บทที่ 1

บทนำ

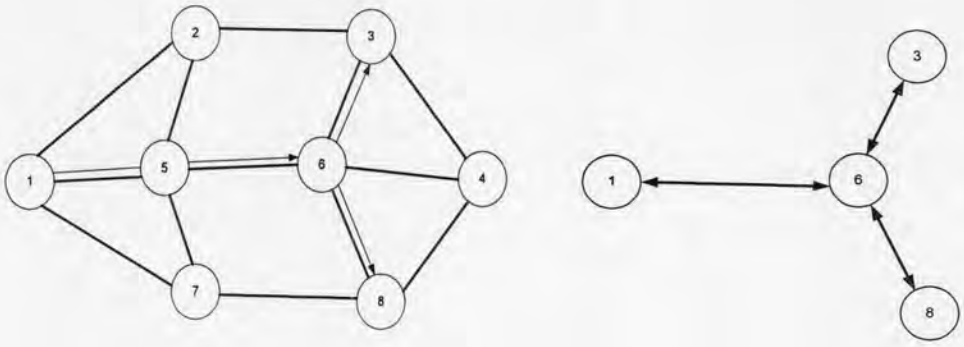
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น[1,2] (Wavelength Division Multiplexing, WDM) เป็นเทคโนโลยีที่นำมาใช้กับโครงข่ายความเร็วสูง (High-Speed Network) ซึ่งสามารถส่งผ่านข้อมูลได้หลายประเภทพร้อมๆ กัน เช่น ข้อมูล ภาพ หรือ เสียงภายในโครงข่ายเดียว ลักษณะเด่นของ WDM คือเป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพสูงซึ่งสามารถใช้ประโยชน์จากความกว้างของช่องสัญญาณหรือแบนด์วิดท์ (Bandwidth) ของเส้นใยนำแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะสำหรับใช้ในการออกแบบโครงข่ายความเร็วสูงในอนาคตอย่างมาก ซึ่งจะสามารถส่งข้อมูลได้สูงถึงระดับ Terrabits per second (Tbps) หลักการทำงานของ WDM คือ การมัลติเพลกซ์ช่องสัญญาณหลาย ๆ ช่องรวมกันเพื่อส่งข้อมูลผ่านเส้นใยนำแสงเพียงเส้นเดียว โดยช่องสัญญาณแต่ละช่องอาศัยคลื่นพาห์ (Carrier) ที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกัน

ในปัจจุบันนี้ การเจริญเติบโตของเทคโนโลยีการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่นและการใช้งานของเส้นใยนำแสง ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อตอบสนองความต้องการการบริโภคข้อมูลข่าวสารของผู้ใช้งาน เช่นการให้บริการ E-Business การศึกษาทางไกล (Distance Learning) การประชุมทางไกล (Teleconference) การสัมนาผ่านทางวิดีโอ (Video Conference) การประมูลที่มีการถ่ายทอดสด (Live Auction) การถ่ายทอดสดทางอินเทอร์เน็ต การส่งข้อมูลวีดีโอไปยังผู้รับที่ร้องขอ (Video on Demand) และ เกมส์ออนไลน์ เป็นต้น ดังนั้นโครงข่ายต้องสามารถรองรับทราฟฟิกที่มีการส่งจากโนดต้นทางไปยังกลุ่มของโนดปลายทางได้ในเวลาเดียวกันหรือที่เรียกว่ามัลติคาสต์ (Multicast) [3]ได้

ในอดีตที่ผ่านมานั้นการออกแบบโครงข่าย WDM โดยมากเป็นงานวิจัยเพื่อรองรับการให้บริการแบบยูนิคาสต์ (Unicast) ซึ่งเป็นทราฟฟิกที่มีลักษณะข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนดต้นทางและ โนดปลายทางในการส่งข้อมูลเป็นการเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุด (Point-to-Point) แต่ด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยี และ พฤติกรรมของผู้ใช้บริการพบว่า ในอนาคตการบริการแบบมัลติคาสต์ มีแนวโน้มที่จะได้รับการตอบสนองจากผู้ใช้เพิ่มมากขึ้น เพราะสามารถตอบสนองความต้องการบริการรูปแบบเดียวกันสำหรับผู้ใช้จำนวนมากได้ในช่วงเวลาเดียวกัน โดยอาศัยการเชื่อมต่อแบบจุดต่อหลายจุด (Point-to-Multipoint)ในการส่งข้อมูลด้วยรูปแบบของการบริการที่เปลี่ยนไป จึงจำเป็นต้องมีการประยุกต์ปรับเปลี่ยนโครงข่ายให้สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในงานวิจัย [4] เสนอลักษณะการส่งข้อมูลแบบโครงสร้างต้นไม้เชิง

