เทคนิคการเชื่อมต่อของโครงข่ายเพื่อลดความคับคั่งในโครงข่ายหลักของโครงข่ายองค์กร

นางสาวจันทร์จิรา อนันตวิทยานนท์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548
ISBN: 974-17-3412-3
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

INTERNETWORKING TECHNIQUES TO ALLEVIATE CONGESTION OF BACKBONE NETWORK OF ENTERPRISE NETWORK

Miss Janjira Anantawittayanon

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Academic Year 2005

ISBN: 974-17-3412-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เทคนิค การ เชื่อมต่อ ของ โครงข่าย เพื่อ ลด ความ คับคั่ง ใน โครงข่าย หลัก ของ โครงข่ายองค์กร
โดย	นางสาวจันทร์จิรา อนันตวิทยานนท์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาวน์ดิศ อัศวกุล)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จันทร์จิรา อนันตวิทยานนท์ : เทคนิคการเชื่อมต่อของโครงข่ายเพื่อลดความคับคั่งในโครงข่ายหลักของโครงข่ายองค์กร (INTERNETWORKING TECHNIQUES TO ALLEVIATE CONGESTION OF BACKBONE NETWORK OF ENTERPRISE NETWORK) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร, 59 หน้า. ISBN: 974-17-3412-3.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอวิธีการออกแบบโครงข่ายลำดับชั้น (Hierarchical network) ภายในองค์กร ในระดับโครงข่ายสาขาย่อย (Distribution level) โดยเพิ่มการพิจารณาความเป็นไปได้ในการเชื่อมต่อระหว่างบางคู่โนดในระดับโครงข่ายสาขาย่อย เพื่อให้ส่งข้อมูลถึงกันได้โดยตรง วิธีการออกแบบที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการหาผลเฉลยของปัญหาย่อย 6 ปัญหา ดังนี้ ปัญหาการเลือกจำนวนของโนดในระดับหลัก ปัญหาการเลือกตำแหน่งของจุดที่ตั้งของโนดในระดับหลัก ปัญหาการเลือกขนาดของสวิตช์ที่ใช้ในโนดหลัก ปัญหาการเลือกการเชื่อมต่อโนดในระดับสาขาย่อยเข้าสู่โนดในระดับหลัก ปัญหาการเลือกสร้างเส้นทางตรงสำหรับบางคู่โนดในระดับโครงข่ายสาขาย่อย และปัญหาการจัดวางค่าความจุในแต่ละช่ายเชื่อมโยง

การออกแบบที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ใช้วิธีโปรแกรมเชิงจำนวนเต็ม (Integer programming) ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาผลเฉลยของปัญหา วัตถุประสงค์ของการออกแบบที่นำเสนอคือการหาค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างรวมที่เหมาะสม ในขณะที่โครงข่ายสามารถรองรับความต้องการของผู้ใช้ที่กำหนด และเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างรวมของโครงข่ายกับผลเฉลยที่ได้จากการออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยในกรณีที่ไม่พิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการเชื่อมต่อระดับเดียวกัน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าผลเฉลยของค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างรวมนั้นมีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับกรณีที่ไม่พิจารณาการเชื่อมต่อระหว่างโนดในสาขาย่อย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา	2548	

457 02449 21 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: NETWORK DESIGN / HIERARCHICAL NETWORK / TOPOLOGY DESIGN

JANJIRA ANANTAWITTAYANON : INTERNETWORKING TECHNIQUES TO ALLEVIATE CONGESTION OF BACKBONE NETWORK OF ENTERPRISE NETWORK. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. CHAIYACHET SAIVICHIT, Ph.D., 59 pp. ISBN: 974-17-3412-3.

In this thesis, distribution network design in hierarchical enterprise network method has been proposed. This thesis considers the possibility to directly connect some node pairs in distribution networks. The proposed design model in this thesis is composed of 6 subproblems which are appropriate number of core node problem, core location problem, appropriate type of core switch problem, distribution topology design problem, routing problem and capacity allocation problem.

The proposed design problem in this thesis had been formulated as Integer Programming problem. The objective of our mathematical model is total cost minimization while the designed networks can serve required demands. To evaluate our proposed design method, the comparison of cost and average node utilization between our proposed method and the traditional design method, which is distribution design method ignoring the possibility to directly connect between distribution node, had been performed. The findings show that network designed by our proposed method give less or equal total network cost.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department	Electrical Engineering	**Student's signature** Janjira
Field of study	Electrical Engineering	**Advisor's signature**
Academic year	2005	

กิตติกรรมประกาศ

ขอ กราบ ขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัย เชษฐ์ สาย วิจิตร อาจารย์ ที่ปรึกษา ผู้ประสิทธิ์ประสาท วิชาความรู้ ให้ ข้าพเจ้า และ เป็น ผู้ริเริ่ม ทำ ให้ เกิด งาน วิจัย ฉบับ นี้ ขึ้น มา ขอ กราบ ขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เชาวน์ดิศ อัศวกุล อาจารย์ผู้มีเมตตา และน้ำใจดี คอยให้คำแนะนำ และคำปรึกษาชี้แนะแนวทางต่างๆ เสมอมา ขอขอบพระคุณอาจารย์ทั้งสองเป็นอย่างยิ่งสำหรับบทเรียนในห้องสัมมนา และคำแนะนำต่างๆ ที่อาจารย์มอบให้ระหว่างระยะช่วงเวลาที่ข้าพเจ้าทำงานวิจัยฉบับนี้ รวมถึงกำลังใจในยามท้อแท้หรือใกล้จะสิ้นหวัง ขอขอบพระคุณอาจารย์ ภัทรชาติ โกมลกิติ สำหรับคำแนะนำและน้ำใจดีที่อาจารย์มอบให้ ขอบคุณโอ๊ค มิงค์ ฮัท พี่ว่อง หยู เปิ้ล น้องเต๊ะ ลาล่า ปลา แอ๊ด โบ ชาย อาร์ท ก้อง มิกซ์ น้องก๊ิท น้องส้ม คิด ก้อง ไก่ พี่เต้ พี่เอกและเพื่อนๆ ในแลปวิจัยทุกท่าน สำหรับกำลังใจและความปรารถนาดีต่างๆ ทำให้บรรยากาศในการทำงานวิจัยฉบับนี้เปี่ยมไปด้วยมิตรภาพที่ดี ขอบคุณเป็นพิเศษสำหรับผู้ร่วมชะตากรรมทำวิจัยที่อยู่ร่วมทำงานวิจัยอย่างใกล้ชิด อย่างคุณขวัญตา โบ และน้องโอ ซึ่งแม้ว่าจะเหน็ดเหนื่อยสักแค่ไหน ก็ยังสามารถทำให้บรรยากาศการทำงานนั้นปนเปื้อนด้วยความรู้สึกสนุกสนานอยู่เสมอขอขอบพระคุณบิดา มารดา และสมาชิกทุกคนในครอบครัวของข้าพเจ้า และทุกท่านที่มีส่วนทำให้ข้าพเจ้าได้ผ่านพ้นอีกหนึ่งบทเรียนของชีวิตไปได้อย่างดี สุดท้ายขอขอบพระคุณพระเป็นเจ้าที่ให้ข้าพเจ้ารายล้อมด้วย บุคคลผู้เปี่ยมด้วยความปรารถนาดี ได้พบกับครูที่ดี เพื่อนที่ดี และครอบครัวที่ดี และสามารถทำงานวิจัยฉบับนี้ได้เสร็จสมบูรณ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย . . . . . ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ . . . . . จ

กิตติกรรมประกาศ . . . . . ฉ

สารบัญ . . . . . ช

สารบัญตาราง . . . . . ฌ

สารบัญภาพ . . . . . ญ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 แนวทางของวิทยานิพนธ์ 4

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์ 4

1.4 ขอบเขตวิทยานิพนธ์ 4

1.5 ขั้นตอนดำเนินงาน 4

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

1.7 ประมวลวิทยานิพนธ์ 6

2 หลักการและทฤษฎี 7

2.1 แบบจำลองโครงข่ายหลายระดับ (Multi-tier hierarchical model) 9

2.1.1 โครงข่ายระดับหลัก 9

2.1.2 โครงข่ายระดับสาขาย่อย 10

2.1.3 โครงข่ายระดับย่อย 10

2.2 ปัญหาการออกแบบโครงข่าย 11

2.3 ปัญหาการออกแบบทอพอโลยี 12

3 การออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยโดยพิจารณาความสามารถในการเชื่อมต่อระดับเดียวกัน 17

3.1 ปัญหาการออกแบบโครงข่ายสาขาย่อย (Distribution level design problem) 17

3.2 แบบจำลองปัญหาทางคณิตศาสตร์ของการออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยแบบรูปดาว 23

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

3.3 แบบจำลอง ปัญหา ทาง คณิตศาสตร์ ของ การ ออกแบบ โครงข่าย สาขา ย่อย โดย พิจารณา ความสามารถในการเชื่อมต่อระดับเดียวกัน 25
3.3.1 เงื่อนไข ข้อบังคับ เพิ่มเติม สำหรับ การ ออกแบบ โครงข่าย สาขา ย่อย โดย พิจารณา การเชื่อมต่อระดับเดียวกัน 28
3.4 กระบวนการปรับเปลี่ยนวิธีการออกแบบโครงข่ายเป็นเชิงเส้น 30
3.5 สรุป 32
4 ผลการทดลอง 34
4.1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์อินพุทของการทดลอง 34
4.2 ผลการทดลอง 36
4.2.1 การวิเคราะห์ผลของการเพิ่มจำนวนโนดในโครงข่ายสาขาย่อยต่อค่าจัดสร้างโครงข่ายรวม . 36
4.2.2 การวิเคราะห์ผลของค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างแต่ละองค์ประกอบของโครงข่าย 43
5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 49
5.1 บทสรุป 49
5.2 ข้อเสนอแนะ 50
รายการอ้างอิง 51
ภาคผนวก 53
บทความทางวิชาการจากวิทยานิพนธ์ 54
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 59

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1 ตารางค่าผลลัพธ์ของการคูณตัวแปรไบนารี่ 31
ตารางที่ 3.2 ตารางฟังก์ชันจุดประสงค์และเงื่อนไขบังคับในการออกแบบโครงข่ายสาขาย่อย . . 33
ตารางที่ 4.1 ตารางคุณสมบัติและราคาของสวิตซ์ 34
ตารางที่ 4.2 ตารางราคาของข่ายเชื่อมโยง 34

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ 2.1 โครงข่ายสามระดับ (Three tier hierarchical model) 9

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างปัญหาเริ่มต้นของการออกแบบโครงข่ายหลายระดับ (Hierarchical network - intial network) 13

รูปที่ 2.3 ตัวอย่าง ผลลัพธ์ ของ ปัญหา การ ออกแบบ โครงข่าย หลาย ระดับ (Hierarchical network-possible solution) 13

รูปที่ 3.1 การส่งผ่านข้อมูลในโครงข่ายหลายระดับ 18

รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงค่าพารามิเตอร์อินพุทและผลลัพธ์ของการออกแบบ 20

รูปที่ 3.3 การใช้งานโนดในโครงข่ายหลักของทราฟฟิก d_{jk} 24

รูปที่ 4.1 ตำแหน่งของตัวเลือกในการจัดสร้างเป็นโนดหลัก และตำแหน่งของโนดสาขาย่อย . . 35

รูปที่ 4.2 ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโครงข่ายเมื่อเพิ่มจำนวนโครงข่ายสาขาย่อย กรณีทุกโนดมีความต้องการข้อมูลเท่ากัน 37

รูปที่ 4.3 ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโครงข่ายเมื่อเพิ่มจำนวนโครงข่ายสาขาย่อย กรณีทุกโนดมีความต้องการในการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับระยะทาง โดยกำหนดค่า K=1 38

รูปที่ 4.4 ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโครงข่ายเมื่อเพิ่มจำนวนโครงข่ายสาขาย่อย กรณีทุกโนดมีความต้องการในการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับระยะทาง โดยกำหนดค่า K=2 38

รูปที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยการใช้ประโยชน์ของโนดหลักเมื่อเพิ่มจำนวนโครงข่ายสาขาย่อย กรณีทุกโนดมีความต้องการข้อมูลเท่ากัน 39

รูปที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยการใช้ประโยชน์ของโนดหลักเมื่อเพิ่มจำนวนโครงข่ายสาขาย่อย กรณีทุกโนดมีความต้องการในการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับระยะทาง โดยกำหนดค่า K=1 40

รูปที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยการใช้ประโยชน์ของโนดหลักเมื่อเพิ่มจำนวนโครงข่ายสาขาย่อย กรณีทุกโนดมีความต้องการในการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับระยะทาง โดยกำหนดค่า K=2 40

รูปที่ 4.8 ผลลัพธ์การออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยทอพอโลยีรูปดาวเพื่อรองรับโนดในโครงข่ายสาขาย่อย 11 และ 12 โนดตามลำดับ กรณีทุกโนดมีความต้องการในการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับระยะทาง โดยกำหนดค่า K=1 41

รูปที่ 4.9 ผลลัพธ์การออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยจากวิธีที่นำเสนอเพื่อรองรับโนดในโครงข่ายสาขาย่อย 13 และ 14 โนดตามลำดับ กรณีทุกโนดมีความต้องการในการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับระยะทาง โดยกำหนดค่า K=1 41

รูปที่ 4.10 ค่าใช้จ่ายแต่ละองค์ประกอบของการออกแบบโครงข่ายย่อยทอพอโลยีรูปดาว เพื่อรองรับโนดในโครงข่ายย่อย 11 และ 12 โนด กรณีทุกโนดมีความต้องการในการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับระยะทาง โดยกำหนดค่า K=1 42
รูปที่ 4.11 ค่าใช้จ่ายแต่ละองค์ประกอบของการออกแบบโครงข่ายย่อยที่นำเสนอ เพื่อรองรับโนดในโครงข่ายย่อย 13 และ 14 โนด กรณีทุกโนดมีความต้องการในการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับระยะทาง โดยกำหนดค่า K=1 42
รูปที่ 4.12 ทอพอโลยีของการออกแบบรูปดาวและวิธีที่นำเสนอเพื่อรองรับโนดในโครงข่ายย่อย 12 โนด 43
รูปที่ 4.13 ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโครงข่ายเมื่อมีจำนวนโนดในโครงข่ายสาขาย่อย 12 โนด . . . 44
รูปที่ 4.14 ทอพอโลยีของการออกแบบรูปดาวและวิธีที่นำเสนอเพื่อรองรับโนดในโครงข่ายย่อย 13 โนด 44
รูปที่ 4.15 ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโครงข่ายเมื่อมีจำนวนโนดในโครงข่ายสาขาย่อย 13 โนด . . . 45
รูปที่ 4.16 ทอพอโลยีของการออกแบบรูปดาวและวิธีที่นำเสนอเพื่อรองรับโนดในโครงข่ายย่อย 23 โนด 46
รูปที่ 4.17 ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโครงข่ายเมื่อมีจำนวนโนดในโครงข่ายสาขาย่อย 23 โนด . . . 46
รูปที่ 4.18 ทอพอโลยีของการออกแบบรูปดาวและวิธีที่นำเสนอเพื่อรองรับโนดในโครงข่ายย่อย 24 โนด 47
รูปที่ 4.19 ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโครงข่ายเมื่อมีจำนวนโนดในโครงข่ายสาขาย่อย 24 โนด . . . 47

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

การสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างมนุษย์ในชีวิตประจำวันนั้นเป็นสิ่งที่มีมาอย่างช้านาน และนับวันยิ่งมีการพัฒนารูปแบบของการสื่อสารเพื่ออำนวยความสะดวกในการแลกเปลี่ยนข้อมูล ซึ่งเทคโนโลยีโทรคมนาคมนั้น จัดได้ว่า เป็นเครื่องมือในการสื่อสารชิ้นสำคัญที่ได้รับความสนใจจากผู้เชี่ยวชาญและนักวิจัยจำนวนมาก วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการนำเสนอผลการศึกษาวิธีการออกแบบโครงข่ายโทรคมนาคมเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจ ในการพัฒนาการออกแบบโครงข่ายที่มีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต โดยเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ในบทนี้ ได้กล่าวถึง ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่นำมาศึกษา จากนั้นได้นำเสนอแนวทางวิทยานิพนธ์ วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ รวมไปถึงขั้นตอนการดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันโครงข่ายคอมพิวเตอร์นับว่ามีความจำเป็นและเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย อันเนื่องมาจากความสามารถในการสนองตอบต่อความต้องการทางด้านข้อมูลข่าวสาร อีกทั้งยังช่วยในการประหยัดการลงทุนอุปกรณ์บางอย่าง เช่น เครื่องพิมพ์ หรืออุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล [1] โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายในองค์กรต่างๆ การใช้โครงข่ายคอมพิวเตอร์นั้น สามารถอำนวยความสะดวกใน กระบวนการรวบรวมข้อมูล (S-tore) แก้ไข (Retrieve) วิเคราะห์ (Analyze) ที่ต้องข้อมูลร่วมกันนั้นให้เป็นไปอย่างรวดเร็ว อีกทั้งด้วยความสามารถของโครงข่ายคอมพิวเตอร์นั้น ทำให้ผู้ใช้แลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกัน ไม่ว่าจะภายในแผนกงาน อาคารสถานที่ใกล้เคียงกัน หรืออาจจะเกิดขึ้นระหว่างผู้ใช้ที่อยู่ห่างไกลกันในระดับเมืองหรือแม้กระทั่งระดับประเทศก็ได้ โดยมิต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายหรือเวลาในการเดินทาง อันเป็นผลให้โครงข่ายคอมพิวเตอร์นับเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับองค์กรต่างๆ จำนวนมาก

ดังนั้นวิธีการออกแบบโครงข่ายเพื่อให้ระบบโครงข่ายสามารถใช้การได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้ต้นทุนในการจัดสร้างที่เหมาะสมเพื่อรองรับความต้องการของผู้ใช้ภายในองค์กรนั้น จึงจัดได้ว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง เป็นผลให้การศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับวิธีการออกแบบโครงข่ายนั้นได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายสำหรับนักวิจัยจำนวนมาก การออกแบบโครงข่ายนั้นโดยทั่วไปนั้น เราสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะหลัก คือ การออกแบบโครงข่ายที่มีการเชื่อมต่อแบบระดับเดียว (Flat networks) และการออกแบบโครงข่ายที่มีการเชื่อมต่อแบบหลายระดับ (Hierarchical networks)

การเชื่อมต่อแบบระดับเดียวนั้น มีข้อดีของการเชื่อมต่อแบบระดับเดียวคือ ใช้อุปกรณ์จำนวนน้อยกว่า

การเชื่อมต่อหลายระดับ เหมาะกับโครงข่ายที่ให้บริการผู้ใช้จำนวนไม่มากนัก อย่างไรก็ตามการเชื่อมต่อแบบนี้มีข้อเสียคือ อุปกรณ์เชื่อมต่อทุกตัวมีหน้าที่การทำงานเหมือนกันทุกตัว และไม่มีการแบ่งแยกอย่างชัดเจนว่าอุปกรณ์เชื่อมต่อที่ตำแหน่งใดควรทำงานในส่วนหน้าที่การทำงานเฉพาะ (Specific function) ส่งผลให้การบริหารและการจัดการการทำงานของโครงข่ายเป็นไปอย่างไม่มีระบบ และอาจเกิดความยุ่งยากในการดูแลระบบและการจัดการระบบเมื่อมีความเสียหายเกิดขึ้น อีกทั้งมีข้อจำกัดและความไม่สะดวกในขยายระบบ (Scalability) เมื่อต้องรองรับผู้ใช้จำนวนมากขึ้น[2]

ดังนั้นโครงข่ายภายในองค์กรขนาดใหญ่ต่างๆนั้น จึงมักถูกออกแบบให้เป็นโครงข่ายหลายระดับ เพื่ออำนวยความสะดวกในการบริหารและการจัดการโครงข่าย การออกแบบโครงข่ายในลักษณะนี้ จะแบ่งผู้ใช้ออกเป็นหลายๆ กลุ่ม ซึ่งอาจจะแบ่งแยกตามเหตุผลทางด้านการทำงาน (Administrative) แอดเดรส (Addressing) หรือลักษณะของภูมิศาสตร์ (Geographical) เป็นต้น [3] แต่กลุ่มผู้ใช้จะถูกทำการเชื่อมต่อแบบเป็นลำดับขั้นเข้าสู่โครงข่ายหลัก(Backbone network) เพื่อให้ทุกกลุ่มสามารถส่งข้อมูลถึงกันได้โดยผ่านโครงข่ายหลักขององค์กร ในขณะที่อุปกรณ์ในแต่ละระดับของโครงข่ายนั้น จะถูกระบุหน้าที่การทำงานรวมทั้งความผิดชอบไว้ชัดเจนแยกกันอย่างมีระบบ ดังนั้นโครงข่ายถูกออกแบบในลักษณะนี้นอกจากรองรับผู้ใช้ได้จำนวนมากกว่าการออกแบบโครงข่ายแบบระดับเดียวแล้ว ยังสะดวกสำหรับการขยายโครงข่ายในอนาคตและการอัพเกรดอุปกรณ์ในระดับต่างๆ อีกด้วย ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงสนใจศึกษาการออกแบบโครงข่ายหลายระดับที่ใช้ในองค์กรเพื่อเพิ่มมุมมองในการศึกษาหาวิธีการออกแบบโครงข่ายหลายระดับให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการออกแบบโครงข่ายหลายระดับนั้น จะถูกแบ่งแยกออกเป็นปัญหาย่อยๆ หลายๆปัญหาด้วยกัน กล่าวคือ การออกแบบตำแหน่งของฮับ (Hub location design) การออกแบบทอพอโลยี การจัดสรรค่าความจุของลิงค์ (Capacity planning) และการจัดสรรเส้นทาง (Routing) เป็นต้น [15] โดยกำหนดให้ทราบถึงความต้องการระหว่างทุกคู่โนดในโครงข่ายที่ต้องการออกแบบ โดยอาจประมาณค่าได้จากจำนวนผู้ใช้ในแต่ละแผนก จำนวนคอมพิวเตอร์ หรือลักษณะงานที่ใช้ในแต่ละแผนก เป็นต้น โดยวิธีการประมาณค่าความต้องการระหว่างคู่โนดนั้นถูกนำเสนอไว้ในงานวิจัยที่ [4] และ [5] ในงานวิจัย [16] และ [6] เป็นการนำเสนอวิธีการเลือกตำแหน่งที่เหมาะสมในการจัดวางตำแหน่งของฮับ โดยพิจารณาการหาตำแหน่งการจัดสร้างโครงข่ายที่เหมาะสมและวิธีการเชื่อมต่อผู้ใช้เข้าสู่ฮับเพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างที่เหมาะสม ในขณะที่[7]เป็นการออกแบบตำแหน่งของฮับ และทอพอโลยีของโครงข่ายย่อย (Subnetwork level) ร่วมกับโครงข่ายหลัก (Backbone level) พร้อมกัน โดยพิจารณาให้โครงข่ายย่อยมีลักษณะการเชื่อมต่อเป็นรูปดาว (Star topology) และกำหนดให้โครงข่ายหลักมีลักษณะทอพอโลยีเป็นร่างแหที่เชื่อมต่อกันเต็มที่ (Fully connected mesh) โดยไม่คำนึงถึงข้อจำกัดของค่าความจุของโนด ในงานวิจัย[8],[9] นั้นยังเสนอการออกแบบโครงข่ายโดยกำหนดให้ทอ

