

การศึกษาประสิทธิภาพของวิธีเมนเทอร์
เมื่อเพิ่มการพิจารณาความหน่วงของสายสัญญาณ
A Study of Performance of MENTOR Algorithm
with Link Delay Restriction

กายรัฐ เจริญราษฎร์* และชฎาพร เอี่ยมสอาด

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

Kairat Jaroenrat* and Chadaporn Aiamsaard

Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University,

Kamphaeng Saen Campus, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom, 73140

บทคัดย่อ

ระบบเครือข่ายมีบทบาทสำคัญมากขึ้นในปัจจุบัน เพราะมีการใช้งานคอมพิวเตอร์อย่างแพร่หลาย และเกิดความต้องการที่จะเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เหล่านั้นถึงกัน ซึ่งจำเป็นต้องคิดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยเฉพาะเราเตอร์ (router) ทั้งนี้เราเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวชี้เส้นทางของท่อนข้อมูล โดยมีโปรโตคอลชี้เส้นทาง (routing protocols) ซึ่งในปัจจุบันที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดคือ โอเอสพีเอฟ (OSPF) แต่เนื่องจากการที่เครือข่ายโอเอสพีเอฟใช้อัลกอริทึมในการค้นหาเส้นทางด้วยตัวเอง จึงทำให้การจัดเส้นทางให้แก่การไหลของข้อมูลไม่ตรงกับความต้องการในการใช้งานเครือข่ายนั้น ๆ และหากโครงข่ายมีลักษณะการต่อแบบตาข่าย (mesh network) ซึ่งข้อเสียคือมีค่าใช้จ่ายสูงสำหรับการติดตั้งสายสัญญาณ เพราะหากติดตั้งอย่างไม่คุ้มค่างบที่ใช้ ก็จะทำให้สิ้นเปลืองงบประมาณ ผู้วิจัยจึงประยุกต์ใช้วิธีการเมนเทอร์ (MENTOR) ในการออกแบบโครงข่ายโดยเพิ่มการคำนวณค่าความหน่วงของสาย (link delay) ซึ่งประมาณด้วยตัวแบบ M/M/1 เพื่อให้การเลือกติดตั้งสายสัญญาณมีประสิทธิภาพและมีความคุ้มค่าและโครงข่ายที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งทำการทดสอบกับเครือข่ายขนาด 10, 25 และ 50 โหนด ส่วนค่า traffic demand สำหรับโครงข่ายแต่ละชุดได้ถูกควบคุมจากค่าผลรวมของ traffic ขาเข้า และ traffic ขาออกจากแต่ละ node เท่ากับ 100 Mbps โดยกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้ ค่า $\alpha \in (0, 0.5, 1.0)$ ค่า $\rho \in (0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 1.0)$ และค่า $SE \in (0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8)$ และกำหนดขนาดของแพ็คเก็ตโดยเฉลี่ยเป็น 53 ไบต์ ซึ่งเป็นขนาดของแพ็คเก็ตในโครงข่ายของ ATM เพื่อง่ายต่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโครงข่าย

คำสำคัญ: เมนเทอร์, เครือข่ายคอมพิวเตอร์, ความหน่วงของสายสัญญาณ

Abstract

Nowadays computer networks are very important and widely used, so the connections among computers are necessary and must be installed with many devices such as routers. The router is a device that acts as a pointer to the destination of data. The most widely-used Routing Protocols is open shortest path first (OSPF). But OSPF uses shortest path algorithm to find a path by itself, therefore routing of traffic flow does not get together with the traffic engineering of such system. The MENTOR algorithm is applied in the network design with a restriction of link delay that is estimated by the M/M/1 model to make the worth installation of cable and high performance network. The experiment was done with networks of 10, 25 and 50 node. The traffic demand for network is determined by the sum input and output traffic at each node equal to 100 Mbps. The setting values in this experiment are the: $\alpha \in (0, 0.5, 1.0)$, $\rho \in (0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 1.0)$, $s \in (0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8)$ and the average size of a 53 byte packet size of the packet in the network of the ATM.

Key words: MENTOR, computer networks, link delay

1. บทนำ

ปัจจุบันการติดต่อสื่อสารภายในองค์กร บริษัทต่าง ๆ เป็นเรื่องจำเป็นที่ต้องใช้งานเครือข่ายคอมพิวเตอร์ เพื่อการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกหน่วยงาน รวมไปถึงการแลกเปลี่ยนข้อมูลกับบริษัทลูกของบริษัทที่มีสาขาแยกย่อย โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องต้องเชื่อมต่อกันทั้งภายในและติดต่อข้ามเครือข่าย จึงจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างโครงข่าย อาทิ เราเตอร์ (router) โดยโปรโตคอลชี้เส้นทาง (routing protocols) ของเราเตอร์ที่ในปัจจุบันที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดคือโปรโตคอลโอเอสพีเอฟ (OSPF) เนื่องจากมีจุดเด่นในหลายด้าน เช่น การที่มีอัลกอริทึม (algorithm) ในการค้นหาเส้นทางด้วยตัวเอง การรับรู้ถึงความเปลี่ยนแปลงในรูปแบบการเชื่อมต่อ (topology) หรือการเปลี่ยนแปลงของเส้นทางในระบบเครือข่ายได้อย่างรวดเร็ว แต่เนื่องจากการที่เครือข่ายโอเอสพีเอฟใช้อัลกอริทึมในการค้นหา

เส้นทางด้วยตัวเอง โดยจะมีการคำนวณจากเส้นทางที่สั้นที่สุดจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง จึงทำให้การจัดเส้นทางให้แก่การไหลของข้อมูลไม่ตรงกับความต้องการในการใช้งานเครือข่ายนั้น ๆ นอกจากนั้นหากออกแบบโครงข่ายให้มีลักษณะแบบตาข่าย (full mesh network) ซึ่งมีข้อดีจากลักษณะการต่อแบบเครื่องคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องมีการเชื่อมต่อตรงถึงกันทุกเครื่อง มีความปลอดภัยสูง เนื่องจากการส่งข้อมูลเป็นการส่งระหว่างอุปกรณ์ 2 ตัว เท่านั้น ส่งข้อมูลได้จำนวนมากและรวดเร็ว แต่มีข้อเสียคือมีค่าใช้จ่ายสูงสำหรับการติดตั้งสาย และมักเป็นการติดตั้งอย่างไม่คุ้มค่ากับการใช้งานทำให้สิ้นเปลืองงบประมาณ ดังนั้นประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสายสัญญาณของอุปกรณ์ในโครงข่ายจึงเป็นเรื่องที่สำคัญและควรคำนึงเป็นอันดับต้น ๆ ของผู้ให้บริการเครือข่าย และบริษัทต่าง ๆ

เพื่อให้การเลือกติดตั้งสายสัญญาณมีประสิทธิภาพและมีความคุ้มค่า ผู้วิจัยจึงประยุกต์ใช้