แสง (Light-Tree) ดังรูปที่ 1.1 เพื่อสนับสนุนบริการแบบมัลติคาสต์ โดยมีการติดตั้งอุปกรณ์แยกสัญญาณ (Wavelength Splitter) ลงบนโครงข่าย WDM เพื่อทำหน้าที่แยกสัญญาณขาเข้าออกเป็นสัญญาณย่อยขาออกหลาย ๆ สัญญาณ ทำให้สามารถส่งข้อมูลเพียงชุดเดียวจากโนดต้นทางไปยังโนดปลายทางหลาย ๆ โนดในเวลาเดียวกันได้ ข้อดีของการนำโครงสร้างต้นไม้เชิงแสงมาใช้เป็นรูปแบบในการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์คือ การส่งข้อมูลลักษณะนี้จะใช้จำนวนเครื่องส่งน้อยกว่าการส่งข้อมูลโดยตรงจากโนดต้นทางไปยังโนดปลายทางแต่ละโนดแบบจุดต่อจุด อีกทั้งยังเป็นการลดปริมาณ ทราฟฟิกที่ออกจากโนดต้นทางอีกด้วย



รูปที่ 1.1 โครงข่ายที่รองรับมัลติคาสต์และข่ายเชื่อมโยงแบบต้นไม้เชิงแสงระหว่างกลุ่มโนด

จากงานวิจัยที่ผ่านมา มีงานวิจัยที่พิจารณาถึงการจัดเส้นทางและการกำหนดความยาวคลื่นให้กับทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์ (Multicast Routing and Wavelength Assignment, MC-RWA) บนโครงข่าย WDM งานวิจัย [5] เป็นการเสนอใช้ขั้นตอนวิธีฮิวริสติกในการจัดสร้างและปลดเส้นทางเชิงแสง (Lightpath) สำหรับการจัดเส้นทางในโครงข่าย WDM งานวิจัย [6] เป็นการออกแบบโครงข่าย WDM เพื่อรองรับการใช้งานแบบมัลติคาสต์ โดยพิจารณาการจัดเส้นทาง การกำหนดความยาวคลื่น และการออกแบบเส้นทางเชิงแสงบนโทโพโลยีแบบตรรกะ (Logical Topology) งานวิจัย [7] เป็นการศึกษาการกำหนดความยาวคลื่นให้กับทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์ (Multicast Wavelength Assignment, MC-WA) บนโครงข่าย WDMโดยพิจารณาถึงการติดตั้งอุปกรณ์แยกสัญญาณ (Wavelength Splitter) และอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (Wavelength Converter)ในโครงข่าย งานวิจัย [8] เป็นการศึกษาการออกแบบต้นไม้เชิงแสงให้เหมาะสมที่สุดบนโทโพโลยีแบบตรรกะเพื่อรองรับการใช้งานแบบมัลติคาสต์ โดยพิจารณาการออกแบบออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกจะเป็นการจัดเส้นทางและกำหนดความยาวคลื่นของต้นไม้เชิงแสง ในส่วนที่สองจะเป็นการออกแบบต้นไม้เชิงแสงบนโทโพโลยีแบบตรรกะ งานวิจัย [9,10] เป็นการพิจารณาค่าใช้จ่ายในการออกแบบโครงข่าย WDM เพื่อรองรับการใช้งานแบบมัลติคาสต์ ค่าใช้จ่ายในแต่ละเซสชันจะ