พอโลยีของโครงข่ายหลักเป็นแบบวงแหวน (Ring) ในขณะที่โครงข่ายย่อยมีทอพอโลยีเป็นรูปดาว(Star) อย่างไรก็ตามในงานวิจัยที่กล่าวถึงนั้น ไม่ได้พิจารณาถึงลักษณะของโครงสร้างของอุปกรณ์ดังนั้นในงานวิจัย[10],[11] จึงทำการพิจารณาปัญหาการออกแบบโครงข่ายโดยพิจารณาถึงลักษณะของสวิตช์ที่เลือกนำมาใช้ด้วยโดยกำหนดให้ทอพอโลยีของโครงข่ายหลักเป็นแบบต้นไม้(Tree) และโครงข่ายย่อยมีทอพอโลยีเป็นรูปดาว งานวิจัย [11] พบว่าการออกแบบโครงข่ายโดยรวมทุกปัญหาเข้าด้วยกันนั้น อันได้แก่ การเลือกตำแหน่งของฮับ, การออกแบบทอพอโลยีของโครงข่ายย่อย, การวางค่าความจุ และการจัดสรรเส้นทาง โดยผลวิจัยพบว่าทำให้ปัญหามีความซับซ้อนสูง โดยในงานวิจัยดังกล่าวแสดงผลของการออกแบบที่มีตำแหน่งฮับให้เลือกเพียง 2 โนด และมีโนดในโครงข่ายย่อยเพียง 6 โนดเท่านั้น

เมื่อพิจารณาถึงการออกแบบโครงข่ายหลายระดับที่ผ่านมาพบว่าโครงข่ายสาขาย่อยส่วนใหญ่นั้นมันถูกกำหนดให้มีทอพอโลยีเป็นรูปดาว (Star) ซึ่งไม่พิจารณาการเชื่อมต่อระหว่างคู่โนดในระดับเดียวกัน ทำให้เมื่อโนดในระดับย่อยต้องการส่งข้อมูลถึงกันนั้น จำเป็นต้องส่งขึ้นไปยังโครงข่ายหลักก่อนเสมอ ถึงแม้บางครั้งโนดทั้งสองจะอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน หรือมีปริมาณข้อมูลที่ส่งถึงกันจำนวนมากก็ตาม ซึ่งเมื่อเราพิจารณาการออกแบบดังกล่าว พบว่า หากเราทำการเชื่อมต่อบางคู่โนดของโครงข่ายในระดับย่อยเข้าหากันแล้ว ก็จะสามารถลดภาระหน้าที่บางส่วนของโครงข่ายหลักได้ ทำให้เราสามารถเลือกใช้โนดในโครงข่ายหลักให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งเป็นอาจจะการประหยัดงบประมาณในการจัดสร้างโครงข่ายได้ อย่างไรก็ตามเราจะพบว่าการเชื่อมต่อโนดในโครงข่ายย่อยนั้น ต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดทางภูมิศาสตร์ และมาตรฐานของเทคโนโลยีที่ใช้ในองค์กรด้วย

ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอวิธีการออกแบบโครงข่ายหลายระดับ โดยคำนึงถึงการออกแบบโครงข่ายในระดับโครงข่ายสาขาย่อย (Distribution) เพื่อหาต้นทุนที่เหมาะสมในขณะที่คำนึงถึงความสามารถในการเชื่อมต่อของบางคู่โนดในระดับสาขาย่อยด้วย โดยวิธีที่นำเสนอนั้นได้แบ่งการนำเสนอออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนที่หนึ่ง เป็นการเสนอวิธีการออกแบบโครงข่ายโดยพิจารณาให้มีการเชื่อมต่อระหว่างโนดในระดับสาขาย่อยบางคู่โนดเข้าด้วยกัน เพื่อเปรียบเทียบผลค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโครงข่ายกับวิธีการออกแบบโครงข่ายโดยพิจารณาเพียงการเชื่อมต่อแบบดวงดาวเท่านั้น ส่วนที่สอง เป็นการเสนอวิธีการออกแบบโครงข่ายสาขาย่อย ในกรณีที่ยังไม่มีการจัดสร้างโครงข่าย โดยวิธีการออกแบบที่นำเสนอนั้นได้รวมปัญหาการออกแบบจุดเชื่อมต่อฮับ (Hub location problem) การออกแบบทอโพโลยีของโครงข่ายย่อย (Topology design) การออกแบบค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง (Capacity planning) การจัดสรรเส้นทาง (Routing) รวมถึงการเลือกขนาดของสวิตช์ที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นโนดในโครงข่ายหลักอีกด้วย

1.2 แนวทางของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอวิธีการออกแบบโครงข่ายหลายระดับ โดยพิจารณากระบวนการออกแบบเฉพาะระดับโครงข่ายสาขาย่อย (Distribution) ปัญหาที่กำหนดคือการออกแบบโครงข่ายเพื่อให้มีค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมเพื่อรองรับความต้องการที่กำหนด และเสนอแบบจำลองที่รวมปัญหาการเลือกตำแหน่งที่จะทำการจัดตั้งโนดในโครงข่ายหลัก จำนวนและประเภทของโนดในโครงข่ายหลักที่เหมาะสมในการเลือกใช้ จำนวนค่าความจุของแต่ละข่ายเชื่อมโยงในโครงข่ายระดับสาขาย่อย และการจัดสรรเส้นทาง โดยปัญหาดังกล่าวนี้จะถูกจัดให้อยู่ในรูปแบบของโปรแกรมเชิงจำนวนเต็ม (Integer programming) และใช้โปรแกรม CPLEX เพื่อหาผลเฉลยของปัญหา และทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ได้จากแบบจำลองที่เสนอเทียบกับการออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยที่กำหนดลักษณะการเชื่อมต่อในลักษณะที่มีทอพอโลยีรูปดาวโดยไม่พิจารณาโอกาสในการเชื่อมต่อระหว่างคู่โนดในระดับโครงข่ายสาขาย่อย เพื่อวิเคราะห์และสรุปผลของการวิจัย

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์

เพื่อศึกษาและพัฒนาออกแบบโครงข่ายหลายระดับในระดับโครงข่ายสาขาย่อย (Distribution level) โดย มีจุดประสงค์เพื่อหาค่าต้นทุนการจัดสร้างโครงข่ายที่เหมาะสม ในขณะที่โครงข่ายนั้นต้องสามารถรองรับปริมาณความต้องการที่กำหนดได้ และทำการวิเคราะห์ค่าต้นทุนที่ใช้จากการออกแบบโครงข่ายในวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับการออกแบบโครงข่ายที่ถูกออกแบบที่ไม่พิจารณาการเชื่อมต่อของโนดในระดับโครงข่ายย่อย

1.4 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอวิธีการออกแบบโครงข่ายหลายระดับภายในองค์กร โดยพิจารณาเฉพาะการออกแบบของโครงข่ายสาขาย่อย และศึกษาผลของค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโครงข่ายในกรณีที่พิจารณาให้มีการเชื่อมต่อกันได้บางคู่โนดในระดับสาขาย่อยเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการพิจารณาให้มีการเชื่อมต่อระหว่างคู่โนดในระดับสาขาย่อย

1.5 ขั้นตอนดำเนินงาน

1. ศึกษา ค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งความรู้และทฤษฎีพื้นฐานที่จำเป็นต้องใช้ในงานวิจัย

2. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับวิธีการออกแบบโครงข่ายหลายระดับโดยพิจารณาให้มีการเชื่อมต่อระหว่างบางคู่โนดในระดับสาขาย่อย (Distribution node)

3. ทดสอบการออกแบบโครงข่ายโดยใช้วิธีที่นำเสนอ

4. วิเคราะห์ ประเมินผล และเปรียบเทียบกับค่าต้นทุนที่ใช้ในการออกแบบโครงข่ายจากวิธีที่นำเสนอกับวิธีการออกแบบโดยไม่พิจารณาให้มีการเชื่อมต่อระหว่างโนดในระดับสาขาย่อย(Distribution node)

5. สรุป วิจารณ์ และรวบรวมข้อมูลทั้งหมด พร้อมทั้งจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

จากการศึกษางานวิจัยเรื่องการออกแบบโครงข่ายหลายระดับส่วนใหญ่ที่ผ่านมานั้น ผู้ออกแบบมักจะไม่พิจารณาการเชื่อมต่อโนดในระดับสาขาย่อยเข้าด้วยกัน เป็นผลให้เมื่อต้องการติดต่อสื่อสารระหว่างโนดในระดับสาขาย่อยนั้น ทราฟฟิก ทั้งหมดจะถูกส่งขึ้นไปยังโครงข่ายหลักทั้งสิ้น ซึ่งเราสามารถทำการลดภาระการทำงานของโครงข่ายหลักได้ในบางกรณี โดยการเลือกเชื่อมต่อบางคู่โนดในระดับย่อยที่มีลักษณะทางภูมิศาสตร์เอื้ออำนวยและมีความสามารถในการเชื่อมต่อกันได้ตามข้อจำกัดและมาตรฐานที่ได้ถูกกำหนดไว้ ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมุ่งที่จะทำการศึกษาและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการออกแบบโครงข่ายหลายระดับภายในองค์กรให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงวิเคราะห์และเปรียบเทียบต้นทุนในการจัดสร้างโครงข่าย เพื่อเป็นประโยชน์ในการตัดสินใจสำหรับผู้ออกแบบโครงข่ายในอนาคต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.7 ประมวลวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งรายละเอียดออกเป็น 5 บท ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ

กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน ประโยชน์ที่ได้รับ

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี

กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วย แบบจำลองโครงข่ายหลายระดับ ปัญหาในการออกแบบโครงข่าย และปัญหาการออกแบบทอพอโลยีของโครงข่ายหลายระดับ

บทที่ 3 การจำลองและแก้ไขปัญหาการวางความจุที่นำเสนอ

กล่าวถึงวิธีการจำลองปัญหาทางคณิตศาสตร์ของการออกแบบโครงข่ายสาขาย่อย 2 ลักษณะ คือ การออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยที่มีทอพอโลยีเป็นรูปดาว และปัญหาการออกแบบทอพอโลยีของโครงข่ายสาขาย่อยที่พิจารณาการเชื่อมต่อระหว่างบางคู่โนดถึงกันโดยตรง

บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์

กล่าวถึงผลที่ได้การออกแบบโครงข่ายจากวิธีที่นำเสนอ เปรียบเทียบกับการออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยที่มีทอพอโลยีเป็นรูปดาว

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

กล่าวถึงบทสรุป และข้อเสนอแนะของงานวิจัยฉบับนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

ปัจจุบันในองค์กรต่างๆ ได้มีการนำระบบคอมพิวเตอร์มาใช้งานกันอย่างกว้างขวางเพื่อความสะดวกในการแลกเปลี่ยนข้อมูลทั้งภายในแผนกงานเดียวกันหรือแผนกงานอื่นๆ อันก่อให้เกิดความคล่องตัวในการบริหารข้อมูล รวมถึงประหยัดเวลาและงบประมาณในการจัดซื้ออุปกรณ์ และซอฟแวร์บางชนิดที่สามารถใช้งานร่วมกันได้ ไม่ว่าแต่ละแผนกงานภายในองค์กรที่ต้องการใช้งานข้อมูลร่วมกันนั้น อยู่รวมกันภายในอาคารทำการเดียวกัน หรือแยกห่างจากกันคนละอาคารทำการก็ไม่เป็นอุปสรรคต่อการแลกเปลี่ยนข้อมูล เป็นเหตุให้การออกแบบโครงข่ายที่เหมาะสมสำหรับแต่ละองค์กรนั้นเป็นเรื่องที่ควรนำมาศึกษาและพัฒนาเป็นอย่างยิ่ง

การออกแบบโครงข่ายภายในองค์กรนั้น ประกอบด้วยการเชื่อมต่อระหว่างโนดจำนวนมาก ซึ่งถูกแบ่งออกเป็นโครงข่ายสาขาย่อยหลายโครงข่าย โดยแต่ละโครงข่ายอาจจะเป็นระบบที่ใช้โพรโทคอลสื่อสารต่างชนิดกัน การเชื่อมต่อโครงข่ายเหล่านี้จึงไม่สามารถเชื่อมต่อกันได้โดยตรง แต่ต้องใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อเข้ามาช่วย เช่น บริดจ์ สวิตช์ เราเทอร์ เหตุผลที่โครงข่ายอาจมีระบบต่างชนิดใช้งานร่วมกันสามารถสรุปได้เบื้องต้น 6 ประการคือ [1] ได้แก่

- ประการแรก องค์กรประกอบด้วยแผนกต่างๆที่มีความจำเป็นจะต้องสร้างระบบโครงข่ายย่อยขึ้นเพื่อใช้งานในส่วนความรับผิดชอบของตนเอง เนื่องจากแต่ละแผนกต่างมีวัตถุประสงค์การใช้งานแตกต่างกันจึงมีความจำเป็นต้องเลือกใช้ระบบโครงข่ายที่มีความเหมาะสมกับสิ่งแวดล้อมของตนเองที่สุด ต่อมาเมื่อความสัมพันธ์หรือความจำเป็นในการใช้ข้อมูลร่วมกันมากขึ้น แผนกต่างๆ ก็จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์มาเชื่อมต่อระบบโครงข่ายทั้งหมดเข้าด้วยกัน เพื่อความสามารถในการติดต่อสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลกันระหว่างแผนกต่างๆ

- ประการที่สอง องค์กรอาจมีสถานที่ตั้งหรืออาคารต่างๆ ห่างออกจากกันเป็นระยะทางมากพอสมควร การใช้สายสื่อสารแบบที่ใช้ภายในอาคารเช่น สายยูทีพี (UTP cable) มาใช้ภายนอกอาคารนั้นไม่สามารถกระทำได้ จึงมีความจำเป็นต้องใช้สายสื่อสารแบบที่ใช้ภายนอกอาคารโดยเฉพาะเช่น เส้นใยแก้วโดยต้องใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อเป็นตัวถ่ายทอดสัญญาณผ่านสื่อต่างชนิดกัน

- ประการที่สาม อาจมีความจำเป็นที่จะต้องแบ่งระบบโครงข่ายย่อยออกเป็นสองวงหรือมากกว่านี้ เนื่องจากปริมาณข้อมูลบนโครงข่ายมีมากเกินไป ทำให้ระบบทำงานได้ไม่มีประสิทธิภาพ

- ประการที่สี่ บางกรณีจำนวนเครื่องทำงานที่มีใช้นั้นมีจำนวนไม่มากนัก แต่ว่าตั้งอยู่ห่างกันมากเกินกว่าระยะสูงสุดตามที่มาตรฐานกำหนด เช่นเกินกว่า 2.5 กิโลเมตรสำหรับในระบบ IEEE802.3 เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแบ่งโครงข่ายเป็นส่วนย่อยซึ่งสามารถแก้ไขปัญหาเรื่องระยะทางได้

- ประการที่ห้า เป็นเรื่องของความเชื่อถือได้ (Reliability) ของโครงข่าย ในกรณีที่เกิดความผิดพลาดกับอุปกรณ์ หรือเครื่องทำงานผลกระทบจะถูกจำกัดอยู่เพียงบริเวณโครงข่ายสาขาย่อยเท่านั้น ข

- ประการสุดท้าย การแบ่งโครงข่ายออกเป็นโครงข่ายย่อยหลายๆ โครงข่ายนั้น ทำให้โครงข่ายสอดคล้องกับระบบรักษาความปลอดภัยของข้อมูล (Security) เนื่องจากระบบโครงข่ายบางประเภทถูกกำหนดให้มีการส่งสัญญาณไปยังทุกเครื่องในระบบเดียวกัน อาจทำให้กลุ่มคนที่ไม่มีสิทธิ์รับทราบข่าวสารนั้นสามารถที่จะแอบทำสำเนาข่าวสารไปใช้ได้ เราสามารถใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อในการควบคุมการใช้งานข้อมูลที่มีความสำคัญมิให้ถูกกระจายไปยังโครงข่ายอื่นได้

อย่างไรก็ตามเราจะพบว่า การออกแบบโครงข่ายที่แท้จริงนั้นเป็นปัญหาที่ไม่สามารถระบุได้ว่า โครงข่ายนั้นจะต้องออกมาในลักษณะการเชื่อมต่อแบบใด หากแต่ต้องเป็นไปตามลักษณะงานหรือความต้องการของผู้ใช้ โดยผู้ออกแบบโครงข่ายคอมพิวเตอร์ควรคำนึงถึงจุดประสงค์หลัก 5 ประการด้วยกัน [2]

1. ความสามารถในการทำงานตามประสิทธิภาพของงานที่กำหนด (Functionality) โดยผู้ออกแบบควรทราบถึงความต้องการโดยพิจารณาจากลักษณะงาน จากนั้นจึงทำการออกแบบโครงข่ายเพื่อให้บรรลุจุดประสงค์ของผู้ใช้แต่ละคน และจุดประสงค์รวมของงานในองค์กร

2. ค่าต้นทุนในการติดตั้ง (Cost effectiveness) การออกแบบโครงข่ายเพื่อความสามารถในการทำงานได้นั้น อาจทำได้หลากหลายรูปแบบ ผู้ออกแบบควรพิจารณาอย่างถี่ถ้วน เพื่อให้โครงข่ายสามารถทำงานตามคุณลักษณะที่กำหนด และมีต้นทุนการติดตั้งโครงข่ายที่เหมาะสม

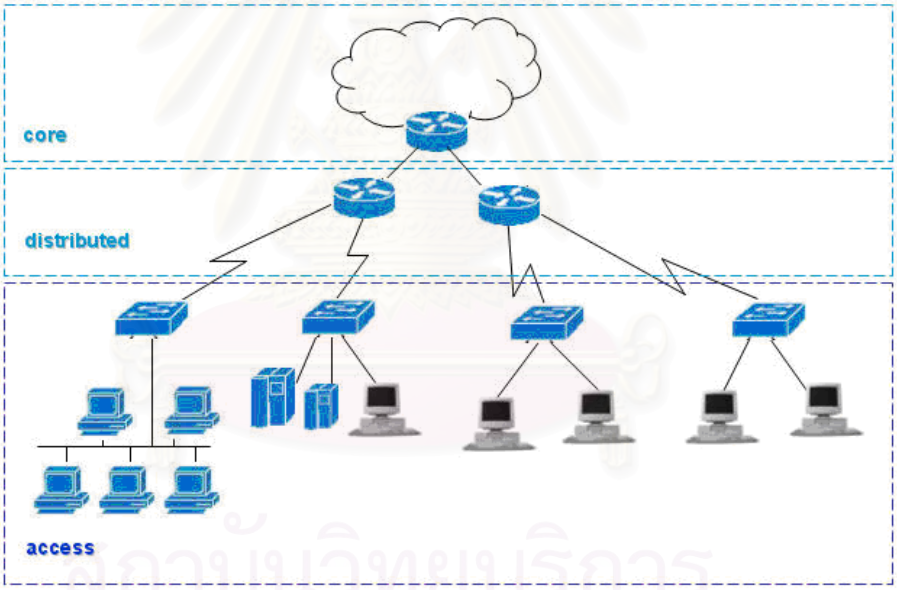
3. ความสะดวกในการจัดการโครงข่าย (Manageability) ที่เหมาะสม การออกแบบนั้นควรจะคำนึงถึงการดูแลและจัดการระบบเมื่อใช้งานโครงข่ายด้วย เพื่อให้มั่นใจว่าระบบจะทำงานได้อย่างมีเสถียรภาพ (Stability) และสามารถใช้งานทรัพยากรได้ (Availability) เพื่อให้โครงข่ายใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. ความสามารถในการปรับเปลี่ยน (Adaptability) เพื่อให้สามารถใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีในอนาคต ผู้ออกแบบควรคำนึงเทคโนโลยีที่จะถูกพัฒนาขึ้นในอนาคตและหลีกเลี่ยงการใช้อุปกรณ์หรือการออกแบบที่เป็นการจำกัดความสามารถในการใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีในอนาคต

5. ความสามารถในการขยายโครงข่าย (Scalability) การออกแบบโครงข่ายที่ดีนั้นควรคำนึงถึงการขยายโครงข่ายเพื่อรองรับกับความต้องการขององค์กรที่อาจจะเพิ่มขึ้น กล่าวคือองค์กรที่ก่อตั้งแรกเริ่มนั้นอาจมีขนาดเล็ก และเมื่อองค์กรเกิดการขยายตัว มีผู้ใช้จำนวนมากขึ้น ย่อมมีความต้องการในการใช้โครงข่ายเพิ่มขึ้น เป็นผลให้ความสามารถในการขยายโครงข่ายนั้นจึงเป็นสิ่งที่ผู้ออกแบบควรพิจารณา

2.1 แบบจำลองโครงข่ายหลายระดับ (Multi-tier hierarchical model)

แบบจำลองโครงข่ายสามระดับนี้ถูกเสนอมาเพื่อลดความซับซ้อนในการออกแบบโครงข่าย และเป็นการจัดการทำงานของอุปกรณ์แต่ละชั้นอย่างชัดเจน โดยแบบจำลองนี้ประกอบด้วย 3 ระดับ [2],[12] และ[13] คือ โครงข่ายระดับหลัก (Backbone), โครงข่ายสาขาย่อย(Distribution) และโครงข่ายระดับย่อย(Access) ดังรูปที่ 2.1 โดยแต่ละโครงข่ายมีหน้าที่การทำงานดังนี้



รูปที่ 2.1 โครงข่ายสามระดับ (Three tier hierarchical model)

2.1.1 โครงข่ายระดับหลัก

โครงข่ายระดับหลักทำหน้าที่ในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างจุดให้บริการที่ห่างกันให้รวดเร็วที่สุด เป็นการเชื่อมต่อระหว่างโนดที่เป็นจุดรวมของทราฟฟิกจากจุดย่อยในโครงข่าย การส่งผ่านข้อมูลในโครงข่ายระดับหลักนั้นจะเป็นการส่งแบบจุดต่อจุด (Point to point) การออกแบบโครงข่ายระดับหลักที่ดีนั้นควรหลีกเลี่ยงการวางโฮสต์คอมพิวเตอร์ (Host computer) เครื่องให้บริการ (Server) หรือเครื่องใช้งาน

(Workgroup) ไว้ในระดับนี้ ในระดับนี้จะเป็นการส่งทราฟฟิกด้วยความเร็วสูง ดังนั้น เมื่อโครงข่ายมีความเสียหายเกิดขึ้นย่อมส่งผลกระทบกับปริมาณทราฟฟิกจำนวนมาก ดังนั้นการออกแบบโครงข่ายระดับหลักจึงควรคำนึงถึงความเชื่อถือได้ (Reliability) และการอุปกรณ์สำรอง (Redundancy) เป็นหลัก

2.1.2 โครงข่ายระดับสาขาย่อย

ในระดับนี้เป็นการเชื่อมต่อหลายโครงข่ายย่อยภายในพื้นที่ใกล้เคียงกัน ในระดับนี้จุดประสงค์มักเป็นการวางนโยบายโครงข่ายต่างๆ ตัวอย่างเช่น การวางนโยบายความปลอดภัยของโครงข่าย (Network policy security) การแปลแอดเดรสของโครงข่าย (Network address translation) การจำกัดการกระจายข่าวสารของโครงข่ายด้วยโพรโทคอลการหาเส้นทาง (Routing protocol) โดยทั่วไปการทำงานของอุปกรณ์ในระดับสาขาย่อย นั้นจะทำหน้าที่คล้ายเป็นจุดศูนย์รวมของหลายๆ โนดจากระดับย่อย

