หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การจัดสรรความจุสำรองของโครงข่าย DWDM สำหรับรองรับมัลติคาสต์ทราฟฟิก โดยใช้อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ Tabu Search

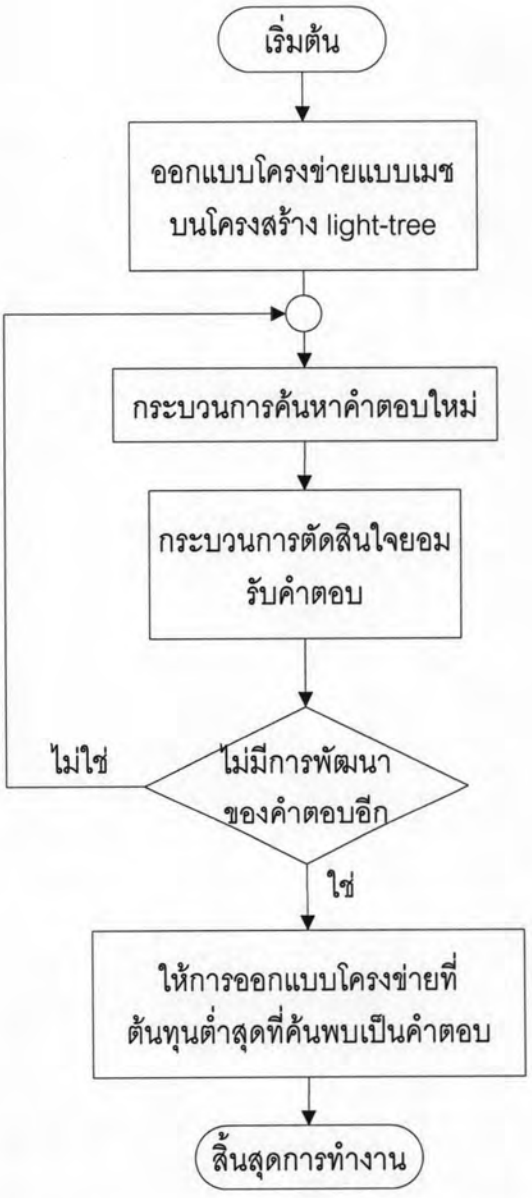
จากการศึกษาถึงผลเฉลยที่ได้จากการจำลองปัญหาด้วยสมการคณิตศาสตร์ใน [16] ซึ่งได้นำเสนอและทดสอบวิธีปกป้องโครงข่ายสำหรับรองรับทราฟิกแบบมัลติคาสต์ โดยอาศัยเครื่องมือที่เรียกว่า ILP พบว่ากระบวนการจัดสรรเส้นทางและความยาวคลื่นเมื่อทดสอบกับโครงข่ายที่มีขนาดใหญ่จะใช้เวลาค่อนข้างมาก ดังเหตุผลที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 1 ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงการนำอัลกอริทึมฮิวริสติกบนพื้นฐานการค้นหาแบบทาบูมาใช้ในการจัดสรรความจุสำรองของโครงข่าย DWDM แทนวิธีการดังกล่าว

3.1 อัลกอริทึมฮิวริสติกบนพื้นฐานของการค้นหาแบบทาบู

การหาผลเฉลยของปัญหาแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนสำคัญ คือ กระบวนการค้นหาคำตอบใหม่และกระบวนการตัดสินใจเพื่อยอมรับคำตอบ กระบวนการค้นหาคำตอบใหม่ คือ การปรับเปลี่ยนการออกแบบโครงข่ายจากเดิมไปสู่การออกแบบที่อาจจะให้ต้นทุนดีขึ้น คำตอบใหม่นี้อาจได้รับการยอมรับหรือไม่ก็ได้ โดยการพิจารณาจะทำในกระบวนการตัดสินใจเพื่อยอมรับคำตอบ กระบวนการค้นหาคำตอบใหม่และกระบวนการตัดสินใจเพื่อยอมรับคำตอบจะถูกทำซ้ำหลาย ๆ รอบ (iterative) จนกว่าจะได้คำตอบเป็นที่น่าพอใจหรือไม่เห็นการพัฒนาของคำตอบอีกภายในระยะเวลาที่กำหนดไว้ ขั้นตอนการปรับปรุงการออกแบบให้ดีขึ้นด้วยอัลกอริทึมฮิวริสติก มีผังงานดังรูปที่ 3.1