ประกอบไปด้วย การใช้งานของความยาวคลื่น (Wavelength Cost) อุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น และค่าใช้จ่ายในการเริ่มต้นเชื่อมต่อ (Initial Transmission Cost) ในการออกแบบจะพิจารณาออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกจะเป็นการกำหนดความยาวคลื่นที่ใช้ในโครงข่าย ส่วนที่สองเป็นการจัดเส้นทางของมัลติคาสต์ในโครงข่าย งานวิจัย [11] เป็นการออกแบบโครงข่าย WDM โดยการจัดเส้นทางของมัลติคาสต์ให้มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด ซึ่งจะมีการกำหนด โทโพโลยีของโครงข่าย ความจุของช่องสัญญาณในแต่ละข่ายเชื่อมโยง และกลุ่มของโนดปลายทางมาให้ งานวิจัย [12] นำเสนอ Bounded Shortest Multicast Algorithm (BSMA) ในการจัดสร้างต้นไม้เชิงแสงให้มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับของค่าหน่วงเวลา ซึ่ง BSMA แบ่งการทำงานออกเป็นสองกระบวนการ กระบวนการแรกจะเป็นการหาค่าหน่วงเวลาในต้นไม้เชิงแสงให้มีค่าต่ำที่สุดโดยใช้ขั้นตอนวิธีวิถีที่สั้นที่สุด (Shortest Path Algorithm) กระบวนการที่สองจะเป็นการวนซ้ำ (Iterative) เพื่อปรับปรุงหาค่าใช้จ่ายภายใต้เงื่อนไขบังคับของค่าหน่วงเวลา งานวิจัย [13] พิจารณาเงื่อนไขบังคับในการจัดเส้นทางของมัลติคาสต์ในโครงข่ายให้บางโนดไม่สามารถแยกสัญญาณที่เข้ามาได้ (Sparse Light-Splitting) จากเหตุผลทางเศรษฐศาสตร์ ทีมวิจัยได้เสนอขั้นตอนวิธีการจัดเส้นทางของมัลติคาสต์ 4 วิธีคือ 1) Reroute-to-Source 2) Reroute-to-Any 3) Member-First และ 4) Member only ซึ่งจะมีการกำหนดโทโลโลยีของโครงข่าย ข้อมูลสมาชิกของมัลติคาสต์ และสวิตช์ที่มีความสามารถในการแยกสัญญาณมาให้ งานวิจัย [14] เป็นการออกแบบโครงข่าย WDM ภายใต้เงื่อนไขบังคับของอุปกรณ์แยกสัญญาณแบบ Sparse Splitting Capable Network โดยใช้ขั้นตอนวิธีฮิวริสติกในการคำนวณให้มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยข้างต้นโดยส่วนมากจะเป็นการใช้ขั้นตอนวิธีฮิวริสติก (Heuristic Algorithm) ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโครงข่ายหนึ่ง ๆ ในการจัดเส้นทางและกำหนดความยาวคลื่นสำหรับโครงข่าย WDM ที่รองรับทราฟฟิกแบบมัลติคาสต์

ในการออกแบบโครงข่าย WDM นั้น นอกจากจะต้องพิจารณาถึงปัญหาทางด้านการจัดเส้นทางและการกำหนดความยาวคลื่นให้กับทราฟฟิกในโครงข่ายแล้ว การจัดเส้นทางเมื่อโครงข่ายเกิดความเสียหายก็ยังเป็นประเด็นสำคัญที่ควรคำนึงถึง เนื่องจากโครงข่าย WDM เป็นโครงข่ายความเร็วสูง หากเกิดความขัดข้องขึ้นในโครงข่าย ย่อมทำให้ข้อมูลที่ส่งผ่านโครงข่ายเกิดการสูญหาย (Loss) ขึ้น โดยผลเสียนี้จะเกิดขึ้นอย่างรุนแรงกว่าในกรณีการส่งข้อมูลผ่านโครงข่ายความเร็วต่ำ ดังนั้น ในการออกแบบโครงข่าย WDM ควรออกแบบให้โครงข่ายสามารถจัดเส้นทางใหม่เมื่อเกิดความเสียหายในโครงข่ายได้

