



246741



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ: การประยุกต์ใช้วิธีสังยุคเฟสแสงในโครงข่ายเส้นใยแสง

APPLICATIONS OF OPTICAL PHASE CONJUGATION IN OPTICAL FIBER NETWORKS

โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พสุ แก้วปลั่ง และคณะ

มกราคม ๒๕๕๔

สัญญาเลขที่ MRG5180176

๖๐๐๑๕๑๕๕

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



246741



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ: การประยุกต์ใช้วิธีสังยุคเฟสแสงในโครงข่ายเส้นใยแสง

APPLICATIONS OF OPTICAL PHASE CONJUGATION

IN OPTICAL FIBER NETWORKS

โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พสุ แก้วปลั่ง และคณะ



มกราคม ๒๕๕๔

สัญญาเลขที่ MRG5180176

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ: การประยุกต์ใช้วิธีสังยุคเฟสแสงในโครงข่ายเส้นใยแสง

APPLICATIONS OF OPTICAL PHASE CONJUGATION

IN OPTICAL FIBER NETWORKS

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | | |
|-------------------------------|-----------------|-----------------------|
| 1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พสุ | แก้วปลั่ง | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 2. รองศาสตราจารย์ ดร. ลัญฉกร | วุฒิสัทติกุลกิจ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทคัดย่อ

246741

โครงการวิจัยนี้ นำเสนอวิธีการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงในโครงข่ายเส้นใยแสงที่ใช้การมัลติเพล็กซ์ความยาวคลื่น ซึ่งโครงข่ายที่พิจารณานั้น มีอยู่ด้วยกัน 3 ลักษณะคือโครงข่ายแบบวงแหวน (ring network) แบบแพร่และเลือกสัญญาณ(broadcast-and-select network) และโครงข่ายแบบเมช(mesh network) ซึ่งวิธีที่นำเสนอ นั้นจะทำให้โครงข่ายใช้จำนวนเครื่องส่งยุคเฟสแสงได้น้อยกว่ากรณีที่ใช้เครื่องส่งยุคเฟสแสงมากที่สุด นอกจากนั้น ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกรณีที่โครงข่ายมีข่ายเชื่อมโยงเสียหาย ซึ่งมีกลไกการกู้คืนสัญญาณแบบเปลี่ยนเส้นทาง (path protection) วิธีการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงนั้น ทำได้โดยการวิเคราะห์กราฟฟิคของข้อมูลทั้งหมด และวิเคราะห์ตำแหน่งที่จะวางเครื่องส่งยุคเฟสแสง รวมถึงหาค่าพารามิเตอร์ที่สามารถบอกได้ว่าโครงข่ายไหนใช้วิธีลดจำนวนเครื่องส่งยุคเฟสแสงได้ หรือโครงข่ายไหนต้องวางไว้ที่ตำแหน่งกลางข่ายเชื่อมโยงทุกข่าย

เนื่องจากเกิดปัญหาในการหาช่วงในการซ้อนทับทุกๆกราฟฟิคได้ไม่ทั้งหมด จึงได้คิดค้นระเบียบขั้นตอนวิธีเพื่อที่จะทำการซ้อนทับทุกๆกราฟฟิคให้ได้ทั้งหมด โดยใช้พารามิเตอร์ที่เรียกว่า R ซึ่งสามารถช่วยตัดสินใจได้ว่าโครงข่ายนั้นสามารถใช้วิธีการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ได้หรือไม่ เมื่อได้ทดลองใช้ระเบียบขั้นตอนวิธีที่ได้นำเสนอ ในโครงข่ายตัวอย่างต่างๆ ได้แก่ OPEN ERNet และ NARNet โดยใช้ค่า R ที่คิดค้นพัฒนาขึ้นในการลดขนาดโครงข่ายแต่ละโครงข่ายให้เหมาะสม พบว่าสามารถวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงได้ด้วยจำนวนน้อยกว่าการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงในกรณีที่วางกลางข่ายเชื่อมโยงทุกข่าย

เพื่อให้ไม่จำเป็นต้องลดขนาดโครงข่ายลง ผู้วิจัยจึงได้ใช้วิธีเลือกช่วงของความยาวคลื่นที่เหมาะสม หรือช่วงของค่าดิสเพอร์ชันเริ่มต้นที่เหมาะสมแทน จากการทดลองวิธีดังกล่าวบน ERNet ซึ่งประกอบด้วย 42 link และ 15 node ช่วงของความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับโครงข่ายดังกล่าว คือ 1220.21-1248.51 nm โดยใช้จำนวน OPC เพียงแค่ 10 ตัว สำหรับโครงข่าย NARNet ซึ่งประกอบด้วย 48 link และ 17 node ช่วงของความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับโครงข่ายดังกล่าว คือ 1220.20-1237.50 nm โดยใช้จำนวน OPC เพียงแค่ 10 ตัวเช่นเดียวกัน จะเห็นได้ว่า ด้วยวิธีดังกล่าว เราสามารถลดจำนวน OPC บนโครงข่าย ERNet และ NARNet ลงมาได้ถึง 32 และ 38 ตัวตามลำดับ

