การออกแบบการป้องกันโครงข่าย WDM สำหรับมัลติคาสต์ทราฟฟิกเมื่อหนึ่งข่ายเชื่อมโยงได้รับความเสียหายโดยใช้อัลกอริทึมฮิวริสติก

นายอนุชิต มั่นจิรังกูร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549

ISBN 974-14-2511-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DESIGN OF WDM NETWORK PROTECTIONS FOR MULTICAST TRAFFIC WITH SINGLE LINK FAILURE USING HEURISTIC ALGORITHMS

Mr. Anuchit Munjirungkoon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

ISBN 974-14-2511-2

490044

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบการป้องกันโครงข่าย WDM สำหรับมัลติคาสต์ทราฟฟิก เมื่อหนึ่งข่ายเชื่อมโยงได้รับความเสียหายโดยใช้อัลกอริทึมฮิวริสติก
โดย	นายอนุชิต มั่นจิรังกูร
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร.ชุติมา พรหมมาก

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พสุ แก้วปลั่ง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร.ชุติมา พรหมมาก)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาวน์ดิศ อัศวกุล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร)

อนุชิต มั่นจิรังกูร : การออกแบบการป้องกันโครงข่าย WDM สำหรับมัลติคาสต์ทราฟฟิก เมื่อหนึ่งข่ายเชื่อมโยงได้รับความเสียหายโดยใช้อัลกอริทึมฮิวริสติก (DESIGN OF WDM NETWORK PROTECTIONS FOR MULTICAST TRAFFIC WITH SINGLE LINK FAILURE USING HEURISTIC ALGORITHMS) อ. ที่ปรึกษา: รศ.ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ, อ. ที่ปรึกษาร่วม: ดร.ชุติมา พรหมมาก, 102 หน้า. ISBN 974-14-2511-2

วิทยานิพนธ์นี้ เสนอการออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมฮิวริสติกสำหรับการป้องกันโครงข่าย WDM สำหรับทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์เมื่อหนึ่งข่ายเชื่อมโยงได้รับความเสียหาย เพื่อรองรับปริมาณทราฟฟิกทั้งในสภาวะการทำงานปกติและสภาวะการเกิดความเสียหายที่ข่ายเชื่อมโยงหนึ่งข่าย ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาอัลกอริทึมฮิวริสติกด้วยกัน 3 ชนิด ได้แก่ อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ Local Search (LS) อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ Simulated Annealing (SA) อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ Tabu Search (TS) โดยนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการออกแบบการจัดสรรและกำหนดความยาวคลื่น และ กลยุทธ์การป้องกันโครงข่าย 2 วิธี คือ กลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ PBF (Physical Branch Fixed) และ กลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ OMP (Optical Mesh Protection) อีกทั้งยังศึกษาถึงผลกระทบของการมีอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นติดตั้งอยู่ในระบบด้วย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำมาค้นหาผลเฉลยเพื่อให้ได้จำนวนเส้นใยนำแสงของระบบน้อยที่สุด

จากการวิเคราะห์ผลเฉลยสามารถสรุปได้ว่า ในงานออกแบบการหาค่าที่เหมาะที่สุดโดยใช้อัลกอริทึมฮิวริสติกนั้น สามารถจำแนกลักษณะปัญหาของงานได้ 2 แบบ คือ งานที่มีความซับซ้อนน้อยหรือขนาดเล็ก และงานที่มีความซับซ้อนมากหรือขนาดใหญ่ ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองนั้น อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ LS จะมีความเหมาะสมกับงานที่มีความซับซ้อนน้อยหรือขนาดเล็ก เนื่องจากให้ค่าคำตอบที่มีความเหมาะสมในเวลาที่ค่อนข้างรวดเร็ว แต่เมื่องานมีความซับซ้อนมากหรือขนาดใหญ่ขึ้น การใช้อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ TS จะมีความเหมาะสมมากกว่าเนื่องจากอาศัยพื้นที่หน่วยความจำในการประกอบการตัดสินใจยอมรับคำตอบ และอัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ SA จะอยู่ตรงกลางระหว่างสองอัลกอริทึมข้างต้น โดยกระบวนการตัดสินใจมีการยอมรับคำตอบที่ด้อยกว่าเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดปัญหาค่าที่เหมาะที่สุดเฉพาะที่ จึงเพิ่มโอกาสในการค้นพบค่าที่เหมาะที่สุดในเวลาที่เหมาะสม

