจะมีเครือข่ายย่อยหลายกลุ่ม เมื่อทำการเชื่อมต่อโหนดศูนย์กลางต่างๆ เข้าด้วยกันก็จะได้เครือข่ายขนาดใหญ่ ซึ่งเรียกการเชื่อมต่อดังกล่าวว่า “โครงสร้างแบบระบบกระจายรวมศูนย์ (Concentrator Oriented Distributed System) ดังแสดงในภาพที่ 1

ภาพที่ 1



จากภาพที่ 1 เป็นการเชื่อมต่อเครือข่ายย่อย 3 เครือข่ายเข้าด้วยกัน ถ้าพิจารณาแต่ละเครือข่ายย่อยจะพบว่า ภายในเครือข่ายย่อยประกอบด้วย หน่วยสื่อสารต่างๆ ซึ่งจะขอใช้นิยาม “โนด (Node)” แทนหน่วยสื่อสาร ซึ่งโนดในที่นี้จะมีความหมายในสิ่งต่อไปนี้คือ

- คอมพิวเตอร์
- ระบบคอมพิวเตอร์
- เครือข่ายคอมพิวเตอร์ท้องถิ่น (Local Area Network) เป็นต้น

โนดที่เป็นโนดศูนย์กลางของกลุ่มเรียกโนดนี้ว่า คอนเซนทริเตอร์ (Concentrator) ซึ่งเป็นโนดศูนย์กลางที่มีความสำคัญต่อโครงสร้างระบบกระจายรวมศูนย์ ซึ่งถูกออกแบบมาให้เป็นโนดศูนย์กลางของสแตชันโนด ทำหน้าที่เป็น สวิตชิงโนด (Switching Node) โนดควบคุม (Control Node) , ส่งผ่านข้อมูลไปให้โนดข้างเคียงตลอดจนยังเป็นโนดสร้างข้อมูลหรือรับข้อมูลได้ด้วย

นี่เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 จุดประสงค์และขอบเขตของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอผลงานวิจัยในการพัฒนาระบบซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์ โดยจะทำการเชื่อมโยงโหนดต่างๆ โดยพิจารณาจากตำแหน่งที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ของโหนดประกอบกับความสามารถในการเชื่อมต่อกับโหนดใกล้เคียงในรูปของความถี่ และจะทำการเลือกตัวแทนของโหนดเป็นศูนย์กลางเพื่อทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการส่งผ่านข้อมูล หลังจากนั้นจะทำการเชื่อมต่อ โหนดศูนย์กลางเหล่านี้เข้าด้วยกันเป็นเครือข่ายขนาดใหญ่ และสุดท้ายจะมีการประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้างของเครือข่ายที่ออกแบบในรูปของค่าใช้จ่ายจากเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์ เวลาของการส่งผ่านข้อมูล อัตราการใช้งานเครือข่าย ซึ่งขั้นตอนการออกแบบแสดงได้ดังภาพที่ 2

ภาพที่ 2



แสดงขั้นตอนการออกแบบและวิเคราะห์เครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์ของวิทยานิพนธ์

ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นช่วยในการตัดสินใจ สามารถออกแบบและวิเคราะห์ได้รวดเร็ว ประหยัดเวลา นอกจากนี้ยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการออกแบบอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 โครงร่างวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยบทต่างๆ ดังนี้

บทที่ 1 จะกล่าวถึงบทนำและโครงร่างวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 จะกล่าวถึงระบบการออกแบบโครงสร้างเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์

บทที่ 3 จะกล่าวถึงระบบการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์

บทที่ 4 จะกล่าวถึงการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อช่วยออกแบบเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์

บทที่ 5 จะกล่าวถึงบทสรุป



บทที่ 2

ระบบการออกแบบโครงสร้างเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์

2.1 บทนำ

การออกแบบโครงสร้างเครือข่ายเป็นการกำหนดลักษณะการเชื่อมต่อโนดต่างๆ ด้วยสายนำสัญญาณ (Transmission Line) และกำหนดความจุของสายนำสัญญาณ (Transmission Line Capacity) ที่นำมาเชื่อมต่อโนด ซึ่งการออกแบบโครงสร้างเครือข่ายนี้เป็นขั้นตอนสำคัญขั้นตอนหนึ่งของการออกแบบเครือข่าย การออกแบบโครงสร้างเครือข่ายที่เหมาะสมจะนำมาซึ่งประสิทธิภาพของเครือข่าย และยังสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการส่งกระแสเครือข่ายด้วย ตำแหน่งโนด การเชื่อมต่อสายนำสัญญาณ และความเร็วของสายนำสัญญาณ (Transmission Line Speed) จะเป็นปัจจัยกำหนดเวลาในการส่งข้อมูลข่าวสารผ่านเครือข่าย (Delay Time) ดังนั้นวิธีการออกแบบโครงสร้างเครือข่ายต้องมีการเลือกสายนำสัญญาณและความจุของสายนำสัญญาณภายใต้เงื่อนไขต่างๆ เช่น การเชื่อมต่อ เวลาของการส่งผ่านข้อมูลในเครือข่าย ค่าใช้จ่าย (Cost) และอัตราการใช้งานในเครือข่าย (Utilization) ซึ่งหลักการที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างเครือข่ายควรจะสามารถรองรับการขยายเครือข่ายในอนาคต ซึ่งการขยายเครือข่ายอาจจะเป็นความต้องการที่จะเพิ่มความจุของสายนำสัญญาณหรือการเพิ่มสายนำสัญญาณหรือเพิ่มโนดในเครือข่าย

การออกแบบโครงสร้างเครือข่ายของงานวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ ได้นำวิธีการทางคณิตศาสตร์และสถิติเป็นเครื่องมือช่วยในการออกแบบ โดยแบ่งเป็นขั้นตอนใหญ่ๆ 7 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดตำแหน่งโนดต่างๆ ในเครือข่าย ในขั้นตอนนี้จะใช้เครื่องตรวจกวาดภาพ (Image Scanner) เป็นอุปกรณ์ในการนำแผนที่จริงที่ต้องการออกแบบเข้ามาเก็บอยู่ในรูปของแฟ้มข้อมูลกราฟฟิก ซึ่งแฟ้มข้อมูลนี้จะใช้เป็นแผนที่บนจอภาพคอมพิวเตอร์เพื่อให้ผู้ใช้ได้กำหนดตำแหน่งที่จะติดตั้งโนดลงบนจอภาพ ตลอดจนสะดวกในการป้อนข้อมูลเข้าระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดของส่วนการนำข้อมูลเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์จะอธิบายในลำดับต่อไป ข้อมูลที่ได้หลังจากผ่านซอฟต์แวร์ส่วนนี้ จะเรียกว่า “ข้อมูลแผนที่”

- ขั้นตอนที่ 2 ทำการเลือกตำแหน่งที่จะติดตั้งคอนเซนต์เตอร์ โดยใช้หลักการวิเคราะห์ทางสถิติของการติดต่อสื่อสารข้อมูลและระยะทางระหว่างโนดที่อยู่ตำแหน่งต่างๆ กันเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจตำแหน่งโนดที่จะกำหนดให้เป็นคอนเซนต์เตอร์
- ขั้นตอนที่ 3 สร้างการเชื่อมต่อระหว่างโนดและคอนเซนต์เตอร์ ในขั้นตอนนี้จะทำการเชื่อมต่อโนดและคอนเซนต์เตอร์ โดยใช้หลักว่าโนดใดอยู่ใกล้คอนเซนต์เตอร์ใดให้โนดนั้นเชื่อมต่อเข้ากับคอนเซนต์เตอร์นั้น แต่ต้องไม่ทำให้เกิดความจุที่คอนเซนต์เตอร์จะรองรับได้
- ขั้นตอนที่ 4 ทำการลดคอนเซนต์เตอร์ที่ไม่มีสมาชิกเชื่อมต่ออยู่หรือมีสมาชิกเชื่อมต่ออยู่น้อยเกินไป
- ขั้นตอนที่ 5 ทำการปรับปรุงรูปแบบการเชื่อมต่อคอนเซนต์เตอร์กับกลุ่มโนด
- ขั้นตอนที่ 6 ทำการเชื่อมต่อระหว่างคอนเซนต์เตอร์
- ขั้นตอนที่ 7 ทำการคำนวณประสิทธิภาพโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบ

2.2 ขบวนการสร้างข้อมูลแผนที่

ข้อมูลที่ระบบต้องการคือ ตำแหน่งโนด ระยะทางระหว่างโนด เป็นข้อมูลเบื้องต้น ข้อมูลดังกล่าวในงานวิจัยนี้จะเรียกว่า “ข้อมูลแผนที่” และการได้มาซึ่งข้อมูลดังกล่าว จะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

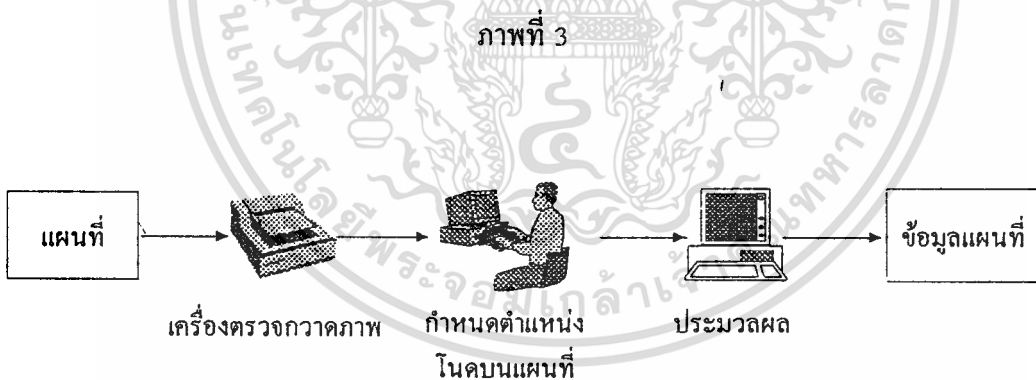
2.2.1 ขั้นตอนการกำหนดตำแหน่งโนดบนแผนที่

ระบบการออกแบบเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์ ของงานวิจัยนี้จะเริ่มต้นจากการนำแผนที่สู่ระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อนำมากำหนดตำแหน่งโนดบนภาพแผนที่นั้น การกำหนดตำแหน่งโนดตามสภาพภูมิศาสตร์นั้นขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งานจริงหรือผู้ที่ต้องการออกแบบ ภายหลังจากไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการกำหนดตำแหน่งโน้ตแล้ว จะทำการคำนวณหาระยะทางจริงระหว่างโน้ตต่างๆ โดยใช้หลักการทางเรขาคณิต (Geometric) ประกอบกับสเกลการย่อส่วนของแผนที่ ในการคำนวณหาระยะทางระหว่างโน้ตต่างๆ นั้น

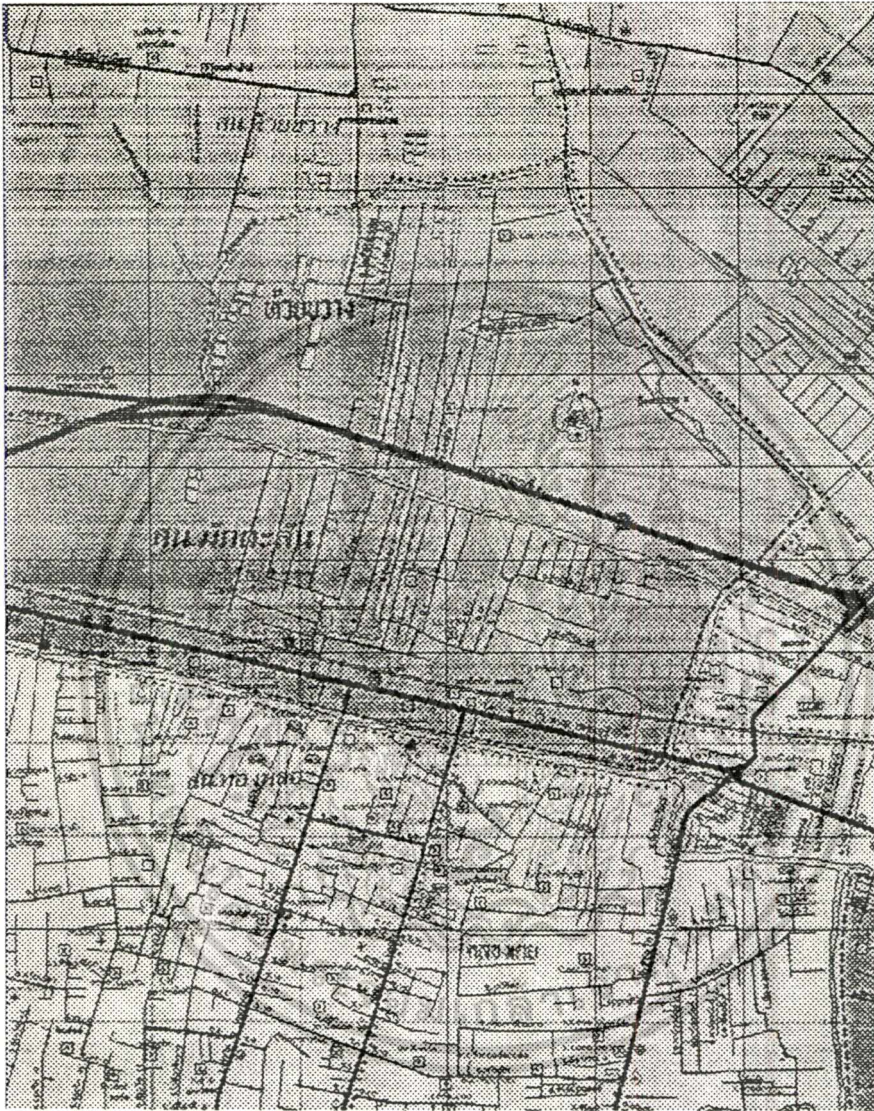
ในการกำหนดตำแหน่งโน้ตที่ต้องการตามความประสงค์ของผู้ใช้นั้น งานวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบซอฟต์แวร์ให้เกิดความสะดวกต่อผู้ใช้ โดยมีขั้นตอนดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 นำแผนที่จริงอ่านภาพด้วยเครื่องตรวจกวาดภาพ (Image Scanner) ได้เพิ่มข้อมูลกราฟฟิกของแผนที่
- ขั้นตอนที่ 2 โหลด (Load) เพิ่มข้อมูลกราฟฟิกแสดงบนจอภาพคอมพิวเตอร์ ผู้ใช้ทำการกำหนดตำแหน่งโน้ตบนจอภาพ
- ขั้นตอนที่ 3 ซอฟต์แวร์ทำการคำนวณหาตำแหน่งโน้ตโดยอัตโนมัติซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3



แสดงขั้นตอนการกำหนดตำแหน่งโน้ต โดยผู้กำหนดตำแหน่งบนจอภาพคอมพิวเตอร์

ภาพที่ 4



A ←→ B

แสดงตัวอย่างแผนที่จริง

2.2.2 ขั้นตอนการคำนวณตำแหน่งโนด

ภายหลังจากผู้ใช้กำหนดตำแหน่งโนดบนจอภาพคอมพิวเตอร์ แล้วจะทำการคำนวณตำแหน่งโนดจริงบนแผนที่เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณระยะทางระหว่างโนด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณตำแหน่งโนดบนแผนที่ จำเป็นที่ต้องทราบข้อมูลเบื้องต้น ดังนี้

1. มาตรการส่วนของแผนที่จริง เช่น มาตรการส่วน 1 : 20000
2. ระยะอ้างอิง เพื่อเป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบระหว่างระยะห่างบนจอภาพกับระยะห่างของจุดบนจอภาพ เช่น จากภาพที่ 4 ซึ่งเป็นตัวอย่างแผนที่จริง จุด A-B บนแผนที่จริงมีขนาด 3 เซนติเมตร เมื่อโหลดแผนที่ขึ้นจอภาพแล้ว ต้องหาขนาดของจุด A-B เพื่อทำการเปรียบเทียบว่า 1 หน่วยบนแผนที่จริงมีขนาดเท่าใดบนจอภาพ (ในหน่วยจุดภาพ (Pixel))

ในการคำนวณตำแหน่งโนด มีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

กำหนดให้

- S เป็นมาตรการส่วนของแผนที่จริง ซึ่งมีขนาด 1:S เช่น 1:20000
 M เป็นระยะอ้างอิงบนแผนที่จริง เช่น จุด A-B ในภาพที่ 4 มีขนาด 3 เซนติเมตร
 C เป็นระยะอ้างอิงของแผนที่บนจอภาพ เช่น หน่วยเป็นจำนวนจุดภาพ
 R เป็นอัตราส่วนระหว่างระยะอ้างอิงของแผนที่บนจอภาพกับแผนที่จริง ซึ่งแสดงเป็นสมการได้ คือ

$$R = \frac{C}{M} \quad (2.1)$$

X_{map}, Y_{map} เป็นตำแหน่งโนดบนแผนที่จริง

X_{scr}, Y_{scr} เป็นตำแหน่งโนดบนจอภาพ

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดมาตรการส่วนของแผนที่จริง

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดระยะอ้างอิงบนแผนที่จริง (M) ว่ามีขนาดกี่หน่วย และระยะอ้างอิงของแผนที่บนจอภาพ (C) ว่ามีขนาดกี่จุดภาพ (Pixel) เพื่อเป็นการหาจำนวนจุดภาพต่อหนึ่งหน่วยแผนที่จริง ซึ่งจำนวนจุดภาพซอฟต์แวร์ทำการคำนวณให้ เช่น จากภาพแผนที่จริงในภาพที่ 4 ระยะห่างระหว่าง จุด A และ B มีค่าเท่ากับ 3

เซนติเมตร เมื่อวัดระยะห่างระหว่างจุด A และ B บนจอภาพปรากฏว่ามีขนาด

125 จุดภาพ

จากสมการ (2.1) จะได้

$$R = \frac{125}{3} = 41.67 \text{ Pixel}$$

ซึ่งค่า R นี้จะใช้เป็นค่าในการคำนวณหาตำแหน่งบนแผนที่จริง

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหาตำแหน่งบนแผนที่ได้จากสมการ

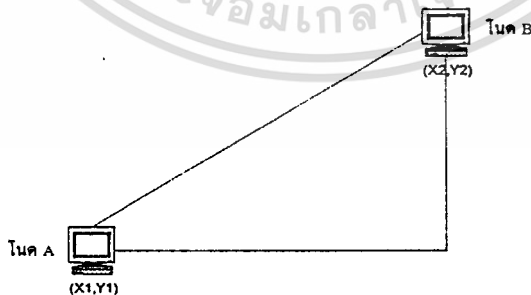
$$X_{map} = \frac{X_{scr}}{R} \times S \quad (2.2)$$

$$Y_{map} = \frac{Y_{scr}}{R} \times S \quad (2.3)$$

2.2.3 ขั้นตอนการคำนวณระยะทางระหว่างโน้ด

เมื่อได้ข้อมูลตำแหน่ง โหนดบนแผนที่จริงแล้ว จะนำข้อมูลส่วนนี้มาทำการหาระยะทางระหว่างโน้ดซึ่งการคำนวณหาระยะทางระหว่างโน้ดสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.4)

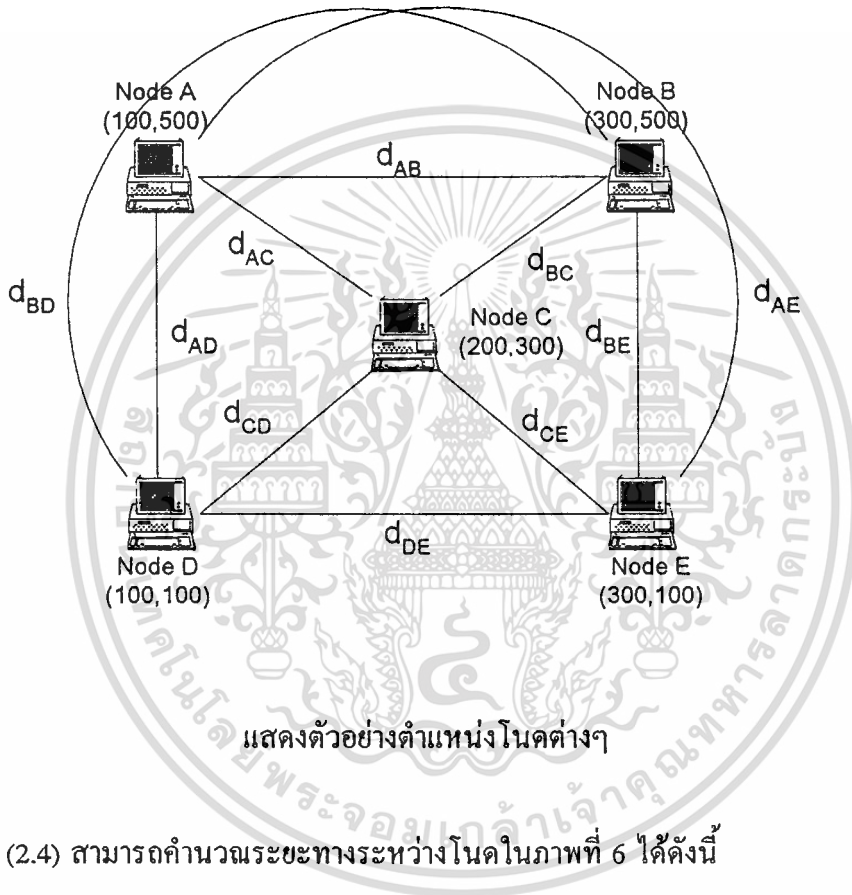
ภาพที่ 5



$$\text{Distance From A to B} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (2.4)$$

ตัวอย่างการคำนวณระยะทางระหว่างโหนด

ภาพที่ 6



จากสมการ (2.4) สามารถคำนวณระยะทางระหว่างโหนดในภาพที่ 6 ได้ดังนี้

$$d_{AB} = 200$$

$$d_{AC} = 223.607$$

$$d_{AD} = 200$$

$$d_{AE} = 447.21$$

$$d_{BC} = 223.607$$

$$d_{BD} = 447.21$$

$$d_{BE} = 400$$

$$d_{CD} = 223.607$$

$$d_{CE} = 223.607$$

$$d_{DE} = 200$$

จากตัวอย่างการคำนวณระยะทางระหว่างโหนด สามารถนำค่าระยะทางระหว่างโหนดต่างๆ ในเครือข่ายมาเขียนในรูปของเมตริกซ์ได้ดังภาพที่ 7

ภาพที่ 7

โหนด

A B C D E

โหนด

A	0	200	223.607	200	447.21
B	200	0	223.607	447.21	400
C	223.607	223.607	0	223.607	223.607
D	200	447.21	223.607	0	200
E	447.21	400	223.607	200	0

แสดงระยะทางระหว่างโหนดในรูปของเมตริกซ์

2.2.4 ขั้นตอนการแสดงตำแหน่งโหนดบนจอภาพ

ข้อมูลแผนที่ที่โหนดเข้ามา บางครั้งไม่สามารถแสดงตำแหน่งโหนดได้ทั้งหมดบนจอภาพ เดียว ดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการในการแปลงตำแหน่งโหนดบนแผนที่จริงให้สามารถแสดงได้ทุกโหนดบนจอภาพได้อย่างเหมาะสม

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขบวนการที่ใช้ในการแปลงจุดบนแผนที่ไปเป็นจุดบนจอภาพ จำเป็นต้องทราบข้อมูลเบื้องต้นดังนี้

1. ข้อมูลแผนที่
2. ขนาดของจอภาพ เช่น จอภาพประเภท VGA มีขนาด 640x480 จุดภาพ (Pixel)

สำหรับขบวนการแปลงจุดบนแผนที่ไปเป็นจุดบนจอภาพ แสดงได้ดังขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 จากข้อมูลบนแผนที่ทั้งหมดหาข้อมูลที่น้อยที่สุดและมากที่สุดทั้งตามแนวแกน X และแกน Y

กำหนดให้ X_{map_min} เป็นข้อมูลที่น้อยที่สุดบนแนวแกน X

Y_{map_min} เป็นข้อมูลที่น้อยที่สุดบนแนวแกน Y

X_{map_max} เป็นข้อมูลที่มากที่สุดบนแนวแกน X

Y_{map_max} เป็นข้อมูลที่มากที่สุดบนแนวแกน Y

ขั้นตอนที่ 2 หาผลต่างระหว่างข้อมูลมากที่สุดและน้อยที่สุดของทั้งแกน X และ Y

กำหนดให้ X_{map_diff} เป็นผลต่างระหว่างข้อมูลมากที่สุดและน้อยที่สุดบนแนวแกน X

Y_{map_diff} เป็นผลต่างระหว่างข้อมูลมากที่สุดและน้อยที่สุดบนแนวแกน Y

$$X_{map_diff} = X_{map_max} - X_{map_min} \quad (2.5)$$

$$Y_{map_diff} = Y_{map_max} - Y_{map_min} \quad (2.6)$$

ขั้นตอนที่ 3. กำหนดข้อมูลบนจอภาพที่มากที่สุดทั้งตามแนวแกน X และแกน Y ซึ่งค่านี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของจอภาพ

กำหนดให้ X_{screen_max} เป็นค่าที่มากที่สุดบนแนวแกน X

Y_{screen_max} เป็นค่าที่มากที่สุดบนแนวแกน Y

ขั้นตอนที่ 4. หาอัตราส่วนระหว่างค่าที่มากที่สุดตามแนวแกน X และแกน Y ของจอภาพ

กับ ผลต่างระหว่างข้อมูลมากที่สุดและน้อยที่สุดของแกน X และ Y

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ $Xratio$ เป็นอัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างค่าบนแนวแกน X ของข้อมูลแผนที่และจอภาพ

$Yratio$ เป็นอัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างค่าบนแนวแกน Y ของข้อมูลแผนที่และจอภาพ

$$Xratio = \frac{Xscreen_{max}}{Xmap_{diff}} \quad (2.7)$$

$$Yratio = \frac{Yscreen_{max}}{Ymap_{diff}} \quad (2.8)$$

ขั้นตอนที่ 5 นำค่า $Xratio$ และ $Yratio$ เป็นข้อมูลเปรียบเทียบมาตราส่วนระหว่างข้อมูลบนข้อมูลแผนที่และข้อมูลบนจอภาพ โดยแบ่งการคำนวณตามแนวแกน X และแกน Y ได้ดังนี้

1 การคำนวณบนแนวแกน X

$$Xscreen = (Xmap - Xmap_{min}) \times Xratio \quad (2.9)$$

2 การคำนวณบนแนวแกน Y

$$Yscreen = (Ymap - Ymap_{min}) \times Yratio \quad (2.10)$$

วิธีการคำนวณตำแหน่งโนดบนจอภาพ

สมมติให้แผนที่ที่มีจุดที่จะติดตั้งโนดทั้งหมดจำนวน 5 โนดดังนี้

โนดที่ 1 มีตำแหน่ง คือ $X = 100$, $Y = 100$

โนดที่ 2 มีตำแหน่ง คือ $X = 200$, $Y = 200$

โนดที่ 3 มีตำแหน่ง คือ $X = 300$, $Y = 300$

โนดที่ 4 มีตำแหน่ง คือ $X = 400$, $Y = 400$

โนดที่ 5 มีตำแหน่ง คือ $X = 500$, $Y = 500$

และกำหนดให้จอภาพที่ใช้เป็นจอภาพ VGA ขนาด 640 X 480 จุดภาพ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1 จากข้อมูลบนแผนที่ทั้งหมดหาข้อมูลที่น้อยที่สุดและมากที่สุดทั้งบนแนวแกน X และแกน Y ได้

$$X_{\text{map}_{\min}} = 100$$

$$Y_{\text{map}_{\min}} = 100$$

$$X_{\text{map}_{\max}} = 500$$

$$Y_{\text{map}_{\max}} = 500$$

ขั้นตอนที่ 2 จากสมการ (2.5) และ (2.6) หาผลต่างระหว่างข้อมูลที่มีมากที่สุดและน้อยที่สุดของทั้งแกน X และ Y

$$X_{\text{map}_{\text{diff}}} = 500 - 100 = 400$$

$$Y_{\text{map}_{\text{diff}}} = 500 - 100 = 400$$

ขั้นตอนที่ 3 จากข้อมูลบนจอภาพที่มีมากที่สุดทั้งบนแนวแกน X และแกน Y

$$X_{\text{screen}_{\max}} = 640$$

$$Y_{\text{screen}_{\max}} = 480$$

ขั้นตอนที่ 4 จากสมการ (2.7) และ (2.8) หาอัตราส่วนระหว่างค่าที่มีที่สุดบนแนวแกน X และแกน Y ของจอภาพกับ ผลต่างระหว่างข้อมูลที่มีมากที่สุดและน้อยที่สุดของแกน X และ Y

$$X_{\text{ratio}} = \frac{640}{400} = 1.6$$

$$Y_{\text{ratio}} = \frac{480}{400} = 1.2$$

ขั้นตอนที่ 5 จากสมการ (2.9) และ (2.10) ทำการคำนวณตำแหน่งโนคบนจอภาพจากตำแหน่งข้อมูลแผนที่ทั้ง 5 จุด ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โนด 1 $X_{map} = 100, Y_{map} = 100$
 $X_{screen} = (100-100) \times 1.6 = 0$
 $Y_{screen} = [(100-100) \times 1.2 = 0$

โนด 2 $X_{map} = 200, Y_{map} = 200$
 $X_{screen} = (200-100) \times 1.6 = 160$
 $Y_{screen} = (200-100) \times 1.2 = 120$

โนด 3 $X_{map} = 300, Y_{map} = 300$
 $X_{screen} = (300-100) \times 1.6 = 320$
 $Y_{screen} = (300-100) \times 1.2 = 240$

โนด 4 $X_{map} = 400, Y_{map} = 400$
 $X_{screen} = (400-100) \times 1.6 = 480$
 $Y_{screen} = (400-100) \times 1.2 = 360$

โนด 5 $X_{map} = 500, Y_{map} = 500$
 $X_{screen} = (500-100) \times 1.6 = 640$
 $Y_{screen} = (500-100) \times 1.2 = 480$

2.3 ขบวนการกำหนดตำแหน่งของคอนเซนต์เตอร์

การกำหนดตำแหน่งคอนเซนต์เตอร์เป็นการหาตัวแทนของกลุ่มเพื่อเป็นโนดที่ทำหน้าที่ในการอำนวยความสะดวกในการติดต่อสื่อสารระหว่างโนดภายในเครือข่ายย่อย หรือระหว่างเครือข่ายย่อย ซึ่งโนดที่ควรจะเป็นคอนเซนต์เตอร์ควรเป็นตำแหน่งที่สามารถเชื่อมต่อกับตัวอื่นได้มาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการกำหนดตำแหน่งคอนเซนต์เตอร์ โดยการหาความถี่ของการปรากฏของแต่ละโนด เมื่อได้ครบทุกโนดแล้วนำความถี่ที่ได้ไปทำการหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกคอนเซนต์เตอร์ ถ้าโนดใดสามารถเชื่อมต่อกับโนดข้างเคียงทั้งหมดมากกว่าค่าเฉลี่ยของการปรากฏของโนด ก็ควรเลือกโนดนั้นเป็นคอนเซนต์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เหมือนญาติเห็นไปเซประเบียบขนานการค้า
 ไม้วกรณเดจทงสน อททงทหมมเหตุดเปลงเนอทา และตองอององถงเจาของเอกสารทุกคร้งทมมีการนำไปใช้

ในการกำหนดตำแหน่งที่จะติดตั้งคอนเซนทร์เตอร์ในเครือข่าย สามารถแยกได้ 2 กรณี
คือ

2.3.1. ผู้ใช้ไม่ได้กำหนดตำแหน่งคอนเซนทร์เตอร์

กรณีนี้ระบบจะเป็นผู้กำหนดตำแหน่งคอนเซนทร์เตอร์ขึ้นต้นให้ก่อน หลังจากนั้นจะทำการเชื่อมต่อคอนเซนทร์เตอร์กับกลุ่มโหนด และทำการตรวจสอบคอนเซนทร์เตอร์ที่กำหนดในขึ้นต้นว่ามีคอนเซนทร์เตอร์ใดที่สามารถที่จะลดลงได้บ้าง ก็จะทำการลดจนกระทั่งได้จำนวนคอนเซนทร์เตอร์ที่เหมาะสม ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวจะได้อธิบายในหัวข้อถัดไป ขั้นตอนการทำงานของส่วนนี้สามารถแสดงได้ดังนี้



อัลกอริทึมของการกำหนดตำแหน่งคอนเซนต์เตอร์^[1]

Condition : ระยะทางที่ยาวที่สุดของสายนำสัญญาณ (ที่ผู้ใช้กำหนด) ตามคุณสมบัติทางกายภาพเท่ากับ k เมตร

ขั้นตอนที่ 1 หาสมาชิก (คือ โหนดต่างๆ) ที่มีระยะทางห่างจากโหนดที่กำหนดไม่เกินระยะทาง k แล้วรวบรวมเป็นตาราง

ขั้นตอนที่ 2 สร้างตารางความถี่ของโหนดต่างๆ

นิยามของความถี่ : ความถี่ของโหนดใดๆ คือ จำนวนครั้งที่โหนดนั้นปรากฏเป็นสมาชิกของโหนดอื่นๆ

ขั้นตอนที่ 3 สร้างตารางแจกแจงความถี่โดยเรียงจากความถี่น้อยไปหาความถี่มาก

ขั้นตอนที่ 4 หาค่าเฉลี่ยของความถี่ตามสมการ

$$\text{ค่าเฉลี่ยของความถี่} = \frac{\text{ผลรวมของ (ความถี่} \times \text{จำนวนโหนด)}}{\text{จำนวนโหนดทั้งหมด}} + 1$$

ข้อกำหนดของโนดที่จะเป็นคอนเซ็นท์เตอร์^[1]