ABSTRACT

246741

We propose a method for placing optical phase conjugators (OPCs) in optical wavelength-division multiplexed (WDM) fiber network. Our method is transparent to network topologies, therefore, it can be applied for both broadcast-and-select (B&S) network and wavelength-routed networks, such as ring network and mesh network, and can be extended for all such the networks that faces a single-link failure, protected by shared path protection. Moreover, our method can give the number of OPC needed in the networks less than using the OPC in the middle of each link, for which the number of OPC is maximum.

For a given range of wavelengths that intend to be used for signal transmission in a network, according to the restriction that the OPC usable ranges of all traffics in a shared path must be overlapped, we derive a useful parameter, which denotes R parameter, to determine whether the network can employ OPC using our algorithm, or it can only employ OPC in the middle of each link. The R parameter can also be used for scaling a network size to be suitable for which our algorithm can be applied. We demonstrate our algorithm with scaling the network size using R parameter to 1 sample of the B&S network and 3 samples of the mesh networks; OPEN, ERNet and NARNet. The results, from all the sample networks, show that our proposed algorithm can efficiently help reducing the number of OPC to be less than using the OPC in the middle of each link.

Next, we investigate the elimination of such limitation manifested through the R parameter by finding the suitable range of wavelength, as well as the suitable range of dispersion values, that can be used in the network without scaling down the size of the network. Again, we demonstrate our analysis on the ERNet and the NARNet. For the ERNet which consists of 42 links and 15 nodes, the suitable range of wavelengths is 1220.21-1248.51 nm with the necessary number of OPC is 10. On the other hand, we show that, for the NARNet which consists of 48 links and 17 nodes, the suitable range of wavelengths is 1220.20-1237.50 nm with the necessary number of OPC is 10. As a result, we can significantly reduce the number of OPC as much as 32 and 38 for the ERNet and NARNet, respectively.

Key Words: Optical fiber communication, optical fiber network, wavelength-division multiplexing, wavelength-routed network, broadcast & select network, optical fiber dispersion, dispersion compensation, optical phase conjugator

Executive Summary

การสื่อสารทางแสง ใช้เส้นใยแสงเป็นตัวกลางในการสื่อสารข้อมูล เส้นใยแสงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวกลางชนิดอื่นๆ จะพบว่ามีประสิทธิภาพที่ดีกว่ามากมาย ทำให้โครงข่ายทางแสง (optical network) ที่ใช้เส้นใยแก้วนำแสงเป็นตัวกลางนั้น มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นโครงข่ายแกนหลัก (core network) โครงข่ายระยะไกล (long-haul Network) โครงข่ายบริเวณกว้าง (wide area network : WAN) และโครงข่ายนครหลวง (metro-politan area network : MAN) โครงข่ายในการสื่อสารทางแสงที่ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการมัลติเพล็กซ์สัญญาณด้วยความยาวคลื่นสามารถจำแนกออกเป็นสองแบบหลักๆ คือ โครงข่ายดับเบิลยูดีเอ็มแบบแพร่และเลือกสัญญาณ (WDM broadcast-and-select network) และโครงข่ายดับเบิลยูดีเอ็มแบบกำหนดความยาวคลื่นประจำเส้นทาง (WDM wavelength-routed optical network) ซึ่งอาจแบ่งเป็นโครงข่ายรูปแบบวงแหวน (ring network) และโครงข่ายรูปเมช (mesh network)

ด้วยความต้องการอัตราข้อมูลที่ยังมีอยู่อย่างไม่จำกัด ทำให้ยังคงมีการพัฒนาโครงข่ายทางแสงอย่างต่อเนื่อง เพื่อรองรับข้อมูลที่มีความเร็วสูงขึ้นและระยะทางในการส่งไกลขึ้น แต่ก็จะมีผลกระทบอื่นตามมา โดยเฉพาะ การขยายออกของสัญญาณทางเวลาโดยดิสเพอร์ชัน (dispersion) ของเส้นใยแสง การจัดการดิสเพอร์ชันนั้น มีการใช้ dispersion compensating fiber (DCF) วางเป็นรายคาบเพื่อให้ค่าดิสเพอร์ชันทุกจุดในโครงข่ายไม่เกินค่าที่กำหนด และมีการใช้เครื่องสังยุคเฟสแสง (optical phase conjugator) ในการจัดการดิสเพอร์ชันโดยการวางในตำแหน่งกึ่งกลางของโครงข่ายเพื่อให้ค่าดิสเพอร์ชันสะสมก่อนเข้าเครื่องสังยุคเฟสแสงและหลังออกจากเครื่องสังยุคเฟสแสงหักล้างกันหมด

