หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการสื่อสารข้อมูลมีความต้องการรับส่งข้อมูลที่มีขนาดใหญ่หรือปริมาณมาก และต้องการความรวดเร็วสูง เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้บริการต่าง ๆ กัน เช่น การสื่อสารทางอินเทอร์เน็ต ที่มีความต้องการส่งข้อมูลภาพและเสียง อาทิ การดาวน์โหลดข้อมูล ภาพยนตร์ เพลง เกมส์ออนไลน์ การสนทนา msn การถ่ายทอดสดทางอินเทอร์เน็ต การประชุมทางไกล (Teleconference) เป็นต้น ดังนั้นโครงข่ายการสื่อสารจึงต้องสามารถรองรับช่องสัญญาณ (Channel) แบนด์วิดท์ (Bandwidth) ได้เพียงพอกับปริมาณความต้องการและมีประสิทธิภาพ เทคโนโลยีหนึ่งที่เหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ในปัจจุบันนี้ได้แก่ เทคโนโลยีการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น (Wavelength Division Multiplexing technology) [1-3] หรือเรียกสั้น ๆ ว่า WDM เทคโนโลยี WDM มีหลักการทำงาน คือ ทำการมัลติเพลกซ์ช่องสัญญาณจำนวนหนึ่งรวมกันโดยอาศัยคลื่นพาห์ (carrier) ที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันเพื่อส่งไปในเส้นใยนำแสง (Optical fiber) เดียวกัน ทำให้การเข้าใช้ประโยชน์ของแบนด์วิดท์ของเส้นใยนำแสงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวจึงให้มีการนำเทคโนโลยี WDM มาใช้ในการออกแบบโครงข่ายความเร็วสูง ซึ่งสามารถรับส่งข้อมูลได้สูงถึงระดับ เทระบิตต่อวินาที

เทคโนโลยี WDM ในสมัยก่อน การขยายแบนด์วิดท์สำหรับการส่งข้อมูลแบบจุดต่อจุดผ่านข่ายเชื่อมโยงใยแสง (Fiber link) ส่งผลกระทบให้แสงบางส่วนในโครงข่ายไม่สามารถส่งผ่านไปได้ เนื่องจากว่าสัญญาณข้อมูลเชิงแสง (Optical data signal) ที่ส่งผ่านไปทุก ๆ โนดระหว่างทาง ใช้ตัวแปลงสัญญาณ Optical-to-Electrical-to-Optical (OEO) [3] อย่างไรก็ตามในปัจจุบันได้มีการติดตั้งอุปกรณ์ขยายสัญญาณแสง (Optical amplifier) และ Optical cross-connects (OXCs) เพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงานแบบ all-optical domain จึงไม่มีการนำ OEO มาใช้กับโนดระหว่างทาง ส่งผลให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายมีมากขึ้น เราเรียกโครงข่ายประเภทนี้ว่า all-optical network ซึ่งหน้าที่หลัก ๆ ของ OXCs คือ ใช้ในการสวิตช์ข้อมูลระหว่างสัญญาณอินพุทกับสัญญาณเอาท์พุทที่ความยาวคลื่นเดียวกัน ส่วนลักษณะการเชื่อมต่อใน all-optical network นี้เรียกว่าวิถีเชิงแสง (Lightpath) ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อทางแสงบนความยาวคลื่นเฉพาะของจำนวนข่ายเชื่อมโยงใยแสงจากโนดต้นทางไปยังโนดปลายทาง

ในงานออกแบบโครงข่าย WDM เมื่อโครงข่ายที่พิจารณาประกอบด้วยโนด (node) ในโครงข่ายจำนวน N โนด ถ้าแต่ละโนดติดตั้งอุปกรณ์รับส่งเชิงแสง (optical transceiver) จำนวน $N-1$ ตัว และมีจำนวนความยาวคลื่นเพียงพอกับข่ายเชื่อมโยงใยแสงทุกเส้น แต่ละคู่โนดของโครงข่ายย่อมสามารถเชื่อมต่อวิถีเชิงแสงซึ่งกันและกันได้อย่างไม่มีปัญหา แต่ในความเป็นจริงอุปกรณ์รับส่งเชิงแสงมีต้นทุนค่าใช้จ่าย (Cost) ค่อนข้างสูงและจำนวนช่องสัญญาณของความยาวคลื่นที่ใช้รองรับในเส้นใยมีอยู่อย่างจำกัด ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงต้องมีการออกแบบวิธีการบริหารจัดการทรัพยากรโครงข่ายให้สามารถรองรับปริมาณทราฟฟิกของผู้ใช้ในระบบได้ทั้งหมดและมีประสิทธิภาพเพื่อสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายลง วิธีการที่นำมาใช้ออกแบบแก้ปัญหานี้ ได้แก่ การจัดสรรเส้นทางและกำหนดความยาวคลื่น (Routing and Wavelength Assignment, RWA) [3-7]