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต อนุชิต มั่นจิรังกูร

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2549

4670584321 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: WDM / Protection / Optimization / MC-RWA / LS / SA / TS

ANUCHIT MUNJIRUNGKOON: DESIGN OF WDM NETWORK PROTECTIONS FOR MULTICAST TRAFFIC WITH SINGLE LINK FAILURE USING HEURISTIC ALGORITHMS. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. LUNCHAKORN WUTTISITTIKULKIJ, Ph.D., THESIS COADVISOR: CHUTIMA PROMMAK, Ph.D., 102 pp. ISBN 974-14-2511-2

This thesis presents the heuristic algorithm which is designed in order to protect the multicast traffic of the WDM network with single link failure occurs, and also to route the path of the network in normal operation. The designed algorithms, Local Search (LS), Simulated Annealing (SA) and Tabu Search (TS), are to be applied with two protecting strategies, PBF (Physical Branch Fixed) and OMP (Optical Mesh Protection). In addition, this thesis also studys contains the impact of the wavelength converters in a given system. The objective of the algorithm's design is to find the minimum fiber solutions and reduces the execution time.

In optimization design by using heuristic algorithm, The problems can be devided into two groups, low-complexity or small network problem and high-complexity or large network problem. The simulation results show that each proposed algorithm is suitable for different kind of WDM network. LS algorithm is most suitable for low-complexity or small network because of its fast execution time. In contrast, for high-complexity or large network, it is more appropriate to use TS algorithm, because of its larger memory space, SA algorithm is a compromise between LS and TS algorithm with sub-optimal solution and appropriate execution time.

Department Electrical Engineering Student's Signature Anuchit Munjirungkoon

Field of Study Electrical Engineering Advisor's Signature

Academic Year 2006

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งของ รศ. ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ อ.ดร.ชุติมา พรหมมาก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในงานวิจัยด้วยดีเสมอมา รวมทั้งการกระตุ้นเอาใจใส่ทำให้งานวิจัยสำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณเจริญชัย บวรธรรมรัตน์ คุณกนกภรณ์ วีสเพ็ญ คุณวรางรัตน์ วัฒนวรากุล คุณกำพล วรดิษฐ์ และ คุณกอปเทพ ไชยเสน สำหรับคำปรึกษา กำลังใจ และความช่วยเหลือตลอดการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร ชั้น 13 ตึกวิศวกรรมไฟฟ้า 4 ทุกท่าน และเพื่อน ๆ ที่เคยศึกษากับผู้วิจัยด้วยกันมาในระดับปริญญาตรี โดยเฉพาะเพื่อน ๆ ในชั้นปีเดียวกันที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และข้อคิดที่ดีมาโดยตลอด ทำให้การศึกษาปริญญามหาบัณฑิตที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเต็มไปด้วยคุณค่าและความหมายดี ๆ สำหรับผู้วิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และ พี่น้องทุกคนในครอบครัวของผู้วิจัย ที่มีส่วนร่วมให้การสนับสนุนทางด้านการเงินและระยะเวลาที่ศึกษามาตลอดถึงระดับปริญญาโท ให้มีแรงผลักดันจนสามารถบรรลุตามเป้าหมายได้ด้วยเป็นอย่างดี

อนุชิต มั่นจิรังกูร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฒ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 5

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 5

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน 6

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

2 แนวทางในการออกแบบโครงข่าย WDM เพื่อรองรับทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์ 7

2.1 โครงข่าย WDM 7

2.2 การจัดสรรเส้นทางและกำหนดความยาวคลื่นให้กับทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์บนโครงข่าย WDM 9