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาบนสถานการณ์ที่ทุกโนดมีการติดต่อสื่อสารข้อมูลถึงกันหมด ภายใต้อสภาพเช่นนี้ โหนดที่มีการติดต่อกับโนดข้างเคียงในระยะทาง k มาก (คือมีความถี่มาก) ควรได้รับการพิจารณาให้เป็นศูนย์กลาง (Concentrator) ของการติดต่อระหว่างโนดอื่น ๆ นอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้พิจารณาบนพื้นฐานให้มีจำนวนคอนเซ็นท์เตอร์ที่เหมาะสม โดยกำหนดให้โนดที่มีความถี่มากกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ยของความถี่เป็นคอนเซ็นท์เตอร์ (ตามวิธีการของ Dysart-Georganas) นั่นคือ

$$\begin{aligned} \text{โนดที่มีความถี่} &\geq \text{ค่าเฉลี่ยของความถี่} \\ &\geq \frac{\text{ผลรวมของ (ความถี่} \times \text{จำนวนโนด)}}{\text{จำนวน โหนดทั้งหมด} + 1} \end{aligned}$$

จะถูกกำหนดให้เป็นคอนเซ็นท์เตอร์

2.3.2. ผู้ใช้กำหนดตำแหน่งคอนเซ็นท์เตอร์

บางกรณีผู้ใช้ต้องการกำหนดตำแหน่งคอนเซ็นท์เตอร์เอง เนื่องจากตำแหน่งที่ผู้ใช้เลือกเป็นตำแหน่งที่มีความสำคัญมาก ต้องเป็นตำแหน่งคอนเซ็นท์เตอร์เท่านั้น ผู้ใช้สามารถกำหนดตำแหน่งเองได้ หลังจากนั้นซอฟต์แวร์จะทำการเชื่อมต่อคอนเซ็นท์เตอร์ที่ผู้ใช้กำหนดกับกลุ่มโนด หลังจากนั้นจะทำการตรวจสอบคอนเซ็นท์เตอร์ที่ผู้ใช้กำหนดว่าคอนเซ็นท์เตอร์ที่ผู้ใช้กำหนดเกินความจำเป็น ระบบจะทำการแจ้งให้ผู้ใช้ทราบถึงคอนเซ็นท์เตอร์นั้น เพื่อให้ผู้ใช้ตัดสินใจอีกครั้ง

2.4 ขบวนการกำหนดการเชื่อมต่อคอนเซนทเรเตอร์กับกลุ่มโหนด

หลังจากที่ได้คอนเซนทเรเตอร์แล้ว ขั้นตอนต่อไปจะทำการเชื่อมต่อระหว่างคอนเซนทเรเตอร์กับกลุ่มโหนด ซึ่งในขั้นตอนนี้ จะทำการเชื่อมต่อโดยใช้ระยะทางระหว่างโหนดกับคอนเซนทเรเตอร์และความจุของคอนเซนทเรเตอร์ (Concentrator Capacity) เป็นเงื่อนไขในการพิจารณา โดยจะทำการเชื่อมต่อโหนดไปยังคอนเซนทเรเตอร์ที่ใกล้ที่สุด แต่ต้องไม่เกินความจุที่คอนเซนทเรเตอร์จะสามารถรองรับได้ ซึ่งขั้นตอนการทำงานของขบวนการนี้สามารถแสดงได้ดังนี้

อัลกอริทึมการเชื่อมคอนเซนทเรเตอร์กับกลุ่มโหนด

- ขั้นตอนที่ 1 พิจารณาคอนเซนทเรเตอร์ที่ใกล้ที่สุด
- ขั้นตอนที่ 2 ทำการตรวจสอบว่าระยะทางระหว่างโหนดกับคอนเซนทเรเตอร์ไม่เกินความสามารถทางกายภาพของสายนำสัญญาณ ถ้าเกินให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 1
- ขั้นตอนที่ 3 ทำการตรวจสอบว่าโหนดที่ต่อเข้าหากอนเซนทเรเตอร์ต้องไม่ทำให้อัตรการใช้งานของคอนเซนทเรเตอร์เกิน 1 ถ้าอัตรการใช้งานของคอนเซนทเรเตอร์เกิน 1 ไปทำในขั้นตอนที่ 4 ถ้าไม่เกิน 1 ให้ไปทำขั้นตอนที่ 5

$$\text{อัตรการใช้งานของคอนเซนทเรเตอร์} = \frac{\text{ผลรวมของอัตรการไหลเข้าของข้อมูล}}{\text{อัตรการไหลออกของข้อมูล}}$$

ผลรวมของอัตรการไหลเข้าของข้อมูล = ผลรวมของอัตรการส่งข้อมูลจากทุก โหนด ไปสู่
คอนเซนทเรเตอร์นั้น
 \approx มีค่าขึ้นกับจำนวนโหนด

- ขั้นตอนที่ 4 พิจารณาคอนเซนทเรเตอร์ลำดับถัดไป แล้วไปทำงานขั้นตอนที่ 2
- ขั้นตอนที่ 5 ทำการเชื่อมต่อโหนดเข้ากับคอนเซนทเรเตอร์ แล้วกลับไปทำงานในขั้นตอนที่ 1 จนกระทั่งครบทุกโหนด

2.5 ขบวนการลดจำนวนคอนเซ็นท์เตอร์

ในการเชื่อมต่อระหว่างคอนเซ็นท์เตอร์กับกลุ่มโหนด บางครั้งจะพบว่าบางคอนเซ็นท์เตอร์ที่ไม่มีโหนดใดมาเชื่อมต่อหรือมีโหนดมาเชื่อมต่ออยู่น้อยเกินไป ซึ่งการที่มีคอนเซ็นท์เตอร์เหล่านี้อยู่มากเกินไปย่อมก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายที่สูงเกินความจำเป็น ดังนั้นในงานวิจัยนี้หลังจากได้ทำการเชื่อมต่อระหว่างคอนเซ็นท์เตอร์กับกลุ่มโหนดแล้ว จะทำการตรวจสอบคอนเซ็นท์เตอร์เหล่านี้ พร้อมกับลดจำนวนคอนเซ็นท์เตอร์เหล่านี้ลง จนกระทั่งได้จำนวนคอนเซ็นท์เตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ดังขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

อัลกอริทึมการลดจำนวนคอนเซ็นท์เตอร์

ขั้นตอนที่ 1	ทำการเชื่อมต่อคอนเซ็นท์เตอร์กับกลุ่มโหนด
ขั้นตอนที่ 2	ตรวจสอบคอนเซ็นท์เตอร์ที่มีโหนดเชื่อมต่อน้อยที่สุดก่อน
ขั้นตอนที่ 3	ทำการทดลองเปลี่ยนคอนเซ็นท์เตอร์เป็น โหนดปกติ
ขั้นตอนที่ 4	ตรวจสอบคอนเซ็นท์เตอร์ที่กำลังพิจารณาและสมาชิกว่าสามารถเชื่อมไปยังคอนเซ็นท์เตอร์อื่นๆ ได้ทุกโหนดหรือไม่ ถ้าไม่ได้ให้ทำการยกเลิกการลดคอนเซ็นท์เตอร์นั้น
ขั้นตอนที่ 5	พิจารณาคอนเซ็นท์เตอร์ถัดไปแล้วไปทำขั้นตอนที่ 3 จนกระทั่งครบทุกคอนเซ็นท์เตอร์

2.6 ขบวนการปรับปรุงรูปแบบการเชื่อมต่อคอนเซ็นท์เตอร์กับกลุ่มโหนด

จากโครงสร้างเครือข่ายที่ได้จากบทที่ 2.4 และ 2.5 การเชื่อมต่อของแต่ละเครือข่ายย่อย (Subnet) ซึ่งมีคอนเซ็นท์เตอร์เป็นโหนดศูนย์กลางของกลุ่ม จะเชื่อมต่อตรงกับคอนเซ็นท์เตอร์ การเชื่อมต่อลักษณะนี้ต้องใช้สายนำสัญญาณ (Transmission Line) ค่อนข้างมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการปรับปรุงการเชื่อมต่อโครงสร้างใหม่ โดยกำหนดให้ภายในแต่ละเครือข่ายย่อยโหนดไม่จำเป็นต้องมีโหนดอื่นที่เชื่อมต่อกับโหนดนี้เพื่อการทำงานที่ง่ายขึ้น เมื่อผู้ดูแลระบบต้องการดำเนินการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นต้องเชื่อมต่อตรงกับคอนเซนต์เตอร์ แต่สามารถเชื่อมต่อกับโนดข้างเคียงได้ เพื่อเป็นการลดความยาวรวมของสายนำสัญญาณซึ่งสามารถแสดงขั้นตอนการทำงานได้ดังนี้

อัลกอริทึมการปรับปรุงรูปแบบการเชื่อมต่อคอนเซนต์เตอร์กับกลุ่มโนด^[2]

- กำหนดให้
- i, j เป็นโนดใดๆ ที่ไม่ใช่คอนเซนต์เตอร์
 - d_{ij} เป็นระยะทางระหว่างโนด i กับโนด j
 - d_{ic} เป็นระยะทางระหว่างโนด i กับคอนเซนต์เตอร์
- ขั้นตอนที่ 1 จากโครงสร้างที่ได้จากบทที่ 2.4 และ 2.5 พิจารณาแต่ละเครือข่ายย่อย
- ขั้นตอนที่ 2 ตรวจสอบว่ามีโนดอิสระหรือไม่ ถ้าไม่มีไปทำงานในขั้นตอนที่ 3 ถ้ามีทำการตรวจสอบว่าโนดอิสระนั้นอยู่ใกล้กับโนดใดมากที่สุดและไม่เกินความจุของสายนำสัญญาณ ทำการเชื่อมต่อเสมือนโนดอิสระนั้นกับคอนเซนต์เตอร์
- ขั้นตอนที่ 3 พิจารณาโนด i ทำการหาระยะทางระหว่างโนด i กับโนด j ใดๆ
- ขั้นตอนที่ 4 ทำการเปรียบเทียบค่า d_{ij} ที่น้อยที่สุดกับ d_{ic}
- ถ้า $d_{ij} < d_{ic}$ ไปทำงานในขั้นตอนที่ 5
 - ถ้า $d_{ij} \geq d_{ic}$ ทำการเลือกโนด i ถัดไปแล้วไปทำงานในขั้นตอนที่ 3
- ขั้นตอนที่ 5 ทำการตรวจสอบว่า เมื่อเชื่อมโนด i กับ โนด j และตัดการเชื่อมต่อโนด i กับคอนเซนต์เตอร์ แล้วมีกรณีดังต่อไปนี้
- กรณีที่ 1 เกิดวงปิด (loop) ขึ้น
 - กรณีที่ 2 คอนเซนต์เตอร์โอเวอร์โหลด
- ให้ทำการยกเลิกโนดที่กำลังพิจารณาแล้ว ไปทำงานในขั้นตอนที่ 6
- ขั้นตอนที่ 6 ทำการพิจารณาโนด i จนกระทั่งครบทุกโนด

2.7 ขบวนการกำหนดการเชื่อมต่อระหว่างคอนเซนต์เตอร์

เมื่อได้ทำการออกแบบจนกระทั่งได้โครงสร้างเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละกลุ่มแล้ว ขั้นตอนต่อไปของงานวิจัยนี้คือ การเชื่อมคอนเซนต์เตอร์เข้าด้วยกัน ซึ่งหลักการเชื่อมต่อแสดงได้ดังต่อไปนี้

อัลกอริทึมการเชื่อมต่อระหว่างคอนเซนต์เตอร์

- | | |
|--------------|--|
| ขั้นตอนที่ 1 | เรียงลำดับของสายนำสัญญาณที่เชื่อมต่อระหว่างคู่ของคอนเซนต์เตอร์ |
| ขั้นตอนที่ 2 | เลือกพิจารณาสายนำสัญญาณของคู่คอนเซนต์เตอร์ที่สั้นที่สุดก่อน |
| ขั้นตอนที่ 3 | ตรวจสอบว่าเมื่อทำการเชื่อมสายนำสัญญาณเข้ากับคอนเซนต์เตอร์ที่เชื่อมอยู่ก่อนแล้วเกิดวนรอบ (Loop) ขึ้นหรือไม่ |
| ขั้นตอนที่ 4 | ถ้าเกิดวนรอบเกิดขึ้นระหว่างที่ทำการเชื่อมต่อ ให้พิจารณาสายนำสัญญาณถัดไป แล้วกลับไปทำในขั้นตอนที่ 3 |
| ขั้นตอนที่ 5 | ทำการพิจารณาจนกระทั่งทุกคอนเซนต์เตอร์ได้รับการเชื่อมต่อด้วยสายนำสัญญาณทั้งหมด |
| ขั้นตอนที่ 6 | จบการทำงาน |

2.8 การกำหนดอัตราเฉลี่ยของการส่งข้อมูลของโหนด (Average Generate Rate (λ))

ในการคำนวณปริมาณข้อมูล จะพิจารณาจากปริมาณการส่งข้อมูลจากโหนดนั้นออกไปข้างนอก จะเป็นโหนดก็ได้ โดยจะดูจากปริมาณข้อมูลในแต่ละวัน ซึ่งในการคำนวณจะใช้ทฤษฎีทางสถิติคือ Frequency Distribution หรือความถี่ของการใช้งาน มาช่วยในการคำนวณ โดยการบันทึกปริมาณการส่งข้อมูลของแต่ละโหนดในแต่ละวัน เป็นเวลาระยะเวลาหนึ่งหลังจากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาเอกรสารนี้เป็นเอกรสารที่สงวนไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการหาค่าเฉลี่ย โดยใช้ปริมาณข้อมูลเป็นความถี่ ทำการหาความถี่ตามจำนวนวัน หลังจากนั้นนำความถี่และจำนวนวันมาทำการหาค่าเฉลี่ย โดยกำหนดให้

λ_i เป็นค่า Generate Rate ของโนดที่ i

f_{ij} เป็น Generate Rate ของโนดที่ i และวันที่ j

เราสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$\lambda_i = \frac{\sum_{j=1}^d f_{ij}}{d \times 24 \times 60 \times 60} \quad \text{msg / sec}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

สมมติว่าเรามีการเก็บบันทึกการส่งข้อมูลจากโนดออกไปข้างนอกดังตารางข้างล่างนี้ โดยทำการเก็บบันทึกไว้ 5 วัน

วันที่	ปริมาณการส่งข้อมูลออกจากโนด (Message)
1	200,000
2	300,000
3	100,000
4	400,000
5	200,000
	1,200,000

$$\lambda = \frac{200,000 + 300,000 + 100,000 + 400,000 + 200,000}{5 \times 24 \times 60 \times 60} = 2.78 \text{ msg/sec}$$

2.9 การกำหนดค่าความจุขั้นต่ำของสายนำสัญญาณ (Minimum Link Capacity)

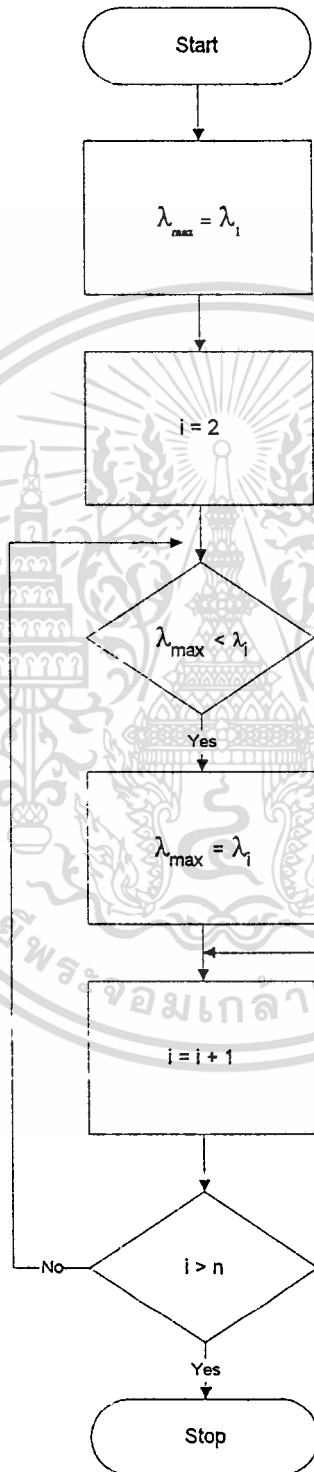
ความจุของสายนำสัญญาณควรจะรองรับปริมาณข้อมูลที่เกิดขึ้นที่แต่ละ โหนดที่มากที่สุดได้ นั่นคือต้องทำการเปรียบเทียบปริมาณข้อมูลที่เกิดขึ้นที่แต่ละ โหนดสร้างขึ้นเพื่อเลือกตัวที่มากที่สุดเป็นค่าความจุขั้นต่ำของสายนำสัญญาณ

อัลกอริทึมการกำหนดค่าความจุขั้นต่ำของสายนำสัญญาณ (Minimum Link Capacity)

- กำหนดให้ λ_{\max} เป็น Minimum Link Capacity
 λ_i เป็น ปริมาณข้อมูลเฉลี่ยที่เกิดขึ้นที่โหนด i
- ขั้นตอนที่ 1 เริ่มต้นกำหนดให้ $\lambda_{\max} = \lambda_1$
- ขั้นตอนที่ 2 กำหนดค่า $i = 2$
- ขั้นตอนที่ 3 ทำการเปรียบเทียบค่า λ_{\max} กับ λ_i
- 3.1 ถ้า $\lambda_{\max} > \lambda_i$ ไปทำงานขั้นตอนที่ 4
- 3.2 ถ้า $\lambda_{\max} \leq \lambda_i$ กำหนดให้ $\lambda_{\max} = \lambda_i$ แล้วไปทำงานขั้นตอนที่ 4
- ขั้นตอนที่ 4 เพิ่มค่า i ขึ้น 1
- ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบว่าค่า i ที่เพิ่มขึ้นเกินจำนวน โหนดหรือยัง
- 5.1 ถ้ายังไม่เกินจำนวน โหนดให้ไปทำงานขั้นตอนที่ 3
- 5.2 ถ้าเกินจำนวน โหนดให้ไปทำงานขั้นตอนที่ 6
- ขั้นตอนที่ 6 หยุดการทำงาน

สำหรับ โพลีชาร์ตการทำงานของอัลกอริทึมนี้แสดงในภาพที่ 8

ภาพที่ 8



แสดงโฟลว์ชาร์ตของการหา Minimum Link Capacity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ระบบการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพ (Performance Evaluation) ของเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์จากโครงสร้างของการเชื่อมต่อหน่วยสื่อสาร (หรือ โหนด) ที่กำหนดขึ้นตามวิธีการออกแบบที่กล่าวมาในบทที่ 2 ของงานวิจัยนี้โดยคำนึงถึง

- ก) จำนวนของคอนเซนทเรเตอร์ โหนด (Concentrator Node)
- ข) จำนวนของสเตชัน โหนด (Station Node)
- ค) จำนวนของสายนำสัญญาณ (Transmission Lines)
- ง) ปริมาณข้อมูลที่ส่งรับกันระหว่าง โหนด (Node)
- จ) ความเร็วของการส่งรับข้อมูล

เป็นตัวแปรสำคัญในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพดังกล่าว ผลของการวิเคราะห์จะเป็นส่วนช่วยให้ผู้ออกแบบเครือข่าย (Network Designer) ใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกรูปแบบโครงสร้างที่ต้องการได้

ประสิทธิภาพของเครือข่ายที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้ ได้แก่

- ก) ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบ
- ข) เวลาของการส่งผ่านข้อมูลภายในเครือข่าย
- ค) อัตราการใช้งานเครือข่าย

ง) เนื้อที่ของบัฟเฟอร์ภายในคอนเซนทเรเตอร์

3.2 ค่าใช้จ่ายจากโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบ^[3]

การออกแบบโครงสร้างเครือข่าย (Network Topology) ของงานวิจัยนี้ เริ่มต้นจากการกำหนดเฉพาะตำแหน่งของหน่วยสื่อสารหรือโหนดที่ต้องการเชื่อมต่อกันเป็นรูปเครือข่าย โดยให้มีจำนวนโหนดที่ทำหน้าที่เป็นคอนเซนทรีเตอร์น้อยที่สุดเท่าที่จำเป็นหรือตามจำนวนที่ผู้ใช้กำหนด และให้มีจำนวนสายนำสัญญาณน้อยที่สุด ตลอดจนมีความยาวของสายนำสัญญาณสั้นที่สุดตามสภาพของตำแหน่งการเชื่อมต่อ

ดังนั้นสิ่งที่ไม่เปลี่ยนแปลงภายหลังการออกแบบได้แก่ จำนวนโหนดทั้งหมดในเครือข่าย และสิ่งที่จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพการออกแบบ ได้แก่ จำนวนคอนเซนทรีเตอร์โหนด จำนวนสเตชันโหนด จำนวนสายนำสัญญาณและความยาวรวมทั้งหมดของสายนำสัญญาณ สิ่งที่จะเปลี่ยนแปลงภายหลังการออกแบบดังกล่าวนี้จะกลายเป็นตัวแปรสำคัญของการคำนวณหาค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้น

3.2.1 สัญลักษณ์และนิยามของตัวแปร (Notations and Its Definitions) กำหนดให้

- N : เป็นจำนวนโหนดทั้งหมดในเครือข่าย (รวมทั้งโหนดเสริมหรือ Dummy Node ที่อาจจะต้องเพิ่มขึ้นตามสภาพการออกแบบ)
- n_c : เป็นจำนวนคอนเซนทรีเตอร์โหนด
- $n_{s,d}$: เป็นจำนวนโหนดที่ทำหน้าที่เฉพาะ โหนดต้นทาง (Source Node) และ โหนดปลายทาง (Destination Node)
- n_t : เป็นจำนวนโหนดที่ทำหน้าที่เป็นทั้ง โหนดต้นทางและ โหนดปลายทางและ โหนดระหว่างทาง (Intermediate หรือ Transit Node)
- L : เป็นจำนวนสายนำสัญญาณทั้งหมด
- l_i : เป็นความยาวของสายนำสัญญาณลำดับที่ i (หน่วยเมตร)
โดยที่ $i = 1, 2, 3, \dots, L$
- c_i : เป็นราคาของสายนำสัญญาณลำดับที่ i (หน่วยบาท/เมตร) ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุของสายนำสัญญาณนั้น โดยที่ $i = 1, 2, 3, \dots, L$
- c_c : เป็นราคาเฉลี่ยต่อหน่วยของคอนเซนทรีเตอร์โหนด (Concentrator Node)
- $c_{s,d}$: เป็นราคาเฉลี่ยต่อหน่วยของเฮสติโหนด (Source/Destination Node)
- c_t : เป็นราคาเฉลี่ยต่อหน่วยของทรานซิสโหนด (Transit Node)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การคำนวณ

งานวิจัยนี้ได้แบ่งประเภทของ โหนดในเครือข่ายออกเป็น 2 แบบใหญ่ๆ ได้แก่

ก) สเตชัน โหนด ซึ่งแบ่งย่อยไปตามหน้าที่ภายในเครือข่ายได้เป็น 2 แบบ คือ

ก1) Source/Destination Node คือ โหนดที่ทำหน้าที่เป็นตัวสร้างข้อมูลแล้วส่งออก ไป เรียกว่าเป็น โหนดต้นทาง (Source Node) หรือทำหน้าที่เป็น โหนดรับข้อมูล เรียกว่า โหนดปลายทาง (Destination Node)

ก2) Transit Node คือ โหนดที่อยู่ระหว่างโหนดอื่นๆ ทำหน้าที่ส่งผ่านข้อมูลไปให้ โหนดข้างเคียงตลอดจนยังเป็น โหนดสร้างข้อมูลหรือรับข้อมูลได้เช่นเดียวกับข้อ

ก1

ข) คอนเซนทร์เตอร์ โหนด คือ โหนดที่ถูกออกแบบให้เป็น โหนดศูนย์กลางของสเตชัน โหนด ต่างๆ ซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่เป็น Switching Node, Control Node แล้ว ยังทำหน้าที่เช่นเดียวกับข้อ ก1 และ ก2 ได้อีกด้วย

จากการตั้งนิยามหน้าที่ตามความเป็นจริงของโหนดต่างๆ ดังกล่าว จะวิเคราะห์ได้ว่า ราคาต่อหน่วยของโหนดจะขึ้นอยู่กับความยุ่งยากและจำนวนของ โหนดเหล่านั้น นั่นคือจะได้ความสัมพันธ์

$$C_c \geq C_t \geq C_{sd}$$

ดังนั้นจากนิยามของสัญลักษณ์ตัวแปรจะได้จำนวน โหนดทั้งหมดในเครือข่าย

$$N = n_c + n_{sd} + n_t \quad (3.1)$$

$$\text{ค่าใช้จ่ายจากโหนดทั้งหมด} = n_c \times C_c + n_t \times C_t + n_{sd} \times C_{sd} \quad (3.2)$$

ในกรณีของสายนำสัญญาณนั้น งานวิจัยนี้ได้ตั้งสมมติฐานว่าสายนำสัญญาณ ในแต่ละ ส่วนอาจจะเป็นสายนำสัญญาณต่างประเภทกันได้ ทำให้มีราคาต่อหน่วยที่แตกต่างกันได้ ดังนั้น

$$\text{ค่าใช้จ่ายจากสายนำสัญญาณทั้งหมด} = \sum_{i=1}^L l_i c_i \quad (3.3)$$

เพราะฉะนั้น

ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดจากโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบ

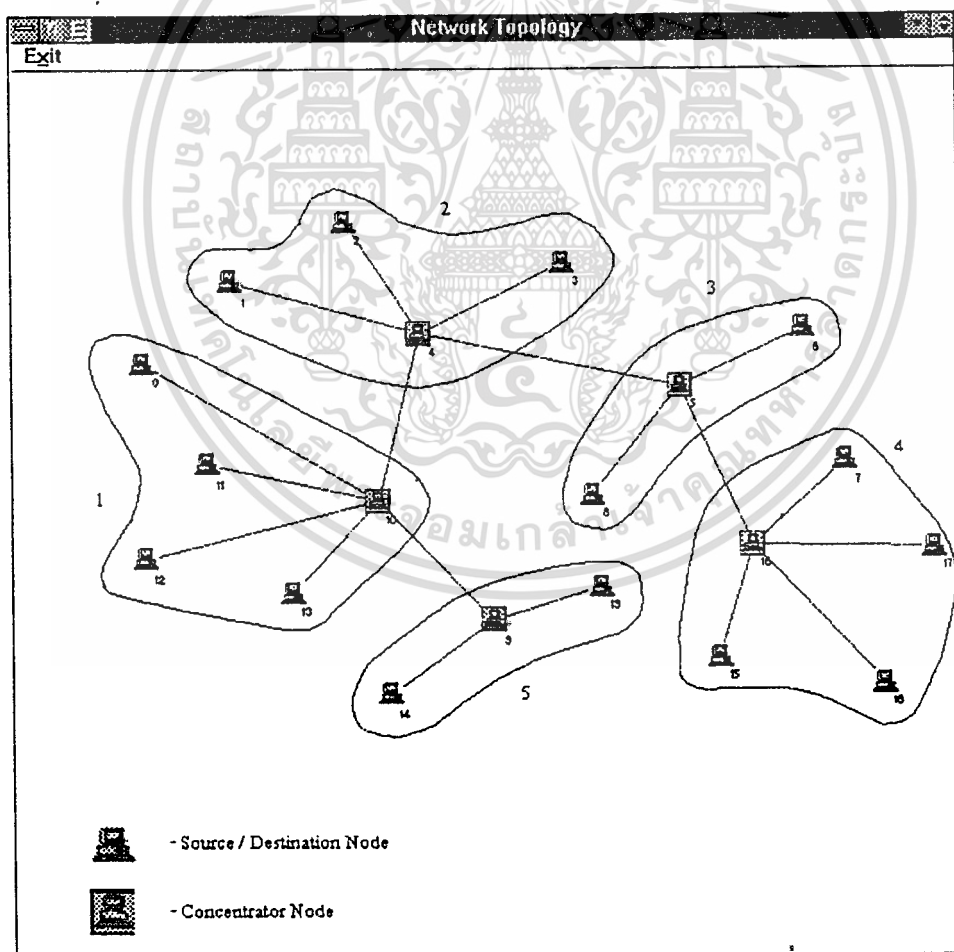
= ค่าใช้จ่ายจาก โหนดทั้งหมด + ค่าใช้จ่ายจากสายนำสัญญาณทั้งหมด

$$= n_c c_c + n_t c_t + n_{sd} c_{sd} + \sum_{i=1}^L l_i c_l \quad (3.4)$$

3.2.3 ผลการคำนวณจากโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบ

จากตัวอย่างโครงสร้างเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบ ดังแสดงในภาพที่ 9

ภาพที่ 9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ **แสดงตัวอย่าง โครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบ** เพื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 9 เป็นการออกแบบโครงสร้างเครือข่ายที่มีจำนวน โหนดทั้งสิ้น (N) 20 โหนด ซึ่งมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้

1. จำนวนโหนดทั้งหมด 20 โหนด สามารถแบ่งประเภทได้ดังนี้
 - 1.1 จำนวนคอนเซนทรีเตอร์ (n_c) 5 โหนด
 - 1.2 จำนวนเอสดีโหนด 15 โหนด
 - 1.3 จำนวนทรานซิสโหนด 0 โหนด
2. จำนวนสายนำสัญญาณทั้งหมด (L) 19 ลิงค์ (Link) ซึ่งแบ่งออกได้เป็น
 - 2.1 จำนวนสายนำสัญญาณระหว่างโหนดกับคอนเซนทรีเตอร์ 15 ลิงค์
 - 2.2 จำนวนสายนำสัญญาณระหว่างคอนเซนทรีเตอร์ 4 ลิงค์

จากสมการ (3.1) และ (3.2) สามารถคำนวณจำนวนโหนดทั้งหมดและค่าใช้จ่ายจากโหนดทั้งหมดได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 N &= n_c + n_{sd} + n_t \\
 &= 5 + 15 + 0 \\
 &= 20 \text{ โหนด}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าใช้จ่ายจากโหนดทั้งหมด} &= n_c c_c + n_t c_t + n_{sd} c_{sd} \\
 &= 5c_c + 15c_{sd}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าใช้จ่ายจากสายนำสัญญาณทั้งหมด} &= \sum_{i=1}^{19} l_i c_i \\
 &= (l_1 c_1 + l_2 c_2 + l_3 c_3 + \dots + l_{19} c_{19}) \\
 &= 190.297c_1 + 123.767c_2 + 155.590c_3 + \\
 &= 130.905c_4 + 130.833c_5 + 119.486c_6 + 112.001c_7 + \\
 &= 263.0c_8 + 169.566c_9 + 233.623c_{10} + 154.491c_{11} + \\
 &= 117.810c_{12} + 107.031c_{13} + \\
 &= 175.412c_{14} + 178.408c_{15} + \\
 &= 154.491c_{16} + 158.961c_{17} + \\
 &= 260.086c_{18} + 161.003c_{19}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตัวอย่างนี้ สมมติค่าใช้จ่ายจาก โหนดและสายนำสัญญาณ ดังต่อไปนี้

กำหนดให้ ราคาของเอสดีโหนด เป็นราคาฐานเท่ากับ x บาท

ราคาของทรานซิสโหนดมีค่าเป็น 2 เท่าของเอสดีโหนด = $2x$ บาท

ราคาของคอนเซนทร์เตอร์มีค่าเป็น 3 เท่าของเอสดีโหนด = $3x$ บาท

ราคาของสายนำสัญญาณ เท่ากับ y บาทต่อเมตร

ซึ่งสมมติให้ราคาของสายนำสัญญาณทุกสิ่งมีราคาเท่ากันหมด

นั่นคือ $c_1 = c_2 = c_3 = \dots = c_{19} = y$ บาท/เมตร

จากตัวอย่างการกำหนดราคาต่อหน่วยของสายนำสัญญาณและโหนดต่างๆ สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายจากโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบ ได้ดังนี้

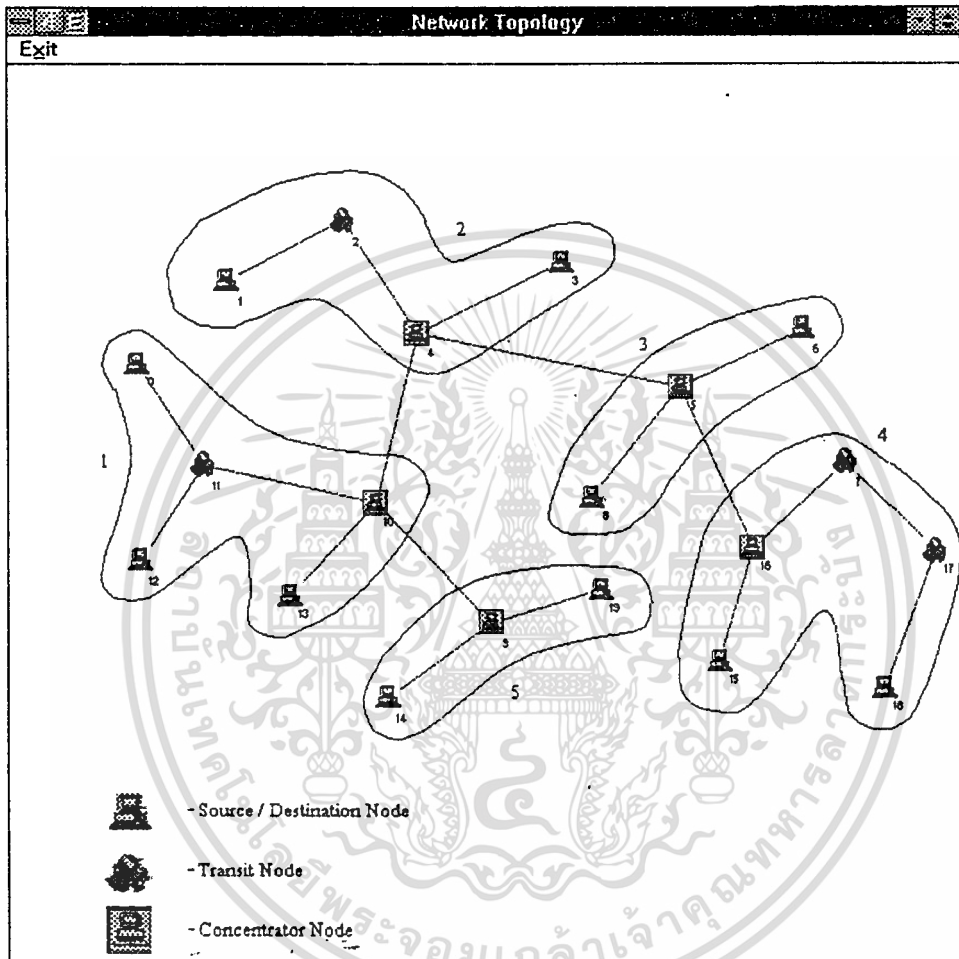
$$\begin{aligned} \text{ค่าใช้จ่ายจาก โหนดทั้งหมด} &= 5c_c + 15c_{sd} \\ &= 5(3x) + 15x \\ &= 30x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าใช้จ่ายจากสายนำสัญญาณทั้งหมด} &= y(l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_{19}) \\ &= y[190.297 + 123.767 + 155.590 + 130.905 + \\ &\quad 130.833 + 119.486 + 112.001 + 263.0 + \\ &\quad 169.566 + 233.623 + 154.491 + 117.810 + \\ &\quad 107.031 + 175.412 + 178.408 + 154.491 + \\ &\quad 158.961 + 260.086 + 161.003] \\ &= 2989.73y \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้น ค่าใช้จ่ายจากโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบ = $30x + 2989.73y$

