การจัดสรรความจุสำรองสำหรับความอยู่รอดของโครงข่าย DWDM ที่รองรับทราฟฟิกแบบมัลติคาสต์โดยอัลกอริทึมฮิวริสติกบนพื้นฐานของการค้นหาแบบทาบู

นางสาวกนกภรณ์ วีสเพ็ญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549

ISBN 974-14-2513-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SPARE CAPACITY ALLOCATION FOR SURVIVABLE MULTICAST DWDM NETWORKS BY HEURISTIC ALGORITHM BASED ON TABU SEARCH

Miss Kanokporn Weesapen

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

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

ISBN 974-14-2513-9

490277

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจัดสรรความจุสำรอง สำหรับความอยู่รอดของโครงข่าย DWDM ที่รองรับทราฟฟิกแบบมัลติคาสต์ โดยอัลกอริทึมฮิวริสติกบนพื้นฐานของการค้นหาแบบทาบู
โดย	นางสาวกนกภรณ์ วีสเพ็ญ
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ประพิณมงคลการ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(อาจารย์ ดร.ชุติมา พรหมมาก)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พสุ แก้วปลั่ง)

กนกภรณ์ วีสเพ็ญ : การจัดสรรความจุสำรอง สำหรับความอยู่รอดของโครงข่าย DWDM ที่รองรับทราฟฟิกแบบมัลติคาสต์ โดยอัลกอริทึมฮิวริสติกบนพื้นฐานของการค้นหาแบบทาบู (SPARE CAPACITY ALLOCATION FOR SURVIVABLE MULTICAST DWDM NETWORKS BY HEURISTIC ALGORITHM BASED ON TABU SEARCH) อ. ที่ปรึกษา: รศ.ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ, อ. ที่ปรึกษาร่วม: อ.ดร.ชุติมา พรหมมาก, 101 หน้า. ISBN 974-14-2513-9.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนออัลกอริทึมฮิวริสติกบนพื้นฐานของการค้นหาแบบทาบูสำหรับการจัดสรรความจุสำรองในโครงข่ายมัลติคาสต์แบบมัลติเพลกซ์เชิงความยาวคลื่นหนาแน่นเพื่อให้สามารถปกป้องความเสียหายหนึ่งข่ายเชื่อมโยงได้ โดยได้พิจารณากลยุทธการปกป้องสองประเภทคือ LR (Light-Tree Reconfiguration) และ LIR (Light-Tree-Interrupted Reconfiguration) กับระบบที่มีการใช้และไม่ใช้อุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น วัตถุประสงค์ของการออกแบบคือหาผลเฉลยของการจัดสรรต้นไม้เชิงแสงและความยาวคลื่นที่มีประสิทธิภาพ โดยมีความต้องการความจุสำรองต่ำ ภายใต้เงื่อนไขว่าสามารถปกป้องโครงข่ายจากความเสียหายหนึ่งข่ายเชื่อมโยงได้ทุกกรณี อัลกอริทึมที่เสนอได้นำมาทดสอบกับการออกแบบโครงข่ายหลายขนาดตั้งแต่ 8 ถึง 14 โนดกับทราฟฟิกมัลติคาสต์ สำหรับผลการทดสอบกับโครงข่ายขนาดเล็ก (8 โนด 14 ข่ายเชื่อมโยง) พบว่าอัลกอริทึมที่เสนอให้ผลการออกแบบที่ใกล้เคียงกับผลที่ได้จากวิธีที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมฮิวริสติกที่เสนอมีประสิทธิภาพ สำหรับปัญหาของโครงข่ายที่มีขนาดใหญ่ขึ้นพบว่าการใช้วิธี ILP ไม่สามารถหาผลเฉลยได้ภายในเวลาจำกัด ในขณะที่อัลกอริทึมฮิวริสติกสามารถให้ผลเฉลยที่มีประสิทธิภาพภายในเวลาที่สมเหตุสมผล อย่างไรก็ตาม ผลจากการศึกษาได้แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของอัลกอริทึมขึ้นอยู่กับการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เช่นขนาดของ tabu list เกณฑ์การหยุด ขนาดของแคนดิเดท ซึ่งจะพบว่าค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้อัลกอริทึมฮิวริสติกให้นำเสนอมีประสิทธิภาพนั้น จะต้องใช้ tabu list ที่เป็นแบบพลวัตที่มีช่วงอยู่ระหว่าง 5 ถึง 12 ครั้งสำหรับโครงข่ายขนาด 8 โนด 14 ข่ายเชื่อมโยง และโครงข่ายขนาด 10 โนด 21 ข่ายเชื่อมโยง ในขณะที่โครงข่าย 14 โนด 21 ข่ายเชื่อมโยง จะต้องใช้ tabu list แบบพลวัตที่มีช่วงอยู่ระหว่าง 5 ถึง 15 ครั้ง โดยใช้เกณฑ์การหยุดเท่ากับ 4,000 10,000 และ 6,000 ตามลำดับ โครงข่ายที่ใช้ทดสอบทั้งหมดจะต้องกำหนดให้ขนาดของแคนดิเดทเท่ากับ 4 เช่นเดียวกันภายใต้กระบวนการ 100,000 รอบ