โครงการวิจัยนี้ นำเสนอวิธีการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงในโครงข่ายเส้นใยแสงที่ใช้การมัลติเพล็กซ์ความยาวคลื่น ซึ่งโครงข่ายที่พิจารณานั้น มีอยู่ด้วยกัน 3 ลักษณะคือโครงข่ายแบบวงแหวน (ring network) แบบแพร่และเลือกสัญญาณ (broadcast-and-select network) และโครงข่ายแบบเมช (mesh network) ซึ่งวิธีที่นำเสนอ นั้นจะทำให้โครงข่ายใช้จำนวนเครื่องสังยุคเฟสแสงได้น้อยกว่ากรณีที่ใช้เครื่องสังยุคเฟสแสงมากที่สุด นอกจากนั้น ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกรณีที่โครงข่ายมีข่ายเชื่อมโยงเสียหาย ซึ่งมีกลไกการกู้คืนสัญญาณแบบเปลี่ยนเส้นทาง (path protection) วิธีการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงนั้น ทำได้โดยการวิเคราะห์กราฟฟิกของข้อมูลทั้งหมด และวิเคราะห์ตำแหน่งที่จะวางเครื่องสังยุคเฟสแสง รวมถึงหาค่าพารามิเตอร์ที่สามารถบอกได้ว่าโครงข่ายไหนใช้วิธีลดจำนวนเครื่องสังยุคเฟสแสงได้ หรือโครงข่ายไหนต้องวางไว้ที่ตำแหน่งกลางข่ายเชื่อมโยงทุกๆ ข่าย เนื่องจากเกิดปัญหาในการหาช่วงในการซ้อนทับทุกๆ กราฟฟิกได้ไม่ทั้งหมด จึงได้คิดค้นระเบียบขั้นตอนวิธีเพื่อที่จะทำการซ้อนทับทุกๆ กราฟฟิกให้ได้ทั้งหมด โดยใช้พารามิเตอร์ที่เรียกว่า R ซึ่งสามารถช่วยตัดสินใจได้ว่า โครงข่ายนั้นสามารถใช้วิธีการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ได้หรือไม่ เมื่อได้ทดลองใช้ระเบียบขั้นตอนวิธีที่ได้นำเสนอ ในโครงข่ายตัวอย่างต่างๆ ได้แก่ OPEN ERNet และ NARNet โดยใช้ค่า R ที่คิดค้นพัฒนาขึ้นในการลดขนาดโครงข่ายแต่ละโครงข่ายให้เหมาะสม พบว่าสามารถวางเครื่องสังยุคเฟสแสงได้ด้วยจำนวนน้อยกว่าการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงในกรณีที่วางกลางข่ายเชื่อมโยงทุกๆ ข่าย

ระเบียบขั้นตอนวิธีในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงที่ได้คิดค้นขึ้นนั้น คือ

1. คำนวณหาระยะทางของกราฟฟิก รวมทั้งข่ายเชื่อมโยงที่กราฟฟิกของทุกๆ สถานี

2. ประเมินโครงข่ายว่า สามารถวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงให้เหมาะสมที่สุด โดยใช้พารามิเตอร์ R เป็นตัวตัดสิน ซึ่งค่า จะเป็นตัวตัดสินว่า ควรจะใช้การวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงแบบไหนระหว่างการวางตรงกลางข่ายเชื่อมโยงหรือวางโดยใช้ระเบียบชั้นตอนวิธีนี้
3. คำนวณหาช่วงในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงในแต่ละทราฟฟิก
4. นำช่วงที่จะวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงในข้อ 3 มาคิดหาตำแหน่งที่เหมาะสมในแต่ละข่ายเชื่อมโยง โดยใช้วิธีซ้อนทับ (intersection) ของทุกๆทราฟฟิก
5. ตรวจสอบผลของการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสง เพื่อให้ไม่จำเป็นต้องลดขนาดโครงข่ายลง ผู้วิจัยจึงได้ใช้วิธีเลือกช่วงของความยาวคลื่นที่เหมาะสม หรือช่วงของค่าดิสเพอร์ชันเริ่มต้นที่เหมาะสมแทน ระเบียบชั้นตอนในการดำเนินการจะถูกปรับเปลี่ยนไปเป็นดังนี้