วิธีเมนเทอร์ (MENTOR) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมแบบฮิวริสติกที่มีความซับซ้อนต่ำอยู่ที่ระดับ $O(N^2)$ [1] ในการออกแบบโครงข่าย โดยเลือกติดตั้งช่องสัญญาณ-สายสัญญาณและกำหนดเส้นทางการไหลไปพร้อมกัน โครงข่ายที่ได้จากเมนเทอร์แม้ไม่สามารถกล่าวได้ว่าเป็นโครงข่ายที่ดีที่สุด แต่ก็ยังเป็นโครงข่ายที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ รวมถึงสมรรถนะในการสื่อสารใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด และเนื่องจากขนาดของข้อมูลที่ส่งมีค่าไม่แน่นอน เวลาที่ใช้ในการส่งจึงไม่คงที่ ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้วิธีการเมนเทอร์ในการออกแบบโครงข่ายร่วมกับการพิจารณาจำกัดค่าความหน่วงของสาย (link delay) ด้วยเพื่อให้คำตอบของโครงข่ายมีคำตอบที่ดียิ่งขึ้นด้วยทฤษฎีคิวอิงโดยประมาณด้วยตัวแบบ M/M/1

2. Open shortest path first (OSPF)

โอเอสพีเอฟ [2] เป็นโปรโตคอลที่เส้นทางตัวหนึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดในระบบเครือข่าย เนื่องจากมีจุดเด่นในหลายด้าน เช่น การที่เป็นโปรโตคอลที่เส้นทางแบบโปรโตคอลการค้นหาเส้นทางสถานะแต่ละอินเตอร์เฟซ (link state) การที่มีอัลกอริทึมในการค้นหาเส้นทางได้ด้วยตัวเอง ซึ่งเราเตอร์ที่สื่อสารด้วยโอเอสพีเอฟทุกตัวจะเป็นรูท (root) หรือจุดเริ่มต้นของระบบไปยังกิ่งย่อย ๆ หรือโหนด (node) ต่าง ๆ ซึ่งเป็นเทคนิคในการลดเส้นทางที่วนลูบของการค้นหาเส้นทางได้ รวมถึงความสามารถในการรับรู้ถึงการเปลี่ยนแปลง (convergence) ในรูปแบบของการเชื่อมโยงเครือข่าย (topology) หรือการเปลี่ยนแปลงเส้นทางในระบบเครือข่ายได้อย่างรวดเร็วเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในระบบเครือข่าย และยังมีความสามารถในการรองรับการขยายของระบบ (scalable) ได้เป็นอย่างดี

ในการคำนวณเส้นทางของโอเอสพีเอฟ [3] จะใช้อัลกอริทึมของไดจ์สตรา (Dijkstra) ในการคำนวณเส้นทางที่สั้นที่สุด โดยพิจารณาจากเส้นทางที่สั้นที่สุดจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง และเมื่อไปถึงปลายทางแล้วจะรวมค่าน้ำหนัก โดยนำเส้นทางทั้งหมดมาเปรียบเทียบกัน ปกติแล้วค่าน้ำหนักแต่ละเส้นทางของโอเอสพีเอฟจะคำนวณได้จาก

$$\text{Cost} = \frac{10^8}{\text{Bandwidth}} \quad (1)$$

3. Mesh network topology optimization and routing (MENTOR)

เมนเทอร์ [4] เป็นอัลกอริทึมที่เลือกติดตั้งช่องสัญญาณ-สายสัญญาณ กำหนดเส้นทางการไหลไปพร้อมกัน โครงข่ายที่ออกแบบด้วยวิธีเมนเทอร์แม้ไม่ใช่โครงข่ายที่ดีที่สุด แต่ก็ยังเป็นโครงข่ายที่มีคุณสมบัติและสมรรถนะในการสื่อสารที่ดีใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด นอกจากนี้เมนเทอร์ยังมีความยืดหยุ่นมากพอที่จะนำไปใช้เป็นกระบวนการในการออกแบบโครงข่ายได้อย่างหลากหลาย ตั้งแต่โครงข่ายระบบส่ง (transmission network) เช่น โครงข่ายเอสดีเอชหรือโซเน็ต (SDH/SONET) หรือโครงข่ายวงจรเสมือน เช่น วีซีซี (VCC) ของเอทีเอ็ม (ATM) หรือแอลเอสพี (LSP) ของเอ็มพีแอลเอส (MPLS) โดยรายละเอียดการทำงานของแต่ละขั้นตอนของเมนเทอร์อัลกอริทึมมีดังต่อไปนี้

3.1 การแบ่งกลุ่มและเลือกสมาชิกของโครงข่ายแกน

จัดแบ่งสมาชิกเป็นกลุ่มงาน (functional group) แล้วเลือกโหนดในกลุ่มที่เหมาะสมเป็นสมาชิกของโครงข่ายแกนให้ทำหน้าที่เชื่อมกับโครงข่ายแกน โหนดอื่น ๆ ที่ต้องการสื่อสารไปนอกกลุ่มจะใช้บริการผ่านโหนดสมาชิกของโครงข่ายแกน

3.2 การเชื่อมสมาชิกของโครงข่ายแกนด้วยรูปแบบการเชื่อมต่อแบบสเปนนิงทรีเพื่อสร้างทางเลือกสุดท้ายในการเชื่อมกับ

สมาชิกในโครงข่ายแกน เมินเทอร์เลือกใช้อัลกอริทึมพริมไคจ์สตรา (Prim-Dijkstra) ที่มีความยืดหยุ่นสูงในการสร้างสเปนนิงทรี ซึ่งสามารถสร้างได้หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับค่าตัวแปร α มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

3.3 การติดตั้งสายสื่อสารสัญญาณเชื่อมตรงระหว่างโหนด

พิจารณาติดตั้งช่องสัญญาณที่เชื่อมตรงระหว่างคู่โหนดที่มีความต้องการการสื่อสาร โดยเลือกคู่โหนดที่มีจำนวน hop count มากที่สุดในสเปนนิงทรีก่อน หากไม่สามารถติดตั้งได้ให้พิจารณาเส้นทางอ้อมที่มีจำนวน hop count น้อยที่สุดลำดับต่อไป โดยมีหลักเกณฑ์สำคัญที่ต้องวิเคราะห์สองประการคือ

3.3.1 แต่ละช่องสัญญาณที่ติดตั้งจะต้องรับภาระการสื่อสารหรือมีปริมาณการไหลของข้อมูลอยู่ในช่วงที่เหมาะสม และช่วงที่เหมาะสมนี้จะกำหนดโดยอัตราการใช้งาน (utilization) โดยในงานวิจัยนี้กำหนดค่า maximum utilization โดยใช้ตัวแปร ρ ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ส่วนค่า minimum utilization จะถูกกำหนดโดยค่า $(1-S) \rho$ โดย S มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 เช่นกัน

3.3.2 ลำดับในการพิจารณาติดตั้งสายสื่อสารสัญญาณ เพื่อให้สมรรถนะของโครงข่ายดีที่สุดหากเป็นไปได้ให้ใช้เส้นทางที่อ้อมผ่านโหนดอื่น หรืออีกนัยหนึ่งคือให้ผ่านเส้นทางที่มี hop count น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ และหากไม่สามารถหาเส้นทางที่ดีกว่าจึงให้เส้นทางที่ผ่านสเปนนิงทรีเป็นทางเลือกสุดท้าย

3.3.3 ข้อค้อยของอัลกอริทึมเมินเทอร์ คือ

ไม่สามารถกำหนดค่าน้ำหนักให้แก่เส้นทางเพื่อนำไปใช้ในโครงข่ายไอพี และไม่สามารถควบคุมค่าความหน่วงของโครงข่าย ทำให้ไม่สามารถใช้ระบบสื่อสารบนโครงข่ายไอพี ที่ต้องการควบคุม delay ได้