จากการทดลองในวิทยานิพนธ์นี้ พบว่าการจัดสรรความจุสำรองโดยใช้กลยุทธ์ LR_VLT จะมีต้นทุนของโครงข่ายต่ำสุด LIR_VLT LR_LT และ LIR_LT จะเป็นกลยุทธ์การป้องกันที่ต้องการต้นทุนมากกว่าวิธี LR_VLT ตามลำดับ จากน้อยไปมาก

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อนิสิต.....กนกภรณ์ วีสเพ็ญ.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา...2549.....

4570712221 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: DWDM / MULTICAST / PROTECTION / VLT / LT / LR / LIR

KANOKPORN WEESAPEN: SPARE CAPACITY ALLOCATION FOR SURVIVABLE MULTICAST DWDM NETWORKS BY HEURISTIC ALGORITHM BASED ON TABU SEARCH. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. LUNCHAKORN WUTTISITTIKULKIJ. Ph.D., CO-ADVISOR: CHUTIMA PROMMARK. Ph.D., 101 pp. ISBN 974-14-2513-9.

This thesis proposes heuristic algorithms based on tabu search for spare capacity allocation in survivable multicast dense wavelength division multiplexed (DWDM) networks with single link failure protection capability. Two types of protection strategies, namely Light-Tree Reconfiguration (LR) and Light-Tree Interrupted Reconfiguration (LIR) strategies, are considered for systems with and without wavelength conversion. The objective is to determine efficient light-tree and wavelength assignment that minimizes the spare capacity requirement while providing full protection against all single link failures. The proposed algorithms are applied to tested networks of different sizes from 8 to 14 nodes with certain multicast traffic demands. It is found that the design outcomes of the small network case (8 nodes and 14 links) are comparable to that of optimal ILP-based approach, signifying the effectiveness of the proposed heuristic algorithms. For larger network problems, the ILP-based approach requires excessive computational time, while the heuristic algorithms are able to provide efficient design solutions within reasonable time. However, study has also shown that the effectiveness of the algorithms depends on appropriate parameter settings, types of tabu list, tabu list sizes, stop criteria and candidate sizes. Dynamic tabu list with length ranging from 5 to 12 times is suitable for network size 8 and 10 while length ranging from 5 to 20 times is suitable for network size 14 under candidate size parameter of 4 and stop criteria of 4,000 6,000 and 10,000 respectively in process of 100,000 iterations.

It is found that LR_VLT is the strategy that requires spare capacity allocation at minimum cost in survivable DWDM networks when compared with other techniques: LIR_VLT, LR_LT and LIR_LT.