งานวิจัยจำนวนมากจะมุ่งเน้นศึกษาปัญหา RWA เพียงการสื่อสารแบบจุดต่อจุด (Point-to-Point Communication) หรือ ยูนิคาสต์ (Unicast) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายการใช้เส้นใยนำแสงให้มีค่าน้อยที่สุด แต่เทคโนโลยีในปัจจุบันที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเช่น อินเทอร์เน็ตมีรูปแบบทราฟฟิกในลักษณะการสื่อสารแบบจุดต่อหลายจุด (Point-to-Multipoint communication) หรือ มัลติคาสต์ (Multicast) ดังนั้นงานวิจัย [8] จึงเสนอการนำโครงสร้างต้นไม้ (Tree) มาใช้เป็นโครงสร้างพื้นฐานในการสร้างเส้นทางการเชื่อมต่อเพื่อตอบสนองการร้องขอการรับส่งข้อมูลเป็นจำนวนมากได้ โครงสร้างดังกล่าวนี้จะมีข้อดีคือ มีการใช้ข่ายเชื่อมโยงร่วมกันในการรับส่งข้อมูลบนพื้นฐานการสื่อสารแบบจุดต่อจุดจากโนดต้นทางไปยังโนดปลายทางได้ทั้งหมด เรียกปัญหา RWA ที่สามารถรองรับทราฟฟิกมัลติคาสต์นี้ว่าการจัดสรรเส้นทางและกำหนดความยาวคลื่นให้กับทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์ (Multicast Routing and Wavelength Assignment , MC-RWA) [4,9,10]

ปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่ต้องพิจารณาในการออกแบบโครงข่าย WDM ที่ทำให้โครงข่ายสามารถรับส่งข้อมูลที่มีปริมาณมาก ๆ ด้วยอัตราบิตมากกว่า 100 กิกะบิตต่อวินาทีได้นั้น หากมีอุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่ง (เช่น ข่ายเชื่อมโยงหรือโนด) ในโครงข่ายเกิดความเสียหาย ย่อมทำให้เกิดความสูญหายของข้อมูลจำนวนมากได้ ส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อรายได้ในเชิงธุรกิจ ดังนั้นเพื่อที่จะหลีกเลี่ยงผลกระทบดังกล่าวจึงต้องคำนึงถึงการป้องกันโครงข่าย (Network protection) เพื่อทำให้มีความต่อเนื่องในการให้บริการเมื่อมีความเสียหายเกิดขึ้น จึงได้มีงานวิจัยจำนวนมากที่นำเสนอวิธีจัดการกับปัญหานี้ การออกแบบมีทั้งการออกแบบระบบที่มีการเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุดสำหรับทราฟฟิกแบบยูนิคาสต์ และระบบที่มีการเชื่อมต่อแบบจุดต่อหลายจุดสำหรับทราฟฟิกแบบมัลติคาสต์ จึงต้องมีการออกแบบการป้องกันโครงข่าย WDM ที่ดีพอเพื่อให้โครงข่ายสามารถใช้ประโยชน์ได้สูงสุดโดยที่มีการลงทุนน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ นอกจากนั้นยังพิจารณาในส่วน

ของการกำหนดความยาวคลื่น (Wavelength assignment) โดยศึกษาถึงผลกระทบของการที่มีอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (Wavelength converter) ติดตั้งอยู่บนโครงข่าย ในแง่ของต้นทุนค่าใช้จ่าย