4. Mesh network topology optimization and routing-II (MENTOR-II)

เนื่องจากวิธีเมินเทอร์กำหนดเส้นทางการไหลของข้อมูลโดยมิได้คำนึงถึงการทำงานของ routing protocol ที่นิยมใช้ในโครงข่ายไอพี เช่น OSPF ดังนั้นหากจะออกแบบเครือข่ายไอพี จึงต้องใช้วิธี MENTOR-II [5] โดยการทำงานส่วนใหญ่จะเหมือนกันวิธีเมินเทอร์ แตกต่างตรงในขณะที่ออกแบบติดตั้งช่องทางการสื่อสาร ก็จะกำหนดค่าน้ำหนักของช่องสัญญาณที่จะทำให้ข้อมูลไหลไปในเส้นทางที่ต้องการไปพร้อม ๆ กัน โดยใช้วิธีที่เรียกว่า incremental shortest path (ISP) ซึ่งมีหลักการทำงานดังต่อไปนี้ คือ

4.1 กำหนดให้น้ำหนักของสายสื่อสารเริ่มต้นแปรตามค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง

4.2 เมื่อพิจารณาติดตั้งสายสื่อสารเชื่อมตรงระหว่างคู่โหนดให้พยายามดึงการไหลของข้อมูลให้ผ่านให้มากที่สุด ซึ่งจะติดตั้งสายสัญญาณระหว่างคู่โหนดนั้นหากอัตราการใช้งานมากเพียงพอ โดยกำหนดค่าน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับค่าน้ำหนักรวมบนเส้นทางที่ผ่าน spanning tree และสามารถลดค่าน้ำหนักช่องทางให้น้อยเพียงพอจะดึงการไหลได้แต่น้ำหนักที่กำหนดให้จะต้องไม่น้อยกว่าค่าน้ำหนักที่คำนวณจากค่าติดตั้งจริง

ด้วยเหตุนี้อัลกอริทึม MENTOR-II จึงสามารถใช้การออกแบบโครงข่ายไอพีที่เชื่อมกันด้วยเราเตอร์

แบบ OSPF หรือ IS-IS ได้ แต่มีข้อดีจากข้อจำกัดของเทคนิค ISP ซึ่งเป็นการพยายามดึงข้อมูลให้ไหลให้มากที่สุดเพื่อความคุ้มค่าในการติดตั้งสายสัญญาณและไม่ได้สนใจปัญหาในเรื่องของเวลาที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูลในช่องสัญญาณ (delay)

5. Mesh network topology optimization and routing with link delay restriction (MENTOR-L)

จากจุดด้อยในด้านของค่าความหน่วงช่องสัญญาณของอัลกอริทึม MENTOR-II ที่กล่าวมาในหัวข้อที่แล้ว ผู้วิจัยจึงขอเสนออัลกอริทึม MENTOR-L ที่ปรับปรุงจากอัลกอริทึม MENTOR-II โดยมีหลักการทำงานเหมือนกัน แต่เพิ่มกระบวนการพิจารณาค่าความหน่วงของสายสัญญาณในขณะที่พิจารณาติดตั้งสายสัญญาณแต่ละเส้น ซึ่งแม้เมื่อติดตั้งสายสัญญาณเส้นนั้นแล้วจะมีปริมาณข้อมูลผ่านคุ้มค่าเพียงพอที่จะติดตั้ง แต่หากทำให้สายสัญญาณเส้นนั้นมีค่าความหน่วงช่องสัญญาณเกินกว่าที่กำหนดสายสัญญาณเส้นนั้นก็จะไม่ถูกติดตั้ง ซึ่งอัลกอริทึมนี้จะสามารถออกแบบโครงข่ายที่สามารถควบคุมค่าความหน่วงของสายสัญญาณแต่ละเส้นได้ ซึ่งเหมาะสำหรับการสื่อสารแบบ real-time หรือที่เป็น critical-mission ที่ต้องควบคุมค่าความหน่วงของการสื่อสาร โดยเวลาที่ใช้ในการเดินทางของข้อมูลผ่านช่องสัญญาณ [1] ประกอบด้วย 2 ส่วนดังสมการ (2)

$$\text{Link delay} = \text{Fixed delay} + \text{Variable delay} \quad (2)$$

ค่า fixed delay คือเวลาที่เกิดจากการที่สัญญาณเดินทางในสายสัญญาณ โดยทั่วไปจะประมาณค่าอยู่ที่ประมาณ 5 μ s ต่อกิโลเมตร ส่วน variable delay ประกอบด้วยเวลาที่ต้องเข้าแถวรอในบัฟเฟอร์ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณท่อนข้อมูลในบัฟเฟอร์ที่

อยู่ก่อนหน้าและเวลาที่ใช้ในการส่งท่อนข้อมูลจนครบ ซึ่งหากรู้ค่าเฉลี่ยขนาดของท่อนข้อมูล (average packet size) และอัตราเร็วสายสื่อสารสัญญาณ (link capacity) ค่าเวลาเฉลี่ย (T_p) ที่ใช้ในการส่งท่อนข้อมูลสามารถคำนวณได้จากสมการ (3)

$$T_p = \frac{\text{Average packet Size}}{\text{Link capacity}} \quad (3)$$

สำหรับเวลาที่ท่อนข้อมูลใช้ในการรอในแถวรอหากวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีคิวอิง โดยประมาณด้วยตัวแบบ M/M/1 ค่าเฉลี่ยเวลา (T_q) ที่รอในบัฟเฟอร์ (average queuing delay) สามารถคำนวณได้จากสมการ (4)

$$T_q = T_p \frac{U}{1-U} \quad (4)$$

โดย U คือ อัตราการใช้งานของช่องสัญญาณ (link utilization) ดังนั้นเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณ (variable delay) จะเป็นไปตามสมการ (5)

$$T_r = T_p + T_q = \frac{1}{1-U} T_p \quad (5)$$

ดังนั้นเมื่อทำการออกแบบโครงข่ายด้วยอัลกอริทึม MENTOR-L นี้ โครงข่ายที่ได้จะต้องมีค่าความหน่วงของทุกช่องสัญญาณไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ในขณะที่มีการไหลของข้อมูลในแบบ shortest path ตามค่าน้ำหนักของเส้นทางอีกด้วย

6. ภาพรวมของระบบ

จากรูปที่ 1 แสดงถึงการใช้งานระบบ ซึ่งผู้ใช้จะต้องป้อนค่าความต้องการในการออกแบบโครงข่าย ซึ่งประกอบด้วย (1) จำนวนโหนดของโครงข่าย (2) ค่าใช้จ่าย (cost) ที่ต้องใช้ในการติดตั้งสายสัญญาณเชื่อมต่อแต่ละคู่โหนด (3) ค่าความเร็วของช่องสัญญาณ (link capacity) และ (4) ค่าความต้องการแบนด์วิดท์ (bandwidth requirement) สำหรับการเชื่อมต่อโหนดที่ต้องการส่งข้อมูลถึงกัน

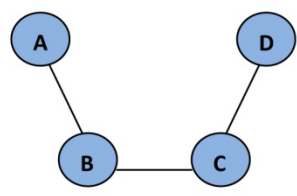
Input: จำนวนและตำแหน่งของโหนด ค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้หากมีการติดตั้งช่องสัญญาณระหว่างแต่ละคู่โหนด อัตราเร็วของสายสัญญาณ และความต้องการในการไหลของข้อมูลระหว่างแต่ละคู่โหนด (bandwidth requirement)