2.1.3 โครงข่ายระดับย่อย

โครงข่ายในระดับย่อยโดยทั่วไปมักเป็นโครงข่ายท้องถิ่น หรือกลุ่มของโครงข่ายท้องถิ่น ซึ่งใช้ Ethernet หรือ Token ring ในการให้บริการผู้ใช้บริการ การเชื่อมต่อในระดับนี้เป็นการเชื่อมต่อโฮสต์เข้ากับโครงข่าย โดยอาจจะเป็นเครื่องให้บริการหรือเครื่องใช้งาน หลักการออกแบบโครงข่ายในระดับนี้คือการแบ่งกลุ่มของผู้ใช้ตามลักษณะความสนใจ หรือลักษณะงาน เช่น แผนกการตลาด แผนกวิศวกรรม แล้วจึงทำการเชื่อมต่อระหว่างกลุ่มดังกล่าวเข้ากับโครงข่ายระดับสาขาย่อย

เมื่อพิจารณาแบบจำลองโครงข่ายสามระดับดังที่นำเสนอแล้วนั้น พบว่า นอกจากแบบจำลองดังกล่าวสามารถลดความซับซ้อนการออกแบบแล้วนั้น ยังมีผลดีกับโครงข่ายอีกหลายประการ เช่น

- ความสามารถในการขยายโครงข่าย (Scalability) การออกแบบโครงข่ายหลายระดับ ทำให้การขยายโครงข่ายสามารถทำได้โดยไม่ต้องเสียการควบคุม หรือการดูแลโครงข่าย เนื่องจากการทำงานนั้นถูกแบ่งไว้ในแต่ละส่วนอย่างชัดเจน ทำให้การจัดการเป็นไปได้โดยง่าย
- ความสะดวกในการทำงาน (Ease of implementation) การออกแบบโครงข่ายหลายระดับนั้นมีการแบ่งแยกหน้าที่การทำงานของแต่ละระดับอย่างชัดเจน ทำให้การทำงานของโครงข่ายเป็นไปได้ง่ายขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับโครงข่ายที่มีขนาดใหญ่ ในการออกแบบโครงข่ายผู้ออกแบบสามารถทำการออกแบบแยกกันได้ในแต่ละส่วน เช่นเริ่มออกแบบโครงข่ายในระดับหลัก จากนั้นจึงทำการหาจุดวางโนดในระดับสาขาย่อย ตามด้วยการเชื่อมต่อโนดในระดับย่อยกับโนดในระดับสาขาย่อย เป็นต้น

- ความสะดวกในการแก้ไขปัญหา (Ease of troubleshooting) เนื่องจากการแบ่งแยกการทำงานในแต่ละระดับถูกแบ่งไว้อย่างชัดเจน การจำกัดปัญหาของโครงข่าย (Isolation of problem) จึงสามารถทำได้ง่ายขึ้น การแก้ไขปัญหาสามารถทำได้โดยการหยุดการทำงานเฉพาะส่วนที่ได้รับความเสียหายเท่านั้น ในขณะที่ส่วนอื่นของโครงข่ายสามารถทำงานได้ตามปกติ

- ความสะดวกในการแก้ไขปัญหา (Ease of troubleshooting) เนื่องจากการแบ่งแยกการทำงานในแต่ละระดับถูกแบ่งไว้อย่างชัดเจน การจำกัดปัญหาของโครงข่าย (Isolation of problem) จึงสามารถทำได้ง่ายขึ้น การแก้ไขปัญหาสามารถทำได้โดยการหยุดการทำงานเฉพาะส่วนที่ได้รับความเสียหายเท่านั้น ในขณะที่ส่วนอื่นของโครงข่ายสามารถทำงานได้ตามปกติ

- การทำนาย (Predictability) พฤติกรรมต่างๆของโครงข่ายแบบหลายระดับนั้นถูกตรวจตรา(Monitor) แยกกันอย่างชัดเจนทำให้สามารถทำนายพฤติกรรมการใช้โครงข่ายได้สะดวกมากขึ้น เช่นการคาดคะเนเพื่อเพิ่มค่าความจุ (Capacity planning) สำหรับความต้องการที่เพิ่มขึ้นนั้นสามารถทำได้จากการวิเคราะห์ความต้องการในแต่ละระดับสามารถทำได้อย่างอิสระต่อกัน

- การรองรับโพรโทคอล (Protocol support) การทำงานร่วมกันสำหรับโพรโทคอลที่จะมีเพิ่มขึ้นในอนาคตสามารถทำงานได้ง่ายขึ้นในกรณีของโครงข่ายหลายระดับเนื่องจากภายใต้โครงสร้างได้มีการแบ่งแยกการจัดการอย่างเสมือน ยกตัวอย่างเช่น หากมีการต้องการเชื่อมต่อเพิ่มอีกหนึ่งจุดการใช้งาน ก็สามารถทำได้โดยวางการเชื่อมต่อเพิ่มระดับย่อย

อย่างไรก็ตามการออกแบบโครงข่ายของบางองค์กร อาจไม่จำเป็นต้องมีระดับของโครงข่ายถึงสามระดับก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนของความต้องการขององค์กร เช่นโครงข่ายในองค์กรขนาดเล็กสามารถทำการรวมโครงข่ายระดับหลักและระดับสาขาย่อยเป็นโครงข่ายเดียว เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 ปัญหาการออกแบบโครงข่าย

เมื่อพิจารณาจุดประสงค์ในการออกแบบโครงข่ายส่วนใหญ่แล้วพบว่า ปัญหาส่วนใหญ่ถูกจัดให้อยู่ในรูปแบบของการออกแบบโครงข่ายเพื่อให้รองรับต่อความต้องการของผู้ใช้ ในขณะที่โดยมีค่าใช้จ่ายที่จำกัดหรือพยายามหาค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างที่เหมาะสมสำหรับโครงข่ายโดยผู้ออกแบบต้องทำการตัดสินใจเลือก[14]

1. เทคโนโลยีที่ต้องการนำมาใช้

2. จำนวนและตำแหน่งของการจัดวางอุปกรณ์

3. จำนวนและขนาดของค่าความจุในแต่ละข่ายเชื่อมโยง

4. เส้นทางในการส่งผ่านข้อมูลด้วย

การเลือกเทคโนโลยีที่นำมาใช้นั้นผู้ออกแบบอาจจะทำการเลือกตัดสินใจจากอุปกรณ์ต่างๆ ที่ถูกวางขายอยู่ในท้องตลาด ในขณะที่ ปัญหาข้ออื่นๆ นั้นจะต้องใช้การคำนวณเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสม เป็นผลให้งานวิจัยสำหรับการออกแบบโครงข่ายที่ได้รับความนิยมนำมาพิจารณาอยู่เสมอ โดยเฉพาะปัญหาโครงข่ายหลายระดับ อันประกอบด้วยโครงข่ายหลักที่ทำหน้าที่ส่งผ่านทราฟฟิกและโครงข่ายสาขาที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อไปยังผู้ใช้แล้ว เป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนค่อนข้างสูง[15]จึงมักถูกแบ่งย่อยออกพิจารณาเป็นปัญหาย่อยหลายปัญหา โดยแต่ละปัญหาย่อยจะถูกตัดสินใจและกำหนดให้เป็นอินพุทสำหรับการออกแบบสำหรับปัญหาย่อยถัดไป โดยปัญหาที่มีการนำมาพิจารณาใหม่อยู่เสมอและค่อนข้างมีความอิสระในการเลือกใช้เทคโนโลยี สำหรับโครงข่ายหลายระดับคือ[14]

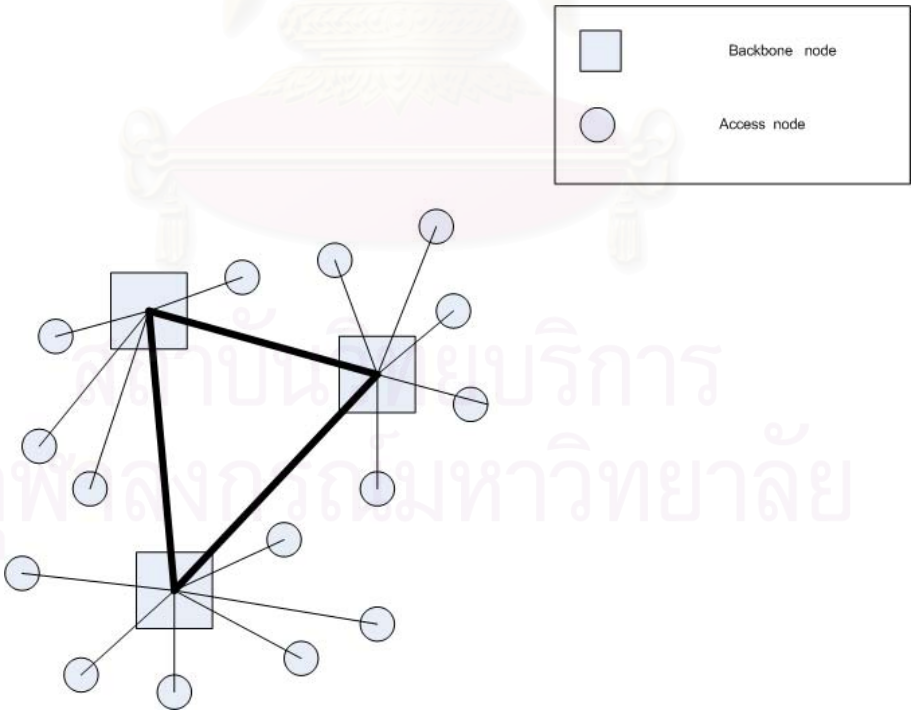
- ปัญหาการเลือกตำแหน่งของอุปกรณ์(Hub location problem) เป็นปัญหาในการเลือกระบุตำแหน่งที่ควรจัดตั้งโนดในระดับหลัก เพื่อให้โนดในระดับสาขาสามารถเชื่อมต่อได้ในขณะที่โครงข่ายใช้ค่าจัดสร้างที่เหมาะสม
- ปัญหาการออกแบบทอพอโลยี และการจัดสรรค่าความจุ (Topology optimization and Capacity assignment problem) เป็นปัญหาในการออกแบบให้โครงข่ายมีทอพอโลยีที่เหมาะสมและจัดวางความจุให้แต่ละข่ายเชื่อมโยงตามลักษณะความต้องการของผู้ใช้

2.3 ปัญหาการออกแบบทอพอโลยี

ปัญหาการออกแบบทอพอโลยีของโครงข่ายหลายระดับนั้น สามารถแสดงดังรูปที่ 2.2 และรูปที่ 2.3 โดยผู้ออกแบบจะต้องรู้ถึงตำแหน่งของผู้ใช้ และปริมาณการข้อมูลที่ผู้ใช้ต้องการส่งถึงกัน รวมถึงตำแหน่งของจุดที่สามารถเลือกใช้เป็นที่ตั้งของโนดในโครงข่ายหลัก

จุดประสงค์ในการออกแบบคือการหาทอพอโลยีของโครงข่ายที่ใช้ค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่เหมาะสม ซึ่งโดยปกติแล้วปัญหาจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ปัญหาย่อย นั่นคือ ปัญหาการออกแบบโครงข่ายสาขาย่อย และปัญหาการออกแบบโครงข่ายหลัก ซึ่งปัญหาการออกแบบโครงข่ายย่อยโดยทั่วไปแล้วจะออกแบบให้มีทอพอโลยีเป็นรูปดาว ในขณะที่ทอพอโลยีของโครงข่ายหลักนั้น จะขึ้นอยู่กับความต้องการและลักษณะงานที่ใช้สำหรับแต่ละโครงข่าย ซึ่งโดยปกติแล้วทั้งสองปัญหาดังกล่าวจะถูกออกแบบแยกกัน

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างปัญหาเริ่มต้นของการออกแบบโครงข่ายหลายระดับ (Hierarchical network - intial network)



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างผลลัพธ์ของปัญหาการออกแบบโครงข่ายหลายระดับ (Hierarchical network-possible solution)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เนื่องจากปัญหาที่ต้องการศึกษาวิจัยของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีความคล้ายคลึงกับปัญหาการออกแบบจุดที่ตั้งของตำแหน่งของจุดรวมสวิตซ์ (Concentrator) และการต่อจุดรวมสวิตซ์เข้ากับศูนย์กลาง (Central site) ดังนั้นจึงขอกล่าวถึงปัญหาการเลือกจุดที่ตั้งของตำแหน่งสวิตซ์เพื่อเป็นตำแหน่งรวมของการส่งทราฟฟิกจากผู้ใช้ย่อย ในงานวิจัย[16] ซึ่งสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหา 5 ประการด้วยกัน คือ

- จำนวนสวิตซ์ที่เหมาะสม
- ตำแหน่งในการวางสวิตซ์
- การเชื่อมต่อจุดรวมสวิตซ์เข้าสู่ศูนย์กลาง (Concentrator layout problem)
- การเลือกเชื่อมต่อผู้ใช้รายย่อยเข้าสู่จุดรวมสวิตซ์ (Terminal layout problem)
- ลักษณะการเชื่อมต่อผู้ใช้รายย่อยเข้าสู่จุดรวมสวิตซ์

โดยสมมติให้ผู้ใช้เชื่อมต่อกับจุดรวมสวิตซ์ในลักษณะของทอพอโลยีรูปดาว และจุดรวมสวิตซ์ก็ทำการเชื่อมต่อกับศูนย์กลางในลักษณะทอพอโลยีรูปดาวด้วยเช่นกัน การคิดค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างนั้น คำนวณจากค่าข่ายเชื่อมโยง และค่าจัดสร้างจุดเชื่อมต่อในแต่ละตำแหน่ง และสมมติให้ผู้ออกแบบทราบราคาค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างต่างๆ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างจุดรวมสวิตซ์ในแต่ละตำแหน่ง และ ค่าใช้จ่ายในการเชื่อมต่อแต่ละผู้ใช้เข้าไปยังจุดรวมสวิตซ์ในแต่ละตำแหน่งโดยมีการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

N จำนวนผู้ใช้ทั้งหมดในโครงข่าย

M จำนวนตำแหน่งจุดรวมสวิตซ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดในโครงข่าย

c_{ij} ค่าใช้จ่ายในการเชื่อมต่อผู้ใช้ T_i เข้ากับ จุดรวมสวิตซ์ C_j เมื่อ $i = 1, 2, 3..., N$ และ$j = 1, 2, 3..., M$

d_j ค่าใช้จ่ายจัดสร้างจุดรวมสวิตซ์ที่ตำแหน่ง C_j เมื่อ$j = 1, 2, 3..., M$

k จำนวนผู้ใช้ที่จุดรวมสวิตซ์สามารถรองรับได้
(โดยสมมติให้ทุกตำแหน่งของจุดรวมสวิตซ์ที่เป็นไปได้ในโครงข่ายสามารถรองรับผู้ใช้ได้เท่ากันทุกตำแหน่ง)

ปัญหาในการออกแบบนี้ คือการหาจำนวนจุดรวมสวิตซ์ ตำแหน่งในการวางจุดรวมสวิตซ์ การเชื่อมแต่ละผู้ใช้เข้ากับจุดรวมสวิตซ์ เพื่อให้ค่าใช้จ่ายรวม (Z) มีค่าน้อยที่สุด โดยนิยามค่า Z ดังนี้

$$Z = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} c_{ij}x_{ij} + \sum_{j=1}^{m} d_j y_i \tag{2.1}$$

เมื่อ

x_{ij} มีค่าเท่ากับ 1 ถ้าผู้ใช้ T_i เชื่อมต่อกับจุดรวมสวิตซ์ C_j
ไม่เช่นนั้น มีค่าเท่ากับ 0

y_j มีค่าเท่ากับ 1 ถ้าตัดสินใจวางจุดรวมสวิตซ์ที่ตำแหน่ง C_j
ไม่เช่นนั้น มีค่าเท่ากับ 0

เนื่องจากทุกผู้ใช้จำเป็นต้องเชื่อมต่อกับจุดรวมสวิตซ์ ดังนั้นจึงมีเงื่อนไขข้อจำกัดคือ

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij} = 1 \tag{2.2}$$

เมื่อ $i = 1, 2, 3..., N$

และเงื่อนไขข้อจำกัดของค่าความจุของจุดรวมสวิตซ์ต้องเป็นดังสมการ (2.3)

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} \leq k y_j \tag{2.3}$$

เมื่อ $j = 1, 2, 3..., M$

วัตถุประสงค์ของปัญหานี้คือการเลือกค่า x_{ij} และ y_j ว่าควรมีค่าเป็น 0 หรือ 1 เพื่อให้ค่า Z มีค่าต่ำที่สุด โดยเป็นไปตามเงื่อนไขข้อจำกัดที่ (2.2) และ (2.3) โดยปัญหาที่กล่าวมานี้ มีความคล้ายคลึงกับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งโกดังสินค้า (Warehouse) และ ปัญหาการเลือกตำแหน่งของสถานที่ให้บริการ (facility location problem) อย่างไรก็ตามเราจะพบว่าปัญหาที่กล่าวถึงนั้นมีความซับซ้อนสูงเป็นผล ให้ต้องใช้เวลานานในการหาผลเฉลยของคำตอบ จึงไม่เหมาะสมกับการออกแบบโครงข่ายขนาดใหญ่ ดังนั้นในบางครั้งจึงอาจมีการลดความซับซ้อนของปัญหาโดยพิจารณาให้มีการกำหนดจุดตำแหน่งของจุดให้บริการหรือเซตจุดรวมสวิตซ์ J ที่ถูกเลือกแล้ว ดังนั้นปัญหาจะถูกลดลงเหลือเพียงการหาผลเฉลย x_{ij} (มีค่าเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้น) ซึ่งเป็นวิธีการออกแบบการเชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้กับจุดรวมสวิตซ์ เป็นผลให้ฟังก์ชันจุดประสงค์ Z ในสมการ (2.1) ถูกนิยามใหม่เป็นดังนี้

$$Z = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} c_{ij} x_{ij} \tag{2.4}$$

โดยมีเงื่อนไขข้อกำหนดคือ

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij} = 1 \tag{2.5}$$

เมื่อ$i = 1, 2, 3..., N$

และ

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} \leq k \qquad \forall j \in J \tag{2.6}$$

เมื่อลดการคำนวณเหลือเพียงแค่ปัญหาการออกแบบวิธีการเชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้กับจุดรวมสวิตซ์แล้วนั้น พบว่าความซับซ้อนของปัญหานั้นลดลงอย่างมาก เป็นผลให้สามารถหาผลเฉลยของการออกแบบโครงข่ายที่มีขนาดใหญ่มากขึ้นด้วย วิทยานิพนธ์ในบทต่อไปจะเป็นการนำเสนอวิธีการออกแบบการเชื่อมต่อโครงข่ายสาขาย่อยกับโครงข่ายหลัก ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับปัญหาการออกแบบทอพอโลยีที่กล่าวมา โดยทำการปรับเปลี่ยนฟังก์ชันค่าจุดประสงค์และเงื่อนไขข้อกำหนดต่างๆ เพื่อหาค่าจัดสร้างโครงข่ายที่เหมาะสมสำหรับวิธีการออกแบบที่เสนอ โดยเพิ่มการพิจารณาค่าความจุของแต่ละข่ายเชื่อมโยงและการเลือกใช้ประเภทของอุปกรณ์ให้เหมาะสมอีกด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยโดยพิจารณาความสามารถในการเชื่อมต่อระดับเดียวกัน

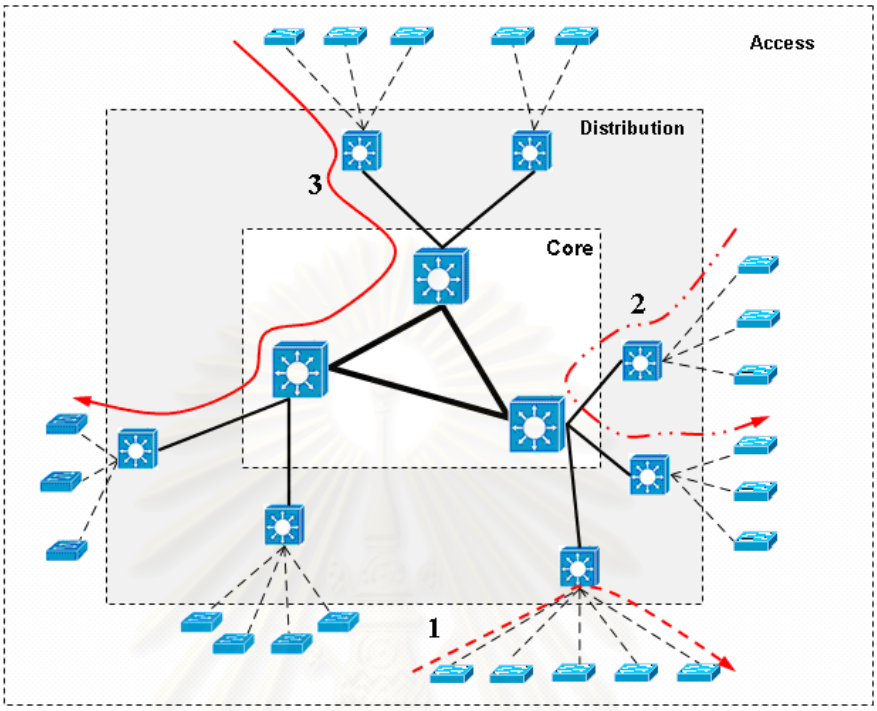
เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการเลือกตำแหน่งของโนดหลัก การออกแบบทอพอโลยีและการจัดสรรค่าความจุของโครงข่ายสาขาย่อย (Distribution level) และการเลือกประเภทของอุปกรณ์ในโครงข่ายหลักที่เหมาะสม โดยพิจารณาถึงความสามารถในการสร้างเส้นทางเชื่อมต่อโดยตรงของบางคู่โนดในระดับสาขาย่อย วัตถุประสงค์หลักของการออกแบบโครงข่ายที่เสนอคือการหาค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างที่เหมาะสมสำหรับการจัดสร้างโครงข่ายสาขาย่อยให้เพียงพอรองรับความต้องการภายในองค์กร

3.1 ปัญหาการออกแบบโครงข่ายสาขาย่อย (Distribution level design problem)

ในการออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยตามรูปแบบของแบบจำลองโครงข่ายสามระดับที่นิยมใช้ในองค์กรนั้น มีจุดประสงค์หลักเพื่อรวบรวมข้อมูลจากโครงข่ายย่อยเพื่อส่งผ่านไปยังโครงข่ายหลัก ในกรณีที่ต้องกับผู้ใช้ที่เชื่อมต่ออยู่ในโครงข่ายสาขาย่อยที่ต่างกันต้องการส่งข้อมูลถึงกัน นอกจากหน้าที่หลักดังกล่าวโครงข่ายสาขาย่อยยังถูกกำหนดให้ทำหน้าที่เชิงนโยบายต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นนโยบายความปลอดภัยของโครงข่าย (Network policy security) การแปลแอดเดรสของโครงข่าย (Network address translation) การจำกัดการกระจายข่าวสารของโครงข่ายด้วยโพรโทคอลการหาเส้นทาง (Routing protocol) เป็นต้น เพื่อลดการทำงานของโครงข่ายในระดับหลัก โดยมุ่งหวังให้โครงข่ายระดับหลักนั้นทำหน้าที่เพียงอย่างเดียวคือการส่งผ่านข้อมูลให้รวดเร็วที่สุดเท่านั้น