สำหรับวิทยานิพนธ์นี้จะนำอัลกอริทึมฮิวริสติกบนพื้นฐานการค้นหาแบบทาบู (Tabu Search หรือ TS) มาใช้สำหรับปรับปรุงการออกแบบปกป้องโครงข่ายเมื่อเกิดความเสียหายหนึ่งข่ายเชื่อมโยงซึ่ง TS คือ อัลกอริทึมฮิวริสติกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการประมาณค่าผลเฉลยของสมการในวิธีการหาคำตอบของปัญหาที่สนใจเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด นอกจากนี้ TS ยังใช้ในการแก้ปัญหาที่คำตอบในกระบวนการปรับปรุงการออกแบบโครงข่ายมักจะติดอยู่ใน Local Optimum ด้วยการเพิ่มความหลากหลายของชุด คำตอบพร้อม ๆ ไปกับการยอมรับคำตอบใหม่ทุกกรณี ไม่ว่าการออกแบบจะให้ต้นทุนดีขึ้น, เท่าเดิม หรือด้อยลงก็ตาม ในการเพิ่มความหลากหลายของชุดคำตอบของ TS จะป้องกันไม่ให้คำตอบใหม่ซ้ำกับคำตอบเดิมในรอบก่อน ๆ โดยในแต่ละรอบของกระบวนการค้นหาคำตอบใหม่จะมีการพิจารณาการย้าย (move) บางอย่างที่มีโอกาสทำให้

คำตอบใหม่ที่จะค้นหาซ้ำกับคำตอบเดิมในรอบก่อน ๆ การย้ายเหล่านี้จะถูกห้ามและถูกบันทึกในหน่วยความจำที่เรียกว่า tabu list อย่างไรก็ตาม การย้ายที่อยู่ในหน่วยความจำนี้จะถูกห้ามอยู่เพียงชั่วคราวเท่านั้น หลังจากนั้นจะได้รับการลบออกจากตารางและอนุญาตให้กระทำได้ดังเดิม ดังนั้นการกำหนดความยาวหรือขนาดของ tabu list คือ การกำหนดระยะเวลาที่การย้ายจะถูกห้ามนั่นเอง



รูปที่ 3.1 ผังงานของอัลกอริทึมฮิวริสติกสำหรับการปรับปรุงการออกแบบโครงข่าย [25]

ขั้นตอนการทำงานของ TS เริ่มจาก กำหนดผลเฉลยที่เป็นไปได้ (current solution, S) ในเซตจำกัดของผลเฉลยที่เป็นไปได้ (search space, Ω) เซตของผลเฉลยที่ได้มาจากการเคลื่อนที่อย่างง่าย (simple move) $q \in Q$ หรือ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ผลเฉลยข้างเคียง (neighborhood,

$N(S)$) เมื่อ Q คือ เซตของการเคลื่อนที่อย่างง่ายที่ยอมให้ใช้เป็นผลเฉลย และ $N(S)$ จะถูกนิยามสำหรับแต่ละ S ตัวอย่างผลเฉลยส่วนเล็กๆของ $N(S)$ หรือ V^* จะถูกสร้างขึ้นซึ่ง $V^* \subset N(S)$ และ V^* จะเรียกว่า ผลเฉลยทดสอบ หรือ trial solution ($|V^*| = n \ll |N(S)|$) เมื่อได้ V^* เราจะสามารถเลือกผลเฉลยที่ดีที่สุด (best solution, S^*) ไว้สำหรับการพิจารณาการหาผลเฉลยถัดไป การเคลื่อนที่ไปยัง S^* จะได้รับการพิจารณาก็ต่อเมื่ออยู่ในภาวะที่ยอมรับได้ การเลือกการเคลื่อนที่ที่ดีจะต้องอยู่บนข้อสมมุติว่า การเคลื่อนที่นั้นจะต้องมีความเป็นไปได้ที่จะมีผลเฉลยที่ใกล้เคียงกับผลเฉลยที่เหมาะสมมากที่สุดแม้ว่า S^* นั้นไม่สามารถที่จะทำให้ S ดีขึ้น แต่ S^* ก็ยังคงนำมาใช้ในการพิจารณาในการหาผลเฉลย อย่างไรก็ตามคุณสมบัติข้างต้นก็ยังคงมีความเป็นไปได้ที่จะทำให้มีการย้อนกลับไปที่ผลเฉลยก่อนหน้า ดังนั้นจะแก้ปัญหาโดยการใช้ tabu list ซึ่ง tabu list นี้ คือหน่วยความจำที่ใช้ในการเก็บระยะเวลาของข้อมูลที่ต้องการปิดไว้ไม่ให้นำมาใช้ในการหาผลเฉลย เพื่อป้องกันการกลับไปยังผลเฉลยก่อนหน้า ดังนั้นการจำกัดการเคลื่อนที่ (tabu restriction) ก็อาจจะทำให้มองไม่เห็นการเคลื่อนที่ที่จะทำให้ได้ผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นเราจะมีเกณฑ์การยอมรับคำตอบ (aspiration criterion) ตั้งไว้สำหรับมาช่วยในการยืดหยุ่นการดำเนินการของ tabu list และทำให้แน่ใจได้ว่าจะสามารถยอมรับการเคลื่อนที่นี้ได้ ซึ่งถ้า S^* ไม่อยู่ใน aspiration criterion แล้ว จะต้องมีการกำหนดการเคลื่อนที่ขึ้นมาอีกครั้ง และเริ่มดำเนินการหาผลเฉลยตามขั้นตอนข้างต้นอีกจนกว่าจะครบจำนวนรอบตามที่ได้กำหนดไว้