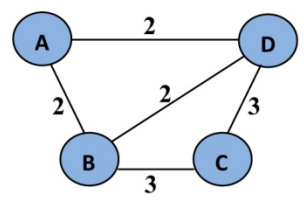
กำหนดค่า α , ค่า maximum utilization (U_{max}), minimum utilization (U_{min}) ที่ยอมรับได้ และค่า link delay ที่ยอมรับได้



สร้าง tree ด้วย Prim-Dijkstra algorithm



เลือกติดตั้งสายสัญญาณเชื่อมต่อแต่ละคู่โหนด โดยพิจารณาให้อัตราการใช้งานของช่องสัญญาณให้อยู่ในช่วงระหว่าง U_{max} และ U_{min} และพิจารณาให้ค่า link delay ไม่เกินค่าที่ยอมรับได้ที่ได้กำหนดไว้



รูปที่ 1 ภาพรวมของระบบ

จากนั้นทำการกำหนดช่วงอัตราการใช้งานช่องสัญญาณที่คุ้มค่าด้วยค่า U_{max} และ U_{min} กำหนดค่า α ในช่วง 0 ถึง 1 โดยในส่วนของขั้นตอนต่อไปซึ่งก็คือการเลือกติดตั้งสายสัญญาณ จะมีการพิจารณาค่าความหน่วงของสายสัญญาณด้วย ดังนั้นผู้ใช้จึงต้องระบุค่าเวลาหน่วงในสายสัญญาณที่สามารถยอมรับได้ ส่งผลให้ระบบนั้นนอกจากจะพิจารณาความคุ้มค่าในการติดตั้งสายสัญญาณแล้ว ยังพิจารณาสายสัญญาณแต่ละสายไม่ให้มีค่าเวลาหน่วงเกินไปกว่าที่กำหนดอีกด้วย

7. การออกแบบการทดลอง

ผู้วิจัยได้ทดสอบการเปรียบเทียบสมรรถนะของการจัดการไหลของข้อมูลในโครงข่ายที่ออกแบบด้วยวิธี MENTOR-II ปกติเปรียบเทียบกับโครงข่ายที่

ออกแบบด้วย MENTOR-II ที่เพิ่มการพิจารณาค่าความหน่วงของสายสัญญาณ (MENTOR-L) โดยการทดลองเริ่มด้วยการใช้โปรแกรม Delite [6] สุ่มสังเคราะห์ระบบโหนดขนาด 10, 25 และ 50 โหนด พร้อมค่า traffic requirements ที่กำหนดภายใต้เงื่อนไขที่ต้องให้ค่าผลรวมของ traffic ขาเข้า และ traffic ขาออกจากแต่ละ node เท่ากับ 100 Mbps จากนั้นจึงใช้วิธี MENTOR ออกแบบติดตั้งสายสื่อสารแบบ full duplex ที่มี capacity 200 Mbps เป็นรูปแบบโทโปโลยีชนิด partial mesh โดยกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้ ค่า $\alpha \in (0, 0.5, 1.0)$ ค่า $p \in (0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 1.0)$ และค่า $SE \in (0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8)$ และกำหนดขนาดของแพ็กเก็ตโดยเฉลี่ยเป็น 53 byte เนื่องจากสมมติให้โครงข่ายจำลองในการทดลองเป็นโครงข่าย ATM ซึ่งมีขนาดของแพ็กเก็ตคงที่ที่ 53 byte

จากนั้นจะทำการคำนวณเก็บค่าต่าง ๆ ของแต่ละโครงข่ายที่ทดสอบดังนี้

7.1 ความเชื่อถือของระบบโครงข่าย (reliability)

ผู้วิจัยวัดความน่าเชื่อถือของระบบโครงข่ายที่ออกแบบด้วยวิธีใหม่เทียบกับวิธีเดิม [7,8] ตามสมการ (6)

$$\Delta R = \frac{R_{ML} - R_M}{R_M} \times 100 \% \quad (6)$$

โดยที่ ΔR คือ ค่าความต่างของค่าความเชื่อถือได้ของระบบเครือข่าย

R_{ML} คือ ค่าความเชื่อถือได้ของระบบโครงข่ายที่สร้างขึ้นโดยวิธี MENTOR-L

R_M คือ ค่าความเชื่อถือได้ของระบบโครงข่ายที่สร้างขึ้นโดยวิธี MENTOR-II

7.2 ค่าใช้จ่ายรวมในการติดตั้งของระบบโครงข่าย (money cost)

ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสายสัญญาณรวมถึงค่าเช่าสายสัญญาณ ก็เป็นเรื่องจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึง ผู้วิจัยจึงได้คำนวณค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบโครงข่ายที่ออกแบบด้วยวิธีเดิมเทียบกับวิธีใหม่ [9,10] ตามสมการ (7)

$$\Delta C = \frac{C_{ML} - C_M}{C_M} \times 100 \% \quad (7)$$

โดยที่ ΔC คือ ความต่างของค่าใช้จ่ายรวมในการติดตั้งของระบบเครือข่าย

C_{ML} คือ ค่าใช้จ่ายรวมในการติดตั้งของระบบโครงข่าย ที่สร้างขึ้นโดยวิธี MENTOR-L

C_M คือ ค่าใช้จ่ายรวมในการติดตั้งของระบบโครงข่าย ที่สร้างขึ้นโดยวิธี MENTOR-II

7.3 ค่าเวลาหน่วงของสายสัญญาณรวมของระบบโครงข่าย (link delay)

ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลการสื่อสารกันภายในเครือข่ายจะมีตัวแปรที่สำคัญคือค่าเวลาหน่วง

หากโครงข่ายนั้น ๆ มีความคับคั่งของปริมาณการสื่อสารมาก ค่าความหน่วงของสายสัญญาณก็จะมีความด้วย ส่งผลให้การสื่อสารไม่มีประสิทธิภาพ เกิดความล่าช้า ซึ่งผู้วิจัยคำนวณผลต่างของค่าความหน่วงรวมของโครงข่ายที่ออกแบบด้วยวิธีเดิมเทียบกับวิธีใหม่ [9] ได้จากสมการ (8)

$$\Delta D = \frac{D_{ML} - D_M}{D_M} \times 100 \% \quad (8)$$

โดยที่ ΔD คือ ค่าความต่างของค่าความหน่วงของสายสัญญาณรวมของระบบเครือข่าย

D_{ML} คือ ค่าเวลาหน่วงของสายสัญญาณรวมทั้งโครงข่าย ของระบบเครือข่ายที่สร้างขึ้นโดยวิธี MENTOR-L

D_M คือ ค่าเวลาหน่วงของสายสัญญาณรวมทั้งโครงข่ายของระบบเครือข่ายที่สร้างขึ้นโดยวิธี MENTOR-II