หลังจากทำการปรับปรุงโครงสร้างใหม่ จะได้โครงสร้างเครือข่ายใหม่ดังแสดงในภาพที่

ภาพที่ 10



แสดงการปรับปรุงรูปแบบการเชื่อมต่อคอนเซ็นต์เตอร์กับกลุ่มโหนด

จากภาพที่ 10 เป็นการออกแบบโครงสร้างเครือข่ายที่มีจำนวน โหนดทั้งสิ้น (N) 20 โหนด ซึ่งมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้

1. จำนวนโหนดทั้งหมด 20 โหนด สามารถแบ่งประเภทได้ดังนี้
 - 1.1 จำนวนคอนเซ็นต์เตอร์ (n_c) 5 โหนด
 - 1.2 จำนวนเอสดีโหนด (n_{sd}) 12 โหนด
 - 1.3 จำนวนทรานซิสโหนด (n_t) 3 โหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. จำนวนสายนำสัญญาณทั้งหมด (L) 19 ลิงค์ ซึ่งแบ่งออกได้เป็น

- 2.1 จำนวนสายนำสัญญาณระหว่างโนคกับคอนเซนต์เตอร์ 15 ลิงค์
 2.2 จำนวนสายนำสัญญาณระหว่างคอนเซนต์เตอร์ 4 ลิงค์

จากรายละเอียดที่กล่าวมาแล้ว สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายจากโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบได้ดังนี้

$$\begin{aligned} N &= n_c + n_t + n_{sd} \\ &= 5 + 4 + 11 \\ &= 20 \text{ โนค} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าใช้จ่ายจาก โนคทั้งหมด} &= n_c c_c + n_t c_t + n_{sd} c_{sd} \\ &= 5c_c + 4c_t + 11c_{sd} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าใช้จ่ายจากสายนำสัญญาณทั้งหมด} &= \sum_{i=1}^{19} l_i c_i \\ &= l_1 c_1 + l_2 c_2 + l_3 c_3 + \dots + l_{19} c_{19} \\ &= 112.676c_1 + 169.566c_2 + 105.875c_3 + \\ &\quad 117.489c_4 + 119.486c_5 + 112.002c_6 + \\ &\quad 126.603c_7 + 123.767c_8 + 155.570c_9 + \\ &\quad 130.905c_{10} + 130.833c_{11} + 117.810c_{12} + \\ &\quad 117.569c_{13} + 107.031c_{14} + 132.558c_{15} + \\ &\quad 154.491c_{16} + 158.961c_{17} + 260.086c_{18} + \\ &\quad 161.003c_{19} \end{aligned}$$

จากตัวอย่างการกำหนดราคาต่อหน่วยของสายนำสัญญาณและ โนคต่างๆ สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายจากโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่าใช้จ่ายจาก โนคทั้งหมด} &= n_c c_c + n_t c_t + n_{sd} c_{sd} \\ &= 5(3x) + 4(2x) + 11x \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าใช้จ่ายจากสายนำสัญญาณทั้งหมด} &= y(l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_{19}) \\
 &= y[112.676 + 169.566 + 105.875 + \\
 &\quad 117.489 + 119.486 + 112.002 + \\
 &\quad 126.603 + 123.767 + 155.570 + \\
 &\quad 130.905 + 130.833 + 117.810 + \\
 &\quad 117.569 + 107.031 + 132.558 + \\
 &\quad 154.491 + 158.961 + 260.086 + 161.003]
 \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นค่าใช้จ่ายจากโครงสร้างเครือข่ายที่ปรับปรุง $= 34x + 2614.281y$

จากการคำนวณค่าใช้จ่ายจากโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบทั้ง 2 วิธี จากการแทนค่า x และ y ในสมการทั้ง 2 โดยสมมติให้ราคาต่อหน่วยของสายนำสัญญาณ (y) มีค่า 500 บาทต่อเมตร และราคาต่อหน่วยของเอสดีโนด เริ่มต้นที่ 10,000 บาท จนถึง 100,000 บาท สามารถสรุปได้ตั้งตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2

ตารางที่ 1
 แสดงการคำนวณค่าใช้จ่ายยกโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบในภาพที่ 9
 โดยกำหนดราคาของ Transmission Line 500 บาท/เมตร

ลำดับที่	Node			จำนวน Link	ความยาว Link ทั้งหมด	ราคา Node			ราคา Node รวม	ราคา Link บาท/เมตร	ราคา Link รวม	System Cost
	Concentrator	Transit	S/D			Concentrator	Transit	S/D				
1	5	0	15	19	2989.73	30,000	20,000	10,000	60,000	500	1,494,865	1,794,865
2	5	0	15	19	2989.73	60,000	40,000	20,000	120,000	500	1,494,865	2,094,865
3	5	0	15	19	2989.73	90,000	60,000	30,000	180,000	500	1,494,865	2,394,865
4	5	0	15	19	2989.73	120,000	80,000	40,000	240,000	500	1,494,865	2,694,865
5	5	0	15	19	2989.73	150,000	100,000	50,000	300,000	500	1,494,865	2,994,865
6	5	0	15	19	2989.73	180,000	120,000	60,000	360,000	500	1,494,865	3,294,865
7	5	0	15	19	2989.73	210,000	140,000	70,000	420,000	500	1,494,865	3,594,865
8	5	0	15	19	2989.73	240,000	160,000	80,000	480,000	500	1,494,865	3,894,865
9	5	0	15	19	2989.73	270,000	180,000	90,000	540,000	500	1,494,865	4,194,865
10	5	0	15	19	2989.73	300,000	200,000	100,000	600,000	500	1,494,865	4,494,865

ตารางที่ 2
 แสดงการคำนวณค่าใช้จ่ายจากโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบในภาพที่ 10
 โดยกำหนดราคาของ Transmission Line 500 บาท/เมตร

ลำดับที่	Node			จำนวน Link	ความยาว Link ทั้งหมด	ราคา Node			ราคา Link บบาท/เมตร	ราคา Link รวม	System Cost
	Concentrator	Transit	S/D			Concentrator	Transit	S/D			
1	5	4	11	19	2614.281	30,000	20,000	10,000	500	1,307,140	1,647,140
2	5	4	11	19	2614.281	60,000	40,000	20,000	500	1,307,140	1,987,140
3	5	4	11	19	2614.281	90,000	60,000	30,000	500	1,307,140	2,327,140
4	5	4	11	19	2614.281	120,000	80,000	40,000	500	1,307,140	2,667,140
5	5	4	11	19	2614.281	150,000	100,000	50,000	500	1,307,140	3,007,140
6	5	4	11	19	2614.281	180,000	120,000	60,000	500	1,307,140	3,347,140
7	5	4	11	19	2614.281	210,000	140,000	70,000	500	1,307,140	3,687,140
8	5	4	11	19	2614.281	240,000	160,000	80,000	500	1,307,140	4,027,140
9	5	4	11	19	2614.281	270,000	180,000	90,000	500	1,307,140	4,367,140
10	5	4	11	19	2614.281	300,000	200,000	100,000	500	1,307,140	4,707,140

3.2.4 สรุปผลการคำนวณและวิเคราะห์

ข้อแตกต่างที่เห็นได้ชัดสำหรับโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบและโครงสร้างเครือข่ายที่ปรับปรุงการเชื่อมต่อ คือ ค่าใช้จ่ายจากสายนำสัญญาณจะแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากเมื่อปรับปรุงโครงสร้างเครือข่ายแล้วระยะทางของสายนำสัญญาณรวมลดลง ทำให้ราคารวมของสายนำสัญญาณลดลงด้วย

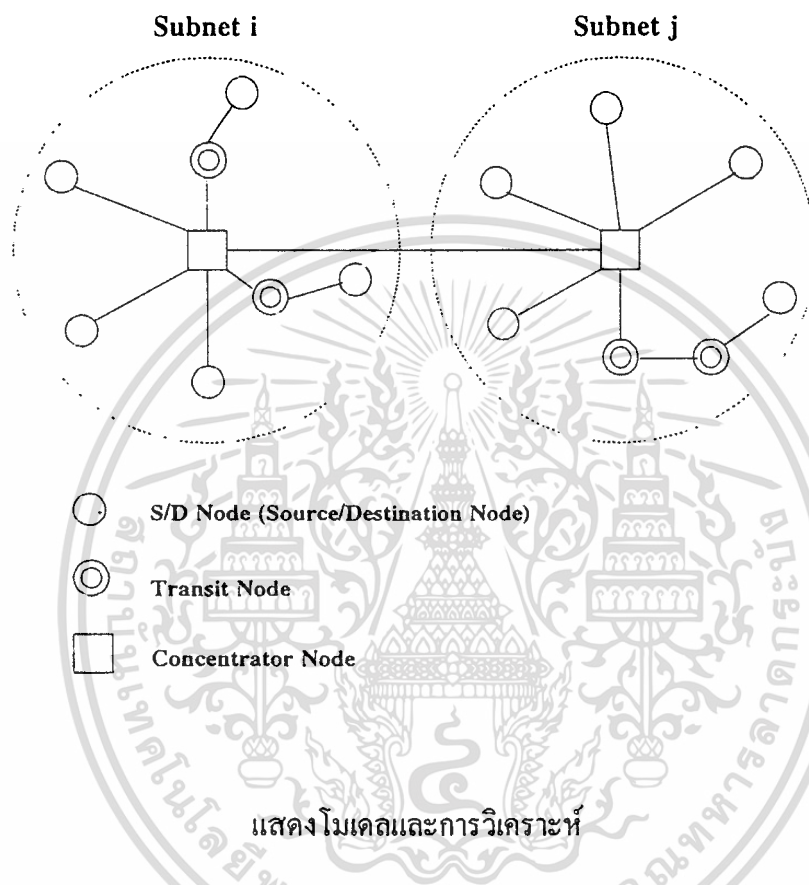
แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าค่าใช้จ่ายโดยรวมของโครงสร้างที่ปรับปรุงจะต่ำกว่าหรือไม่ เนื่องจากการปรับปรุงการเชื่อมต่อต้องมีการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ ซึ่งอาจจะทำให้ค่าใช้จ่ายสูงขึ้น ยิ่งราคาอุปกรณ์ที่ปรับเปลี่ยนมีราคาสูงมากๆ ก็อาจจะทำให้โครงสร้างเครือข่ายที่ปรับปรุงใหม่มีค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น ถ้าสังเกตจากตารางที่ 1 และ 2 จะเห็นว่าในระยะแรกที่ค่าใช้จ่ายจากเอสดีโนด 10,000 ถึง 50,000 บาท โครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบจะมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่า โครงสร้างเครือข่ายที่ปรับปรุง แต่หลังจากนั้นโครงสร้างเครือข่ายเริ่มต้นจะมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าโครงสร้างเครือข่ายที่ปรับปรุงการเชื่อมต่อ

3.3 เวลาของการส่งผ่านข้อมูลภายในเครือข่าย^[4]

ในการส่งรับข้อมูลภายในเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์นั้น สิ่งที่ใช้ต้องการมากที่สุดคือให้ข้อมูลของตนเองที่ส่งออกไปถึงมือผู้รับโดยเร็วที่สุด หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ ทำอย่างไรที่จะใช้เวลาในการส่งข้อมูลจากต้นทางถึงปลายทางน้อยที่สุด นั่นคือให้มีเวลาของการส่งผ่านข้อมูลภายในเครือข่าย (Delay Time) น้อยที่สุดนั่นเอง

จากการออกแบบโครงสร้างเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยนี้ จะได้โครงสร้างแบบระบบกระจายรวมศูนย์ (Concentrator Oriented Distributed System) โดยที่ในแต่ละกลุ่มของโหนดภายในเครือข่ายย่อยจะมีคอนเซนทริเตอร์จำนวน 1 โหนดเป็นศูนย์กลาง และแต่ละเครือข่ายย่อยเชื่อมโยงกันที่คอนเซนทริเตอร์ดังแสดงในภาพที่ 11

ภาพที่ 11



การส่งรับข้อมูลภายในเครือข่ายจากโหนดต้นทางไปยัง โหนดปลายทางนั้น อาจจะเป็นการส่งรับกันภายในเครือข่ายย่อย (Subnet) เดียวกันหรือระหว่าง โหนดที่อยู่กันคนละเครือข่ายย่อยก็ได้ โดยที่การส่งรับข้อมูลจะเป็นลักษณะของ Store-and-Forward Network

จากโครงสร้างที่ออกแบบที่เป็นลักษณะการเชื่อมต่อแบบระบบกระจายรวมศูนย์ นั่นคือการส่งรับข้อมูลภายในเครือข่ายย่อยเดียวกันหรือระหว่างเครือข่ายย่อยอื่น จะผ่านศูนย์กลางที่เป็นคอนเซ็ปต์ที่เรียกว่า เซอร์เวอร์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะทำการประเมินเวลาของการส่งผ่านข้อมูลภายในเครือข่าย จากค่าเฉลี่ยของเวลาที่ข้อมูลจะต้องผ่านการ โพรเซส (Process) ที่คอนเซ็ปต์ที่เรียกว่า เซอร์เวอร์ ในแต่ละเครือข่ายย่อยที่จะต้องส่งผ่านไปบนเส้นทางการส่งข้อมูล (Transmission Route) ที่ถูกกำหนดจากต้นทางถึงปลายทาง

จากการศึกษาโครงสร้างของเครือข่ายที่ออกแบบ พบว่าสามารถประยุกต์ M/M/1 Queueing System^[5] เป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณหาค่าเวลาของการส่งผ่านข้อมูลที่เกิดขึ้นที่คอนเซนทร์เตอร์ ดังที่จะได้กล่าวต่อไป

3.3.1 นิยามและสัญลักษณ์

M : เป็นจำนวนเครือข่ายย่อย (Subnet)

T_i : เป็นเวลาเฉลี่ยของการส่งผ่านข้อมูล (Average Delay Time ที่เกิดขึ้นที่คอนเซนทร์เตอร์ i ภายใน Subnet ลำดับที่ i โดยที่ $i = 1, 2, 3, \dots, M$

R_i : เป็นจำนวนลิงค์ที่ต่อกับคอนเซนทร์เตอร์ i ภายในเครือข่ายย่อยลำดับที่ i โดยที่ $i = 1, 2, 3, \dots, M$

λ_x : เป็นค่าเฉลี่ยของอัตราการมาถึงของข้อมูล (Average Input Message Rate) (msg/sec) จากช่องสัญญาณเข้า (Input Channel) ลำดับที่ x_i โดยที่ $x_i = 1, 2, 3, \dots, R_i$

$\frac{1}{\mu}$: เป็นขนาดเฉลี่ยของข้อมูล (Average Message Size) (bits)

C : เป็นความเร็วในการส่งข้อมูล (Transmission Speed) ของคอนเซนทร์เตอร์ (bps) เท่ากับความเร็วในการส่งข้อมูลในสายนำสัญญาณ (Transmission Line Speed)

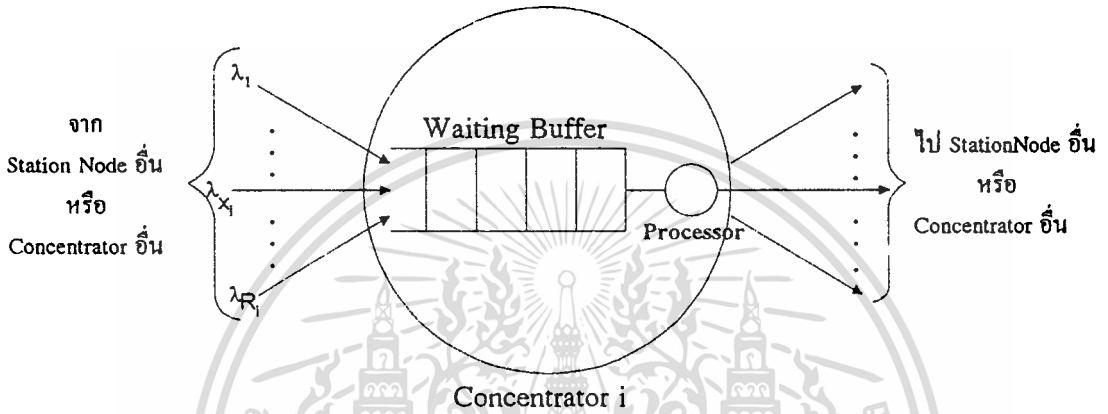
K_i : เป็นค่าเฉลี่ยของจำนวนข้อมูล (Message) ที่มาถึงและถูกจัดเก็บชั่วคราว (Store) ไว้ภายในคอนเซนทร์เตอร์ i ภายในเครือข่ายย่อยลำดับที่ i โดยที่ $i = 1, 2, 3, \dots, M$

T_i : เป็นเวลาในการส่งผ่านข้อมูลที่เกิดขึ้นที่คอนเซนทร์เตอร์ i ภายในเครือข่ายย่อยลำดับที่ i หรือเวลาเฉลี่ยที่แต่ละข้อมูลต้องถูกใช้ในการส่งผ่านเครือข่ายย่อยลำดับที่ i โดยที่ $i = 1, 2, 3, \dots, M$

λ : เป็นผลรวมของค่าเฉลี่ยของอัตราการมาถึงของข้อมูลที่คอนเซนทร์เตอร์ i ภายในเครือข่ายย่อย i โดยที่ $i = 1, 2, 3, \dots, M$

3.3.2 โมเดลและการวิเคราะห์

ภาพที่ 12



แสดง Queueing Model ของคอนเซ็นท์เตอร์

ภาพที่ 12 แสดง Queueing Model ของคอนเซ็นท์เตอร์ ภายในเครือข่ายลำดับที่ i ($i = 1, 2, \dots, M$) โดยมีจำนวนสายนำสัญญาณต่ออยู่ R_i ลิงค์ ($R_i \geq 1$) นั่นคือ จะมี R_i ช่องสัญญาณออก (Output Channels)

ภายในคอนเซ็นท์เตอร์จะมีส่วนของหน่วยความจำ (Memory) ที่ถูกจัดแบ่งเป็นบัฟเฟอร์ (Buffer) ในการจัดเก็บเพื่อพัก (Store) ข้อมูลที่รับเข้ามาชั่วคราวจนกว่าจะส่งและเข้าสู่การประมวลผล (Processing) โดยโปรเซสเซอร์ (Processor) เพื่อทำการส่งผ่านไปยังโนดต่อไป

การประมวลผลในที่นี้ จะมีมากขึ้นอยู่กับกติกา (Protocols) ที่เลือกใช้ โดยพื้นฐานแล้วจะมีการประมวลผลเกี่ยวกับการตรวจสอบที่อยู่ (Address) เพื่อการกำหนดเส้นทางส่งผ่านข้อมูล (Routing Decision หรือ Switching Decision), การตรวจสอบความผิดพลาดในข้อมูล (Error Control) เป็นต้น

ลักษณะการมาถึงของข้อมูลที่คอนเซ็นท์เตอร์นั้น จะเข้าสู่บัฟเฟอร์ของคอนเซ็นท์เตอร์ทีละข้อมูลและการประมวลผลข้อมูลจะเป็นแบบ FCFS (First-Come-First-Serve)

ดังนั้นสามารถสมมติให้การมาถึงของข้อมูลที่คอนเซ็นท์เตอร์มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบการกระจาย Poisson (Poisson Distribution)

ดังนั้น เมื่อ $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, \dots, \lambda_N$ ต่างเป็นค่าเฉลี่ยภายใต้การกระจายแบบ Poisson แล้ว ผลรวมของค่าเฉลี่ยของอัตราการมาถึงของข้อมูลทั้งหมดที่คอนเซ็นท์เตอร์ i คือ λ_i จะได้เป็น

$$\lambda_i = \sum_{s_i=1}^{R_i} \lambda_{s_i} \quad (3-5)$$

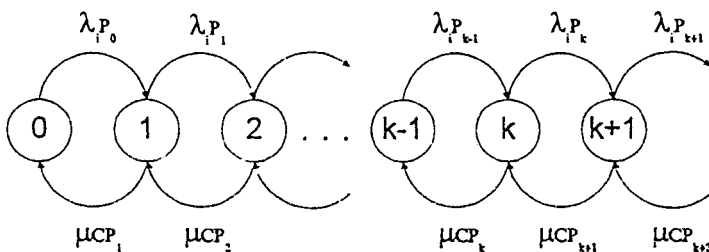
และ λ_i จะมีการเปลี่ยนแปลงภายใต้การกระจายแบบ Poisson ด้วย

ในส่วนของกระบวนการประมวลผลข้อมูลที่โปรเซสเซอร์นั้น เมื่อผ่านการประมวลผลแล้วข้อมูลจะถูกส่งออกไป (Forward) ที่ช่องสัญญาณออก (Output Channel) ด้วยความเร็ว C บิตต่อวินาที ดังนั้นเมื่อความยาวเฉลี่ยของแต่ละข้อมูลเท่ากับ $\frac{1}{\mu}$ บิต จะคำนวณหาอัตราการส่ง ข้อมูลออกจากคอนเซ็นท์เตอร์ได้ในรูปของความจุของช่องสัญญาณ (Channel Capacity) ดังนี้

$$\text{Channel Capacity} = \mu C \quad \text{msg/sec} \quad (3-6)$$

ถ้าอัตราการส่งข้อมูลออกจากคอนเซ็นท์เตอร์ที่มีค่าเฉลี่ยเป็น μC msg/sec มีการกระจายแบบ Exponential Distribution คือ ค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามหน่วยเวลาที่เพิ่มขึ้น จะสามารถใช้ M/M/1 Queuing System กับการคำนวณของโมเดลคอนเซ็นท์เตอร์ในภาพที่ 12 ได้ และจะแสดงการเปลี่ยนแปลงของจำนวนข้อมูลที่ถูกจัดเก็บ (Store) ไว้ในบัฟเฟอร์ของคอนเซ็นท์เตอร์ภายใต้สถานการณ์ของความสมดุล (Steady State) ได้ ดังแสดงในภาพที่ 13

ภาพที่ 13



ในที่นี้

- ก) \textcircled{K} แทนสถานะภาพที่บ่งว่ามี k ข้อมูลอยู่ในคอนเซ็นท์เตอร์
- ข) P_k เป็นค่าความน่าจะเป็น (Probability) ที่แสดงว่ามี k ข้อมูลอยู่ในคอนเซ็นท์เตอร์ (รวมข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์และข้อมูลที่กำลังได้รับการประมวลผลที่โปรเซสเซอร์) $k = 0, 1, 2, 3, \dots$
- ค) λP_k เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงสถานะจากการที่มี 1 ข้อมูลมาถึงคอนเซ็นท์เตอร์ทำให้สถานะเปลี่ยนจาก k เป็น $k+1$
- ง) μCP_k เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพเนื่องจากมี 1 ข้อมูลได้รับการประมวลผลแล้วถูกส่งออกจากคอนเซ็นท์เตอร์ทำให้สถานะเปลี่ยนจาก k เป็น $k-1$
- จ) k เป็นจำนวนข้อมูลภายในคอนเซ็นท์เตอร์ ณ เวลาใดๆ $k = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$

จากกฎของการรักษาภาพความสมดุลของสถานะภาพ (Flow Balancing Law) ภายใน State-Transition-Rate-Diagram กล่าวคือ สถานะภาพใดๆ จะคงอยู่ได้ต่อเมื่อ

อัตราของการเปลี่ยนแปลงเข้าสู่สถานะภาพนั้น = อัตราการเปลี่ยนแปลงออกจากสถานะภาพนั้น (3.7)

ดังนั้นจากภาพที่ 13 เราจะสร้างสมการของความสมดุล (Equilibrium Equations) โดยเริ่มต้นจาก ณ เวลาเริ่มต้นที่ไม่มีข้อมูลอยู่ภายในคอนเซ็นท์เตอร์ (หมายถึง $k=0$)

$$\lambda P_0 = \mu CP_1 \quad (3.8)$$

และในทำนองเดียวกัน ที่สถานะภาพ $k=1$ จะได้

$$\lambda P_1 + \mu CP_1 = \mu CP_2 + \lambda P_0 \quad (3.9)$$

จาก (3.8), (3.9) จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$\lambda P_1 = \mu CP_2 \quad (3.10)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นคือ ที่ k ใดๆ จะได้

$$\lambda_1 P_k = \mu C P_{k+1} \quad (3.11)$$

สมการเหล่านี้อยู่ในรูปของสมการเชิงเส้น (Linear Equation) เมื่อเริ่มต้นจาก (3.8) จะได้

$$P_1 = \frac{\lambda_1}{\mu C} P_0 \quad (3.12)$$

และจาก (3.10) และ (3.12) จะได้

$$P_2 = \frac{\lambda_1}{\mu C} P_1$$

$$P_2 = \left(\frac{\lambda_1}{\mu C}\right)^2 P_0 \quad (3.13)$$

ในการทำงานเดียวกันที่ k ใดๆ จะได้

$$P_k = \left(\frac{\lambda_1}{\mu C}\right)^k P_0 \quad (3.14)$$

เพื่อความกระชับรัดของสมการจะกำหนดให้ $\rho_i = \frac{\lambda_1}{\mu C}$ ดังนั้น

$$P_k = \rho_i^k P_0 \quad i = 1, 2, 3, \dots, M \quad (3.15)$$

จากความเป็นจริงทางทฤษฎีของความน่าจะเป็นพบว่า ผลรวมของค่าความน่าจะเป็นทั้งหมดภายในระบบเดียวกันจะเท่ากับ 1 ดังนั้น

$$\sum_{k=0}^{\infty} P_k = \sum_{k=0}^{\infty} \rho_i^k P_0 = 1 \quad (3.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก (3.16) จะได้

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{\infty} \rho_i^k}$$

$$P_0 = \frac{1}{1 - \rho_i}$$

$$\therefore P_0 = 1 - \rho_i \quad (3.17)$$

นั่นคือ

$$P_k = (1 - \rho_i) \cdot \rho_i^k \quad i = 1, 2, 3, \dots, M \quad (3.18)$$

เมื่อกำหนดให้ K_i เป็นจำนวนข้อมูลทั้งหมดที่อยู่ในคอนเซ็นท์เตอร์ i ณ เวลาใดๆ
จะได้

$$\begin{aligned} K_i &= \sum_{k=0}^{\infty} k P_k \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} k (1 - \rho_i) \rho_i^k \\ &= (1 - \rho_i) \sum_{k=0}^{\infty} k \rho_i^k \end{aligned}$$

$$\therefore K_i = \frac{\rho_i}{1 - \rho_i} \quad i = 1, 2, 3, \dots, M \quad (3.19)$$

ในอีกทางหนึ่งพบว่า เมื่อ T_i เป็นเวลาโดยเฉลี่ยที่แต่ละข้อมูลต้องเสียไปในการส่งผ่านคอนเซ็นท์เตอร์ i หมายความว่า จำนวนเวลาที่ข้อมูลใดๆ มาถึงคอนเซ็นท์เตอร์ i จะต้องอยู่ภายในคอนเซ็นท์เตอร์ i จนกระทั่งได้รับการประมวลผลแล้วถูกส่งออกไปนั้นเท่ากับ T_i

เพราะฉะนั้นในช่วงเวลา T_i จะมีข้อมูลมาถึงและถูกจัดเก็บไว้ภายในคอนเซ็นท์เตอร์ i เป็นจำนวน

$\lambda_i T_i$

Message

ณ สถานภาพแห่งความสมดุล (Steady State) ที่เวลาใดๆ จะได้
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K_i = \frac{\rho_i}{1 - \rho_i} = \lambda_i T_i \quad (3.20)$$

$$\therefore T_i = \frac{\lambda_i}{\mu C} \left(1 - \frac{\lambda_i}{\mu C} \right) \lambda_i$$

$$T_i = \frac{1}{\mu C - \lambda_i} \quad i = 1, 2, 3, \dots, M \quad (3.21)$$

สมการที่ (3.21) แสดงค่าของการเวลาของการส่งผ่านข้อมูล (Delay Time) ที่จะเกิดขึ้นที่คอนเซนทร์เตอร์ i ภายในเครือข่ายย่อย i

จากการที่โครงสร้างของการเชื่อมต่อภายในเครือข่ายย่อยต่างๆ มีความคล้ายคลึงกันสมการที่ (3.21) จึงใช้แทนค่าเฉลี่ยของเวลาของการส่งผ่านข้อมูลที่เครือข่ายย่อยใดๆ ได้ ($i = 1, 2, 3, \dots, M$)

ดังนั้น ถ้าให้ m เป็นจำนวนเครือข่ายย่อยที่ข้อมูลใดๆ จะต้องถูกส่งผ่านจากต้นทางไปถึงปลายทาง ($1 \leq m < M$) จะคำนวณหาเวลาที่ส่งผ่านข้อมูลนั้นภายในเครือข่ายโดยเฉลี่ยได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{เวลาของการส่งผ่านข้อมูลภายในเครือข่าย} &= \sum_i^m T_i \\ &= \sum_{i \in \text{on transmission route}}^m \frac{1}{\mu C - \lambda_i} \end{aligned} \quad (3.22)$$

โดยที่ i คือลำดับของเครือข่ายย่อยบนเส้นทางการส่งข้อมูลนั้น

และค่าสูงสุดของเวลาของการส่งผ่านข้อมูลภายในเครือข่ายที่ออกแบบ

$$\text{Maximum Delay Time} = \sum_{i=1}^M T_i \quad (3.23)$$

3.3.3 ผลการคำนวณจากโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบ

จากโครงสร้างเครือข่ายในภาพที่ 9 สามารถแบ่งโครงสร้างเครือข่ายออกเป็น 5 เครือข่ายย่อยซึ่งแต่ละเครือข่ายย่อยมี 1 คอนเซนทร์เตอร์ ดังนี้

เครือข่ายย่อย 1 มีโนด 10 เป็นคอนเซนทร์เตอร์มีสมาชิกทั้งสิ้น 4 โนด

คือ โนด 0, 11, 12, 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เครือข่ายย่อย 2 มีโหนด 4 เป็นคอนเซนต์เตอร์เตอร์มีสมาชิกทั้งสิ้น 3 โหนด
คือ โหนด 1, 2, 3
- เครือข่ายย่อย 3 มีโหนด 5 เป็นคอนเซนต์เตอร์เตอร์มีสมาชิกทั้งสิ้น 2 โหนด
คือ โหนด 6, 8,
- เครือข่ายย่อย 4 มีโหนด 16 เป็นคอนเซนต์เตอร์เตอร์มีสมาชิกทั้งสิ้น 4 โหนด
คือ โหนด 7, 15, 17, 18
- เครือข่ายย่อย 5 มีโหนด 9 เป็นคอนเซนต์เตอร์เตอร์มีสมาชิกทั้งสิ้น 4 โหนด
คือ โหนด 14, 19

ซึ่งจากภาพที่ 9 แต่ละโหนดจะเชื่อมตรงไปยังคอนเซนต์เตอร์เตอร์

เพื่อการคำนวณแสดงผลในรูปของตัวเลข จะสมมติค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

กำหนดให้

1. ความยาวเฉลี่ยของแต่ละข้อมูล $(\frac{1}{\mu}) = 1024$ บิต
2. ความเร็วของการส่งข้อมูลออกไปที่ช่องสัญญาณออก (Output Channel) = 56000 บิตต่อวินาที
3. อัตราการมาถึงของข้อมูลที่คอนเซนต์เตอร์เตอร์ $(\lambda) = 5$ msg/sec

ดังนั้น จะได้ Channel Capacity = $\mu C = 9.765625 \times 10^{-4} \times 56000 = 54.69$ msg/sec

จากสมการ (3.21)

$$T_i = \frac{1}{\mu C - \lambda}$$

จะสามารถคำนวณเวลาของการส่งผ่านข้อมูลในเครือข่ายของแต่ละเครือข่ายย่อยได้ดังต่อไปนี้

