

รายการอ้างอิง

1. C. Siva Ram Murthy. WDM optical networks: Concepts, design, and algorithms. New Jersey: Prentice Hall PTR, 2002.
2. N. Singhal, L. H. Sahasrabuddhe, and B. Mukherjee, "Protecting a multicast session against single link failures in a mesh network," presented at the IEEE Int. Conf. Communications, Anchorage, AK, pp. 1504-1508, May, 2003.
3. L. H. Sahasrabuddhe and B. Mukherjee, "Light-trees: Optical multicasting for improved performance in wavelength-routed networks," IEEE Commun. Mag., vol. 37, pp. 67-73, Feb. 1999.
4. Y. Xin, G. N. Rouskas and H. G. Perros, "Light-Tree Routing Under Optical Layer Power Budget Constraints," Infocom submission, pp. 1-11, 2003.
5. N. Singhal and B. Mukherjee, "Protecting a multicast sessions in WDM optical mesh networks," IEEE J. Lightwave Technol., vol. 21, No.4, pp. 884-892, Apr. 2003.
6. M. Saad and Z. Quan Luo, "On the Routing and Wavelength Assignment inMultifiber WDM Networks," supported by grant from NSERC, TRIO and the Canada Research Chair Program., pp. 1-9.
7. I. Chlamtac, A. Ganz, G. Karmi, "Lightpath Communications: An Approach to High Bandwidth Optical WAN's," IEEE Trans. on Communication., vol. 40, No. 7, pp. 1171-1182, July 1992.
8. R. Malli, X. Zhang and C. Qiao, "Benefit of Multicasting in All-Optical Networks," in Proc. SPIE., vol. 3531, pp. 9-20, 1998.
9. L.H. Sahasrabuddhe and B. Mukherjee, "Light-trees: Optical multicasting for improved performance in wavelength-routed networks," IEEE Communications Magazine, pp. 67-73, Feb. 1999.
10. Xiao-Hua Jia, et.al., "Optimization of wavelength for QoS Multicast in WDM networks," IEEE Trans. on Commuications., vol. 49, NO. 2, pp. 341-350, Feb. 2001.

11. B. Chen and J. Wang, "Efficient routing and wavelength assignment for multicast in wavelength-routed networks," IEEE J. Select. Areas Comm., vol. 20, NO. 1, pp. 97-109, Jan. 2002.
12. T. Znati, T. Alvabiah and R. Melhem, "Point-to-multipoint Path Establishment Schemes to Support Multicasting in WDM Networks," in Proc. 3rd IFIP Working Conference on Optical Network Design and Modeling (ONDM'99), pp. 1-22, Feb. 1999.
13. Y. Xin, G. N. Rouskas and H. G. Perros, "Light-Tree Routing Under Optical Layer Power Budget Constraints," Infocom submission, pp. 1-11, 2003.
14. C. Boworntummarat, L. Wuttisittikulij, and S. Segkhoonthod, "Multicast routing and wavelength allocation in multi-fiber mesh and multi-ring WDM networks," submission to JSAC-OCN.
15. X. Jia, D. Du, X. Hu, M. Lee and J. Gu, "Optimization of wavelength assignment for QoS multicast in WDM networks," IEEE Trans on Commun., vol. 49, pp. 341-350, Feb. 2001.
16. C. Baworntummarat. Wavelength routing and optical layer network protection approaches against single link failures for multicast traffic on WDM network. Doctoral dissertation, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, 2003.
17. S. Baroni, Routing and wavelength allocation in WDM Optical Networks, Doctoral dissertation, University of College London, 1998.
18. N. Nagutsu, "Photonic network design issues and applications to the IP backbone," IEEE/OSA J. Lightwave Technol., vol. 18, pp. 2010-2018, Dec. 2000.
19. Y. Luo and N. Ansari, "Performance Evaluation of Survivable Multifiber WDM Networks," Proc. IEEE GLOBECOM'03, pp. 2524-2528, 2003.
20. G. Li and R. Wang, "On the wavelength assignment problem in multifiber WDM Star and ring network," IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 9, no. 1, pp.60-68, Feb. 2001.

21. W. D. Grover. Mesh-Based Survivable Networks: Options and Strategies for Optical, MPLS, SONET, and ATM Networking. New Jersey. Prentice Hall, 2004.
22. F. Grover, P. Kelly and M. Lagun, "Tabu Search," Kluwer Academic Publishers, 1997.
23. M. Sait and H. Youssef. Iterative Computer Algorithm with Application in Engineering: Solving Combinatorial Optimization Problems. IEEE Computer Society Press, Angela Burgess, 1999.
24. ลัญฉกร วุฒิสัทติกุลกิจ, รศ. ดร., วิศวกรรมโทรคมนาคม. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
25. รัญพร เอี่ยมวสันต์. การออกแบบโครงข่าย WDM บนพื้นฐานของโครงสร้างแบบวงแหวนหลายวง โดยใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึม สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
26. ภัทรินทร์ สีสารค์มี. การออกแบบโครงข่าย WDM เพื่อรองรับมัลติคาสต์กราฟฟิกที่คำนึงถึงการป้องกันโครงข่ายเมื่อหนึ่งข่ายเชื่อมโยงได้รับความเสียหาย สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก แบบจำลองคณิตศาสตร์

เนื้อหาส่วนนี้แสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ [16] ได้นำเสนอสำหรับการสร้างโครงสร้างต้นไม้เชิงแสง สำหรับการออกแบบโครงข่ายกรณีโครงข่ายทำงานในสภาวะปกติ และสำหรับการออกแบบปกป้องโครงข่ายเมื่อเกิดความเสียหายหนึ่งข่ายเชื่อมโยง



ก.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model)

งานวิจัย [16] เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อนำมาใช้ออกแบบการแก้ไขปัญหาการจัดสรรเส้นทางและกำหนดความยาวคลื่นให้กับกราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์ และแบบจำลองสำหรับการป้องกันโครงข่ายเมื่อหนึ่งข่ายเชื่อมโยงได้รับความเสียหายสำหรับโครงข่าย DWDM ซึ่งได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 โดยมีวัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลองคือ เพื่อใช้ในการหาจำนวนเส้นใยนำแสงที่โครงข่ายต้องการเพื่อให้สามารถรองรับปริมาณกราฟฟิกที่เกิดขึ้นทั้งหมดได้ ทั้งในกรณีที่ทุกโหนดในโครงข่ายมีและไม่มี การติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น โดยอาศัย Integer Linear Programming (ILP) เป็นเทคนิคในการสร้างแบบจำลองซึ่งมีรายละเอียดที่สำคัญดังนี้

ก.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาจำนวนเส้นใยนำแสงที่โครงข่ายต้องการ

พารามิเตอร์ และ ตัวแปรสำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีโครงข่ายทำงานในสภาวะปกติ

พารามิเตอร์	คำอธิบาย
N	จำนวนโหนดทั้งหมดในโครงข่าย
L	จำนวนข่ายเชื่อมโยงที่พิจารณาทั้งหมดในโครงข่าย
$K = R $	จำนวนมัลติคาสต์เซสชัน
$r_k(s_k, D_k)$	มัลติคาสต์เซสชันที่ r_k โดยมีโหนดต้นทางคือ s_k และมีจุดโหนดปลายทางคือ จุด D_k
t_{r_k}	ปริมาณกราฟฟิกทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากมัลติคาสต์เซสชันที่ r_k
Δ	จำนวนสัญญาณที่มากที่สุดที่อนุญาตให้ออกจากตัวแยกสัญญาณได้ (fanout)
M	จำนวนความยาวคลื่นสูงสุดที่สามารถมัลติเพล็กซ์ลงบนเส้นใยนำแสงได้
$\delta_{ij,p}^{r_k}$	มีค่าเป็น 1 เมื่อเส้นทางที่ p ของจุดเส้นทางจากมัลติคาสต์เซสชันที่ r_k ผ่านข่ายเชื่อมโยง ij ถ้าไม่ผ่านจะมีค่าเป็น 0
P_{sd}	ชุดของเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดของโหนดที่ sd
I_∞	ค่าคงที่จำนวนเต็มที่มีค่ามาก

ตัวแปร	คำอธิบาย
f_{ij}	จำนวนเส้นใยนำแสงที่ต้องจัดสรรให้แก่ข่ายเชื่อมโยงทางกายภาพ ij
$x_{r_k}^{ij}$	มีค่าเป็น 1 เมื่อกิ่งเชิงแสงที่ใช้ส่งข้อมูลจากโหนด i ไปยังโหนด j ถูกนำมาใช้เป็นโครงสร้างต้นไม้เชิงแสงสำหรับมัลติคาสต์เซสชันที่ r_k ถ้าไม่ถูกใช้จะมีค่าเป็น 0

ตัวแปร	คำอธิบาย
$a_{r_k,p}^{sd}$	เส้นทางทางกายภาพ (physical route) ลำดับที่ p ของคูโนดที่ sd สำหรับชุดเส้นทางจากมัลติคาสต์เซสชันที่ r_k (กรณี VLT)
$a_{r_k,p,\lambda}^{sd}$	เส้นทางทางกายภาพลำดับที่ p ของคูโนดที่ sd สำหรับชุดเส้นทางจากมัลติคาสต์เซสชันที่ r_k ซึ่งใช้ค่าความยาวคลื่น λ (กรณี LT)
$W_{r_k,\lambda}$	มีค่าเป็น 1 เมื่อค่าความยาวคลื่น λ ถูกเลือกเพื่อใช้ส่งข้อมูลสำหรับมัลติคาสต์เซสชันที่ r_k ถ้าไม่ถูกเลือกจะมีค่าเป็น 0 (กรณี LT)

พารามิเตอร์ และ ตัวแปรเพิ่มเติมสำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีโครงข่ายได้รับความเสียหาย

พารามิเตอร์	คำอธิบาย
$E_{sd}^{ij'}$	เซตของเส้นทางสำรองของคูโนดที่ sd เมื่อข่ายเชื่อมโยง ij' ได้รับความเสียหาย
$\delta_{ij,p}^{sd}$	มีค่าเป็น 1 ถ้าเส้นทางปกติลำดับที่ p ของคูโนด sd ผ่านข่ายเชื่อมโยง ij และจะมีค่าเป็น 0 ถ้าไม่ผ่านข่ายเชื่อมโยง ij
$\mu_{ij,e}^{sd}$	มีค่าเป็น 1 ถ้าเส้นทางสำรองลำดับที่ e ของคูโนดที่ sd ผ่านข่ายเชื่อมโยง ij เมื่อข่ายเชื่อมโยง ij' ได้รับความเสียหาย ถ้าไม่ผ่านจะมีค่าเป็น 0

ตัวแปร	คำอธิบาย
f_{ij}	จำนวนเส้นใยนำแสงสำรองที่ต้องจัดสรรให้แก่ข่ายเชื่อมโยงทางกายภาพ ij
$xf_{r_k,ij}^{ij'}$	มีค่าเป็น 1 ถ้ากิ่งเชิงแสงสำรองระหว่าง โหนด i และ j เป็นส่วนหนึ่งของต้นไม้เชิงแสงสำรองที่รองรับปริมาณทราฟฟิกของมัลติคาสต์เซสชันที่ r_k เมื่อข่ายเชื่อมโยง ij' ได้รับความเสียหาย
$u_{r_k,e}^{sd,ij'}$	วิธีบูรณะตัวเลือกลำดับที่ e ของคูโนด sd ที่รองรับปริมาณทราฟฟิกของมัลติคาสต์เซสชันที่ r_k เมื่อข่ายเชื่อมโยง ij' ได้รับความเสียหาย (กรณี VLT)
$u_{r_k,e,\lambda}^{sd,ij'}$	วิธีบูรณะตัวเลือกลำดับที่ e ของคูโนด sd ที่รองรับปริมาณทราฟฟิกของมัลติคาสต์เซสชันที่ r_k ซึ่งใช้ค่าความยาวคลื่น λ เมื่อข่ายเชื่อมโยง ij' ได้รับความเสียหาย (กรณี LT)

ก.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการสร้างโครงสร้างต้นไม้เชิงแสง

ในการหาโครงสร้างต้นไม้เชิงแสงที่เหมาะสมที่สุด (optimal light-tree) T_k เพื่อรองรับมัลติคาสต์เซตชั้นที่ $r_k(s_k, D_k)$ นั้น จะต้องแทนที่โครงข่าย DWDM ที่พิจารณาด้วยกราฟแบบไม่แสดงทิศทาง $G_k = (N_k, A_k)$ โดยชุดของโหนด N_k จะประกอบไปด้วยโหนดต้นทาง s_k และชุดของโหนดปลายทาง D_k แสดงได้ดังสมการ $N_k = \{i \in N_k \mid i \in D_k \vee i = s_k\}$ รวมทั้งสิ้นจำนวน N_k โหนด, และชุดของเส้นเชื่อมเชิงตรรกะ (logical arcs) A_k ซึ่งแสดงในรูปทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้ $A_k = \{ij \in A_k \mid i, j \in N_k \wedge i \neq j\}$ แล้วเปลี่ยนกราฟแบบไม่แสดงทิศทาง G_k ที่ได้ให้เป็นโครงสร้างต้นไม้เชิงแสงที่เหมาะสมที่สุด T_k โดยโครงสร้างต้นไม้เชิงแสงจะต้องประกอบด้วยกิ่งเชิงแสงจำนวน $|N_k| - 1$ กิ่ง ดังนั้น สามารถแสดงเงื่อนไขบังคับ 2 ข้อแรกได้ดังนี้

$$\sum_{ij \in A_k} x_{r_k}^{ij} = |N_k| - 1, \quad \forall r_k \in R \quad (ก.1)$$

$$x_{r_k}^{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall ij \in A_k, \forall r_k \in R \quad (ก.2)$$

เมื่อพิจารณาเส้นเชื่อมขาออกของแต่ละโหนด จะพบว่าจำนวนเส้นเชื่อมขาออกของแต่ละโหนดจะถูกจำกัดด้วยอุปกรณ์แยกสัญญาณทางแสงที่สามารถแยกสัญญาณแสงออกเป็นสัญญาณขนาดย่อยได้จำนวนเท่ากับ Δ ดังนั้น สามารถแสดงเงื่อนไขบังคับสมการที่ ก.3 ได้ดังนี้

$$\sum_{j:ij \in A_k} x_{r_k}^{ij} \leq \Delta, \quad \forall i \in N_k, \forall r_k \in R \quad (ก.3)$$

และเพื่อเป็นการรับประกันว่าทุกโหนดที่เป็นสมาชิกของกลุ่มมัลติคาสต์สามารถเชื่อมต่อกันได้ และโครงสร้างต้นไม้เชิงแสงจะต้องไม่มีลักษณะเป็นวงปิด เงื่อนไขบังคับสมการที่ ก.4 สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\sum_{ij \in \mathcal{G}(S)} x_{r_k}^{ij} \geq 1, \quad \forall S \subset N_k, S \neq \emptyset, N, \forall r_k \in R \quad (ก.4)$$

เมื่อ S คือเซตย่อย (subset) ของ N_k และ $\mathcal{G}(S)$ คือ เซตตัด (cut-set) ของเซตย่อย S โดยสามารถแสดงในรูปทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้ $\mathcal{G}(S) = \{ij \in A_k \mid i \in S, j \notin S\}$

ก.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการออกแบบโครงข่ายกรณีโครงข่ายทำงานในสภาวะปกติ

ในการจัดสรรเส้นทางและกำหนดความยาวคลื่นให้กับโครงข่ายที่รองรับทราฟฟิกชนิดมัลติคลาสต์ในสภาวะทำงานปกติ จะเป็นการจัดสรรความจุใช้งานเพื่อรองรับเส้นทางที่เป็นวิธีทำงานให้กับโครงข่าย โดยสามารถใช้เทคนิค ILP ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

ก.4.1 วิธีโครงสร้างต้นไม้เชิงแสงเสมือน (Virtual Light-Tree method, VLT)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือ

$$\min : \sum_{ij \in L} f_{ij} \quad (ก.5)$$

และมีเงื่อนไขบังคับข้อ (ก.1) - (ก.4) และ

$$\sum_{p \in P_{sd}} a_{r_k, p}^{sd} = t_{r_k} \times x_{r_k}^{sd}, \quad \forall sd \in A_k, \forall r_k \in R \quad (ก.6)$$

$$M \times f_{ij} - \sum_{r_k \in R} \sum_{sd} \sum_{p \in P_{sd}} a_{r_k, p}^{sd} \delta_{ij, p}^{sd} \geq 0, \quad \forall ij \in L \quad (ก.7)$$

$$a_{r_k, p}^{sd} \in Z^+, \quad \forall p \in P_{sd}, \forall sd \in A_k, \forall r_k \in R \quad (ก.8)$$

$$f_{ij} \in Z^+, \quad \forall ij \in L \quad (ก.9)$$

จุดประสงค์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดสรรเส้นทางและกำหนดความยาวคลื่นวิธี VLT แสดงได้ดังฟังก์ชันวัตถุประสงค์ข้อที่ (ก.5) คือ เพื่อหาจำนวนเส้นใยนำแสงที่น้อยที่สุดที่ต้องจัดสรรให้แก่โครงข่ายเพื่อให้สามารถรองรับทราฟฟิกชนิดมัลติคลาสต์ที่เกิดขึ้นในโครงข่าย โดยมีเงื่อนไขบังคับข้อ (ก.1) - (ก.4) และ (ก.6) - (ก.9) ซึ่งเงื่อนไขบังคับข้อ (ก.1) - (ก.4) เป็นเงื่อนไขบังคับที่ใช้หาโครงสร้างต้นไม้เชิงแสงที่เหมาะสมที่สุด เงื่อนไขบังคับข้อที่ (ก.6) เป็นเงื่อนไขบังคับที่ให้กิ่งเชิงแสงทุกกิ่งของโครงสร้างต้นไม้เชิงแสงจะต้องมีเส้นทางทางกายภาพรองรับ เงื่อนไขบังคับข้อที่ (ก.7) เป็นเงื่อนไขของปัญหาที่ใช้บังคับให้ความจุของสัญญาณของข่ายเชื่อมโยงทุกข่ายเชื่อมโยงสามารถรองรับปริมาณทราฟฟิกทั้งหมดที่เกิดขึ้นได้ ส่วนเงื่อนไขบังคับข้อที่ (ก.8) และ (ก.9) เป็นเงื่อนไขของค่าตัวแปรโดยให้มีค่าเป็นจำนวนเต็มที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์