8. ผลการทดลอง

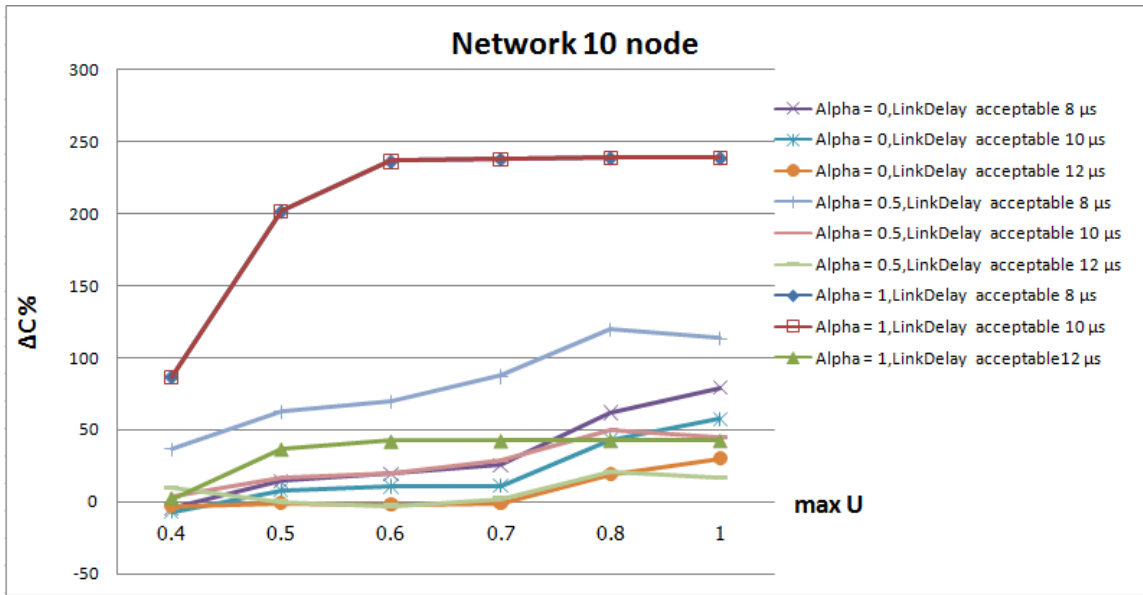
ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ผลจากค่าความต่างในประสิทธิภาพด้านต่าง ๆ ระหว่างระบบเครือข่ายที่ถูกสร้างขึ้นโดยวิธี MENTOR-II กับระบบเครือข่ายที่ถูกสร้างขึ้น โดยวิธี MENTOR-II ที่มีผลการพิจารณาค่าความ หน่วงของสายสัญญาณ ซึ่งจะวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ดังนี้

8.1 วิเคราะห์ค่าความต่างของค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสายสัญญาณ

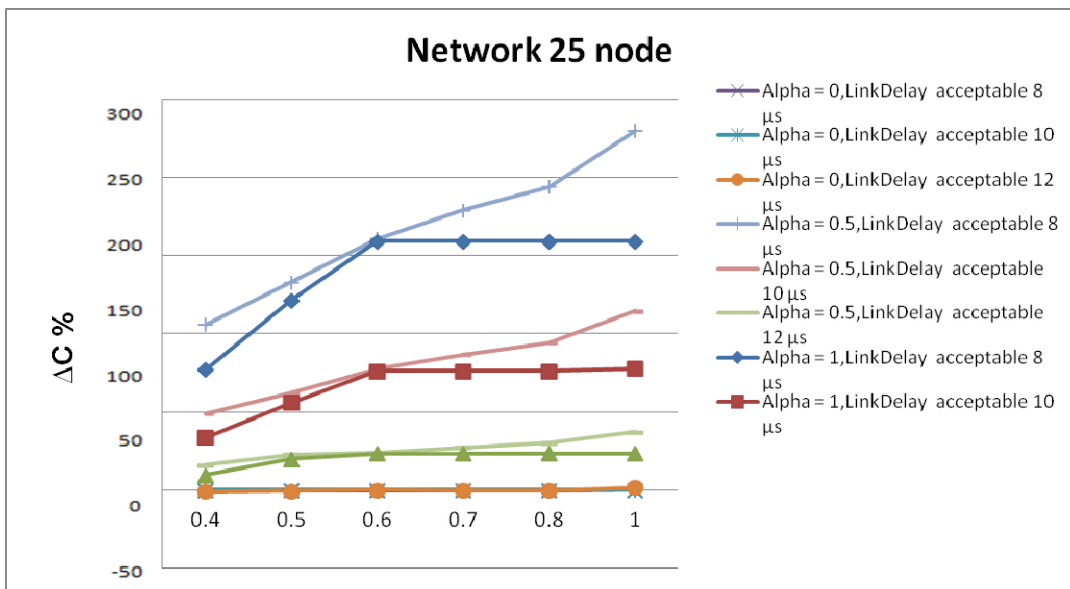
จากรูปที่ 2, 3 และ 4 เป็นผลเฉลยการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงข่ายที่มีขนาด 10, 25, 50 โหนด ด้วยการกำหนดค่า $U_{max} \in (0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 1.0)$ และค่า $\alpha \in (0, 0.5, 1.0)$ พบว่าเมื่อปรับค่า U_{max} เพิ่มขึ้น ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงข่ายที่ออกแบบด้วยวิธี MENTOR-L มีแนวโน้มมากกว่าที่ออกแบบด้วยวิธี MENTOR-II มากขึ้น ในส่วนของ

การกำหนดค่าเวลาหน่วงของสายสัญญาณที่ยอมรับได้ (link delay) พบว่าหากกำหนดค่าเวลาหน่วงของสายสัญญาณที่สามารถยอมรับได้ให้สูงขึ้น ผลต่างของค่าใช้จ่ายในการติดตั้งก็จะยิ่งลดลง ซึ่งในภาพรวม

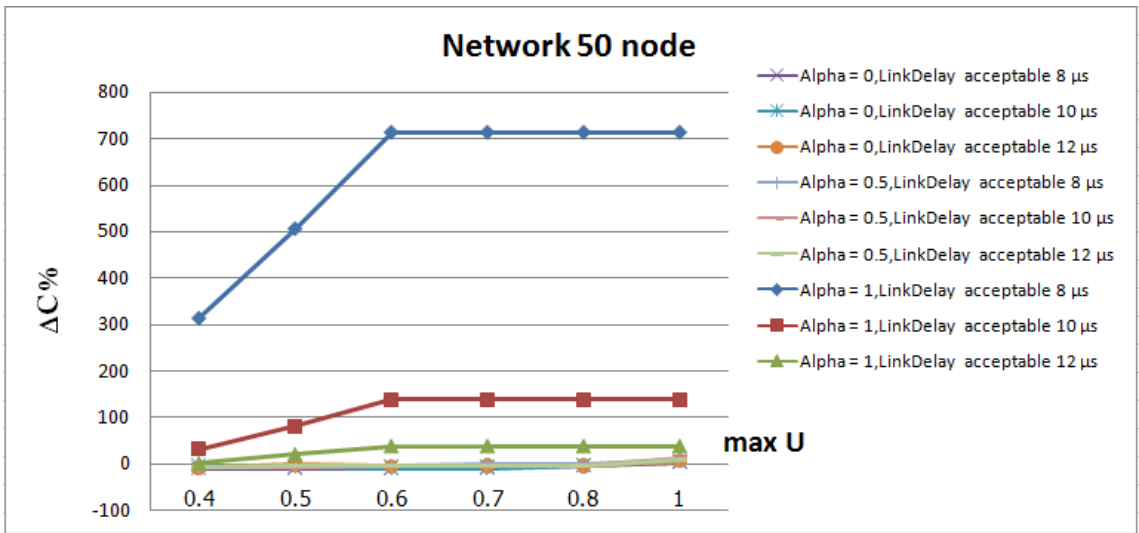
แสดงให้เห็นว่าวิธี MENTOR-L นั้นมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสายสัญญาณสูงกว่าวิธี MENTOR-II ปกติ โดยเฉพาะที่โครงข่ายที่มีค่า α สูง และ acceptable delay น้อย