3.2 การประยุกต์ใช้อัลกอริธึมริสติกบนพื้นฐานของการค้นหาแบบทาบูเพื่อจัดสรร ความจุสำรองให้กับโครงข่าย DWDM

เนื่องจากการจัดสรรความจุสำรองของโครงข่าย DWDM ในวิทยานิพนธ์นี้ จำเป็นที่จะต้องทราบเส้นทางและความยาวคลื่นในสภาวะปกติของโครงข่ายก่อน เพราะการจัดสรรเส้นทางและความยาวคลื่นดังกล่าว มีผลกระทบโดยตรงต่อการจัดสรรความจุสำรองให้กับโครงข่ายในเชิงของจำนวนเส้นใยนำแสงสำรองที่จะต้องวางเพิ่มเข้าไปในโครงข่าย เพื่อปกป้องโครงข่ายให้ทำงานได้เช่นเดิม ดังนั้นการกำหนดเส้นทางและความยาวคลื่นในสภาวะปกติของโครงข่ายจึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องการจัดสรรความจุสำรองให้กับโครงข่ายที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งการเส้นทางในสภาวะปกติถือเป็นปัญหาที่พบในอันดับแรกถ้านำ ILP มาใช้ในการหาคำตอบ เพื่อเป็นการลดปัญหาในขั้นต้น วิทยานิพนธ์นี้จึงนำอัลกอริธึมริสติกบนพื้นฐานของการค้นหาแบบทาบูมาใช้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ก่อนที่จะนำค่าคำตอบที่ได้ไปใช้ในการจัดสรรความจุสำรองให้กับโครงข่ายเมื่อเกิดความเสียหายหนึ่งข่ายเชื่อมโยงเป็นลำดับถัดไป

สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ลักษณะและข้อสมมุติของโครงข่ายที่นำมาใช้นั้น จะแทนที่โครงข่าย DWDM ที่พิจารณาด้วยกราฟแบบไม่แสดงทิศทาง (Undirected Graph) $G(V,E)$ ซึ่ง

ประกอบไปด้วยเซตของ MC-OXC โนด (V) จำนวน N โนด, $|V| = N$ และเซตของข่ายเชื่อมโยงทางกายภาพ (Physical Links) (E) แบบไม่แสดงทิศทาง (Undirected Links) จำนวน L ข่ายเชื่อมโยง, $|E| = L$ โดยในแต่ละข่ายเชื่อมโยงจะประกอบด้วยกลุ่มของเส้นใยนำแสงที่ทำหน้าที่รองรับเส้นทางที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างโนดต้นทางกับปลายทาง รวมทั้งทำการกำหนดให้จำนวนความยาวคลื่นที่สามารถมัลติเพลกซ์ได้ในเส้นใยนำแสงแต่ละเส้นมีจำนวนจำกัดเท่ากับ M นอกจากนี้ยังกำหนดให้แต่ละโนด MC-OXC มีการติดตั้งอุปกรณ์ในการทำมัลติคาสต์เพื่อทำการคัดลอกและแยก (Split) สัญญาณแสงออกเป็นสัญญาณย่อยจำนวนหนึ่ง ทำให้สามารถส่งข้อมูลไปยังโนดปลายทางที่ร้องขอข้อมูลดังกล่าวเป็นจำนวนมากได้ นอกจากนี้ยังทำการกำหนดให้ปริมาณทราฟฟิกของแต่ละการเชื่อมต่อแบบมัลติคาสต์ในโครงข่ายเป็นทราฟฟิกแบบคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (Static Traffic) ซึ่งสอดคล้องกับหลักความเป็นจริงที่ว่า โครงข่ายที่ออกแบบในที่นี้เป็นโครงข่ายขนาดใหญ่มีพื้นที่ครอบคลุมกว้างขวางรวมทั้งมีการเชื่อมโยงในระดับประเทศหรือทวีป (Core Network) ดังนั้น เมื่อทำการพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ ทราฟฟิกในโครงข่ายจะพบว่าระดับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณทราฟฟิกจะมีน้อยมากนาน ๆ ครั้งจึงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ จึงทำการกำหนดให้ปริมาณของทราฟฟิกในโครงข่ายที่พิจารณาเป็นปริมาณทราฟฟิกแบบคงที่ [16]

3.2.1 การจัดสรรเส้นทางและความยาวคลื่นในสภาวะปกติของโครงข่าย DWDM

ส่วนประกอบของอัลกอริทึมฮิวริสติกบนพื้นฐานการค้นหาแบบทาบูเพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดสรรความจุสำรองให้กับโครงข่าย เมื่อโครงข่ายเกิดความเสียหายหนึ่งข่ายเชื่อมโยง มีดังนี้

3.2.1.1 การเข้ารหัส (Encoding)