Department.....Electrical..Engineering....Student's Signature.....

Field of Study....Electrical..Engineering...Advisor's Signature.....

Academic Year...2006.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รศ. ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ อ.ดร.ชุติมา พรหมมาก อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ รวมทั้งประสบการณ์ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยของข้าพเจ้าทั้งทางตรงและทางอ้อมด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณ คุณเจริญชัย บวรธรรมรัตน์ คุณภัทรินทร์ ลีลารัศมี คุณอนุชิต จตุรงคปัญญา คุณปรมินทร์ แสงวงษ์งาม และคุณกำพล วรดิษฐ์ สำหรับคำปรึกษาตลอดการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณอนุชิต มั่นจิรังกูร คุณวรางรัตน์ วัฒนวรากุล และคุณกอปเทพ ชัยเสน เพื่อนร่วมกลุ่มวิจัยเดียวกัน สำหรับคำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนความช่วยเหลือที่มีให้มาโดยตลอด

ขอขอบคุณพี่และเพื่อนในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร ชั้น 13 ตึกวิศวกรรมไฟฟ้า 4 ทุกท่าน โดยเฉพาะเพื่อนในชั้นปีเดียวกัน สำหรับคำแนะนำ กำลังใจ ข้อคิดที่ดี ตลอดจนความมีน้ำใจ ที่มีให้กับข้าพเจ้าอย่างสม่ำเสมอ ทำให้การศึกษาปริญญามหาบัณฑิตที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยของข้าพเจ้าเต็มไปด้วยความทรงจำที่ดีและมีคุณค่า

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้ความรักความอบอุ่น ความเอาใจใส่ ในทุกเรื่องของข้าพเจ้าอย่างบริสุทธิ์ใจ และขอบคุณน้องสาวที่คอยห่วงใยและคอยเป็นกำลังใจให้กับข้าพเจ้าตลอดการทำวิทยานิพนธ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 4

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 4

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน 4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

2 แนวทางในการออกแบบโครงข่าย DWDM เพื่อรองรับมัลติคาสต์ทราฟฟิกที่คำนึงถึงกรณีที่หนึ่งข่ายเชื่อมโยงได้รับความเสียหาย 6

2.1 โครงข่าย DWDM 6

2.2 รูปแบบการจัดสรรเส้นทางและความยาวคลื่นบนโครงข่าย DWDM 8

2.3 รูปแบบการจัดสรรเส้นทางใหม่เมื่อหนึ่งข่ายเชื่อมโยงได้รับความเสียหาย 10

2.3.1 วิธีการปกป้อง Light-tree แบบกำหนดเส้นทางใหม่ทั้งหมด (Light Tree Reconfiguration, LR) 10

2.3.2 วิธีการปกป้อง Light-tree แบบกำหนดเส้นทางใหม่เฉพาะ light-tree ที่ได้รับผลกระทบ (Light–Tree–Interrupted Reconfiguration, LIR) 10

2.4 ลักษณะการวางเส้นใยแก้วสำรอง 11

3 การจัดสรรความจุสำรองของโครงข่าย DWDM สำหรับรองรับมัลติคาสต์ทราฟฟิกโดยใช้อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ Tabu Search 12

3.1 การทำงานของอัลกอริทึมฮิวริสติกบนพื้นฐานของการต้นหาแบบทาบู 12

3.2 การประยุกต์ใช้อัลกอริฮิวริสติกบนพื้นฐานของการค้นหาแบบทาบูเพื่อจัดสรรความจุสำรองให้กับโครงข่าย DWDM 14