เมื่อพิจารณาดูโครงข่ายภายในองค์กรที่ถูกออกแบบในลักษณะของแบบจำลองสามระดับแล้วนั้น พบว่าโครงข่ายสาขาย่อยส่วนใหญ่นั้นถูกออกแบบให้เชื่อมกับโครงข่ายหลักในลักษณะทอพอโลยีรูปดวงดาว ดังรูปที่ 3.1 กล่าวคือโครงข่ายถูกออกแบบโดยเชื่อมต่อโนดในระดับสาขาย่อยเข้าสู่โนดในระดับหลักโดยไม่พิจารณาให้มีการเชื่อมต่อกันเอง การเชื่อมต่อแบบนี้แม้จะมีข้อดีคือง่ายในการออกแบบระบบ และสะดวกในการจัดการ แต่เมื่อพิจารณาดูการส่งผ่านข้อมูลถึงกันในรูปที่ 3.1 แล้วพบว่า การส่งผ่านข้อมูลของโครงข่ายที่ออกแบบในลักษณะทอพอโลยีรูปดวงดาวนั้น การส่งผ่านข้อมูลระหว่างโนดในสาขาย่อยทุกคู่โนดนั้น ต้องถูกส่งผ่านไปยังโครงข่ายระดับหลักเสมอ แม้ระหว่างคู่โนดนั้นอาจอยู่ใกล้เคียงกันก็ตาม พิจารณากรณีที่สองคู่โนดใดใด มีพฤติกรรมกรรมการส่งผ่านข้อมูลถึงกันจำนวนมากอยู่เสมอ นั่นคือข้อมูลดังกล่าวนั้นจำเป็นต้องส่งผ่านไปยังโนดหลักเสมอด้วยเช่นกัน แม้ว่าสองคู่โนดนั้นจะมีความสามารถในการกระทำการเชื่อมต่อก็ตาม เป็นผลให้โนดในโครงข่ายระดับหลักนั้น ต้องรับภาระสูงขึ้นด้วย เป็นผลให้เราต้องเลือกใช้โนดในระดับหลักที่มีความสามารถที่เพียงพอรองรับความต้องการดังกล่าวได้

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโครงข่ายโดยรวมแล้วพบว่า เมื่อเปรียบเทียบราคาของสวิตซที่ใช้



รูปที่ 3.1 การส่งผ่านข้อมูลในโครงข่ายหลายระดับ

งานในโครงข่ายหลักกับราคาค่าจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงแล้วนั้น มีความแตกต่างกันค่อนข้างสูง ดังนั้นหากมีการจัดสร้างเส้นทางให้ข้อมูลบางส่วนสามารถส่งถึงกันได้โดยตรง โดยยอมจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงที่ใช้ส่งผ่านข้อมูลโดยตรงสำหรับบางคู่โนดในระดับโครงข่ายสาขาย่อยแล้วนั้น อาจทำให้ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโครงข่ายรวมลดลงได้ เนื่องจากเราสามารถเลือกใช้สวิตซ์ในโนดหลักที่มีราคาต่ำลงได้ จากแนวคิดดังกล่าว วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมุ่งทำการหาวิธีการออกแบบลักษณะการออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยโดยพิจารณาเพิ่มเติมในเรื่องการเชื่อมต่อบางคู่โนดเข้าด้วยกัน โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อหาคู่โนดที่เมื่อทำการเชื่อมต่อถึงกันแล้วกัน ให้ค่าใช้จ่ายรวมของการจัดสร้างโครงข่ายที่เหมาะสม โดยพิจารณาปัญหาย่อย 6 ปัญหาเข้าด้วยกัน ดังนี้

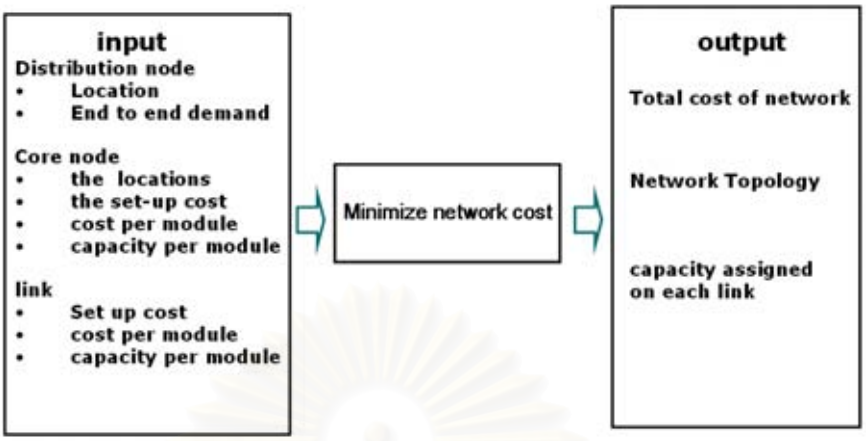
- ปัญหาการเลือกจำนวนของโนดในระดับหลัก
- ปัญหาการเลือกตำแหน่งของจุดที่ตั้งของโนดในระดับหลัก
- ปัญหาการเลือกขนาดของสวิตซ์ที่ใช้ในโนดหลัก
- ปัญหาการเลือกการเชื่อมต่อโนดในระดับสาขาย่อยเข้าสู่โนดในระดับหลัก

- ปัญหาการเลือกสร้างเส้นทางตรงสำหรับบางคู่โนดในระดับโครงข่ายสาขาย่อย
- ปัญหาการจัดวางค่าความจุในแต่ละข่ายเชื่อมโยง

ลักษณะของปัญหาที่ทำนำเสนอนั้นสามารถเขียนเป็นแผนภาพในรูปที่ 3.2 โดยที่มีค่าพารามิเตอร์ที่เป็นอินพุทดังนี้

- ตำแหน่งที่ตั้งของโนดในระดับโครงข่ายสาขาย่อย (Distribution node location)
- ตำแหน่งที่สามารถจัดสร้างเป็นโนดในระดับโครงข่ายหลัก (Core candidate node location)
- คุณสมบัติและราคาของสวิตช์ที่นำมาพิจารณาเพื่อใช้เป็นโนดในระดับโครงข่ายหลัก (Specification and price of core switch)
- ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโนดในระดับหลัก (Cost of core node)
- ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนดในระดับโครงข่ายสาขาย่อยไปยังแต่ละตำแหน่งที่สามารถจัดสร้างเป็นโนดในระดับโครงข่ายหลัก (Cost of link between distribution node and core node)
- ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงระหว่างแต่ละคู่โนดในระดับโครงข่ายสาขาย่อย (Cost of link between any distribution node pair)
- ปริมาณทราฟฟิก ระหว่างแต่ละคู่โนดในระดับโครงข่ายสาขาย่อย (End to end traffic between distribution node pair)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงค่าพารามิเตอร์อินพุทและผลลัพธ์ของการออกแบบ

โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอแบบจำลองสำหรับวิธีการออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยในลักษณะของโปรแกรมจำนวนเต็มเชิงเส้น (Integer linear programing) โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างที่น้อยที่สุดและเป็นไปตามเงื่อนไขข้อกำหนดของลักษณะการออกแบบที่ต้องการศึกษา โดยมีการกำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้ในวิธีการออกแบบที่นำเสนอดังนี้

- สัญลักษณ์แทนค่าพารามิเตอร์อินพุท

I จำนวนจุดที่ตั้งที่เป็นไปได้ในการจัดสร้างเป็นโนดในระดับโครงข่ายระดับหลัก (Number of core candidate node)

J จำนวนโนดในโครงข่ายสาขาย่อย (Number of distribution node)

T จำนวนประเภทของสวิตซ์ที่นำมาพิจารณาเลือกใช้เป็นโนดในโครงข่ายหลัก

f^{it} ค่าใช้จ่ายในการเลือกจัดสร้างโนดในโครงข่ายระดับหลักที่ตำแหน่ง i โดยเลือกใช้สวิตซ์ประเภท t

f_j^i ค่าใช้จ่ายคงที่ในการจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนด i ในโครงข่ายระดับหลักและโนด j ในโครงข่ายสาขาย่อย

c_j^i ค่าใช้จ่ายที่ผันแปรตามขนาดความจุของข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนด i ในระดับโครงข่ายระดับหลักและโนด j ในโครงข่ายสาขาย่อย

f_{jk} ค่าใช้จ่ายคงที่ในการจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนดj โครงข่ายสาขาย่อยและโนด k ในโครงข่ายสาขาย่อย

c_{jk} ค่าใช้จ่ายที่ผันแปรตามขนาดความจุของข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนด j และโนด k ในโครงข่ายสาขาย่อย

s_{jk} ค่าระบุความเป็นไปได้ในการเลือกเชื่อมต่อได้ของคู่โนด j และ k ใดๆ ในโครงข่ายสาขาย่อย

เป็นค่าที่ระบุว่าเรานำการเชื่อมต่อระหว่างคู่โนด j และ k มาพิจารณาในกระบวนการออกแบบหรือไม่ โดยกำหนดให้ s_{jk} มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อตัดสินใจนำการเชื่อมต่อระหว่างคู่โนด j และ k มาพิจารณาในการออกแบบ ไม่เช่นนั้น มีค่าเท่ากับ 0

N^{it} ความเร็วสูงสุดของการสวิตช์ของโนด i ประเภท t

L^i_j ค่าความจุต่อหนึ่งโมดูลของข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนด i ในโครงข่ายระดับหลักและโนด j ในโครงข่ายสาขาย่อย

L_{jk} ค่าความจุต่อหนึ่งโมดูลของข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนด j และโนด k ในโครงข่ายสาขาย่อย

d_{jk} ปริมาณทราฟฟิกจากโนด j ไปยังโนด k ในโครงข่ายสาขาย่อย

- สัญลักษณ์แทนค่าผลลัพธ์ของวิธีการออกแบบ

x^{it} ค่าพารามิเตอร์ในการตัดสินใจเลือกใช้ตำแหน่ง i เป็นโนดในโครงข่ายหลัก และเลือกใช้สวิตช์ประเภท t โดยที่

$$x^{it} = \begin{cases} 1\,, & \text{เมื่อตัดสินใจเลือกตำแหน่ง } i \text{ เป็นที่ตั้งของโนดหลักและเลือกใช้สวิตช์ประเภทที่ } t \\ 0\,, & \text{เมื่อสวิตช์ประเภท } t \text{ ไม่ถูกเลือกใช้เป็นโนดหลักที่ตำแหน่ง } i \end{cases} \tag{3.1}$$

x^i_j ค่าพารามิเตอร์ในการตัดสินใจเลือกจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนด i ในโครงข่ายหลักกับ โนด j ในโครงข่ายสาขาย่อย โดยที่

$$x^i_j = \begin{cases} 1\,, & \text{เมื่อตัดสินใจจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงจากโนด } i \text{ ในโครงข่ายหลักกับโนด } j \text{ ในโครงข่ายสาขาย่อย} \\ 0\,, & \text{เมื่อไม่ตัดสินใจจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงจากโนด } i \text{ ในโครงข่ายหลักกับโนด } j \text{ ในโครงข่ายสาขาย่อย} \end{cases} \tag{3.2}$$

x_{jk} ค่าพารามิเตอร์ในการตัดสินใจเลือกจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนด j และโนด k ในโครงข่ายสาขาย่อย โดยที่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$x_{jk} = \begin{cases} 1\,, & \text{เมื่อตัดสินใจจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนด } j \text{ และโนด } k \text{ ในโครงข่ายสาขาย่อย} \\ 0\,, & \text{เมื่อไม่ตัดสินใจจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนด } j \text{ และโนด } k \text{ ในโครงข่ายสาขาย่อย} \end{cases} \tag{3.3}$$

m_j^i ค่าพารามิเตอร์ที่บ่งชี้จำนวนโมดูลของค่าความจุที่ต้องจัดสรรลงบนข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนด i ในโครงข่ายหลักกับโนด j ในโครงข่ายสาขาย่อย

m_{jk} ค่าพารามิเตอร์ที่บ่งชี้จำนวนโมดูลของค่าความจุที่ต้องจัดสรรลงบนข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนด j และ k ในโครงข่ายสาขาย่อย

ข้อสังเกต ดรรชนีบนของสัญลักษณ์แทนค่าที่ระบุถึงโนดในระดับหลัก และดรรชนีล่างของสัญลักษณ์แทนค่าที่ระบุถึงโนดในระดับสาขาย่อย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 แบบจำลองปัญหาทางคณิตศาสตร์ของการออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยแบบรูปดาว

ในส่วนนี้เป็นการอธิบายถึงแบบจำลองปัญหาทางคณิตศาสตร์ของการออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยแบบรูปดาว หรือวิธีการออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยโดยไม่พิจารณาความสามารถในการเชื่อมต่อระดับเดียวกัน ปัญหาถูกจัดให้อยู่ในรูปแบบของโปรแกรมเชิงจำนวนเต็ม (Integer programming) ดังนี้

$$\text{Minimize} \sum_{i\in I}\sum_{t\in T} f^{it}x^{it} + \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\left(f^i_j x^i_j + c^i_j m^i_j\right) \tag{3.4}$$

สมการ (3.4) เป็นสมการบ่งบอกถึงฟังก์ชันจุดประสงค์ของการออกแบบ นั่นคือการหาค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด โดยค่าใช้จ่ายดังกล่าวนั้น ประกอบด้วย พจน์ที่หนึ่งแสดงถึงค่าจัดสร้างโนดในระดับที่ตำแหน่ง i ใดๆ โดยค่าใช้จ่ายในส่วนนี้รวมถึงค่าสวิตช์ที่ใช้ ค่าจัดสร้างห้องเก็บอุปกรณ์ เป็นต้น พจน์ที่สองของสมการแทนค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนด i ในโครงข่ายระดับหลักไปยังโนด j ในโครงข่ายสาขาย่อย โดยค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ประกอบด้วยสองส่วนย่อยคือ ค่าใช้จ่ายคงที่เฉพาะในการจัดสร้างครั้งแรกเท่านั้น โดยไม่ขึ้นอยู่กับค่าความจุที่จัดวางลงในข่ายเชื่อมโยงนั้น และค่าใช้จ่ายที่แปรผันตามจำนวนโมดูลของค่าความจุที่ต้องการใช้ในข่ายเชื่อมโยง โดยมีเงื่อนไขบังคับดังนี้

$$\sum_{t\in T} x^{it} \le 1 \qquad \forall i \in I \tag{3.5}$$

สมการ (3.5) แสดงเงื่อนไขบังคับว่าที่แต่ละตำแหน่งที่เป็นสมาชิกในการนำมาพิจารณาจัดสร้างเป็นโนดสำหรับโครงข่ายหลักนั้น สามารถเลือกใช้สวิตช์ได้เพียงประเภทเดียวเท่านั้นต่อหนึ่งตำแหน่ง

$$\sum_{i\in I} x^i_j = 1 \qquad \forall j \in J \tag{3.6}$$

$$x^i_j \le \sum_{t\in T} x^{it} \qquad \forall j \in J \qquad \forall i \in I \tag{3.7}$$

สมการ (3.6) แสดงเงื่อนไขบังคับทุกโนดในโครงข่ายสาขาย่อยนั้นจะต้องทำการเชื่อมต่อกับโนดในโครงข่ายหลักหนึ่งโนด และสมการ (3.7) บ่งบอกถึงเงื่อนไขบังคับว่า โนดที่โครงข่ายสาขาย่อย j ใดๆ นั้นจะเชื่อมต่อกับโนด i ใดๆ ได้ ก็ต่อเมื่อที่โนดหลักตำแหน่ง i นั้นมีสวิตช์อย่างน้อยหนึ่งประเภทถูกเลือกใช้ที่โนด i กล่าวคือ โนด j ในโครงข่ายสาขาย่อยนั้นจะเชื่อมต่อกับโนดหลัก i ได้ก็ต่อเมื่อโนดในตำแหน่ง i นั้น ถูกเลือกจัดสร้างให้เป็นโนดในระดับโครงข่ายหลักแล้วเท่านั้น

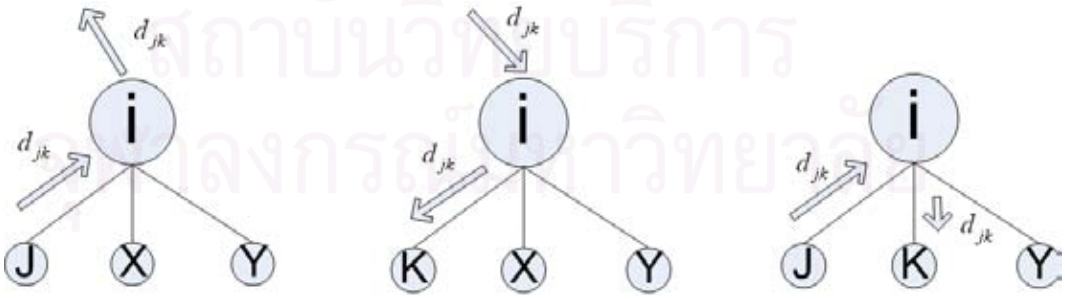
$$\sum_{k\in J} d_{jk}x^i_j \le m^i_j L^i_j \qquad \forall j \in J \qquad \forall i \in I \tag{3.8}$$

$$\sum_{k\in J} d_{kj}x_j^i \le m_j^i L_j^i \qquad \forall j \in J \qquad \forall i \in I \tag{3.9}$$

สมการ (3.8) และ (3.9) เป็นเงื่อนไขข้อจำกัดของค่าความจุที่ต้องจัดวางลงในข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนดหลัก i และ โนด j ในโครงข่ายระดับสาขาย่อย โดยที่จำนวนโมดูลของค่าความจุนั้นต้องเพียงพอต่อการรองรับทราฟฟิกที่ส่งจากโนด j ไปยังปลายทาง k ใดๆ ดังสมการ (3.8) นอกจากนี้ค่าความจุดังกล่าวยังต้องเพียงพอต่อการรองรับทราฟฟิกจากโนด k ใดๆ ในโครงข่ายที่ส่งมาถึงยังโนด j ด้วยเช่นกัน ดังสมการ (3.9)

$$\sum_{j\in J}\sum_{k\in J} d_{jk}\left(x_j^i + x_k^i - x_j^i x_k^i\right) \le \sum_{t\in T} N^{it}x^{it} \qquad \forall j \in J \qquad \forall i \in I \tag{3.10}$$

สมการ (3.10) เป็นสมการเงื่อนไขข้อกำหนดให้ ณ ตำแหน่ง i ใดๆ ที่ถูกเลือกเป็นโนดสำหรับโครงข่ายหลักแล้วนั้น ต้องเลือกใช้สวิตช์ที่มีค่าความสามารถในการสวิตช์ได้เพียงพอรองรับทราฟฟิกทั้งหมดที่ใช้โนดนั้น โดยพจน์ที่ 1 ของสมการทางด้านซ้ายนั้น เป็นตัวบ่งชี้ถึงสภาวะการใช้งานโนด i ของทราฟฟิก d_{jk} ในกรณีที่โนด j ซึ่งเป็นต้นทางของ ทราฟฟิก เชื่อมต่อกับโนดหลัก i ในขณะที่พจน์ที่ 2 ของสมการนั้นแทนค่าการใช้งานโนด i ของ ทราฟฟิก d_{jk} ในกรณีที่ปลายทาง k เชื่อมต่อกับโนดหลัก i อย่างไรก็ตามในกรณีที่โนด j และ k เชื่อมต่อกับโนดหลัก i โนดเดียวกัน การคำนวณค่าการใช้งานโนดโดยใช้ค่าบ่งชี้เป็นค่า x_j^i และ x_{jk} นั้นจะทำให้การคำนวณค่าการใช้งานของโนดหลักเกินจากค่าการใช้งานจริง ดังนั้นในสมการ (3.10) จึงมีการชดเชยด้วยผลคูณของ x_j^i และ x_{jk} ในกรณีที่โนด j และโนด k เชื่อมต่อกับโนดหลัก i เหมือนกัน ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การใช้งานโนดในโครงข่ายหลักของทราฟฟิก d_{jk}

เมื่อทำการหาผลเฉลยแบบจำลองการออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยในส่วนนี้ ผลที่ได้รับคือ ค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดในการจัดสร้างโครงข่ายที่มีความสามารถในการรองรับความต้องการที่กำหนด รวมทั้งจำนวน

ตำแหน่ง และประเภทสวิตช์ที่เลือกใช้ของโครงข่ายหลัก รูปแบบการจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงจากโครงข่ายย่อยเข้าสู่โนดในระดับหลักและจำนวนค่าความจุที่จำเป็นต้องจัดวางในแต่ละข่ายเชื่อมโยงให้เพียงพอกับความต้องการของผู้ใช้

3.3 แบบจำลองปัญหาทางคณิตศาสตร์ของการออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยโดยพิจารณาความสามารถในการเชื่อมต่อระดับเดียวกัน

ในส่วนนี้เป็นการอธิบายถึงแบบจำลองปัญหาทางคณิตศาสตร์ของวิธีการออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยโดยพิจารณาความสามารถในการเชื่อมต่อระดับเดียวกัน ปัญหาในส่วนนี้จะมีความคล้ายคลึงกับในหัวข้อที่ผ่านมา และถูกจัดให้อยู่ในรูปแบบของโปรแกรมเชิงจำนวนเต็ม (Integer programming) เช่นกัน วัตถุประสงค์ของแบบจำลองนี้ยังคงเหมือนในหัวข้อที่ผ่านมาคือ การหาค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างที่ต่ำที่สุดในขณะที่โครงข่ายสามารถรองรับค่าความต้องการของผู้ใช้ที่กำหนด หากแต่พิจารณาเพิ่มเติมถึงโอกาสในการเชื่อมต่อระหว่างบางคู่โนดในระดับสาขาย่อย เพื่อส่งทราฟฟิก บางส่วนถึงกันโดยตรง เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโครงข่ายโดยรวม ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ของการออกแบบในส่วนนี้สามารถเขียนในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการ (3.11)

$$\text{Minimize} \sum_{i\in I}\sum_{t\in T} f^{it}x^{it} + \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\left(f^{i}_{j}x^{i}_{j} + c^{i}_{j}m^{i}_{j}\right) + \sum_{j\in J}\sum_{k\in J}\left(f_{jk}x_{jk} + c_{jk}m_{jk}\right) \quad (3.11)$$

โดยที่ f_{jk} และ c_{jk} =0 เมื่อ $j > k$

เมื่อพิจารณาฟังก์ชันจุดประสงค์ในสมการ (3.11) แล้วนั้น พบว่าค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโครงข่ายที่ต้องการหาผลเฉลยนั้น มีความคล้ายคลึงกับสมการ (3.4) นั่นคือพจน์ที่หนึ่งแสดงถึงค่าจัดสร้างโนดในระดับที่ตำแหน่ง i ใดๆ และพจน์ที่สองของสมการแทนค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนด i ในโครงข่ายระดับหลักไปยังโนด j ในโครงข่ายสาขาย่อย โดยค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงนั้นประกอบด้วยสองส่วนย่อยคือ ค่าใช้จ่ายคงที่เฉพาะในการจัดสร้างครั้งแรกเท่านั้น โดยไม่ขึ้นอยู่กับค่าความจุที่จัดวางลงในข่ายเชื่อมโยงนั้น และค่าใช้จ่ายที่แปรผันตามจำนวนโมดูลของค่าความจุที่ต้องการใช้ในข่ายเชื่อมโยง ความแตกต่างระหว่างสมการ (3.11) และ สมการ (3.4) คือ สมการ (3.11) นั้นมีการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงระหว่างคู่โนดในระดับโครงข่ายสาขาย่อยเข้ามาพิจารณาด้วย โดยค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงระหว่างคู่โนดในระดับโครงข่ายสาขาย่อยที่นำมาพิจารณานั้นประกอบด้วยสองส่วนเช่นเดียวกับการสร้างข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนดหลักและโนดสาขาย่อย นั่นคือ ประกอบด้วยส่วนที่เป็นค่าใช้จ่ายคงที่เฉพาะการจัดสร้างครั้งแรก และส่วนที่เป็นค่าใช้จ่ายแปรผันตามจำนวนโมดูลค่าความจุที่เลือกจัดวางลงในข่ายเชื่อมโยง โดยการออกแบบในส่วนนี้มีเงื่อนไขข้อบังคับ

ต่างๆ ดังนี้

เงื่อนไขข้อบังคับให้แต่ละตำแหน่งที่เป็นสมาชิกในการนำมาพิจารณาจัดสร้างเป็นโนดสำหรับโครงข่ายหลักนั้น สามารถเลือกใช้สวิตช์ได้เพียงประเภทเดียวเท่านั้นต่อหนึ่งตำแหน่ง ตามสมการ (3.5)