กำหนดให้ เวกเตอร์ $\mathbf{T}$ คือเวกเตอร์ที่ใช้แทนเซตของดรรชนีของต้นไม้เชิงแสงในแต่ละมัลติคาสต์เซสชั่นที่ถูกจัดสรรให้กับโครงข่าย ซึ่งมีจำนวนสมาชิก $|R|$ ตัว

$$\mathbf{T} = [\mathbf{T}_{r_{k=1}} \mathbf{T}_{r_{k=2}} \mathbf{T}_{r_{k=3}} \dots \mathbf{T}_{r_{k=|R|}}] \quad (1)$$

ซึ่งเวกเตอร์ $\mathbf{T}_{r_k}$ จะประกอบด้วยดรรชนีของต้นไม้เชิงแสง ($i_{r_k}(n), 1 \le n \le t_{r_k}$) ที่ถูกนำไปใช้ในการรองรับแต่ละทราฟฟิกของเซสชั่นที่ k

$$\mathbf{T}_{r_k} = [i_{r_k}(1) \quad i_{r_k}(2) \quad i_{r_k}(3) \dots i_{r_k}(t_{r_k})] \quad (2)$$

หมายเหตุ กำหนดให้

$K = |R|$ คือ จำนวนมัลติคาสต์เซสชันทั้งหมดในโครงข่ายที่ใช้ทดสอบ

$r_k(s_k, D_k)$ คือ กลุ่มมัลติคาสต์เซสชั่นที่ k ที่มี s_k เป็นโนดต้นทางและ D_k เป็นเซตของโนดปลายทาง

t_{r_k} คือ ปริมาณทราฟฟิกของเซสชั่นที่ k

3.2.1.2 **ผลเฉลยตั้งต้น** (Initial Solution)

ในวิทยานิพนธ์นี้ ผลเฉลยตั้งต้น (initial solution) ในตอนเริ่มต้นของกระบวนการค้นหาคำตอบจะกำหนดให้แต่ละทราฟฟิกของแต่ละเซสชั่นเลือกต้นไม้เชิงแสงที่สั้นที่สุดที่ใช้รองรับทราฟฟิกนั้นมาเป็นคำตอบเริ่มต้นให้กับกระบวนการค้นหาคำตอบ กระบวนการค้นหาคำตอบจะเริ่มต้นโดยการประเมินค่าคำตอบที่ได้จากเซตของผลเฉลยข้างเคียงของผลเฉลยตั้งต้นนั้น เพื่อที่จะนำไปเป็นค่าคำตอบในขณะนั้น และเป็นค่าคำตอบเริ่มต้นของการค้นหาคำตอบในรอบถัดไป ซึ่งโครงสร้างผลเฉลยข้างเคียง (neighborhood structure) จะกล่าวไว้ใน 3.2.1.4

3.2.1.3 **ฟังก์ชันการประเมิน** (Evaluate Function)

โครงข่ายจะได้รับการประเมินโดยใช้เวกเตอร์ผลเฉลย $\mathbf{X}$

$$\mathbf{X} = [\mathbf{V}(\mathbf{T}_{r_{k=1}}) \quad \mathbf{V}(\mathbf{T}_{r_{k=2}}) \quad \mathbf{V}(\mathbf{T}_{r_{k=3}}) \ldots \mathbf{V}(\mathbf{T}_{r_{k=|R|}})]^{\mathrm{T}} \tag{3}$$

ซึ่ง $\mathbf{V}(\mathbf{T}_{r_k})$ ประกอบด้วยตัวแปรบูลีนที่ใช้ในการบอกสถานะของข่ายเชื่อมโยงที่ได้รับการจัดสรรให้กับ ทราฟฟิกของเซสชั่นที่พิจารณา

$$\mathbf{V}(\mathbf{T}_{r_k}) = \begin{bmatrix} x_{i_{r_k}(1),l=1} & x_{i_{r_k}(1),l=2} & x_{i_{r_k}(1),l=3} & \cdots & x_{i_{r_k}(1),l=L} \\ x_{i_{r_k}(2),l=1} & x_{i_{r_k}(2),l=2} & x_{i_{r_k}(2),l=3} & \cdots & x_{i_{r_k}(2),l=L} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i_{r_k}(t_{r_k}),l=1} & x_{i_{r_k}(t_{r_k}),l=2} & x_{i_{r_k}(t_{r_k}),l=3} & \cdots & x_{i_{r_k}(t_{r_k}),l=L} \end{bmatrix} \tag{4}$$

โดยที่ $x_{i_{r_k}(n),l}$ จะเท่ากับหนึ่งถ้าต้นไม้เชิงแสงที่มีดรรชนี $i_{r_k}(n)$ ผ่านข่ายเชื่อมโยงกายภาพ (physical link, l) และเป็นศูนย์ถ้าต้นไม้เชิงแสงที่มีดรรชนี $i_{r_k}(n)$ ไม่ผ่านข่ายเชื่อมโยงกายภาพ สำหรับโครงข่ายที่มีการจัดสรรความยาวคลื่นแบบ VLT จำนวนเส้นใยนำแสงที่โครงข่ายต้องการจะมีค่าเท่ากับ $\sum_{l=1}^{L}\left\lceil\left(\sum_{k=1}^{|R|}\sum_{n=1}^{t_{r_k}} x_{i_k(n),l}\right)/M\right\rceil$ ในขณะที่โครงข่ายที่มีการจัดสรรความยาวคลื่นแบบ LT