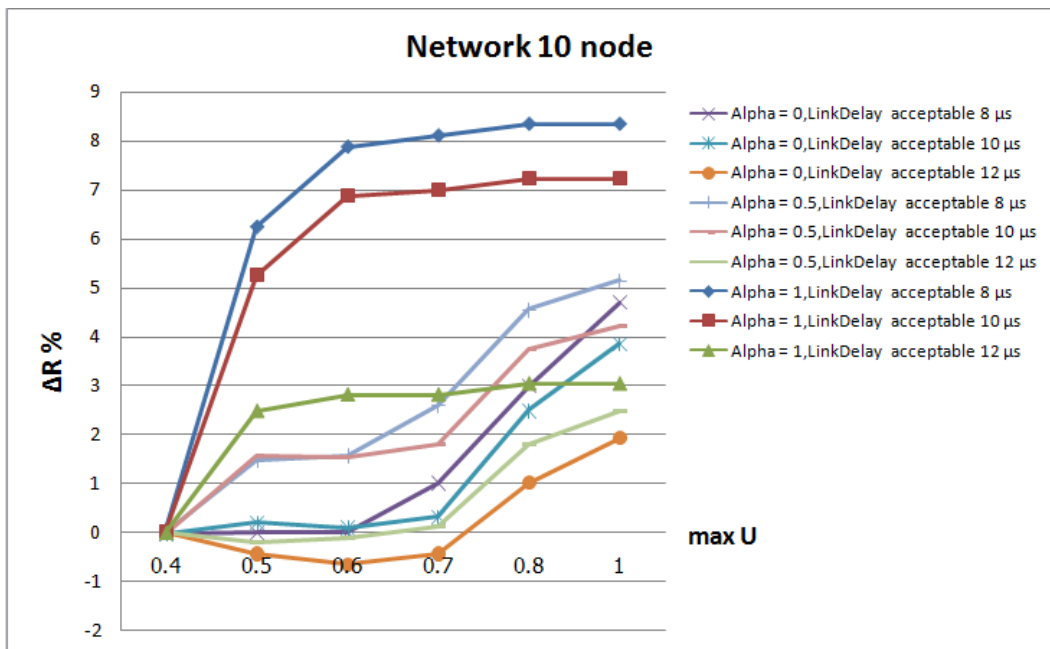
รูปที่ 2 แผนภูมิแสดงผลความต่างของค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของโครงข่ายที่ถูกสร้างขึ้นขนาด 10 โหนด



รูปที่ 3 แผนภูมิแสดงผลความต่างของค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของโครงข่ายที่ถูกสร้างขึ้นขนาด 25 โหนด



รูปที่ 4 แผนภูมิแสดงผลความต่างของค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของโครงข่ายที่ถูกสร้างขึ้นขนาด 50 โหนด



รูปที่ 5 แผนภูมิแสดงผลความต่างของค่าความเชื่อถือได้ของระบบโครงข่ายที่ถูกสร้างขึ้นขนาด 10 โหนด

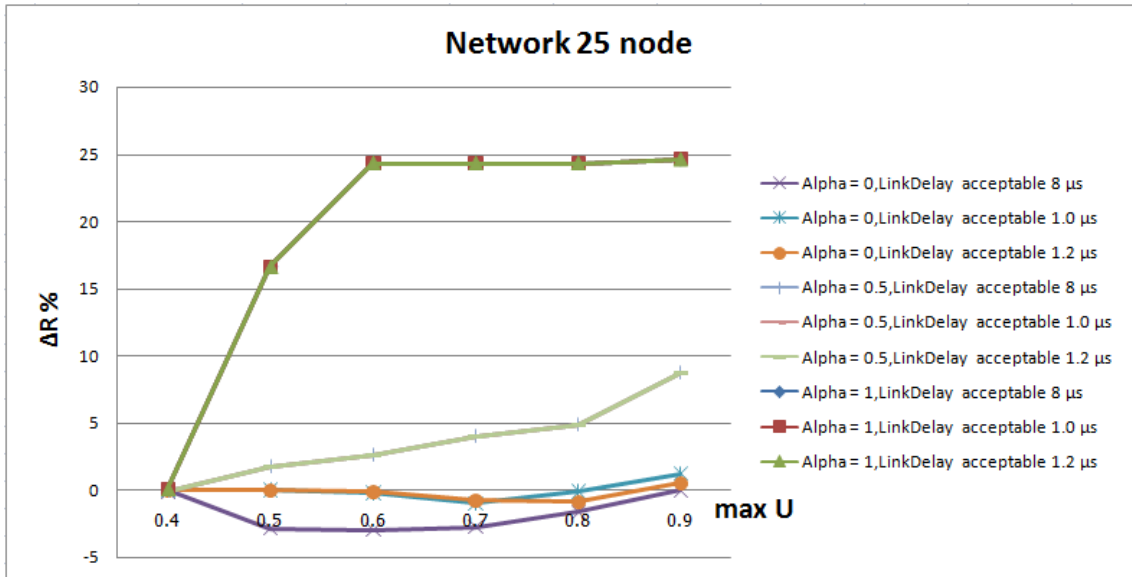
8.2 วิเคราะห์ค่าความต่างของค่าความน่าเชื่อถือของระบบโครงข่าย

จากรูปที่ 5, 6 และ 7 เป็นผลเฉลี่ยการเปรียบเทียบค่าความน่าเชื่อถือของโครงข่าย ซึ่งพบว่า

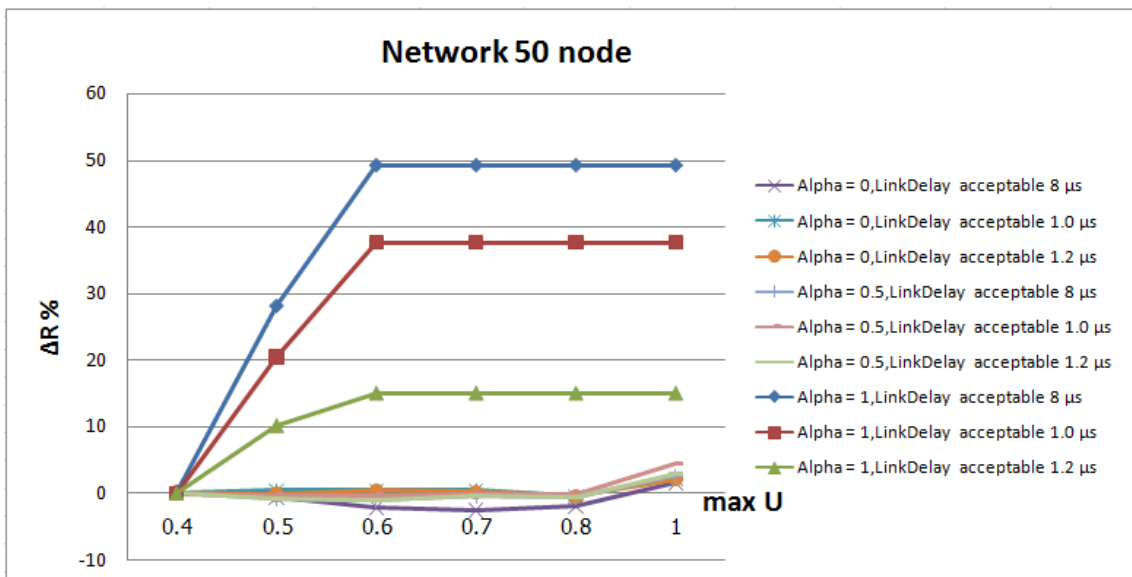
เมื่อทำการปรับค่า U_{max} เพิ่มขึ้น ผลลัพธ์ของค่าความน่าเชื่อถือของระบบโครงข่ายที่ออกแบบด้วยวิธี MENTOR-L มีแนวโน้มมากกว่าที่ออกแบบด้วยวิธี MENTOR-II มากขึ้นในส่วนการกำหนดค่าเวลา