ก.4.2 วิธีโครงสร้างต้นไม้เชิงแสง (Light-Tree method, LT)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือ

$$\min : \sum_{ij \in L} f_{ij} \quad (\text{ก.10})$$

และมีเงื่อนไขบังคับสมการที่ (ก.1) - (ก.4) และ

$$\sum_{p \in P_k} \sum_{\lambda=1}^M a_{r_k, p, \lambda} = t_{r_k} \times x_{r_k}^{sd}, \quad \forall sd \in V_k, \forall r_k \in R \quad (\text{ก.11})$$

$$f_{ij} - \sum_{r_k \in R} \sum_{sd} \sum_{p \in P_{sd}} a_{r_k, p, \lambda}^{sd} \delta_{ij, p}^{sd} \geq 0, \quad \forall \lambda = \{1, 2, \dots, M\}, \forall ij \in L \quad (\text{ก.12})$$

$$\sum_{\lambda=1}^M W_{r_k, \lambda} = t_{r_k}, \quad \forall r_k \in R \quad (\text{ก.13})$$

$$a_{r_k, p, \lambda}^{sd} \leq I_{\infty} \times W_{r_k, \lambda}, \quad \forall \lambda = \{1, 2, \dots, M\}, \forall p \in P_{sd}, \forall sd \in A_k, \forall r_k \in R \quad (\text{ก.14})$$

$$W_{r_k, \lambda} \in \{0, 1\}, \quad \forall \lambda = \{1, 2, \dots, M\}, \forall r_k \in R \quad (\text{ก.15})$$

$$a_{r_k, p, \lambda}^{sd} \in Z^+, \quad \forall \lambda = \{1, 2, \dots, M\}, \forall p \in P_{sd}, \forall sd \in A_k, \forall r_k \in R \quad (\text{ก.16})$$

$$f_{ij} \in Z^+, \quad \forall ij \in L \quad (\text{ก.17})$$

จุดประสงค์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดสรรเส้นทางและกำหนดความยาวคลื่นวิธี LT แสดงได้ดังฟังก์ชันวัตถุประสงค์ข้อที่ (ก.10) คือ เพื่อหาจำนวนเส้นใยนำแสงที่น้อยที่สุดที่ต้องจัดสรรให้แก่โครงข่ายเพื่อให้สามารถรองรับทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์ที่เกิดขึ้นในโครงข่าย โดยมีเงื่อนไขบังคับข้อ (ก.1) – (ก.4) เป็นเงื่อนไขบังคับที่ใช้หาโครงสร้างต้นไม้เชิงแสงที่เหมาะสมที่สุด เงื่อนไขบังคับข้อที่ (ก.11) เป็นเงื่อนไขบังคับที่ให้ถึงเชิงแสงของโครงสร้างต้นไม้เชิงแสงจะต้องมีเส้นทางทางกายภาพรองรับ เงื่อนไขบังคับข้อที่ (ก.12) เป็นเงื่อนไขของปัญหาที่ใช้บังคับให้ความจุของสัญญาณของข่ายเชื่อมโยงทุกข่ายเชื่อมโยงสามารถรองรับปริมาณทราฟฟิกทั้งหมดที่เกิดขึ้นได้ เงื่อนไขบังคับข้อที่ (ก.13) จะกำหนดให้แต่ละมัลติคาสต์เซชันเลือกความยาวคลื่นได้เพียงค่าเดียว และความยาวคลื่นนั้นจะถูกกำหนดให้กับเส้นทางทางกายภาพที่เลือกจากเงื่อนไขบังคับข้อที่ (ก.11) ซึ่งแสดงได้ดังเงื่อนไขบังคับข้อที่ (ก.14) ส่วนเงื่อนไขบังคับข้อที่ (ก.15) – (ก.17) เป็นเงื่อนไขของค่าตัวแปรโดยให้มีค่าเป็นตัวแปรแบบบูล (boolean variable) และจำนวนเต็มทีมากกว่าหรือเท่ากับศูนย์

ก.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการออกแบบโครงข่ายกรณีโครงข่ายได้รับความเสียหาย

เมื่อเกิดความเสียหายขึ้นในโครงข่าย ทราฟฟิกในโครงข่ายจะถูกจัดสรรเส้นทางใหม่เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น โดยสามารถแสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการจัดสรรเส้นทางใหม่วิธีต่าง ๆ ดังนี้

ก.5.1 กลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ LR (Light-Tree Reconfiguration)

กรณี VLT

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือ

$$\min : \sum_{ij \in L} f_{ij} , \quad (ก.18)$$

และมีเงื่อนไขบังคับข้อ (ก.1) - (ก.4) ,และ

$$\sum_{ij \in A_k} x f_{r_k, ij}^{ij} = |N_k| - 1, \quad \forall ij' \in L, \forall r_k \in R \quad (ก.19)$$

$$\sum_{ij \in \mathcal{B}(S)} x f_{r_k, ij}^{ij} \geq 1, \quad \forall S \subset N_k, S \neq \emptyset, N, \forall ij' \in L, \forall r_k \in R \quad (ก.20)$$

$$\sum_{j: ij \in A_k} x f_{r_k, ij}^{ij} \leq \Delta, \quad \forall i \in N_k, \forall ij' \in L \quad (ก.21)$$

$$x f_{r_k, ij}^{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall ij \in A_k, \forall ij' \in L, \forall r_k \in R \quad (ก.22)$$

$$\sum_{e \in E_{sd}^{ij}} u_{r_k, e}^{sd, ij} = t_{r_k} \times x f_{r_k, ij}^{sd}, \quad \forall sd \in A_k, \forall r_k \in R, \forall ij' \in L \quad (ก.23)$$

$$M \times f_{ij} - \sum_{r_k \in R} \sum_{sd} \sum_{e \in E_{sd}^{ij}} u_{r_k, e}^{sd, ij} \mu_{ij, e}^{sd, ij} \geq 0, \quad \forall ij \in L - \{ij'\}, \forall ij' \in L \quad (ก.24)$$

$$u_{r_k, e}^{sd, ij} \in Z^+, \quad \forall e \in E_{sd}^{ij'}, \forall sd \in A_k, \forall r_k \in R \quad (ก.25)$$

$$f_{ij} \in Z^+, \quad \forall ij \in L \quad (ก.26)$$

จุดประสงค์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดสรรเส้นทางและกำหนดความยาวคลื่นสำหรับกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ LR ในกรณี VLT แสดงได้ดังฟังก์ชันวัตถุประสงค์ข้อที่ (ก.18) คือ เพื่อหาจำนวนเส้นใยนำแสงโดยรวมที่น้อยที่สุดที่ต้องจัดสรรให้แก่โครงข่ายเพื่อให้สามารถรองรับทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์ที่เกิดขึ้นในโครงข่าย โดยใช้เงื่อนไขบังคับตามข้อที่ (ก.1) - (ก.4) ส่วนเงื่อนไขข้อที่ (ก.19)-(ก.22) จะบังคับให้ทุกต้นไม้เชิงแสงสามารถที่จะจัดสรรเส้นทาง

ใหม่ได้ทุกกรณีที่ชายเชื่อมโยงเกิดความขัดข้อง เงื่อนไขบังคับข้อที่ (ก.23) บังคับให้เมื่อเกิดความขัดข้องขึ้น กิ่งเชิงแสงสำรองทุกกิ่งของโครงสร้างต้นไม้เชิงแสงจะต้องมีเส้นทางทางกายภาพรองรับ เงื่อนไขบังคับข้อที่ (ก.24) เป็นเงื่อนไขที่แสดงว่า เมื่อเกิดความขัดข้องหนึ่งชายเชื่อมโยงขึ้น ความจุช่องสัญญาณทุกชายเชื่อมโยงจะยังคงสามารถรองรับปริมาณทราฟฟิกทั้งหมดที่เปลี่ยนมาใช้งานชายเชื่อมโยงนั้นๆได้ ส่วนเงื่อนไขบังคับข้อที่ (ก.25) และ (ก.26) เป็นเงื่อนไขของค่าตัวแปรโดยให้มีค่าเป็นตัวแปรแบบบูล และจำนวนเต็มที่มากกว่าหรือเท่ากับศูนย์

กรณี LT

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือ

$$\min : \sum_{ij \in L} f_{ij} , \quad (ก.27)$$

และมีเงื่อนไขบังคับสมการที่ (ก.1) - (ก.4), (ก.11), (ก.12), (ก.14) และ

$$\sum_{ij \in A_k} x f_{r_k, ij}^{ij} = |N_k| - 1, \quad \forall ij' \in L, \forall r_k \in R \quad (ก.28)$$

$$\sum_{ij \in \theta(S)} x f_{r_k, ij}^{ij} \geq 1, \quad \forall S \subset N_k, S \neq \phi, N, \forall ij' \in L, \forall r_k \in R \quad (ก.29)$$

$$\sum_{j: ij \in A_k} x f_{r_k, ij}^{ij} \leq \Delta, \quad \forall i \in N_k, \forall ij' \in L, \forall r_k \in R \quad (ก.30)$$

$$x f_{r_k, ij}^{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall ij \in A_k, \forall ij' \in L, \forall r_k \in R \quad (ก.31)$$

$$\sum_{e \in E_{sd}^{ij'}} \sum_{\lambda=1}^M u_{r_k, p, \lambda}^{sd, ij'} = t_{r_k} \times x f_{r_k, ij'}^{sd}, \quad \forall sd \in A_k, \forall r_k \in R, \forall ij' \in L \quad (ก.32)$$

$$f_{ij} - \sum_{r_k \in R} \sum_{sd} \sum_{e \in E_{sd}^{ij'}} u_{r_k, e, \lambda}^{sd, ij'} \mu_{ij, e}^{sd, ij'} \geq 0, \quad \forall \lambda = \{1, 2, \dots, M\}, \quad \forall ij \in L - \{ij'\}, \forall ij' \in L \quad (ก.33)$$

$$u_{r_k, e, \lambda}^{sd, ij'} \in Z^+, \quad \forall \lambda = \{1, 2, \dots, M\}, \forall e \in E_{sd}^{ij'}, \forall sd \in A_k, \forall r_k \in R, \forall ij' \in L \quad (ก.34)$$

$$\sum_{\lambda=1}^M W_{r_k, \lambda} = t_{r_k}, \quad \forall r_k \in R \quad (ก.35)$$

$$u_{r_k, e, \lambda}^{sd, ij'} \leq I_{\infty} \times W_{r_k, \lambda}, \quad \forall \lambda = \{1, 2, \dots, M\}, \forall e \in E_{sd}^{ij'}, \forall sd \in A_k, \forall r_k \in R, \forall ij' \in L \quad (ก.36)$$

$$W_{r_k, \lambda} \in Z^+, \quad \forall \lambda = \{1, 2, \dots, M\}, \forall r_k \in R \quad (ก.37)$$

$$f_{ij} \in Z^+, \quad \forall ij \in L. \quad (ก.38)$$

จุดประสงค์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดสรรเส้นทางและกำหนดความยาวคลื่นสำหรับกลยุทธ์การปกป้องโครงข่ายแบบ LR ในกรณี LT แสดงได้ดังฟังก์ชันวัตถุประสงค์ข้อที่ (ก.27) คือ เพื่อหาจำนวนเส้นใยนำแสงโดยรวมที่น้อยที่สุดที่ต้องจัดสรรให้แก่โครงข่ายเพื่อให้สามารถรองรับทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์ที่เกิดขึ้นในโครงข่าย โดยมีเงื่อนไขบังคับข้อที่ (ก.1) – (ก.4) ส่วนเงื่อนไขข้อที่ (ก.28)-(ก.31) จะบังคับให้ทุกต้นไม้เชิงแสงสามารถที่จะจัดสรรเส้นทางใหม่ได้ทุกกรณีที่ข่ายเชื่อมโยงเกิดความขัดข้อง ส่วนเงื่อนไขบังคับข้อที่ (ก.33) – (ก.38) เป็นเงื่อนไขที่มีการพิจารณาเช่นเดียวกันกับการปกป้องโครงข่ายแบบ LR ในกรณี VLT ทุกประการเพียงแต่จะมีการเพิ่มมิติของความยาวคลื่นเข้าไปในสมการคณิตศาสตร์เพื่อระบุความยาวคลื่นให้กับวิธีบูรณะ

ก.5.2 กลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ LIR (Light-Tree Interrupted Reconfiguration)

กรณี VLT

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือ

$$\min : \sum_{ij \in L} f_{ij} , \quad (ก.39)$$

และมีเงื่อนไขบังคับข้อ (ก.1) - (ก.4) , (ก.6) - (ก.8) และ

$$\sum_{sd} \sum_{p \in P_{sd}} a_{r_k, p}^{sd} \delta_{ij, p}^{sd} \leq I_{\infty} \times G_{r_k}^{ij'} , \quad \forall r_k \in R, \forall ij' \in L \quad (ก.40)$$

$$\sum_{ij \in A_k} x f_{r_k, ij}^{ij'} = (|N_k| - 1) \times G_{r_k}^{ij'} , \quad \forall ij' \in L, \forall r_k \in R \quad (ก.41)$$

$$\sum_{ij \in \theta(S)} x f_{r_k, ij}^{ij'} \geq G_{r_k}^{ij'} , \quad \forall S \subset N_k, S \neq \phi, N , \forall ij' \in L, \forall r_k \in R \quad (ก.42)$$

$$\sum_{j: ij \in A_k} x f_{r_k, ij}^{ij'} \leq \Delta \times G_{r_k}^{ij'} , \quad \forall i \in N_k , \forall ij' \in L, \forall r_k \in R \quad (ก.43)$$

$$x f_{r_k, ij}^{ij'} \in \{0, 1\} , \quad \forall ij \in A_k, \forall ij' \in L, \forall r_k \in R \quad (ก.44)$$

$$\sum_{e \in E_{sd}^{ij'}} u_{r_k, e}^{sd, ij'} = t_{r_k} \times x f_{r_k, ij}^{sd} , \quad \forall sd \in A_k, \forall r_k \in R , \forall ij' \in L \quad (ก.45)$$

$$\left(\sum_{sd} \sum_{p \in P_{sd}} a_{r_k, p}^{sd} \delta_{ij, p}^{sd} - C_{r_k, ij}^{ij'} \right) \leq I_{\infty} G_{r_k}^{ij'} , \quad \forall r_k \in R, \forall ij \in L - \{ij'\}, \forall ij' \in L \quad (ก.46)$$

$$C_{r_k,ij}^{ij'} \leq I_\infty (1 - G_{r_k}^{ij'}), \quad \forall r_k \in R, \forall ij \in L - \{ij'\}, \forall ij' \in L \quad (n.47)$$

$$C_{r_k,ij}^{ij'} \in Z^+, \quad \forall r_k \in R, \forall ij \in L - \{ij'\}, \forall ij' \in L \quad (n.48)$$

$$G_{r_k}^{ij'} \in \{0,1\}, \quad \forall r_k \in R, \forall ij' \in L \quad (n.49)$$

$$M \times f_{ij} - \sum_{r_k \in R} \sum_{sd} \sum_{e \in E_{sd}^{ij'}} u_{r_k,e}^{sd,ij'} \mu_{ij,e}^{sd,ij'} - \sum_{r_k \in R} C_{r_k,ij}^{ij'} \geq 0, \quad \forall ij \in L - \{ij'\}, \forall ij' \in L \quad (n.50)$$

$$u_{r_k,e}^{sd,ij'} \in Z^+, \quad \forall e \in E_{sd}^{ij'}, \forall sd \in A_k, \forall r_k \in R, ij' \in L \quad (n.51)$$

$$f_{ij} \in Z^+, \quad \forall ij \in L \quad (n.52)$$

จุดประสงค์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดสรรเส้นทางและกำหนดความยาวคลื่นสำหรับกลยุทธ์การปกป้องโครงข่ายแบบ LIR ในกรณี VLT แสดงได้ดังฟังก์ชันวัตถุประสงค์ข้อที่ (ก.39) คือ เพื่อหาจำนวนเส้นใยนำแสงโดยรวมที่น้อยที่สุดที่ต้องจัดสรรให้แก่โครงข่ายเพื่อให้สามารถรองรับทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์ที่เกิดขึ้นในโครงข่าย โดยมีเงื่อนไขบังคับข้อที่ (ก.1) – (ก.4) และ (ก.11), (ก.12), (ก.14) สำหรับการเลือกรูปแบบโครงสร้างต้นไม้เชิงแสงที่เหมาะสมให้กับโครงข่ายในสภาวะปกติ เงื่อนไขบังคับข้อที่ (ก.40) และ (ก.49) เป็นเงื่อนไขที่ใช้ร่วมกันในการระบุต้นไม้เชิงแสงที่จะได้รับการจัดวิถึบูรณะใหม่ เมื่อสายเชื่อมโยงทางกายภาพของต้นไม้เชิงแสงนั้นเกิดความเสียหาย โดย $G_{r_k}^{ij'}$ จะเท่ากับ 1 เมื่อสายเชื่อมโยงทางกายภาพ ij ที่ใช้รองรับปริมาณทราฟฟิกของมัลติคาสต์เซตชั้นที่ r_k ได้รับผลกระทบ (ij') และจะเป็น 0 เมื่อต้นไม้เชิงแสงนั้นไม่ได้รับผลกระทบ ซึ่ง I_∞ จะถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่ที่มีค่าสูงๆ เงื่อนไขบังคับข้อที่ (ก.41) และ (ก.45) เป็นเงื่อนไขที่ใช้กำหนดวิถึบูรณะให้กับต้นไม้เชิงแสงที่ใช้รองรับปริมาณทราฟฟิกของมัลติคาสต์เซตชั้นที่ r_k เมื่อ $G_{r_k}^{ij'}$ มีค่าเท่ากับ 1 ส่วนเงื่อนไขบังคับข้อที่ (ก.46) และ (ก.48) นั้น เป็นเงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับหาจำนวนของสัญญาณที่มีการคืนให้กับโครงข่าย $C_{r_k,ij}^{ij'}$ ตามหลักการของกลยุทธ์การปกป้องโครงข่ายแบบ LIR และเทคนิคการวางเส้นใยแสงสำรองแบบ SW+WW+SR เพื่อที่จะนำของสัญญาณเหล่านั้นไปจัดวิถึบูรณะใหม่ให้กับต้นไม้เชิงแสงที่ได้รับผลกระทบ แต่เมื่อ $G_{r_k}^{ij'}$ มีค่าเท่ากับ 0 ตัวแปร $C_{r_k,ij}^{ij'}$ จะมีค่าเท่ากับจำนวนของสัญญาณที่สายเชื่อมโยง ij ของต้นไม้เชิงแสง r_k ที่ไม่ได้รับผลกระทบจาก ij' ในขณะที่ เงื่อนไขบังคับข้อที่ (ก.47) เป็นเงื่อนไขที่ใช้บังคับว่า ถ้า $G_{r_k}^{ij'}$ มีค่าเท่ากับ 1 แล้ว $C_{r_k,ij}^{ij'}$ จะมีค่าเท่ากับศูนย์ ส่วนเงื่อนไขบังคับข้อที่ (ก.50) เป็นเงื่อนไขที่ใช้รับประกันว่า เมื่อเกิดความขัดข้องหนึ่งสายเชื่อมโยงขึ้น ความจุของสัญญาณทุกสายเชื่อมโยงจะยังคงสามารถรองรับปริมาณทราฟฟิกทั้งหมดที่เปลี่ยนมาใช้งาน