บทที่ หน้า

3.2.1 การจัดสรรเส้นทางและความยาวคลื่นในสภาวะปกติ.....15
3.2.2 การจัดสรรความจุสำรองให้กับโครงข่าย DWDM เมื่อเกิดความเสียหายหนึ่งข่ายเชื่อมโยง โดยมีการจัดสรรเส้นทางใหม่แบบ LR และ LIR.....18
4 การทดสอบและวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในอัลกอริธึมวิวัฒนาการ.....23
5 ผลเฉลยและการวิเคราะห์ผลเฉลย.....31
5.1 ผลเฉลยและการวิเคราะห์ผลเฉลยจากวิวัฒนาการอัลกอริทึมที่อยู่บนพื้นฐานการค้นหาแบบทาบู.....31
5.2 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบจำนวนเส้นใยนำแสงสำรองและเวลาที่ใช้ในการปกป้องโครงข่าย.....32
5.3 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบจำนวนเส้นใยนำแสงโดยรวมที่แต่ละวิธีการปกป้องโครงข่ายต้องการ.....41
5.3.1 ผลของกลยุทธ์การปกป้องโครงข่าย ที่มีต่อจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดที่โครงข่ายต้องการ.....41
5.3.2 ผลของอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นที่มีต่อจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดที่โครงข่ายต้องการ.....43
5.4 การเปรียบเทียบเชิงต้นทุนของโครงข่ายและประสิทธิภาพของโครงข่าย.....43
6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....46
6.1 สรุปผลการวิจัย.....46
6.2 ข้อเสนอแนะ.....47
รายการอ้างอิง.....49
ภาคผนวก.....51
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....101

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 2.1 ตัวย่อของวิธีการจัดสรรเส้นทางและความยาวคลื่นของจัดสรรความจุสำรองสำหรับการปกป้องโครงข่าย..... 11

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างที่เป็นไปได้สำหรับผลเฉลยข้างเคียงของเวกเตอร์ผลเฉลย $\mathbf{T}$ 17

ตารางที่ 5.1 จำนวนเส้นใยนำแสงในสภาวะปกติและจำนวนเส้นใยนำแสงสำรอง ในกรณีที่มีการปกป้องโครงข่ายแบบ LR และมีการจัดสรรความยาวคลื่นแบบ VLT โดยใช้ (ก) 1 Diff neighborhood (ข) n VerticalDiff neighborhood (ค) L HorizontalDiff neighborhood..... 33

ตารางที่ 5.2 จำนวนเส้นใยนำแสงในสภาวะปกติและจำนวนเส้นใยนำแสงสำรอง ในกรณีที่มีการปกป้องโครงข่ายแบบ LIR และมีการจัดสรรความยาวคลื่นแบบ VLT..... 36

ตารางที่ 5.3 จำนวนเส้นใยนำแสงในสภาวะปกติและจำนวนเส้นใยนำแสงสำรอง ในกรณีที่มีการปกป้องโครงข่ายแบบ LR และมีการจัดสรรความยาวคลื่นแบบ LT..... 37

ตารางที่ 5.4 จำนวนเส้นใยนำแสงในสภาวะปกติและจำนวนเส้นใยนำแสงสำรอง ในกรณีที่มีการปกป้องโครงข่ายแบบ LIR และมีการจัดสรรความยาวคลื่นแบบ LT..... 38

ตารางที่ 5.5 เวลาที่ใช้ในการหาจำนวนเส้นใยนำแสงสำรองในแต่ละกลยุทธ์ของการปกป้องโครงข่าย เมื่อมีจัดสรรความยาวคลื่นแบบ VLT และ LT เมื่อความยาวของ tabu list เป็นแบบพลวัต..... 39

ตารางที่ ข.1 ต้นทุนที่ดีที่สุดที่ค้นพบของแต่ละโครงข่าย จำนวนรอบที่ค้นพบคำตอบ เวลาที่ใช้คำนวณ และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ tabu list ขนาดต่างกัน เมื่อ tabu list เป็นแบบคงที่ และจะหยุดการค้นหาคำตอบเมื่อไม่มีการพัฒนาของคำตอบให้เห็นภายใน 1000 รอบ ของ (ก) โครงข่าย 10N_21L และ (ข) โครงข่าย 14N_21L ตามลำดับ..... 66