ในงานวิจัย [15-20] เป็นการศึกษาการจัดเส้นทางเมื่อโครงข่ายเกิดความเสียหายขึ้นหนึ่งข่ายเชื่อมโยง(Single Link Failure)โดยใช้วิธีจัดเส้นทางแบบใช้เส้นทางสำรองร่วมกัน 2 วิธีคือ 1) วิธีไม่ซ้ำเส้นทางเดิมแบบพิจารณาทิศทาง (Arc Disjoint) วิธีนี้เส้นทางหลักและเส้นทางสำรองสามารถใช้งานร่วมกันบนเส้นใยนำแสงเดียวกันได้ในคนละทิศทาง และ 2) วิธีไม่ซ้ำเส้นทางเดิมแบบไม่

พิจารณาทิศทาง (Link Disjoint) วิธีนี้เส้นทางสำรองสามารถใช้เส้นทางร่วมกับเส้นทางหลักของเซสชันอื่นหรือเส้นทางสำรองของเซสชันอื่นได้ และใช้วิธีการของ ILP ในการคำนวณหาค่าใช้จ่ายในการจัดเส้นทางใหม่ในโครงข่ายให้มีค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด งานวิจัย [21] เสนอวิธีการจัดเส้นทางใหม่เมื่อเกิดความเสียหายขึ้นหนึ่งข่ายเชื่อมโยงในโครงข่าย 4 วิธีคือ

1) Light-Tree Reconfiguration วิธีนี้จะเป็นการจัดเส้นทางใหม่หมดทุกเซสชัน ทั้งเซสชันที่เกิดความเสียหายในข่ายเชื่อมโยงและเซสชันที่ไม่เกิดความเสียหายในข่ายเชื่อมโยง

2) Light-Tree Interrupted Reconfiguration วิธีนี้จะทำการจัดเส้นทางใหม่ให้เฉพาะกับเซสชันที่เกิด ความเสียหายในข่ายเชื่อมโยง

3) Optical Branch เมื่อเกิดความเสียหายในข่ายเชื่อมโยง การจัดเส้นทางใหม่วิธีนี้จะปลดในส่วนที่เกิด ความเสียหายออกและจัดสร้างข่ายเชื่อมโยงขึ้นมา

4) Optical Branch Fixed วิธีนี้จะเป็นการกำหนดเส้นทางสำรองไว้รองรับการจัดเส้นทางใหม่เมื่อเกิด ความเสียหายขึ้นหนึ่งข่ายเชื่อมโยง

จะเห็นได้ว่างานวิจัยที่เกี่ยวกับการจัดเส้นทางใหม่เมื่อเกิดความเสียหายในโครงข่ายนั้น ส่วนมากจะเป็นการพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้นที่ข่ายเชื่อมโยง ซึ่งจะเกิดผลเสียหายต่อโครงข่ายไม่มากนัก แต่ถ้าเกิดความเสียหายขึ้นที่โนดจะเกิดความเสียหายต่อโครงข่ายมากกว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอวิธีการจัดเส้นทางใหม่เมื่อเกิดความเสียหายขึ้นหนึ่งโนดในโครงข่าย โดยใช้วิธีการของ Integer Linear Programming (ILP) ในการหาจำนวนเส้นใยนำแสงที่น้อยที่สุดเพื่อรองรับทราฟฟิกทั้งหมดที่เกิดขึ้นในโครงข่าย โดยพิจารณาออกเป็น 2 กรณีคือ 1) กรณีทุกโนดในโครงข่ายไม่มีอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นติดตั้งอยู่ 2) กรณีทุกโนดในโครงข่ายมีอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นติดตั้งอยู่ โดยให้แต่ละเซสชันของมัลติคาสต์ที่พิจารณาแต่ละกลุ่มมีโนดต้นทางแตกต่างกัน และลักษณะการติดต่อสื่อสารภายในกลุ่มสมาชิกมัลติคาสต์เป็นแบบโครงสร้างต้นไม้เชิงแสง อีกทั้งกำหนดให้ข่ายเชื่อมโยงในโครงข่ายเป็นชนิดสองทิศทาง (Bidirectional)

วิธีการจัดเส้นทางใหม่เมื่อเกิดความเสียหายขึ้นหนึ่งโนดในโครงข่ายที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอมี 3 วิธีคือ

1) Reconfiguration of entire network วิธีนี้จะเป็นการจัดเส้นทางจากโนดต้นทางไปยังโนดปลายทาง ทุกเซสชันทั้งเซสชันที่มีเส้นทางผ่านโนดที่เสียหายและเซสชันที่ไม่ได้มีเส้นทางผ่านโนดที่เสียหาย