เครือข่ายย่อย 1 มีสายนำสัญญาณ 6 ลิงค์เชื่อมตรงกับคอนเซนทรีเตอร์ซึ่งแบ่งออกเป็น
จากเอสดีโนด 4 ลิงค์ และจากคอนเซนทรีเตอร์ข้างเคียง 2 ลิงค์ ดังนั้น
 $\lambda = 30 \text{ msg/sec}$ ซึ่งจะได้

$$T_1 = \frac{1}{54.69 - 30} = 0.041 \text{ Sec.}$$

เครือข่ายย่อย 2 มีสายนำสัญญาณ 5 ลิงค์เชื่อมตรงกับคอนเซนทรีเตอร์ ซึ่งแบ่งออก
เป็นจากเอสดีโนด 3 ลิงค์ และจากคอนเซนทรีเตอร์ข้างเคียง 2 ลิงค์
ดังนั้น $\lambda = 25 \text{ msg/sec}$ ซึ่งจะได้

$$T_2 = \frac{1}{54.69 - 25} = 0.034 \text{ Sec.}$$

เครือข่ายย่อย 3 มีสายนำสัญญาณ 4 ลิงค์เชื่อมตรงกับคอนเซนทรีเตอร์ ซึ่งแบ่งออกเป็น
จากเอสดีโนด 2 ลิงค์ และจากคอนเซนทรีเตอร์ข้างเคียง 2 ลิงค์ ดังนั้น
 $\lambda = 20 \text{ msg/sec}$ ซึ่งจะได้

$$T_3 = \frac{1}{54.69 - 20} = 0.029 \text{ Sec.}$$

เครือข่ายย่อย 4 มีสายนำสัญญาณ 5 ลิงค์ เชื่อมตรงกับคอนเซนทรีเตอร์ซึ่งแบ่งออกเป็น
จากเอสดีโนด 3 ลิงค์และจากคอนเซนทรีเตอร์ข้างเคียง 2 ลิงค์ ดังนั้น
 $\lambda = 25 \text{ msg/sec}$ ซึ่งจะได้

$$T_4 = \frac{1}{54.69 - 25} = 0.034 \text{ Sec.}$$

เครือข่ายย่อย 5 มีสายนำสัญญาณ 3 ลิงค์ เชื่อมตรงกับคอนเซนทรีเตอร์ซึ่งแบ่งออกเป็น
จากเอสดีโนด 2 ลิงค์ และจากคอนเซนทรีเตอร์ข้างเคียง 1 ลิงค์ ดังนั้น
 $\lambda = 15 \text{ msg/sec}$ ซึ่งจะได้

$$T_5 = \frac{1}{54.69 - 15} = 0.025 \text{ Sec.}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น Maximum Delay Time} &= \sum_i^5 T_i \\ &= 0.041 + 0.034 + 0.029 + 0.034 + 0.025 \text{ Sec} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ธุรกิจของเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากการปรับปรุงรูปแบบการเชื่อมต่อคอนเซนทรีเตอร์กับกลุ่ม โหนด ดังภาพที่ 10 สามารถคำนวณหาเวลาของการส่งผ่านข้อมูลภายในเครือข่าย โดยแบ่งโครงสร้างเครือข่ายออกเป็น 5 เครือข่ายย่อย ซึ่งแต่ละ เครือข่ายย่อยมี 1 คอนเซนทรีเตอร์ ดังนี้

เครือข่ายย่อย 1 มี โหนด 10 เป็นคอนเซนทรีเตอร์มีสมาชิกทั้งสิ้น 4 โหนด
คือ โหนด 0, 11, 12, 13

เครือข่ายย่อย 2 มี โหนด 4 เป็นคอนเซนทรีเตอร์มีสมาชิกทั้งสิ้น 3 โหนด
คือ โหนด 1, 2, 3

เครือข่ายย่อย 3 มี โหนด 5 เป็นคอนเซนทรีเตอร์มีสมาชิกทั้งสิ้น 2 โหนด
คือ โหนด 6, 8,

เครือข่ายย่อย 4 มี โหนด 16 เป็นคอนเซนทรีเตอร์มีสมาชิกทั้งสิ้น 4 โหนด
คือ โหนด 7, 15, 17, 18

เครือข่ายย่อย 5 มี โหนด 9 เป็นคอนเซนทรีเตอร์มีสมาชิกทั้งสิ้น 4 โหนด
คือ โหนด 14, 19

ข้อสังเกต สำหรับโครงสร้างเครือข่ายในภาพที่ 10 นี้ มีบางโหนดที่ไม่ได้เชื่อมตรงกับคอนเซนทรีเตอร์ แต่จะเชื่อมกับทรานซิสโหนดก่อน

สามารถคำนวณเวลาของการส่งผ่านข้อมูลในเครือข่ายของแต่ละเครือข่ายย่อยได้ดังต่อไปนี้

เครือข่ายย่อย 1 มีสายนำสัญญาณ 4 ลิงค์ เชื่อมตรงกับคอนเซนทรีเตอร์
ดังนั้น $\lambda = 20 \text{ msg/sec}$ ซึ่งจะได้

$$T_1 = \frac{1}{54.69 - 20} = 0.029 \text{ Sec.}$$

เครือข่ายย่อย 2 มีสายนำสัญญาณ 4 ลิงค์ เชื่อมตรงกับคอนเซนทรีเตอร์
ดังนั้น $\lambda = 20 \text{ msg/sec}$ ซึ่งจะได้

$$T_2 = \frac{1}{54.69 - 20} = 0.029 \text{ Sec.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครือข่ายย่อย 3 มีสายนำสัญญาณ 4 ลิงค์ เชื่อมตรงกับคอนเซนทรีเตอร์
ดังนั้น $\lambda = 20 \text{ msg/sec}$ ซึ่งจะได้

$$T_3 = \frac{1}{54.69 - 20} = 0.029 \text{ Sec.}$$

เครือข่ายย่อย 4 มีสายนำสัญญาณ 3 ลิงค์ เชื่อมตรงกับคอนเซนทรีเตอร์
ดังนั้น $\lambda = 15 \text{ msg/sec}$ ซึ่งจะได้

$$T_4 = \frac{1}{54.69 - 15} = 0.025 \text{ Sec.}$$

เครือข่ายย่อย 5 มีสายนำสัญญาณ 3 ลิงค์ เชื่อมตรงกับคอนเซนทรีเตอร์
ดังนั้น $\lambda = 15 \text{ msg/sec}$ ซึ่งจะได้

$$T_5 = \frac{1}{54.69 - 15} = 0.025 \text{ Sec.}$$

ดังนั้น Maximum Delay Time $= \sum_i T_i$
 $= 0.029 + 0.029 + 0.029 + 0.025 + 0.025$ วินาที
 $= 0.137 \text{ Sec.}$

3.3.4 สรุปผลการคำนวณและวิเคราะห์

จากตัวอย่างโครงสร้างเครือข่ายในภาพที่ 9 ซึ่งเป็นโครงสร้างเครือข่ายก่อนปรับปรุง จะใช้
เวลาของการส่งผ่านข้อมูลในเครือข่ายสูงกว่า โครงสร้างเครือข่ายที่ปรับปรุงแล้ว สาเหตุเพราะว่า
โครงสร้างเครือข่ายก่อนปรับปรุง ทุกโหนดจะเชื่อมต่อตรงไปยังคอนเซนทรีเตอร์ ดังนั้นทุกโหนด
ต่างมีอิสระในการส่งผ่านข้อมูล ซึ่งข้อมูลที่แต่ละโหนดส่งไปยังคอนเซนทรีเตอร์ จะถูกจัดเก็บ
(Store) ไว้ในบัฟเฟอร์ที่คอนเซนทรีเตอร์และถ้าทุกโหนดส่งข้อมูลได้อิสระ จะทำให้ข้อมูลที่ส่งมา
จากโหนดจะมารอประมวลผลที่คอนเซนทรีเตอร์ ทำให้เวลาของการส่งผ่านข้อมูลเพิ่มขึ้น

สำหรับโครงสร้างเครือข่ายที่ปรับปรุงแล้ว จะมีทรานซิสเตอร์ช่วยจัดเก็บ (Store) ข้อมูล
ก่อน จึงทำให้โอกาสที่บัฟเฟอร์ที่คอนเซนทรีเตอร์จะเต็มจึงต่ำ การไหลผ่านของข้อมูลจึงสะดวก
เป็นผลให้เวลาของการส่งผ่านข้อมูลต่ำด้วย

3.4 อัตราการใช้งานเครือข่าย

3.4.1 การวิเคราะห์หาอัตราการใช้งาน^[6]

ในการวิเคราะห์หาค่าของเวลาในการส่งผ่านข้อมูลภายในเครือข่าย (Delay Time) ที่กล่าวมาในบทที่ 3.3 นั้นได้ใช้โมเดลของโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบตามวัตถุประสงค์ของผู้ใช้ด้วยวิธีการของงานวิจัยนี้ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 11

จากหลักการส่งผ่านข้อมูลภายในเครือข่ายในรูปของการเก็บแล้วส่งออกไป (Store and Forward Transmission) ทำให้ได้ผลของการวิเคราะห์ในบทที่ 3.2 ว่าเวลาของการส่งผ่านข้อมูล (Delay Time) จะขึ้นอยู่กับเวลาของการประมวลผลข้อมูล (Processing by Storing) และการส่งผ่านข้อมูล (Transferring by Forwarding) ที่คอนเซ็นท์เตอร์ตลอดจนขึ้นอยู่กับปริมาณข้อมูลที่ส่งผ่านมาที่คอนเซ็นท์เตอร์นั้น จึงเห็นได้ชัดเจนว่า กิจกรรม (Activity) หลักของการใช้งานเครือข่ายจึงขึ้นอยู่กับปริมาณข้อมูลที่ส่งผ่านคอนเซ็นท์เตอร์ แต่ละหน่วยภายในเครือข่าย จากโน้ตค้นทางไปยังโน้ตปลายทาง

ด้วยการสร้าง Queueing Model ให้กับคอนเซ็นท์เตอร์ ดังภาพที่ 12 ได้ผลการคำนวณจากสมการ (3.24)

$$P_k = (1 - \rho_i) \rho_i^k \quad (3.24)$$

ในที่นี้

$$\rho_i = \frac{\lambda_i}{\mu C}$$

จากนิยามในบทที่ 3.2

λ_i คือ อัตราการมาถึงของข้อมูลที่คอนเซ็นท์เตอร์ i ภายในเครือข่ายย่อยลำดับที่ i (msg/sec)

μC คือ อัตราการประมวลผลข้อมูลที่ส่งออกจากคอนเซ็นท์เตอร์ในเครือข่ายย่อยใดๆ (สมมติให้เท่ากันหมดทุกคอนเซ็นท์เตอร์) (msg/sec)

ดังนั้น

$$\rho_i = \frac{\text{อัตราการไหลของข้อมูลเข้าสู่โน้ต}}{\text{อัตราการไหลออกของข้อมูลจากโน้ต}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้อัตราการไหลออกของข้อมูลจากโน้ต อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงกล่าวได้เป็นข้อสรุปว่า

ρ_i = อัตราการใช้งานของคอนเซนทเรเตอร์ i ภายในเครือข่ายย่อยลำดับที่ i
(เรียกว่า Concentrator Utilization)

ในทางปฏิบัติแล้วบัฟเฟอร์หรือหน่วยความจำของโนดหรือของคอนเซนทเรเตอร์ใด ๆ นั้นจะมีจำนวนที่มีขอบเขต (Limited Buffer Area) ดังนั้น ถ้าอัตราการไหลเข้าสู่โนดของข้อมูลมากกว่าอัตราการไหลออกของข้อมูลแล้ว จะทำให้ปริมาณข้อมูลที่ถูกจัดเก็บ (Store) ไว้ในบัฟเฟอร์เพื่อรอการประมวลผลนั้นมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ และเมื่อมีจำนวนมากเกินเนื้อที่จัดเก็บภายในโนดจะทำให้เกิดปัญหาบัฟเฟอร์โอเวอร์โฟลว์ (Buffer Overflow) หมายถึงข้อมูลที่มาถึงเมื่อเกิดเหตุการณ์นี้จะหลุดหายไป (Loss : หมายถึงถูก Reject) นั่นคือ

บัฟเฟอร์โอเวอร์โฟลว์ จะเกิดขึ้นเมื่อ $\rho_i > 1$
หรือ $\lambda_i > \mu C$

ดังนั้นในการออกแบบตามข้อเสนอจากการวิเคราะห์ของงานวิจัยนี้ จะกำหนดให้ผลรวมของปริมาณข้อมูลที่ไหลเข้าสู่คอนเซนทเรเตอร์ใดๆ จะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับอัตราการไหลออกของข้อมูลจากคอนเซนทเรเตอร์นั้นๆ

กฎการกำหนดอัตราการส่งข้อมูลเข้าสู่คอนเซ็นท์เตอร์

$$\rho_i \leq 1$$

$$\frac{\lambda_i}{\mu C} \leq 1$$

สิ่งที่ถูกกำหนดโดยทางปฏิบัติได้แก่ : μC msg/sec

ดังนั้นแต่ละสเตชัน โหนดจะต้องสร้างข้อมูลส่งไปที่คอนเซ็นท์เตอร์ของตนเองได้ ภายใต้การควบคุมให้

$$\left(\sum_{i=1}^{R_i} \lambda_{x_i} \right) = \lambda_i \leq \mu C$$

ถ้ากำหนดให้ทุกสเตชัน โหนดที่ต่อกับคอนเซ็นท์เตอร์ i ส่งปริมาณข้อมูลเท่ากันใน 1 หน่วยเวลา จะได้

$$\lambda_{x_i} = \lambda_x = \frac{\lambda_i}{R_i}$$

ในสภาพที่ $\rho_i \leq 1$ จะไม่เกิดปัญหาบัฟเฟอร์โอเวอร์โฟลล์ หรือกล่าวในทางตรงข้ามก็คือ จะทำให้เกิดสภาวะมั่นคง (Stable) ต่อเครือข่าย

ρ_i เป็นอัตราการใช้งานของคอนเซ็นท์เตอร์ i หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ อัตราการใช้บริการของข้อมูลภายในเครือข่ายย่อยลำดับที่ i ($i = 1, 2, 3, \dots, M$) ภายในเครือข่ายทั้งหมด

ดังนั้นค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้งานเครือข่ายทั้งหมด

$$\text{Average Network's Utilization} = \frac{\sum_{i=1}^M \rho_i}{M} \times 100\%$$

3.4.2 ผลการทดลองจากโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบ

จากโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบ ดังภาพที่ 9 เราสามารถคำนวณหาอัตราการใช้งานเครือข่ายได้ ดังนี้

กำหนดให้

1. ความยาวเฉลี่ยของแต่ละข้อมูล ($\frac{1}{\mu}$) = 1024 บิต

2. ความเร็วของการส่งข้อมูลออกไปที่ช่องสัญญาณออก (Output Channel) = 56000 บิตต่อวินาที

3. อัตราการมาถึงของข้อมูลที่คอนเซ็นท์เรเตอร์ (λ) = 5 msg/sec

ดังนั้น จะได้ Channel Capacity = $\mu C = 9.765625 \times 10^{-4} \times 56000 = 54.69$ msg/sec

ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการใช้งานเครือข่ายของแต่ละเครือข่ายย่อยได้ดังต่อไปนี้

เครือข่ายย่อย 1 มีสายนำสัญญาณ 6 ลิงค์ เชื่อมตรงกับคอนเซ็นท์เรเตอร์

ดังนั้น $\lambda = 30$ msg/sec ซึ่งจะได้

$$\rho_1 = \frac{30}{54.69} = 0.549$$

เครือข่ายย่อย 2 มีสายนำสัญญาณ 5 ลิงค์ เชื่อมตรงกับคอนเซ็นท์เรเตอร์

ดังนั้น $\lambda = 25$ msg/sec ซึ่งจะได้

$$\rho_2 = \frac{25}{54.69} = 0.457$$

เครือข่ายย่อย 3 มีสายนำสัญญาณ 4 ลิงค์ เชื่อมตรงกับคอนเซ็นท์เรเตอร์

ดังนั้น $\lambda = 20$ msg/sec ซึ่งจะได้

$$\rho_3 = \frac{20}{54.69} = 0.366$$

เครือข่ายย่อย 4 มีสายนำสัญญาณ 5 ลิงค์ เชื่อมตรงกับคอนเซ็นท์เรเตอร์

ดังนั้น $\lambda = 25$ msg/sec ซึ่งจะได้

$$\rho_4 = \frac{25}{54.69} = 0.457$$

เครือข่ายย่อย 5 มีสายนำสัญญาณ 3 ลิงค์ เชื่อมตรงกับคอนเซ็นท์เรเตอร์

ดังนั้น $\lambda = 15$ msg/sec ซึ่งจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho_5 = \frac{15}{54.69} = 0.274$$

$$\begin{aligned} \text{Average Network's Utilization} &= \frac{\sum_{i=1}^5 \rho_i}{5} \times 100 \\ &= \frac{(0.549 + 0.457 + 0.366 + 0.457 + 0.274)}{5} \times 100 \\ &= 42.06 \% \end{aligned}$$

จากโครงสร้างเครือข่ายในภาพที่ 10 เราสามารถหาอัตราการใช้งานเครือข่ายได้ดังนี้

เครือข่ายย่อย 1 มีสายนำสัญญาณ 4 ลิงค์ เชื่อมตรงกับคอนเซนทรีเตอร์

ดังนั้น $\lambda = 20 \text{ msg/sec}$ ซึ่งจะได้

$$\rho_1 = \frac{20}{54.69} = 0.366$$

เครือข่ายย่อย 2 มีสายนำสัญญาณ 4 ลิงค์ เชื่อมตรงกับคอนเซนทรีเตอร์

ดังนั้น $\lambda = 20 \text{ msg/sec}$ ซึ่งจะได้

$$\rho_2 = \frac{20}{54.69} = 0.366$$

เครือข่ายย่อย 3 มีสายนำสัญญาณ 4 ลิงค์ เชื่อมตรงกับคอนเซนทรีเตอร์

ดังนั้น $\lambda = 20 \text{ msg/sec}$ ซึ่งจะได้

$$\rho_3 = \frac{20}{54.69} = 0.366$$

เครือข่ายย่อย 4 มีสายนำสัญญาณ 3 ลิงค์ เชื่อมตรงกับคอนเซนทรีเตอร์

ดังนั้น $\lambda = 15 \text{ msg/sec}$ ซึ่งจะได้

$$\rho_4 = \frac{15}{54.69} = 0.274$$

เครือข่ายย่อย 5 มีสายนำสัญญาณ 3 ลิงค์ เชื่อมตรงกับคอนเซนทรีเตอร์

ดังนั้น $\lambda = 15 \text{ msg/sec}$ ซึ่งจะได้

$$\rho_5 = \frac{15}{54.69} = 0.274$$

$$\begin{aligned}
 \text{Average Network's Utilization} &= \frac{\sum_{i=1}^5 \rho_i}{5} \times 100 \\
 &= \frac{(0.366 + 0.366 + 0.366 + 0.274 + 0.274)}{5} \times 100 \\
 &= 32.92 \%
 \end{aligned}$$

3.4.3 สรุปผลการคำนวณและวิเคราะห์

จากตัวอย่างโครงสร้างเครือข่ายก่อนปรับปรุงในภาพที่ 9 จะมีอัตราการใช้งานสูงกว่าโครงสร้างเครือข่ายที่ปรับปรุงแล้ว เพราะว่าโครงสร้างเครือข่ายในภาพที่ 9 ทุกโหนดเชื่อมตรงกับคอนเซ็นท์เตอร์ ดังนั้นจึงมีอัตราการแบ่งใช้เนื้อที่บัฟเฟอร์ที่สูงกว่า ส่วนโครงสร้างเครือข่ายที่ปรับปรุง เนื่องจากมีการจัดเก็บ (Store) ข้อมูลของบางโหนดที่ทรานซิสโหนด ดังนั้นการแบ่งใช้เนื้อที่บัฟเฟอร์ที่คอนเซ็นท์เตอร์จึงไม่สับสน จึงเป็นผลให้อัตราการใช้งานต่ำ

แต่โครงสร้างเครือข่ายที่มีอัตราการใช้งานสูงย่อมมีโอกาสสูญเสียข้อมูลสูงเช่นกัน

3.5 เนื้อที่ของบัฟเฟอร์ภายในคอนเซ็นท์เตอร์^[7]

3.5.1 วิธีการคำนวณ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์หาขนาดของหน่วยความจำ (Memory Size) เพื่อใช้เป็นบัฟเฟอร์ (Buffer) ในการเก็บพักข้อมูล (Message) ชั่วคราวภายในคอนเซ็นท์เตอร์ ซึ่งยังคงใช้ M/M/1 Queueing Model และสัญลักษณ์ทั้งหมด ดังที่กล่าวมาในบทที่ 3.3

จากสมการ (3.24) ได้ค่าอัตราการใช้งาน (Utilization) ของคอนเซ็นท์เตอร์ i , ดังนี้

$$\rho_i = \frac{\lambda_i}{\mu C} \quad i = 1, 2, 3, \dots, M \quad (3.25)$$

และจากสมการ (3.25) ได้

$$P_k = \rho_i^k P_0 \quad i = 1, 2, 3, \dots, M \quad (3.26)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้จะสมมติให้ขนาดของ 1 บัฟเฟอร์เท่ากับขนาดของ 1 ข้อมูล

ถ้ากำหนดให้ B_i เป็นขนาดของบัฟเฟอร์ภายในคอนเซ็นท์เตอร์เตอร์ i หมายถึง คอนเซ็นท์เตอร์เตอร์ i จะบรรจุ (Store) ข้อมูลได้เต็มที่ B_i ข้อมูล ดังนั้น ถ้าให้ P_{B_i} เป็นค่าความน่าจะเป็นที่ระบุว่าจะมี B_i ข้อมูล อยู่ในคอนเซ็นท์เตอร์เตอร์ i จาก (3.26) จะได้

$$P_{B_i} = \rho_i^{B_i} P_0 \quad (3.27)$$

ดังนั้น จากความเป็นจริงของหลักสถิติศาสตร์ที่ว่า ผลรวมของค่าความน่าจะเป็นในระบบเดียวกันจะต้องเท่ากับ 1 จะได้

$$\begin{aligned} \sum_{k=0}^{B_i} P_k &= 1 \\ &= \sum_{k=0}^{B_i} \rho_i^k P_0 \\ &= P_0 \sum_{k=0}^{B_i} \rho_i^k \\ &= P_0 \frac{1 - \rho_i^{B_i+1}}{1 - \rho_i} \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$P_0 = \frac{1 - \rho_i}{1 - \rho_i^{B_i+1}} \quad i = 1, 2, 3, \dots, M \quad (3.28)$$

นั่นคือ จาก (3.27) และ (3.28) จะได้

$$P_{B_i} = \frac{(1 - \rho_i) \rho_i^{B_i}}{1 - \rho_i^{B_i+1}} \quad i = 1, 2, 3, \dots, M \quad (3.29)$$

ในที่นี้ P_{B_i} คือค่าความน่าจะเป็น (Probability) ที่แสดงว่า จะมี B_i ข้อมูล อยู่ในคอนเซ็นท์เตอร์เตอร์ i และเมื่อมีการมาถึงของข้อมูลอื่นที่คอนเซ็นท์เตอร์เตอร์ i ในขณะที่มี B_i ข้อมูล อยู่ในบัฟเฟอร์แล้ว (หมายถึงขณะที่ B_i บัฟเฟอร์ถูกใช้งานทั้งหมด) ข้อมูลที่มาถึงจะถูกปฏิเสธ (Reject) ทำให้เข้าสู่คอนเซ็นท์เตอร์เตอร์ไม่ได้ (ในทางปฏิบัติตาม โพรโตคอลนั้น ข้อมูลที่ถูก Reject จะถูกส่งใหม่ (Retransmission) ในเวลาต่อมา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีเช่นนี้ เรียกว่า เกิดปัญหาบัฟเฟอร์โอเวอร์โฟลว์ (Buffer Overflow) ดังนั้น P_{B_i} จะมีชื่อเรียกตามทฤษฎีว่าเป็น Blocking Probability ของคอนเซ็นท์เตอร์ i

ในการออกแบบค่าของ B_i นั้น จะพิจารณาจากการสูญเสียข้อมูล (Message) ให้น้อยที่สุด นั่นคือ ให้มีการเกิดการส่งใหม่ (Retransmission) น้อยที่สุด ในการพิจารณาเช่นนี้ จะใช้ขบวนการกำหนดค่า Blocking Probability ให้น้อยตามที่ต้องการ แน่นอนที่สุดที่จะกล่าว ถ้า B_i มีค่ามากขึ้น ค่าของ P_{B_i} จะน้อยลงเป็นอัตราส่วน นั่นคือ

$$\lim_{B_i \rightarrow \infty} P_{B_i} = 0 \quad (3.30)$$

จาก 3.29 สามารถหาค่า B_i ได้ดังนี้

$$P_{B_i} = \frac{(1-\rho)\rho^{B_i}}{1-\rho^{B_i+1}}$$

$$P_{B_i}(1-\rho^{B_i+1}) = (1-\rho)\rho^{B_i}$$

$$P_{B_i}(1-\rho^{B_i}\rho) = (1-\rho)\rho^{B_i}$$

$$P_{B_i} - P_{B_i}\rho^{B_i}\rho = (1-\rho)\rho^{B_i}$$

$$P_{B_i} = \rho^{B_i}(P_{B_i}\rho + 1 - \rho)$$

$$\log P_{B_i} = B_i \log \rho + (P_{B_i}\rho + 1 - \rho)$$

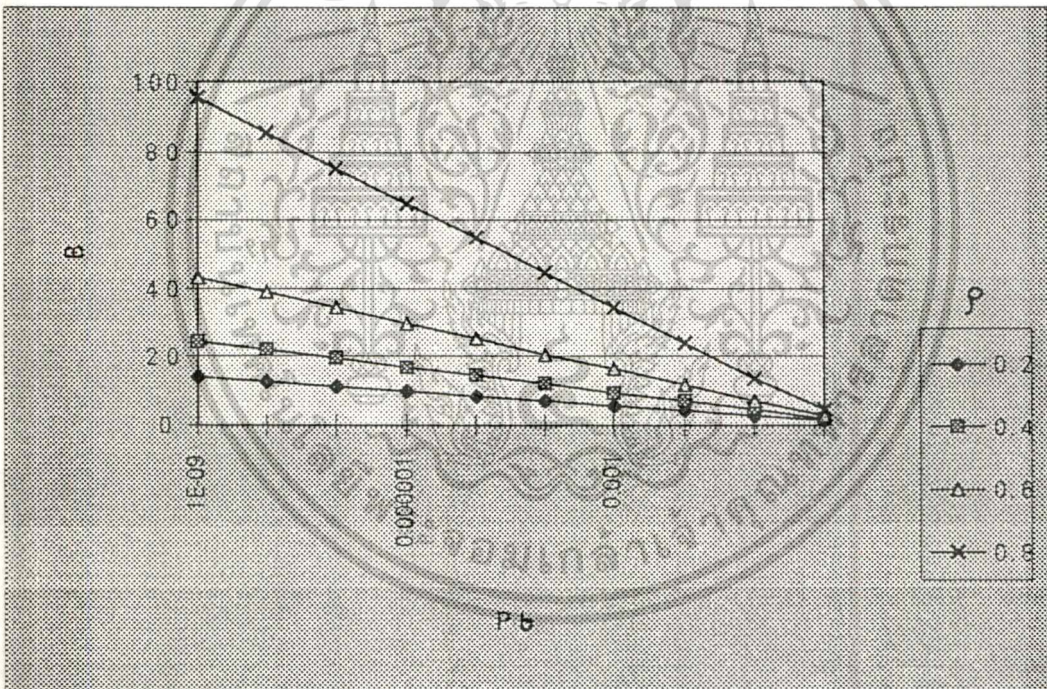
$$B_i = \frac{\log P_{B_i} - \log(P_{B_i}\rho + 1 - \rho)}{\log \rho} \quad (3.31)$$

ในงานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการกำหนดขนาดบัฟเฟอร์ให้กับคอนเซ็นท์เตอร์ของเครือข่ายที่ออกแบบ ด้วยการดูจากขนาดของความยาวของข้อมูล (Message Size) และปริมาณการใช้งานของคอนเซ็นท์เตอร์ (Utilization) โดยกำหนดค่า Blocking Probability ตามความต้องการของผู้ใช้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (3.31) สามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Blocking Probability (P_B) กับขนาดของบัฟเฟอร์ (B_i) ได้โดยการเปลี่ยนแปลงค่า P_B และมี ρ_i เป็นพารามิเตอร์ แล้วสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Blocking Probability (P_B) กับขนาดของบัฟเฟอร์ (ในหน่วยของอักขระ กำหนดให้ 1 อักขระ = 8 บิต)

ในที่นี้จะแสดงตัวอย่างที่กำหนดให้ $\rho_i = 0.2, 0.4, 0.6$ และ 0.8 จะได้ผลการคำนวณจากสมการ (3.31) ดังแสดงในภาพที่ 14

ภาพที่ 14



แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Blocking Probability กับขนาดของบัฟเฟอร์

จากผลการคำนวณผู้ใช้สามารถเลือกขนาดของบัฟเฟอร์ได้จากกราฟตามต้องการ ตัวอย่างเช่น ภายได้ $\rho = 0.8$ เมื่อขนาดความยาวเฉลี่ยของข้อมูลเท่ากับ 60 อักขระ (เท่ากับ $60 \times 8 = 480$ บิต)

และผู้ใช้ต้องการ Blocking Probability เท่ากับ 10^{-6} เมื่อพิจารณาจากกราฟจะเห็นว่าต้องใช้

ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัพเฟอร์ขนาด 65 ข้อมูล ดังนั้นขนาดของบัพเฟอร์เท่ากับ $65 \times 60 \times 8 = 31,200$ บิต หรือ 39,000 ไบท์ หมายถึงจะต้องใช้หน่วยความจำอย่างน้อยขนาด 3,900 ไบท์ เพื่อใช้เป็นบัพเฟอร์ดังกล่าว

3.5.2 ผลการคำนวณจากเครือข่ายที่ออกแบบ

จากโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบในภาพที่ 9 สามารถคำนวณหาขนาดบัพเฟอร์ได้จากสมการ (3.31) ดังนี้ สมมติให้ $P_B = 10^{-9}$ ความยาวเฉลี่ยของข้อมูล = 1024 บิต

เครือข่ายย่อย 1 $\rho_1 = 0.549$

$$B_1 = \frac{\log 10^{-9} - \log(10^{-9} \times 0.549 + 1 - 0.549)}{\log 0.549} = 35.89$$

ดังนั้นขนาดของบัพเฟอร์ต้องใช้หน่วยความจำอย่างน้อย $35.89 \times 1024 = 36747.63$ บิต
= 4593.45 ไบท์

เครือข่ายย่อย 2 $\rho_2 = 0.457$

$$B_2 = \frac{\log 10^{-9} - \log(10^{-9} \times 0.457 + 1 - 0.457)}{\log 0.457} = 25.68$$

ดังนั้นขนาดของบัพเฟอร์ต้องใช้หน่วยความจำอย่างน้อย $25.68 \times 1024 = 26296.32$ บิต
= 3287.04 ไบท์

เครือข่ายย่อย 3 $\rho_3 = 0.366$

$$B_3 = \frac{\log 10^{-9} - \log(10^{-9} \times 0.366 + 1 - 0.366)}{\log 0.366} = 22.07$$

ดังนั้นขนาดของบัพเฟอร์ต้องใช้หน่วยความจำอย่างน้อย $22.07 \times 1024 = 22599.68$ บิต
= 2824.96 ไบท์

เครือข่ายย่อย 4 $\rho_4 = 0.457$

$$B_4 = \frac{\log 10^{-9} - \log(10^{-9} \times 0.457 + 1 - 0.457)}{\log 0.457} = 25.68$$

ดังนั้นขนาดของบัพเฟอร์ต้องใช้หน่วยความจำอย่างน้อย $25.68 \times 1024 = 26296.32$ บิต
= 3287.04 ไบท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครือข่ายย่อย 5 $\rho_5 = 0.274$

$$B_5 = \frac{\log 10^{-9} - \log(10^{-9} \times 0.274 + 1 - 0.274)}{\log 0.274} = 15.76$$

ดังนั้นขนาดของบัพเฟอร์ต้องใช้หน่วยความจำอย่างน้อย $15.76 \times 1024 = 16137.94$ บิต
 $= 2017.24$ ไบท์

จากโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบในภาพที่ 10 สามารถคำนวณหาขนาดบัพเฟอร์ได้จากสมการ (3.31) โดยมีความยาวเฉลี่ยของข้อมูล = 1024 บิต สมมติให้ $P_B = 10^{-9}$

เครือข่ายย่อย 1 $\rho_1 = 0.366$

$$B_1 = \frac{\log 10^{-9} - \log(10^{-9} \times 0.366 + 1 - 0.366)}{\log 0.366} = 22.07$$

ดังนั้นขนาดของบัพเฟอร์ต้องใช้หน่วยความจำอย่างน้อย $22.07 \times 1024 = 22599.68$ บิต
 $= 2824.96$ ไบท์

เครือข่ายย่อย 2 $\rho_2 = 0.366$

$$B_2 = \frac{\log 10^{-9} - \log(10^{-9} \times 0.366 + 1 - 0.366)}{\log 0.366} = 22.07$$

ดังนั้นขนาดของบัพเฟอร์ต้องใช้หน่วยความจำอย่างน้อย $22.07 \times 1024 = 22599.68$ บิต
 $= 2824.96$ ไบท์

เครือข่ายย่อย 3 $\rho_3 = 0.366$

$$B_3 = \frac{\log 10^{-9} - \log(10^{-9} \times 0.366 + 1 - 0.366)}{\log 0.366} = 22.07$$

ดังนั้นขนาดของบัพเฟอร์ต้องใช้หน่วยความจำอย่างน้อย $22.07 \times 1024 = 22599.68$ บิต
 $= 2824.96$ ไบท์

เครือข่ายย่อย 4 $\rho_4 = 0.274$

$$B_4 = \frac{\log 10^{-9} - \log(10^{-9} \times 0.274 + 1 - 0.274)}{\log 0.274} = 15.76$$

ดังนั้นขนาดของบัพเฟอร์ต้องใช้หน่วยความจำอย่างน้อย $15.76 \times 1024 = 16137.94$ บิต
 $= 2017.24$ ไบท์

เครือข่ายย่อย 5 $\rho_5 = 0.274$

$$B_5 = \frac{\log 10^{-9} - \log(10^{-9} \times 0.274 + 1 - 0.274)}{\log 0.274} = 15.76$$

ดังนั้นขนาดของบัพเฟออร์ต้องใช้หน่วยความจำอย่างน้อย $15.76 \times 1024 = 16137.94$ บิต
 $= 2017.24$ ไบท์

3.5.3 สรุปผลการคำนวณและวิเคราะห์

จากกราฟในภาพที่ 14 และการคำนวณ ถ้าค่า P_{B_i} มีค่าน้อยลงนั่นคือโอกาสที่ปริมาณข้อมูลเต็มบัพเฟออร์เกิดขึ้นน้อย ต้องใช้บัพเฟออร์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ในทำนองเดียวกันถ้าอัตราการใช้งานเครือข่ายสูง โอกาสที่บัพเฟออร์จะเต็มก็มีสูง ดังนั้นจึงต้องเพิ่มขนาดของบัพเฟออร์ขึ้น



บทที่ 4

การพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อช่วยออกแบบเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์