หนึ่งของสายสัญญาณที่ยอมรับได้ พบว่าหากกำหนดค่าเวลาหน่วงของสายสัญญาณที่สามารถยอมรับได้ให้สูงขึ้น ผลต่างของค่าความเชื่อถือได้ของระบบโครงข่ายก็จะยิ่งลดลง ซึ่งในภาพรวมแสดงให้เห็น

เห็นว่า วิธี MENTOR-L นั้นมีค่าความน่าเชื่อถือสูงกว่าวิธี MENTOR-II ปกติ โดยเฉพาะที่โครงข่ายที่มีค่า α สูง และ acceptable delay น้อย และเห็นความแตกต่างได้ชัดเจนมากในโครงข่ายขนาด 50 โหนด



รูปที่ 6 แผนภูมิแสดงผล ความต่างของค่าความเชื่อถือได้ของระบบโครงข่ายที่ถูกสร้างขึ้นขนาด 25 โหนด

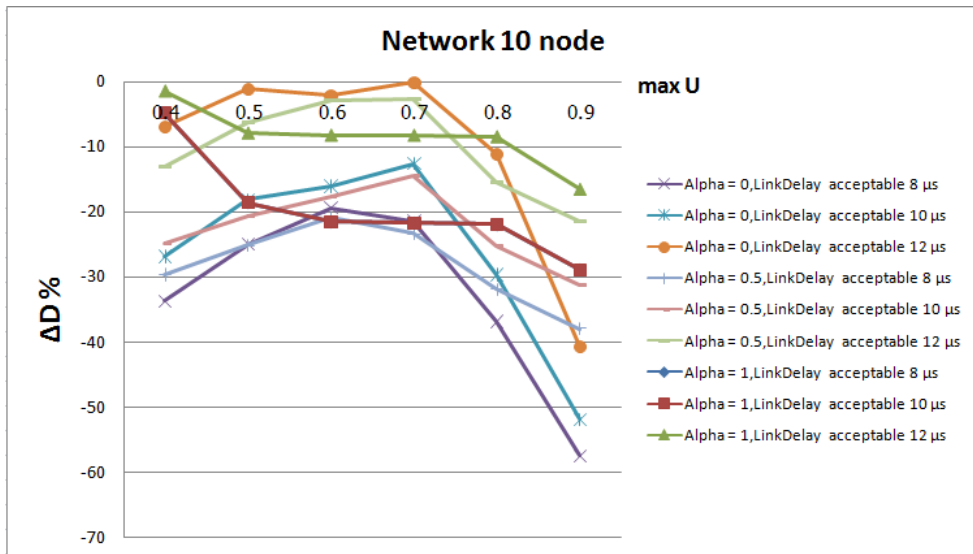


รูปที่ 7 แผนภูมิแสดงผล ความต่างของค่าความเชื่อถือได้ของระบบโครงข่ายที่ถูกสร้างขึ้นขนาด 50 โหนด

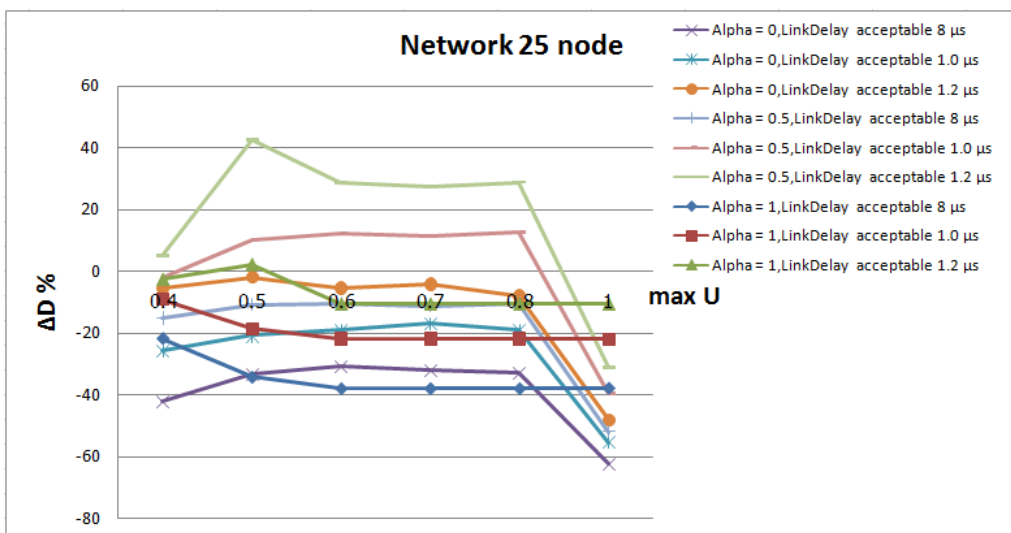
8.3 วิเคราะห์ค่าความต่างของค่าเวลาหน่วงของสายสัญญาณรวมทั้งระบบโครงข่าย

จากรูปที่ 8, 9 และ 10 พบว่าเมื่อปรับค่า U_{max} เพิ่มขึ้น ค่าเวลาหน่วงของสายสัญญาณรวมทั้งโครงข่ายที่ออกแบบด้วยวิธี MENTOR-L จะมีแนวโน้มน้อยลงกว่าที่ออกแบบด้วยวิธี MENTOR-II ในส่วนของการกำหนดค่าเวลาหน่วงของ

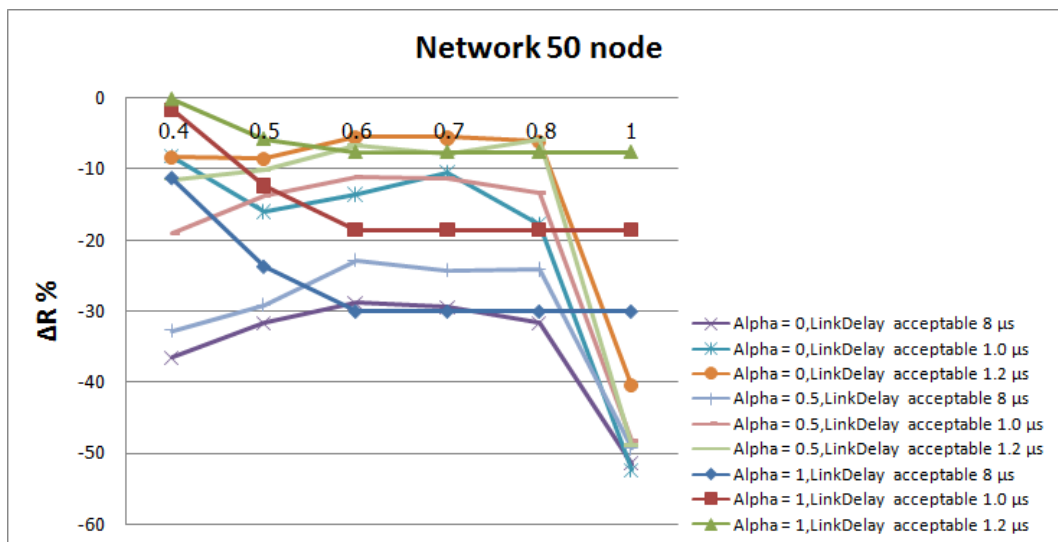
สายสัญญาณที่ยอมรับได้ พบว่าหากกำหนดค่าเวลาหน่วงของสายสัญญาณที่สามารถยอมรับได้ให้สูงขึ้น ผลต่างของค่าความหน่วงของสายสัญญาณรวมทั้งระบบโครงข่ายก็จะยิ่งมากขึ้น ซึ่งในภาพรวมแสดงให้เห็นว่าวิธี MENTOR-L นั้นมีค่าเวลาหน่วงของสายสัญญาณต่ำกว่าวิธี MENTOR-II ปกติ