จะคำนวณได้จากเวกเตอร์ผลเฉลย $\mathbf{X}$ ที่เพิ่มมิติของการกำหนดความยาวคลื่นให้กับข่ายเชื่อมโยงที่ใช้งาน , $x_{i_{r_k}(n)J,w}$ โดยมีขั้นตอนการกำหนดความยาวคลื่นให้แต่ละต้นไม้เชิงแสงดังนี้

ขั้นที่ 1 คำนวณจำนวนการเชื่อมต่อทั้งหมดที่แต่ละข่ายเชื่อมโยงต้องการจาก $\sum_{k=1}^{|R|}\sum_{n=1}^{t_{r_k}} x_{i_{r_k}(n)J}$

ขั้นที่ 2 หาข่ายเชื่อมโยงที่มีการใช้งานมากที่สุด $l_{\max}$ และหาว่ามีต้นไม้เชิงแสงใดบ้างที่ต้องการใช้ข่ายเชื่อมโยง $l_{\max}$ ดังกล่าว

ขั้นที่ 3 กำหนดความยาวคลื่นให้กับต้นไม้เชิงแสงที่ได้ในขั้นที่ 2 ที่ $x_{i_{r_k}(n)J_{\max}}$ มีค่าเท่ากับ 1 จาก $\lambda = 1$ ถึง $\lambda = M$ อย่างเป็นคาบตามลำดับ

ขั้นที่ 4 ทำขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 3 ซ้ำ โดยกำหนดความยาวคลื่นที่ยังไม่ได้ใช้งานให้กับต้นไม้เชิงแสงที่เหลือจนกระทั่งทุกต้นไม้เชิงแสงของโครงข่ายได้รับการจัดสรรความยาวคลื่น

ขั้นที่ 5 กำหนดให้ $\mathbf{B}$ เป็นเวกเตอร์ที่ใช้เก็บจำนวนการเชื่อมต่อทั้งหมดในแต่ละข่ายเชื่อมโยงของแต่ละความยาวคลื่น $b_{\lambda,l}, 1 \le l \le L$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} b_{1,1} & b_{1,2} & b_{1,3} & \cdots & b_{1,L} \\ b_{2,1} & b_{2,2} & b_{2,3} & \cdots & b_{2,L} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{M,1} & b_{M,2} & b_{M,3} & \cdots & b_{M,L} \end{bmatrix} \tag{5}$$

ขั้นที่ 6 จำนวนเส้นใยนำแสงที่โครงข่ายต้องการ โดยอาศัยเทคนิคการจัดสรรความยาวคลื่นแบบ LT จะมีค่าเท่ากับ $\sum_{l=1}^{L} \max\left(b_{\lambda,l} \middle| 1 \le \lambda \le M\right)$

3.2.1.4 **โครงสร้างผลเฉลยข้างเคียง** (Neighborhood Structure)

ผลเฉลยข้างเคียงจะประกอบด้วยผลเฉลยทั้งหมดของผลเฉลยปัจจุบันที่มีเส้นทางแตกต่างกันหนึ่งเส้นทางจากเส้นทางทั้งหมดที่ได้รับการจัดสรร ตัวอย่างเช่น ผลเฉลยข้างเคียงที่เป็นไปได้ของผลเฉลยตัวอย่างที่กำหนดให้เวกเตอร์ $\mathbf{T} = [[2\ 3][12\ 15\ 17][23\ 27]]$ จะสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างที่เป็นไปได้สำหรับผลเฉลยข้างเคียงของเวกเตอร์ผลเฉลย $\mathbf{T}$

[[8 3][12 15 17][23 27]]	[[2 8][12 15 17][23 27]]	[[2 3][14 15 17][23 27]]
[[2 3][12 14 17][23 27]]	[[2 3][12 15 14][23 27]]	[[2 3][12 15 17][26 27]]
[[2 3][12 15 17][23 26]]	[[2 3][12 19 17][23 27]]	[[2 3][14 15 17][23 27]]

3.2.1.5 **เกณฑ์การยอมรับคำตอบ** (Aspiration Criterion)

เกณฑ์การยอมรับคำตอบเป็นเกณฑ์ที่กำหนดขึ้นเพื่อที่จะนำมาใช้ในการแก้ปัญหาของการจำกัดการเคลื่อนที่เพื่อที่จะช่วยยืดหยุ่นการทำงานของ tabu list หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า เป็นเกณฑ์ที่ใช้ในการยอมรับคำตอบในกรณีที่ระยะเวลาของผลเฉลยปัจจุบันที่อยู่ใน tabu list ยังคงเหลืออยู่

3.2.1.6 **เกณฑ์การหยุดกระบวนการค้นหาคำตอบ** (Stop Criterion)