การนำสมการทางคณิตศาสตร์มาเพื่อแก้ปัญหาการหาค่าผลเฉลยที่เหมาะที่สุดนั้น จัดได้ว่าเป็นวิธีการหนึ่งที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากเนื่องจากวิธีนี้ให้ผลลัพธ์ออกมาถูกต้องและแม่นยำ นั่นก็หมายความว่า เมื่อนำมาออกแบบคำนวณหาต้นทุนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงของโครงข่ายจะได้ค่าคำตอบออกมาน้อยที่สุดนั่นเอง โดยเทคนิคที่นำมาจัดการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์นี้ เรียกว่า ILP (Integer Linear Programming) ถึงแม้ว่า ILP จะเป็นกรรมวิธีคำนวณหาผลเฉลยที่มีประสิทธิภาพมากแต่งานวิจัย [11] พบว่าการค้นหาผลเฉลยในกรณีที่ปัญหาที่ทดสอบมีขนาดค่อนข้างใหญ่ (NP-hard) เช่น โครงข่าย NSFNet ขนาด 14 โนด 21 ข่ายเชื่อมโยง จะใช้เวลาในการแก้ปัญหานานมากกว่า 10 ชั่วโมง อันเนื่องมาจากจำนวนเงื่อนไขบังคับและจำนวนตัวแปรที่ไม่ทราบค่ามีความซับซ้อนสูง ดังนั้นเมื่อโครงข่ายที่ใช้ทดสอบมีขนาดใหญ่จะส่งผลให้ความซับซ้อนในการคำนวณมีขนาดเวลาเพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โพเนนเชียล งานวิจัย [12] จึงเสนอวิธีการแก้ปัญหาแบบ NP-hard ให้มีความซับซ้อนน้อยลงโดยการจำแนกปัญหาออกเป็นส่วน ๆ ทำให้ปัญหามีขนาดเล็กลงแล้วแยกกันคำนวณ ซึ่งเป็นรูปแบบของกระบวนการฮิวริสติก (Heuristic procedure)

ในงานทางด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีได้มีการคิดค้นนำเสนอตัวอย่างการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะที่สุดของปัญหาที่มีขนาดใหญ่โดยใช้กรรมวิธีเชิงประมาณค่า นั่นก็คือ การนำอัลกอริทึมฮิวริสติก (Heuristic algorithm) [13-17] มาใช้เป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะที่สุด ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายเทคนิควิธี เช่น อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ Local Search (LS) อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ Simulated Annealing (SA) อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ Tabu Search (TS) อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ Genetic Algorithm (GA) หรือ อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ Ant colony เป็นต้น ซึ่งอัลกอริทึมต่าง ๆ เหล่านี้มีการพิสูจน์แล้วว่าผลเฉลยที่ได้นั้นอาจจะได้ค่าไม่ลู่เข้าคำตอบได้เสมอไปแต่ว่าใกล้เคียงและมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนหรือมีขนาดใหญ่ได้ดี เนื่องจากใช้เวลาในการประมวลผลไม่มากนัก จึงเป็นที่นิยมนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดเช่นกัน โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนออัลกอริทึมฮิวริสติกสำหรับงานออกแบบการป้องกันบนโครงข่าย WDM ด้วยกัน 3 แบบ ได้แก่ อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ LS อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ SA และ อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ TS โดยหลักการของอัลกอริทึมแต่ละวิธีที่นำเสนออธิบายพอสังเขปได้ดังนี้

อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ LS [13-15,21] เป็นเทคนิควิธีที่ใช้ในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดเชิงการจัด (Combinatorial optimization problem) ซึ่งเป็นปัญหาแบบ NP-hard โดยอาศัยการปรับเปลี่ยนคำตอบจากที่มีอยู่ไปเรื่อย ๆ ทีละน้อยในลักษณะวนซ้ำ (iterative) จนกว่าจะได้ผลเฉลยที่พอใจ โดยสร้างเซตของผลเฉลยหรือฟังก์ชันข้างเคียง (Neighborhood function) มาใช้ในการพิจารณา โดยในการตัดสินใจนั้นจะนำผลเฉลยก่อนหน้ามาเปรียบเทียบกับผลเฉลยปัจจุบัน หากพบว่าผลเฉลยปัจจุบันให้คำตอบที่ดีกว่าผลเฉลยก่อนหน้าก็จะยอมรับค่าคำตอบของผลเฉลยนั้น และจะหยุดทำงานก็ต่อเมื่อพบค่าที่เหมาะที่สุดเฉพาะที่ (Local optimum)

อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ SA [13-15,21] เป็นขั้นตอนการลดอุณหภูมิระหว่างการหลอมเพื่อให้ได้โลหะที่อยู่ในสภาวะที่เหมาะที่สุด (โดยจะลดอุณหภูมิอย่างช้า ๆ เพื่อให้ได้โลหะที่เหนียวไม่เปราะ) วิธีนี้เปรียบเทียบผลเฉลยปัจจุบันเป็นสถานะปัจจุบันของโครงสร้างโลหะในระบบ ฟังก์ชันต้นทุนที่กำกับผลเฉลยเปรียบเสมือนพลังงานของสถานะ และการทำงานวนซ้ำเปรียบเสมือนกับการค่อย ๆ ลดอุณหภูมิลงเรื่อย ๆ วิธีนี้มีฟังก์ชันการยอมรับผลเฉลยใหม่ที่ด้อยกว่าของเก่าได้ ภายใต้ความน่าจะเป็นซึ่งเป็นฟังก์ชันที่มีพารามิเตอร์ผลต่างของต้นทุนของผลเฉลยตัวใหม่เทียบกับต้นทุนของผลเฉลยตัวเก่า และตัวแปรอุณหภูมิ t ระหว่างการวนซ้ำตามสมการ $\exp(-\Delta f / kt)$ เมื่อ k คือค่าคงที่ของ Boltzmann เหตุผลที่ใช้ค่าตามสมการดังกล่าวนั้นมาจากพฤติกรรมของกระบวนการทางฟิสิกส์ระหว่างการหลอมละลายโลหะ ซึ่งหมายความว่า มีการยอมรับผลเฉลยที่ด้อยกว่าได้ง่ายในระยะแรกของการวนซ้ำ (เมื่ออุณหภูมิสูง) แต่จะยอมรับผลเฉลยที่ด้อยกว่ายากขึ้นเรื่อย ๆ จนเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงจะเกิดการยอมรับผลเฉลยที่ดีได้ง่ายกว่าผลเฉลยที่ด้อย การวนซ้ำจะสิ้นสุดเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงหรือไม่มีผลเฉลยที่ดีกว่าเกินระยะเวลาที่ตั้งเป็นเกณฑ์ไว้

อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ TS [13-15,21] เป็น Meta-heuristics ซึ่งเป็นฮิวริสติกวิธีหนึ่งที่ใช้สำหรับแก้ไขปัญหาที่มีรูปแบบเฉพาะตัว อัลกอริทึมแบบนี้มีข้อแตกต่างจากสองอัลกอริทึมที่กล่าวไว้ข้างต้นตรงที่มีการนำหน่วยความจำ (Memory) มาเป็นส่วนประกอบ ซึ่งมีหลักการพื้นฐานของวิธีการค้นหาผลเฉลยแบบเฉพาะที่ แต่กระบวนการค้นหาจะดำเนินต่อถึงแม้ว่าจะพบค่าที่เหมาะที่สุดเฉพาะที่ โดยจะทำการค้นหาต่อไปในบริเวณที่ไม่เคยไปมาก่อนถึงแม้ว่าจะให้ผลเฉลยที่ด้อยกว่าก็ตาม นั่นคือจะพิจารณาผลเฉลยถัดไปที่ไม่เคยถูกเลือกมาเท่านั้น (เพื่อป้องกันการทำงานซ้ำซ้อน) ดังนั้นจึงต้องมีการจัดเก็บผลเฉลยที่เคยถูกเลือกโดยใช้หน่วยความจำที่เรียกว่า Tabu list สำหรับตรวจสอบการเกิดผลเฉลยซ้ำซ้อนดังกล่าว โดยจะทำการเก็บข้อมูลของผลเฉลยที่ตรงตามเงื่อนไขไว้ใน Tabu list แล้วนำมาเปรียบเทียบกับผลเฉลยปัจจุบันเพื่อใช้ตัดสินใจดำเนินรอบการทำงานถัดไป

หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการออกแบบการป้องกันโครงข่าย WDM สำหรับทราฟฟิกแบบมัลติคาสต์เมื่อเกิดความเสียหายขึ้นหนึ่งข่ายเชื่อมโยง โดยใช้อัลกอริทึมฮิวริสติกที่ประกอบไปด้วย อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ LS อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ SA และอัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ TS โดยออกแบบโครงข่ายมีวัตถุประสงค์ คือ ให้ใช้จำนวนเส้นใยนำแสงน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้เส้นใยโดยอาศัยการจัดสรรเส้นทางและกำหนดความยาวคลื่นที่เหมาะสมให้กับโครงข่าย ซึ่งเป็นการพัฒนาต่อจากงานวิจัย [11] ที่ใช้กรรมวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ไม่มีความเหมาะสมสำหรับการแก้ไขปัญหาที่มีขนาดใหญ่เนื่องจากใช้ระยะเวลานานในการคำนวณผลหรือค้นหาคำตอบไม่ได้เลยในบางกรณี นอกจากนี้ยังพิจารณาผลกระทบของการมีและไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นในแง่ของต้นทุนค่าใช้จ่าย เปรียบเทียบสมรรถนะและข้อดีข้อเสียของอัลกอริทึมในแต่ละวิธี

1.2 วัตถุประสงค์

พัฒนาอัลกอริทึมฮิวริสติกสำหรับออกแบบการป้องกันโครงข่าย WDM (Wavelength Division Multiplexing) ที่รองรับทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์ เมื่อได้รับความเสียหายหนึ่งข่ายเชื่อมโยง โดยใช้เทคนิควิธีการป้องกันโครงข่ายแบบ PBF (Physical Branch Fixed) และ OMP (Optical Mesh Protection) ทั้งนี้จะคำนึงถึงเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาและออกแบบให้โครงข่ายมีความต้องการใช้เส้นใยนำแสงน้อยที่สุด

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. ศึกษาถึงการนำอัลกอริทึมฮิวริสติกมาประยุกต์ใช้สำหรับการออกแบบการป้องกันโครงข่าย WDM ที่มีทราฟฟิกแบบมัลติคาสต์เมื่อเกิดความเสียหายขึ้นหนึ่งข่ายเชื่อมโยง ได้แก่ กลยุทธ์การป้องกันแบบ PBF และ OMP ในกรณีที่มีการจัดสรรความยาวคลื่นแบบ VLT และ LT
2. ศึกษาข้อดีและข้อเสียในด้านจำนวนเส้นใยนำแสงที่ต้องจัดสรรให้กับโครงข่าย และความซับซ้อนในการบริหารโครงข่ายจากกรณีที่ข่ายเชื่อมโยงได้รับความเสียหาย
3. วิเคราะห์การทำงานเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างอัลกอริทึมฮิวริสติกแต่ละวิธี
4. เปรียบเทียบผลระหว่างอัลกอริทึมฮิวริสติกกับวิธี ILP

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
   1.1 ศึกษาบทความที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี WDM
   1.2 ศึกษาบทความที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรเส้นทางใหม่เมื่อเกิดความเสียหายหนึ่งข่ายเชื่อมโยง
   1.3 ศึกษาเกี่ยวกับบทความที่เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมฮิวริสติกทั้ง 3 แบบ
2. ทดสอบและออกแบบอัลกอริทึมฮิวริสติกเพื่อหาจำนวนเส้นใยนำแสงที่ต้องจัดสรรให้โครงข่ายที่สามารถป้องกันโครงข่ายเมื่อเกิดความเสียหายหนึ่งข่ายเชื่อมโยง
3. วิเคราะห์และเปรียบเทียบอัลกอริทึมฮิวริสติกแต่ละวิธีที่ได้จากการจำลองระบบ
4. สรุปงานวิจัยและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถออกแบบอัลกอริทึมฮิวริสติกเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์การป้องกันโครงข่ายแต่ละเทคนิค ด้วยเทคนิคการจัดสรรความยาวคลื่นที่มีรูปแบบแตกต่างกันได้
2. ทำให้ทราบข้อดีข้อเสียของการใช้อัลกอริทึมฮิวริสติกแต่ละวิธี เพื่อนำไปประกอบการพิจารณาเลือกวิธีที่เหมาะสมกับปัญหาการออกแบบโครงข่ายหนึ่ง ๆ มากที่สุดได้
3. เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยสำหรับการปรับปรุงและพัฒนาการออกแบบการป้องกันโครงข่าย WDM ต่อไป