2.2.1 การจัดสรรเส้นทาง (Routing) 10

2.2.2 การกำหนดความยาวคลื่น (Wavelength Assignment) 11

2.3 การป้องกันโครงข่ายเมื่อหนึ่งข่ายเชื่อมโยงได้รับความเสียหาย 13

2.3.1 กลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ PBF (Physical Branch Fixed) 14

2.3.2 กลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ OMP (Optical Mesh Protection) 15

3 อัลกอริทึมฮิวริสติก 17

3.1 อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ LS 17

3.1.1 หลักการทั่วไปของอัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ LS 18

3.2 อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ SA 18

3.2.1 หลักการทั่วไปของอัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ SA 19

3.2.2 หลักการทำงานของอัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ SA 19

บทที่ หน้า

3.3 อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ TS 22
3.3.1 หลักการทั่วไปของอัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ TS 22
3.3.2 หลักการทำงานของอัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ TS 23
3.4 การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมฮิวริสติกสำหรับการออกแบบการจัดสรรเส้นทางและกำหนดความยาวคลื่น 25
3.5 การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมฮิวริสติกสำหรับการออกแบบการป้องกันโครงข่ายเมื่อหนึ่งข่ายเชื่อมโยงได้รับความเสียหาย 27
3.6 กระบวนการตัดสินใจยอมรับคำตอบผลเฉลยของอัลกอริทึมฮิวริสติกแต่ละวิธี 30
3.6.1 การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ LS 30
3.6.2 การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ SA 31
3.6.3 การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ TS 32
4 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในอัลกอริทึมฮิวริสติก 34
4.1 แบบจำลองโครงข่ายที่ใช้ทดสอบอัลกอริทึมฮิวริสติก 34
4.2 แบบจำลองทราฟฟิกที่ใช้ทดสอบอัลกอริทึมฮิวริสติก 35
4.3 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในอัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ SA 36
4.3.1 การวิเคราะห์ค่า α และค่า L 37
4.3.2 ค่า α และค่า L ที่มีความเหมาะสมกับการออกแบบโครงข่ายแต่ละแบบ 43
4.3.3 การวิเคราะห์ค่าควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้น 48
4.4 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในอัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ TS 49
5 ผลเฉลยและการวิเคราะห์ผลเฉลย 52
5.1 สมมุติฐานที่ใช้ในการทดลอง 52
5.2 ผลเฉลยของการจัดสรรเส้นทางและกำหนดความยาวคลื่นในสภาวะทำงานปกติ 53
5.3 ผลเฉลยของการป้องกันโครงข่ายเมื่อหนึ่งข่ายเชื่อมโยงได้รับความเสียหาย 64
6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 88
6.1 สรุปผลการวิจัย 88
6.2 ข้อเสนอแนะ 89
รายการอ้างอิง 90
ภาคผนวก 92
ก.1. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) 93
ก.2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาจำนวนเส้นใยนำแสงที่โครงข่ายต้องการ 93

หน้า

ก.3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการสร้างโครงสร้างต้นไม้เชิงแสง 95
ก.4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการออกแบบโครงข่ายกรณีโครงข่ายทำงานในสภาวะปกติ 96
ก.4.1 วิธีโครงสร้างต้นไม้เชิงแสงเสมือน (Virtual Light-Tree method, VLT) 96
ก.4.2 วิธีโครงสร้างต้นไม้เชิงแสง (Light-Tree method, LT) 96
ก.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการออกแบบโครงข่ายกรณีโครงข่ายได้รับความเสียหาย 98
ก.5.1 กลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ PBF (Physical Branch Fixed) 98
ก.5.2 กลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ OMP (Optical Mesh Protection) 99
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 102

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 4.1 ทราฟฟิกที่ใช้ในการทดสอบ (ก) สำหรับโครงข่าย 5N_7L (ข) สำหรับโครงข่าย 8N_14L และ (ค) สำหรับโครงข่าย 10N_21L และ โครงข่าย NSFNet 36

ตารางที่ 4.2 ผลเฉลยต้นทุนที่เหมาะที่สุดโดยใช้อัลกอริทึม SA เมื่อใช้ทราฟฟิกตามตารางที่ 4.1 (ก) ที่ M = 1 โดยกำหนดค่าควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 10000 และจะหยุดการทำงานเมื่อไม่มีการพัฒนาคำตอบภายใน 10000 รอบ สำหรับโครงข่าย 5N_7L 44

ตารางที่ 4.3 จำนวนรอบทั้งหมดที่ใช้ในการค้นหาต้นทุนที่เหมาะที่สุดโดยใช้อัลกอริทึม SA เมื่อใช้ทราฟฟิกตามตารางที่ 4.1(ค) ที่ M = 1 โดยกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 10000 และจะหยุดการทำงานเมื่อไม่มีการพัฒนาคำตอบภายใน 10000 รอบ สำหรับโครงข่าย 5N_7L 44

ตารางที่ 4.4 ผลเฉลยต้นทุนที่เหมาะที่สุดโดยใช้อัลกอริทึม SA เมื่อใช้ทราฟฟิกตามตารางที่ 4.1 (ข) ที่ M = 1 โดยกำหนดค่าควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 10000 และจะหยุดการทำงานเมื่อไม่มีการพัฒนาคำตอบภายใน 10000 รอบ สำหรับโครงข่าย 8N_14L 45

ตารางที่ 4.5 จำนวนรอบทั้งหมดที่ใช้ในการค้นหาต้นทุนที่เหมาะที่สุดโดยใช้อัลกอริทึม SA เมื่อใช้ทราฟฟิกตามตารางที่ 4.1(ค) ที่ M = 1 โดยกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 10000 และจะหยุดการทำงานเมื่อไม่มีการพัฒนาคำตอบภายใน 10000 รอบ สำหรับโครงข่าย 8N_14L 45

ตารางที่ 4.6 ผลเฉลยต้นทุนที่เหมาะที่สุดโดยใช้อัลกอริทึม SA เมื่อใช้ทราฟฟิกตามตารางที่ 4.1 (ค) ที่ M = 1 โดยกำหนดค่าควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 10000 และจะหยุดการทำงานเมื่อไม่มีการพัฒนาคำตอบภายใน 10000 รอบ สำหรับโครงข่าย 10N_21L 46

ตารางที่ 4.7 จำนวนรอบทั้งหมดที่ใช้ในการค้นหาต้นทุนที่เหมาะที่สุดโดยใช้อัลกอริทึม SA เมื่อใช้ทราฟฟิกตามตารางที่ 4.1(ค) ที่ M = 1 โดยกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 10000 และจะหยุดการทำงานเมื่อไม่มีการพัฒนาคำตอบภายใน 10000 รอบ สำหรับโครงข่าย 10N_21L 46

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 4.8 ผลเฉลยต้นทุนที่เหมาะที่สุดโดยใช้อัลกอริทึม SA เมื่อใช้ทราฟฟิกตามตารางที่ 4.1 (ค) ที่ $M = 1$ โดยกำหนดค่าควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 10000 และจะหยุดการทำงานเมื่อไม่มีการพัฒนาคำตอบภายใน 10000 รอบ สำหรับโครงข่าย NSFNet 47

ตารางที่ 4.9 จำนวนรอบทั้งหมดที่ใช้ในการค้นหาต้นทุนที่เหมาะที่สุดโดยใช้อัลกอริทึม SA เมื่อใช้ทราฟฟิกตามตารางที่ 4.1(ค) ที่ $M = 1$ โดยกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 10000 และจะหยุดการทำงานเมื่อไม่มีการพัฒนาคำตอบภายใน 10000 รอบ สำหรับโครงข่าย NSFNet 47

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบระหว่างค่าต้นทุนที่เหมาะที่สุดและระยะเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบเมื่อค่าควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นมีค่าต่างกัน 49

ตารางที่ 4.11 ต้นทุนที่เหมาะที่สุดที่ค้นพบของโครงข่าย 5N_7L และจำนวนรอบทั้งหมดที่ใช้ค้นพบคำตอบเมื่อใช้ความยาวของ Tabu list ต่าง ๆ กัน 50

ตารางที่ 4.12 ต้นทุนที่เหมาะที่สุดที่ค้นพบของโครงข่าย 8N_14L และจำนวนรอบทั้งหมดที่ใช้ค้นพบคำตอบเมื่อใช้ความยาวของ Tabu list ต่าง ๆ กัน 50

ตารางที่ 4.13 ต้นทุนที่เหมาะที่สุดที่ค้นพบของโครงข่าย 10N_21L และจำนวนรอบทั้งหมดที่ใช้ค้นพบคำตอบเมื่อใช้ความยาวของ Tabu list ต่าง ๆ กัน 50

ตารางที่ 4.14 ต้นทุนที่เหมาะที่สุดที่ค้นพบของโครงข่าย NSFNet และจำนวนรอบทั้งหมดที่ใช้ค้นพบคำตอบเมื่อใช้ความยาวของ Tabu list ต่าง ๆ กัน 50

ตารางที่ 5.1 จำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำหรับโครงข่าย 5N_7L ในสภาวะการทำงานปกติ (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น 56

ตารางที่ 5.2 เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบสำหรับโครงข่าย 5N_7L ในสภาวะการทำงานปกติ (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น 57

ตารางที่ 5.3 จำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำหรับโครงข่าย 8N_14L ในสภาวะการทำงานปกติ (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น 58

ตารางที่ 5.4 เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบสำหรับโครงข่าย 8N_14L ในสภาวะการทำงานปกติ (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น 59

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 5.5 จำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำหรับโครงข่าย 10N_21L ในสภาวะการทำงานปกติ (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น 60

ตารางที่ 5.6 เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบสำหรับโครงข่าย 10N_21L ในสภาวะการทำงานปกติ (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น 61

ตารางที่ 5.7 จำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำหรับโครงข่าย NSFNet ในสภาวะการทำงานปกติ (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น 62

ตารางที่ 5.8 เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบสำหรับโครงข่าย NSFNet ในสภาวะการทำงานปกติ (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น 63

ตารางที่ 5.9 จำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำรองสำหรับโครงข่าย 5N_7L ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ PBF (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น 67

ตารางที่ 5.10 เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบสำหรับโครงข่าย 5N_7L ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ PBF (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น 68

ตารางที่ 5.11 จำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำรองสำหรับโครงข่าย 5N_7L ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ OMP (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น 69

ตารางที่ 5.12 เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบสำหรับโครงข่าย 5N_7L ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ OMP (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น 70

ตารางที่ 5.13 จำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำรองสำหรับโครงข่าย 8N_14L ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ PBF (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น 71

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 5.14 เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบสำหรับโครงข่าย 8N_14L ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ PBF (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น 72

ตารางที่ 5.15 จำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำรองสำหรับโครงข่าย 8N_14L ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ OMP (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น 73

ตารางที่ 5.16 เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบสำหรับโครงข่าย 8N_14L ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ OMP (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น 74

ตารางที่ 5.17 จำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำรองสำหรับโครงข่าย 10N_21L ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ PBF (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น 75

ตารางที่ 5.18 เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบสำหรับโครงข่าย 10N_21L ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ PBF (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น 76

ตารางที่ 5.19 จำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำรองสำหรับโครงข่าย 10N_21L ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ OMP (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น 77

ตารางที่ 5.20 เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบสำหรับโครงข่าย 10N_21L ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ OMP (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น 78

ตารางที่ 5.21 จำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำรองสำหรับโครงข่าย NSFNet ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ PBF (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น 79

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 5.22 เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบสำหรับโครงข่าย NSFNet ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ PBF (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น 80

ตารางที่ 5.23 จำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำรองสำหรับโครงข่าย NSFNet ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ OMP (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น 81

ตารางที่ 5.24 เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบสำหรับโครงข่าย NSFNet ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ OMP (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น 82

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 2.1 ระบบมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น 7

รูปที่ 2.2 โครงสร้างของโนดในโครงข่าย WDM (ก) กรณีไม่มีอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นติดตั้ง และ (ข) กรณีมีอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นติดตั้ง 8

รูปที่ 2.3 การจัดสรรเส้นทางบนโครงข่าย WDM โดยอาศัยพื้นฐานโครงสร้างต้นไม้เชิงแสง 10

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการกำหนดความยาวคลื่นสำหรับทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์ (ก) โครงสร้างต้นไม้เชิงแสง (ข) LT และ (ค) VLT 12

รูปที่ 2.5 ตัวอย่างโครงข่ายที่ใช้กลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ PBF 14

รูปที่ 2.6 การประยุกต์แนวคิดวงแหวนหลายวงสำหรับการป้องกันโครงข่ายแบบ PBF 15

รูปที่ 2.7 ตัวอย่างโครงข่ายที่ใช้กลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ OMP 16

รูปที่ 3.1 รหัสเทียมอธิบายอัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ LS 18

รูปที่ 3.2 รหัสเทียมอธิบายอัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ SA 21

รูปที่ 3.3 รหัสเทียมอธิบายอัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ TS 23

รูปที่ 3.4 ผังงานอัลกอริทึมฮิวริสติกสำหรับกระบวนการจัดสรรเส้นทางบนโครงข่าย WDM 25

รูปที่ 3.5 ผังงานอัลกอริทึมฮิวริสติกสำหรับกระบวนการป้องกันโครงข่ายเมื่อหนึ่งข่ายเชื่อมโยงได้รับความเสียหายบนโครงข่าย WDM 28

รูปที่ 3.6 ผังงานกระบวนการตัดสินใจยอมรับผลเฉลยโดยใช้อัลกอริทึม LS 30

รูปที่ 3.7 ผังงานกระบวนการตัดสินใจยอมรับผลเฉลยโดยใช้อัลกอริทึม SA 31

รูปที่ 3.8 ผังงานกระบวนการตัดสินใจยอมรับผลเฉลยโดยใช้อัลกอริทึม TS 32

รูปที่ 4.1 โทโพโลยีโครงข่ายที่ใช้ในการทดสอบ 35

รูปที่ 4.2 ลักษณะการลดลงของความน่าจะเป็นที่ยอมรับคำตอบที่ด้อย (ก) ความน่าจะเป็นที่จะยอมรับคำตอบที่ด้อยเมื่อ α เท่ากับ 0.99 และ L เท่ากับ 30 (ข) ความน่าจะเป็นที่จะยอมรับคำตอบที่ด้อยเมื่อ α เท่ากับ 0.99 และ L เท่ากับ 5 (ค) ความน่าจะเป็นที่จะยอมรับคำตอบที่ด้อยเมื่อ α เท่ากับ 0.8 และ L เท่ากับ 30 (ง) ความน่าจะเป็นที่จะยอมรับคำตอบที่ด้อยเมื่อ α เท่ากับ 0.8 และ L เท่ากับ 5 38

รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบระหว่างต้นทุนที่ดีที่สุดและต้นทุนที่ได้รับการยอมรับ (ก) เมื่อ α เท่ากับ 0.99 และ L เท่ากับ 30 (ข) เมื่อ α เท่ากับ 0.99 และ L เท่ากับ 5 (ค) เมื่อ α เท่ากับ 0.8 และ L เท่ากับ 30 (ง) เมื่อ α เท่ากับ 0.8 และ L เท่ากับ 5 40

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 5.1 วิธีหาเส้นใยนำแสงสำรองของกลยุทธ์การป้องกันแบบ PBF เดิมและที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ 65
รูปที่ 5.2 วิธีหาเส้นใยนำแสงสำรองของกลยุทธ์การป้องกันแบบ OMP ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ 66
รูปที่ 5.3 แผนภูมิแสดงจำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงเมื่อโครงข่ายทำงานในสภาวะปกติทั้งกรณี VLT และ LT 84
รูปที่ 5.4 แผนภูมิแสดงจำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำรองเมื่อหนึ่งข่ายเชื่อมโยงได้รับความเสียหายสำหรับกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ PBF ทั้งกรณี VLT และ LT 85
รูปที่ 5.5 แผนภูมิแสดงจำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำรองเมื่อหนึ่งข่ายเชื่อมโยงได้รับความเสียหายสำหรับกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ OMP ทั้งกรณี VLT และ LT 86