เงื่อนไขข้อบังคับให้ทุกโนดในโครงข่ายสาขาย่อยนั้น ต้องเชื่อมต่อกับโนดในโครงข่ายหลักหนึ่งโนด ตาม สมการ (3.6) และ โนดที่โครงข่ายสาขาย่อย j ใดๆ นั้น จะเชื่อมต่อกับโนดหลัก i ใดๆ ได้ ก็ต่อเมื่อที่โนดหลักตำแหน่ง i นั้นมีสวิตช์อย่างน้อยหนึ่งประเภทถูกเลือกใช้ ดังสมการ(3.7)

ค่าเงื่อนไขบังคับต่างๆ ที่กล่าวมานั้น เป็นค่าเงื่อนไขบังคับที่ใช้ในการออกแบบโครงข่ายสาขาย่อย ทั้งในกรณีที่คำนึงและไม่คำนึงถึงการเชื่อมต่อระหว่างโนดในระดับโครงข่ายย่อยเป็นค่าเงื่อนไขพื้นฐานที่ถูกกำหนดไว้เป็นเงื่อนไขบังคับเดียวกัน อย่างไรก็ตาม สำหรับเงื่อนไขที่จะกล่าวถึงต่อไปนั้น จะเป็นค่าเงื่อนไขที่ใช้ในกรณีที่พิจารณาการเชื่อมต่อระหว่างคู่โนดในโครงข่ายสาขาย่อยเท่านั้น ซึ่งอาจจะมีความคล้ายคลึงกับกรณีที่ไม่พิจารณาการเชื่อมต่อระหว่างคู่โนดในระดับโครงข่ายสาขาย่อย แต่มีความต่างกันในรายละเอียดบางส่วน ดังต่อไปนี้

$$d_{jk}x_{jk} \leq m_{jk}L_{jk} \qquad \forall j \in J \qquad \forall k \in J \tag{3.12}$$

$$d_{kj}x_{jk} \leq m_{jk}L_{jk} \qquad \forall j \in J \qquad \forall k \in J \tag{3.13}$$

สมการ (3.12) และ (3.13) แสดงค่าเงื่อนไขบังคับของขนาดความจุที่ต้องการในข่ายเชื่อมโยงระหว่างคู่โนด j และ kใดๆ ในโครงข่ายสาขาย่อย โดยมีเงื่อนไขให้ข่ายเชื่อมโยงดังกล่าวต้องถูกจัดวางค่าความจุให้มีปริมาณความจุที่เพียงพอต่อการรองรับค่าทราฟฟิก จาก j ไปยัง k และจาก k มาสู่ j กล่าวคือ เมื่อจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงระหว่างคู่โนดใดๆ ในโครงข่ายสาขาย่อยแล้วนั้น ข่ายเชื่อมโยงดังกล่าวจะถูกใช้เป็นเส้นทางตรงในการส่งผ่านข้อมูลถึงกันของคู่โนดนั้นๆ เมื่อพิจารณาค่าจัดสร้างคงที่เปรียบเทียบกับค่าจัดสร้างที่แปรผันตามความจุสำหรับข่ายเชื่อมโยงแล้วพบว่า ค่าใช้จ่ายคงที่นั้นมีราคาสูงกว่าค่าจัดสร้างที่แปรผันตามความจุ ดังนั้น เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการลงทุนจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงแล้ว การออกแบบส่วนถัดมาคือจัดวางค่าความจุในข่ายเชื่อมโยงนั้นเพียงพอรองรับปริมาณทราฟฟิก ที่สองคู่โนดนั้นส่งหากันทั้งหมด เพื่อให้ข่ายเชื่อมโยงที่จัดสร้างนั้น สามารถแบ่งเบาภาระหน้าที่การทำงานของโนดให้ได้อย่างเต็มความสามารถ

เมื่อพิจารณาข้อกำหนดของการเชื่อมต่อระหว่างคู่โนดในโครงข่ายระดับสาขาย่อยเข้าด้วยกันแล้วพบว่า เมื่อใดก็ตามที่มีการเชื่อมคู่โนดในโครงข่ายระดับสาขาย่อยเข้าด้วยกัน ค่าทราฟฟิก ระหว่างคู่โนดดังกล่าวจะเลือกใช้เส้นทางตรงเสมอ นั่นคือ จะไม่วิ่งผ่านข่ายเชื่อมโยงที่เชื่อมจากโนดในสาขาย่อยไปยังโนดหลัก

ดังนั้นสมการใช้ระบุเงื่อนไขการวางค่าความจุในข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนดหลัก i และโนดในระดับสาขาย่อย j จึงสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการเงื่อนไขข้อบังคับได้ดังนี้

$$\sum_{k \in J} d_{jk}(x_j^i \times (1 - x_{jk})) \leq m_j^i L_j^i \qquad \forall j \in J \qquad \forall i \in I \tag{3.14}$$

$$\sum_{k \in J} d_{kj}(x_j^i \times (1 - x_{jk})) \leq m_j^i L_j^i \qquad \forall j \in J \qquad \forall i \in I \tag{3.15}$$

สมการ (3.14) บ่งบอกเงื่อนไขข้อบังคับว่าจำนวนค่าความจุที่ต้องวางในข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนดในโครงข่ายหลัก i และ โนดในโครงข่ายสาขาย่อย j นั้นต้องเพียงพอรองรับความต้องการจากโนด j ไปยังทุกโนดของโครงข่าย ในกรณีที่คู่โนดนั้นไม่มีการเชื่อมต่อถึงกันโดยตรง โดยพจน์ที่ใช้กำหนดว่า ค่าความต้องการ d_{jk} นั้นต้องใช้ข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนดหลัก i และโนดในโครงข่ายระดับสาขาย่อยหรือไม่นั้น คือ $\left(x_j^i \times (1 - x_{jk})\right)$ โดยค่าในพจน์นี้จะเป็น 1 ก็ต่อเมื่อ โนด j เชื่อมกับโนดหลัก i และไม่มีข่ายเชื่อมโยงโดยตรงถึงโนด k เท่านั้น

สมการ (3.15) บ่งบอกเงื่อนไขข้อบังคับว่าจำนวนค่าความจุที่ต้องวางในข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนดในโครงข่ายหลัก i และ โนดในโครงข่ายสาขาย่อย j นั้นต้องเพียงพอรองรับความต้องการจากทุกโนดในโครงข่ายที่ต้องการส่งมายังปลายทางโนด j ในกรณีที่คู่โนดนั้นไม่มีการเชื่อมต่อถึงกันโดยตรง โดยพจน์ที่ใช้กำหนดว่า ค่าความต้องการ d_{kj} นั้นต้องใช้ข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนดหลัก i และโนดในโครงข่ายระดับสาขาย่อยหรือไม่นั้น คือ $\left(x_j^i \times (1 - x_{jk})\right)$ โดยค่าในพจน์นี้จะเป็น 1 ก็ต่อเมื่อ โนด j เชื่อมกับโนดหลัก i และไม่มีข่ายเชื่อมโยงโดยตรงถึงโนด k เท่านั้น

ดังนั้นความหมายของเงื่อนไขข้อบังคับในสมการ (3.14) และ (3.15) คือ ขนาดค่าความจุขั้นต่ำที่ต้องจัดสรรลงในข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนดหลัก i ไปยังโนดในโครงข่ายสาขาย่อย j ใดๆ นั้น ต้องเพียงพอรองรับความต้องการจากโนด j ไปทุกโนดในโครงข่าย ในกรณีที่ไม่มีการจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงโดยตรงถึงกัน และเพียงพอรองรับค่าความต้องการจากทุกโนดในโครงข่ายที่ต้องการส่งมายังโนด j ในกรณีที่ไม่มีการจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงโดยตรงถึงกันด้วยเช่นกัน และ เพื่อความสะดวกในการกล่าวอ้างถึง จึงขอนิยามค่าพารามิเตอร์ใหม่ เพื่อเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งชี้สภาวะว่าโนด j ในโครงข่ายสาขาย่อยนั้นเชื่อมต่อกับโนดหลัก i และไม่มีข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนด j และ k ในโครงข่ายสาขาย่อยดังนี้

$$\gamma_{jk}^i = \left(x_j^i \times (1 - x_{jk})\right) \tag{3.16}$$

สมการ (3.14) และ (3.15) จึงสามารถเขียนได้อีกลักษณะหนึ่งดังนี้

$$\sum_{k=1}^{J} d_{jk}\gamma_{jk}^{i} \leq m_j^i L_j^i \qquad \forall j \in J \qquad \forall i \in I \tag{3.17}$$

$$\sum_{k=1}^{J} d_{kj}\gamma_{jk}^{i} \leq m_j^i L_j^i \qquad \forall j \in J \qquad \forall i \in I \tag{3.18}$$

เงื่อนไขข้อบังคับที่จะกล่าวถึงต่อไปสำหรับการออกแบบโครงข่ายในส่วนนี้ คือ เงื่อนไขข้อบังคับเกี่ยวกับการเลือกใช้สวิตซ์ในแต่ละโนดหลักให้เพียงพอรองรับความต้องการทั้งหมดที่ต้องใช้งานโนดหลักนั้น โดยจะเขียนได้ดังสมการ (3.19)

$$\sum_{j\in J}\sum_{k\in J} d_{jk}\left(\gamma_{jk}^{i} + \gamma_{kj}^{i} - \gamma_{jk}^{i}\gamma_{kj}^{i}\right) \leq \sum_{t\in T} N^{it}x^{it} \qquad \forall j \in J \qquad \forall i \in I \tag{3.19}$$

สมการ (3.19) มีความหมายเหมือนกับสมการ (3.10) นั่นคือ ระบุว่าสวิตซ์ที่ถูกนำมาใช้เป็นโนดหลักที่ตำแหน่ง i นั้น จะต้องมีความสามารถในการรองรับทราฟฟิก ในการส่งผ่านข้อมูลจากทุกโนดในโครงข่ายย่อยที่ส่งขึ้นหรือส่งมายังโนด i นั้น ความแตกต่างของสมการ (3.19) และ (3.10) คือ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ชี้วัดว่า ทราฟฟิก d_{jk} นั้นจะต้องถูกส่งผ่านโนด i หรือไม่นั้น จะเปลี่ยนจากค่า x_j^i และ x_k^i ที่เป็นการพิจารณาว่าโนด j ใดๆหรือ k เชื่อมต่อกับโนดหลักหรือไม่เท่านั้น เป็นค่า γ_{jk}^i กล่าวคือ การพิจารณาว่า d_{jk} ใดๆ นั้นใช้โนดหลัก i หรือไม่ นอกจากพิจารณาว่าโนด j และ โนด k เชื่อมต่อกับโนด i หรือไม่แล้วนั้น ยังต้องพิจารณาเพิ่มเติมด้วยว่ามีการสร้างข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนด j และโนด k ด้วยหรือไม่ นั่นเอง

3.3.1 เงื่อนไขข้อบังคับเพิ่มเติมสำหรับการออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยโดยพิจารณาการเชื่อมต่อระดับเดียวกัน

ฟังก์ชันจุดประสงค์และเงื่อนไขข้อบังคับต่างๆ ที่กล่าวมานั้นเพียงพอสำหรับการใช้ออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยโดยพิจารณาให้มีการเชื่อมต่อถึงกันได้ในบางคู่โนด อย่างไรก็ตามเงื่อนไขบังคับอีก 2 ข้อที่จะกล่าวถึงนี้ เป็นเงื่อนไขข้อบังคับเสริมซึ่งจะทำให้วิธีการออกแบบโครงข่ายที่นำเสนอนั้น มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ดังนี้

$$x_{jk} \leq s_{jk} \qquad \forall j \in J \qquad \forall k \in J \tag{3.20}$$

$$\sum_{k \in J} x_{jk} \leq max_c \qquad \forall j \in J \tag{3.21}$$

สมการ (3.20) เป็นเงื่อนไขข้อบังคับในการเลือกกลุ่มคู่โนดในโครงข่ายสาขาย่อย เฉพาะบางคู่โนดเท่านั้น เข้ามาพิจารณา โดยกำหนดค่า s_{jk} มีค่าเป็น 0 ในกรณีที่นำคู่โนดนั้นมาพิจารณา และ เป็น 1 เมื่อไม่นำคู่โนดนั้นมาพิจารณา การระบุค่า s_{jk} นั้น เป็นสิ่งที่ผู้ออกแบบต้องพิจารณาใส่เป็นค่าอินพุทให้กับแบบจำลองการออกแบบ โดยปัจจัยที่ใช้ในการตัดสินใจนั้น อาจจะประกอบด้วย ราคาค่าจัดสร้าง และความยากง่ายในการเชื่อมต่อระหว่างคู่โนด นั้น ตัวอย่างเช่น คู่โนดในโครงข่ายย่อยบางคู่โนดที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน แต่การเดินสายถึงกันนั้น มีค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากสภาพทางภูมิศาสตร์ไม่อำนวย ราคาค่าจัดสร้างเส้นทางดังกล่าว นั้น มีค่าใช้จ่ายสูง และมีความยุ่งยากในการเชื่อมต่ออื่นๆ เช่น ละเมิดไปยังพื้นที่ของบุคคลอื่น เป็นต้น ดังนั้นบางคู่โนดในโครงข่ายสาขาย่อยผู้ออกแบบสามารถกำหนดให้ s_{jk} ของคู่โนดที่ไม่ต้องการนำมาพิจารณาเชื่อมต่อในการออกแบบให้มีค่าเท่ากับ 0 เพื่อให้แบบจำลองสามารถตัดความเป็นไปได้ในการเชื่อมต่อคู่โนดดังกล่าว และลดความซับซ้อนของวิธีการออกแบบให้น้อยลง

สมการ (3.21) เป็นเงื่อนไขข้อบังคับเพิ่มเติมในกรณีที่ผู้ออกแบบคำนึงความสามารถของโนดในโครงข่ายระดับสาขาย่อย ด้านค่าความจุตารางการจัดเส้นทาง (Routing Table) เนื่องจากเมื่อเพิ่มข่ายเชื่อมโยงให้กับโนดในโครงข่ายสาขาย่อยแล้วนั้น เปรียบเสมือนการเพิ่มเส้นทางที่เป็นทางเลือกในการส่งข้อมูล ทำให้สวิตช์ต้องทำการคำนวณหาเส้นทางมากขึ้น เป็นเหตุผลให้ผู้ออกแบบควรคำนึงถึงภาระของสวิตช์ที่ต้องคำนวณเส้นทางด้วยเช่นกัน ดังนั้น เงื่อนไขข้อบังคับข้อนี้จึงถูกกำหนดขึ้นเพื่อระบุว่า ในแต่ละโนดในโครงข่ายสาขาย่อยนั้น มีความสามารถในการเชื่อมต่อกับโนดอื่นได้มากที่สุดเท่าไหร่ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ max_c ในสมการ (3.21) เป็นตัวระบุนั่นเอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 กระบวนการปรับเปลี่ยนวิธีการออกแบบโครงข่ายเป็นเชิงเส้น

เมื่อพิจารณาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวิธีการออกแบบโครงข่ายที่นำเสนอในหัวข้อที่ผ่านมา พบว่า เงื่อนไขบังคับบางเงื่อนไขนั้นไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear constraints) งานวิจัยนี้จึงทำการปรับเปลี่ยนและเพิ่มเงื่อนไขบางประการให้เงื่อนไขข้อบังคับดังกล่าว กลับมาอยู่ในรูปเชิงเส้น ก่อนทำการแก้ไขปัญหาการหาค่าเหมาะสมของค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโครงข่าย

พิจารณาพจน์ที่ทำให้เงื่อนไขนั้นไม่เป็นเชิงเส้นได้แก่

- ค่า $x_j^i x_k^i$ ในสมการ (3.10)
- ค่า γ_{jk}^i หรือ ค่า $\left(x_j^i \times (1 - x_{jk})\right)$ ในสมการ (3.14) และ (3.15)
- ค่า $\gamma_{jk}^i \gamma_{kj}^i$ ในสมการ (3.19)

โดยทั้ง 3 พจน์ที่กล่าวถึงนั้น เป็นพจน์ที่เกิดขึ้นจากการคูณกันของตัวแปรที่เป็นไบนารี่ หรือตัวแปรที่มีค่าเป็นเพียงแค่ 0 หรือ 1 เท่านั้น นั่นคือ ผลลัพธ์ที่ได้ออกมาย่อมมีค่าเป็นไบนารี่ด้วยเช่นกัน ดังตารางที่ (3.1)

พิจารณาการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขผลคูณของจำนวนไบนารี่ให้อยู่ในรูปผลบวกเชิงเส้นโดยพิจารณากรณีที่ $C = a \times b$ เมื่อ a และ b มีค่าเป็นไบนารี่ นั่นคือ

- เงื่อนไขที่ 1 : $C \leq a$
- เงื่อนไขที่ 2 :$C \leq b$
- เงื่อนไขที่ 3 :$a + b - 1 \leq C$

เงื่อนไขทั้ง 3 ข้อนี้ส่งผลต่อค่า C ที่อยู่ในรูปผลบวกเชิงเส้นนั้น ให้ค่าผลลัพธ์เหมือนค่าผลคูณของจำนวนไบนารี่ตามตาราง (3.1) ดังนี้

- เมื่อ a และ b มีค่าเป็น 0 ค่า C จะถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 0 เนื่องจากเงื่อนไขที่ 1 และ 2
- เมื่อ a มีค่าเป็น 0 และ b มีค่าเป็น 1 ค่า C จะถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 0 เนื่องจากเงื่อนไขที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 ตารางค่าผลลัพธ์ของการคูณตัวแปรไบนารี่

A	B	A × B
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

- กรณี a มีค่าเป็น 1 และ b มีค่าเป็น 0 ค่า C จะถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 0 เนื่องจากเงื่อนไขที่ 2
- กรณี a มีค่าเป็น 1 และ b มีค่าเป็น 1 ค่า C จะถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 1 เนื่องจากเงื่อนไขที่ 3

เมื่อพิจารณาพจน์ที่ทำให้เงื่อนไขบังคับไม่เป็นเชิงเส้นในวิธีการออกแบบที่นำเสนอ พบว่า เราสามารถปรับเปรียบค่าพารามิเตอร์ผลคูณในเงื่อนไขให้อยู่ในรูปเชิงเส้นได้จากหลักการการสร้างเงื่อนไขด้านบน ดังนั้น ในส่วนนี้จึงขอนิยามค่าพารามิเตอร์และกำหนดเงื่อนไขผลคูณให้อยู่ในรูปผลบวกเชิงเส้นของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

1. ค่า γ^i_{jk} ใน สมการ (3.16) จะถูกกำหนดแทนด้วยค่าเงื่อนไขเชิงเส้นดังนี้

$$\gamma^i_{jk} \leq x^i_j \qquad \forall j,k \in J \qquad \forall i \in I \tag{3.22}$$

$$\gamma^i_{jk} \leq (1 - x_{jk}) \qquad \forall j,k \in J \qquad \forall i \in I \tag{3.23}$$

$$x^i_j + x_{jk} \leq \gamma^i_{jk} \qquad \forall j,k \in J \qquad \forall i \in I \tag{3.24}$$

2. กำหนดให้ $\zeta^i_{jk} = x^i_j x^i_k$ ดังนั้น ค่าζ^i_{jk} จะสามารถเขียนในรูปเงื่อนไขเชิงเส้นได้ตามสมการต่อไปนี้

$$\zeta^i_{jk} \leq x^i_j \qquad \forall j,k \in J \qquad \forall i \in I \tag{3.25}$$

$$\zeta^i_{jk} \leq x^i_k \qquad \forall j,k \in J \qquad \forall i \in I \tag{3.26}$$

$$x^i_j + x^i_k - 1 \leq \zeta^i_{jk} \qquad \forall j,k \in J \qquad \forall i \in I \tag{3.27}$$

3. กำหนดให้ $\beta^i_{jk} = \gamma^i_{jk}\gamma^i_{kj}$ ดังนั้น ค่า β^i_{jk} จะสามารถเขียนในรูปเงื่อนไขเชิงเส้นได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\beta^i_{jk} \leq \gamma^i_{jk} \qquad \forall j,k \in J \qquad \forall i \in I \tag{3.28}$$

$$\beta^i_{jk} \leq \gamma^i_{kj} \qquad \forall j,k \in J \qquad \forall i \in I \tag{3.29}$$

$$\gamma^i_{jk} + \gamma^i_{kj} - 1 \leq \beta^i_{jk} \qquad \forall j,k \in J \qquad \forall i \in I \tag{3.30}$$

เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์และเงื่อนไขต่างๆ ในส่วนนี้ แทนค่าลงในเงื่อนไขข้อบังคับที่ไม่เป็นเชิงเส้นในสมการ (3.10) และ (3.19) เงื่อนไขข้อบังคับจะสามารถเขียนให้อยู่ในรูปค่าพารามิเตอร์ ζ^i_{jk} และ β^i_{jk} ดังนี้

$$\sum_{j\in J}\sum_{k\in J} d_{jk}\left(x^i_j + x^i_k - \zeta^i_{jk}\right) \leq \sum_{t\in T} N^{it}x^{it} \qquad \forall j \in J \qquad \forall i \in I \tag{3.31}$$

$$\sum_{j\in J}\sum_{k\in J} d_{jk}\left(\gamma^i_{jk} + \gamma^i_{kj} - \beta^i_{jk}\right) \leq \sum_{t\in T} N^{it}x^{it} \qquad \forall j \in J \qquad \forall i \in I \tag{3.32}$$

ดังนั้น สมการเงื่อนไข ข้อบังคับ ของ วิธีการ ออกแบบ ที่ นำเสนอ ทั้งหมด เมื่อ ทำ การ แทน ค่า ด้วย พารามิเตอร์ที่กำหนดส่วนนี้แล้ว สามารถเขียนได้ในเชิงเส้นทั้งหมด เป็นผลให้วิธีการออกแบบที่นำเสนอนั้นสามารถหาผลเฉลยด้วยวิธีการแก้ไขปัญหาของโปรแกรมจำนวนเต็มเชิงเส้น (Integer linear programming) โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกใช้ โปรแกรม CPLEX ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับการหาผลเฉลยของปัญหาโปรแกรมจำนวนเต็มเชิงเส้น ในการแก้ปัญหาที่นำเสนอ โดยในบทต่อไปจะเป็นการรายงานถึงผลการทดลองและการคำนวณการออกแบบของโครงข่ายสาขาย่อยที่นำเสนอ

3.5 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวิธีการออกแบบโครงข่ายย่อย 2 วิธี นั่นคือ การออกแบบโดยไม่พิจารณาความเป็นไปได้ในการเชื่อมต่อระดับเดียวกัน และการออกแบบโดยพิจารณาความเป็นได้ในการเชื่อมต่อระดับเดียวกันในบางคู่โนดของโครงข่ายสาขาย่อย โดยสมการใช้ในการหาผลเฉลยสุดท้ายทั้งหมดที่นำไปใช้ในการทดลองในบทถัดไปเป็นตามตารางที่ (3.2)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 ตารางฟังก์ชันจุดประสงค์และเงื่อนไขบังคับในการออกแบบโครงข่ายสาขาย่อย