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ ข.2 ต้นทุนที่ดีที่สุดที่ค้นพบของแต่ละโครงข่าย จำนวนรอบที่ค้นพบคำตอบ เวลาที่ใช้คำนวณ และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เมื่อ tabu list เป็นแบบพลวัตได้ในช่วงที่ต่างกัน และระยะเวลาในการหยุดการค้นหาคำตอบที่แตกต่างกัน ที่ 100000 รอบ เมื่อ candidate size เท่ากับ 10 ของ (ก) โครงข่าย 8N_14L และ (ข) โครงข่าย 10N_21L..... 68

ตารางที่ ค.1 ผลของการปรับพารามิเตอร์เพื่อหาต้นทุนที่ดีที่สุดของโครงข่าย ที่มีกระบวนการค้นหาคำตอบ 100000 รอบ ที่แต่ละช่วงของ tabu list ที่เป็นแบบพลวัต ซึ่งแต่ละช่วงนั้นทดสอบกับ stop criteria ที่มีค่าต่างกัน ของโครงข่าย 8N_14L..... 71

ตารางที่ ค.2 ผลของการปรับพารามิเตอร์เพื่อหาต้นทุนที่ดีที่สุดของโครงข่าย ที่มีกระบวนการค้นหาคำตอบ 100000 รอบ ที่แต่ละช่วงของ tabu list ที่เป็นแบบพลวัต ซึ่งแต่ละช่วงนั้นทดสอบกับ stop criteria ที่มีค่าต่างกัน ของโครงข่าย 10N_21L..... 73

ตารางที่ ค.3 ผลของการปรับพารามิเตอร์เพื่อหาต้นทุนที่ดีที่สุดของโครงข่าย ที่มีกระบวนการค้นหาคำตอบ 100000 รอบ ที่แต่ละช่วงของ tabu list ที่เป็นแบบพลวัต ซึ่งแต่ละช่วงนั้นทดสอบกับ stop criteria ที่มีค่าต่างกัน ของโครงข่าย 14N_21L..... 75

ตารางที่ ง.1 ผลของการปรับพารามิเตอร์เพื่อหาต้นทุนที่ดีที่สุดของโครงข่าย โครงข่าย 8N_14L ที่มีกระบวนการค้นหาคำตอบ 100000 รอบ เมื่อ tabu list เป็นแบบคงที่ ซึ่งแต่ละขนาดของ tabu list ที่ใช้จะทดสอบกับ stop criteria ที่มีค่าต่างกัน..... 78

ตารางที่ ง.2 ผลของการปรับพารามิเตอร์เพื่อหาต้นทุนที่ดีที่สุดของโครงข่าย 10N_21L ที่มีกระบวนการค้นหาคำตอบ 100000 รอบ เมื่อ tabu list เป็นแบบคงที่ ซึ่งแต่ละขนาดของ tabu list ที่ใช้จะทดสอบกับ stop criteria ที่มีค่าต่างกัน..... 84

ตารางที่ ง.3 ผลของการปรับพารามิเตอร์เพื่อหาต้นทุนที่ดีที่สุดของโครงข่าย 14N_21L ที่มีกระบวนการค้นหาคำตอบ 100000 รอบ เมื่อ tabu list เป็นแบบคงที่ ซึ่งแต่ละขนาดของ tabu list ที่ใช้จะทดสอบกับ stop criteria ที่มีค่าต่างกัน..... 90

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ		หน้า
รูปที่ 1.1	ตัวอย่างของ light-tree.....	1
รูปที่ 2.1	โครงข่าย DWDM แบบมัลติคาสต์ กับ light-tree.....	7
รูปที่ 2.2	สถาปัตยกรรมของ MC-OXC.....	7
รูปที่ 2.3	สถาปัตยกรรมของ MC-OXC กับความสามารถในการเปลี่ยนความยาวคลื่น....	8
รูปที่ 2.4	รูปแบบการจัดสรรความยาวคลื่นให้แต่ละ light-tree.....	10
รูปที่ 2.5	รูปแบบการปกป้อง light-tree สำหรับมัลติคาสต์ทราฟฟิกบนโครงข่าย DWDM.....	11
รูปที่ 3.1	ผังงานของอัลกอริทึมฮิวริสติกสำหรับการปรับปรุงการออกแบบโครงข่าย.....	13
รูปที่ 3.2	ผังงานการจัดสรรความจุสำรองให้กับโครงข่าย ในแต่ละกลยุทธ์ด้วยอัลกอริทึมฮิวริสติกที่อยู่บนพื้นฐานการค้นหาแบบทาบู.....	22
รูปที่ 4.1	โครงข่ายที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ก) โครงข่าย 8N_14L (ข) โครงข่าย 7N_13L และ (ค) โครงข่าย 14N_21L.....	24
รูปที่ 4.2	ทราฟฟิกของโครงข่ายที่ใช้ทดสอบ (ก) โครงข่าย 8N_14L (ข) โครงข่าย 10N_21L และ (ค) โครงข่าย 14N_21L.....	24
รูปที่ 4.3	ต้นทุนที่ดีที่สุดที่ค้นพบของแต่ละโครงข่าย จำนวนรอบที่ค้นพบคำตอบ เวลาที่ใช้คำนวณ และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ tabu list ขนาดต่างกัน เมื่อ tabu list เป็นแบบคงที่ และจะหยุดการค้นหาคำตอบเมื่อไม่มีการพัฒนาของคำตอบให้เห็นภายใน 1000 รอบ ของโครงข่าย 8N_14L.....	27
รูปที่ 4.4	ต้นทุนที่ดีที่สุดที่ค้นพบของแต่ละโครงข่าย จำนวนรอบที่ค้นพบคำตอบ เวลาที่ใช้คำนวณ และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เมื่อ tabu list เป็นแบบพลวัตได้ ในช่วง tabu list ที่ต่างกัน และระยะเวลาในการหยุดการค้นหาคำตอบที่แตกต่างกัน ที่กระบวนการ 100000 รอบ เมื่อ candidate size เท่ากับ 10 ของโครงข่าย 14N_21L.....	28

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงทั้งหมดที่ (ก) โครงข่าย 8N_14L (ข) โครงข่าย 10N_14L และ (ค) โครงข่าย 14N_21L ต้องการ ในแต่ละกลยุทธ์ของการปกป้องโครงข่าย เมื่อการจัดสรรความยาวคลื่นแบบ VLT และ LT ตามลำดับ..... 40

รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงของ (ก) โครงข่าย 8N_14L (ข) โครงข่าย 10N_14L และ (ค) โครงข่าย 14N_21L ที่มีการจัดสรรความยาวคลื่นแบบ LT ต่อจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงของโครงข่ายที่มีการจัดสรรความยาวคลื่นแบบ VLT (LT/VLT ratio) กับจำนวนความยาวคลื่นสูงสุดที่มัลติเพลกซ์ได้ในเส้นใยแก้วนำแสง (M) ในแต่ละมีกลยุทธ์การปกป้องโครงข่าย ตามลำดับ..... 42

รูปที่ 5.3: การเปรียบเทียบต้นทุนของโครงข่ายและประสิทธิภาพการใช้เส้นใยแก้วนำแสงของ (ก) โครงข่าย 8N_14L (ข) โครงข่าย 10N_21L และ (ค) โครงข่าย 14N_21L ในแต่ละกลยุทธ์การปกป้องโครงข่าย เมื่อแต่ละกลยุทธ์การปกป้องโครงข่ายมีการจัดสรรความยาวคลื่นแบบ VLT และ LT ตามลำดับ..... 44