4.1 บทนำ

ในการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อรองรับการทำงานใดหนึ่งๆ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ อัลกอริทึมที่แสดงรายละเอียดของขั้นตอนการทำงานทั้งหมด เช่น ลักษณะโครงสร้างข้อมูล (Data Structure) ของข้อมูลเข้า (Input Data) และข้อมูลออก (Output Data) เป็นต้น ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้เป็นส่วนสำคัญขั้นพื้นฐานในการพัฒนาซอฟต์แวร์

ในวิทยานิพนธ์นี้ ข้อมูลเข้าของระบบคือภาพแผนที่ที่นำมาผ่านเครื่องตรวจกวาดภาพ (Image Scanner) แล้วนำมาทำการกำหนดตำแหน่งโนดทั้งหมดลงบนภาพแผนที่ที่ปรากฏบนจอคอมพิวเตอร์ การเลือกตำแหน่งคอนเซนต์เตอร์ การเชื่อมต่อคอนเซนต์เตอร์กับกลุ่มโนด การลดจำนวนคอนเซนต์เตอร์ การเชื่อมต่อโนดกับคอนเซนต์เตอร์เพื่อวัตถุประสงค์ที่ต้องการใช้สายนำสัญญาณที่สั้นที่สุด และการเชื่อมต่อคอนเซนต์เตอร์เข้าด้วยกัน ได้มีการนำเอาอัลกอริทึมของการทำงานในลักษณะต่างๆเหล่านี้มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและสร้างเป็นซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์

ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบซอฟต์แวร์ระบบและส่วนประกอบต่างๆทั้งหมด รวมทั้งขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมทั้งหมด

4.2 การออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์ของระบบ^[8]

ในบทที่ 2 ได้กล่าวมาแล้วถึงในการออกแบบและวิเคราะห์สถาปัตยกรรมของเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์โดยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยส่วนสำคัญ ๆ ทั้งหมด 7 ส่วน และมีลักษณะการทำงานเกิดขึ้นเป็นลำดับดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

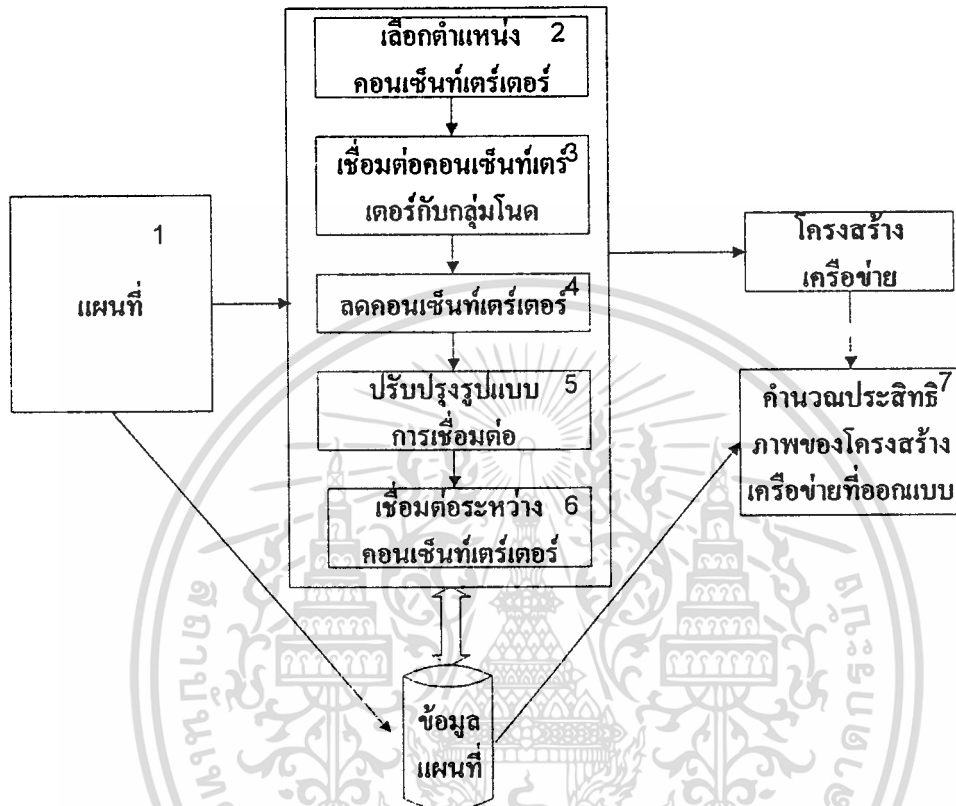
- ส่วนที่ 1 : ส่วนการสร้างแฟ้มข้อมูลแผนที่
- ส่วนที่ 2 : ส่วนการกำหนดตำแหน่งคอนเซนต์เตอร์
- ส่วนที่ 3 : ส่วนการเชื่อมต่อคอนเซนต์เตอร์กับกลุ่ม โนด
- ส่วนที่ 4 : ส่วนการลดคอนเซนต์เตอร์
- ส่วนที่ 5 : ส่วนการปรับปรุงรูปแบบการเชื่อมต่อคอนเซนต์เตอร์กับกลุ่ม โนด
- ส่วนที่ 6 : ส่วนการเชื่อมต่อระหว่างคอนเซนต์เตอร์
- ส่วนที่ 7 : ส่วนการคำนวณประสิทธิภาพเครือข่ายที่ออกแบบ

โดยแต่ละส่วนของการทำงานของระบบพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อการทำงานเฉพาะส่วน
ไว้ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1	ซอฟต์แวร์ส่วนการสร้างแฟ้มข้อมูลแผนที่
ส่วนที่ 2	ซอฟต์แวร์ส่วนการกำหนดตำแหน่งคอนเซนต์เตอร์
ส่วนที่ 3	ซอฟต์แวร์ส่วนการเชื่อมต่อคอนเซนต์เตอร์กับกลุ่ม โนด
ส่วนที่ 4	ซอฟต์แวร์ส่วนการลดคอนเซนต์เตอร์
ส่วนที่ 5	ซอฟต์แวร์ส่วนการปรับปรุงรูปแบบการเชื่อมต่อคอนเซนต์เตอร์กับกลุ่ม โนด
ส่วนที่ 6	ซอฟต์แวร์ส่วนการเชื่อมต่อระหว่างคอนเซนต์เตอร์
ส่วนที่ 7	ซอฟต์แวร์ส่วนการคำนวณประสิทธิภาพเครือข่ายที่ออกแบบ

ในภาพที่ 15 เป็นการแสดงขั้นตอนการทำงานทั้งหมดของระบบ ซึ่งประกอบด้วยการทำงานและซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นสำหรับการทำงานในส่วนนั้นๆ

ภาพที่ 15

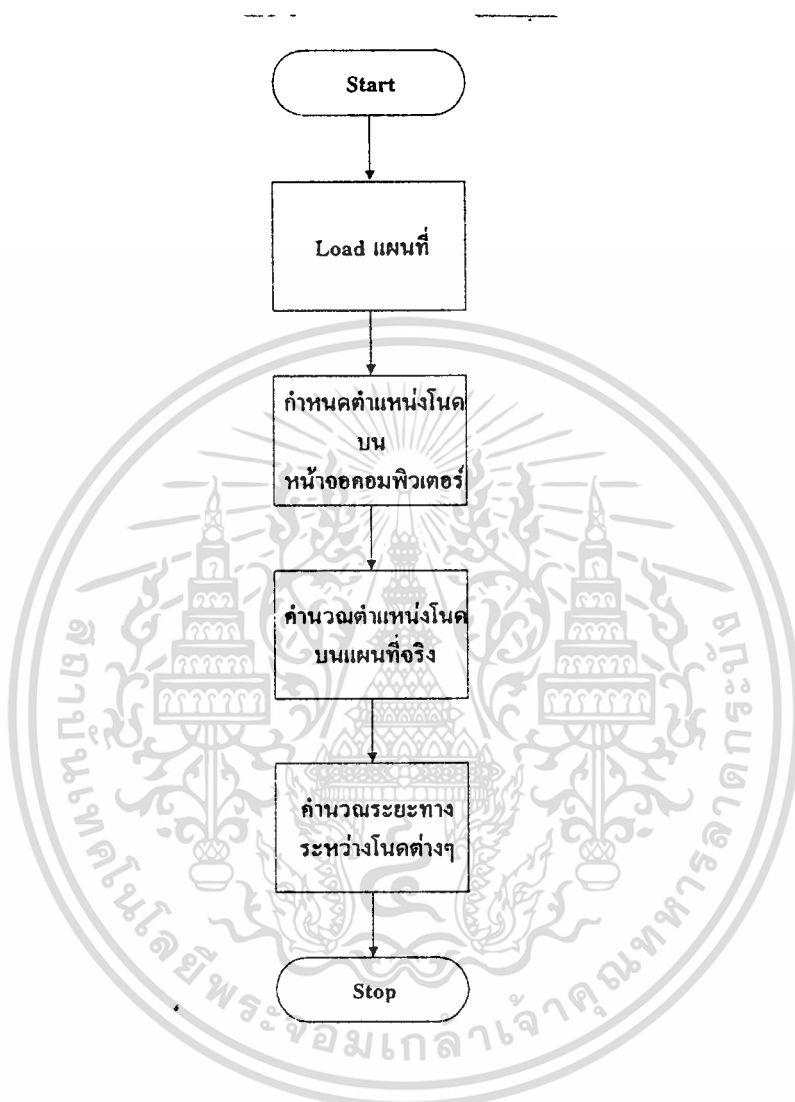


แสดงขั้นตอนการทำงานของซอฟต์แวร์ระบบ

4.2.1 ซอฟต์แวร์ของระบบส่วนการสร้างข้อมูลแผนที่

ในขั้นตอนนี้ ภาพแผนที่จะถูกนำเข้ามาแสดงผลบนจอภาพด้วยคอมพิวเตอร์โดยผ่านเครื่องตรวจกวาดภาพ จากนั้นตำแหน่งของโหนดทั้งหมดจะถูกกำหนดขึ้นบนจอภาพ เพื่อทำการคำนวณหาระยะทางระหว่างโหนดทั้งหมด ที่สัมพันธ์กับภาพแผนที่จริง ผลลัพธ์ที่ได้ในขั้นตอนการทำงานนี้ จะได้เป็นข้อมูลแผนที่ ซึ่งประกอบด้วยพิกัดของโหนดทั้งหมด และระยะระหว่างพิกัดของโหนดทั้งหมดบนภาพแผนที่ที่กำลังพิจารณา ซอฟต์แวร์ในส่วนของการสร้างข้อมูลแผนที่ประกอบด้วยขั้นตอนการทำงานต่างๆ ดังแสดงเป็นโฟลว์ชาร์ตในภาพที่ 16

ภาพที่ 16

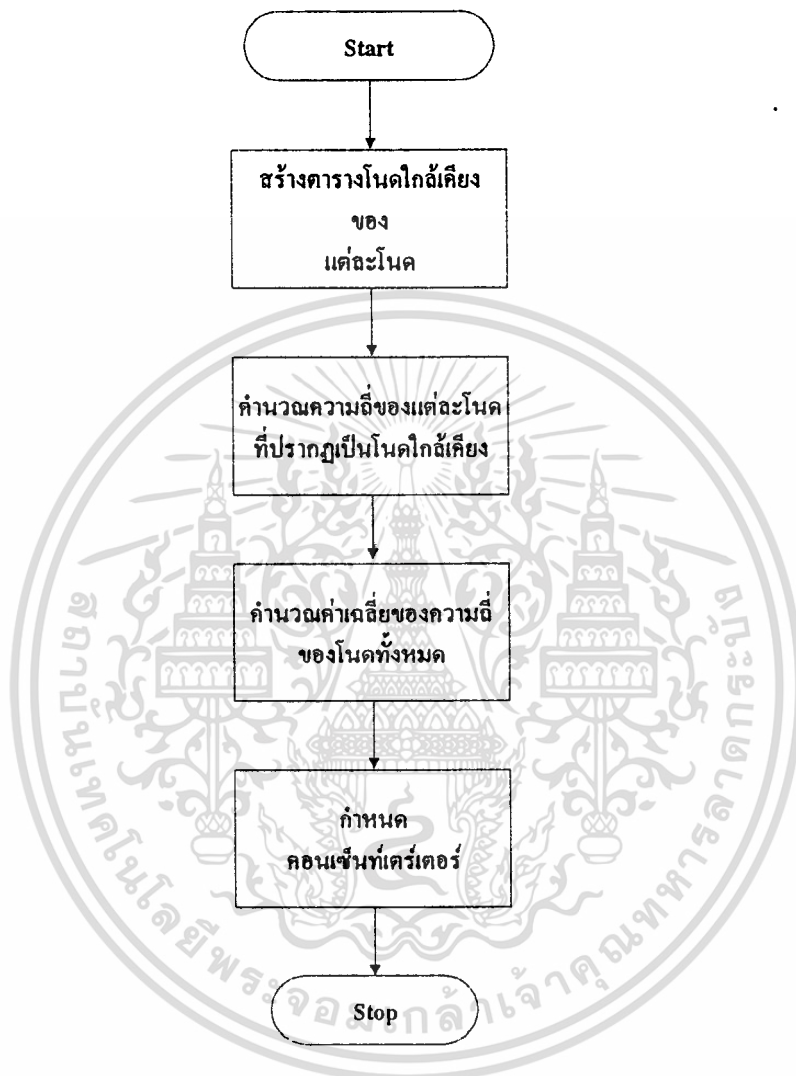


แสดงโฟลว์ชาร์ตส่วนการสร้างข้อมูลแผนที่

4.2.2 ซอฟต์แวร์ส่วนกำหนดตำแหน่งคอนเซนทร์เตอร์

ซอฟต์แวร์ในส่วนนี้จะรับข้อมูลแผนที่ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลตำแหน่งโนดและระยะทางระหว่างโนดทั้งหมด นำมาคำนวณและกำหนดตำแหน่งคอนเซนทร์เตอร์ โดยจะประกอบขึ้นด้วยขั้นตอนการทำงานหลัก ดังแสดงไว้ในภาพที่ 17

ภาพที่ 17



แสดงโฟลว์ชาร์ตขั้นตอนโดยรวมของการเลือกคอนเซนทรีเตอร์

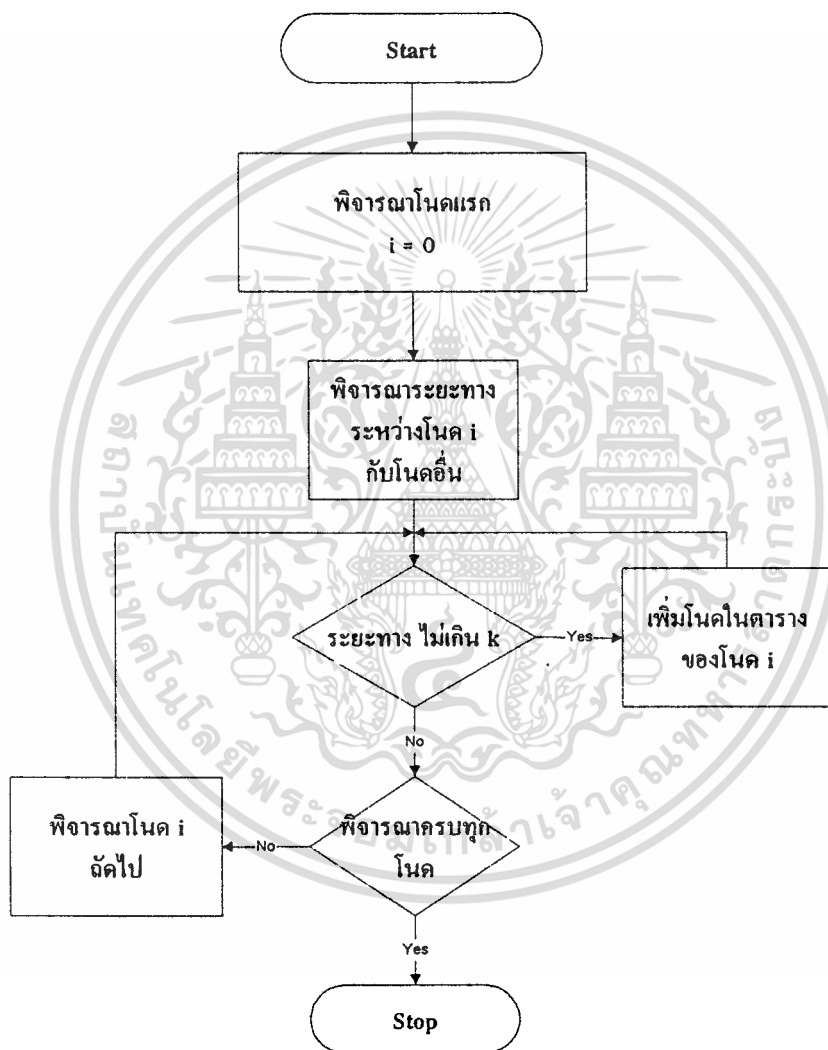
โดยในส่วนของแต่ละขั้นตอนการทำงาน ประกอบด้วยรายละเอียดการทำงานดังต่อไปนี้

4.2.2.1 ขั้นตอนการสร้างตารางโนดใกล้เคียง

ในขั้นตอนนี้จะนำระยะระหว่างโนดภายในกลุ่มโนดมาเรียงลำดับกัน โดยที่ในกลุ่มโนดหนึ่งๆ จะประกอบด้วย โหนดที่กำลังพิจารณาและ โหนดที่เหลือทั้งหมด จากนั้นจะเลือกเฉพาะระยะระหว่างโนด ที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับระยะสูงสุดที่กำหนดไว้เป็นเกณฑ์ในการเพิ่มโนดนั้นๆ ลงในตารางโนดใกล้เคียง ซึ่งขั้นตอนการทำงานนี้จะถูกนำมาใช้กับกลุ่มโนดที่มีอยู่ทั้งหมดไม่ว่ากรณีใดๆ อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมด และผลลัพธ์ที่ได้ก็คือตาราง โหนดใกล้เคียงโพลีชาร์ตแสดงการทำงานดังกล่าว แสดงไว้ดัง ภาพที่ 18

ภาพที่ 18



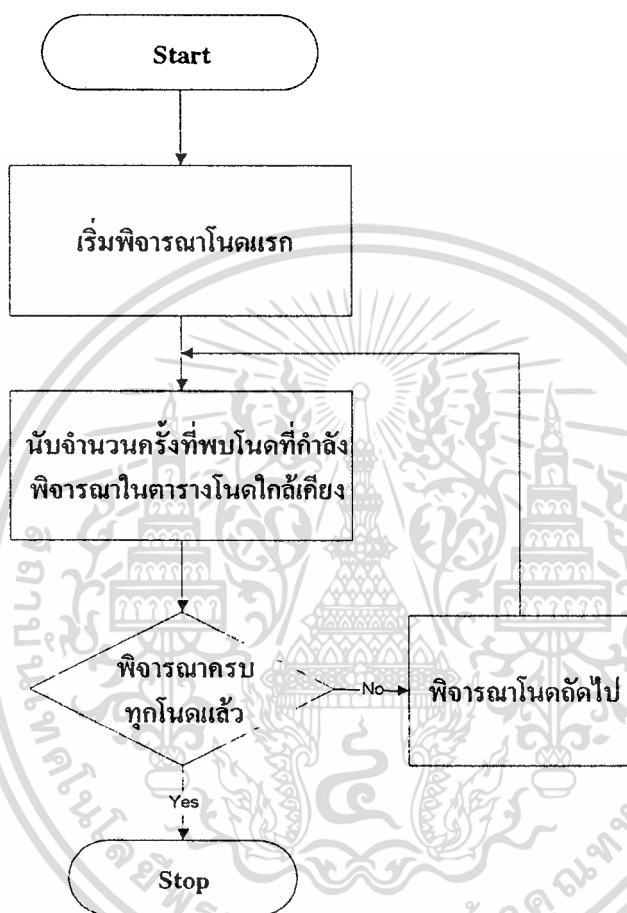
แสดงโพลีชาร์ตการหาโหนดใกล้เคียงของแต่ละโหนด

4.2.2.2 ขั้นตอนการสร้างตารางโหนดใกล้เคียงของแต่ละโหนด

ในส่วนนี้จะพิจารณาแต่ละโหนดจากตารางโหนดใกล้เคียงแล้วนับจำนวนครั้งที่พบโหนดนั้น ๆ ได้เป็นค่าความถี่ของโหนดแต่ละโหนดที่ปรากฏในตารางโหนดใกล้เคียง รายละเอียดของการทำงาน แสดงไว้ดังโพลีชาร์ตในภาพที่ 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 19

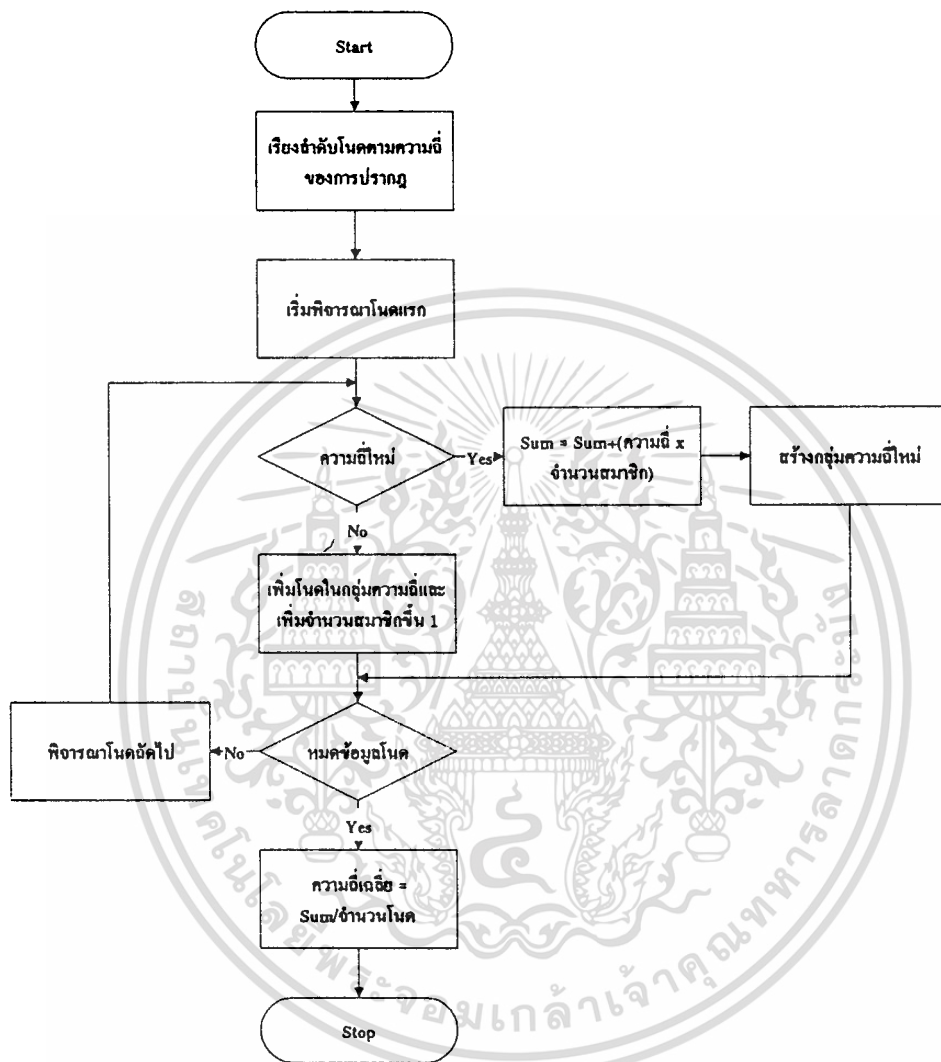


แสดงโฟลว์ชาร์ตการหาความถี่ของการปรากฏของแต่ละโนด

4.2.2.3 ขั้นตอนการคำนวณค่าเฉลี่ยของความถี่

จากตารางโนดใกล้เคียงของแต่ละโนดที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้านี้ จะถูกนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยซึ่งค่าเฉลี่ยของความถี่ของการปรากฏของ โหนดที่คำนวณได้นี้จะถูกใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจเพื่อกำหนดคอนเซนตัสเตอร์เตอร์ในขั้นตอนถัดไป การหาค่าเฉลี่ยของความถี่ของการปรากฏของโนดสามารถแสดงเป็นโฟลว์ชาร์ตได้ดังแสดงในภาพที่ 20

ภาพที่ 20



Sum : ผลรวมของผลคูณระหว่างความดีกับจำนวนสมาชิก

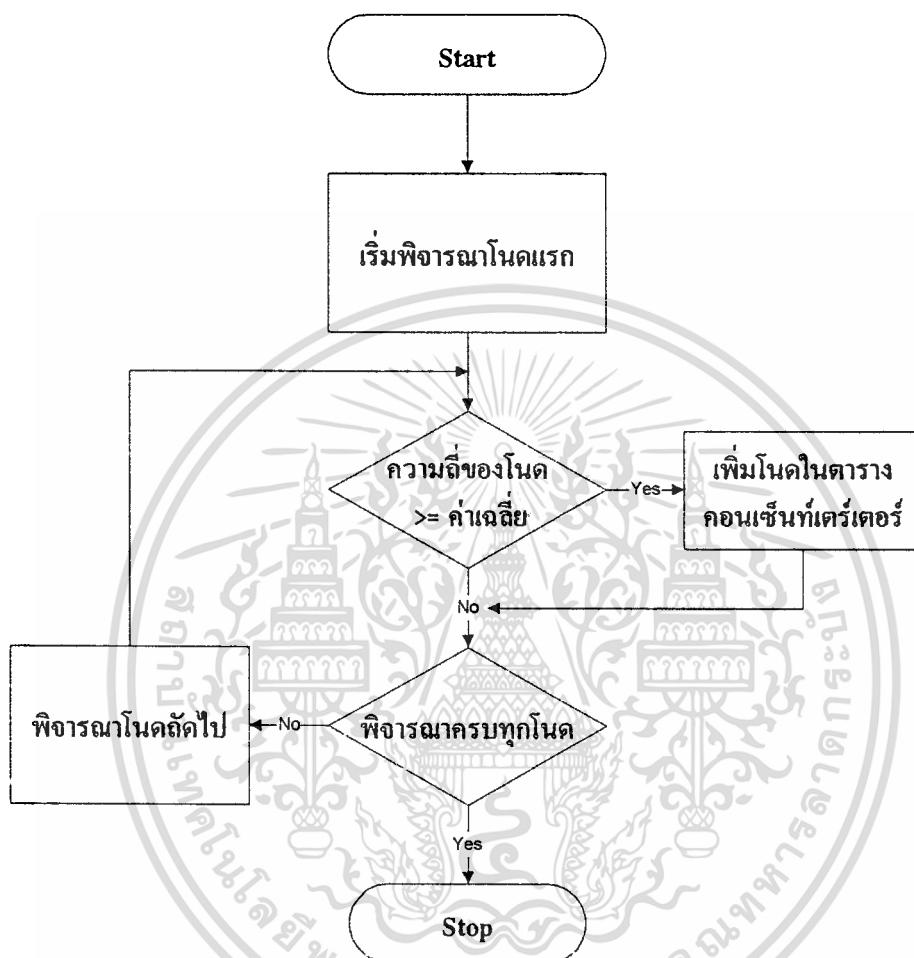
แสดงโพลีชาร์ตการคำนวณค่าเฉลี่ยของความดี

4.2.2.4 ขั้นตอนการเลือกคอนเซนต์เตอร์

เกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาเลือกคอนเซนต์เตอร์ โดยพิจารณาจากโหนดที่มีค่าความดีมากกว่าหรือเท่ากับความดีเฉลี่ย ดังภาพที่ 21 แสดงโพลีชาร์ตขั้นตอนการเลือกคอนเซนต์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 21



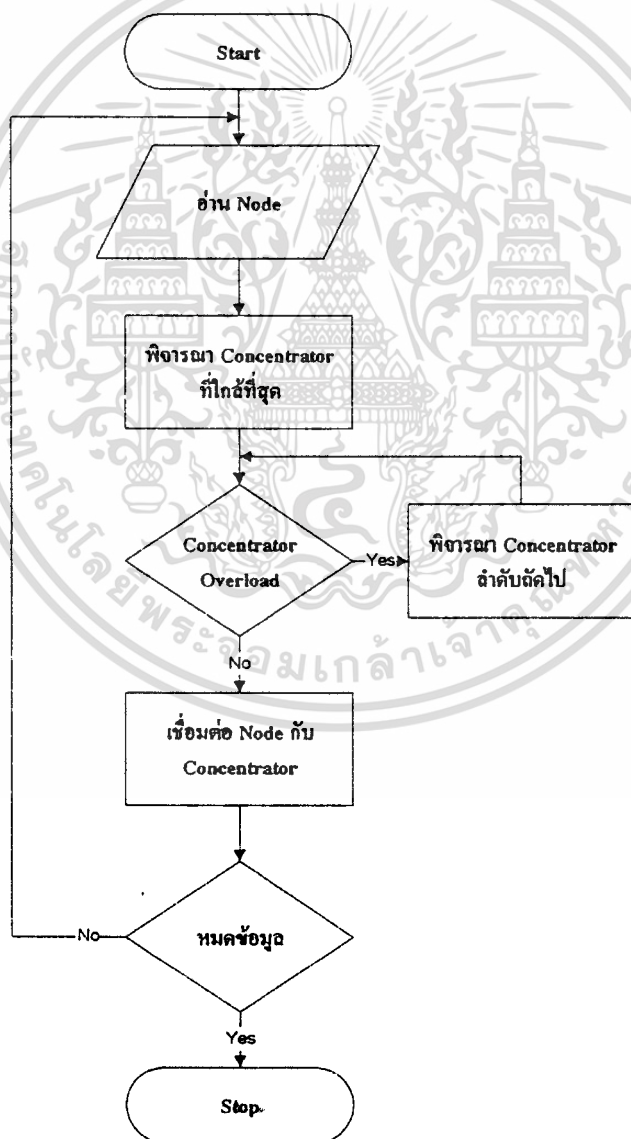
แสดงโฟลว์ชาร์ตการเลือกคอนเซ้นท์เตอร์

กลุ่มของคอนเซ้นท์เตอร์ที่ถูกกำหนดขึ้นจากขั้นตอนที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เป็นกลุ่มคอนเซ้นท์เตอร์ที่ถูกกำหนดขึ้นก่อนในขั้นต้น และจำนวนคอนเซ้นท์เตอร์จะถูกปรับลดลงเพื่อให้ได้จำนวนคอนเซ้นท์เตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งในขั้นตอนการลดจำนวนคอนเซ้นท์เตอร์นี้ ประกอบด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น และมีรายละเอียดดังจะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป

4.2.4 ซอฟต์แวร์ส่วนการเชื่อมต่อคอนเซ็นท์เตอร์กับกลุ่มโหนด

การเชื่อมต่อคอนเซ็นท์เตอร์กับกลุ่มโหนด จะพิจารณาแต่ละโหนดว่าอยู่ใกล้กับคอนเซ็นท์เตอร์ใดมากที่สุดก็จะทำการเชื่อมต่อระหว่างคอนเซ็นท์เตอร์กับโหนดนั้น ๆ ในการเชื่อมต่อโหนดใด ๆ จะมีการตรวจสอบอยู่ตลอดเวลาเพื่อป้องกันการเกิดโอเวอร์โหลดของคอนเซ็นท์เตอร์ซอฟต์แวร์ของการทำงานในขั้นตอนนี้สามารถแสดงได้ดังโฟลว์ชาร์ตในภาพที่ 22

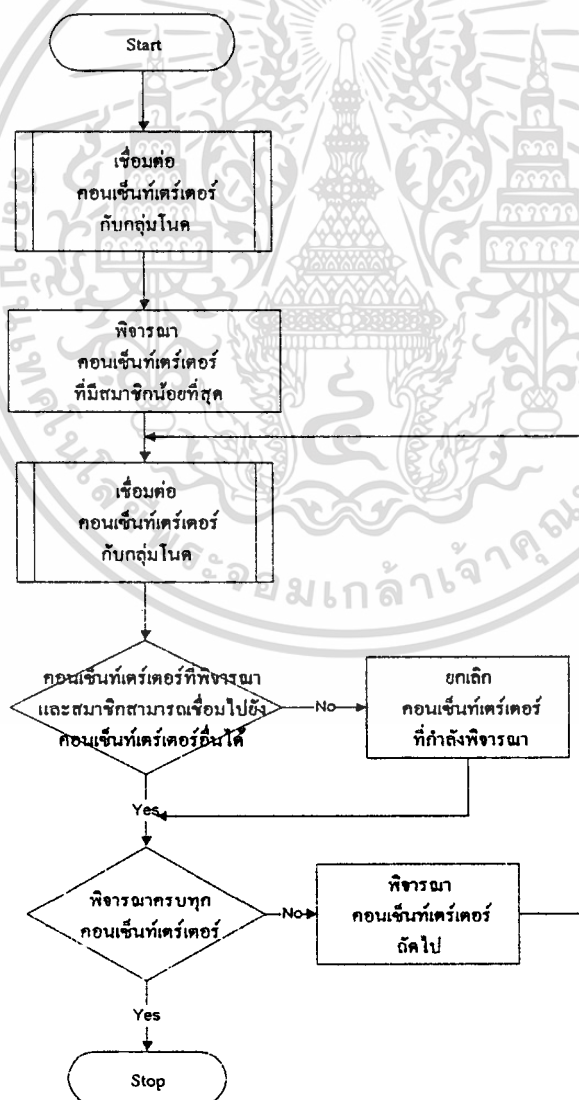
ภาพที่ 22



4.2.5 ซอฟต์แวร์ส่วนการลดคอนเซนต์เตอร์

ในการลดจำนวนคอนเซนต์เตอร์เพื่อให้ได้จำนวนคอนเซนต์เตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบขึ้น วิธีการที่ใช้พิจารณาลดคอนเซนต์เตอร์ที่มีสมาชิกน้อยที่สุดก่อน โดยกำหนดเงื่อนไขและทำการตรวจสอบดูว่าเมื่อลดคอนเซนต์เตอร์ใดๆ แล้วคอนเซนต์เตอร์ที่กำลังพิจารณากับสมาชิกต้องสามารถที่จะเชื่อมต่อไปยังคอนเซนต์เตอร์อื่น รายละเอียดของการทำงานในขั้นตอนนี้แสดงเป็นโฟลว์ชาร์ตในภาพที่ 23

ภาพที่ 23

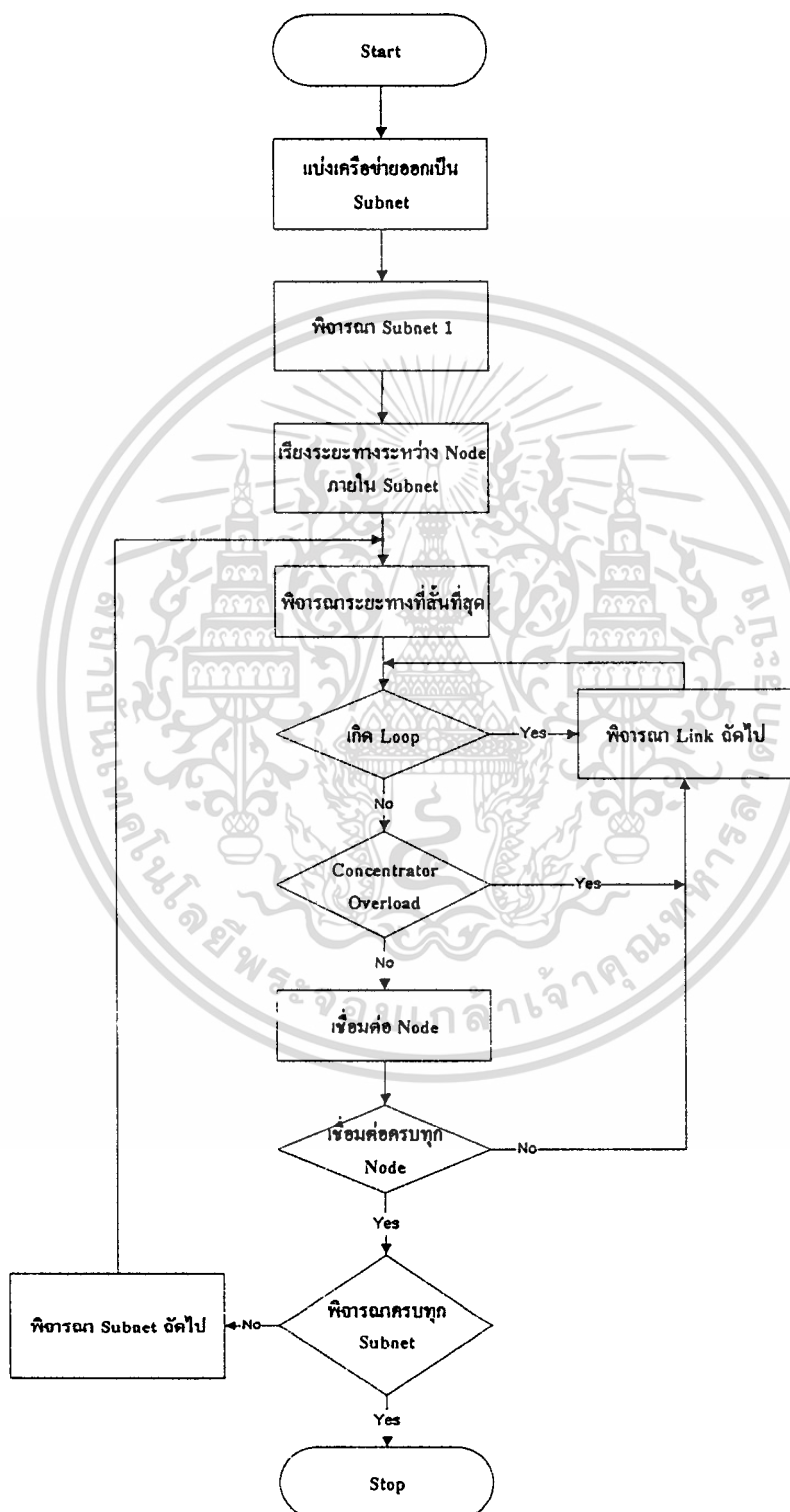


4.2.6 ซอฟต์แวร์ส่วนการปรับปรุงรูปแบบการเชื่อมต่อคอนเซนต์เตอร์เตอร์กับกลุ่มโนด

หลังจากที่ได้ทำการเชื่อมต่อคอนเซนต์เตอร์เตอร์กับกลุ่มโนด ตามลักษณะการทำงานในหัวข้อที่ 4.2.5 โครงสร้างเครือข่ายที่ได้จะปรากฏโนดต่าง ๆ เชื่อมต่อไปยังคอนเซนต์เตอร์เตอร์ แต่ว่าถ้าพิจารณาถึงขนาดตำแหน่งที่ตั้งของโนด บางโนดอาจจะต้องมีการปรับปรุงเพื่อเปลี่ยนลักษณะการเชื่อมต่อ ในลักษณะเช่น แทนที่จะเชื่อมต่อไปยังคอนเซนต์เตอร์เตอร์โดยตรงแต่เปลี่ยนไปเชื่อมต่อกับโนดข้างเคียงก่อนทำให้ระยะทางในการเชื่อมต่อสั้นลง ซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายในส่วนของการนำสัญญาณที่ใช้เชื่อมต่อภายในเครือข่ายลดลงด้วย ซอฟต์แวร์ส่วนนี้สามารถแสดงได้ดังโฟลว์ชาร์ตในภาพที่ 24

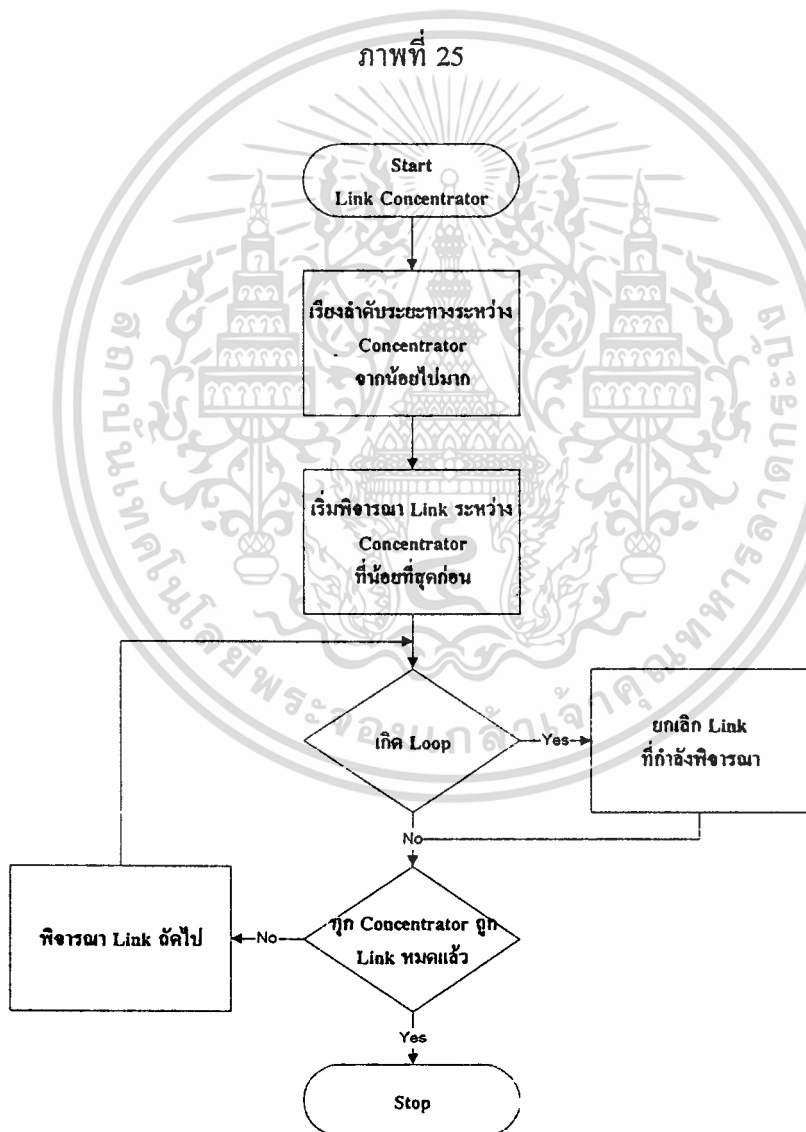


ภาพที่ 24



4.2.7 ซอฟต์แวร์ส่วนการเชื่อมต่อระหว่างคอนเซ็นท์เตอร์

หลังจากที่ได้ทำการเชื่อมต่อในแต่ละกลุ่มของคอนเซ็นท์เตอร์แล้ว ซึ่งแต่ละกลุ่มของคอนเซ็นท์เตอร์จะถูกเรียกว่า เครือข่ายย่อย (Subnet) ขั้นตอนต่อไปจะทำการเชื่อมต่อคอนเซ็นท์เตอร์ต่างๆ ที่อยู่ในเครือข่ายเข้าด้วยกัน โดยพิจารณาระยะห่างระหว่างคู่คอนเซ็นท์เตอร์ที่น้อยที่สุด และจะต้องไม่ก่อให้เกิดวงปิด (Loop) ของการเชื่อมต่อเกิดขึ้น ซอฟต์แวร์ในส่วนนี้สามารถแสดงได้ดังโพลัวชาร์ตในภาพที่ 25



แสดงโพลัวชาร์ตการเชื่อมต่อคอนเซ็นท์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.8 ซอฟต์แวร์ส่วนคำนวณประสิทธิภาพเครือข่ายที่ออกแบบ

เมื่อได้ทำการเชื่อมต่อ โหนดและคอนเซนต์เตอร์ต่างๆ เข้าด้วยกันเป็น โครงสร้างเครือข่าย ที่สมบูรณ์ และขั้นตอนสุดท้ายนี้เป็นการวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพของเครือข่ายที่ออกแบบ ในแง่ของการคำนวณค่าใช้จ่ายจากโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบ การคำนวณเวลาของการส่งผ่านข้อมูล ภายในเครือข่าย และการคำนวณอัตราการใช้งานเครือข่าย ซึ่งแต่ละหัวข้อที่นำมาใช้วิเคราะห์ ประสิทธิภาพของเครือข่าย ประกอบด้วยซอฟต์แวร์ที่ได้พัฒนาขึ้นดังรายละเอียดในหัวข้อต่อไปนี้

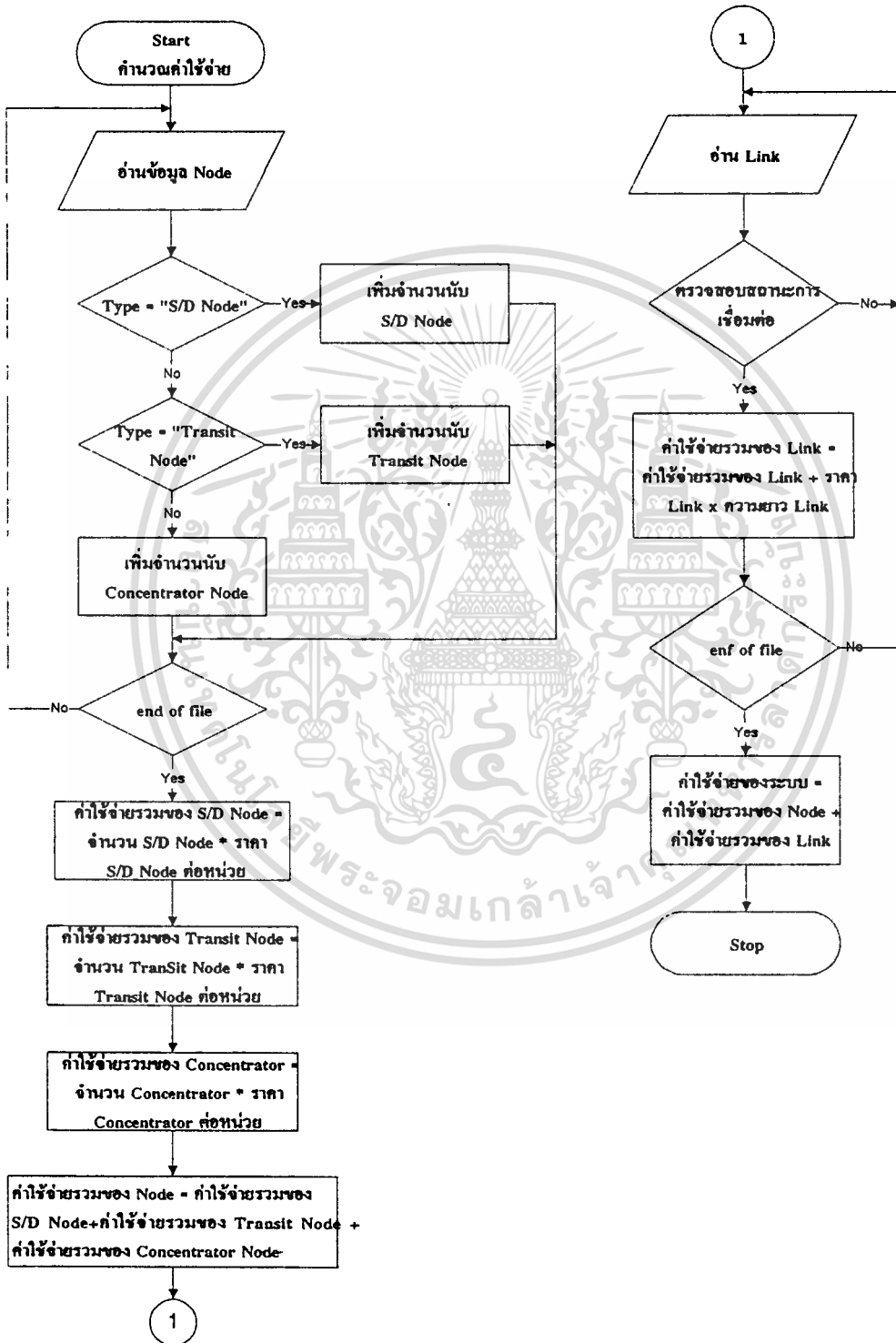
4.2.8.1 ส่วนคำนวณค่าใช้จ่ายจากโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบ

ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบ ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายหลัก 2 ส่วน ดังนี้ คือ

1. ค่าใช้จ่ายจาก โหนดต่าง ๆ ในเครือข่าย ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 3.ประเภทคือ
 - ก) ค่าใช้จ่ายจากคอนเซนต์เตอร์
 - ข) ค่าใช้จ่ายจากทรานซิสโหนด
 - ค) ค่าใช้จ่ายจากเอสดีโหนด
2. ค่าใช้จ่ายจากการเชื่อมต่อโหนดต่างๆ เข้าด้วยกัน (ค่าใช้จ่ายของสายนำสัญญาณ)

ซอฟต์แวร์ในส่วนนี้ผู้ใช้จะเป็นผู้กำหนดราคาต่อหน่วยของอุปกรณ์ต่างๆ ในเครือข่ายที่ ออกแบบขึ้น แล้วจะทำการคำนวณหาจำนวนโหนดในแต่ละประเภท และความยาวทั้งหมดของสาย นำสัญญาณ ได้เป็นค่าใช้จ่ายทั้งหมดของอุปกรณ์ในแต่ละประเภท เมื่อรวมค่าใช้จ่ายในทุกๆ อุปกรณ์ จะได้เป็นค่าใช้จ่ายทั้งหมดจากโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบ ขั้นตอนการทำงานทั้งหมด แสดงได้ดังโฟลว์ชาร์ตในภาพที่ 26

ภาพที่ 26



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การคำนวณค่าใช้จ่ายจากเครือข่าย...
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

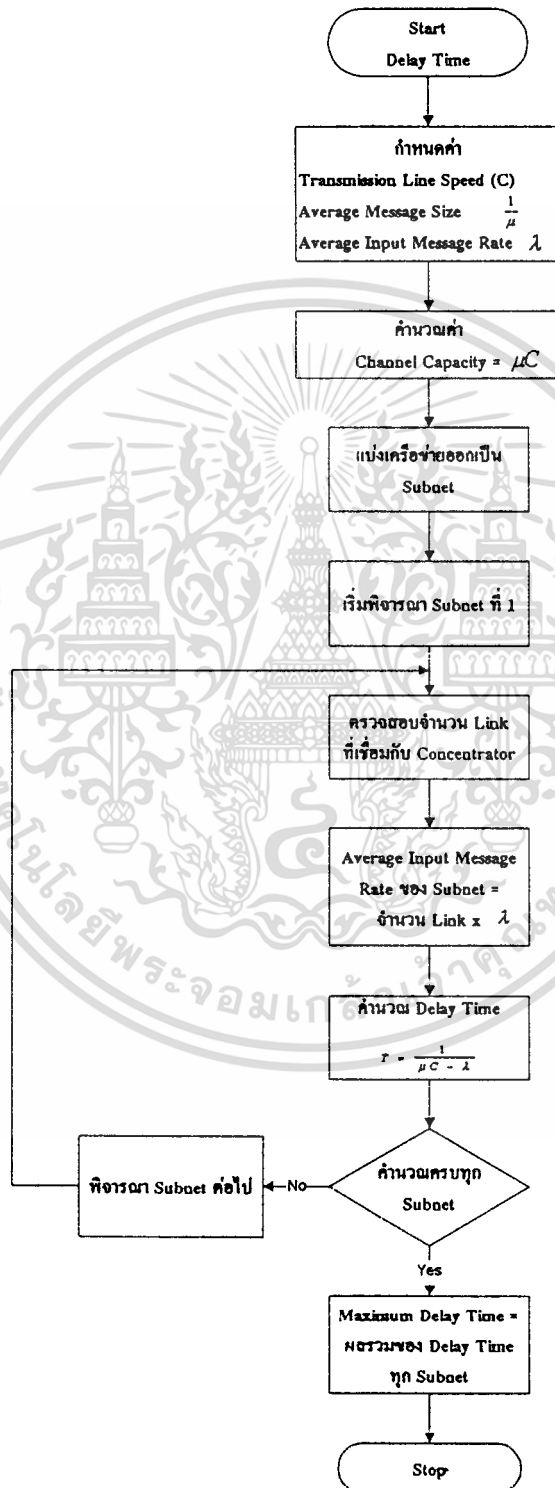
4.2.8.2 ส่วนคำนวณเวลาของการส่งผ่านข้อมูลภายในเครือข่าย

ซอฟต์แวร์ในส่วนนี้ทำการคำนวณเวลาของการส่งผ่านข้อมูลภายในเครือข่าย โดยผู้ใช้เป็นผู้กำหนดความเร็วของการส่งผ่านข้อมูลบนสายนำสัญญาณที่ใช้ (Transmission Line Speed) ขนาดเฉลี่ยของข้อมูลและอัตราการมาถึงของข้อมูล เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการคำนวณ จากข้อมูลที่ใช้กำหนดให้จะสามารถทราบจำนวนและทราบถึงความสามารถในการรองรับข้อมูลของคอนเซนทรีเตอร์หนึ่งๆ โดยจะทำการคำนวณจากแต่ละเครือข่ายย่อย (Subnet) ก่อน จากนั้นจึงคำนวณเวลาของการส่งผ่านข้อมูลภายในเครือข่ายทั้งเครือข่าย ชั้นตอนนี้แสดงได้ดังโพลีชาร์ตในภาพที่

27



ภาพที่ 27



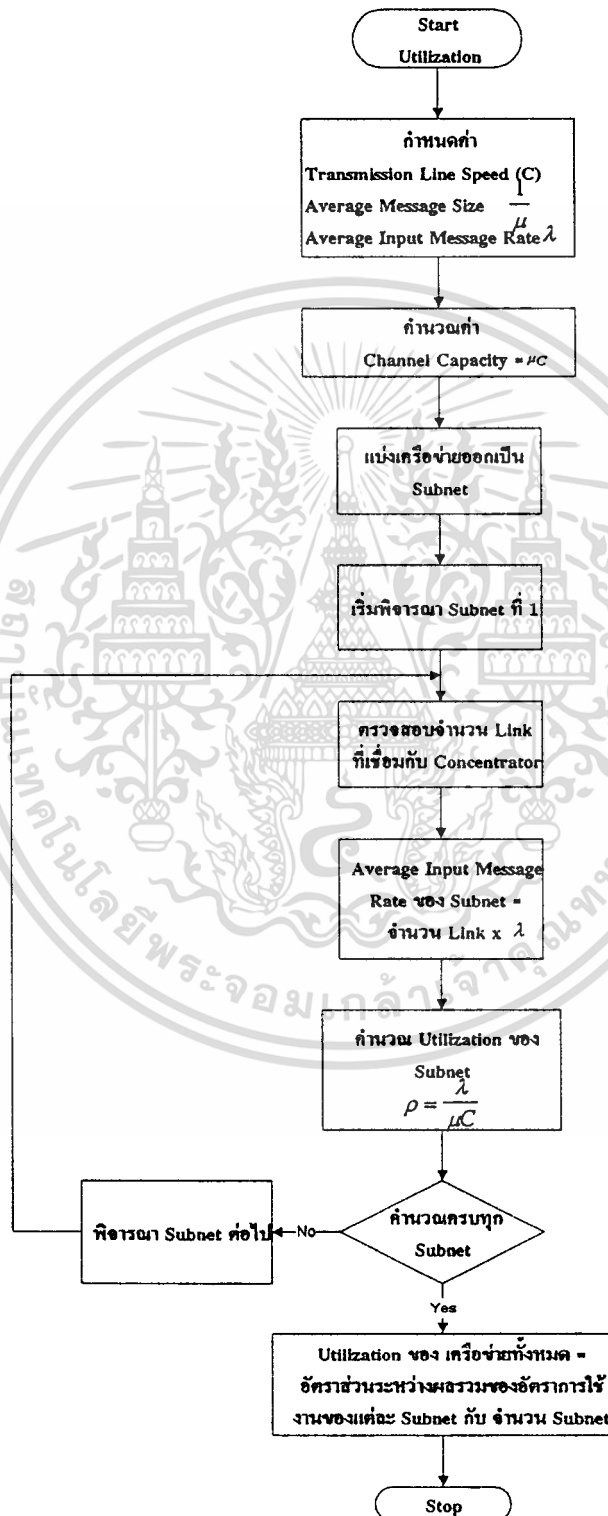
เอกสารนี้เป็นเอกสารแสดงไฟล์วิชาการคำนวณเวลาของการส่งผ่านข้อมูลภายในเครือข่ายฯ ๒๕๖๒
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.8.3 ส่วนคำนวณอัตราการใช้งานเครือข่าย

ซอฟต์แวร์ในส่วนนี้คำนวณหาอัตราการใช้งานเครือข่าย โดยข้อมูลเบื้องต้นที่ผู้ใช้เป็นผู้กำหนดคือข้อมูลชุดเดียวกันกับส่วนคำนวณเวลาของการส่งผ่านข้อมูลภายในเครือข่าย และลักษณะการคำนวณก็เช่นเดียวกัน คือทำการคำนวณในแต่ละเครือข่ายย่อย จากนั้นนำมารวมกันเป็นอัตราใช้งานทั้งหมดของเครือข่าย ซอฟต์แวร์มีขั้นตอนการทำงานแสดงได้ดังโฟลว์ชาร์ตในภาพที่ 28



ภาพที่ 28

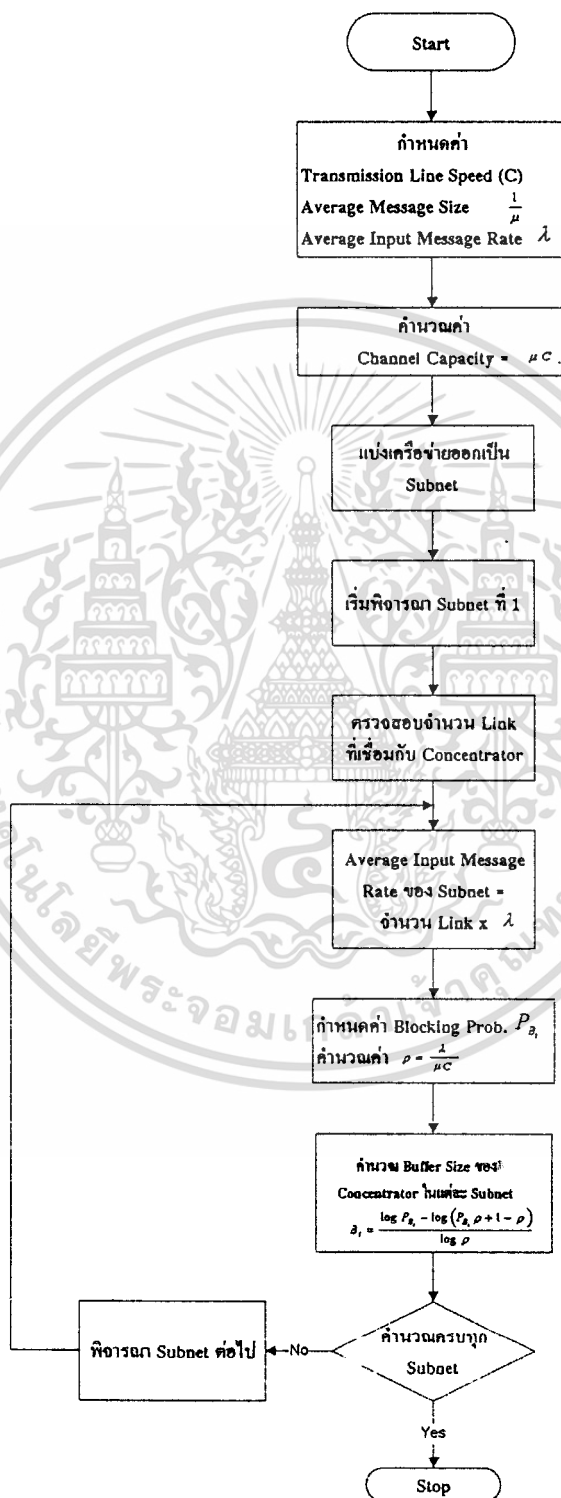


4.2.8.4 ส่วนคำนวณเนื้อที่ของบัพเฟอร์ภายในคอนเซ็นท์เตอร์

ซอฟต์แวร์ในส่วนนี้คำนวณหาเนื้อที่ของบัพเฟอร์ภายในแต่ละคอนเซ็นท์เตอร์ โดยข้อมูลที่ต้องการในการคำนวณคือ ค่า Blocking Probability และอัตราการใช้งานเครือข่ายย่อย (ρ) ลักษณะการคำนวณเป็นการคำนวณเนื้อที่บัพเฟอร์ของคอนเซ็นท์เตอร์ของแต่ละเครือข่ายย่อย ซอฟต์แวร์มีขั้นตอนการทำงานแสดงได้ดังโฟลว์ชาร์ตในภาพที่ 29



ภาพที่ 29



แสดงไฟล์ชาร์ตการคำนวณเนื้อที่ของบัฟเฟอร์ภายในคอนเซนทรีเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การใช้งานซอฟต์แวร์ของระบบ

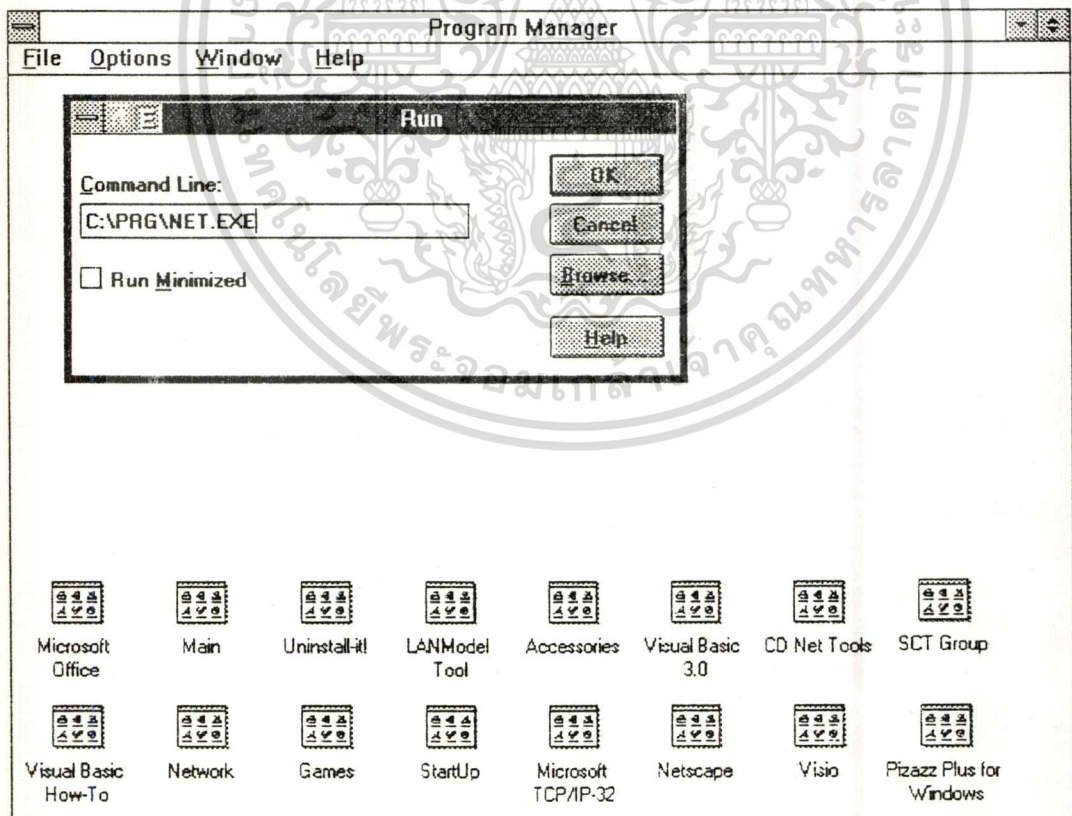
ในการใช้งานซอฟต์แวร์นี้จะต้องประกอบไปด้วยเพิ่มข้อมูลดังต่อไปนี้

- 1) NET.EXE เป็นซอฟต์แวร์ของการประมวลผลของระบบ
- 2) *.BMP เป็นเพิ่มภาพแผนที่
- 3) SYSTEM.MDB เป็นเพิ่มข้อมูลที่เก็บรายละเอียดของแผนที่ที่เคลือบแล้ว
- 4) N_*.MDB เป็นเพิ่มข้อมูลที่ได้จากการประมวลผล (เพิ่มข้อมูลแผนที่)

การใช้งานซอฟต์แวร์นี้จะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. Click Mouse ที่เมนู File แล้วเลือกเมนูย่อย Run หลังจากนั้นให้พิมพ์คำว่า "C:\PRG\NET.EXE" แล้ว Click Mouse ที่ปุ่ม OK ดังแสดงในภาพที่ 30

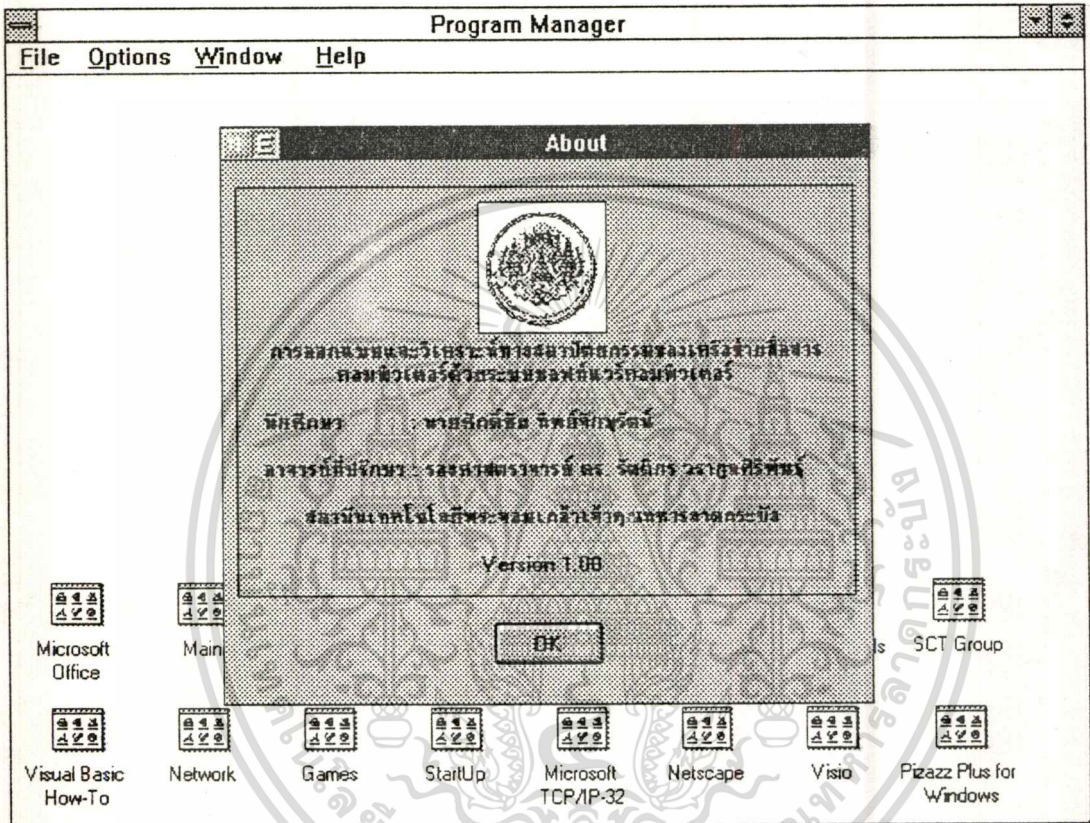
ภาพที่ 30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้แสดงขั้นตอนการเรียกใช้ซอฟต์แวร์ของระบบ ภาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หลังจากทำตามขั้นตอนที่ 1 แล้ว จะปรากฏหน้าจอ ดังภาพที่ 31