2) Reconfiguration of traffic traversing through failure node วิธีนี้จะเป็นการจัดสรรเส้นทางใหม่ให้เฉพาะเซสชันที่มีเส้นทางผ่านโนดที่เสียหายแบบเส้นทางที่ไม่ซ้ำโนด (Node Disjoint)

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันวิทยบริการ

3) Reconfiguration of traffic adjacent to failure node วิธีนี้นอกจากจะจัดสรรเส้นทางใหม่ให้เฉพาะเซสชันที่มีเส้นทางผ่านโนดที่เสียหายแล้วยังจะจัดสรรเส้นทางใหม่ให้เซสชันที่มีโนดระหว่างทางเชื่อมต่อมายังโนดที่เสียหายด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

ศึกษาการจัดเส้นทางและการกำหนดความยาวคลื่นในโครงข่าย WDM สำหรับทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์(Multicast traffic) และเสนอวิธีการป้องกันโครงข่ายเมื่อเกิดความขัดข้องหนึ่งโนด 3 วิธีได้แก่ 1.Reconfiguration of entire network 2. Reconfiguration of traffic traversing through failure node และ 3. Reconfiguration of traffic adjacent to failure node โดยพิจารณาถึงจำนวนของเส้นใยนำแสงทั้งในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น และกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

1.3 เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1) เสนอเทคนิคแบบ Integer linear programming (ILP) ในการจำลองแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) ในการจำลองปัญหาการจัดเส้นทางและการกำหนดความยาวคลื่นในโครงข่าย WDM สำหรับทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์ โดยพิจารณาในด้านของจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น และ กรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

2) เสนอเทคนิค ILP ในการจำลองแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการจำลองปัญหาการจัดสรรเส้นทางใหม่ เมื่อโนดในโครงข่ายมีความเสียหายหนึ่งโนด 3 วิธีได้แก่

1) Reconfiguration of entire network
2) Reconfiguration of traffic traversing through failure node
3) Reconfiguration of traffic adjacent to failure node

3) เปรียบเทียบจำนวนช่องสัญญาณที่ใช้ในการจัดสรรเส้นทางใหม่ในแต่ละวิธีเมื่อโนดในโครงข่ายมีความเสียหายหนึ่งโนด โดยพิจารณาในด้านของจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น และ กรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

4) เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียในแต่ละวิธีการจัดสรรเส้นทางใหม่ โดยพิจารณาในด้านของจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น และ กรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ

1) ศึกษาบทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

1.1) ศึกษาบทความเกี่ยวกับเทคโนโลยี WDM

1.2) ศึกษาโครงสร้างของโครงข่ายเชิงแสงที่ใช้รองรับทราฟฟิกแบบมัลติคาสต์

1.3) ศึกษาบทความเกี่ยวกับการจัดเส้นทางและความยาวคลื่นที่ใช้ในการรองรับทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์ของโครงข่ายเชิงแสง

1.4) ศึกษาวิธีการจัดเส้นทางใหม่ในโครงข่ายที่ใช้รองรับทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์เมื่อเกิดความเสียหายหนึ่งโนด

2) ศึกษาวิธีการของ Integer Linear Programming (ILP) ที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดสรรเส้นทางในโครงข่ายเมื่อเกิดความเสียหายหนึ่งโนด

3) ออกแบบวิธีการจัดสรรเส้นทางในโครงข่ายจากความเสียหายของโนด 3 วิธีที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น

4) ทดสอบวิธีการจัดสรรเส้นทางใหม่ในโครงข่ายจากความเสียหายของโนดที่ได้ออกแบบไว้และวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้น

5) รวบรวมและสรุปผลการวิจัยเพื่อเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) สามารถจัดสรรเส้นทางในโครงข่าย WDMที่ใช้รองรับทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์ได้มื่อโครงข่ายมีความเสียหายหนึ่งโนด

2) สามารถจัดสรรเส้นทางในโครงข่าย WDMให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ในโครงข่าย

3) ทราบถึงข้อดีข้อเสียของวิธีการจัดสรรเส้นทางโครงข่าย WDMในแต่ละวิธีและสามารถนำไปใช้ได้อย่างเหมาะสม