เกณฑ์การหยุดกระบวนการค้นหาคำตอบ คือจำนวนรอบของกระบวนการค้นหาคำตอบที่ผลเฉลยไม่มีการพัฒนา ซึ่งจะทำให้กระบวนการหาคำตอบสิ้นสุด

3.2.2 **การจัดสรรความจุสำรองให้กับโครงข่าย** DWDM **เมื่อเกิดความเสียหายหนึ่งข่ายเชื่อมโยง โดยมีการจัดสรรเส้นทางใหม่แบบ** LR **และ** LIR

เนื่องจากการจัดสรรความจุสำรองให้กับโครงข่าย DWDM จะใช้อัลกอรึทึมฮิวริสติกบนพื้นฐานการค้นหาแบบทาบูเช่นเดียวกับการจัดสรรเส้นทางและความยาวคลื่นในสภาวะปกติ ดังนั้นองค์ประกอบของกระบวนค้นหาผลเฉลยจึงเหมือนกัน แต่มีความแตกต่างตรงรายละเอียดซึ่งอยู่ในส่วนประกอบดังต่อไปนี้

3.2.2.1 **การเข้ารหัส**

กำหนดให้ เวกเตอร์ **ST** คือเวกเตอร์ที่ใช้แทนเซตของดรรชนีของต้นไม้เชิงแสงสำรองในแต่ละมัลติคาสต์เซสชั่นที่ถูกจัดสรรให้กับโครงข่าย ซึ่งมีจำนวนสมาชิก $|R|$ ตัว

$$\mathbf{ST} = [\mathbf{ST}_{r_{k=1}}\ \mathbf{ST}_{r_{k=2}}\ \mathbf{ST}_{r_{k=3}} \ldots \mathbf{ST}_{r_{k=|R|}}] \tag{6}$$

เวกเตอร์ $\mathbf{ST}_{r_k}$ ประกอบด้วยดรรชนีของกิ่งเชิงแสงสำรองของทุกกรณีที่ข่ายเชื่อมโยงเกิดความเสียหาย $(i_{r_{k,l'}}(n)\ ,\ 1 \le l' \le L, 1 \le n \le t_{r_k})$ ที่ถูกนำไปใช้ในการรองรับแต่ละทราฟฟิกของเซสชั่นที่ k

$$\mathbf{ST}_{r_k} = \begin{bmatrix} i_{r_{k,l'=1}}(1) & i_{r_{k,l'=1}}(2) & i_{r_{k,l'=1}}(3) & \cdots & i_{r_{k,l'=1}}(t_{r_k}) \\ i_{r_{k,l'=2}}(1) & i_{r_{k,l'=2}}(2) & i_{r_{k,l'=2}}(3) & \cdots & i_{r_{k,l'=2}}(t_{r_k}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ i_{r_{k,l'=L}}(1) & i_{r_{k,l'=L}}(2) & i_{r_{k,l'=L}}(3) & \cdots & i_{r_{k,l'=L}}(t_{r_k}) \end{bmatrix} \tag{7}$$

จะพบว่า เวกเตอร์ **ST** มีการเข้ารหัสคล้ายกับเวกเตอร์ **T** ในหัวข้อ 3.2.1.1 แต่เวกเตอร์ **ST** จะเพิ่มจำนวนแถวให้เท่ากับ L แถว เพื่อรองรับการกำหนดดรรชนีให้กับต้นไม้เชิงแสงสำรองในกรณีที่แต่ละข่ายเชื่อมโยงของแต่ละทราฟฟิกในโครงข่ายได้รับความเสียหาย

3.2.2.2 ผลเฉลยตั้งต้น

ผลเฉลยตั้งต้นของการจัดสรรความจุสำรอง จะกำหนดให้แต่ละทราฟฟิกของแต่ละเซสชั่นเลือกต้นไม้เชิงแสงสำรองที่สั้นที่สุดที่ใช้รองรับทราฟฟิกที่เมื่อแต่ละข่ายเชื่อมโยงเสียหาย มาเป็นคำตอบเริ่มต้นให้กับกระบวนการค้นหาคำตอบ กระบวนการค้นหาคำตอบจะเริ่มต้นโดยการประเมินค่าคำตอบที่ได้จากเซตของผลเฉลยข้างเคียงของผลเฉลยตั้งต้นนั้น เพื่อที่จะนำไปเป็นค่าคำตอบในขณะนั้น และเป็นค่าคำตอบเริ่มต้นของการค้นหาคำตอบในรอบถัดไป ซึ่งโครงสร้างผลเฉลยข้างเคียงที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวไว้ใน 3.2.2.4

3.2.2.3 ฟังก์ชันการประเมิน

โครงข่ายจะได้รับการประเมินโดยใช้เวกเตอร์ผลเฉลย **SX**

$$\mathbf{SX} = [\mathbf{V}(\mathbf{ST}_{r_{k=1}}) \quad \mathbf{V}(\mathbf{ST}_{r_{k=2}}) \quad \mathbf{V}(\mathbf{ST}_{r_{k=3}}) \ldots \mathbf{V}(\mathbf{ST}_{r_{k=|R|}})]^{\mathbf{T}} \tag{8}$$