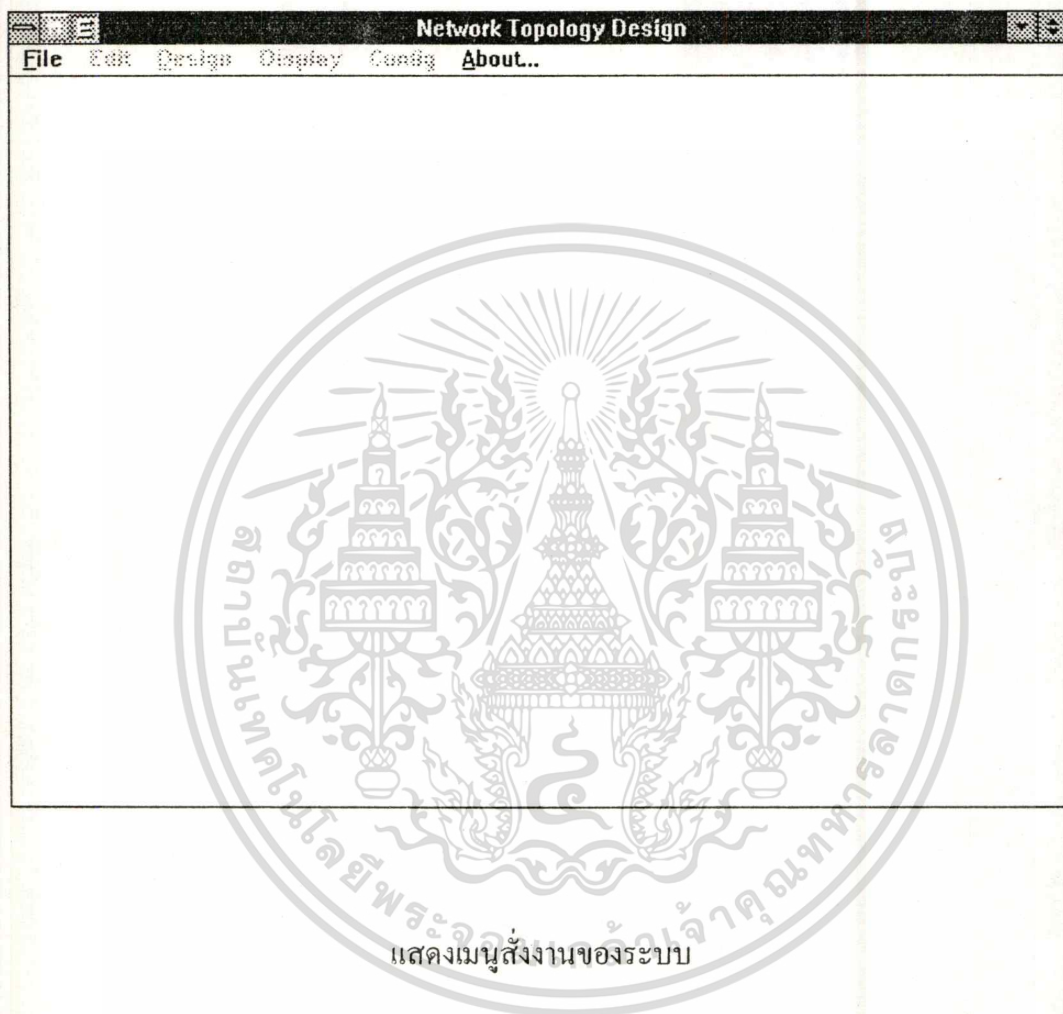
ภาพที่ 31



แสดงหน้าจอแรกของระบบ

ระบบจะรอให้ผู้ใช้กดปุ่ม OK เพื่อเข้าสู่เมนูทำงานของระบบต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 32

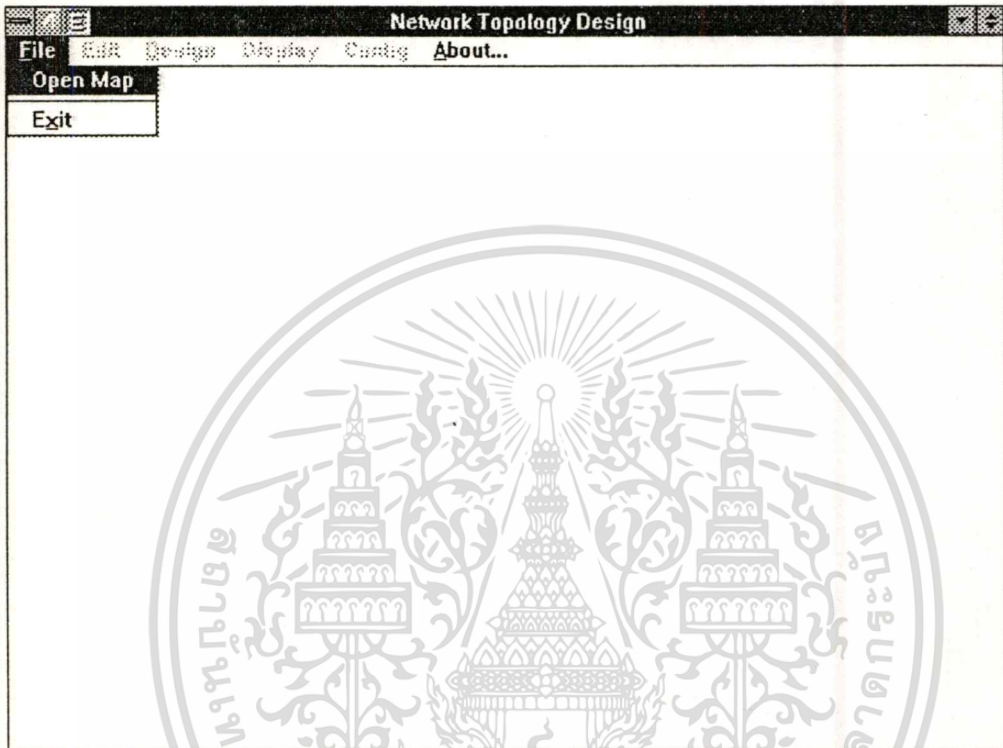
ภาพที่ 32



แสดงเมนูสั่งงานของระบบ

ระบบจะรอให้ผู้ใช้สั่งงานโดยเลือกจากเมนูต่างๆ ซึ่งโดยปกติการใช้งานซอฟต์แวร์ จะเริ่มต้นที่เมนู File เพื่อโหลดแผนที่ที่จะทำการออกแบบ ดังแสดงในภาพที่ 33

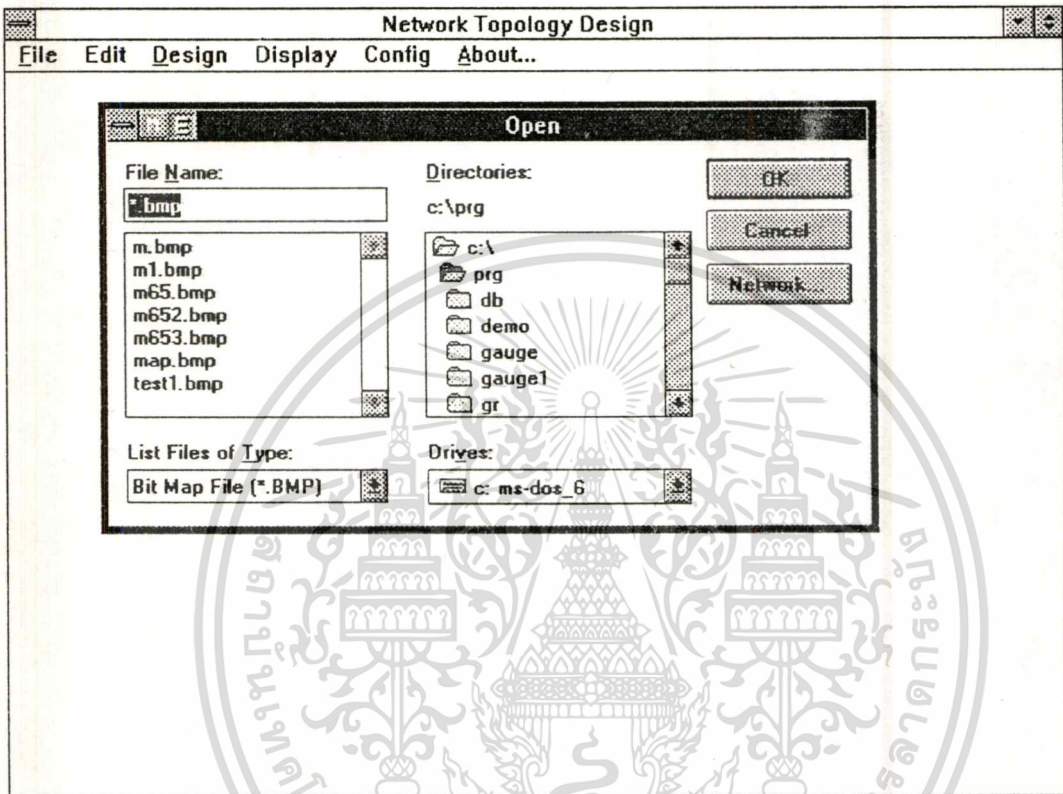
ภาพที่ 33



แสดงการเข้าสู่เมนูการโหลดแผนที่

เมื่อเลือกเมนูย่อย Open Map จากเมนู File จะปรากฏหน้าจอให้ผู้ใช้เลือกเพิ่มข้อมูลภาพแผนที่ ซึ่งเป็นเพิ่มข้อมูลกราฟฟิกที่มีนามสกุลเป็น BMP ดังแสดงในภาพที่ 34

ภาพที่ 34



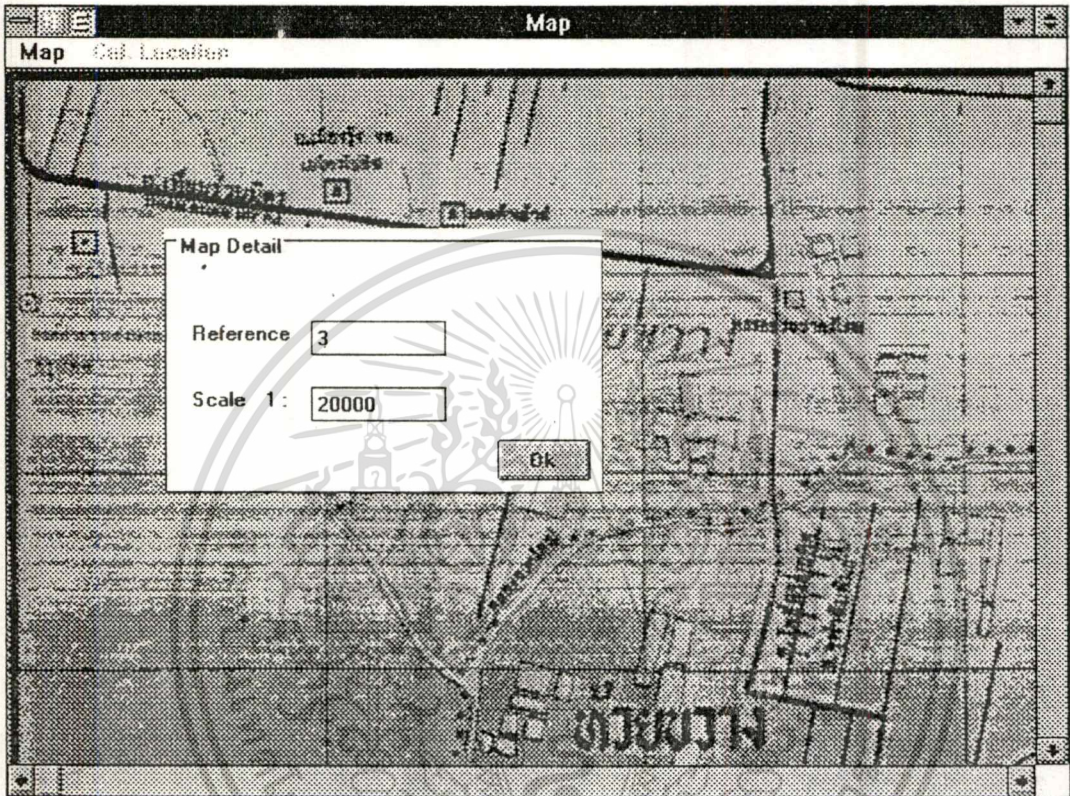
แสดงการเลือกเพิ่มข้อมูลแผนที่

หลังจากเลือกเพิ่มข้อมูลแผนที่แล้ว ให้กดปุ่ม OK แล้ว ระบบจะทำการตรวจสอบเพิ่มข้อมูลที่เลือกกับเพิ่มข้อมูลระบบ SYSTEM.MDB ว่าเคยโหลดเพิ่มข้อมูลนี้แล้วหรือยัง

1. ถ้าเคยเปิดแล้วระบบจะให้ผู้ใช้เป็นผู้กำหนดตำแหน่งโนดบนหน้าจอ ดังแสดงในภาพที่
2. ถ้ายังไม่เคยโหลดระบบจะให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูลเกี่ยวกับแผนที่ ดังแสดงในภาพที่ 35

36

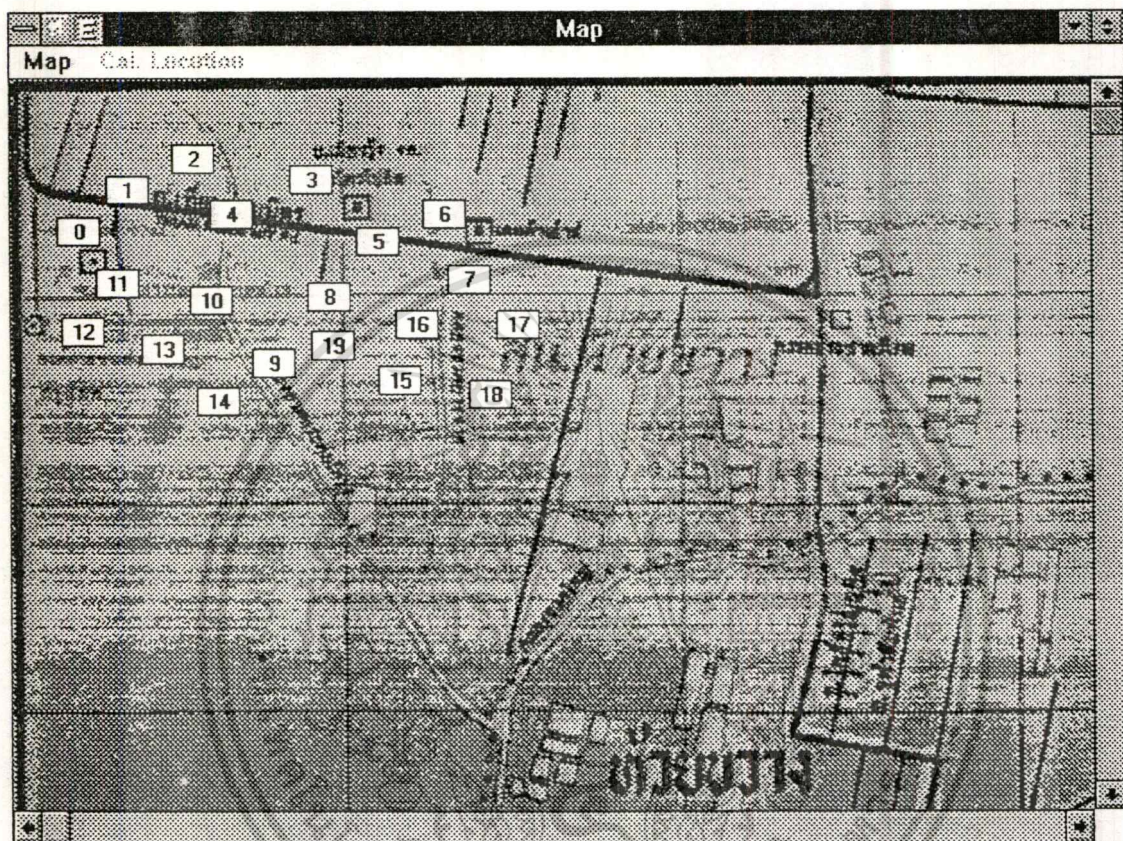
ภาพที่ 35



แสดงหน้าจอให้ผู้กำหนดรายละเอียดแผนที่

ข้อมูลที่ระบบต้องการเกี่ยวกับแผนที่คือ ระยะอ้างอิงจริงและมาตราส่วนของแผนที่ จากภาพที่ 35 Reference = 3 เซนติเมตร เป็นระยะอ้างอิงบนแผนที่จริง มาตราส่วนคือ 1 : 20,000 หลังจากนั้นระบบจะให้ผู้กำหนดตำแหน่งโนดบนหน้าจอ ดังแสดงในภาพที่ 36

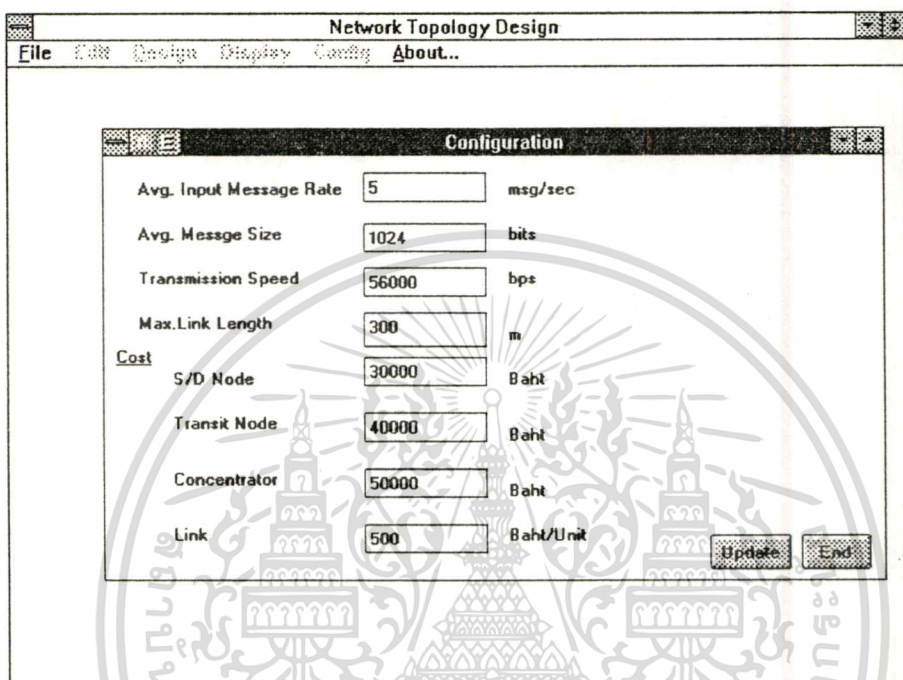
ภาพที่ 36



แสดงการกำหนดตำแหน่ง โนดบนจอภาพ

หลังจากผู้ใช้งานกำหนดตำแหน่งบนหน้าจอแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการคำนวณตำแหน่งของ โนดบนแผนที่ โดยเลือกเมนู Cal. Location หลังจากนั้นระบบจะแสดง Configuration ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไข เพื่อให้ตรงกับระบบที่ต้องการได้ ดังแสดงในรูปที่ 37

ภาพที่ 37



แสดง Configuration ของระบบ

หลังจากได้ตำแหน่งของโหนดและจำนวนตำแหน่งของโหนดแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเริ่มเข้าสู่การออกแบบและวิเคราะห์เครือข่าย โดยเลือกเมนู Design ซึ่งเป็นเมนูเกี่ยวกับการออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นจะได้น้ำจอแสดงในภาพที่ 38

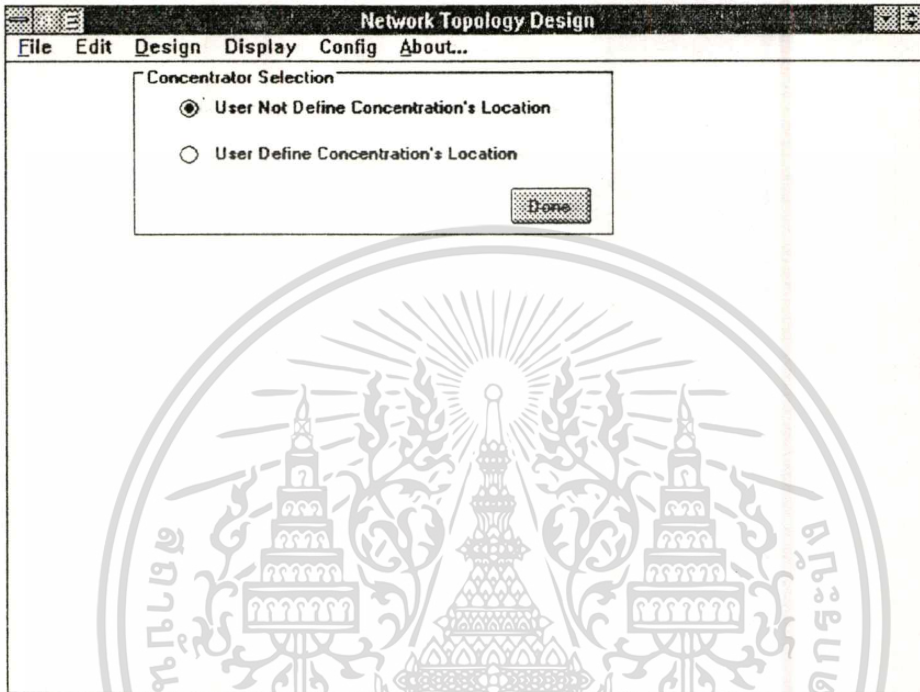
ภาพที่ 38



แสดงเมนูการ Design

การเริ่มออกแบบจะแสดงเป็นเมนูตามลำดับก่อนหลัง ถ้าจะเลือกตำแหน่งคอนเซนทร์เตอร์ ทำได้โดยการเลือกเมนูย่อย Select Concentrator หลังจากนั้นจะได้ผลการประมวลผลดังแสดงในภาพที่ 39

ภาพที่ 39



แสดงหน้าจอการเลือกคอนเซ็นท์เตอร์

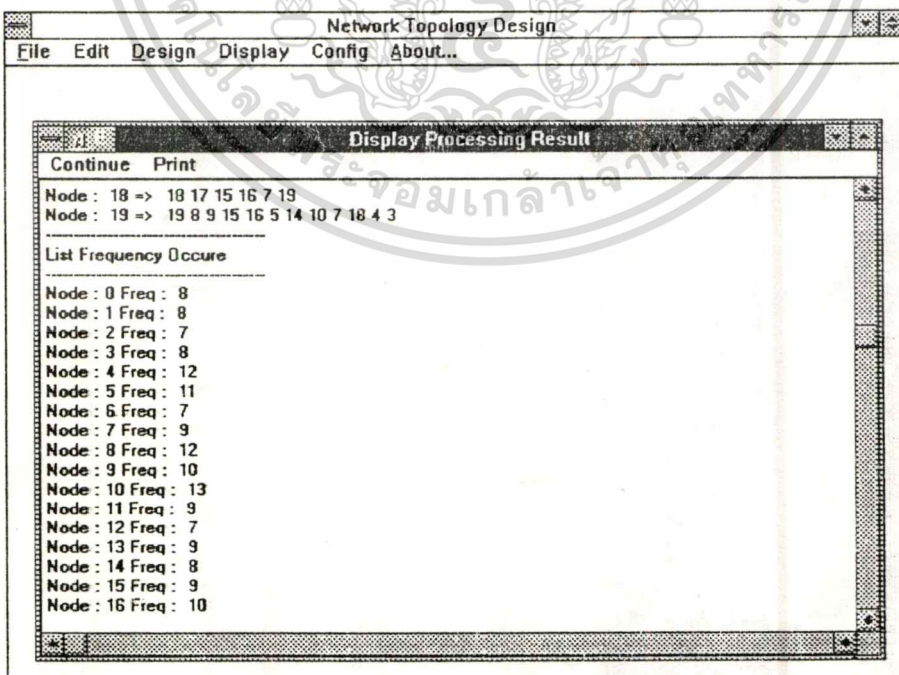
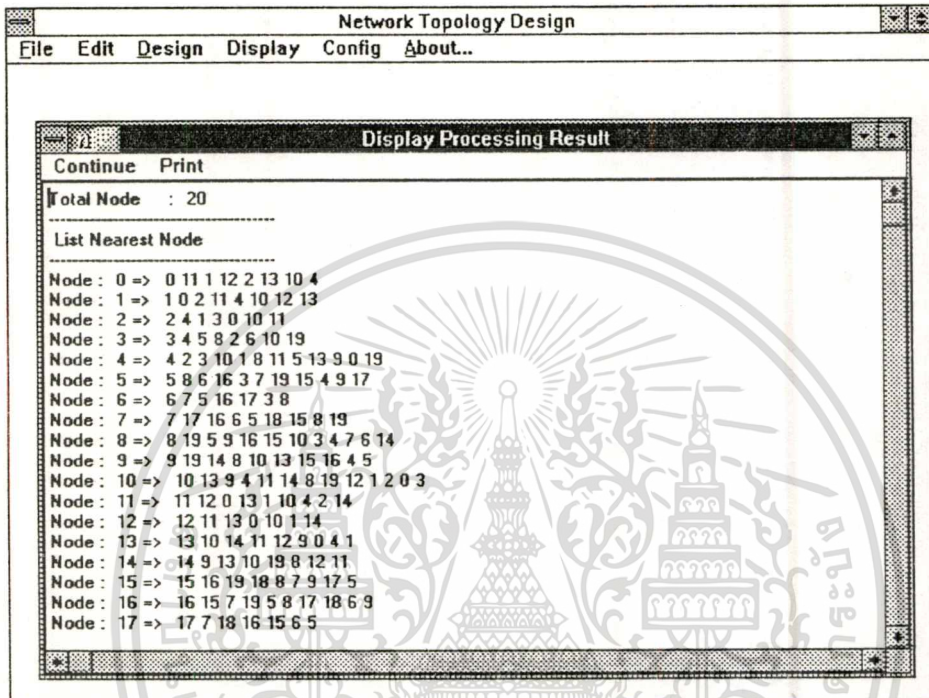
หน้าจอนี้จะให้ผู้ใช้เลือกเงื่อนไขการเลือกคอนเซ็นท์เตอร์ ซึ่งสามารถแยกได้เป็น 2 กรณี คือ

1. ผู้ใช้ไม่กำหนดตำแหน่งคอนเซ็นท์เตอร์
2. ผู้ใช้เป็นผู้กำหนดตำแหน่งคอนเซ็นท์เตอร์

หลังจาก Click Mouse ที่ Done ซอฟต์แวร์จะเริ่มประมวลผลการเลือกคอนเซ็นท์เตอร์ ซึ่งในภาพที่ 40 จะแสดงขั้นตอนการประมวลผลโดยละเอียด

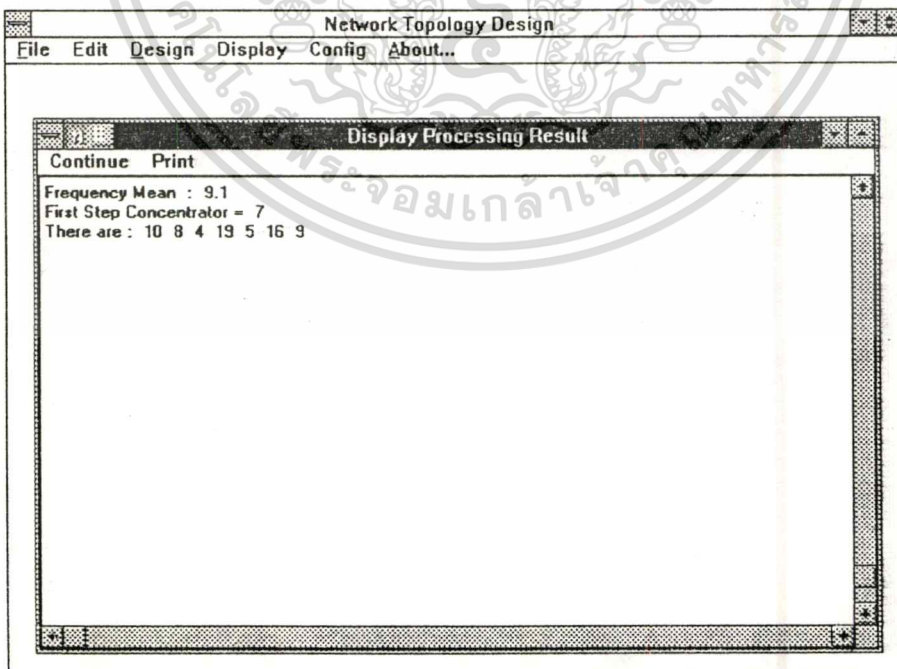
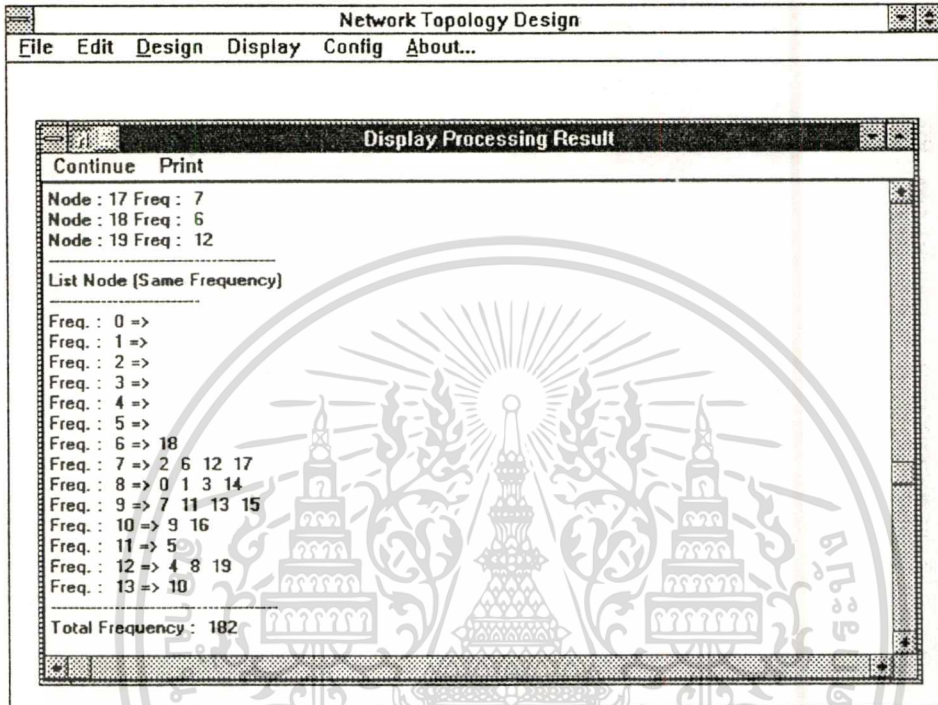
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 40



เอกสารนี้เป็นเอกสารแสดงผลจากการประมวลผลการเลือกตำแหน่งก่อนเซ็นทรัลเตอร์ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

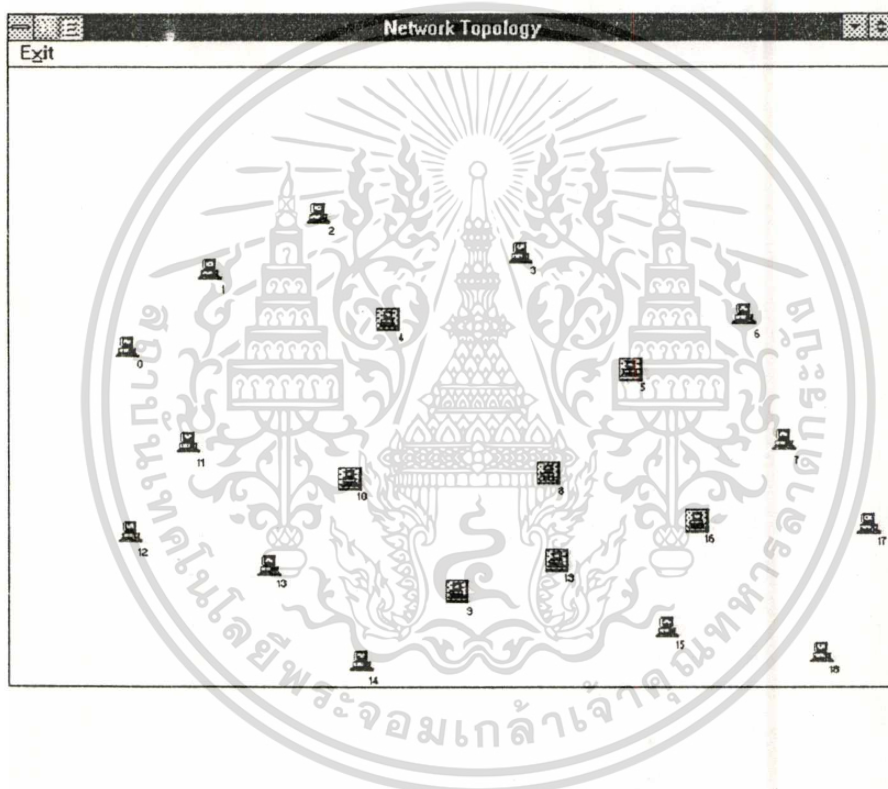
ภาพที่ 40 (ต่อ)



แสดงผลจากการประมวลผลการเลือกตำแหน่งคอนเซ็นเตอร์ (ต่อ)
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการประมวลผล สามารถแสดงผลการเลือกตำแหน่งคอนเซ็นท์เตอร์ดังในภาพที่ 41 ซึ่งคอนเซ็นท์เตอร์ที่ได้จะเป็น “คอนเซ็นท์เตอร์ขั้นแรก” (First Step Concentrator)