ขายเชื่อมโยงกันๆได้ สำหรับเงื่อนไขบังคับข้อที่ (ก.51) และ (ก.52) เป็นเงื่อนไขของค่าตัวแปรโดยให้มีค่าเป็นตัวแปรแบบบูล และจำนวนเต็มที่มากกว่าหรือเท่ากับศูนย์

กรณี LT

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือ

$$\min : \sum_{ij \in L} f_{ij} , \quad (ก.53)$$

และมีเงื่อนไขบังคับสมการที่ (ก.1) - (ก.4), (ก.11), (ก.12), (ก.14) และ

$$\sum_{sd} \sum_{p \in P_{sd}} \sum_{\lambda=1}^M a_{r_k, p, \lambda}^{sd} \delta_{ij', p}^{sd} \leq I_{\infty} \times G_{r_k}^{ij'} , \quad \forall r_k \in R, \forall ij' \in L \quad (ก.54)$$

$$\sum_{ij \in A_k} x f_{r_k, ij'}^{ij} = (|N_k| - 1) \times G_{r_k}^{ij'} , \quad \forall ij' \in L, \forall r_k \in R \quad (ก.55)$$

$$\sum_{ij \in \theta(S)} x f_{r_k, ij'}^{ij} \geq G_{r_k}^{ij'} , \quad \forall S \subset N_k, S \neq \phi, N, \forall ij' \in L, \forall r_k \in R \quad (ก.56)$$

$$\sum_{j: ij \in A_k} x f_{r_k, ij'}^{ij} \leq \Delta \times G_{r_k}^{ij'} , \quad \forall i \in N_k, \forall ij' \in L, \forall r_k \in R \quad (ก.57)$$

$$x f_{r_k, ij'}^{ij} \in \{0, 1\} , \quad \forall ij \in A_k, \forall ij' \in L, \forall r_k \in R \quad (ก.58)$$

$$\left(\sum_{sd} \sum_{p \in P_{sd}} a_{r_k, p, \lambda}^{sd} \delta_{ij, p}^{sd} - C_{r_k, ij, \lambda}^{ij'} \right) \leq I_{\infty} G_{r_k}^{ij'} , \quad \forall \lambda = \{1, 2, \dots, M\}, \forall r_k \in R, \\ \forall ij \in L - \{ij'\}, \forall ij' \in L \quad (ก.59)$$

$$\sum_{sd} \sum_{p \in P_{sd}} \sum_{\lambda=1}^M a_{r_k, p, \lambda}^{sd} \delta_{ij', p}^{sd} \leq I_{\infty} \times G_{r_k}^{ij'} , \quad \forall r_k \in R, \forall ij' \in L \quad (ก.60)$$

$$C_{r_k, ij, \lambda}^{ij'} \in Z^+ , \quad \forall \lambda = \{1, 2, \dots, M\}, \forall r_k \in R, \forall ij \in L - \{ij'\}, \forall ij' \in L \quad (ก.61)$$

$$G_{r_k}^{ij'} \in \{0, 1\} , \quad \forall r_k \in R, \forall ij' \in L \quad (ก.62)$$

$$\sum_{e \in E_{sd}^{ij'}} \sum_{\lambda=1}^M u_{r_k, e, \lambda}^{sd, ij'} = t_{r_k} \times x f_{r_k, ij'}^{sd} , \quad \forall sd \in A_k, \forall r_k \in R, \forall ij' \in L \quad (ก.63)$$

$$f_{ij} - \sum_{r_k \in R} \sum_{sd} \sum_{e \in E_{sd}^{ij}} u_{r_k, e, \lambda}^{sd, ij'} \mu_{ij, e}^{sd, ij'} - \sum_{r_k \in R} C_{r_k, ij, \lambda}^{ij'} \geq 0,$$

$$\forall \lambda = \{1, 2, \dots, M\}, \forall ij \in L - \{ij'\}, \forall ij' \in L \quad (\text{ก.64})$$

$$u_{r_k, e, \lambda}^{sd, ij'} \in Z^+, \forall \lambda = \{1, 2, \dots, M\}, \forall e \in E_{sd}^{ij'}, \forall sd \in A_k, \forall r_k \in R, \forall ij' \in L \quad (\text{ก.65})$$

$$\sum_{\lambda=1}^M W_{r_k, \lambda} = t_{r_k}, \quad \forall r_k \in R \quad (\text{ก.66})$$

$$u_{r_k, e, \lambda}^{sd, ij'} \leq I_\infty \times W_{r_k, \lambda},$$

$$\forall \lambda = \{1, 2, \dots, M\}, \forall e \in E_{sd}^{ij'}, \forall sd \in A_k, \forall r_k \in R, \forall ij' \in L \quad (\text{ก.67})$$

$$W_{r_k, \lambda} \in Z^+,$$

$$\forall \lambda = \{1, 2, \dots, M\}, \forall r_k \in R \quad (\text{ก.68})$$

$$f_{ij} \in Z^+,$$

$$\forall ij \in L. \quad (\text{ก.69})$$

จุดประสงค์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดสรรเส้นทางและกำหนดความยาวคลื่นสำหรับกลยุทธ์การปกป้องโครงข่ายแบบ LIR ในกรณี LT แสดงได้ดังฟังก์ชันวัตถุประสงค์ข้อที่ (ก.53) คือ เพื่อหาจำนวนเส้นใยนำแสงโดยรวมที่น้อยที่สุดที่ต้องจัดสรรให้แก่โครงข่ายเพื่อให้สามารถรองรับทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์ที่เกิดขึ้นในโครงข่าย โดยมีเงื่อนไขบังคับข้อที่ (ก.1) – (ก.4) ส่วนเงื่อนไขข้อที่ (ก.28)-(ก.31) จะบังคับให้ทุกต้นไม้เชิงแสงสามารถที่จะจัดสรรเส้นทางใหม่ได้ทุกกรณีที่ข่ายเชื่อมโยงเกิดความขัดข้อง ส่วนเงื่อนไขบังคับข้อที่ (ก.54) – (ก.69) เป็นเงื่อนไขที่มีการพิจารณาเช่นเดียวกันกับการปกป้องโครงข่ายแบบ LR ในกรณี VLT ทุกประการเพียงแต่จะมีการเพิ่มมิติของความยาวคลื่นเข้าไปในสมการคณิตศาสตร์เพื่อระบุความยาวคลื่นให้กับวิถึบูรณะ

ภาคผนวก ข ผลของการปรับค่าพารามิเตอร์ของโครงข่าย

เนื้อหาส่วนนี้แสดงผลของการปรับพารามิเตอร์ของอัลกอริทึมฮิวริสติกที่อยู่บนพื้นฐานการค้นหาลำดับที่มีผลต่อการหาต้นทุนของโครงข่าย 8N_14L, 10N_21L และ 14N_21L ตามลำดับ

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

ขนาด tabu list	Candidate Size = 5				Candidate Size = 7				Candidate Size = 10			
	ต้นทุน โครงข่าย	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลาที่ใช้ คำนวณ (นาที)	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	ต้นทุน โครงข่าย	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลาที่ใช้ คำนวณ (นาที)	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	ต้นทุน โครงข่าย	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลาที่ใช้ คำนวณ (นาที)	จำนวน รอบที่ ค้นพบ
1	54	1.0	0.1667	3070	55	0.8	0.1458	2327	54	0.2	0.1875	1999
2	54	1.8	0.1151	2218	55	2.6	0.2008	2343	55	0.2	0.2099	2051
3	54	1.0	0.1513	2718	54	2.2	0.1745	2095	54	2.2	0.1922	1879
4	56	0.6	0.1057	2348	56	0.6	0.1039	1879	55	0.8	0.1620	1832
5	56	0.4	0.0924	1848	55	2.6	0.1599	2134	54	3.2	0.2255	1869
6	56	0.6	0.1383	2724	54	1.0	0.1654	2556	53	1.6	0.2901	2354
7	55	1.6	0.1086	2556	53	1.2	0.2276	2951	53	2.0	0.2818	2190
8	55	1.2	0.1500	2242	54	3.2	0.2365	2187	54	1.4	0.3042	1951
9	55	2.2	0.1654	2513	53	2.0	0.2065	2566	55	1.6	0.1792	2181
10	54	4.0	0.1276	2195	54	0.4	0.1870	2469	55	0.4	0.2810	2266
11	55	0.4	0.2070	2988	54	2.0	0.1542	2217	54	1.0	0.2474	1922
12	55	1.4	0.1716	2146	54	0.4	0.1563	2330	54	0.4	0.2708	2094
13	55	0.2	0.2180	2626	56	0.8	0.1826	2103	54	2.4	0.2628	2146
14	55	0.4	0.1117	2408	54	0.8	0.1807	2857	55	0.8	0.2648	2042
15	54	3.8	0.1253	1854	54	0.6	0.2013	2740	53	1.4	0.3104	1968

(ก)

ขนาด tabu list	Candidate Size = 5				Candidate Size = 7				Candidate Size = 10			
	ต้นทุน โครงข่าย	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลาที่ใช้ คำนวณ (นาที)	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	ต้นทุน โครงข่าย	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลาที่ใช้ คำนวณ (นาที)	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	ต้นทุน โครงข่าย	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลาที่ใช้ คำนวณ (นาที)	จำนวน รอบที่ ค้นพบ
1	66	4.6	0.0112	2127	63	0.4	0.1349	2134	64	0.4	0.1380	1304
2	67	1.8	0.0052	2069	64	0.8	0.1117	1598	63	1.0	0.1857	1579
3	66	2.6	0.0063	1898	63	1.4	0.1497	1921	63	0.8	0.2284	1818
4	67	1.4	0.0099	1738	64	0.6	0.1260	1805	63	0.6	0.2417	1870
5	68	0.6	0.0052	1983	63	0.4	0.1451	2110	64	0.4	0.1820	1614
6	67	4.8	0.0073	1625	63	0.2	0.1698	2074	64	0.8	0.1883	2096
7	66	3.6	0.0094	1753	63	0.2	0.1695	2433	64	0.0	0.1628	1575
8	69	1.0	0.0055	2110	64	0.8	0.1646	2149	64	0.8	0.2240	1597
9	67	2.2	0.0117	1879	63	0.4	0.1346	1794	64	0.0	0.2068	1747
10	69	2.6	0.0076	2121	63	2.0	0.1570	1945	63	0.2	0.2690	2006
11	65	4.4	0.0073	2206	63	0.4	0.1227	1665	64	0.8	0.1523	1469
12	67	1.2	0.0078	1735	63	0.4	0.2115	2467	64	0.0	0.1698	1718
13	67	2.4	0.0091	1719	64	0.6	0.1589	1995	63	0.2	0.1977	1872
14	69	2.6	0.0052	2281	64	0.4	0.1586	1774	64	0.8	0.2070	1604
15	66	3.4	0.0057	1769	63	1.8	0.1362	1655	63	0.4	0.2284	2014

(๑)

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

stop criteria	ขนาด tabu list แบบพลวัต															
	[1 15]				[5 12]				[5 20]				[10 20]			
	ต้นทุนโครงข่าย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	เวลาที่ใช้ (นาท)	จำนวนรอบที่ค้นพบ	ต้นทุนโครงข่าย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	เวลาที่ใช้ (นาท)	จำนวนรอบที่ค้นพบ	ต้นทุนโครงข่าย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	เวลาที่ใช้ (นาท)	จำนวนรอบที่ค้นพบ	ต้นทุนโครงข่าย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	เวลาที่ใช้ (นาท)	จำนวนรอบที่ค้นพบ
50	49	2.8	0.0198	122	50	2.0	0.0161	114	50	1.6	0.0203	126	51	1.4	0.0143	102
100	49	0.8	0.0326	248	50	0.4	0.0167	207	50	1.2	0.0266	190	50	2.0	0.0297	180
150	50	1.2	0.0294	241	49	2.0	0.0263	231	50	1.2	0.0224	266	50	0.6	0.0651	350
200	49	1.2	0.0448	405	50	1.6	0.0682	396	50	1.2	0.0518	381	50	0.6	0.0404	336
300	49	0.8	0.0534	638	47	2.8	0.1083	729	49	1.4	0.0661	511	47	3.6	0.1010	699
400	49	0.8	0.0938	834	49	1.4	0.0737	682	48	1.8	0.0872	656	47	1.2	0.1354	805
500	48	0.4	0.1539	1108	48	0.8	0.1211	1023	48	0.6	0.1375	1020	48	0.8	0.1164	1036
600	48	0.6	0.1536	1216	47	1.0	0.1503	1097	48	0.6	0.1120	1179	48	0.4	0.0805	917
700	47	1.2	0.2237	1566	47	0.8	0.2120	1435	48	1.0	0.1372	1086	48	1.4	0.1318	1299
800	46	1.0	0.2841	1637	47	1.2	0.2594	1553	46	1.8	0.2716	1661	48	0.2	0.1490	1460
900	46	1.2	0.1753	1732	47	1.2	0.2690	1957	48	0.4	0.1997	1758	48	0.0	0.2328	1859
1000	46	1.2	0.2682	2093	46	1.4	0.4578	2183	47	1.4	0.2656	1806	47	1.2	0.2599	1700
2000	47	0.6	0.4026	3942	46	1.4	0.4536	3207	46	2.2	0.6990	3959	46	1.4	0.5784	3917
4000	46	1.2	0.7419	7123	46	0.4	1.2555	8849	46	0.4	1.2344	7327	46	1.4	1.1221	9367
6000	46	0.8	1.6276	10680	46	1.0	0.9740	10294	47	0.8	0.8365	9296	46	1.0	1.0984	9230
8000	46	1.4	2.1070	16048	46	0.4	1.8172	12978	46	0.8	1.3206	13143	46	0.4	2.4891	16468
10000	46	0.0	2.2661	17422	46	0.8	2.1448	17893	46	0.0	1.6185	14153	46	0.0	2.1281	18980

(ก)

stop criteria	ขนาด tabu list แบบพลวัต															
	[1 15]				[5 12]				[5 20]				[10 20]			
	ต้นทุน โครงข่าย	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลาที่ใช้ คำนวณ (นาท)	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	ต้นทุน โครงข่าย	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลาที่ใช้ คำนวณ (นาท)	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	ต้นทุน โครงข่าย	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลาที่ใช้ คำนวณ (นาท)	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	ต้นทุน โครงข่าย	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลาที่ใช้ คำนวณ (นาท)	จำนวน รอบที่ ค้นพบ
50	60	0.2	0.0130	135	59	2.6	0.0172	128	60	0.8	0.0096	122	57	6.8	0.0151	107
100	58	3.2	0.0453	273	59	0.6	0.0221	240	57	3.4	0.0326	266	58	0.4	0.0247	260
150	57	3.2	0.0490	395	58	0.4	0.0555	437	58	2.0	0.0214	320	58	0.6	0.0451	358
200	56	2.6	0.0396	444	57	3.4	0.0414	489	55	3.2	0.0646	574	56	2.0	0.0789	462
300	56	2.4	0.0615	669	57	0.6	0.0638	745	55	2.0	0.0518	765	54	4.2	0.0573	715
400	56	0.8	0.0846	780	56	2.8	0.0904	808	54	2.0	0.1404	1084	57	0.2	0.0721	853
500	54	1.4	0.1331	1267	55	2.2	0.0630	951	55	0.4	0.1201	991	55	2.0	0.1362	1147
600	54	1.8	0.0979	1523	55	0.6	0.1602	1599	55	1.0	0.1180	1436	55	1.2	0.1701	1219
700	54	1.0	0.1451	1609	54	1.4	0.2232	1657	55	1.0	0.2029	1749	52	5.2	0.2221	1770
800	53	1.4	0.1630	1838	53	2.8	0.2154	2267	55	2.6	0.1940	1821	54	1.4	0.1833	2016
900	53	1.8	0.3122	2602	55	0.4	0.1729	1894	54	2.0	0.2419	2033	54	2.2	0.2581	1850
1000	54	2.2	0.1648	1913	54	1.2	0.1872	2267	55	0.2	0.1602	1683	54	2.6	0.2503	2053
2000	53	1.0	0.4185	5428	53	0.4	0.3167	4573	53	1.2	0.3878	4137	54	0.8	0.2487	4653
4000	53	0.2	0.6497	6614	53	0.4	0.9016	8276	52	1.6	0.7682	6763	53	0.4	0.7063	7116
6000	53	0.2	0.7164	9252	52	0.6	1.3568	14374	52	0.4	1.2857	11133	52	1.2	1.5107	11713
8000	52	0.4	1.9940	14747	52	0.4	1.0523	13075	52	1.4	1.4143	12417	52	1.0	2.2378	14427
10000	52	0.2	2.9747	22759	52	0.4	1.6013	14040	52	1.2	2.3820	17599	53	0.8	1.3370	14995

(ข)