ซึ่ง $\mathbf{V}(\mathbf{ST}_{r_k})$ ประกอบด้วยตัวแปรบูลีนที่ใช้ในการบอกสถานะของข่ายเชื่อมโยงที่ได้รับการจัดสรรให้กับทราฟฟิกของเซสชั่นที่พิจารณาเมื่อเกิดความเสียหายหนึ่งข่ายเชื่อมโยง โดยได้แสดงดังนี้

$$\mathbf{V}(\mathbf{ST}_{r_k}) = \begin{bmatrix} sx_{i_{r_k}(1),l'=1} & sx_{i_{r_k}(1),l'=2} & sx_{i_{r_k}(1),l'=3} & \cdots & sx_{i_{r_k}(1),l'=L} \\ sx_{i_{r_k}(2),l'=1} & sx_{i_{r_k}(2),l'=2} & sx_{i_{r_k}(2),l'=3} & \cdots & sx_{i_{r_k}(2),l'=L} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ sx_{i_{r_k}(i_{r_k}),l'=1} & sx_{i_{r_k}(i_{r_k}),l'=2} & sx_{i_{r_k}(i_{r_k}),l'=3} & \cdots & sx_{i_{r_k}(i_{r_k}),l'=L} \end{bmatrix} \tag{9}$$

โดยที่ $sx_{i_{r_k}(n),l'}$ จะเท่ากับหนึ่งถ้าต้นไม้เชิงแสงสำรองที่มีดรรชนี $i_{r_k,l'}(n)$ ผ่านข่ายเชื่อมโยงกายภาพ (physical link, l) และเป็นศูนย์ถ้าต้นไม้เชิงแสงสำรองที่มีดรรชนี $i_{r_k,l'}(n)$ ไม่ผ่านข่ายเชื่อมโยงกายภาพ

- การจัดสรรความยาวคลื่นแบบ VLT

เนื่องจากการจัดสรรความยาวคลื่นแบบ VLT อยู่บนหลักการของ link-by-link [16] ดังนั้นจำนวนเส้นใยนำแสงที่โครงข่ายต้องการจะมีค่าดังนี้

กรณี LR

$$\sum_{l'=1}^{L}\left\lceil\left(\left(\sum_{k=1}^{|R|}\sum_{n=1}^{t_{n_k}} sx_{i_k(n),l'}\right)-\left(total\ \text{no.of released links of all light}-\text{trees specify to link},l'\right)\right)/M\right\rceil \tag{10}$$

กรณี LIR

$$\sum_{l'=1}^{L}\left\lceil\left(\left(\sum_{k=1}^{|R|}\sum_{n=1}^{t_{n_k}} sx_{i_k(n),l'}\right)-\left(total\ \text{no.of released links of effected light}-\text{trees specify to link},l'\right)\right)/M\right\rceil \tag{11}$$

- การจัดสรรความยาวคลื่นแบบ LT

การจัดสรรความยาวคลื่นให้กับเส้นทางสำรองในวิทยานิพนธ์นี้ เส้นทางใหม่ที่ได้รับการจัดสรรให้แต่ละทราฟฟิกจะใช้ค่าความยาวคลื่นเดิมที่เคยใช้ในสภาวะปกติ

กรณี LR

จำนวนเส้นใยนำแสงที่โครงข่ายต้องการจะคำนวณได้จากขั้นที่ 1 ถึง ขั้นที่ 6 ดังที่กล่าวในหัวข้อ 3.2.1.3 กล่าวคือ จำนวนเส้นใยนำแสงสำรองที่โครงข่ายต้องการจะเท่ากับ

$$\sum_{l'=1}^{L}\left(\max\left(b_{\lambda,l'}\middle|1\le\lambda\le M\right)-total\ \text{no.of released links all light}-\text{trees specify to link},l'\right) \tag{12}$$

กรณี LIR

จำนวนเส้นใยนำแสงที่โครงข่ายต้องการจะคำนวณได้จากขั้นที่ 1 ถึง ขั้นที่ 6 ดังที่กล่าวในหัวข้อ 3.2.1.3 เช่นเดียวกับกรณี LR แต่จำนวนเส้นใยนำแสงสำรองที่โครงข่ายต้องการจะเท่ากับ

$$\sum_{l'=1}^{L}\left(\max\left(b_{\lambda,l'}\middle|1\le\lambda\le M\right)-total\ \text{no.of released links effected light}-\text{trees specify to link},l'\right) \tag{13}$$

หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

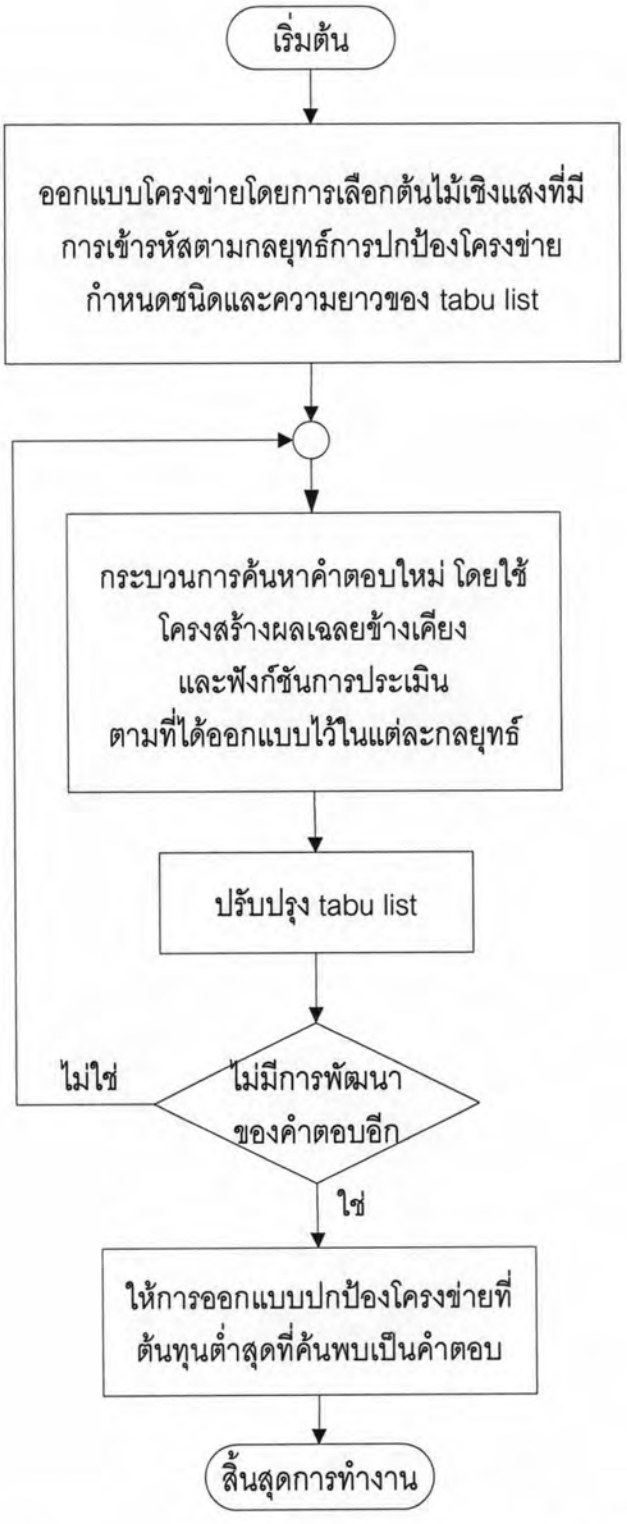
3.2.2.4 **โครงสร้างผลเฉลยข้างเคียง**

ในวิทยานิพนธ์นี้จึงพิจารณาโครงสร้างผลเฉลยข้างเคียง 3 แบบ ดังนี้

(ก) 1 Diff neighborhood คือ ผลเฉลยข้างเคียงที่ประกอบด้วยผลเฉลยทั้งหมดของผลเฉลยปัจจุบันที่มีเส้นทางแตกต่างกันหนึ่งเส้นทางจากเส้นทางทั้งหมดที่ได้รับการจัดสรร หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า เวกเตอร์ผลเฉลยทั้งหมดที่มีดรรชนีของเส้นทางสำรองที่แตกต่างกัน 1 ดรรชนีของเวกเตอร์ผลเฉลย

(ข) n VerticalDiff neighborhood คือผลเฉลยข้างเคียงที่ประกอบด้วยผลเฉลยทั้งหมดของผลเฉลยปัจจุบันที่มีเส้นทางแตกต่างกัน n เส้นทางในแนวตั้งจากเส้นทางทั้งหมดที่ได้รับการจัดสรร หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า เวกเตอร์ผลเฉลยทั้งหมดที่มีดรรชนีของเส้นทางสำรองที่แตกต่างกัน n ดรรชนีในแนวตั้งของเวกเตอร์ผลเฉลย

(ค) L HorizontalDiff neighborhood คือ ผลเฉลยข้างเคียงที่ประกอบด้วยผลเฉลยทั้งหมด ของผลเฉลยปัจจุบันที่มีเส้นทางแตกต่างกัน L เส้นทางในแนวนอนจากเส้นทางทั้งหมดที่ได้รับการจัดสรร หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า เวกเตอร์ผลเฉลยทั้งหมดที่มีดรรชนีของเส้นทางสำรองที่แตกต่างกัน L ดรรชนีในแนวนอนของเวกเตอร์ผลเฉลย



รูปที่ 3.2 ผังงานการจัดสรรความจุสำรองให้กับโครงข่าย ในแต่ละกลยุทธ์ด้วยอัลกอริทึมฮิวริสติก ที่อยู่บนพื้นฐานการค้นหาแบบทาบู