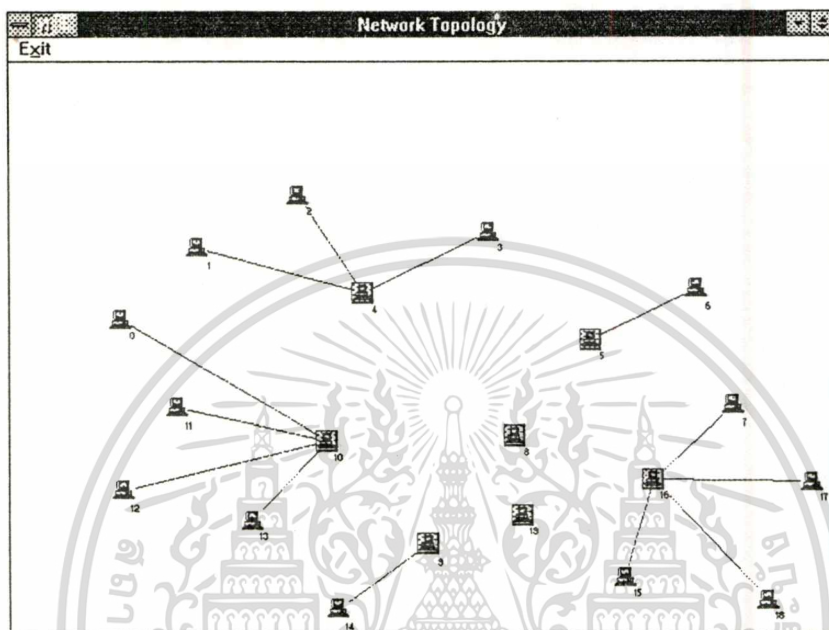
ภาพที่ 41



แสดงตำแหน่งคอนเซ็นท์เตอร์ที่ระบบทำการเลือกให้

หลังจากได้ตำแหน่งคอนเซ็นท์เตอร์แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การเชื่อมต่อคอนเซ็นท์เตอร์เตอร์กับกลุ่มโหนด โดยเลือกเมนู Design และเลือกเมนูย่อย Create Topology หลังจากนั้นถ้าต้องการดูโครงสร้างเครือข่ายที่ได้ออกแบบ ทำได้โดยการเลือกเมนู Display และเลือกเมนูย่อย Topology ผลที่ได้แสดงได้ดังภาพที่ 42

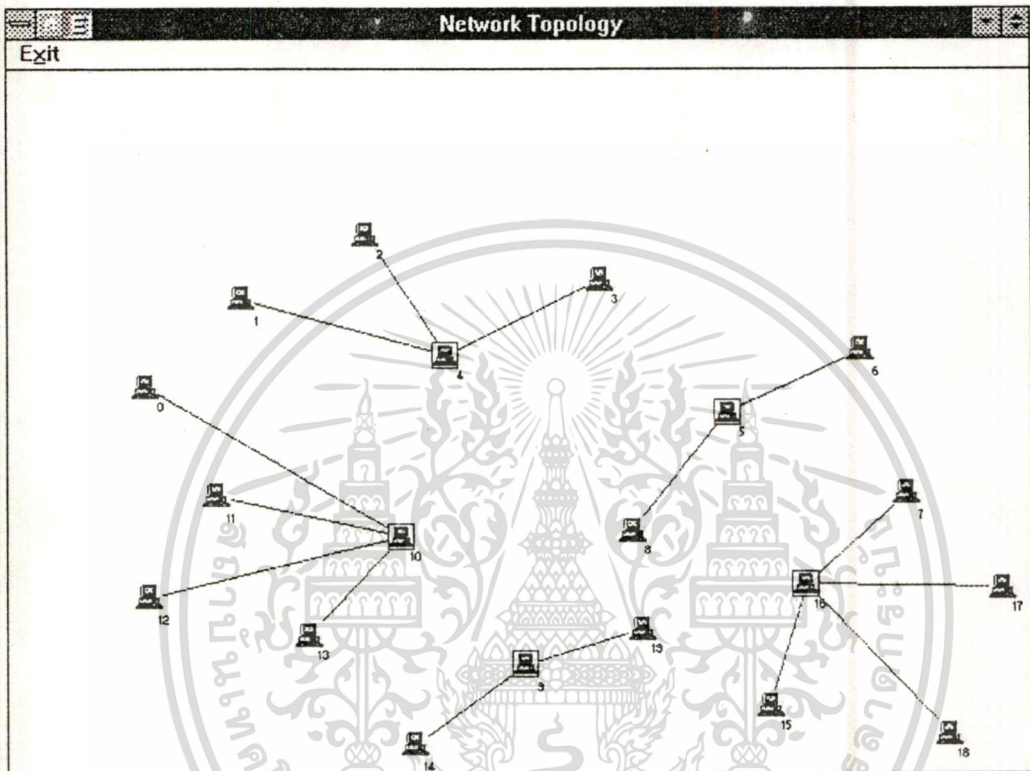
ภาพที่ 42



แสดงการเชื่อมต่อคอนเซนทริเตอร์กับกลุ่มโหนดก่อนทำการลดคอนเซนทริเตอร์

จากโครงสร้างเครือข่ายที่ได้จากการเชื่อมต่อคอนเซนทริเตอร์กับกลุ่มโหนด จะเห็นว่ายังมีคอนเซนทริเตอร์ที่ไม่มีโหนดใดเชื่อมต่ออยู่ ดังนั้นต้องทำการลดคอนเซนทริเตอร์ลงให้เหมาะสม โดยการเลือกเมนู Reduce Concentrator จะได้ผลดังแสดงในภาพที่ 43

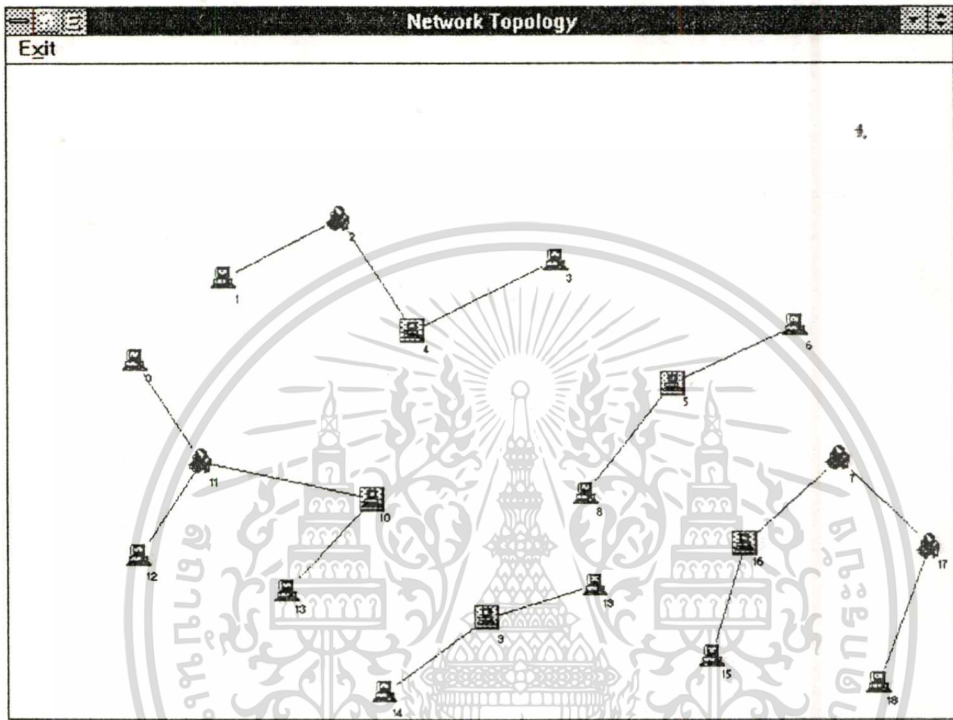
ภาพที่ 43



แสดงโครงสร้างเครือข่ายที่ได้หลังจากลดคอนเซนต์เตอร์

โครงสร้างที่ได้เป็นโครงสร้างที่ทุกโหนดเชื่อมตรงไปยังคอนเซนต์เตอร์และทำการปรับปรุงการเชื่อมต่อคอนเซนต์เตอร์กับกลุ่มโหนดใหม่ โดยการเลือกเมนู Design และเลือกเมนู Modify Topology จะได้ผลดังแสดงในภาพที่ 44

ภาพที่ 44

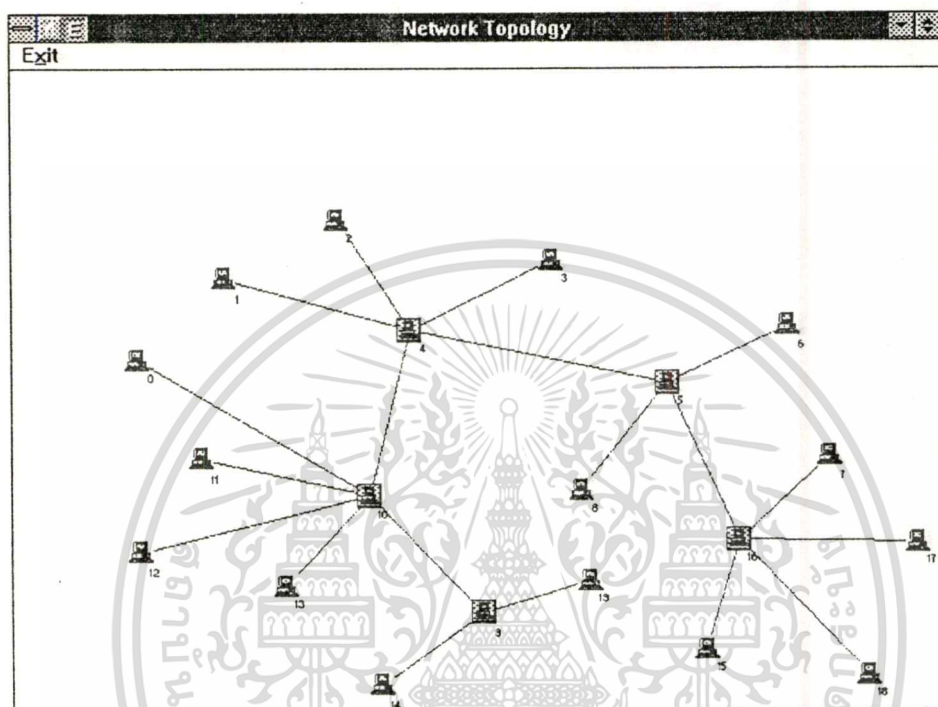


แสดงโครงสร้างเครือข่ายที่ปรับปรุงการเชื่อมต่อคอนเซนทรีเตอร์กับกลุ่ม โหนด

โครงสร้างที่ได้ของแต่ละเครือข่ายย่อยจะเห็นว่าเกิดทรานซิสโหนด (Transit Node) ขึ้นเพื่อทำหน้าที่ในการส่งผ่านข้อมูลเข้าสู่คอนเซนทรีเตอร์เพื่อเป็นการประหยัดระยะทางรวมของสายนำสัญญาณ

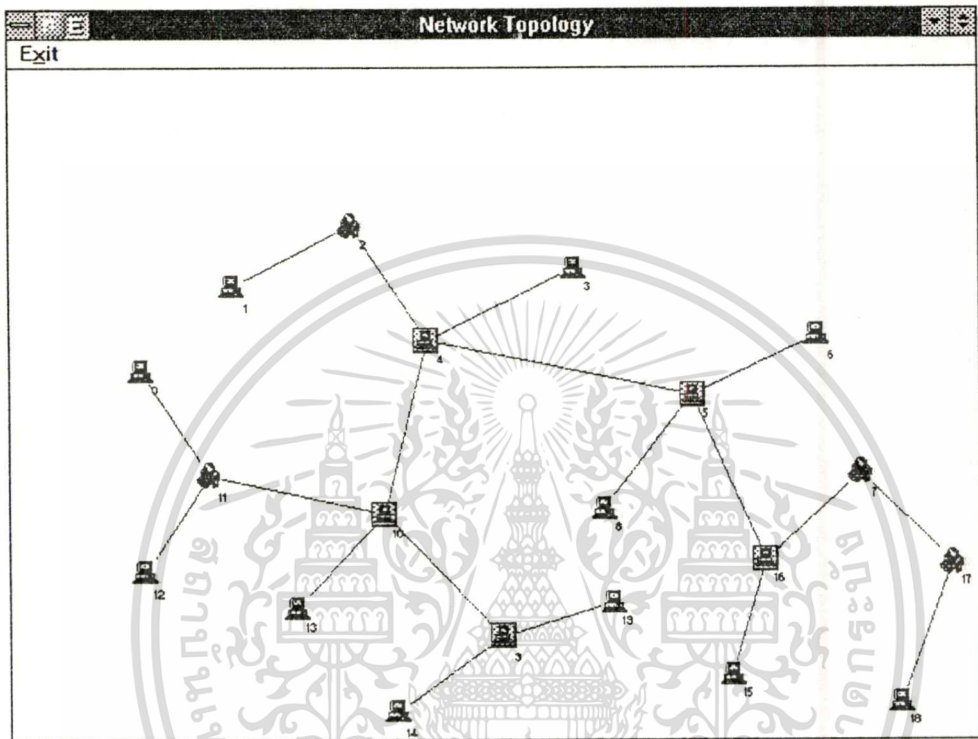
หลังจากนั้นจะทำการเชื่อมต่อระหว่างคอนเซนทรีเตอร์ ซึ่งจะ ได้โครงสร้างเครือข่ายที่สมบูรณ์ ดังแสดงในภาพที่ 45 และ 46 ตามลำดับ

ภาพที่ 45



แสดงโครงสร้างเครือข่ายหลังจากทำการเชื่อมต่อระหว่างคอนเซนแทรเตอร์

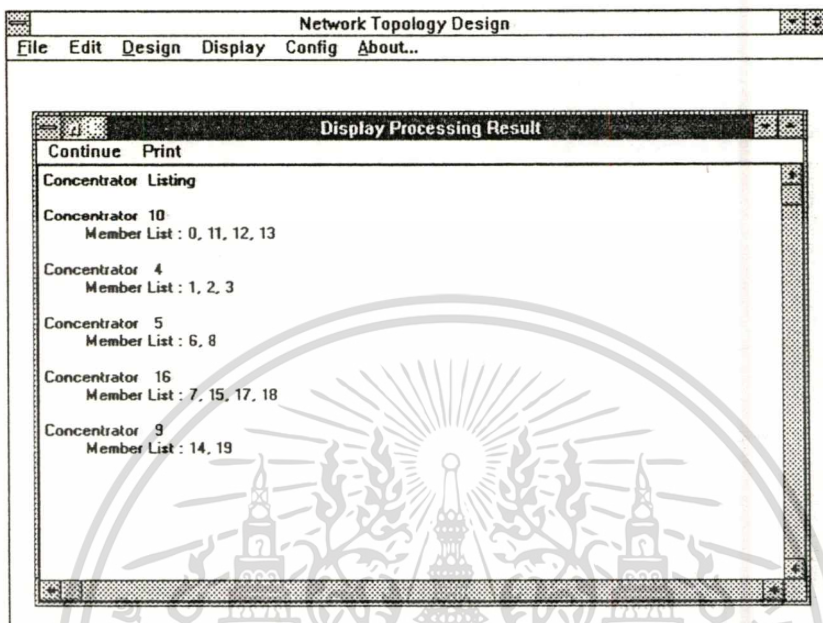
ภาพที่ 46



แสดงโครงสร้างเครือข่ายที่ปรับปรุงการเชื่อมต่อ

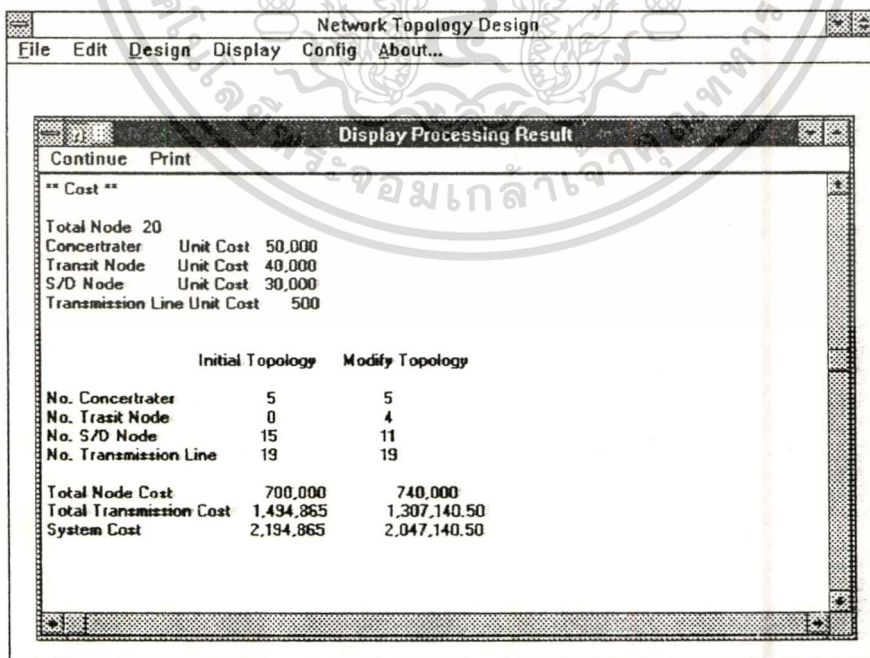
หลังจากได้โครงสร้างที่ต้องการแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการคำนวณประสิทธิภาพของเครือข่าย ซึ่งทำได้โดยการเลือกเมนู Design และเมนูย่อย Performance Evaluation และได้ผลจากการประมวลผลแสดงในภาพที่ 47, 48, 49, 50 ตามลำดับ

ภาพที่ 47



แสดงรายการ โหนดแยกตามคอนเซนทรีเตอร์

ภาพที่ 48

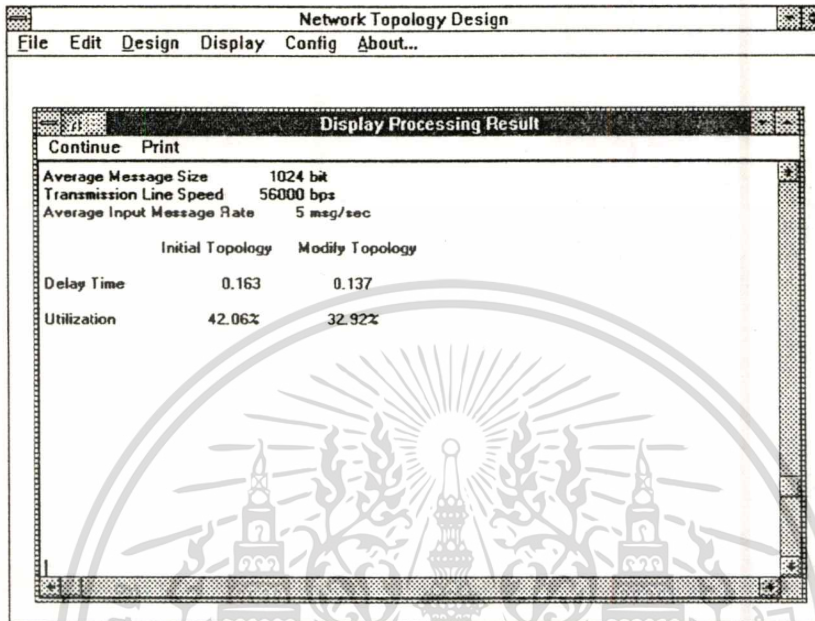


แสดงการคำนวณค่าใช้จ่ายจากโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

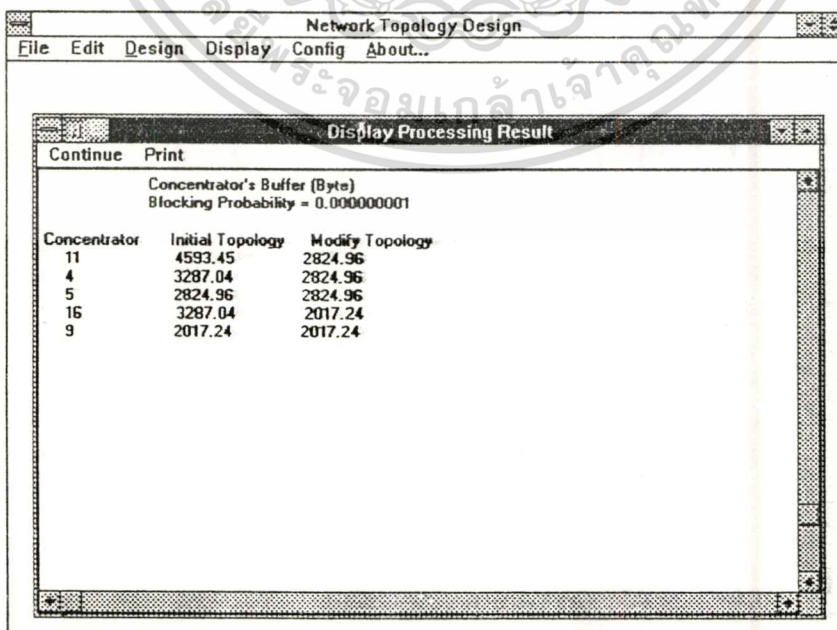
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 49



แสดงการคำนวณ Delay Time และ Utilization ของโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบ

ภาพที่ 50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นที่มีเหตุที่เปลี่ยนแปลงและต้องจ่ายสิ่งของให้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบ

จากโครงสร้างเครือข่ายที่ได้ทำการออกแบบและวิเคราะห์ในบทที่ 4.3 สามารถสรุปประสิทธิภาพของโครงสร้างเครือข่ายทั้ง 2 แบบได้ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3

แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพต่างๆ ของโครงสร้างเครือข่ายทั้ง 2 แบบ

ประสิทธิภาพ	โครงสร้างเครือข่ายเริ่มต้น	โครงสร้างเครือข่ายที่ปรับปรุง
ค่าใช้จ่าย	2,194,865	2,047,140.5
- โหนด	700,000	740,000
- สายนำสัญญาณ	1,494,865	1,307,140.50
เวลาของการส่งผ่านข้อมูล	0.163	0.137
อัตราการใช้งานเครือข่าย	42.06%	32.92%

จากตารางที่ 3 จะเห็นว่าโครงสร้างเครือข่ายที่ปรับปรุงจะใช้สายนำสัญญาณในการเชื่อมต่อโนดต่างๆ ในเครือข่ายน้อยกว่าค่าใช้จ่ายเริ่มต้น

อัตราการใช้งานของโครงสร้างเครือข่ายเริ่มต้นมากกว่าโครงสร้างเครือข่ายที่ปรับปรุงทำให้มีปริมาณข้อมูลสู่คอนเซ็นท์เตอร์สูง จึงเกิดการสะสมของปริมาณข้อมูลที่คอนเซ็นท์เตอร์มาก จึงทำให้ต้องใช้เวลาในการส่งผ่านข้อมูลค่อนข้างสูง ในขณะที่อัตราการใช้งานของโครงสร้างเครือข่ายที่ปรับปรุงมีต่ำกว่าจึงทำให้การสะสมที่คอนเซ็นท์เตอร์ต่ำ ดังนั้นเวลาของการส่งผ่านข้อมูลของโครงสร้างเครือข่ายนี้จึงต่ำ

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 บทนำ

วิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอผลงานวิจัยในการพัฒนาระบบซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์ทางสถาปัตยกรรม โครงสร้างของเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ (Wide Area Network : WAN) ภายใต้จุดประสงค์หรือความต้องการของผู้ใช้ โดยเริ่มต้นจากสภาพภูมิศาสตร์หรือตำแหน่งของหน่วยสื่อสาร (หรือระบบสื่อสารในหน่วยงานที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ต่าง ๆ กัน) ในสภาพความเป็นจริงตำแหน่งเหล่านี้อาจจะอยู่ในพื้นที่เดียวกันหรืออยู่ในตำบลที่ต่างกัน หรืออำเภอที่ต่างกัน หรือจังหวัดที่ต่าง ๆ กันได้ จุดประสงค์เริ่มแรกของผู้ใช้ย่อมได้แก่ ความต้องการที่เชื่อมโยงหน่วยสื่อสารเหล่านี้ให้อยู่ในรูปเครือข่ายที่สามารถส่งข้อมูลทางคอมพิวเตอร์จากหน่วยสื่อสารหนึ่งไปยังหน่วยสื่อสารอื่นๆ ได้ กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ทำให้สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลถึงกันได้หมด

ดังนั้นสิ่งหนึ่งที่จะต้องวิเคราะห์พิจารณาจึงได้แก่ การคำนึงว่าจะเชื่อมโยง (Connection) หน่วยสื่อสารเหล่านี้อย่างไร หน่วยสื่อสารไหนควรเชื่อมโยงกับหน่วยสื่อสารใด และจะใช้อะไรเป็นข้อกำหนด

งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวความคิดและแนวทางในการตัดสินใจหาข้างต้นดังกล่าว โดยคำนึงความปรารถนาของผู้ใช้ในทางปฏิบัติ (Physical) และในทางอุดมคติ (Idealism) ในทางปฏิบัติได้แก่ ทำอย่างไรจะใช้ของดีแต่ราคาไม่แพง จะต่อเชื่อมอย่างไรที่ทำให้ต้นทุน (Cost) ของการติดตั้งต่ำ เป็นต้น ส่วนในทางอุดมคติ ได้แก่ เชื่อมโยงอย่างไรจะทำให้การส่งข้อมูลจากผู้ส่งไปถึงผู้รับได้เร็วที่สุด เป็นต้น

จากความปรารถนาของผู้ใช้ข้างต้น งานวิจัยนี้ได้เสนอการออกแบบโครงสร้างของการเชื่อมโยงหน่วยสื่อสารในรูปเครือข่ายแบบระบบกระจายรวมศูนย์ (Concentrator Oriented Distributed System) ด้วยการเริ่มต้นวิเคราะห์จากการตั้งสมมติฐานว่าหน่วยสื่อสารที่อยู่ใกล้กันจะมีการติดต่อส่งรับข้อมูลกันบ่อยครั้ง (ในวิทยานิพนธ์กำหนดให้เป็นความถี่ = Frequency) ดังนั้นไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยสื่อสารที่มีการติดต่อกับหน่วยสื่อสารอื่น ๆ ที่ตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกันมากที่สุดควรจะเป็นศูนย์กลาง (Concentrator) ของการติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่างหน่วยสื่อสารอื่น ๆ

การออกแบบจึงเริ่มจากการกำหนดโนดศูนย์กลาง (Concentrator Node) จากความถี่ (Frequency) ดังกล่าว แล้วเชื่อมหน่วยสื่อสารที่อยู่ใกล้โนดศูนย์กลางนี้ โดยมีระยะห่างไม่เกินความยาวที่กำหนด (ความยาวนี้กำหนดจากความสามารถทางการส่งรับข้อมูลของเครื่องส่ง เครื่องรับ และสายนำสัญญาณ) จัดการเป็นกลุ่มเครือข่ายย่อย (Subnet) แล้วเชื่อมโยงเครือข่ายย่อยด้วยโนดศูนย์กลาง

ระบบงานที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์สถาปัตยกรรมโครงสร้างเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยส่วนการทำงานที่สำคัญ ๆ ทั้งหมด 7 ส่วน ดังที่ได้กล่าวถึงรายละเอียดในขั้นตอนการทำงานแต่ละส่วนมาในบทที่ 2 บทที่ 3 และบทที่ 4 แล้ว

ผลลัพธ์ที่ได้เป็นเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์ที่มีโครงสร้างประกอบด้วยกลุ่มหน่วยสื่อสารต่างๆ เชื่อมต่อกับโนดศูนย์กลางในลักษณะที่ระยะทางของการเชื่อมต่อระหว่างสื่อสารเป็นระยะสั้นที่สุด และจำนวนหน่วยสื่อสารทั้งหมดที่เชื่อมต่อกับโนดศูนย์กลางหนึ่ง ๆ ไม่เกินความจุของโนดศูนย์กลางนั้น

เครือข่ายที่ได้จะถูกปรับปรุงในขั้นตอนสุดท้าย โดยพิจารณาลักษณะตำแหน่งของหน่วยสื่อสารบางหน่วยปรับเปลี่ยนการเชื่อมต่อให้เหมาะสมและในส่วนของการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครือข่าย ผลการวิเคราะห์ในส่วนของการใช้จ่ายของโครงสร้างเครือข่าย เวลาของการส่งผ่านข้อมูลและอัตราการใช้งาน เป็นข้อมูลสำคัญ เพื่อใช้ในการพิจารณาถึงความเหมาะสมเครือข่ายที่ได้ออกแบบมาได้ เพื่อการดำเนินการจัดตั้งเครือข่ายต่อไป

5.2 ประโยชน์ที่ได้รับ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอถึงขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างเครือข่ายในเบื้องต้นศึกษาถึงวิธีการกำหนดตำแหน่งของหน่วยสื่อสารต่าง ๆ ในพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ และวิเคราะห์ลักษณะการเชื่อมต่อหน่วยสื่อสารต่าง ๆ เหล่านั้นที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากในการออกแบบจะต้องมีการคำนวณค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบและตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์ และการคำนวณก่อนข้างจะมีความยุ่งยากและซับซ้อน ถ้าทำการคำนวณด้วยมือจะทำให้เกิดความล่าช้าและอาจเกิดความผิดพลาดได้ง่าย ดังนั้นเพื่อช่วยลดภาระไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าวและทำให้การออกแบบมีความสะดวกและรวดเร็วขึ้น วิทยานิพนธ์นี้จึงได้ทำการพัฒนาซอฟต์แวร์ขึ้น ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถออกแบบและวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็วอีกทั้งมีส่วนช่วยตัดสินใจ ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการออกแบบ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะสามารถให้ผู้ออกแบบเห็นภาพรวมของโครงสร้างเครือข่ายก่อนที่ทำการติดตั้งระบบจริง นอกจากนี้ระบบยังสามารถเลือกโครงสร้างเครือข่ายในลักษณะที่แตกต่างกันได้จากเงื่อนไขที่ต่างกัน อาทิ เช่น

- ค่าใช้จ่ายของหน่วยสื่อสาร
- ค่าใช้จ่ายของสายนำสัญญาณ
- เวลาของการส่งผ่านข้อมูลในเครือข่าย
- อัตราการใช้งานเครือข่าย เป็นต้น
- เนื้อที่ของบัพเฟอร์ภายในคอนเซนทรีเตอร์

5.3 การนำผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้กับงานอื่น

5.3.1 การบริหารจัดการเครือข่ายตามมาตรฐานของ ISO

ระบบการบริหารจัดการเครือข่าย (Network Management System) ตามมาตรฐานของ ISO นั้นเป็น 5 ส่วน ได้แก่

1. Configuration Management
2. Fault Management
3. Accounting Management
4. Security Management
5. Performance Management

ซึ่งทั้งหมดนี้จะอยู่ใน Application Layer ของ OSI Reference Model

ผลของงานวิจัยนี้สามารถประยุกต์ใช้กับส่วน Configuration Management ได้แก่การปรับปรุงโครงสร้างเครือข่ายให้เหมาะสมตามสภาพข้อแม้ทางด้านการลดต้นทุนหรือการเพิ่มเปลี่ยนหน่วยสื่อสาร เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2 ระบบการสื่อสารข้อมูลของธนาคาร

ลักษณะการกระจายสาขาของระบบธนาคาร (Banking System) นั้นจะเป็นการตั้งหน่วยในพื้นที่ต่าง ๆ กันและที่มีขนาดต่าง ๆ กัน โดยจะมีสาขาย่อยสาขาใหญ่ประจำเขต สาขาใหญ่ประจำภาค เป็นต้น ดังนั้นลักษณะการเชื่อมโยงสาขาค้าง ๆ ในรูปเครือข่ายจึงเป็นลักษณะกระจายรวมศูนย์ (Concentrator Oriented Distributed System) เช่นเดียวกับแนวความคิดของงานวิจัยนี้

โหนดศูนย์กลาง (Concentrator Node) เปรียบเสมือนสาขาใหญ่ประจำเขต หรือสาขาใหญ่ประจำภาค ส่วน Station Mode เปรียบเสมือนสาขาย่อยในเขตนั่น ๆ ดังนั้นระบบซอฟต์แวร์ของงานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้ได้โดยตรง

5.3.3 ระบบออกแบบ Base Station (สถานีแม่ข่าย) ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

ในการประยุกต์นี้ใช้สำหรับกำหนดตำแหน่งที่จะติดตั้งสถานีแม่ข่าย ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมต่อกับระบบโทรศัพท์อื่น ๆ หรือติดตั้งสถานีทวนสัญญาณ (Repeater Station) เพื่อทำหน้าที่ทวนสัญญาณของเครื่องลูกข่าย (โทรศัพท์เคลื่อนที่) ไปให้กับสถานีแม่ข่ายและในทางกลับกันก็จะทวนสัญญาณจากสถานีแม่ข่ายมายังเครื่องลูกข่ายด้วย เพื่อให้สามารถให้บริการแก่ผู้ใช้ได้อย่างทั่วถึง

บรรณานุกรม

1. H.G.Dysart and N.D.Georganas. "NEWCLUST : An Algorithm for the Topology Design of Two-level, Multidrop Teleprocessing Networks". IEEE Transaction on Communication. vol. COM-26. no. 1. January 1978: pp. 55-61.
2. R.L. Sharma. Network Topology Optimization. Van Nostrand Reinhold, 1990
3. G. Held. Practical Network Design Techniques. John Wiley & Sons Ltd., 1991
4. A.S. Tanenbaum. Computer Networks. Prentice-Hall International Inc. , 1989
5. L. Kleinrock. Queueing System volumn I : Computer Application. John Wiley: New York, 1976
6. รัตติกร วรากุลศิริพันธุ์, ศักดิ์ชัย ทิพย์จักนุรัตน์ “การประมวลผลประสิทธิภาพเกี่ยวกับเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์”, การประชุมใหญ่ทางวิชาการประจำปี 2534 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ 31 ตุลาคม-3 พฤศจิกายน 2534 หน้า 661-675
7. Vijay Ahuja. Design and Analysis of Computer Communication Networks . McGraw-Hill Book Company,1985.
8. H.I. Fahmy. “END : An expert network designer” . IEEE Transaction on Networking November/December 1995: pp. 18-27.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นายศักดิ์ชัย ทิพย์จักษ์รัตน์
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 7 กันยายน พ.ศ. 2508
สถานที่เกิด	จังหวัดสุพรรณบุรี
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาสถิติ
สถานที่สำเร็จการศึกษา	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
ปีที่สำเร็จการศึกษา	ปีการศึกษา 2530
ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์	การประมวลผลประสิทธิภาพเกี่ยวกับเครือข่ายสื่อสาร คอมพิวเตอร์ เอกสารประชุมใหญ่วิชาการทางวิศวกรรม ประจำปี 2534 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยใน พระบรมราชูปถัมภ์ 31 ตุลาคม - 3 พฤศจิกายน 2534 หน้า 661-675
อาชีพปัจจุบัน	รับราชการตำแหน่งเจ้าหน้าที่ระบบงานคอมพิวเตอร์ 4 ระดับ 4 สำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร- ลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้