ภาคผนวก ค การปรับพารามิเตอร์ของอัลกอริทึมฮิวริสติกในกรณีทดสอบ

เนื้อหาส่วนนี้แสดงผลของการปรับพารามิเตอร์ของอัลกอริทึมฮิวริสติกที่อยู่บนพื้นฐานการค้นหาลำดับที่มีผลต่อการหาต้นทุนของโครงข่าย 8N_14L, 10N_21L และ 14N_21L ตามลำดับ ที่ stop criteria ต่างกัน เมื่อ tabu list เป็นแบบพลวัต

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

จำนวนรอบ	stop criteria	ขนาด tabu list	can. size	ต้นทุนโครงข่าย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าดีที่สุดเบี่ยงเบนมาตรฐาน	เวลา (นาท)	รอบที่เจอต้นทุนต่ำสุด	จำนวนรอบที่ค้นพบ	อัตราส่วนยอมรับ/ไม่รับ	ยอมรับ/ไม่รับเฉลี่ย
100000	50	[1 15]	10	49	52	2.8	0.0198	132	122	0.08	0.10
100000	100	[1 15]	10	49	50	0.8	0.0326	200	248	0.04	0.06
100000	150	[1 15]	10	50	52	1.2	0.0294	113	241	0.04	0.05
100000	200	[1 15]	10	49	51	1.2	0.0448	221	405	0.03	0.03
100000	300	[1 15]	10	49	50	0.8	0.0534	197	638	0.01	0.02
100000	400	[1 15]	10	49	50	0.8	0.0938	466	834	0.01	0.02
100000	500	[1 15]	10	48	49	0.4	0.1539	931	1108	0.01	0.01
100000	600	[1 15]	10	48	49	0.6	0.1536	817	1216	0.01	0.01
100000	700	[1 15]	10	47	49	1.2	0.2237	1376	1566	0.01	0.01
100000	800	[1 15]	10	46	48	1.0	0.2841	1811	1637	0.01	0.01
100000	900	[1 15]	10	46	48	1.2	0.1753	709	1732	0.01	0.01
100000	1000	[1 15]	10	46	48	1.2	0.2682	1492	2093	0.01	0.01
100000	2000	[1 15]	10	47	48	0.6	0.4026	1714	3942	0.00	0.00
100000	4000	[1 15]	10	46	48	1.2	0.7419	2870	7123	0.00	0.00
100000	6000	[1 15]	10	46	47	0.8	1.6276	8593	10680	0.00	0.00
100000	8000	[1 15]	10	46	47	1.4	2.1070	10805	16048	0.00	0.00
100000	10000	[1 15]	10	46	46	0.0	2.2661	10089	17422	0.00	0.00

จำนวนรอบ	stop criteria	ขนาด tabu list	can. size	ต้นทุนโครงข่าย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าดีที่สุดเบี่ยงเบนมาตรฐาน	เวลา (นาท)	รอบที่เจอต้นทุนต่ำสุด	จำนวนรอบที่ค้นพบ	อัตราส่วนยอมรับ/ไม่รับ	ยอมรับ/ไม่รับเฉลี่ย
100000	50	[5 12]	10	50	52	2.0	0.0161	92	114	0.07	0.09
100000	100	[5 12]	10	50	51	0.4	0.0167	55	207	0.03	0.05
100000	150	[5 12]	10	49	51	2.0	0.0263	93	231	0.04	0.05
100000	200	[5 12]	10	50	51	1.6	0.0682	430	396	0.02	0.03
100000	300	[5 12]	10	47	49	2.8	0.1083	688	729	0.01	0.02
100000	400	[5 12]	10	49	50	1.4	0.0737	279	682	0.02	0.02
100000	500	[5 12]	10	48	49	0.8	0.1211	590	1023	0.01	0.01
100000	600	[5 12]	10	47	49	1.0	0.1503	785	1097	0.01	0.01
100000	700	[5 12]	10	47	48	0.8	0.2120	1237	1435	0.01	0.01
100000	800	[5 12]	10	47	49	1.2	0.2594	1558	1553	0.01	0.01
100000	900	[5 12]	10	47	48	1.2	0.2690	1541	1957	0.01	0.01
100000	1000	[5 12]	10	46	48	1.4	0.4578	3143	2183	0.00	0.01
100000	2000	[5 12]	10	46	48	1.4	0.4536	2116	3207	0.00	0.00
100000	4000	[5 12]	10	46	47	0.4	1.2555	7180	8849	0.00	0.00
100000	6000	[5 12]	10	46	47	1.0	0.9740	2780	10294	0.00	0.00
100000	8000	[5 12]	10	46	47	0.4	1.8172	7963	12978	0.00	0.00
100000	10000	[5 12]	10	46	47	0.8	2.1448	8792	17893	0.00	0.00

จำนวน รอบ	stop criteria	ขนาด tabu list	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาทื)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	50	[5 20]	10	50	52	1.6	0.0203	131	126	0.05	0.10
100000	100	[5 20]	10	50	52	1.2	0.0266	149	190	0.04	0.06
100000	150	[5 20]	10	50	52	1.2	0.0224	43	266	0.04	0.04
100000	200	[5 20]	10	50	51	1.2	0.0518	260	381	0.02	0.03
100000	300	[5 20]	10	49	51	1.4	0.0661	282	511	0.02	0.02
100000	400	[5 20]	10	48	50	1.8	0.0872	400	656	0.01	0.02
100000	500	[5 20]	10	48	49	0.6	0.1375	736	1020	0.01	0.01
100000	600	[5 20]	10	48	49	0.6	0.1120	416	1179	0.01	0.01
100000	700	[5 20]	10	48	50	1.0	0.1372	534	1086	0.01	0.01
100000	800	[5 20]	10	46	49	1.8	0.2716	1689	1661	0.01	0.01
100000	900	[5 20]	10	48	49	0.4	0.1997	928	1758	0.01	0.01
100000	1000	[5 20]	10	47	49	1.4	0.2656	1453	1806	0.00	0.01
100000	2000	[5 20]	10	46	48	2.2	0.6990	4322	3959	0.00	0.00
100000	4000	[5 20]	10	46	47	0.4	1.2344	7049	7327	0.00	0.00
100000	6000	[5 20]	10	47	48	0.8	0.8365	1454	9296	0.00	0.00
100000	8000	[5 20]	10	46	47	0.8	1.3206	3666	13143	0.00	0.00
100000	10000	[5 20]	10	46	46	0.0	1.6185	4141	14153	0.00	0.00

จำนวน รอบ	stop criteria	ขนาด tabu list	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาทื)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	50	[10 20]	10	51	52	1.4	0.0143	71	102	0.09	0.11
100000	100	[10 20]	10	50	52	2.0	0.0297	155	180	0.06	0.07
100000	150	[10 20]	10	50	51	0.6	0.0651	436	350	0.02	0.04
100000	200	[10 20]	10	50	51	0.6	0.0404	155	336	0.03	0.04
100000	300	[10 20]	10	47	50	3.6	0.1010	620	699	0.02	0.02
100000	400	[10 20]	10	47	49	1.2	0.1354	830	805	0.01	0.02
100000	500	[10 20]	10	48	49	0.8	0.1164	540	1036	0.01	0.01
100000	600	[10 20]	10	48	49	0.4	0.0805	109	917	0.01	0.01
100000	700	[10 20]	10	48	49	1.4	0.1318	487	1299	0.01	0.01
100000	800	[10 20]	10	48	49	0.2	0.1490	553	1460	0.01	0.01
100000	900	[10 20]	10	48	48	0.0	0.2328	1196	1859	0.01	0.01
100000	1000	[10 20]	10	47	49	1.2	0.2599	1235	1700	0.01	0.01
100000	2000	[10 20]	10	46	48	1.4	0.5784	3218	3917	0.00	0.00
100000	4000	[10 20]	10	46	47	1.4	1.1221	6043	9367	0.00	0.00
100000	6000	[10 20]	10	46	47	1.0	1.0984	3810	9230	0.00	0.00
100000	8000	[10 20]	10	46	47	0.4	2.4891	13406	16468	0.00	0.00
100000	10000	[10 20]	10	46	46	0.0	2.1281	8422	18980	0.00	0.00



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

จำนวนรอบ	stop criteria	ขนาด tabu list	can. size	ต้นทุนโครงข่าย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าดีที่สุดเบี่ยงเบนมาตรฐาน	เวลา (นาท)	รอบที่เจอต้นทุนต่ำสุด	จำนวนรอบที่ค้นพบ	อัตราส่วนยอมรับ/ไม่รับ	ยอมรับ/ไม่รับเฉลี่ย
100000	50	[1 15]	10	60	61	0.2	0.0130	103	135	0.07	0.11
100000	100	[1 15]	10	58	61	3.2	0.0453	426	273	0.03	0.06
100000	150	[1 15]	10	57	60	3.2	0.0490	428	395	0.03	0.04
100000	200	[1 15]	10	56	58	2.6	0.0396	272	444	0.03	0.04
100000	300	[1 15]	10	56	58	2.4	0.0615	422	669	0.02	0.03
100000	400	[1 15]	10	56	57	0.8	0.0846	598	780	0.01	0.02
100000	500	[1 15]	10	54	56	1.4	0.1331	1056	1267	0.01	0.02
100000	600	[1 15]	10	54	56	1.8	0.0979	553	1523	0.01	0.01
100000	700	[1 15]	10	54	56	1.0	0.1451	1013	1609	0.01	0.01
100000	800	[1 15]	10	53	55	1.4	0.1630	1143	1838	0.01	0.01
100000	900	[1 15]	10	53	55	1.8	0.3122	2786	2602	0.01	0.01
100000	1000	[1 15]	10	54	56	2.2	0.1648	957	1913	0.01	0.01
100000	2000	[1 15]	10	53	54	1.0	0.4185	2940	5428	0.00	0.00
100000	4000	[1 15]	10	53	54	0.2	0.6497	3537	6614	0.00	0.00
100000	6000	[1 15]	10	53	54	0.2	0.7164	2376	9252	0.00	0.00
100000	8000	[1 15]	10	52	53	0.4	1.9940	14129	14747	0.00	0.00
100000	10000	[1 15]	10	52	53	0.2	2.9747	21582	22759	0.00	0.00

จำนวนรอบ	stop criteria	ขนาด tabu list	can. size	ต้นทุนโครงข่าย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าดีที่สุดเบี่ยงเบนมาตรฐาน	เวลา (นาท)	รอบที่เจอต้นทุนต่ำสุด	จำนวนรอบที่ค้นพบ	อัตราส่วนยอมรับ/ไม่รับ	ยอมรับ/ไม่รับเฉลี่ย
100000	50	[5 12]	10	59	62	2.6	0.0172	144	128	0.08	0.11
100000	100	[5 12]	10	59	60	0.6	0.0221	173	240	0.05	0.06
100000	150	[5 12]	10	58	59	0.4	0.0555	504	437	0.03	0.04
100000	200	[5 12]	10	57	59	3.4	0.0414	272	489	0.02	0.04
100000	300	[5 12]	10	57	58	0.6	0.0638	435	745	0.02	0.02
100000	400	[5 12]	10	56	58	2.8	0.0904	655	808	0.01	0.02
100000	500	[5 12]	10	55	57	2.2	0.0630	232	951	0.01	0.02
100000	600	[5 12]	10	55	56	0.6	0.1602	1256	1599	0.01	0.01
100000	700	[5 12]	10	54	56	1.4	0.2232	1908	1657	0.01	0.01
100000	800	[5 12]	10	53	56	2.8	0.2154	1701	2267	0.01	0.01
100000	900	[5 12]	10	55	56	0.4	0.1729	1099	1894	0.01	0.01
100000	1000	[5 12]	10	54	55	1.2	0.1872	1184	2267	0.01	0.01
100000	2000	[5 12]	10	53	54	0.4	0.3167	1675	4573	0.00	0.00
100000	4000	[5 12]	10	53	54	0.4	0.9016	6329	8276	0.00	0.00
100000	6000	[5 12]	10	52	53	0.6	1.3568	8938	14374	0.00	0.00
100000	8000	[5 12]	10	52	53	0.4	1.0523	3869	13075	0.00	0.00
100000	10000	[5 12]	10	52	53	0.4	1.6013	7568	14040	0.00	0.00

จำนวน รอบ	stop criteria	ขนาด tabu list	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาทึ)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	50	[5 20]	10	60	61	0.8	0.0096	65	122	0.09	0.13
100000	100	[5 20]	10	57	60	3.4	0.0326	276	266	0.04	0.06
100000	150	[5 20]	10	58	60	2.0	0.0214	100	320	0.03	0.05
100000	200	[5 20]	10	55	58	3.2	0.0646	537	574	0.02	0.03
100000	300	[5 20]	10	55	57	2.0	0.0518	290	765	0.02	0.02
100000	400	[5 20]	10	54	56	2.0	0.1404	1210	1084	0.01	0.02
100000	500	[5 20]	10	55	56	0.4	0.1201	875	991	0.01	0.02
100000	600	[5 20]	10	55	57	1.0	0.1180	785	1436	0.01	0.01
100000	700	[5 20]	10	55	57	1.0	0.2029	1640	1749	0.01	0.01
100000	800	[5 20]	10	55	56	2.6	0.1940	1418	1821	0.01	0.01
100000	900	[5 20]	10	54	56	2.0	0.2419	1898	2033	0.01	0.01
100000	1000	[5 20]	10	55	56	0.2	0.1602	860	1683	0.01	0.01
100000	2000	[5 20]	10	53	54	1.2	0.3878	2438	4137	0.00	0.00
100000	4000	[5 20]	10	52	54	1.6	0.7682	4652	6763	0.00	0.00
100000	6000	[5 20]	10	52	53	0.4	1.2857	8172	11133	0.00	0.00
100000	8000	[5 20]	10	52	54	1.4	1.4143	7516	12417	0.00	0.00
100000	10000	[5 20]	10	52	54	1.2	2.3820	15357	17599	0.00	0.00

จำนวน รอบ	stop criteria	ขนาด tabu list	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาทึ)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	50	[10 20]	10	57	62	6.8	0.0151	127	107	0.10	0.14
100000	100	[10 20]	10	58	59	0.4	0.0247	173	260	0.06	0.07
100000	150	[10 20]	10	58	59	0.6	0.0451	350	358	0.04	0.05
100000	200	[10 20]	10	56	58	2.0	0.0789	715	462	0.02	0.04
100000	300	[10 20]	10	54	57	4.2	0.0573	350	715	0.01	0.03
100000	400	[10 20]	10	57	58	0.2	0.0721	439	853	0.02	0.02
100000	500	[10 20]	10	55	57	2.0	0.1362	1076	1147	0.01	0.01
100000	600	[10 20]	10	55	57	1.2	0.1701	1364	1219	0.01	0.02
100000	700	[10 20]	10	52	56	5.2	0.2221	1861	1770	0.01	0.01
100000	800	[10 20]	10	54	56	1.4	0.1833	1343	2016	0.01	0.01
100000	900	[10 20]	10	54	56	2.2	0.2581	2102	1850	0.01	0.01
100000	1000	[10 20]	10	54	56	2.6	0.2503	1676	2053	0.01	0.01
100000	2000	[10 20]	10	54	55	0.8	0.2487	852	4653	0.00	0.00
100000	4000	[10 20]	10	53	54	0.4	0.7063	4019	7116	0.00	0.00
100000	6000	[10 20]	10	52	54	1.2	1.5107	10362	11713	0.00	0.00
100000	8000	[10 20]	10	52	54	1.0	2.2378	15976	14427	0.00	0.00
100000	10000	[10 20]	10	53	54	0.8	1.3370	5146	14995	0.00	0.00

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

จำนวนรอบ	stop criteria	ขนาด tabu list	can. size	ต้นทุนโครงข่าย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าดีที่สุดเบี่ยงเบนมาตรฐาน	เวลา (นาท)	รอบที่เจอต้นทุนต่ำสุด	จำนวนรอบที่ค้นพบ	อัตราส่วนยอมรับ/ไม่รับ	ยอมรับ/ไม่รับเฉลี่ย
100000	50	[1 15]	10	66	68	2.8	0.0112	80	124	0.07	0.11
100000	100	[1 15]	10	66	67	0.6	0.0193	121	207	0.06	0.06
100000	150	[1 15]	10	65	67	2.0	0.0344	259	356	0.03	0.05
100000	200	[1 15]	10	64	65	0.6	0.0695	604	548	0.02	0.03
100000	300	[1 15]	10	64	65	0.6	0.0698	511	716	0.01	0.02
100000	400	[1 15]	10	64	65	0.6	0.0521	213	644	0.02	0.02
100000	500	[1 15]	10	64	65	0.6	0.1052	744	864	0.01	0.02
100000	600	[1 15]	10	64	65	0.4	0.1208	821	1120	0.01	0.01
100000	700	[1 15]	10	63	64	0.6	0.1044	531	1451	0.01	0.01
100000	800	[1 15]	10	64	64	0.0	0.1648	1154	1998	0.01	0.01
100000	900	[1 15]	10	63	64	0.8	0.2464	2007	2280	0.01	0.01
100000	1000	[1 15]	10	63	64	0.8	0.1284	510	1847	0.01	0.01
100000	2000	[1 15]	10	64	65	0.6	0.2177	595	3141	0.00	0.01
100000	4000	[1 15]	10	64	64	0.0	0.4120	826	5472	0.00	0.00
100000	6000	[1 15]	10	63	63	0.0	1.1286	6920	10400	0.00	0.00
100000	8000	[1 15]	10	63	63	0.0	1.0724	4323	13453	0.00	0.00
100000	10000	[1 15]	10	63	64	0.6	1.2078	3717	12985	0.00	0.00