	สมการใช้ในการทดลอง	
	การออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยแบบรูปดาว	การออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยโดยวิธีที่นำเสนอ
ฟังก์ชันจุดประสงค์	สมการ (3.4)	สมการ (3.11)
เงื่อนไขข้อบังคับ	สมการ (3.5) สมการ (3.6) สมการ (3.7) สมการ (3.8) สมการ (3.9) สมการ(3.27) สมการ (3.25) สมการ (3.26) สมการ (3.31)	สมการ (3.5) สมการ (3.6) สมการ (3.7) สมการ (3.12) สมการ (3.13) สมการ (3.17) สมการ (3.18) สมการ (3.20) สมการ (3.21) สมการ (3.22) สมการ (3.23) สมการ (3.24) สมการ (3.28) สมการ (3.29) สมการ (3.30) สมการ (3.32)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลของการออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยจากวิธีที่นำเสนอ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเชื่อมต่อบางคู่โนดในระดับโครงข่ายสาขาย่อยต่อค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างรวมของโครงข่าย

4.1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์อินพุทของการทดลอง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทดลองการออกแบบโครงข่ายสาขาย่อย โดยกำหนดให้มีตำแหน่งที่เป็นไปได้ในการจัดสร้างเป็นโนดหลัก 5 ตำแหน่ง (Core candidate node) และเพิ่มจำนวนโนดในโครงข่ายย่อยเพื่อศึกษาถึงผลของการเชื่อมต่อโครงข่ายสาขาย่อยต่อค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโครงข่าย โดยมีลักษณะตำแหน่งของโนดหลัก และโนดในระดับสาขาย่อยดังรูปที่ 4.1

กำหนดให้ในแต่ละตำแหน่งของโนดในโครงหลักพิจารณาการเลือกใช้สวิตซ์ 2 ประเภท ที่มีรายละเอียดของราคา และความสามารถในการสวิตซ์เป็นตามตารางที่ 4.1 โดยกำหนดให้ทราฟฟิกจากโครงข่ายสาขาย่อยสามารถใช้งานโนดหลักเต็มที่ไม่เกิน 80 เปอร์เซนต์ของความสามารถในการสวิตซ์สูงสุดของสวิตซ์แต่ละประเภท และกำหนดให้ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างและคุณสมบัติของข่ายเชื่อมโยงเป็นไปตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ตารางคุณสมบัติและราคาของสวิตซ์

สวิตซ์ประเภทที่	ความสามารถในการสวิตซ์สูงสุด	ราคา
1	100 Gbps	650,000
2	400 Gbps	1,300,000

ตารางที่ 4.2 ตารางราคาของข่ายเชื่อมโยง

ค่าใช้จ่ายคงที่ ($)	ค่าใช้จ่ายต่อโมดูล 5 Gbps ($)
7×ระยะทางระหว่างคู่โนด	628

สำหรับเงื่อนไขเพิ่มเติมในสมการ (3.20) และสมการ (3.21) กำหนดดังนี้

รูปที่ 4.1 ตำแหน่งของตัวเลือกในการจัดสร้างเป็นโนดหลัก และตำแหน่งของโนดสาขาย่อย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ค่าความสามารถในการเชื่อมต่อ (s_{jk}) ในสมการ (3.20) ถูกกำหนดจากระยะทางระหว่างคู่โนด โดยกำหนดให้โนดที่มีระยะทางระหว่างคู่โนดน้อยกว่า 5000 เมตรมีความสามารถในการเชื่อมต่อถึงกัน

- กำหนดค่า max_c ในสมการ (3.21) มีค่าเท่ากับ 3 กล่าวคือกำหนดให้แต่ละโนดในโครงข่ายย่อยสามารถเชื่อมกับโนดในระดับเดียวกันได้ไม่เกิน 3 คู่โนด

สำหรับค่าความต้องการระหว่างคู่โนดนั้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้พิจารณาการกำหนดค่าความต้องการ 2 รูปแบบคือ

- ความต้องการเท่ากันทุกคู่โนด

- ความต้องการขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างคู่โนด โดยกำหนดให้คู่โนดที่มีระยะทางใกล้กันนั้นมีทราฟฟิกส่งถึงกันมากกว่าคู่โนดที่ห่างกัน ดังสมการ (4.1)

$$d_{jk} = K \times [1 - \frac{distance[j][k]}{maxdistance}] \qquad \forall j,k \in J \tag{4.1}$$

เมื่อ

$distance[j][k]$	ระยะทางระหว่างคู่โนด j และ k เมื่อ j และ k เป็นโนดในโครงข่ายสาขาย่อย
$maxdistance$	ระยะห่างมากที่สุดระหว่างคู่โนดในโครงข่าย
K	ค่าคงที่ระบุปริมาณทราฟฟิกที่มากที่สุด(Demand Scaling factor)

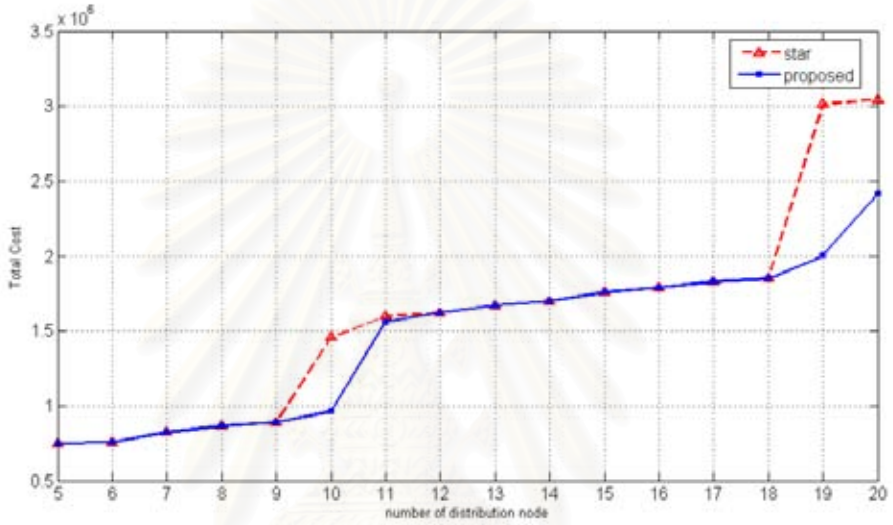
4.2 ผลการทดลอง

ในส่วนนี้เป็นการกล่าวถึงผลการทดลองที่ได้จากการเพิ่มจำนวนโนดในโครงข่ายสาขาย่อย โดยแบ่งการนำเสนอผลการทดลองออกเป็น 2 ส่วนคือ การวิเคราะห์ผลของการเพิ่มจำนวนโนดในโครงข่ายสาขาย่อยต่อค่าจัดสร้างโครงข่ายรวม และการวิเคราะห์ผลของค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างแต่ละองค์ประกอบของโครงข่าย

4.2.1 การวิเคราะห์ผลของการเพิ่มจำนวนโนดในโครงข่ายสาขาย่อยต่อค่าจัดสร้างโครงข่ายรวม

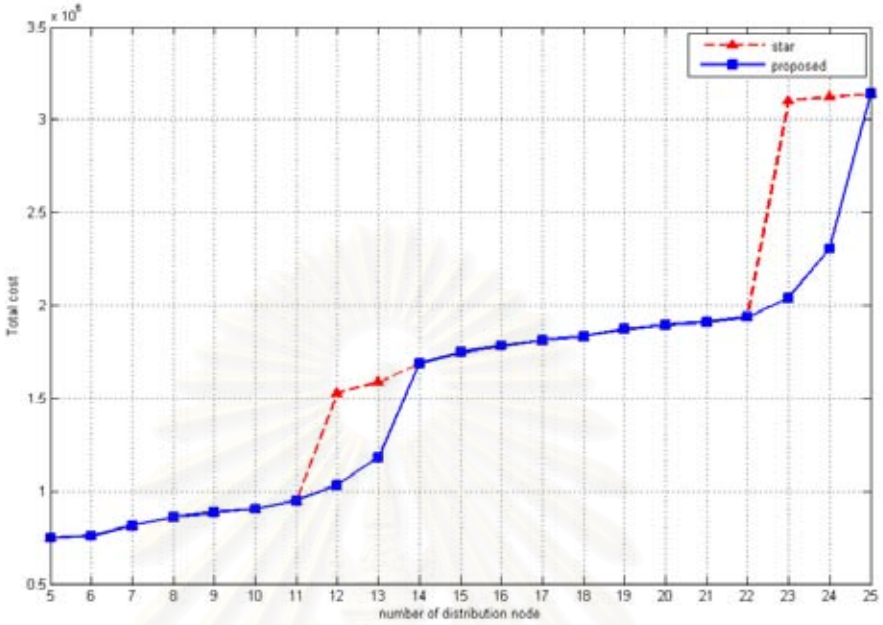
ในส่วนนี้เป็นการนำเสนอผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโครงข่ายจากวิธีการออกแบบโครงข่ายโดยวิธีที่นำเสนอและวิธีการออกแบบโครงข่ายในลักษณะทอพอโลยีรูปดาว ในรูปที่ (4.2) เป็น

ผลของค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างรวมของการออกแบบโครงข่ายที่กำหนดให้ทุกคู่โนดมีความต้องการในการส่งผ่านข้อมูลเท่ากับ 0.5 Gbps ทุกคู่โนดและ รูปที่ (4.3) , (4.4) เป็นผลของค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างรวมของโครงข่ายที่กำหนดให้มีความต้องการในการส่งผ่านทราฟฟิกถึงกันขึ้นอยู่กับระยะทางดังสมการ (4.1) โดยกำหนดค่าคงที่ระบุปริมาณทราฟฟิกที่มากที่สุด(Demand Scaling factor) เท่ากับ 1 Gbps และ 2 Gbps ตามลำดับ

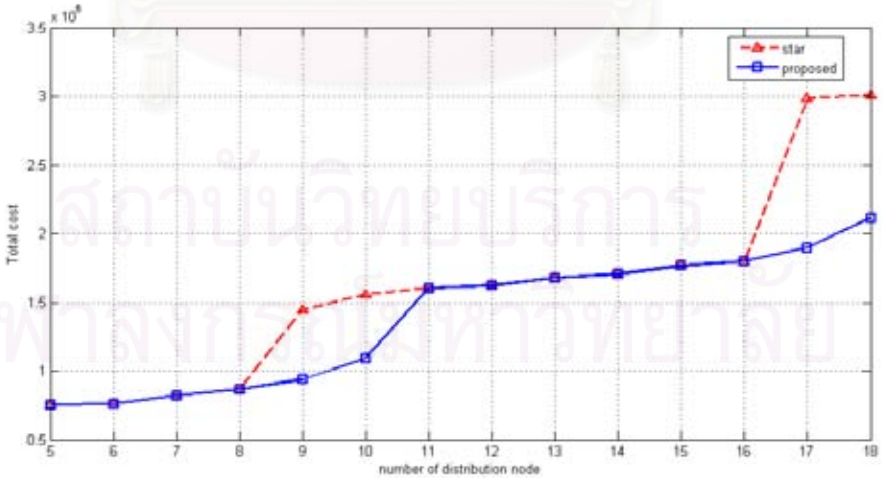


รูปที่ 4.2 ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโครงข่ายเมื่อเพิ่มจำนวนโครงข่ายสาขาย่อย กรณีทุกโนดมีความต้องการข้อมูลเท่ากัน

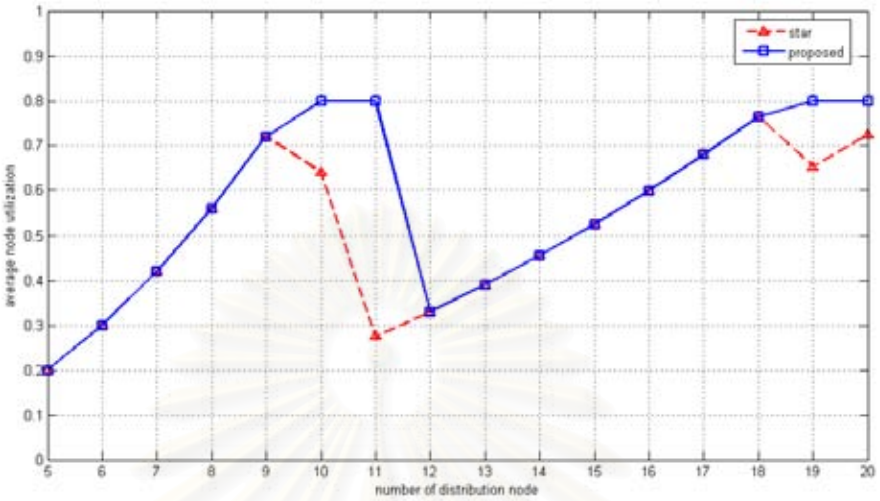
เมื่อพิจารณาผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวม ระหว่างโครงข่ายสาขาย่อยที่ออกแบบโดยวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับการออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยทอพอโลยีรูปดาว สังเกตเห็นว่าลักษณะของการเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างรวมนั้น มีแนวโน้มคล้ายกันทุกรูปแบบของแต่ละค่าความต้องการที่ใช้ในการทดลอง คือเมื่อจำนวนโครงข่ายสาขาย่อยมีจำนวนน้อยๆ นั้น ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างรวมของโครงข่ายมีราคาเท่ากัน เนื่องจากค่าเฉลี่ยการใช้ประโยชน์ของสวิตช์ในโครงข่ายหลักนั้นมีค่าต่ำสามารถในการรองรับความต้องการทั้งหมดของโครงข่ายได้ ดังรูปที่ 4.5 4.6 และ 4.7 ดังนั้นการจัดสร้างเส้นทางโดยตรงระหว่างคู่โนดในโครงข่ายสาขาย่อยนั้นจึงเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็น เป็นผลให้ ลักษณะของทอพอโลยีที่ได้จากการออกแบบทั้งสองวิธีนั้นมีรูปแบบเดียวกัน คือเป็นรูปดาวที่ไม่มีการเชื่อมต่อระหว่างโนดในโครงข่ายสาขาย่อย การเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายรวมต่อการเพิ่มจำนวนโครงข่ายสาขาย่อยนั้นเป็นผลจากค่าใช้จ่ายรวมที่เพิ่มขึ้น เป็นค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงเท่านั้นจึงทำให้ลักษณะการเพิ่มขึ้นของราคาค่าจัดสร้างรวมของโครงข่ายในช่วงแรกของรูปที่ 4.2 4.3 และ 4.4 เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 4.3 ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโครงข่ายเมื่อเพิ่มจำนวนโครงข่ายสาขาย่อย กรณีทุกโนดมีความต้องการในการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับระยะทาง โดยกำหนดค่า K=1



รูปที่ 4.4 ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโครงข่ายเมื่อเพิ่มจำนวนโครงข่ายสาขาย่อย กรณีทุกโนดมีความต้องการในการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับระยะทาง โดยกำหนดค่า K=2

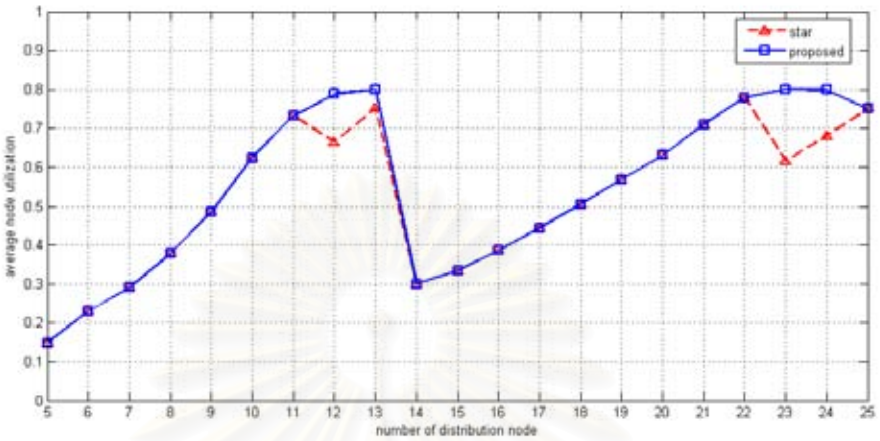


รูปที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยการใช้ประโยชน์ของโนดหลักเมื่อเพิ่มจำนวนโครงข่ายสาขาย่อย กรณีทุกโนดมีความต้องการข้อมูลเท่ากัน

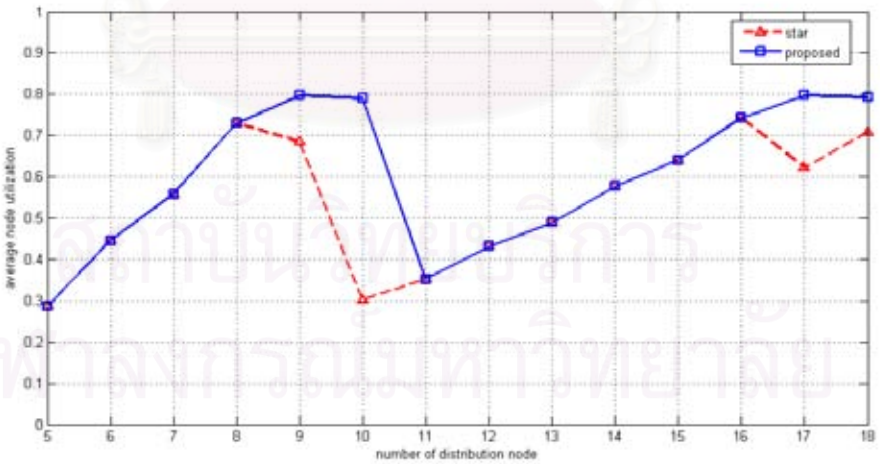
เมื่อเพิ่มจำนวนโนดในโครงข่ายสาขาย่อยมากขึ้น จนกระทั่งค่าเฉลี่ยการใช้ประโยชน์เต็มที่แล้ว การเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายรวมจะมีค่าสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด จากวิธีการออกแบบทั้งสอง อย่างไรก็ตามพบว่าโครงข่ายที่ออกแบบจากวิธีที่นำเสนอนั้น สามารถรองรับจำนวนโครงข่ายย่อยได้มากกว่าโครงข่ายที่ออกแบบทอพอโลยีรูปดาวก่อนเกิดจุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของราคาค่าใช้จ่ายอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีการเชื่อมต่อระหว่างบางคู่โนดโดยตรงเพื่อลดค่าการใช้ประโยชน์ของสวิตซ์ในโครงข่ายหลัก

พิจารณารูปที่ 4.3 พบว่าการเปลี่ยนแปลงทอพอโลยีของการเพิ่มจำนวนโครงข่ายย่อย ที่ก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายอย่างรวดเร็วสำหรับวิธีการออกแบบโครงข่ายย่อยทอพอโลยีรูปดาวเป็นดังรูปที่ 4.8 และการเพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดดของค่าใช้จ่ายรวมสำหรับโครงข่ายที่ออกแบบจากวิธีที่นำเสนอนั้นเกิดขึ้นที่ จุดของการเปลี่ยนแปลงจำนวนโนดในโครงข่ายย่อยจาก 13 โนดเป็น 14 โนด มีการเปลี่ยนแปลงทอพอโลยีของการเพิ่มจำนวนโครงข่ายสาขาย่อยเป็นดังรูปที่ 4.9

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายจัดสร้างแต่ละองค์ประกอบของจุดที่ก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของค่าใช้จ่ายจากการออกแบบทั้งสองวิธีจากรูปที่ 4.10 และ 4.11 พบว่าการเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างนั้นเป็นผลเนื่องจากความจำเป็นในการเลือกสวิตซ์ที่มีค่าความจุสูงขึ้น หรือเลือกจำนวนสวิตซ์มากขึ้น เพื่อให้โครงข่ายสามารถรองรับปริมาณความต้องการที่กำหนดที่สูงขึ้นเกินกว่าความสามารถของสวิตซ์ที่เลือกใช้งานเดิม



รูปที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยการใช้ประโยชน์ของโนดหลักเมื่อเพิ่มจำนวนโครงข่ายสาขาย่อย กรณีทุกโนดมีความต้องการในการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับระยะทาง โดยกำหนดค่า K=1

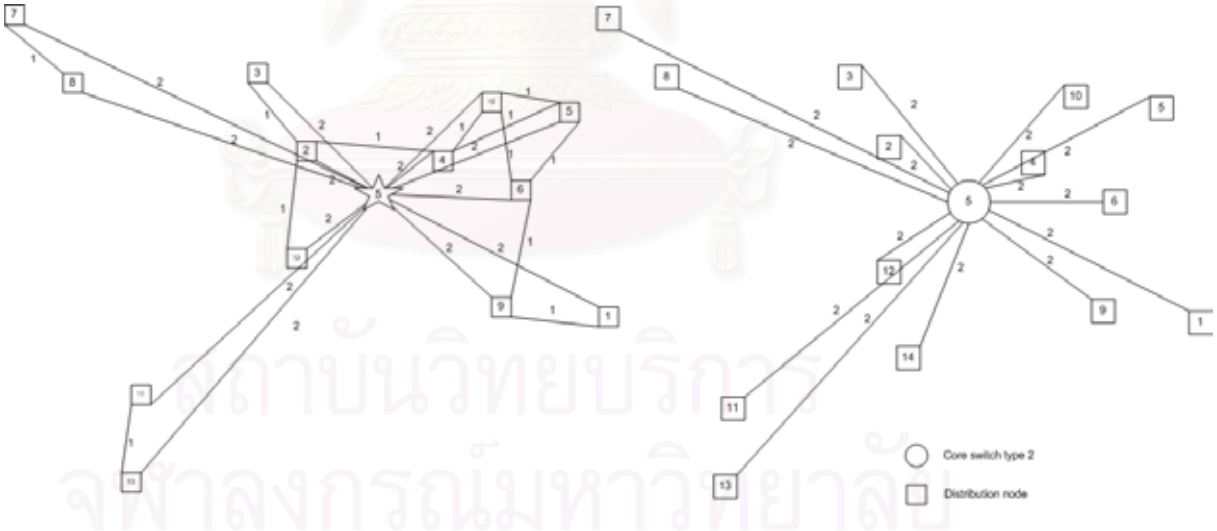


รูปที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยการใช้ประโยชน์ของโนดหลักเมื่อเพิ่มจำนวนโครงข่ายสาขาย่อย กรณีทุกโนดมีความต้องการในการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับระยะทาง โดยกำหนดค่า K=2

ผลลัพธ์ของทอพอโลยีจากวิธีการออกแบบรูปดาวเพื่อรองรับโครงข่ายสาขาย่อย 11 โนด

ผลลัพธ์ของทอพอโลยีจากวิธีการออกแบบรูปดาวเพื่อรองรับโครงข่ายสาขาย่อย 12 โนด

รูปที่ 4.8 ผลลัพธ์การออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยทอพอโลยีรูปดาวเพื่อรองรับโนดในโครงข่ายสาขาย่อย 11 และ 12 โนดตามลำดับ กรณีทุกโนดมีความต้องการในการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับระยะทาง โดยกำหนดค่า K=1