1. คำนวณหาทราฟฟิกของชนิดต่างๆ โดยใช้ระเบียบวิธีหาเส้นทางแบบสั้นที่สุด (shortest path) ระหว่างคู่โหนดกราฟฟิกนี้ใดๆ รวมถึงหาข่ายเชื่อมโยงที่เกี่ยวข้องในท เพื่อนำมาคิดหาค่าพารามิเตอร์
2. หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ กับ ค่าความยาวคลื่น (λ) เพื่อหาช่วงของความยาวคลื่น และช่วงของค่าดิสเพอร์ชันเริ่มต้นของช่องสัญญาณทั้งหมด ที่ทำให้พารามิเตอร์ มีค่าระหว่าง 0.1 – 1
3. คำนวณหาช่วงในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงในแต่ละทราฟฟิก นำตำแหน่งในข้อที่ 3 มาคิดหาตำแหน่งที่เหมาะสมในแต่ละข่ายเชื่อมโยง โดยใช้วิธีซ้อนทับกัน(intersection) ทุกทราฟฟิก
4. ตรวจสอบผลของการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสง

จากการทดลองวิธีดังกล่าวบน ERNet ซึ่งประกอบด้วย 42 link และ 15 node ช่วงของความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับโครงข่ายดังกล่าว คือ 1220.21-1248.51 nm โดยใช้จำนวน OPC เพียงแค่ 10 ตัว. สำหรับโครงข่าย NARNet ซึ่งประกอบด้วย 48 link และ 17 node ช่วงของความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับโครงข่ายดังกล่าว คือ 1220.20-1237.50 nm โดยใช้จำนวน OPC เพียงแค่ 10 ตัวเช่นเดียวกัน. จะเห็นได้ว่า ด้วยวิธีดังกล่าวเราสามารถลดจำนวน OPC บนโครงข่าย ERNet และ NARNet ลงมาได้ถึง 32 และ 38 ตัวตามลำดับ

นอกจากนี้ในระบบที่มีการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสง สัญญาณที่ออกจากเครื่องส่งยุคเฟสแสง จะมีกำลังสัญญาณลดลงมากกว่าการจัดการดิสเพอร์ชันแบบอื่น จึงต้องมีการใช้เครื่องขยายสัญญาณเพิ่มขึ้น ซึ่งเครื่องขยายสัญญาณนั้นนอกจากจะขยายสัญญาณข้อมูลแล้ว ยังขยายสัญญาณรบกวนในระบบอีกด้วย ทำให้ OSNR ของระบบลดลง ดังนั้นเราจึงทำการวิเคราะห์ค่า OSNR ในโครงข่าย โดยพิจารณาจากอัตราส่วน OSNR ระหว่างโครงข่ายที่วางเครื่องส่งยุคเฟสแสงแล้ว กับโครงข่ายที่ยังไม่ได้วางเครื่องส่งยุคเฟสแสงในโครงข่ายแบบแพร่และเลือกสัญญาณ จะมีค่า OSNR ลดลง 1.890 dB ส่วนโครงข่ายแบบเมช จะได้ผลดังนี้ OPEN อัตราส่วน OSNR ลดลง 5.863 dB ERNet อัตราส่วน OSNR ลดลง 7.467dB NARNet อัตราส่วน OSNR ลดลง 8.850 dB และกรณีมีการกู้คืนสัญญาณ อัตราส่วน OSNR จะลดลง 5.227 dB

สารบัญ

บทคัดย่อ.....	iii
Abstract.....	iv
Executive summary.....	V
บทที่ 1: บทนำ.....	1
บทที่ 2: การวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงในโครงข่ายแบบวงแหวน.....	10
บทที่ 3: การวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงในโครงข่ายแบบแพร่และเลือกสัญญาณ.....	82
บทที่ 4: การวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงในโครงข่ายแบบเมช	105
บทที่ 5: การวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงในโครงข่ายแบบเมช กรณีที่ข่ายเชื่อมโยงเกิดความเสียหายและ การวิเคราะห์ OSNR.....	186
บทที่ 6: การหาช่วงความยาวคลื่นใหม่ที่ส่งได้โดยไม่ต้องลดขนาดโครงข่าย	255
บทที่ 7: บทสรุป.....	307
รายการอ้างอิง.....	309