จำนวนรอบ	stop criteria	ขนาด tabu list	can. size	ต้นทุนโครงข่าย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าดีที่สุดเบี่ยงเบนมาตรฐาน	เวลา (นาท)	รอบที่เจอต้นทุนต่ำสุด	จำนวนรอบที่ค้นพบ	อัตราส่วนยอมรับ/ไม่รับ	ยอมรับ/ไม่รับเฉลี่ย
100000	50	[5 12]	10	67	69	2.0	0.0091	57	102	0.09	0.11
100000	100	[5 12]	10	66	68	1.6	0.0208	140	190	0.06	0.08
100000	150	[5 12]	10	65	66	0.4	0.0336	238	384	0.03	0.04
100000	200	[5 12]	10	65	66	0.4	0.0497	356	423	0.03	0.04
100000	300	[5 12]	10	64	66	1.4	0.0599	405	671	0.02	0.02
100000	400	[5 12]	10	64	65	0.6	0.0758	480	840	0.01	0.02
100000	500	[5 12]	10	64	65	0.4	0.0896	534	1046	0.01	0.02
100000	600	[5 12]	10	64	65	0.8	0.1193	785	1317	0.01	0.01
100000	700	[5 12]	10	64	65	1.0	0.1430	945	1241	0.01	0.01
100000	800	[5 12]	10	64	65	0.8	0.0870	210	1305	0.01	0.01
100000	900	[5 12]	10	63	65	1.2	0.1021	274	1358	0.01	0.01
100000	1000	[5 12]	10	63	65	1.2	0.2208	1583	1881	0.01	0.01
100000	2000	[5 12]	10	63	64	0.6	0.3474	2008	3628	0.00	0.00
100000	4000	[5 12]	10	63	64	0.6	0.4393	1156	5499	0.00	0.00
100000	6000	[5 12]	10	63	64	0.6	0.8638	3738	8391	0.00	0.00
100000	8000	[5 12]	10	63	64	0.8	0.9573	2897	11411	0.00	0.00
100000	10000	[5 12]	10	63	64	0.8	1.6719	8449	16736	0.00	0.00

จำนวน รอบ	stop criteria	ขนาด tabu list	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาท)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	50	[5 20]	10	66	69	3.6	0.0167	149	121	0.08	0.12
100000	100	[5 20]	10	64	67	2.4	0.0310	242	209	0.04	0.07
100000	150	[5 20]	10	63	65	1.2	0.0424	349	489	0.03	0.03
100000	200	[5 20]	10	64	66	1.4	0.0432	292	516	0.02	0.03
100000	300	[5 20]	10	64	66	1.2	0.0581	355	606	0.02	0.02
100000	400	[5 20]	10	64	66	2.6	0.0708	415	790	0.01	0.02
100000	500	[5 20]	10	63	65	1.4	0.1133	832	1031	0.01	0.02
100000	600	[5 20]	10	63	64	0.4	0.1240	829	1115	0.01	0.02
100000	700	[5 20]	10	63	64	0.8	0.0901	352	1539	0.01	0.01
100000	800	[5 20]	10	64	65	0.8	0.2036	1534	1790	0.01	0.01
100000	900	[5 20]	10	63	64	1.4	0.2294	1784	1802	0.01	0.01
100000	1000	[5 20]	10	63	64	0.4	0.2115	1436	1717	0.01	0.01
100000	2000	[5 20]	10	63	64	0.6	0.2320	696	3409	0.00	0.01
100000	4000	[5 20]	10	63	64	0.4	0.6794	3706	5281	0.00	0.00
100000	6000	[5 20]	10	63	63	0.0	0.6294	1186	8627	0.00	0.00
100000	8000	[5 20]	10	63	64	0.8	0.7911	977	9779	0.00	0.00
100000	10000	[5 20]	10	63	64	0.6	1.3898	5356	12809	0.00	0.00

จำนวน รอบ	stop criteria	ขนาด tabu list	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาท)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	50	[10 20]	10	66	68	2.4	0.0156	136	155	0.06	0.09
100000	100	[10 20]	10	65	67	1.4	0.0237	164	206	0.05	0.06
100000	150	[10 20]	10	64	66	1.0	0.0370	273	312	0.03	0.04
100000	200	[10 20]	10	65	66	0.8	0.0292	138	336	0.03	0.04
100000	300	[10 20]	10	65	66	0.6	0.0633	428	588	0.02	0.03
100000	400	[10 20]	10	64	65	0.6	0.0758	468	934	0.01	0.02
100000	500	[10 20]	10	64	65	0.6	0.0914	564	992	0.01	0.02
100000	600	[10 20]	10	64	65	0.6	0.0747	266	1095	0.01	0.01
100000	700	[10 20]	10	64	64	0.0	0.1474	1014	1572	0.01	0.01
100000	800	[10 20]	10	64	65	0.6	0.1487	896	1728	0.01	0.01
100000	900	[10 20]	10	64	65	0.6	0.1073	322	1279	0.01	0.01
100000	1000	[10 20]	10	63	64	0.4	0.2328	1473	1866	0.01	0.01
100000	2000	[10 20]	10	63	64	0.2	0.3146	1615	3353	0.00	0.01
100000	4000	[10 20]	10	63	64	0.6	0.4562	1239	4961	0.00	0.00
100000	6000	[10 20]	10	63	64	0.4	0.8331	3339	7785	0.00	0.00
100000	8000	[10 20]	10	63	64	0.4	1.1182	4609	10055	0.00	0.00
100000	10000	[10 20]	10	63	64	0.8	0.9839	1094	12402	0.00	0.00

ภาคผนวก ง การปรับพารามิเตอร์ของอัลกอริทึมฮิวริสติกในกรณีทดสอบ

เนื้อหาส่วนนี้แสดงผลของการปรับพารามิเตอร์ของอัลกอริทึมฮิวริสติกที่อยู่บนพื้นฐานการค้นหาลำดับที่มีผลต่อการหาต้นทุนของโครงข่าย 8N_14L, 10N_21L และ 14N_21L ตามลำดับ ที่ stop criteria ต่างกัน เมื่อ tabu list เป็นแบบคงที่

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

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาทื)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	50	1	10	50	52	1.4	0.0253	160	126	0.06	0.11
100000	50	2	10	50	52	1.2	0.0109	45	100	0.07	0.10
100000	50	3	10	52	53	0.8	0.0117	58	118	0.07	0.09
100000	50	4	10	50	52	2.6	0.0201	127	115	0.08	0.11
100000	50	5	10	51	52	0.6	0.0187	118	129	0.07	0.09
100000	50	6	10	50	52	1.0	0.0198	121	129	0.06	0.10
100000	50	7	10	48	52	3.6	0.0203	133	120	0.07	0.09
100000	50	8	10	51	52	0.6	0.0109	51	101	0.10	0.12
100000	50	9	10	51	53	3.2	0.0125	67	100	0.08	0.11
100000	50	10	10	49	52	7.0	0.0083	29	117	0.06	0.11
100000	50	11	10	51	53	1.0	0.0120	60	90	0.08	0.10
100000	50	12	10	52	53	0.6	0.0169	98	107	0.04	0.10
100000	50	13	10	51	53	1.2	0.0096	27	92	0.10	0.13
100000	50	14	10	51	53	1.4	0.0146	79	112	0.09	0.11
100000	50	15	10	53	54	0.4	0.0107	48	88	0.07	0.11

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาทื)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	100	1	10	50	52	1.2	0.0263	124	201	0.05	0.06
100000	100	2	10	49	51	1.0	0.0315	182	254	0.04	0.05
100000	100	3	10	49	52	2.0	0.0365	227	232	0.04	0.05
100000	100	4	10	50	52	1.4	0.0331	194	216	0.04	0.05
100000	100	5	10	52	52	0.0	0.0198	78	160	0.06	0.07
100000	100	6	10	49	51	1.2	0.0341	193	219	0.05	0.05
100000	100	7	10	49	50	0.4	0.0474	316	250	0.03	0.05
100000	100	8	10	50	51	0.8	0.0310	181	198	0.04	0.06
100000	100	9	10	47	51	4.0	0.0448	303	239	0.04	0.06
100000	100	10	10	48	51	2.4	0.0430	291	258	0.04	0.04
100000	100	11	10	50	51	0.4	0.0187	74	189	0.04	0.06
100000	100	12	10	51	52	0.6	0.0227	106	202	0.05	0.06
100000	100	13	10	49	51	1.0	0.0240	108	209	0.05	0.06
100000	100	14	10	50	52	2.8	0.0320	189	177	0.04	0.07
100000	100	15	10	49	52	1.8	0.0260	135	180	0.04	0.07

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาทึ)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	150	1	10	49	51	1.2	0.0547	346	369	0.02	0.03
100000	150	2	10	50	51	1.0	0.0484	287	324	0.03	0.04
100000	150	3	10	51	52	0.8	0.0401	207	247	0.03	0.05
100000	150	4	10	48	50	1.6	0.0591	377	378	0.03	0.03
100000	150	5	10	50	52	1.4	0.0385	186	254	0.04	0.04
100000	150	6	10	49	51	1.6	0.0427	161	336	0.03	0.04
100000	150	7	10	48	51	2.4	0.0484	211	296	0.04	0.04
100000	150	8	10	47	50	2.0	0.0279	53	369	0.02	0.03
100000	150	9	10	50	51	0.6	0.0417	149	269	0.03	0.04
100000	150	10	10	48	51	3.2	0.0573	281	282	0.03	0.04
100000	150	11	10	48	50	1.6	0.0539	235	372	0.03	0.03
100000	150	12	10	49	50	1.6	0.0656	338	349	0.03	0.04
100000	150	13	10	49	50	0.8	0.0417	145	314	0.03	0.04
100000	150	14	10	50	51	0.2	0.0352	109	279	0.03	0.04
100000	150	15	10	50	51	0.8	0.0466	198	277	0.03	0.04

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาทึ)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	200	1	10	49	51	2.0	0.0531	201	400	0.03	0.03
100000	200	2	10	49	52	3.2	0.0615	255	349	0.02	0.03
100000	200	3	10	48	50	2.0	0.0742	343	395	0.02	0.03
100000	200	4	10	49	51	1.4	0.0555	206	367	0.02	0.03
100000	200	5	10	49	50	1.2	0.0828	415	411	0.02	0.03
100000	200	6	10	48	50	1.2	0.0497	170	330	0.03	0.04
100000	200	7	10	48	50	2.0	0.0612	247	398	0.02	0.03
100000	200	8	10	49	50	0.4	0.0563	209	393	0.02	0.03
100000	200	9	10	50	51	0.8	0.0398	76	296	0.02	0.04
100000	200	10	10	50	51	0.6	0.0466	134	333	0.03	0.03
100000	200	11	10	49	51	2.0	0.0406	110	449	0.02	0.03
100000	200	12	10	50	52	2.0	0.0638	268	327	0.02	0.04
100000	200	13	10	49	51	2.6	0.0789	374	413	0.02	0.03
100000	200	14	10	50	51	0.4	0.0727	348	364	0.02	0.04
100000	200	15	10	49	51	1.2	0.0576	218	369	0.02	0.03

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาที)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	300	1	10	48	49	0.6	0.0622	155	762	0.02	0.02
100000	300	2	10	48	49	0.4	0.0984	426	767	0.01	0.02
100000	300	3	10	48	51	3.2	0.1240	616	623	0.01	0.02
100000	300	4	10	49	50	0.6	0.1344	698	671	0.01	0.02
100000	300	5	10	49	50	0.6	0.1234	611	706	0.01	0.02
100000	300	6	10	47	49	1.2	0.1206	583	758	0.01	0.02
100000	300	7	10	48	50	1.4	0.0901	358	537	0.02	0.03
100000	300	8	10	48	50	1.2	0.1182	563	643	0.01	0.02
100000	300	9	10	48	49	0.6	0.0753	259	733	0.01	0.02
100000	300	10	10	49	50	0.4	0.1065	480	592	0.01	0.02
100000	300	11	10	49	51	2.8	0.0786	278	497	0.02	0.02
100000	300	12	10	48	50	1.4	0.0896	355	564	0.01	0.02
100000	300	13	10	49	50	0.6	0.1115	537	574	0.02	0.02
100000	300	14	10	49	51	2.0	0.1154	550	677	0.01	0.02
100000	300	15	10	49	50	1.0	0.1336	687	597	0.01	0.02

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาที)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	400	1	10	48	49	0.2	0.1266	532	816	0.01	0.02
100000	400	2	10	48	49	0.8	0.1344	594	933	0.01	0.02
100000	400	3	10	48	49	0.6	0.1549	752	935	0.01	0.02
100000	400	4	10	49	50	0.8	0.1049	372	709	0.01	0.02
100000	400	5	10	48	49	2.4	0.0971	327	825	0.01	0.02
100000	400	6	10	48	49	0.4	0.0852	214	662	0.01	0.02
100000	400	7	10	48	50	1.2	0.1583	771	851	0.01	0.02
100000	400	8	10	48	49	0.4	0.0867	233	758	0.01	0.02
100000	400	9	10	49	50	0.6	0.1344	591	814	0.01	0.02
100000	400	10	10	49	51	2.0	0.1641	808	805	0.01	0.02
100000	400	11	10	47	49	1.8	0.1867	990	881	0.01	0.02
100000	400	12	10	48	50	1.0	0.1370	603	762	0.01	0.02
100000	400	13	10	48	49	0.8	0.1409	654	997	0.01	0.01
100000	400	14	10	48	50	2.6	0.1953	1034	807	0.01	0.02
100000	400	15	10	48	49	0.4	0.1297	560	837	0.01	0.02

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาที)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	500	1	10	48	50	2.2	0.0969	216	861	0.01	0.02
100000	500	2	10	47	49	1.6	0.2151	1073	980	0.01	0.01
100000	500	3	10	48	50	1.0	0.1508	619	819	0.01	0.02
100000	500	4	10	47	49	1.4	0.2029	988	1318	0.01	0.01
100000	500	5	10	48	50	2.6	0.1583	680	911	0.01	0.01
100000	500	6	10	47	49	1.2	0.1406	526	810	0.01	0.02
100000	500	7	10	47	49	1.0	0.2349	1215	1125	0.01	0.02
100000	500	8	10	48	49	0.4	0.1578	666	1087	0.01	0.01
100000	500	9	10	49	50	0.4	0.0982	253	880	0.01	0.02
100000	500	10	10	49	50	1.4	0.1732	774	1001	0.01	0.01
100000	500	11	10	47	49	1.2	0.1982	966	1237	0.01	0.01
100000	500	12	10	48	50	1.2	0.1214	400	1060	0.01	0.01
100000	500	13	10	48	50	1.0	0.2078	1041	1063	0.01	0.01
100000	500	14	10	49	50	0.6	0.1193	387	863	0.01	0.01
100000	500	15	10	47	49	1.6	0.1323	457	1069	0.01	0.01

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาที)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	600	1	10	48	50	1.2	0.2068	920	980	0.01	0.01
100000	600	2	10	47	49	1.4	0.1604	583	1233	0.01	0.01
100000	600	3	10	48	49	0.6	0.1120	247	1263	0.01	0.01
100000	600	4	10	48	49	0.6	0.1740	679	1093	0.01	0.01
100000	600	5	10	48	49	0.8	0.1643	622	1250	0.01	0.01
100000	600	6	10	48	49	1.0	0.2211	1017	1396	0.01	0.01
100000	600	7	10	47	49	1.0	0.2214	1042	1102	0.01	0.01
100000	600	8	10	48	49	0.2	0.1891	808	1061	0.01	0.01
100000	600	9	10	48	49	0.4	0.1388	411	1070	0.01	0.01
100000	600	10	10	47	49	1.6	0.1706	652	1206	0.01	0.01
100000	600	11	10	47	49	1.4	0.2083	909	1333	0.01	0.01
100000	600	12	10	48	49	0.8	0.1698	622	1030	0.01	0.01
100000	600	13	10	49	50	0.8	0.1336	391	960	0.01	0.01
100000	600	14	10	47	48	0.8	0.1865	798	1298	0.01	0.01
100000	600	15	10	48	49	0.4	0.1479	479	1016	0.01	0.01

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาที)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	700	1	10	47	48	0.4	0.2255	878	1691	0.01	0.01
100000	700	2	10	48	49	0.2	0.0951	160	1239	0.01	0.01
100000	700	3	10	48	49	0.6	0.1945	1050	1486	0.01	0.01
100000	700	4	10	47	50	2.4	0.1943	742	1143	0.01	0.01
100000	700	5	10	47	49	1.0	0.1805	613	1258	0.01	0.01
100000	700	6	10	46	48	1.2	0.3823	2128	1833	0.01	0.01
100000	700	7	10	46	48	1.2	0.3430	1814	1531	0.01	0.01
100000	700	8	10	48	49	0.4	0.1602	476	1046	0.01	0.01
100000	700	9	10	48	49	0.6	0.2255	952	1414	0.01	0.01
100000	700	10	10	49	50	0.6	0.1466	359	1117	0.01	0.01
100000	700	11	10	47	49	1.2	0.1865	633	1304	0.01	0.01
100000	700	12	10	46	49	2.2	0.2578	1611	1392	0.01	0.01
100000	700	13	10	47	49	1.0	0.1565	618	1333	0.01	0.01
100000	700	14	10	48	49	0.6	0.1716	856	1183	0.01	0.01
100000	700	15	10	47	49	1.2	0.2161	1276	1394	0.01	0.01

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาที)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	800	1	10	47	49	1.6	0.2143	951	1686	0.01	0.01
100000	800	2	10	48	49	1.0	0.2573	1117	1659	0.01	0.01
100000	800	3	10	49	50	0.4	0.2617	813	1409	0.01	0.01
100000	800	4	10	48	49	0.2	0.2010	693	1555	0.01	0.01
100000	800	5	10	47	49	1.2	0.2224	850	1777	0.01	0.01
100000	800	6	10	46	48	1.2	0.3187	1542	1723	0.01	0.01
100000	800	7	10	47	48	1.4	0.2698	1190	1789	0.01	0.01
100000	800	8	10	47	49	1.2	0.2568	1076	1534	0.01	0.01
100000	800	9	10	48	49	0.4	0.2372	946	1471	0.01	0.01
100000	800	10	10	47	48	0.4	0.3039	1452	1978	0.01	0.01
100000	800	11	10	48	49	0.2	0.3229	1611	1756	0.01	0.01
100000	800	12	10	48	49	0.4	0.2021	693	1389	0.01	0.01
100000	800	13	10	49	50	0.6	0.1654	402	1379	0.01	0.01
100000	800	14	10	47	49	1.0	0.3268	1619	1629	0.01	0.01
100000	800	15	10	47	49	2.0	0.1724	472	1444	0.01	0.01

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาที)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	900	1	10	47	49	2.0	0.2240	741	1340	0.01	0.01
100000	900	2	10	47	49	1.6	0.2456	907	1547	0.01	0.01
100000	900	3	10	47	49	1.8	0.2083	642	1538	0.01	0.01
100000	900	4	10	46	49	2.4	0.2703	1089	1712	0.01	0.01
100000	900	5	10	47	48	0.6	0.2586	1024	1751	0.01	0.01
100000	900	6	10	47	49	1.2	0.3372	1559	1943	0.01	0.01
100000	900	7	10	48	49	0.6	0.1763	408	1834	0.00	0.01
100000	900	8	10	47	49	1.2	0.3003	1319	1714	0.01	0.01
100000	900	9	10	48	49	0.2	0.2156	689	1600	0.01	0.01
100000	900	10	10	47	48	0.4	0.2570	996	1966	0.00	0.01
100000	900	11	10	47	48	0.6	0.3122	1391	1728	0.01	0.01
100000	900	12	10	48	49	0.8	0.2542	983	1685	0.00	0.01
100000	900	13	10	48	49	0.6	0.1732	342	1601	0.01	0.01
100000	900	14	10	47	49	1.2	0.2224	746	1481	0.01	0.01
100000	900	15	10	47	49	1.2	0.3508	1695	1566	0.01	0.01

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาที)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	1000	1	10	48	49	0.4	0.2841	1094	1532	0.01	0.01
100000	1000	2	10	47	49	1.4	0.3419	2092	2063	0.00	0.01
100000	1000	3	10	48	49	0.6	0.1539	379	1513	0.01	0.01
100000	1000	4	10	47	49	1.2	0.1964	710	1676	0.01	0.01
100000	1000	5	10	47	48	0.4	0.2773	1484	1898	0.01	0.01
100000	1000	6	10	48	49	0.4	0.2224	1021	1656	0.01	0.01
100000	1000	7	10	48	49	1.2	0.1831	653	1540	0.01	0.01
100000	1000	8	10	47	49	1.8	0.2500	866	1779	0.01	0.01
100000	1000	9	10	46	47	0.4	0.3747	1764	2221	0.01	0.01
100000	1000	10	10	46	48	1.4	0.1552	157	2110	0.01	0.01
100000	1000	11	10	47	49	1.6	0.2279	696	1856	0.01	0.01
100000	1000	12	10	47	49	1.4	0.3367	1473	1803	0.01	0.01
100000	1000	13	10	47	49	1.2	0.3958	1904	1831	0.00	0.01
100000	1000	14	10	47	49	1.2	0.2716	1009	1795	0.01	0.01
100000	1000	15	10	46	49	2.4	0.3495	1584	1722	0.01	0.01

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

จำนวนรอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุนโครงข่าย	ต้นทุนโครงข่ายเฉลี่ย	ค่าดีที่สุดเบี่ยงเบนมาตรฐาน	เวลา (นาท)	รอบที่เจอต้นทุนต่ำสุด	จำนวนรอบที่ค้นพบ	อัตราส่วนยอมรับ/ไม่รับ	ยอมรับ/ไม่รับเฉลี่ย
100000	50	1	10	60	62	1.6	0.0128	97	138	0.08	0.10
100000	50	2	10	59	62	3.0	0.0237	210	126	0.07	0.13
100000	50	3	10	60	63	5.4	0.0112	81	102	0.08	0.12
100000	50	4	10	60	62	3.8	0.0135	96	106	0.10	0.12
100000	50	5	10	59	62	6.0	0.0240	224	130	0.07	0.11
100000	50	6	10	59	61	1.8	0.0117	85	123	0.08	0.12
100000	50	7	10	60	61	1.2	0.0086	51	153	0.08	0.11
100000	50	8	10	58	61	2.8	0.0148	123	142	0.08	0.10
100000	50	9	10	60	62	1.6	0.0182	160	110	0.09	0.12
100000	50	10	10	59	62	3.6	0.0174	144	129	0.08	0.11
100000	50	11	10	61	62	1.4	0.0076	39	101	0.09	0.15
100000	50	12	10	58	60	1.8	0.0120	93	136	0.10	0.11
100000	50	13	10	59	61	1.2	0.0224	201	148	0.07	0.12
100000	50	14	10	58	60	5.2	0.0174	143	138	0.08	0.11
100000	50	15	10	59	62	4.4	0.0146	104	112	0.09	0.12

จำนวนรอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุนโครงข่าย	ต้นทุนโครงข่ายเฉลี่ย	ค่าดีที่สุดเบี่ยงเบนมาตรฐาน	เวลา (นาท)	รอบที่เจอต้นทุนต่ำสุด	จำนวนรอบที่ค้นพบ	อัตราส่วนยอมรับ/ไม่รับ	ยอมรับ/ไม่รับเฉลี่ย
100000	100	1	10	56	59	2.2	0.0250	188	345	0.04	0.04
100000	100	2	10	58	60	1.8	0.0294	221	238	0.06	0.06
100000	100	3	10	58	60	2.8	0.0245	177	263	0.05	0.06
100000	100	4	10	58	61	4.4	0.0229	154	218	0.04	0.06
100000	100	5	10	57	61	5.0	0.0273	218	209	0.06	0.07
100000	100	6	10	59	60	0.4	0.0219	142	206	0.06	0.08
100000	100	7	10	57	59	1.4	0.0271	195	282	0.04	0.06
100000	100	8	10	56	59	6.4	0.0414	370	271	0.04	0.06
100000	100	9	10	56	58	1.6	0.0359	304	291	0.05	0.06
100000	100	10	10	59	60	0.6	0.0247	175	294	0.04	0.06
100000	100	11	10	55	59	4.6	0.0349	282	272	0.05	0.06
100000	100	12	10	58	60	2.0	0.0185	103	238	0.05	0.07
100000	100	13	10	57	59	1.0	0.0401	357	268	0.04	0.08
100000	100	14	10	57	60	3.6	0.0388	348	251	0.03	0.06
100000	100	15	10	58	60	1.6	0.0203	125	232	0.05	0.06

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาที)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	150	1	10	57	59	1.4	0.0221	105	317	0.03	0.04
100000	150	2	10	58	59	0.4	0.0315	203	367	0.03	0.04
100000	150	3	10	56	59	3.4	0.0464	370	373	0.04	0.04
100000	150	4	10	56	58	1.0	0.0401	301	384	0.04	0.04
100000	150	5	10	57	59	2.4	0.0315	206	341	0.03	0.05
100000	150	6	10	55	58	3.6	0.0419	232	374	0.03	0.04
100000	150	7	10	57	58	1.2	0.0568	371	418	0.03	0.04
100000	150	8	10	58	60	1.8	0.0508	321	314	0.04	0.05
100000	150	9	10	57	58	0.6	0.0552	368	469	0.03	0.03
100000	150	10	10	55	58	2.2	0.0344	170	398	0.03	0.04
100000	150	11	10	55	59	7.8	0.0411	225	275	0.04	0.05
100000	150	12	10	56	59	3.6	0.0607	425	447	0.02	0.04
100000	150	13	10	58	60	1.4	0.0313	124	282	0.04	0.06
100000	150	14	10	57	60	2.6	0.0570	392	351	0.03	0.04
100000	150	15	10	58	59	0.6	0.0367	202	334	0.03	0.05

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาที)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	200	1	10	58	59	0.6	0.0354	127	442	0.03	0.04
100000	200	2	10	55	57	1.6	0.0589	356	576	0.02	0.03
100000	200	3	10	57	58	0.6	0.0659	400	421	0.02	0.04
100000	200	4	10	56	57	0.8	0.0870	621	546	0.03	0.03
100000	200	5	10	57	59	2.0	0.0654	425	572	0.02	0.03
100000	200	6	10	55	58	6.8	0.0909	631	503	0.02	0.04
100000	200	7	10	57	59	2.8	0.0398	162	409	0.03	0.04
100000	200	8	10	57	59	1.4	0.0659	425	474	0.02	0.03
100000	200	9	10	57	58	0.2	0.0521	293	505	0.03	0.03
100000	200	10	10	56	58	2.0	0.0872	612	505	0.02	0.03
100000	200	11	10	57	59	1.2	0.0385	155	453	0.02	0.04
100000	200	12	10	57	58	0.4	0.0732	482	435	0.02	0.04
100000	200	13	10	57	58	0.8	0.0573	334	408	0.04	0.04
100000	200	14	10	57	59	1.8	0.0435	207	390	0.03	0.04
100000	200	15	10	56	59	2.2	0.0732	478	420	0.03	0.04

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาที)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	300	1	10	55	57	1.2	0.1331	954	771	0.02	0.03
100000	300	2	10	57	58	0.6	0.0568	231	572	0.02	0.03
100000	300	3	10	56	57	0.4	0.0836	496	737	0.02	0.02
100000	300	4	10	56	58	1.2	0.0721	370	710	0.01	0.02
100000	300	5	10	56	58	1.4	0.1094	725	698	0.02	0.02
100000	300	6	10	55	57	1.2	0.0911	547	796	0.02	0.02
100000	300	7	10	56	57	1.6	0.1224	835	792	0.01	0.02
100000	300	8	10	55	57	2.2	0.1357	968	981	0.01	0.02
100000	300	9	10	56	57	0.4	0.0766	427	740	0.02	0.02
100000	300	10	10	56	58	1.4	0.1073	683	736	0.02	0.02
100000	300	11	10	56	57	0.2	0.0693	363	722	0.02	0.02
100000	300	12	10	56	58	1.4	0.0992	634	741	0.02	0.02
100000	300	13	10	55	57	1.4	0.0935	566	761	0.02	0.02
100000	300	14	10	58	59	0.6	0.0430	103	464	0.02	0.03
100000	300	15	10	54	56	1.0	0.1039	671	962	0.02	0.02

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาที)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	400	1	10	55	57	1.4	0.0919	467	1101	0.01	0.02
100000	400	2	10	57	58	0.4	0.1534	1010	804	0.01	0.02
100000	400	3	10	55	56	1.4	0.1057	599	1116	0.01	0.02
100000	400	4	10	55	58	2.8	0.1341	859	949	0.01	0.02
100000	400	5	10	56	58	1.2	0.1602	1093	903	0.01	0.02
100000	400	6	10	55	56	0.6	0.1112	632	1129	0.01	0.02
100000	400	7	10	55	57	1.2	0.1495	1010	1048	0.02	0.02
100000	400	8	10	57	58	0.8	0.1063	591	838	0.02	0.02
100000	400	9	10	56	58	1.2	0.1214	738	810	0.02	0.02
100000	400	10	10	55	56	0.8	0.1253	742	1066	0.01	0.02
100000	400	11	10	55	57	1.4	0.0755	311	905	0.02	0.02
100000	400	12	10	56	58	1.4	0.0948	497	816	0.01	0.02
100000	400	13	10	57	58	0.6	0.0833	386	796	0.02	0.02
100000	400	14	10	57	58	0.4	0.0974	519	815	0.01	0.02
100000	400	15	10	57	59	1.2	0.1375	872	820	0.02	0.02

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาทึ)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	500	1	10	55	57	2.2	0.0901	324	1038	0.01	0.02
100000	500	2	10	54	56	1.8	0.1273	702	1170	0.01	0.02
100000	500	3	10	55	57	2.0	0.1237	654	1079	0.01	0.02
100000	500	4	10	56	57	0.4	0.1648	1050	1322	0.01	0.01
100000	500	5	10	55	57	1.2	0.1128	557	1038	0.01	0.02
100000	500	6	10	55	57	1.2	0.1544	932	1115	0.01	0.01
100000	500	7	10	55	56	0.4	0.1927	1297	1157	0.01	0.02
100000	500	8	10	55	56	0.8	0.1055	487	1124	0.01	0.01
100000	500	9	10	56	57	0.8	0.1359	770	1094	0.01	0.02
100000	500	10	10	56	58	1.4	0.0982	411	958	0.01	0.02
100000	500	11	10	54	56	2.0	0.2393	1776	1183	0.01	0.02
100000	500	12	10	55	57	1.6	0.1328	728	973	0.01	0.02
100000	500	13	10	54	56	2.0	0.2299	1673	1626	0.01	0.01
100000	500	14	10	54	57	2.0	0.1516	943	987	0.01	0.02
100000	500	15	10	56	58	1.0	0.1378	801	1272	0.01	0.01

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาทึ)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	600	1	10	55	57	1.0	0.1534	847	1371	0.01	0.01
100000	600	2	10	54	56	1.8	0.2216	1449	1619	0.01	0.01
100000	600	3	10	54	56	1.6	0.2466	1728	1477	0.01	0.01
100000	600	4	10	55	57	2.0	0.1677	968	1309	0.01	0.01
100000	600	5	10	54	55	1.0	0.2242	1489	2000	0.01	0.01
100000	600	6	10	54	56	2.2	0.1224	559	1545	0.01	0.01
100000	600	7	10	55	57	2.0	0.2078	1356	1507	0.01	0.01
100000	600	8	10	56	58	1.4	0.1852	1101	1087	0.01	0.02
100000	600	9	10	55	57	1.8	0.1208	541	1060	0.01	0.02
100000	600	10	10	53	56	3.6	0.1523	816	1212	0.01	0.02
100000	600	11	10	53	57	5.2	0.2565	1783	1267	0.01	0.02
100000	600	12	10	55	57	1.6	0.1956	1246	1266	0.01	0.01
100000	600	13	10	54	55	0.8	0.1398	704	1431	0.01	0.01
100000	600	14	10	53	56	2.8	0.2003	1294	1280	0.01	0.01
100000	600	15	10	55	57	1.0	0.1758	1053	1266	0.01	0.01



จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาที)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	700	1	10	54	56	1.2	0.2365	1997	1877	0.01	0.01
100000	700	2	10	55	56	0.4	0.1646	1191	1404	0.01	0.01
100000	700	3	10	54	56	1.2	0.1198	691	1463	0.01	0.01
100000	700	4	10	54	55	1.2	0.1802	997	1722	0.01	0.01
100000	700	5	10	54	56	1.4	0.2872	1987	1658	0.01	0.01
100000	700	6	10	55	57	2.2	0.2120	1276	1577	0.01	0.01
100000	700	7	10	55	56	0.8	0.1240	443	1478	0.01	0.01
100000	700	8	10	54	56	1.8	0.2216	1373	1697	0.01	0.01
100000	700	9	10	55	56	0.4	0.1789	960	1556	0.01	0.01
100000	700	10	10	54	55	0.6	0.2305	1462	1884	0.01	0.01
100000	700	11	10	54	56	1.6	0.1701	1271	1797	0.01	0.01
100000	700	12	10	54	55	0.8	0.1807	1370	1721	0.01	0.01
100000	700	13	10	54	56	2.0	0.2799	2412	1676	0.01	0.01
100000	700	14	10	52	55	2.0	0.2740	2451	2412	0.01	0.01
100000	700	15	10	55	56	0.8	0.2021	1638	1983	0.01	0.01

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาที)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	800	1	10	54	56	1.6	0.1758	829	1896	0.01	0.01
100000	800	2	10	55	56	0.8	0.2542	1549	1936	0.01	0.01
100000	800	3	10	55	57	1.4	0.2453	1497	1652	0.01	0.01
100000	800	4	10	54	56	2.8	0.2706	1739	1640	0.01	0.01
100000	800	5	10	56	57	1.0	0.1883	986	1578	0.01	0.01
100000	800	6	10	55	56	0.4	0.1323	427	1543	0.01	0.01
100000	800	7	10	54	55	0.4	0.1872	951	2436	0.01	0.01
100000	800	8	10	54	56	2.0	0.3060	2093	1633	0.01	0.01
100000	800	9	10	53	56	4.0	0.2453	1504	1738	0.01	0.01
100000	800	10	10	53	55	1.0	0.3195	2183	2212	0.01	0.01
100000	800	11	10	54	55	0.6	0.2245	1274	1803	0.01	0.01
100000	800	12	10	55	57	1.2	0.1479	588	1298	0.01	0.01
100000	800	13	10	54	56	1.4	0.2526	1562	1788	0.01	0.01
100000	800	14	10	55	56	0.6	0.2516	1582	1608	0.01	0.01
100000	800	15	10	54	56	3.8	0.3414	2411	2005	0.01	0.01

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาทึ)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	900	1	10	54	55	0.4	0.3388	2279	2258	0.01	0.01
100000	900	2	10	54	55	0.6	0.3208	2101	2663	0.01	0.01
100000	900	3	10	54	55	0.8	0.3589	2417	2292	0.01	0.01
100000	900	4	10	53	55	2.0	0.3094	2010	1970	0.01	0.01
100000	900	5	10	55	56	1.4	0.2219	1187	2277	0.01	0.01
100000	900	6	10	54	55	1.2	0.2935	1817	2252	0.01	0.01
100000	900	7	10	54	55	0.2	0.2161	1128	2182	0.01	0.01
100000	900	8	10	54	55	0.8	0.2872	1775	1961	0.01	0.01
100000	900	9	10	54	55	0.8	0.2617	1564	2069	0.01	0.01
100000	900	10	10	54	56	1.0	0.3674	2531	2215	0.00	0.01
100000	900	11	10	55	57	2.0	0.2281	1237	1519	0.01	0.01
100000	900	12	10	55	56	0.8	0.1633	627	1459	0.01	0.01
100000	900	13	10	55	57	1.6	0.1896	870	1523	0.01	0.01
100000	900	14	10	53	56	2.2	0.2073	1079	2240	0.01	0.01
100000	900	15	10	55	57	1.2	0.1979	953	1437	0.01	0.01

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาทึ)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	1000	1	10	54	55	0.2	0.1875	1000	1999	0.01	0.01
100000	1000	2	10	55	56	0.2	0.2099	1418	2051	0.01	0.01
100000	1000	3	10	54	56	2.2	0.1922	1233	1879	0.01	0.01
100000	1000	4	10	55	56	0.8	0.1620	718	1832	0.01	0.01
100000	1000	5	10	54	57	3.2	0.2255	1620	1869	0.01	0.01
100000	1000	6	10	53	55	1.6	0.2901	2334	2354	0.01	0.01
100000	1000	7	10	53	55	2.0	0.2818	1631	2190	0.01	0.01
100000	1000	8	10	54	56	1.4	0.3042	1875	1951	0.01	0.01
100000	1000	9	10	55	57	1.6	0.1792	682	2181	0.01	0.01
100000	1000	10	10	55	56	0.4	0.2810	1637	2266	0.01	0.01
100000	1000	11	10	54	56	1.0	0.2474	1329	1922	0.01	0.01
100000	1000	12	10	54	55	0.4	0.2708	1524	2094	0.01	0.01
100000	1000	13	10	54	56	2.4	0.2628	1455	2146	0.01	0.01
100000	1000	14	10	55	56	0.8	0.2648	1481	2042	0.01	0.01
100000	1000	15	10	53	55	1.4	0.3104	1889	1968	0.01	0.01