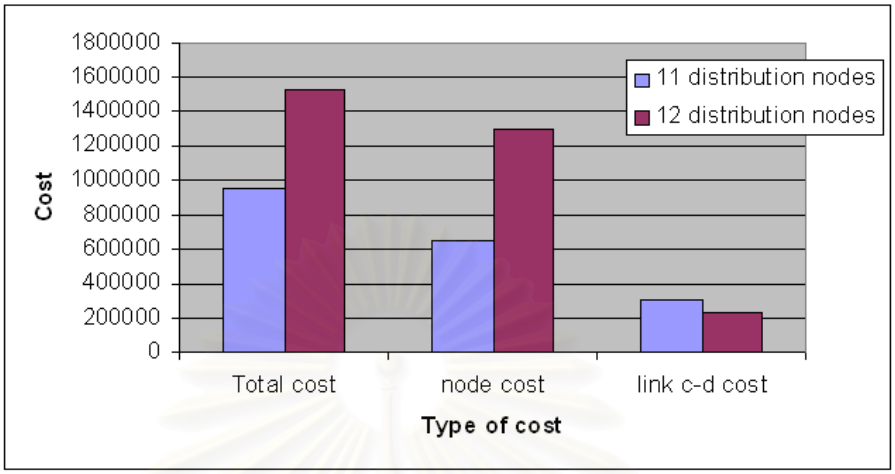


ผลลัพธ์ของทอพอโลยีจากวิธีการออกแบบที่นำเสนอเพื่อรองรับโครงข่ายสาขาย่อย 13 โนด

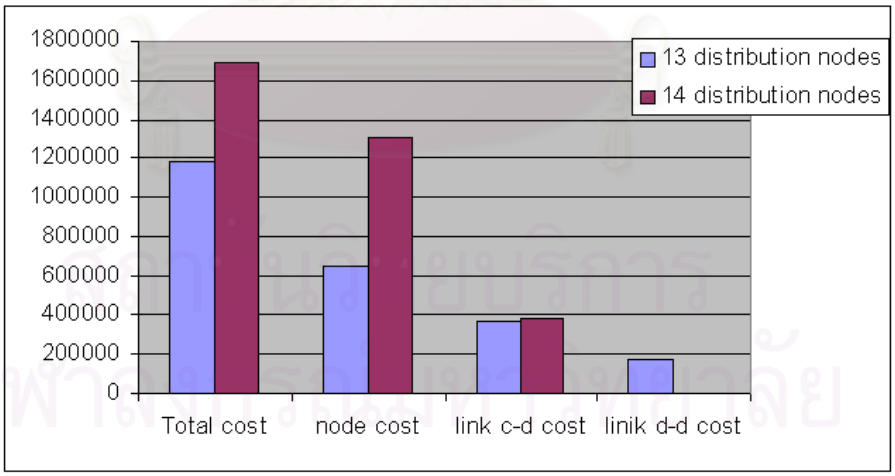
ผลลัพธ์ของทอพอโลยีจากวิธีการออกแบบที่นำเสนอเพื่อรองรับโครงข่ายสาขาย่อย 14 โนด

รูปที่ 4.9 ผลลัพธ์การออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยจากวิธีที่นำเสนอเพื่อรองรับโนดในโครงข่ายสาขาย่อย 13 และ 14 โนดตามลำดับ กรณีทุกโนดมีความต้องการในการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับระยะทาง โดยกำหนดค่า K=1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 ค่าใช้จ่ายแต่ละองค์ประกอบของการออกแบบโครงข่ายย่อยทอพอโลยีรูปดาว เพื่อรองรับโนดในโครงข่ายย่อย 11 และ 12 โนด กรณีทุกโนดมีความต้องการในการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับระยะทาง โดยกำหนดค่า K=1



รูปที่ 4.11 ค่าใช้จ่ายแต่ละองค์ประกอบของการออกแบบโครงข่ายย่อยที่นำเสนอ เพื่อรองรับโนดในโครงข่ายย่อย 13 และ 14 โนด กรณีทุกโนดมีความต้องการในการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับระยะทาง โดยกำหนดค่า K=1

เมื่อเพิ่มจำนวนโนดในโครงข่ายสาขาย่อยจนกระทั่งค่าการใช้ประโยชน์ของสวิตช์ในโครงข่ายหลักถึงค่าสูงสุดที่อนุญาตให้ใช้งานได้ การเชื่อมต่อโดยตรงไม่สามารถลดปริมาณ ทราฟฟิกที่ถูกส่งขึ้นไปยังโครงข่ายหลักได้เพียงพอที่จะทำให้ค่าการใช้ประโยชน์สวิตช์ของโครงข่ายอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดแล้วนั้น ผลลัพธ์ของทอพอโลยีของทั้งสองโครงข่ายเป็นทอพอโลยีเหมือนกัน คือมีลักษณะเป็นทอพอโลยีรูปดาวที่ไม่มีการเชื่อมต่อระหว่างโนดในโครงข่ายสาขาย่อย

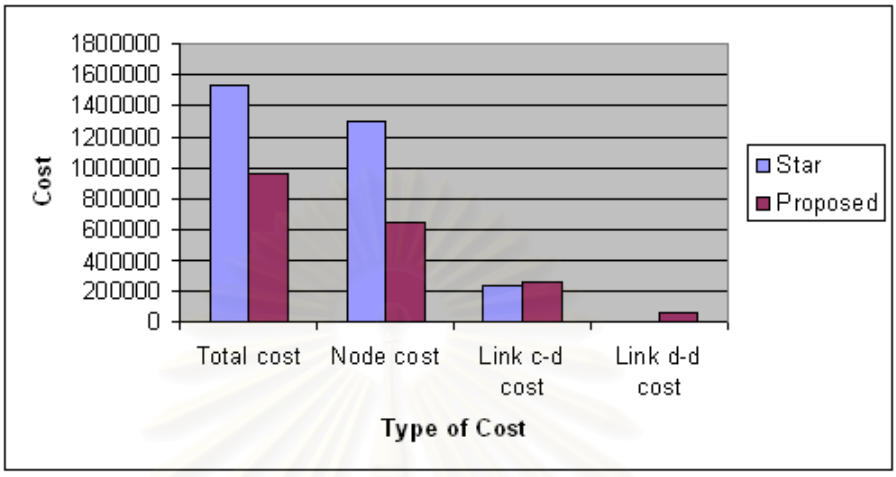
อย่างไรก็ตามเราจะพบว่า มีบางกรณีที่การเชื่อมต่อโครงข่ายสาขาย่อยนั้น ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างรวมลดลง ดังนั้นในหัวข้อถัดไปเป็นการกล่าวถึงการเปรียบเทียบรายละเอียดค่าใช้จ่ายในแต่ละองค์ประกอบที่มีความแตกต่างระหว่างราคาค่าจัดสร้างของจผลลัพธ์จากการออกแบบทั้งสองวิธี

4.2.2 การวิเคราะห์ผลของค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างแต่ละองค์ประกอบของโครงข่าย

ในส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโครงข่ายโดยละเอียด เพื่อวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายแต่ละส่วนย่อย โดยพิจารณาเฉพาะจุดที่มีความแตกต่างกันของค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างระหว่างวิธีการออกแบบที่เสนอและวิธีการออกแบบทอพอโลยีรูปดาวของรูป 4.3 พิจารณาจุดที่การเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายย่อยสามารถลดค่าจัดสร้างรวมของโครงข่าย เมื่อมีจำนวนโนดในโครงข่ายสาขาย่อย 12 โนดและ 13 โนด มีรายละเอียดของค่าจัดสร้างโครงข่ายที่แตกต่างกันดังรายละเอียดในรูปที่ 4.13 และ 4.15 ตามลำดับ

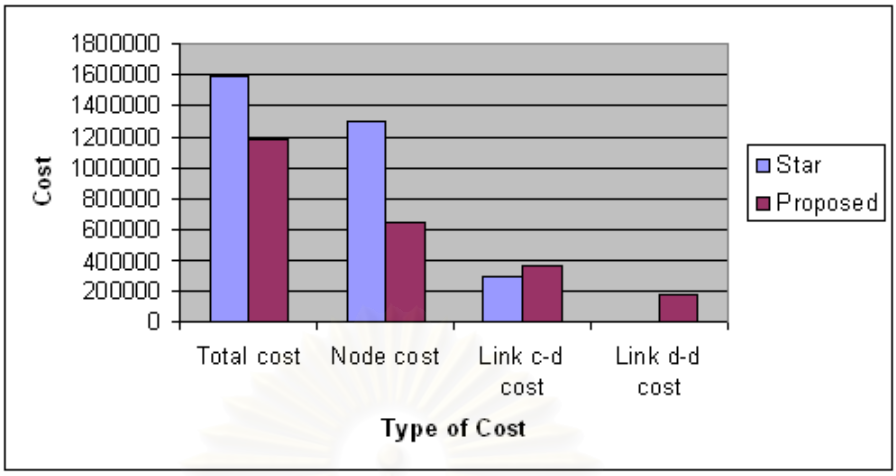
รูปที่ 4.12 ทอพอโลยีของการออกแบบรูปดาวและวิธีที่นำเสนอเพื่อรองรับโนดในโครงข่ายย่อย 12 โนด

เมื่อพิจารณาผลของค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างที่เกิดขึ้นแล้วพบว่า วิธีที่นำเสนอนั้นสามารถลดค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโครงข่ายได้ เนื่องจากเมื่อโครงข่ายต้องรองรับโครงข่ายสาขาย่อย 12 และ 13 คู่โนดนั้นค่าการใช้ประโยชน์ของสวิตช์หลักมีค่าค่อนข้างสูง ดังนั้นถ้าเชื่อมต่อโดยให้ปริมาณ ทราฟฟิก ส่งขึ้นไป



รูปที่ 4.13 ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโครงข่ายเมื่อมีจำนวนโนดในโครงข่ายสาขาย่อย 12 โนด

รูปที่ 4.14 ทอพอโลยีของการออกแบบรูปดาวและวิธีที่นำเสนอเพื่อรองรับโนดในโครงข่ายย่อย 13 โนด



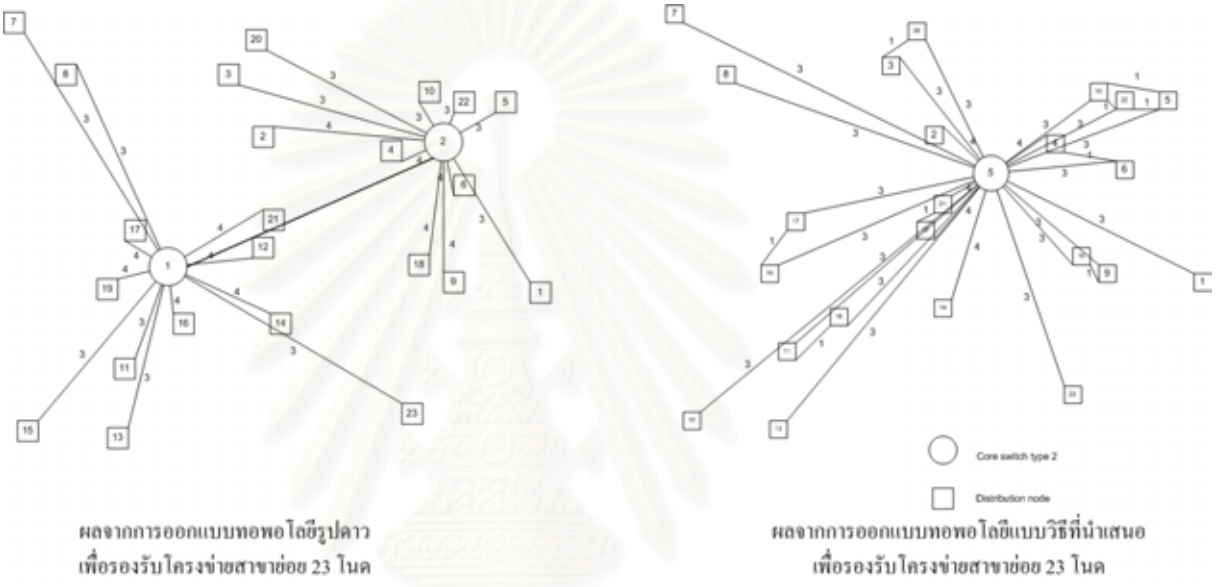
รูปที่ 4.15 ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโครงข่ายเมื่อมีจำนวนโนดในโครงข่ายสาขาย่อย 13 โนด

ยังสวิตช์หลักทั้งหมด ไม่มีการเชื่อมต่อระดับเดียวกันเลยในลักษณะรูปดาว ต้องใช้สวิตช์หลักที่มีความสามารถสูงขึ้น โดยสามารถเลือกได้ 2 วิธี คือเลือกสวิตช์โนดที่มีความจุมากขึ้น หรือเลือกวางสวิตช์ที่มีความจุเท่าเดิมแต่เพิ่มตำแหน่งในการวางสวิตช์หลักให้มากขึ้น เมื่อพิจารณาผลการออกแบบพบว่าการออกแบบรูปดาวเพื่อรองรับโครงข่ายย่อย 12 โนดนั้นเป็นดังรูปที่ 4.12 และ ??นั่นคือเลือกวางสวิตช์ประเภทที่ 1 ใน 2 ตำแหน่ง ในขณะที่การออกแบบวิธีที่นำเสนอนั้น อาศัยการส่งผ่านข้อมูลผ่านข่ายเชื่อมโยงระหว่างคู่โนดลดปริมาณ ทราฟฟิก ที่ส่งไปยังสวิตช์หลักทำให้สวิตช์หลักยังคงมีความสามารถเพียงพอรองรับ ทราฟฟิกทั้งหมดโดยไม่ต้องทำการขยายขนาดหรือเพิ่มจำนวนสวิตช์ ดังนั้นเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างแต่ละองค์ประกอบเมื่อโครงข่ายต้องรองรับโครงข่ายสาขาย่อย 12 โนดนั้น จึงพบว่าค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโนดของวิธีที่นำเสนอนั้นมีค่าน้อยกว่าเนื่องจากใช้สวิตช์ในโครงข่ายหลักเพียงตัวเดียวก็เพียงพอรองรับทราฟฟิกได้ ในขณะที่การออกแบบรูปดาวนั้นต้องใช้สวิตช์ 2 ตัว เป็นผลให้ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโนดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการจัดวางสวิตช์ 2 ตำแหน่งนั้นเป็นผลดีต่อค่าจัดสร้างรวมเนื่องจากสามารถลดราคารวมของข่ายเชื่อมโยงระหว่างโครงข่ายย่อยกับสวิตช์หลักได้ สำหรับการออกแบบโครงข่ายเพื่อรองรับโนดในโครงข่ายย่อย 13 โนดนั้น มีเหตุผลของความแตกต่างระหว่างราคาค่าจัดสร้างเหมือนการออกแบบโครงข่ายเพื่อรองรับโครงข่ายย่อย 12 โนด หากแต่มีราคาค่าจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนดในโครงข่ายย่อยสูงกว่ามีการเชื่อมต่อระหว่างโนดในโครงข่ายย่อยเพื่อลดปริมาณทราฟฟิก มากกว่านั่นเอง

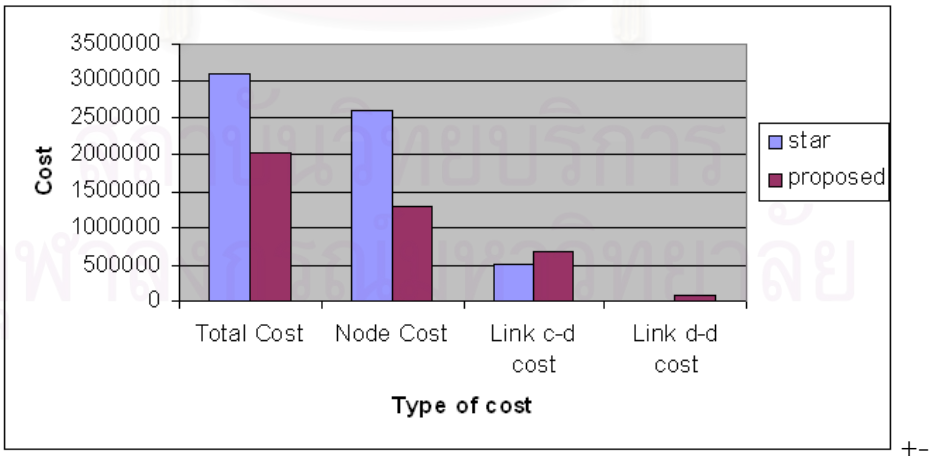
พิจารณารูปที่ 4.13 พบว่าการจัดสร้างโครงข่ายที่นำเสนอนั้น มีค่าในการจัดสร้างโนดที่น้อยกว่าเนื่องจากโครงข่ายต้องการสวิตช์ในโครงข่ายหลักตำแหน่งเดียวในการรองรับความต้องการทั้งหมดของโครงข่าย ในขณะที่การออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยที่มีทอพอโลยีรูปดาวนั้น ต้องการสวิตช์ในโครงข่าย

จำนวน 2 ตำแหน่งเพื่อรองรับความต้องการดังกล่าว อย่างไรก็ตามเราจะพบว่า ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนดหลัก (Link c-d cost) มีค่าลดลงเนื่องจากการจัดวางโนดหลัก 2 ตำแหน่งนั้นทำให้โนดในโครงข่ายสาขาย่อยสามารถเลือกเชื่อมต่อกับโนดหลักที่มีระยะทางใกล้เป็นผลให้ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนดหลักและโนดในโครงข่ายสาขาย่อยมีค่าลดลง ในขณะที่มีค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงโดยตรงถึงกันในระหว่างโนดในโครงข่ายสาขาย่อยที่เพิ่มขึ้น

พิจารณาความแตกต่างของค่าจัดสร้างโครงข่ายสำหรับการรองรับโครงข่ายสาขาย่อย 23 และ 24โนด

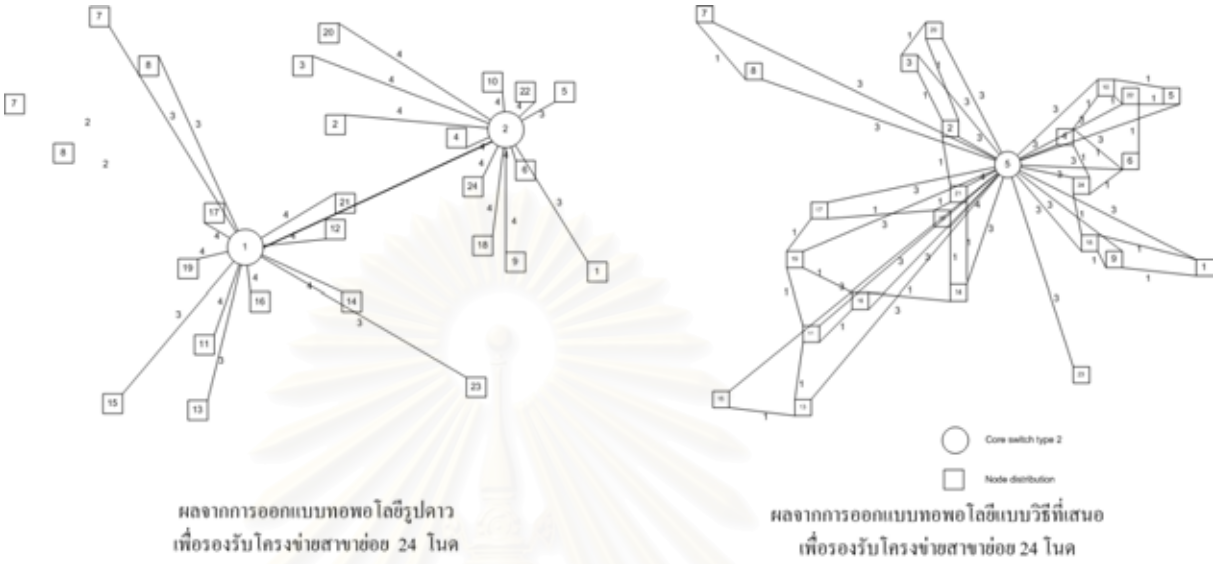


รูปที่ 4.16 ทอพอโลยีของการออกแบบรูปดาวและวิธีที่นำเสนอเพื่อรองรับโนดในโครงข่ายย่อย 23 โนด

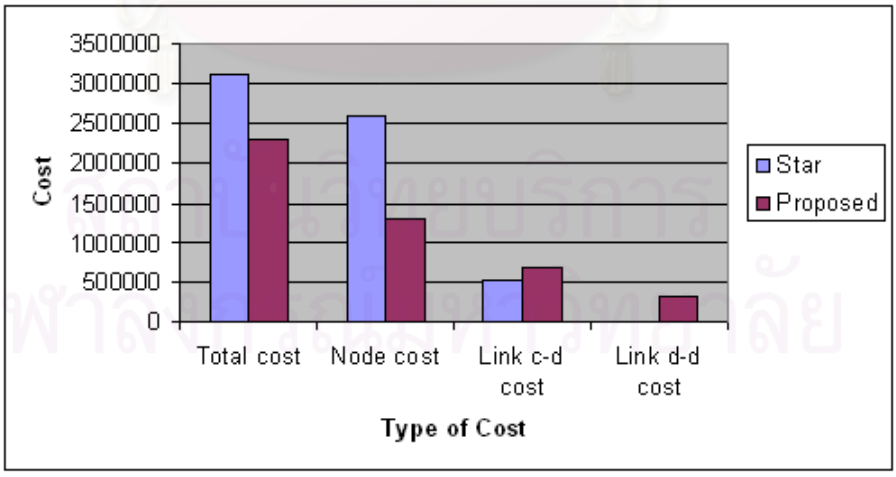


รูปที่ 4.17 ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโครงข่ายเมื่อมีจำนวนโนดในโครงข่ายสาขาย่อย 23 โนด

เป็นดังรูปที่ 4.17 และ 4.19 ตามลำดับ ด้วยเหตุผลในลักษณะเดียวกับความแตกต่างของค่าจัดสร้างเพื่อ



รูปที่ 4.18 ทอพอโลยีของการออกแบบรูปดาวและวิธีที่นำเสนอเพื่อรองรับโนดในโครงข่ายย่อย 24 โนด



รูปที่ 4.19 ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโครงข่ายเมื่อมีจำนวนโนดในโครงข่ายสาขาย่อย 24 โนด

รองรับโครงข่ายสาขาย่อยระหว่าง 12 และ 13 นั่นคือ การออกแบบทอโพโลยีรูปดาวนั้น ต้องการสวิตช์หลัก 2 ตำแหน่ง ในขณะที่การออกแบบโดยวิธีที่นำเสนอนั้นต้องการสวิตช์หลักเพียงตำแหน่งเดียว ดังรูปที่ 4.16 และ 4.18 อย่างไรก็ตามเราจะพบว่าความแตกต่างระหว่างค่าราคาในส่วนนี้มีค่ามากกกว่าความแตกต่างของราคาในช่วงการก้าวกระโดดแรก อันเนื่องมาจากสวิตช์ที่ต้องนำมาใช้นั้น ต้องมีความสามารถในการสวิตช์สูงขึ้นและมีราคาแพงขึ้นด้วย ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของราคาสวิตช์จึงส่งผลต่อความแตกต่างของราคาค่าจัดสร้างสูงกว่า เป็นผลให้ความแตกต่างของค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างของรูปที่ 4.3 ในช่วงที่สองจึงสูงกว่าความแตกต่างของค่าใช้จ่ายจัดสร้างในช่วงแรก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้กล่าวถึงบทสรุปของวิธีการออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยที่นำเสนอ และข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

5.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยโดยพิจารณาการเชื่อมต่อระหว่างบางคู่โนดในโครงข่ายสาขาย่อย เพื่อเป็นเส้นทางเฉพาะสำหรับส่งข้อมูลระหว่างคู่โนดระดับสาขาย่อยบางคู่โนด และกำหนดให้เมื่อจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนดระดับสาขาย่อยคู่โนดใดๆ แล้วนั้น ปริมาณ ทราฟฟิกทั้งหมดระหว่างคู่โนดนั้นถูกสมมติให้ใช้เส้นทางตรงเท่านั้น วัตถุประสงค์ของการออกแบบโครงข่ายคือเพื่อหาค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโครงข่ายที่เหมาะสม สำหรับรองรับปริมาณความต้องการของผู้ใช้ที่กำหนด แต่เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำเสนอนั้นมีบางเงื่อนไขข้อบังคับที่ไม่เป็นเชิงเส้น จึงเพิ่มเติมเงื่อนไขบังคับช่วยบางประการในการผลเฉลยต่ำที่สุดของค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างโครงข่าย และปรับลักษณะของแบบจำลองการออกแบบโครงข่ายที่นำเสนอให้อยู่ในรูปของโปรแกรมจำนวนเต็มเชิงเส้น (Integer linear programming) เพื่อหาผลเฉลยของปัญหาย่อย 6 ปัญหา คือปัญหาการเลือกจำนวนของโนดในระดับหลัก ปัญหาการเลือกตำแหน่งของจุดที่ตั้งของโนดในระดับหลัก ปัญหาการเลือกขนาดของสวิตช์ที่ใช้ในโนดหลัก ปัญหาการเลือกการเชื่อมต่อโนดในระดับสาขาย่อยเข้าสู่โนดในระดับหลัก ปัญหาการเลือกสร้างเส้นทางตรงสำหรับบางคู่โนดในระดับโครงข่ายสาขาย่อย และปัญหาการจัดวางค่าความจุในแต่ละข่ายเชื่อมโยง ผลการทดลองของวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับการออกแบบโครงข่ายย่อยที่มีทอพอโลยีรูปดาวพบว่า