รูปที่ 8 แผนภูมิแสดงค่าความต่างของค่าเวลาหน่วงของสายสัญญาณรวมทั้งโครงข่ายที่ถูกสร้างขึ้น ขนาด 10 โหนด



รูปที่ 9 แผนภูมิแสดงค่าความต่างของค่าเวลาหน่วงของสายสัญญาณรวมทั้งโครงข่ายที่ถูกสร้างขึ้น ขนาด 25 โหนด



รูปที่ 10 แผนภูมิแสดงความต่างของค่าเวลาหน่วงของสายสัญญาณรวมทั้ง โครงข่ายที่ถูกสร้างขึ้นขนาด 50 โหนด

9. สรุป

การนำหลักการวิธีเมทริกซ์มาเพิ่มการพิจารณาความหน่วงของสายสัญญาณ แล้วนำโครงข่ายที่ออกแบบได้มาวิเคราะห์ประสิทธิภาพในด้านค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง ค่าความน่าเชื่อถือ และค่าเวลาหน่วงรวมทั้งระบบโครงข่าย พบว่าค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและค่าความน่าเชื่อถือของระบบแปรผกผันกับค่าเวลาหน่วงรวมของโครงข่าย จากการทดสอบพบว่าวิธีเมทริกซ์ที่เพิ่มการพิจารณาค่าความหน่วงของสายสัญญาณมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสายสัญญาณโดยเฉลี่ยสูงกว่าวิธีเมทริกซ์ปกติเท่ากับ 69.38, 74.61 และ 80.97 % สำหรับโครงข่ายขนาด 10, 25 และ 50 โหนด ตามลำดับ ค่าความน่าเชื่อถือโดยเฉลี่ยของโครงข่ายที่ออกแบบด้วยวิธีเมทริกซ์ที่เพิ่มการพิจารณาค่าความหน่วงของสายสัญญาณมีค่าสูงกว่าวิธีเมทริกซ์ปกติเท่ากับ 2.52, 7.36 และ 8.60 % สำหรับโครงข่ายขนาด 10, 25 และ 50 โหนด ตามลำดับ ส่วนค่าเวลาหน่วงของสายสัญญาณรวมทั้ง

โครงข่ายโดยเฉลี่ยที่ออกแบบด้วยวิธีเมทริกซ์ที่เพิ่มการพิจารณาค่าความหน่วงของสายสัญญาณมีค่าต่ำกว่าวิธีเมทริกซ์ปกติเท่ากับ 19.68, 15.47 และ 19.84 % สำหรับโครงข่ายขนาด 10, 25 และ 50 โหนด ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าการทดสอบการนำหลักการวิธีเมทริกซ์โดยเพิ่มการพิจารณาความหน่วงของสายสัญญาณเกิดข้อดีและข้อเสียดังนี้

9.1 ข้อดี

การนำหลักวิธีเมทริกซ์โดยเพิ่มการคิดค่าความหน่วงของสายสัญญาณทำให้สามารถควบคุมเวลาหน่วงของสายสัญญาณไม่ให้เกินค่าที่กำหนดและทำให้ระบบโครงข่ายโดยรวมมีค่าความหน่วงของสายสัญญาณที่น้อย ทั้งยังทำให้ระบบโครงข่ายมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น เพราะหากสายสัญญาณนั้น ๆ มีการพิจารณาแล้วว่ามีค่าความหน่วงของสายสัญญาณเกินกว่าที่ต้องการก็จะมีเพิ่มจำนวนสายสัญญาณขึ้น ซึ่งจะทำให้ระบบมีเส้นทางที่มากขึ้น ส่งผลให้มีค่าความน่าเชื่อถือได้มากขึ้นไปด้วย

9.2 ข้อเสีย

การนำหลักวิธีเมนเทอร์โดยเพิ่มการคิดค่าความหน่วงของสายสัญญาณทำให้การเลือกที่จะติดตั้งสายสัญญาณนั้น ๆ มีการพิจารณาเพิ่มขึ้นจากการทดสอบพบว่าแนวโน้มของค่าใช้จ่ายในการติดตั้งมีค่าสูงมากกว่าการใช้วิธีการเมนเทอร์ปกติมาก ซึ่งเป็นเพราะการถูกจำกัดค่าเวลาหน่วงในแต่ละช่องสัญญาณ ทำให้มีโอกาสมากในการที่จะต้องเปิดช่องสัญญาณเพิ่ม ทำให้มีค่าใช้จ่ายสูงมากเมื่อเทียบกับโครงข่ายที่ออกแบบด้วยวิธีเมนเทอร์ปกติ ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องแลกมาเพื่อให้ได้มาซึ่งความสามารถในการควบคุมค่าเวลาหน่วงของสายสัญญาณในโครงข่าย

10. เอกสารอ้างอิง

- [1] พิสิษฐ์ ชาญเกียรติก้อง, 2550, การออกแบบโครงข่ายคอมพิวเตอร์, พิมพ์ครั้งที่ 1, มหาวิทยาลัยรังสิต, ปทุมธานี, 438 น.
- [2] Fortz, B., Rexford, J. and Thorup, M., 2002, Traffic engineering with traditional IP routing protocols, IEEE Commun. Mag. 40: 118-124.
- [3] Ben-Ameur, W., Gourdin, E., Liau, B. and Michel, N., 2000, Designing internet networks, pp. 56-61, in Proceeding of DRCN2000.
- [4] Kershbaum, A., Kermani, P. and Grover, G.A., 1991, MENTOR: An algorithm for mesh

network topological optimization and routing, IEEE Trans. Commun. 39: 503-513.

- [5] Cahn, R.S., 1998, Wide Area Network Design, Morgan Kaufmann Publisher, San Francisco, 441 p.
- [6] Cahn, R.S., The design tool: Delite (software), 1998, Available Source: <http://www.mkp.com/wand.htm>.
- [7] Shooman, A.M. and Kershbaum, A., 1991, Exact graph-reduction algorithms for network reliability analysis, pp.1412-1420, in Proceedings of GLOBECOM' 91.
- [8] เอกวุฒิ ไชยรัตน์ และกษัตริ์ เจริญราษฎร์, 2555, การใช้วิธีอานานิคมมดในการตั้งค่าน้ำหนักให้แก่เครือข่ายไอเอสพีเอฟ, น. 340-346, การประชุมวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 8.
- [9] Jaroenrat, K. and Charnkeitkong, P., 2006, On routing performance of MENTOR algorithm, WSEAS Trans. Commun. 9: 1769-1776.
- [10] Jaroenrat, K., Chimmanee, S. and Charnkeitkong, P., 2012, Algorithms for IP networks design with ECMP routing enable, pp. 420-425, in 7th International Conference on Computing and Convergence Technology.