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

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีที่สุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาท)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	50	1	10	66	67	0.4	0.0089	49	117	0.09	0.11
100000	50	2	10	66	67	1.4	0.0128	87	139	0.09	0.10
100000	50	3	10	66	68	2.6	0.0148	119	119	0.08	0.11
100000	50	4	10	68	69	0.4	0.0068	20	90	0.08	0.14
100000	50	5	10	66	68	1.2	0.0133	94	135	0.09	0.11
100000	50	6	10	68	70	2.0	0.0083	51	99	0.11	0.13
100000	50	7	10	67	69	1.2	0.0143	113	140	0.08	0.10
100000	50	8	10	66	68	1.6	0.0214	183	138	0.06	0.11
100000	50	9	10	66	68	2.6	0.0122	87	115	0.10	0.13
100000	50	10	10	66	68	1.4	0.0130	100	113	0.09	0.12
100000	50	11	10	66	69	2.8	0.0198	162	134	0.07	0.11
100000	50	12	10	66	68	1.2	0.0143	112	135	0.08	0.10
100000	50	13	10	66	68	0.8	0.0109	85	120	0.07	0.11
100000	50	14	10	67	69	1.2	0.0078	45	96	0.11	0.14
100000	50	15	10	66	69	3.6	0.0161	134	110	0.08	0.13

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีที่สุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาท)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	100	1	10	65	67	1.4	0.0305	243	235	0.05	0.07
100000	100	2	10	65	68	2.4	0.0372	310	242	0.04	0.07
100000	100	3	10	65	67	2.0	0.0313	256	254	0.04	0.06
100000	100	4	10	65	67	1.2	0.0187	114	202	0.06	0.07
100000	100	5	10	65	67	1.4	0.0211	139	218	0.04	0.06
100000	100	6	10	65	66	0.4	0.0174	98	168	0.06	0.08
100000	100	7	10	66	67	0.2	0.0201	131	244	0.05	0.06
100000	100	8	10	64	67	3.2	0.0266	194	255	0.03	0.06
100000	100	9	10	64	66	1.2	0.0383	343	294	0.03	0.05
100000	100	10	10	65	68	3.2	0.0240	170	221	0.05	0.06
100000	100	11	10	65	67	1.4	0.0258	193	257	0.05	0.06
100000	100	12	10	65	66	0.8	0.0221	148	280	0.05	0.06
100000	100	13	10	66	67	0.6	0.0299	244	223	0.04	0.06
100000	100	14	10	65	68	2.8	0.0273	173	193	0.06	0.07
100000	100	15	10	65	66	0.6	0.0286	206	268	0.04	0.06

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาท)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	150	1	10	65	67	1.2	0.0357	256	361	0.03	0.04
100000	150	2	10	64	66	1.6	0.0401	304	382	0.03	0.05
100000	150	3	10	65	66	0.4	0.0294	179	309	0.04	0.05
100000	150	4	10	64	66	1.8	0.0589	542	364	0.02	0.05
100000	150	5	10	65	67	3.0	0.0508	437	378	0.03	0.03
100000	150	6	10	63	66	3.0	0.0396	230	351	0.04	0.05
100000	150	7	10	65	67	2.0	0.0396	218	310	0.04	0.05
100000	150	8	10	65	67	2.8	0.0464	300	311	0.03	0.04
100000	150	9	10	64	65	0.6	0.0451	261	463	0.02	0.04
100000	150	10	10	65	66	0.6	0.0456	287	295	0.04	0.05
100000	150	11	10	64	66	1.2	0.0539	353	356	0.03	0.04
100000	150	12	10	64	66	1.6	0.0375	208	358	0.04	0.05
100000	150	13	10	65	66	1.6	0.0586	408	308	0.03	0.05
100000	150	14	10	65	66	0.2	0.0521	324	404	0.03	0.04
100000	150	15	10	65	67	2.6	0.0565	378	372	0.03	0.04

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาท)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	200	1	10	64	66	1.2	0.0398	160	399	0.03	0.04
100000	200	2	10	65	67	1.2	0.0456	227	431	0.02	0.03
100000	200	3	10	64	66	2.8	0.0680	443	464	0.03	0.04
100000	200	4	10	64	65	0.8	0.0495	273	422	0.03	0.03
100000	200	5	10	65	67	2.0	0.0529	304	363	0.02	0.04
100000	200	6	10	64	66	1.6	0.0549	307	574	0.02	0.03
100000	200	7	10	65	66	0.8	0.0586	327	454	0.02	0.04
100000	200	8	10	64	66	1.8	0.0815	559	455	0.02	0.03
100000	200	9	10	64	66	1.4	0.0464	241	478	0.02	0.03
100000	200	10	10	66	67	1.0	0.0357	135	332	0.03	0.04
100000	200	11	10	66	67	1.0	0.0313	98	377	0.03	0.04
100000	200	12	10	63	66	2.4	0.0659	419	438	0.03	0.04
100000	200	13	10	65	67	1.6	0.0667	430	442	0.02	0.03
100000	200	14	10	65	66	0.8	0.0698	471	392	0.02	0.04
100000	200	15	10	65	67	1.4	0.0690	461	360	0.02	0.04

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาท)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	300	1	10	64	66	1.0	0.0906	571	542	0.02	0.03
100000	300	2	10	63	66	2.8	0.0924	561	621	0.02	0.03
100000	300	3	10	64	66	1.2	0.0628	313	658	0.02	0.02
100000	300	4	10	64	66	2.2	0.0930	557	648	0.02	0.02
100000	300	5	10	63	66	2.2	0.0802	466	512	0.02	0.03
100000	300	6	10	64	66	1.4	0.0643	292	629	0.02	0.02
100000	300	7	10	64	66	1.0	0.0888	561	623	0.02	0.02
100000	300	8	10	63	65	1.4	0.0807	481	709	0.02	0.02
100000	300	9	10	65	66	0.6	0.0708	375	614	0.02	0.02
100000	300	10	10	64	65	0.6	0.1008	674	713	0.02	0.02
100000	300	11	10	64	66	1.4	0.1385	972	777	0.01	0.02
100000	300	12	10	63	65	1.4	0.1010	637	716	0.02	0.03
100000	300	13	10	63	65	2.8	0.1154	752	703	0.02	0.03
100000	300	14	10	65	66	1.0	0.0654	311	644	0.02	0.02
100000	300	15	10	64	65	0.6	0.0807	444	577	0.02	0.03

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาท)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	400	1	10	65	66	0.6	0.0773	309	827	0.01	0.02
100000	400	2	10	64	65	0.4	0.1318	816	999	0.01	0.02
100000	400	3	10	63	65	1.2	0.1096	609	798	0.02	0.02
100000	400	4	10	64	65	0.8	0.0896	434	762	0.02	0.02
100000	400	5	10	64	65	0.6	0.0969	498	847	0.01	0.02
100000	400	6	10	64	66	1.2	0.0638	206	633	0.02	0.02
100000	400	7	10	64	65	0.6	0.0872	405	960	0.01	0.02
100000	400	8	10	63	64	0.4	0.1388	903	1047	0.01	0.02
100000	400	9	10	63	65	1.8	0.1247	765	836	0.01	0.02
100000	400	10	10	63	65	1.4	0.1177	718	918	0.01	0.02
100000	400	11	10	65	66	0.8	0.0779	313	723	0.02	0.02
100000	400	12	10	64	66	1.2	0.1115	632	811	0.01	0.02
100000	400	13	10	64	65	0.4	0.0880	413	911	0.01	0.02
100000	400	14	10	64	65	1.2	0.1083	597	799	0.01	0.02
100000	400	15	10	63	64	0.6	0.1497	1002	1046	0.01	0.02

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาทึ)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	500	1	10	64	65	0.2	0.1326	739	929	0.01	0.02
100000	500	2	10	63	65	1.6	0.1068	484	921	0.01	0.02
100000	500	3	10	63	64	0.4	0.1128	560	1193	0.01	0.01
100000	500	4	10	63	64	0.4	0.1305	715	1139	0.01	0.01
100000	500	5	10	63	65	2.0	0.0789	223	978	0.01	0.02
100000	500	6	10	64	65	0.4	0.1096	528	993	0.01	0.02
100000	500	7	10	64	65	0.2	0.1331	760	1117	0.01	0.01
100000	500	8	10	63	64	0.6	0.0906	356	1215	0.01	0.01
100000	500	9	10	64	65	0.8	0.1563	940	1093	0.01	0.01
100000	500	10	10	63	65	1.0	0.1185	613	993	0.01	0.02
100000	500	11	10	63	65	1.0	0.0964	396	961	0.01	0.02
100000	500	12	10	63	64	0.4	0.1349	743	1292	0.01	0.01
100000	500	13	10	65	66	0.8	0.1326	729	918	0.01	0.02
100000	500	14	10	64	65	0.8	0.1547	945	1033	0.01	0.02
100000	500	15	10	64	65	0.8	0.1044	484	854	0.02	0.02

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาทึ)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	600	1	10	63	64	0.4	0.1456	759	1046	0.01	0.01
100000	600	2	10	64	65	0.8	0.1648	936	1133	0.01	0.02
100000	600	3	10	64	65	0.6	0.1310	630	1077	0.01	0.01
100000	600	4	10	64	65	0.6	0.1349	678	1054	0.01	0.01
100000	600	5	10	63	65	1.0	0.1063	410	1114	0.01	0.02
100000	600	6	10	64	65	0.4	0.1474	791	1066	0.01	0.02
100000	600	7	10	63	65	1.8	0.1068	397	1152	0.01	0.02
100000	600	8	10	63	65	1.0	0.2047	1296	1210	0.01	0.01
100000	600	9	10	65	66	0.8	0.1263	581	1181	0.01	0.01
100000	600	10	10	64	65	0.4	0.1232	540	899	0.01	0.02
100000	600	11	10	64	65	0.4	0.0841	166	956	0.01	0.01
100000	600	12	10	64	65	0.4	0.1846	1119	1349	0.01	0.01
100000	600	13	10	64	65	0.6	0.1490	794	1232	0.01	0.01
100000	600	14	10	64	65	0.6	0.1443	731	1222	0.01	0.01
100000	600	15	10	64	65	0.8	0.1505	807	1211	0.01	0.01

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาทื)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	700	1	10	63	64	0.4	0.1326	827	1398	0.01	0.01
100000	700	2	10	63	65	1.2	0.1380	888	1308	0.01	0.01
100000	700	3	10	64	65	0.6	0.1172	648	1221	0.01	0.01
100000	700	4	10	63	65	1.2	0.1615	808	1297	0.01	0.01
100000	700	5	10	64	65	0.8	0.1648	851	1379	0.01	0.01
100000	700	6	10	64	65	0.8	0.1130	360	1138	0.01	0.01
100000	700	7	10	64	65	0.6	0.1773	966	1313	0.01	0.01
100000	700	8	10	63	64	0.4	0.1630	851	1540	0.01	0.01
100000	700	9	10	64	65	0.2	0.1021	254	1037	0.01	0.01
100000	700	10	10	63	65	1.0	0.2352	1520	1547	0.01	0.01
100000	700	11	10	64	64	0.0	0.1294	759	1401	0.01	0.01
100000	700	12	10	64	65	0.4	0.1557	1072	1248	0.01	0.01
100000	700	13	10	63	65	2.2	0.1398	932	1254	0.01	0.01
100000	700	14	10	65	66	0.6	0.0846	286	1021	0.01	0.01
100000	700	15	10	64	65	0.6	0.1245	727	1320	0.01	0.01

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาทื)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	800	1	10	64	65	0.4	0.1836	911	1464	0.01	0.01
100000	800	2	10	63	65	2.2	0.1885	966	1207	0.01	0.01
100000	800	3	10	63	64	0.4	0.1706	803	1673	0.01	0.01
100000	800	4	10	64	64	0.0	0.1711	825	1454	0.01	0.01
100000	800	5	10	64	65	0.4	0.1727	781	1280	0.01	0.01
100000	800	6	10	63	64	0.4	0.2018	1105	1822	0.01	0.01
100000	800	7	10	64	65	0.6	0.1393	505	1605	0.01	0.01
100000	800	8	10	63	64	0.4	0.1404	530	1176	0.01	0.01
100000	800	9	10	63	65	1.2	0.1872	977	1378	0.01	0.01
100000	800	10	10	63	65	1.6	0.2091	1172	1567	0.01	0.01
100000	800	11	10	64	65	0.8	0.1224	338	1222	0.01	0.01
100000	800	12	10	64	65	0.4	0.1753	835	1575	0.01	0.01
100000	800	13	10	63	64	0.4	0.2898	1901	1794	0.01	0.01
100000	800	14	10	64	65	0.8	0.1523	650	1373	0.01	0.01
100000	800	15	10	63	65	1.6	0.1747	820	1662	0.01	0.01

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาท)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	900	1	10	64	65	0.8	0.2750	1657	1702	0.01	0.01
100000	900	2	10	63	64	0.2	0.1958	951	1660	0.01	0.01
100000	900	3	10	64	65	0.8	0.1393	400	1616	0.01	0.01
100000	900	4	10	64	65	0.8	0.1346	345	1335	0.01	0.01
100000	900	5	10	64	65	0.4	0.1203	217	1250	0.01	0.01
100000	900	6	10	64	65	0.8	0.1279	281	1401	0.01	0.01
100000	900	7	10	64	65	0.6	0.2427	1338	1739	0.01	0.01
100000	900	8	10	63	64	0.6	0.1164	187	1455	0.01	0.01
100000	900	9	10	63	64	0.8	0.2867	1787	1936	0.01	0.01
100000	900	10	10	64	65	0.4	0.2107	1101	1601	0.01	0.01
100000	900	11	10	63	65	1.2	0.2854	1784	1800	0.01	0.01
100000	900	12	10	63	64	0.2	0.2120	1110	1590	0.01	0.01
100000	900	13	10	63	65	1.4	0.2372	1313	1541	0.01	0.01
100000	900	14	10	63	64	0.6	0.1203	237	1743	0.01	0.01
100000	900	15	10	63	64	0.2	0.1214	245	1433	0.01	0.01

จำนวน รอบ	stop criteria	tabu tenure	can. size	ต้นทุน โครงข่าย	ต้นทุน โครงข่าย เฉลี่ย	ค่าดีสุด เบี่ยงเบน มาตรฐาน	เวลา (นาท)	รอบที่ เจอต้นทุน ต่ำสุด	จำนวน รอบที่ ค้นพบ	อัตราส่วน ยอมรับ/ ไม่รับ	ยอมรับ/ ไม่รับ เฉลี่ย
100000	1000	1	10	64	65	0.4	0.1380	539	1304	0.01	0.01
100000	1000	2	10	63	65	1.0	0.1857	1118	1579	0.01	0.01
100000	1000	3	10	63	64	0.8	0.2284	1627	1818	0.01	0.01
100000	1000	4	10	63	64	0.6	0.2417	1699	1870	0.01	0.01
100000	1000	5	10	64	65	0.4	0.1820	1112	1614	0.01	0.01
100000	1000	6	10	64	65	0.8	0.1883	1169	2096	0.01	0.01
100000	1000	7	10	64	64	0.0	0.1628	557	1575	0.01	0.01
100000	1000	8	10	64	65	0.8	0.2240	1082	1597	0.01	0.01
100000	1000	9	10	64	64	0.0	0.2068	940	1747	0.01	0.01
100000	1000	10	10	63	64	0.2	0.2690	1524	2006	0.01	0.01
100000	1000	11	10	64	65	0.8	0.1523	421	1469	0.01	0.01
100000	1000	12	10	64	64	0.0	0.1698	607	1718	0.01	0.01
100000	1000	13	10	63	64	0.2	0.1977	837	1872	0.01	0.01
100000	1000	14	10	64	65	0.8	0.2070	960	1604	0.01	0.01
100000	1000	15	10	63	64	0.4	0.2284	1145	2014	0.01	0.01

ภาคผนวก จ บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่

- 1 K. Weesapen , A. Munjirungkoon , C. Prommak , L. Wuttisittikulij , “A Heuristic Algorithm Based on Tabu Search for Routing and Wavelength Assignment in Multicast Multi-Wavelength Multi-Fiber Networks,” in the Proceeding of IEEE Sarnoff Symposium on Advances in Wired and Wireless Communications (New Jersey, U.S.A), 27-28 March 2006.

A Heuristic Algorithm Based on Tabu Search for Routing and Wavelength Assignment in Multicast Multi-Wavelength Multi-Fiber Networks

K. Weesapen †, A. Munjirungkoon †, C. Prommak ‡, L. Wuttisittikulij †

† Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering
Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand 10330

‡ School of Telecommunications Engineering, Institute of Engineering
Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand 30000
E-mail: Kanokporn.W@student.netserv.chula.ac.th

Abstract This paper proposes a heuristic algorithm based on tabu search for solving the problem of routing and wavelength assignment in multicast multi-fiber WDM networks using Virtual Light -Tree (VLT) technique. The objective is to design an effective algorithm that can be applied to large network problems served as an alternative method to that based on Integer Linear Programming technique. The design outcomes measured in terms of the total capacity requirement of the proposed algorithm are evaluated and compared to that of ILP approach. Results on tested networks demonstrate that both techniques offer comparable design output, signifying the effectiveness of the proposed algorithm.

Index Terms— WDM, multicast, multi-fiber system, Virtual Light -Tree, tabu search.

I. INTRODUCTION

Over recent years, optical fiber technology has become the dominant transport medium in telecommunication systems, because of its advantages in capacity, reliability, cost and scalability. Such technology is expected to serve as a broadband transport network that supports various emerging multimedia services over the Internet such as interactive distance learning, distributed games, live action and video conferencing. An attractive feature of optical fiber is its potential to offer extremely large transmission capacity in the order of Tb/s. In order to utilize fiber capacity effectively, Wavelength Division Multiplexing (WDM) technology [1, 2] was introduced as a means of expanding the bandwidth capacity of existing optical fibers. WDM technology enables networks to transmit several information streams, each at different wavelengths, simultaneously on a single optical fiber. For example, with the advancement of light wave technology [3-5], the transmission of 100 wavelengths over a fiber with each wavelength modulated at 10 Gb/s to provide a throughput of 1 Tb/s is feasible.

In this paper, we address a key optical network design issue known as routing and wavelength assignment (RWA) specifically for multicast communication in WDM networks.

Multicast communication refers to the delivery of the same traffic from a source node to an arbitrary number of destination nodes. While multicast communication is highly demanded in many applications as mentioned, in the literature study on this problem has been relatively limited. Multicast traffic demand when indirectly supported by multiple one-to-one or broadcast generally results in more network traffic and a substantial waste of network system resources. Therefore it is of great benefit to have multicasting capability incorporated in all-optical networks by using a light-tree structure. Reference [6] for example demonstrated the advantages of using light-tree structure for supporting both unicast and multicast traffic in optical network design. Reference [7] introduced a mathematical model that can achieve optimal RWA for multicast traffic over mesh and ring network structure under multi-fiber environment (allowing an arbitrary number of fibers per physical link as opposed to a single pair of fiber per link, an assumption used by many other previous research study). Note that multi-fiber per link is a more realistic approach, and generally suits better for practical network infrastructure.

The mathematical model as derived in [7] is based ILP formulation that finds optimal light-tree structures simultaneously with wavelength assignment. Although solution found by such a model is optimal, it is applicable only for relatively small sizes of networks; larger network sizes demands excessive computation, as its complexity increases exponentially with the network size. As a result, network design based on heuristic algorithms is usually considered as a more effective means to solve large-scale network problems. Although, heuristic algorithms do not guarantee the optimality of the obtained solution, but it is generally simpler, faster while offering acceptable solution. Tabu search (TS) algorithm is one such technique, introduced in Glover [8] and [9] that exploits a collection of principles of intelligent problem solving. Its power is based on the use of adaptive memory which is carefully designed for guiding the search process to overcome local optimality and to obtain near-optimal solutions [10]. The TS algorithm is also demonstrated in [11] for its capability to handle large networks. As a result, in this paper

we introduce a new RWA algorithm based on Tabu search (TS) suitable for designing multi-fiber networks that supports multicast traffic using Virtual Light-Tree (VLT) concept used as an alternative to the ILP-based algorithm described in [7].

The remainder of this paper is organized as follows. In section II, problem description and network assumptions is introduced. Moreover, a mathematical model for multicast routing which was proposed in [7] is concisely mentioned. The basic concept of TS is briefly described together with the proposed algorithm in section III. Simulation results and discussions are presented in section IV. Finally, the conclusion is given in the section V.

II. PROBLEM DESCRIPTION AND MULTICAST FORMULATIONS

Consider an optical network represented by an undirected graph $G=(N,L)$, where N denotes a set of optical nodes, $i=\{1,2,3,\dots,N\}$, with $|N|=N$. Meanwhile, the physical link are represented as a set of undirected links, $L\subseteq N\times N$, where a physical link ij is the set L if there exists a link connecting node i and j . In the model, we assume that each physical link is bi-directional and may consist of more than one optical fiber to serve the traffic demands of the network. Each optical fiber is limited to multiplexing the number of wavelengths up to M .

Notations:

- N total number of nodes of the network;
- L total number of physical links of the networks;
- $K=|R|$ total number of multicast traffic requests of the networks;
- $r_k(s_k, D_k)$ multicast traffic request r_k from source s_k to set of destinations D_k ;
- t_{r_k} total traffic demand of the multicast traffic request r_k in units of wavelength channels;
- Δ the fanout of optical splitters;
- M a maximum number of wavelength per fiber;
- $\delta_{ij,p}^{sd}$ takes the value of one if route p of node pair sd passes through link ij , and zero, otherwise;
- P_{sd} a set of candidate routes of node pair sd ;
- $x_{r_k}^{ij}$ a Boolean variable, an optical branch between node i and j to form a light-tree for carrying multicast demand r_k ;
- $a_{r_k,p}^{sd}$ a candidate physical route p of node pair sd for multicast demand r_k .

To determine an optimal light-tree, T_k for supporting multicast request $r_k(s_k, D_k)$, let us construct a fully connected logical graph $G_k(N_k, A_k)$ corresponding to $r_k(s_k, D_k)$. The set of nodes N_k of graph G_k has elements consisting of s_k and the set of destinations D_k , namely $N_k=\{i\in N_k \mid i\in D_k \vee i=s_k\}$, and $|N_k|$ is defined as the

total number of nodes. Meanwhile, the set of logical arcs is defined mathematically as $A_k=\{ij\in A_k \mid i,j\in N_k \wedge i\neq j\}$.

A formulation of routing assignment problem for multicasting mesh network which is proposed in [7] can be written as follows:

$$\min : \sum_{ij\in L} f_{ij} \quad (1)$$

Subject to the constraints:

$$\sum_{ij\in A_k} x_{r_k}^{ij} = |N_k| - 1 \quad (2)$$

$$x_{r_k}^{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall ij \in A_k \quad (3)$$

$$\sum_{ij\in\mathcal{G}(S)} x_{r_k}^{ij} \geq 1, \quad \forall S \subset N_k, S \neq \emptyset, N \quad (4)$$

$$\sum_{j:ij\in A_k} x_{r_k}^{ij} \leq \Delta, \quad \forall i \in N_k \quad (5)$$

$$\sum_{p\in P_{sd}} a_{r_k,p}^{sd} = t_{r_k} \times x_{r_k}^{sd}, \quad \forall sd \in A_k, \forall r_k \in R \quad (6)$$

$$M \times f_{ij} - \sum_{r_k \in R} \sum_{sd} \sum_{p \in P_{sd}} a_{r_k,p}^{sd} \delta_{ij,p}^{sd} \geq 0, \quad \forall ij \in L \quad (7)$$

$$a_{r_k,p}^{sd} \in Z^+, \quad \forall p \in P_{sd}, \forall sd \in A_k, \forall r_k \in R \quad (8)$$

$$f_{ij} \in Z^+, \quad \forall ij \in L \quad (9)$$

As formulated for VLT wavelength allocation technique, the objective function (1) is the minimization of the total number of optical fibers needed to support the multicast demand set, R . Constraints (2) set the number of optical branches that form a light-tree in each session to have the number of link is less than the number of nodes equal to one. Constraints (3) indicate selected optical branches of each session that used to form a light-tree. Constraints (4) ensure the light-tree should not contain a cycle and should be connected which a cutset $\mathcal{G}(S)$ is defined by $\mathcal{G}(S)=\{ij\in A_k \mid i\in S, j\notin S\}$. Constraints (5) limit the optical splitter capability of each multicast member in each session. These constraints set (2), (3), (4) and (5) are formulation to find the optimal light-tree. Constraints (6) ensure that exactly physical routes selected for optical branches of the light-trees. Due to the link-by-link wavelength assignment of VLT, constraints set (7) state that the wavelength policy of each physical link should be sufficient to meet the multicast traffic load crossing to it. Finally, (8) and (9) limit the network variables of the physical routes and optical fibers to be in the nonnegative integer set [7].

III. TABU SEARCH ALGORITHM

Tabu Search (TS) is an iterative improvement procedure, in which its process starts from an initial feasible solution and then attempts to determine a better solution in the manner of ordinary (descent) local method, until a local optimum is reached. This method can be used to guide any process that employs a set of moves to define the neighborhood of any given solution for transforming one solution into another, and that provides an evaluation function for measuring the

attractiveness of these moves [12]. Tabu list includes recently selected solutions that are forbidden to prevent cycling in the search process. If the move is present in the tabu list, it is accepted only if it decreases the objective function value below the minimal level so far achieved according to an aspiration level [13].

The solutions of this problem are represented by the following expression

$$\mathbf{A} = [\mathbf{J}(1) \ \mathbf{J}(2) \ \mathbf{J}(3) \dots \mathbf{J}(K)],$$

where the vectors $\mathbf{J}(k)$ consist of the assigned tree indices $X_{k,d}$, $1 \leq d \leq t_k$, used for supporting demand of the k th session

$$\mathbf{J}(k) = [X_{k,1} \ X_{k,2} \ X_{k,3} \dots X_{k,t_k}].$$

For more understanding, consider a sample network problem with multicast demands of 3 different sessions. Suppose that the demand quantity of each session is 2, 3 and 2 respectively. A possible solution for this problem can be expressed as $\mathbf{A} = [[2 \ 3] \ [12 \ 15 \ 17] \ [23 \ 27]]$. This solution of \mathbf{A} means that the 2nd and 3rd trees are used for supporting the demand of the first session whereas the 12th, 15th and 17th trees are assigned for supporting the demand of the second session and so on.

The neighborhood of the current solution consists of all solutions that have any one route difference from the routes assigned in the current solution. The possible neighbors of a sample solution vector \mathbf{A} are given in Table I.

TABLE I. THE NEIGHBORS OF SOLUTION $[[2 \ 3] \ [12 \ 15 \ 17] \ [23 \ 27]]$

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

Since VLT technique under investigated assigns wavelengths to a light-tree on a link-by-link fashion, the optical networks must include wavelength converters at all network nodes [7]. Therefore, only the routing problem requires careful and sophisticated assignment while wavelength assignment becomes relatively simple. From the solution vector which consists of elements denoting tree number to route traffic demands of all sessions, the fiber requirement in the network correspond to the network constraints as described above is achieved by

$$\sum_{i=1}^L \left[\left(\sum_{k=1}^K \sum_{d=1}^{t_k} P_{i,X_{k,d}} \right) / M \right], \quad P_{i,X_{k,d}} \in \{0,1\} \text{ where } P_{i,X_{k,d}} \text{ is the}$$

Boolean variable which is equal to one if the selected optical tree uses physical link i in order to support traffic demand d th of k th session, and zero, otherwise.

The initial solution vector of the tabu search algorithm for this problem is generated on a random basis. The search begins by evaluating the total fiber requirements corresponding to considered neighbor solutions. Then the best neighbor is selected as the new current solution, if the neighbor is not obtained via a tabu move.

The parameters values of the proposed tabu algorithm were determined experimentally by setting the candidate size = 10 and tabu tenure = 7. The developed TS algorithm is terminated when a chosen maximum iteration number is reached.

The specific procedure of the TS applied into VLT system, is designed and shown in Figure 1.

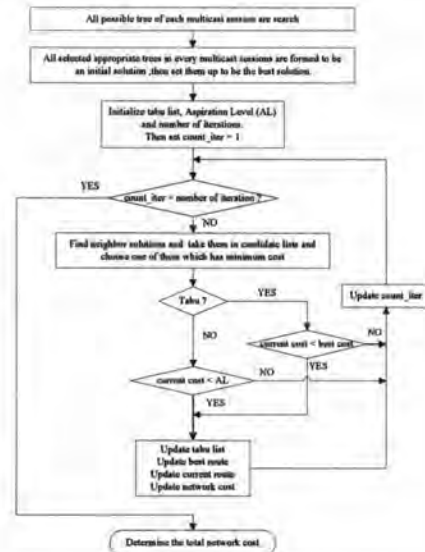


Figure 1. The proposed TS-based Algorithm.

IV. SIMULATION RESULTS

In this section, we analyze and compare the capacity requirements between ILP and proposed heuristic algorithm based on tabu search for two networks shown in Figure 2. Note that, ILP mathematical formulations are optimally solved by using the CPLEX 6.6 program with CPU 2.80GHz, 512 MB of RAM.

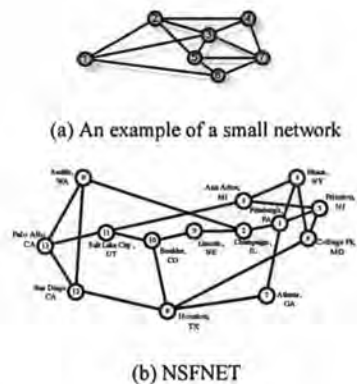


Figure 2. Test networks

Figure 3 shows the resulting network cost achieved by the proposed algorithm in comparison to the ILP for the sample network of 7 nodes and 13 links with 10 multicast sessions. It appears the ILP approach results in comparable network costs across the whole range of the number of wavelengths used. However, the performance gap between the two approaches gets wider with larger values of M .

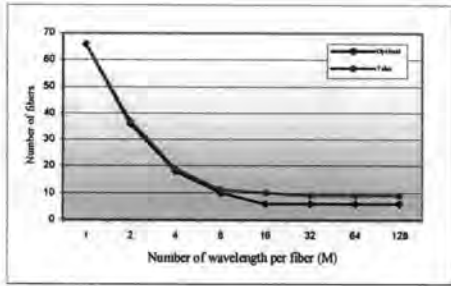


Figure 3. Results for tested network of 7 nodes.

For a more realistic network structure of 14 nodes and 21 links, referred to as a National Science Foundation Network (NSFNet) as shown in Figure 2 (b), two levels of multicast traffic have been tested, 10 and 15 sessions. Results as shown in Figure 4 indicates that the network cost achieved by ILP are always less than tabu search algorithm at every value of M . Similar behavior to the previous network case is also observed here: the tabu search algorithm is able to deliver as effective design outcome as the ILP with much lower complexity.

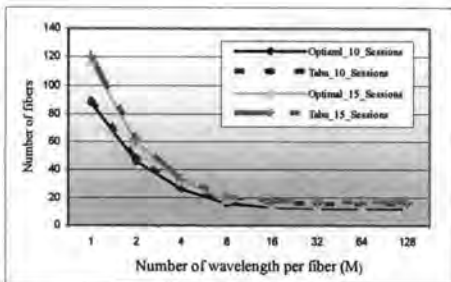


Figure 4. Results for NSFNET.

Let us investigate the comparing computational time among ILP and TS algorithm in Table II.

TABLE II. THE COMPARATIVE RESULT OF NSFNET NETWORK

M	10 sessions (avg. member = 3)				15 sessions (avg. member = 3)				15 sessions (avg. member = 4)			
	Optimal		Tabu		Optimal		Tabu		Optimal		Tabu	
	cost	time(s)	cost	time(s)	cost	time(s)	cost	time(s)	cost	time(s)	cost	time(s)
1	88	0.5	90	11	116	0.56	120	12	172	6858	178	11
2	46	10	48	11	60	45	62	14	none	none	90	14
4	26	9633	26	9	32	225	33	12	none	none	47	11
8	16	3834	19	4	19	180	21	21	none	none	27	15
16	13	250	17	4	14	120	18	14	16	12311	21	15
32	12	120	16	4	13	262	17	12	13	7711	20	13
64	12	106	16	4	13	232	17	12	13	698	20	11
128	12	113	16	5	13	255	17	14	13	760	20	13

In case of 10 sessions with average number of members of each session set to 4, the time requirement of TS algorithm is less than ILP, at most values of M except for $M = 1$ and $M = 2$. Notice that the differences in time requirement are particularly obvious at $M = 4$ and $M = 8$, approximately 1000 times greater. Similarly, in case of 15 sessions the average number of members of each session is set to 3, the time requirement of TS algorithm for most values of M (except $M = 1$) is less than ILP. When the average number of members of each session in 15 sessions network is increased to 4, the

computational time requirement of ILP becomes excessive while TS algorithm is able to find reasonably effective solutions.

V. CONCLUSION

In this paper, we have proposed a heuristic algorithm based on tabu search for solving RWA problem using VLT concept in multi-fiber multicasting networks. Based on simulation results of some tested networks, it is shown that the differences of capacity requirement or network cost determined by ILP and heuristic algorithm are marginal. Computational time requirement of ILP and the TS-based algorithm is comparable for small network sizes, but for larger network problem measured in terms of the number of nodes, the number of links, the number of wavelengths and the number of sessions only the TS-based can be applied while the ILP algorithm requires dramatically increase in computational time.

Acknowledgment

This work was supported in part by the Cooperation Project between Department of Electrical Engineering and Private Sector for Research and Development, Chulalongkorn University, Thailand.

REFERENCES

- [1] Special Issue on High-Capacity Optical Transport Networks, *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 16, Sept. 1998.
- [2] Special Issue on Multiwavelength Optical Technology and Networks, *IEEE/OSA J. Lightwave Technol.*, vol. 14, June 1996. K. Elissa, "Title of paper if known," unpublished.
- [3] "Bell labs technology: Trends & Developments" available at www.lucent.com/minds/trend.
- [4] B. Makherjee, "WDM optical communication networks: Progress and challenges," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 18, pp. 1810-1824, Sept. 1998. M. Young, *The Technical Writer's Handbook*. Mill Valley, CA: University Science, 1989.
- [5] R. Ramaswami, "Optical fiber communication: From transmission to networking," *IEEE Commun. Mag.*, pp. 138-147, May 2002.
- [6] R. Malli, X. Zhang and C. Qiao, "Benefit of Multicasting in All-Optical Networks," in *Proc. SPIE*, vol. 3531, pp. 9-20, 1998.
- [7] C. Bawontummarat, L. Wuttisittikulkij and S. Segkhoonthod, "Analysis and Design of Multicast Routing and Wavelength Assignment in Mesh and Multi-Ring Transport Networks with Multiple Fiber Systems," *IEICE Trans. on Communication.*, vol. E87-B, No. 11, pp. 3216-3229, 2004.
- [8] F. Glover, Tabu search: Part I, *ORSA Journal of Computing* 1 (1989) 190-206.
- [9] F. Glover, Tabu search: Part II, *ORSA Journal of Computing* 1 (1990) 4-32.
- [10] Juan A. Daiz and Elena Fernandez, "A Tabu Search heuristic for the generalized assignment problem," *European Journal of Operation Research* 132 (2001), 22-38.
- [11] W. D. Grover. *Mesh-Based Survivable Networks: Options and Strategies for Optical, MPLS, SONET, and ATM Networking*. New Jersey. Prentice Hall, 2004.
- [12] S. Pierre and A. Elgibaoui, "Improving Communication Network Topologies Using Tabu Search," *IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN '97)*, 44-53.
- [13] Berna Dengiz and Cigdem Alabas, "Simulation Optimizaion using Tabu Search," *Proceeding of the 2002 Winter Simulation Conference*, pp. 805-809.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกนกภรณ์ วีสเพ็ญ เกิดเมื่อวันที่ 6 พฤศจิกายน พ.ศ.2521 ที่จังหวัดอุบลราชธานี เข้าศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2540 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545