1. ผลการทดลองพบว่า การออกแบบโครงข่ายหลายระดับด้วยวิธีที่นำเสนอนั้น ให้ผลเหมือนกับการออกแบบโครงข่ายทอพอโลยีรูปดาว ในกรณีที่โนดในโครงข่ายหลักมีค่าการใช้ประโยชน์ไม่เต็มที่ แต่ในบางกรณีพบว่าวิธีที่นำเสนอที่อนุญาตให้มีการเชื่อมต่อระหว่างโนดในโครงข่ายสาขาย่อยนั้น ให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมของโครงข่ายต่ำกว่าการออกแบบโครงข่ายรูปแบบทอพอโลยีรูปดาว

2. เมื่อโนดในโครงข่ายสาขาย่อยมีมากขึ้น ทำให้ค่าใช้จ่ายของโครงข่ายเพิ่มขึ้นจากการเชื่อมต่อข่ายเชื่อมโยง และเมื่อเพิ่มจำนวนโนดในโครงข่ายสาขาย่อยจนถึงค่าหนึ่ง พบว่าค่าใช้จ่ายของโครงข่ายเพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดด เนื่องจากการเพิ่มจำนวนหรือขนาดสวิตช์ของโนดในโครงข่ายหลัก ซึ่งการออกแบบด้วยวิธีที่นำเสนอนั้นมีการก้าวกระโดดของ ค่าใช้จ่ายช้ากว่าการออกแบบโครงข่ายรูปแบบทอพอโลยีรูปดาว ในทุกรูปแบบของทราฟฟิกที่ใช้การทดลอง

3. ในกรณีที่จำนวนโนดในโครงข่ายสาขาย่อยมีจำนวนเท่ากัน เมื่อปริมาณความต้องการเพิ่มขึ้นทำให้ค่าการใช้ประโยชน์ของสวิตซ์หลักสูงขึ้นด้วยเช่นกันเป็นผลให้ค่าใช้จ่ายของโครงข่ายเพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดด เนื่องจากการเพิ่มจำนวนหรือขนาดสวิตซ์ของโนดในโครงข่ายหลักเกิดขึ้นเร็วยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตามแม้ว่าในการทดลองนั้นได้กำหนดค่าใช้จ่ายคงที่ในการจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงให้แปรผันตามระยะทางระหว่างคู่โนด แต่ในทางปฏิบัติแล้วค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงระหว่างคู่โนดอาจจะไม่ได้แปรผันโดยตรงตามระยะทางก็ได้ เช่น สภาพทางภูมิศาสตร์ระหว่างบางคู่โนดนั้นไม่สะดวกในการเดินสาย ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างสูงถึงแม้อยู่ใกล้กันก็ตาม หรือกรณีที่ใช้ต้องการเชื่อมต่อระหว่างบางคู่โนดด้วยโครงข่ายไร้สายแทน เป็นต้น ในกรณีดังกล่าวสามารถใช้งานแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำเสนอได้ โดยแทนค่าใช้จ่ายคงที่เป็นจำนวนเงินที่ต้องใช้ในการจัดสร้างลงในตัวแปรแทนค่าใช้จ่ายคงที่ของการจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงในฟังก์ชันจุดประสงค์โดยตรง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการออกแบบโครงข่ายที่นำเสนอนั้น พิจารณาการเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายสาขาย่อยไปยังโนดในโครงข่ายสาขาหลักเพียงโนดเดียวเท่านั้นดังสมการ (3.6) อย่างไรก็ตามสำหรับบางโครงข่ายที่ต้องการความอยู่รอด (survivability) ที่เพิ่มขึ้น สามารถนำแบบจำลองที่นำเสนอนี้ไปปรับเปลี่ยนสมการ (3.6) ให้มีการเชื่อมต่อกับโครงข่ายหลักมากกว่าหนึ่งโนด

2. ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการออกแบบโครงข่ายย่อยที่นำเสนอนั้น พิจารณาการเชื่อมต่อระหว่างคู่โนดในระดับโครงข่ายสาขาย่อยเพื่อส่งผ่านทราฟฟิก ทั้งหมดถึงกัน โดยไม่พิจารณาการแบ่ง ทราฟฟิก เป็นหลายส่วนเพื่อส่งผ่านข้อมูลไปยังปลายทางด้วยเส้นทางที่ต่างกัน ซึ่งการพิจารณาการแบ่งทราฟฟิก ดังกล่าวนั้น อาจทำให้ค่าใช้จ่ายในการวางความจุลงบนเส้นทางข่ายเชื่อมโยงที่เชื่อมระหว่างสองคู่โนดในโครงข่ายสาขาย่อยลดลง นั่นคือสามารถทำให้ค่าจัดสร้างรวมของโครงข่ายน้อยลงด้วยเช่นกัน

3. ในแบบจำลองโครงข่ายที่นำเสนอนั้น มุ่งเน้นการออกแบบโครงข่ายสาขาย่อยเป็นหลัก โดยไม่คำนึงถึงลักษณะทอพอโลยีของโครงข่ายหลักที่อาจส่งผลกระทบต่อการจัดสร้างโครงข่ายสาขาย่อยที่ต่างกัน

รายการอ้างอิง

[1] S. Tanenbaum. Computer Networks. Prentice Hall (1996).

[2] H. Birkner. Cisco Internetwork Design. Cisco Systems. Cisco Press (2000).

[3] C. Noronha and F. Tobagi.The Evolution of Campus Networks Towards Multimedia. IEEE COMPCOM Spring'93.: 49-58.

[4] V. Tone and C. Mojca.Estimating the Computer Network Traffic. IASTED Conference on Modelling 11.(1992).

[5] V. Tone and C. Mojca.A Structured Approach to Network Backbone Traffic Estimation. Conference on Parallel and Distribution Computer Systems 1.(1996).

[6] A.Gersht and R. Weihmayer.Joint Optimization of Data Network Design and Facility Selection . Journal on Selected Areas in Communication 8.(1990): 1667-1681.

[7] Sung-hark Chung, Young-soo Myung and Dong-wan Tcha.Optimal Design of A Distributed Network with a two-level hierachical structure. European Journal of Operational Research 62.(1992):105-115.

[8] Lee Y., Qiu Y. , and Ryan J.Branch and Cut algorithms for a Steiner tree-Star Problem. US west technologies. (1994).

[9] Lee C., Ro, H. and Dong wan Tcha. Topological Design of a Two-level Network with Ring-Star Configuration. Computers and Operational Research 20. (1993): 625-637.

[10] Jae-gyun kim, Dong wan Tcha. Optimal Design of A Two-Level Hierarchical Network with Tree-Star Configuration. Computers ind. Eng 22. (1992):273-281.

[11] S. Chamberland, O. Marrcotte, B. Sanso. On the Joint Topological, Dimensioning and Location Problem for Broadband Networks. IFIP Broadband (1996):525-536.

[12] Cisco system, Inc., Gigabit Campus Network Design-Principles and Architecture. (1999) . Available from: http://www.cisco.com. (18 November 2003)

[13] Cisco system. Inc., Internetworking Design Basics.(1999) . Available from: http://www.cisco.com. (18 November 2003)

[14] G. Carello, F. Della Croce, L. De Giovanni, M. Quagliotti and R.Tadei. Optimal Telecommunication Network Design: problems, methods and applications. (2002) .Available from: http://exp.telecomitalialab.com . (12 May 2004)

[15] B. Sanso and P. Soriano.Telecommunications Network Planning. Kluwer Academic Publishers (2001).

[16] Boorstyn,R.R,and Frank,H.Large-scale network topological optimization.IEEE Transaction on Communication 25. (1977):29-47.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทความทางวิชาการจากวิทยานิพนธ์

[1] Chaiyachet Saivichit and Janjira Ananatawittayanon .Unconventional Internetworking Considerations for Hierarchical Enterprise Network. 28th Electrical Engineering Conference (EECON-28). (November 2004): 793-796

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Unconventional Internetworking Considerations for Hierarchical Enterprise Networks

Chaiyachet Saivichit and Janjira Anantawittayanon
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
Chulalongkorn University, Bangkok, 10330, Thailand
Phone 0-2218-6907, Fax 0-2218-6912, E-mail Chaiyachet.S@Chula.ac.th

Abstract

This paper proposed a topology design approach of subnetwork in hierarchical network. The design approach is formulated as an integer programming problem. Our objective is to find the cost effective structure of hierarchical network by reducing the cost of subnetwork level. By comparing the network designed by our approach with the network designed by the traditional method, our network cost is always less than or equal to the traditional network. Moreover, in an extreme case, the cost could be reduced by 40 percent.

Keywords: Hirerarchical network;network design; topology design

1. INTRODUCTION

Due to the explosive growth of telecommunication technologies, no one can deny that we are now living in the information age. Therefore, the problems of how to design networks servicing a large number of users became crucial because even the campus networks must support more than thousands users. Consequently, most of campus networks were designed as multilevel hierarchical networks consisting of many subnetworks separated by geographical, administrative and addressing reasons [1]. Subnetwork nodes are connected to segments, which are connected to end users, and to backbone network.

Because of the design problem complexity, generally network design problems are broken into phases where each phase handles a subproblem and makes decisions which are fixed and used as input to the next phase [2]. To assign subnetwork nodes to each backbone node, this can be viewed as a general version of hub location problem. Most of the facility location problems assigned the low level nodes to the backbone node as star topology [3]. Many research works have tried to avoid drawbacks of the problem by proposing methods to design problem as a whole, i.e. designing both backbone network and subnetwork simultaneously [4], [5], [6]. However, all of their assumptions about the subnetwork topologies are star, ignoring the chance to connect any subnetwork node together even though some of them are close and have a lot of traffic flow across. Therefore, this paper was developed by the assumption that if we connect subnetwork to backbone network without any subnetwork pair connection may lead to the penalties of network costs.

The next section describes the model formulation, while Section 3 reports the findings of our design method. At last, the conclusion section includes suggested future implications of this paper.

2. MODEL FORMULATION

In this paper we considered subnetwork node assignment problem where subnetwork node can possibly be connected together due to connecting feasibility factors such as the obstruction, distant and geography.

We assume that the following information is known. (1) the location of subnetwork nodes; (2) the inter-traffic between each subnetwork; (3) the locations of backbone candidate nodes; (4) the set-up cost of each type of switch at every backbone candidate node, its capacity and number of port; (5) the set up link cost; (6) the cost per module of link and capacity per module of each link; (7) the maximum number of ports in each node; (8) the feasibility value of possible connection of any node pairs in subnetworks. We assumed that once the subnetwork link is constructed, it can be only a direct link exchanging the flow between its origin and destination node.

2.1 Notations

- I : set of backbone candidate nodes
- J : set of subnetwork nodes
- T : set of types of switch in each backbone candidate nodes where t_i is the number of types of switch at node i
- t_i : number of types of switch i
- f^{it} : set-up cost of backbone candidate nodes when switch type t is chosen
- f_j^{it} : set-up cost of link between subnetwork node i and backbone node j in case that switch type t is chosen
- f_{jk} : set up cost of link between subnetwork node j and subnetwork node k ($f_{jk} = 0$ if $j \geq k$)

- c_j^{it} : variable cost (per one module) of link between subnetwork node i and backbone node j in case that switch type t is chosen
- c_{jk} : variable cost (per one module) of link between subnetwork node j and subnetwork node k ($c_{jk} = 0$ if $j \geq k$)
- d_{jk} : demand in Mbps from subnetwork node j to subnetwork node k
- P_j : maximum number of ports of subnetwork node j
- P^{it} : maximum number of ports of switch type t at node i
- N^{it} : capacity in Mbps of switch type t at node i
- m_j^{it} : number of modules required on link between subnetwork node j and backbone node i when switch type t is chosen
- m_{jk} : number of modules required on link between subnetwork node j and subnetwork node k ($m_{jk} = m_{kj}$)
- L_j^{it} : capacity in Mbps per one module of link between subnetwork node j and backbone node i when switch type t is chosen
- L_{jk} capacity in Mbps per one module of link between subnetwork node j and subnetwork node k ($L_{jk} = L_{kj}$)
- k_j^{it} maximum number of modules which can be installed on link between subnetwork node j and backbone node i when switch type t is chosen
- k_{jk} maximum number of modules which can be installed on link between subnetwork node j and subnetwork node k
- s_{jk} = 1 if there is a feasibility to set up link between subnetwork j and subnetwork node k,
  = 0; otherwise
- x^{it} = 1 if backbone candidate node i is chosen by using switch type t,
  = 0 ; otherwise
- x_j^{it} =1 if subnetwork node j is assigned to backbone candidate node i which uses switch type t,
  = 0; otherwise
- x_{jk} =1 if link between subnetwork node j and subnetwork node k is installed
  = 0 ; otherwise
- γ_{jk}^{it} =1 if subnetwork node j is assigned to backbone node i which uses switch type t and link there is no link between subnetwork node j and subnetwork node k
  = 0 otherwise
  (Note that $\gamma_{jk}^{it} = x_j^{it} \times (1 - x_{jk})$)

2.2 Subnetwork design problem formulation

We formulated our subnetwork design problem as the following integer programming presentation.

Objective function

Minimize

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{t_i}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{J} f^{it}x^{it} + f_j^{it}x_j^{it} + c_j^{it}m_j^{it} + f_{jk}x_{jk} + c_{jk}\,m_{jk} \quad (1)$$

The objective function is to minimize the total cost of network composed of set up cost and variable cost which depends on the number of required link modules.

Subject to

$$\sum_{t=1}^{t_{i_i}} x^{it} \leq 1 \qquad \forall i \in I \qquad (2)$$

Constraint (2) represents a condition that only one type of switch can be used at each backbone node.

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{t_i} x_j^{it} = 1 \qquad \forall j \in J \qquad (3)$$

$$x_j^{it} \leq x^{it} \qquad \forall j \in J \;\; \forall i \in I \qquad (4)$$

Constraint (3) and (4) dictate that each subnetwork node must be assigned to only one backbone node which is chosen.

$$\sum_{j=1}^{J} m_j^{it} L_j^{it} \leq N^{it} x^{it} \;\; \forall i \in I \;\; \forall t \in T_i \qquad (5)$$

$$\sum_{j=1}^{J} m_j^{it} \leq p^{it} x^{it} \qquad \forall i \in I \;\; \forall t \in T_i \qquad (6)$$

Constraint (5) and (6) are the limitations of backbone node capacity and port respectively.

$$m_j^{it} \leq k_j^{it} x_j^{it} \qquad \forall j \in J \;\; \forall i \in I \;\; \forall t \in T \qquad (7)$$

$$m_j^{it} \geq x_j^{it} \qquad \forall j \in J \;\; \forall i \in I \;\; \forall t \in T \qquad (8)$$

Constraint (7) and (8) are conditions of required modules on link between subnetwork node and backbone node.

$$x_{jk} \leq s_{jk} \qquad \forall j \in J \;\; \forall k \in J \qquad (9)$$

$$m_{jk} \leq k_{jk} x_{jk} \qquad \forall j \in J \;\; \forall k \in J \qquad (10)$$

$$m_{jk} \geq x_{jk} \qquad \forall j \in J \ \ \forall k \in J \qquad (11)$$

Constraint (9), (10) and (11) are conditions of the number of modules on link between any node pair in subnetwork level..

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{t_i} m_j^{it} + \sum_{k=1}^{J} m_{jk} \leq P_j \qquad (12)$$

Constraint (12) is a condition that the total modules connected to each subnetwork node cannot be more than its available ports.

$$d_{jk} x_{jk} \leq m_{jk} L_{jk} \quad \forall j \in J \ \forall k \in J \qquad (13)$$

$$\sum_{k=1}^{J} d_{jk} \gamma_j^{it} \leq m_j^{it} L_j^{it} \quad \forall j \in J \quad \forall i \in I \ \ \forall t \in T \qquad (14)$$

$$\sum_{k=1}^{J} d_{kj} \gamma_j^{it} \leq m_j^{it} L_j^{it} \quad \forall j \in J \ \ \forall i \in I \ \ \forall t \in T \qquad (15)$$

where

$\gamma_{jk}^{it} = x_j^{it} \times (1 - x_{jk})$

Constraint (13), (14) and (15) are link capacity constraints. As we know that term $x_j^{it} \times (1 - x_{jk})$ is a quadratic term, so we linearized it by using three following equations.

$$\gamma_{jk}^{it} \leq x_j^{it} \qquad \forall j \in J \ \forall k \in J \ \forall i \in I \ \forall t \in T \qquad (16)$$

$$\gamma_{jk}^{it} \leq (1 - x_{jk}) \qquad \forall j \in J \ \forall k \in \mathrm{J} \ \forall i \in I \ \forall t \in T \qquad (17)$$

$$x_j^{it} - x_{jk} \leq \gamma_{jk}^{it} \qquad \forall j \in J \ \forall k \in j \ \forall i \in I \ \forall t \in T \qquad (18)$$

3. NUMERICAL RESULTS

In this section two experiments were computed by using CPLEX Mixed Integer Optimizer program. The objective of our experiment is to find the network cost by comparing the cost of our designed networks with a traditional star network design. First objective of the first experiment is to obtain the topologies of the same input networks which used different design method. The objective of the second experiment is to compare the cost of network when various numbers of subnetworks were adopted.

3.1 Experiment 1

In this experiment we assumed that there are 3 locations where backbone nodes can be installed, represented by the pentagon in figure 1.The subnetwork nodes are represented by the circles around those pentagons. We assume that the demand patterns of all node pair are uniform. At each site, we assume that there are two types of switches are provided, but only one type of switch can be used at each site. Where the cost, capacity and ports of switch type 2 is twice greater than switch type 1. The variable costs per module and feasibility values depend on the distances between each node pair.

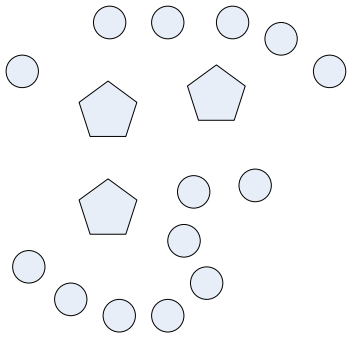


Figure 1 Input for experiment 1

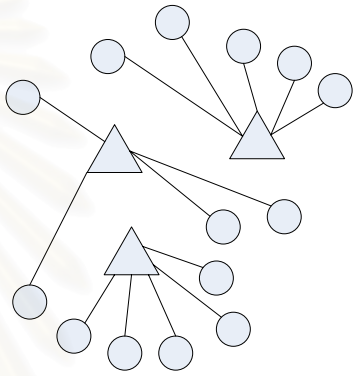


Figure2 Output of experiment 1 when traditional design approach is used.

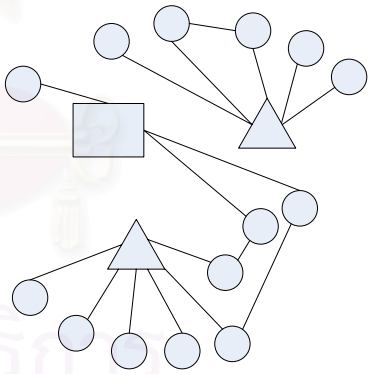


Figure 3 Output of experiment 1 when our design approach is used.

In Figure 2 and 3, square and triangle represent switch type 1 and type 2 respectively. The network cost of star topology is 964 unit prices while the other is 851 unit prices. In figure 3, one of the backbone nodes can use a smaller switch because they have connections in subnetwork level which leads to the smaller amount of traffic sent to backbone node. The smaller switch used results in lower cost because the switch price is more expensive than the link price.

3.2 Experiment 2

In this experiment, we set the conditions similar to the first experiment that there are three locations of candidate backbone site where each site has two types of provided switch. The traffic patterns are still uniform as same as the previous experiment. However we varied the number of subnetwork nodes from 4 to 15 nodes to find out the cost of network when each design method is used.

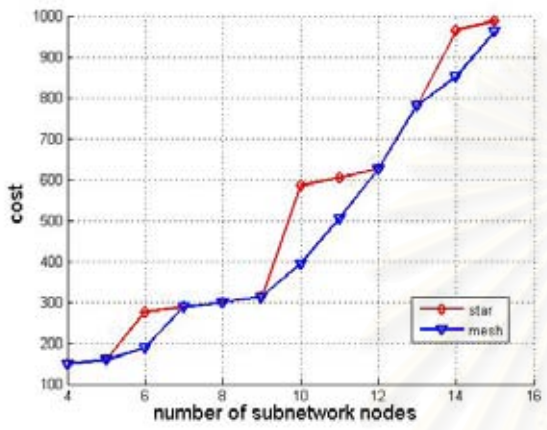


Figure 4 The comparison of network cost when various number of subnetwork is used

Figure 4 shows that the cost of network designed by our approach less than or equal to cost of the traditional network for every number of subnetwork node. The most distinctive case is when the number of subnetwork nodes equals to 10. The cost difference is about 40 percent because the network designed by our approach requires only 2 backbone node while the traditional network need at least 3 backbone nodes.

4. CONCLUSIONS AND FUTURE IMPLICATIONS

We have presented a method to design the subnetwork in hierarchical network. Our findings show that by using our designed approach, there is no case that our designed approach leads to the higher network cost. As we know that once the subnetwork are connected, the backbone load will be reduced which lead to the decrease of total network cost since the cost of backbone network is much more expensive than subnetwork link cost.

By using the link between subnetwork nodes as a direct link, we expect that the delay of the packet should be better than sent flow though backbone network, especially in case that the backbone network is congested. The routing table is one of parameter must be considered since our design method give the more complex network. Our ongoing work will focus on the over all network design, which design both backbone network and subnetwork simultaneously, because we truly believe that it will lead to the more cost effective network.

5. REFERENCES

[1] C. Noronha and F. Tobagi, "The Evolution of Campus Networks Towards Multimedia,"IEEE COMPCOM Spring'93, pp 49-58

[2] B. Sanso, P. Soriano, ”Telecommunications Network Planning,” Kluwer Academic Publishers 2001

[3] G. Carello, F. Della Croce, L. De Giovanni, M. Quagliotti, R.Tadei, “Optimal Telecommunication Network Design: problems, methods and applications,” http://exp.telecomitalialab.com September 2002

[4] Jae-gyun kim, Dong wan tcha, “Optimal Design of A Two-Level Hierarchical Network with Tree-Star Configuration,” Computers ind. Engng Vol.22, No.3, pp. 273-281, 1992

[5] Sung-hark Chung, Young-soo Myung, Dong-wan Tcha, “Optimal Design of A Distributed Network with a two-level hierachical structure,”European ournal of Operational Research 62, pp. 105-115, 1992

[6] S. Chamberland, O. Marrcotte, B. Sanso, "On the Joint Topological, Dimensioning and Location Problem for Broadband Networks”, IFIP Broadband 96, pp. 525-536

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

จันทร์จิรา อนันตวิทยานนท์ เกิดเมื่อวันที่ 9 ธันวาคม พ.ศ. 2522 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า ในปี พ.ศ. 2541 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จนสำเร็จหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตในปี พ.ศ. 2545 ก่อนเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จนสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2549

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย