



# ประสิทธิภาพของอัลกอริทึม MENTOR-II สำหรับการออกแบบ โครงข่ายอินเทอร์เน็ตโพรโตคอลภายในโครงข่ายแกนหลัก ของผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต

## Performance of Design with MENTOR-II Algorithm for IP Backbone Network of Internet Service Provider

อรรรณพ หมั่นสกุล (Annop Monsakul)\*

### บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอประสิทธิภาพของอัลกอริทึม MENTOR-II ที่นำมาใช้ในการออกแบบโครงข่ายอินเทอร์เน็ตโพรโตคอล (IP) พร้อมจัดเส้นทางไหลของทราฟฟิกภายในโครงข่ายแกนหลักของผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตที่มีรูปแบบการเชื่อมต่อโครงข่ายแบบตาข่ายไม่สมบูรณ์ของทั้ง 19 อำเภอภายในจังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพของการไหลของทราฟฟิกขึ้นอยู่กับชนิดของต้นไม้ที่อัลกอริทึมเลือกใช้ในครั้งแรกซึ่งควรเป็น Shortest Path Tree (SPT) ที่มีค่า  $\alpha = 1$  และกำหนดค่าช่วงผ่อนผัน (Slack) ให้มีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยหลังจากนั้นจึงค่อยลดค่า  $\alpha$  ให้มีค่าน้อยที่สุดจึงจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสายสัญญาณที่ต่ำที่สุด

**คำสำคัญ:** ออกแบบโครงข่าย โครงข่ายแกนหลัก อัลกอริทึมโครงข่ายแบบตาข่าย การไหลข้อมูล

### Abstract

This paper proposed the performance of the MENTOR-II algorithm for IP network design together with routing table in the ISP backbone network. That is, to design partial mesh topology of 19 district into Suratthani Province of Thailand. The simulation results show that, in the performance of traffic flow depend on selected starting tree by algorithm. Therefore, is obtained Shortest Path Tree (SPT) at  $\alpha = 1$  and Slack = try to adjust a minimum value and then

\*คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น

adjust  $\alpha$  = minimum value for low-cost installation.

**Keyword:** Network Design, Backbone Network, Traffic Flow, Mesh Network Algorithm.

### 1. บทนำ

ในทางทฤษฎีการออกแบบโครงข่ายสื่อสารข้อมูล [1] นั้นมีเป้าหมายสำคัญ คือ การประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและขณะเดียวกันต้องสามารถควบคุมสมรรถนะการทำงานของโครงข่ายให้อยู่ในกรอบที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตามเมื่อต้องออกแบบติดตั้งโครงข่ายจริง นอกเหนือจากทางทฤษฎีที่กล่าวมาแล้วนั้น ยังจำเป็นต้องคำนึงถึงข้อจำกัดอื่นๆ เช่น ข้อจำกัดของเทคโนโลยีโครงข่ายที่ให้ความปลอดภัยแก่ระบบ และความสามารถในการรองรับการขยายตัวในอนาคต เป็นต้น ดังนั้น การออกแบบโครงข่ายสื่อสารข้อมูลจึงนับเป็นปัญหาที่สลับซับซ้อนและยากที่จะหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Solution) [2] โดยประเด็นสำคัญอีกประการหนึ่งที่ผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตต้องคำนึง คือ ความต้องการของทราฟฟิก (Traffic Demand) ที่เติบโตอย่างรวดเร็ว[8] ทำให้ผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตต้องจัดสรรความจุของโครงข่ายไว้รองรับการขยายตัวดังกล่าวในอนาคต ซึ่งสามารถควบคุมได้ด้วยค่าของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบโครงข่าย ซึ่งค่าที่ชัดเจนที่สุด ได้แก่ ค่าที่ยอมรับได้ของอัตราการใช้ประโยชน์เชื่อมโยงสูงสุด (Maximum Link Utilization,  $U_{Max}$ ) และอัตราการใช้ประโยชน์เชื่อมโยงต่ำสุด (Minimum Link Utilization,  $U_{Min}$ ) โดยการตั้งค่าที่ยอมรับได้และมักจะนำไปสู่ระบบ

โครงข่ายที่มีค่าใช้จ่ายสูง แต่สามารถสำรองความจุไว้ได้มากขึ้น ในช่วงเริ่มต้นของอินเทอร์เน็ตปริมาณการใช้งานข้อมูลยังไม่มากและตัวข้อมูลเองไม่มีความสำคัญมากนัก การประยุกต์ใช้งานอินเทอร์เน็ตโพรโตคอลมักถูกกำหนดให้ใช้งานร่วมกันกับการประยุกต์การใช้โครงข่ายรูปแบบอื่นๆ บนโครงสร้างพื้นฐานที่เป็นสายเช่า (Leased Line) หรือโครงข่ายสื่อสารข้อมูลที่ใช้เทคนิคการสลัปช่องสัญญาณแบบวงจรเสมือน (Virtual Circuit) ระดับเลเยอร์ 2 เช่น เฟรมรีเลย์หรือเอทีเอ็ม เมื่อโครงข่ายอินเทอร์เน็ตเริ่มขยายตัวและมีความสำคัญมากขึ้น โครงข่ายอินเทอร์เน็ตโพรโตคอล (IP Network) ขนาดใหญ่ยังคงถูกสร้างบนโครงข่ายสื่อสารข้อมูลที่ใช้เทคนิคในการสลัปช่องสัญญาณแบบวงจรเสมือนระดับเลเยอร์ 2 ด้วยการใช้เทคนิคที่เรียกว่า โครงข่ายซ้อนทับ (Overlay Network) เพื่อความสะดวกในการทำวิศวกรรมทราฟฟิก (Traffic Engineering) [9] ด้วยวงจรเสมือนถาวร (Permanent Virtual Circuit, PVC) ซึ่งสำหรับโครงข่ายซ้อนทับที่มีขนาดเล็กอาจจะใช้โปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) ในการแก้ปัญหา แต่สำหรับโครงข่ายซ้อนทับที่มีขนาดใหญ่จำเป็นต้องใช้การค้นหาแบบเชิงศึกษาสำนึก (Heuristic) ในการแก้ปัญหาแทน [11]

อย่างไรก็ตาม เมื่ออินเทอร์เน็ตขยายตัวด้วยอัตราที่สูงมากจนกลายเป็นโครงสร้างพื้นฐานสำคัญของธุรกิจต่างๆ ในปัจจุบันการใช้เทคนิคโครงข่ายซ้อนทับเริ่มมีข้อจำกัดและไม่เหมาะสมสำหรับโครงข่ายอินเทอร์เน็ตโพรโตคอลขนาดใหญ่ อีกต่อไป เนื่องจากเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโครงข่าย เช่น เพิ่มหรือลดจำนวนโหนดเชื่อมต่อหรือโหนดปลายทาง จำนวนวงจรเสมือนถาวร (PVC) ที่ต้องปรับเปลี่ยนและเพิ่มหรือลดจำนวนอุปกรณ์จัดเส้นทาง (Router) ข้างเคียงที่ทำงานร่วมกัน แต่จะไม่มากนักจนเป็นภาระที่ยากจะยอมรับได้ โดยเทคนิคที่สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ คือการใช้โครงข่ายอุปกรณ์จัดเส้นทางหรือโครงข่าย MPLS (Multiprotocol Label Switching) [12] เพื่อเชื่อมปลายทางเข้าด้วยกันแทนโครงข่ายซ้อนทับ และใช้โพรโตคอลจัดเส้นทางแบบลิงค์สเตท (Link State Routing Protocol) เช่น OSPF (Open Shortest Path First) หรือ ISIS (Intermediate System to Intermediate System) [5] เป็นต้นซึ่งโพรโตคอลจัดเส้นทางแบบลิงค์สเตทนั้นจะมีการปรับค่าน้ำหนักสำหรับแต่ละเส้นทางเชื่อมโยงได้อย่างเหมาะสม แต่อย่างไรก็ตาม การที่เลือกใช้โพรโตคอลจัดเส้นทางแบบลิงค์

สเตท มีข้อจำกัด คือที่เส้นทางที่ใช้จะต้องมีคุณสมบัติเป็นเส้นทางที่สั้นที่สุด (Shortest Path Routing) และหากต้องมีการแบ่งภาระการสื่อสารข้อมูลเป็นหลายเส้นทาง แต่ละเส้นทางจะต้องรับภาระเท่าเทียมกัน ECMP (Equal Cost Multi Path) [10] เท่านั้นทำให้สมรรถนะการทำวิศวกรรมทราฟฟิกถูกจำกัดและที่สำคัญจะทำให้ปัญหาการออกแบบโครงข่ายซับซ้อนขึ้นเพราะนอกจากจะต้องหาค่าน้ำหนักที่เหมาะสมแล้ว ข้อจำกัดต่างๆ ยังทำให้ปัญหาแบบนี้ถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่เรียกว่า โปรแกรมเชิงเส้นที่มีตัวแปรบางตัวเป็นเลขจำนวนเต็ม (Mixed Integer Linear Programming) ซึ่งจะซับซ้อนกว่าโปรแกรมเชิงเส้นทั่วไปมาก

เพื่อลดความซับซ้อนในการออกแบบโครงข่ายสื่อสารข้อมูล Kershnerbaum ได้พัฒนาอัลกอริทึมเชิงศึกษาสำนึกที่มีความซับซ้อนต่ำ โดยให้ชื่อว่า MENTOR (Mesh Network Topology Optimization and Routing) [4] โดยโครงข่ายที่ถูกออกแบบโดยใช้อัลกอริทึม MENTOR [9] นั้นมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับโครงข่ายที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุด นอกจากนี้ อัลกอริทึม MENTOR ยังมีความยืดหยุ่นสูงและสามารถกำหนดค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของอัตราการใช้ประโยชน์ของเส้นทางเชื่อมโยง (Link Utilization) และยังสามารถไปใช้ในการออกแบบโครงข่ายสื่อสารข้อมูลแบบวงจรเสมือน แต่อย่างไรก็ตามอัลกอริทึม MENTOR ยังไม่สามารถนำไปใช้ออกแบบโครงข่ายอุปกรณ์จัดเส้นทางหรือโครงข่าย MPLS ที่ใช้ OSPF หรือ IS-IS [5] เป็นโพรโตคอลจัดเส้นทางได้โดยตรง เนื่องจากไม่มีการกำหนดค่าน้ำหนักของเส้นทางเชื่อมโยงและมีการแบ่งภาระทราฟฟิกไม่จำเป็นต้องมีคุณสมบัติ ECMP ต่อมา Cahn ได้ปรับปรุงอัลกอริทึม MENTOR ให้สามารถกำหนดค่าน้ำหนักสำหรับเส้นทางเชื่อมโยง โดยใช้หลัก ISP (Incremental Shortest Path) และกำหนดไม่ให้ออกแบบการไหลเป็นหลายเส้นทาง อัลกอริทึมนี้เป็นที่รู้จักกันในชื่อ MENTOR-II ซึ่งสามารถใช้ในการออกแบบโครงข่ายอินเทอร์เน็ตโพรโตคอลที่เชื่อมกันด้วยอุปกรณ์จัดเส้นทางแบบ OSPF หรือ IS-IS ได้ [17] แต่การกำหนดการไหลของทราฟฟิกจะเป็นแบบเส้นทางเดียว ซึ่งเป็นที่รู้กันดีว่าหากยอมให้แบ่งการไหลได้ (Flow Split) จะมีโอกาสจัดเส้นทางได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น จากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นสำหรับการออกแบบโครงข่ายอินเทอร์เน็ตโพรโตคอลที่ใช้อุปกรณ์จัดเส้นทาง จะแบ่งการไหลทราฟฟิกเป็นแบบ ECMP เท่านั้น



ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดวัตถุประสงค์การวิจัย ดังนี้

- 1) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรที่กำหนดในการออกแบบโครงข่ายและสมรรถนะวิศวกรรมการไหลข้อมูลที่ใช้อัลกอริทึม MENTOR-II
- 2) เพื่อพัฒนาโปรแกรมสำหรับการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม MENTOR-II สำหรับออกแบบโครงข่ายอินเทอร์เน็ตโพรโตคอลที่มีการจราจรข้อมูลแบบยูนิคาสต์
- 3) เพื่อทดสอบสมรรถนะวิศวกรรมการไหลข้อมูลบนโครงข่ายแกนหลักของผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรของอัลกอริทึม MENTOR-II

Cahn [15] ได้พัฒนาอัลกอริทึม MENTOR-II [14] เพื่อให้สามารถออกแบบโครงข่ายอินเทอร์เน็ตโพรโตคอลที่เชื่อมกันด้วยอุปกรณ์จัดเส้นทางที่ใช้โพรโตคอลค้นหาเส้นทาง OSPF หรือ IS-IS ได้อย่างไรก็ตามเส้นทางที่ไหลจะเป็นแบบเส้นทางเดียวและไม่มีการแบ่งเป็นหลายเส้นทางได้โดยใช้เทคนิค ISP ซึ่งมีหลักการการทำงานเป็น ดังนี้

- 1) กำหนดให้ค่าน้ำหนักของเส้นทางเชื่อมโยงที่ใช้คำนวณระยะทางในโพรโตคอลค้นหาเส้นทาง OSPF ของต้นไม่สแปนนิ่งแปรตามระยะทางหรือค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง [7]
- 2) เมื่อพิจารณาติดตั้งเส้นทางเชื่อมโยง  $L_{AB}$  ให้พยายามดึงการไหลให้มากที่สุด หากปริมาณการไหลมากพอก็ให้ติดตั้ง  $L_{AB}$  โดยสามารถกำหนดค่าน้ำหนักของ  $L_{AB}$  ให้น้อยพอที่จะดึงการไหลได้ ในขณะที่เดียวกันค่าน้ำหนักที่กำหนดต้องมากกว่าหรือเท่ากับค่าน้ำหนักที่คำนวณจากค่าที่ติดตั้งจริง
- 3) ฟังก์ชันต้นทุน (Cost Function) ในการประเมินสมรรถนะของการทำวิศวกรรมกราฟฟิกบนโครงข่ายแทนด้วยกราฟ  $G=(N,A)$  โดยที่  $N$  และ  $A$  คือเซตของโหนดและสายเชื่อมโยงนั้นจำเป็นต้องใช้ฟังก์ชันต้นทุนเป็นเกณฑ์ตัดสิน

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้ฟังก์ชันของ Fortz ซึ่งแสดงตามสมการ (1) ดังนี้

$$\Phi = \sum_{a \in A} \phi_a(l, c_a) \quad (1)$$

เมื่อ  $l_a$  คือ ภาระการไหลรวม

$c_a$  คือ ความจุของเส้นทางเชื่อมโยง  $a$

$\phi_a$  คือ ความเหมาะสมของเส้นทางเชื่อมโยง  $a \in A$  ซึ่งจะ

อิงกับค่าเวลาของ M/M/1 ทฤษฎีแถวคอย (Queuing Theory) [3], [13]

$$\phi_a(l_a, c_a) = \frac{l_a}{(c_a - l_a)} \quad (2)$$

อย่างไรก็ตามสมการ (2) ไม่เหมาะสำหรับการคำนวณหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีโปรแกรมเชิงเส้นในกรณีนี้ที่  $l_a \geq c_a$  เพื่อแก้ไขปัญหานี้ Fortz จึงประมาณค่า  $l_a/(c_a - l_a)$  ด้วยสมการเส้นตรงเป็นช่วง (Piecewise Linear) และอาจแสดงเป็นปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้น ตามสมการ (3)-(12) ดังนี้

$$\min \Phi = \sum_{a \in A} \phi_a \quad (3)$$

$$\sum_{u:(u,v) \in A} \int_{u,v}^{s,t} = \begin{cases} d_{st} & \text{if } v = t \\ -d_{st} & \text{if } v = s \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$v, s, t \in N,$

$$\int_a^{s,t} \geq 0 \quad a \in A; t \in N, \quad (5)$$

$$l_a = \sum_{t \in N} \int_a^s \quad a \in A \quad (6)$$

$$\phi_a \geq l_a \quad a \in A \quad (7)$$

$$\phi_a \geq 3l_a - \left( \frac{2}{3c_a} \right) \quad a \in A \quad (8)$$

$$\phi_a \geq 10l_a - \left( \frac{16}{3c_a} \right) \quad a \in A \quad (9)$$

$$\phi_a \geq 70l_a - \left( \frac{178}{3c_a} \right) \quad a \in A \quad (10)$$

$$\phi_a \geq 500l_a - \left( \frac{1468}{3c_a} \right) \quad a \in A \quad (11)$$

$$\phi_a \geq 5000l_a - \left( \frac{19468}{3c_a} \right) \quad a \in A \quad (12)$$

เมื่อ  $s$  คือโหนดต้นทาง

$t$  คือโหนดปลายทาง

$u$  คือสถานีต้นทาง

$v$  คือสถานีปลายทาง

สมการ (4) แทนคุณสมบัติอนุรักษ์การไหล ซึ่งปริมาณการไหลเข้าไหลออกสำหรับโหนดที่เป็นทางผ่านจะต้องเท่ากัน ส่วนโหนดต้นทาง  $s$  และปลายทาง  $t$  จะต้องเป็น  $-d_{st}$  และ  $d_{st}$  ตามลำดับ โดยที่  $d_{st}$  คือปริมาณการไหลที่โครงข่ายจะต้องรับภาระในการสื่อสารจากโหนด  $s$  ไปยังโหนด  $t$  และ  $\int_a^{s,t}$  คือส่วนของ  $d_{st}$  ที่ผ่านเส้นทางเชื่อมโยง  $a$  ซึ่งจะต้องไม่เป็น



ค่าลบตามสมการที่ (5) ส่วนสมการที่ (6) กำหนดว่าภาระการไหลรวม  $l_a$  บน  $a$  คือ ผลรวมของ  $\int_a^{s,t}$  นั้นเอง และจากสมการ (7) - (12) แทนเงื่อนไขของฟังก์ชันเชิงเส้นที่มีความลาดเอียงที่เปลี่ยนเป็นช่วงของ  $\phi_a(l_a, c_a)$  เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลกับโครงข่ายที่ได้จากอัลกอริทึม MENTOR ซึ่งมีการกำหนดค่าสูงสุดของอัตราการใช้ประโยชน์  $\rho$  ผู้วิจัยจึงได้เพิ่มข้อจำกัด ตามสมการ (13) ดังนี้

$$\left(\frac{l_a}{c_a}\right) \geq \rho \quad (13)$$

สำหรับโครงข่ายอินเทอร์เน็ตจะเชื่อมต่อกับโพรโตคอลค้นหาเส้นทาง OSPF อุปกรณ์จัดเส้นทางจะต้องมีคุณสมบัติ ECMP ซึ่งจะมีข้อจำกัด ตามสมการ (14) - (15) ดังนี้

$$\int_a^{s,t} \leq (\delta_{u,v}^{s,t} \times d_{st}) \quad (14)$$

$$\sum_{v \in N} \delta_{u,v}^{s,t} \leq 1 \quad (15)$$

เมื่อ  $\delta_{u,v}^{s,t}$  คือ สัดส่วนของ  $d_{st}$  ที่ไหลผ่าน  $u, v$

นอกจากนี้สำหรับอัลกอริทึม MENTOR-II จะทำให้โครงข่ายที่ได้จะมีการไหลแบบที่ไม่มีการแบ่งการเป็นหลายเส้นทาง จึงต้องมีข้อจำกัดเพิ่มเติมตามสมการ (16) ดังนี้

$$\delta_{u,v}^{s,t} \in \{0, 1\} \quad (16)$$

ซึ่งมีความหมายว่าตัวแปร  $\delta_{u,v}^{s,t}$  จะมีค่าเป็น 1 ก็ต่อเมื่อ  $\int_a^{s,t}$  ไหลผ่าน  $a$  กรณีนี้  $\int_a^{s,t} = d_{st}$

## 2.2 การเปรียบเทียบสมรรถนะ

เพื่อเปรียบเทียบโครงข่ายที่มีขนาดและรูปแบบการเชื่อมต่อที่ต่างกันได้อย่างเหมาะสม โดย Fortz เสนอให้ใช้ฟังก์ชันแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalize) ตามสมการ (17) - (18) ดังนี้

$$\Phi^* = \frac{\Phi}{\Phi_{UNCAP}} \quad (17)$$

$$\Phi_{UNCAP} = \sum_{s,t \in N \times N} d_{s,t} h_{s,t} \quad (18)$$

เมื่อ  $\Phi_{UNCAP}$  คือ ตัวปรับค่านอร์มัลไลซ์

$h_{st}$  คือ จำนวนฮอปที่น้อยที่สุดในโครงข่ายระหว่างโหนด  $s$  และโหนด  $t$

ในการประเมินสมรรถนะวิศวกรรมทราฟฟิกของอัลกอริทึม MENTOR-II สำหรับการออกแบบโครงข่ายได้แบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 กรณีได้แก่ กรณีแรก เมื่อโครงข่ายมีการทำงานปกติและกรณีที่สอง เมื่อโครงข่ายมีการทำงานเริ่มคับคั่ง โดยที่โครงข่ายทำงานปกติ คือเมื่อความต้องการ

ในการใช้งานมีค่าเท่ากับค่าที่ใช้ในการออกแบบและมีสมรรถนะของการจัดการไหลจะได้จากความคลาดเคลื่อนของค่าความเหมาะสมในการจัดการไหลด้วยอัลกอริทึม MENTOR-II เทียบกับคำตอบที่ดีที่สุด ตามสมการ (19) ดังนี้

$$\Delta C = \frac{\Phi_M^* - \Phi_O^*}{\Phi_O^*} \times 100 \quad (19)$$

โดยที่  $\Phi_M^*$  และ  $\Phi_O^*$  คือค่าความเหมาะสมแบบนอร์มัลไลซ์ของการกำหนดการไหลด้วยอัลกอริทึม MENTOR-II และคำตอบที่ดีที่สุดตามลำดับ เมื่อสังเกตว่าสมการ (9) ที่ใช้ประมาณสมการ (8) จะมีค่าความเหมาะสมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อ  $\phi_a \geq 10^{2/3}$  และอาจมองว่าภาระการไหล ณ โหนดนี้เป็นโหนดที่โครงข่ายเริ่มคับคั่ง สมรรถนะของการจัดการไหลที่โหนดเริ่มคับคั่งจึงวัดค่าจากความคลาดเคลื่อนของภาระการไหล ณ โหนดดังกล่าวของอัลกอริทึม MENTOR-II เมื่อเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุด ตามสมการ (20) ดังนี้

$$\Delta D = \frac{D_M - D_O}{D_O} \times 100 \quad (20)$$

โดยที่  $D_M$  และ  $D_O$  คือภาระการไหลที่ได้จากอัลกอริทึม MENTOR และคำตอบที่ดีที่สุดเมื่อ  $\phi_a \geq 10^{2/3}$

## 2.3 เกณฑ์ในการเลือกติดตั้งเส้นทางเชื่อมโยง

เส้นทางเชื่อมโยงแต่ละเส้นนั้นประกอบด้วยช่องสัญญาณย่อยๆ แต่ละช่องสัญญาณจะถูกใช้เพื่อให้บริการสื่อสารด้วยอัตราเร็วคงที่และอาจมีได้หลายระดับอัตราเร็วที่มีค่าไม่ต่อเนื่อง  $\Delta_k, k = 1, 2, \dots, K$  เกณฑ์ในการติดตั้งเส้นทางเชื่อมโยง คือต้องมีการติดตั้งช่องสัญญาณอย่างน้อยหนึ่งช่องสัญญาณและแต่ละช่องสัญญาณที่ติดตั้งจะต้องรับภาระการสื่อสารอยู่ในช่วงที่เหมาะสม โดยช่วงที่เหมาะสมนี้จะกำหนดโดยการใช้ประโยชน์ ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างภาระการสื่อสารต่ออัตราเร็วในการสื่อสารของช่องสัญญาณที่ติดตั้ง โดยที่มีค่าสูงสุดของอัตราการใช้ประโยชน์ไม่เกินค่า  $U_{max}$  ตามสมการที่ 21

$$U_{max} = \rho, 0 \leq \rho \leq 1 \quad (21)$$

$\rho$  คือ ค่าต่ำสุดของอัตราการใช้ประโยชน์  
 $s$  คือ ช่วงผ่อนผัน (slack) จะมีค่าอยู่ในช่วง  $s, 0 \leq \rho \leq 1$  ดังนั้น เมื่อเทียบ  $s$  กับ  $\rho$  จะได้ค่าต่ำสุดของอัตราการใช้ประโยชน์ที่ยอมรับได้ คือ  $U_{min}$  ตามสมการที่ 22

$$U_{min} = (1 - s)\rho \quad (22)$$



อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการที่อัตราเร็วในการให้บริการมีค่าไม่ต่อเนื่องและความสามารถในการแบ่งการไหลของเครือข่ายแตกต่างกัน เกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกติดตั้งจึงแตกต่างกัน

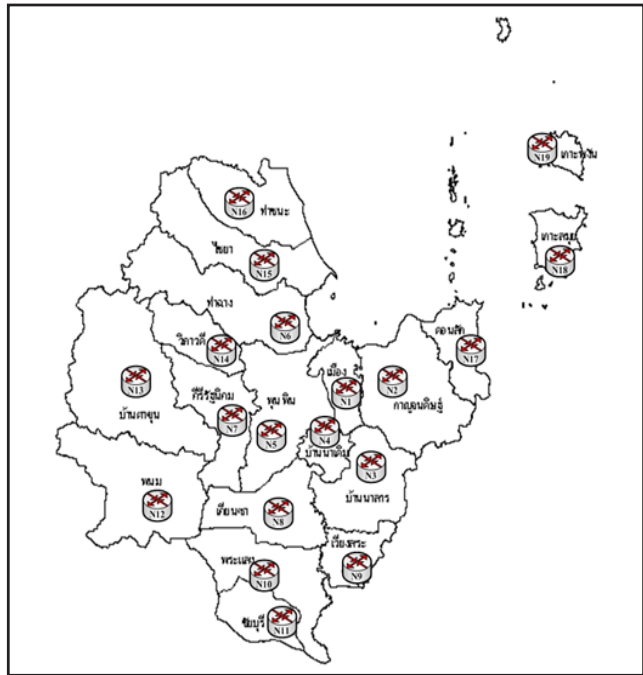
### 3. ความต้องการในการออกแบบ

ในการออกแบบโครงข่ายอินเทอร์เน็ตโพรโตคอล พร้อมจัดเส้นทางการไหลข้อมูลภายในโครงข่ายแกนหลักของผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต โดยผู้วิจัยได้ทำการจำลองโครงข่ายแกนหลักของผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตทั้ง 19 อำเภอภายในจังหวัดสุราษฎร์ธานี ดังภาพที่ 1 และจากระยะทางระหว่างจุดในโครงข่าย ดังตารางที่ 1 โดยที่ภาระที่เหมาะสมที่ติดตั้งช่องสัญญาณ ได้แก่ อัตราการใช้งานสูงสุด ค่าอ่อนผัน และค่าการใช้ประโยชน์ รวมถึงค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสายสัญญาณกำหนดให้อยู่ที่ราคาประมาณ 10,000 บาทต่อกิโลเมตร ดังตารางที่ 2

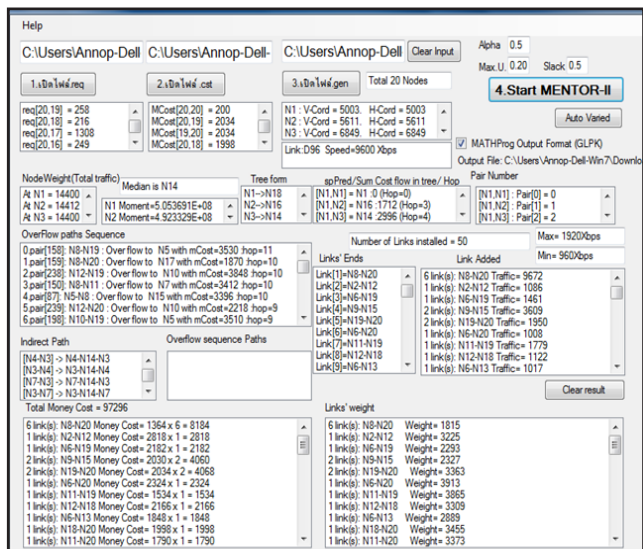
เพื่อประเมินสมรรถนะของอัลกอริทึม MENTOR-II จากความต้องการของการออกแบบโครงข่ายอินเทอร์เน็ตโพรโตคอล ทั้ง 19 โหนด และเมื่อทุกคู่โหนดจะมีการไหลเข้าและไหลออกของข้อมูลประเภทยูนิคาสต์อยู่ที่อัตราการส่งข้อมูลขนาด 1,111 กิโลบิตต่อวินาที ที่ถูกสร้างขึ้นตามความต้องการด้วยโปรแกรม DDesign tool LITE (DELITE) และโปรแกรม MENTOR-II Programming ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นเองด้วยโปรแกรมภาษา Visual C# ดังภาพที่ 2 ที่ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงข่ายแกนหลักจากข้อมูลต่างๆ ของผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตภายในจังหวัดสุราษฎร์ธานี และสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ของอัลกอริทึม MENTOR-II เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด

### 4. ผลการวิจัย

จากการกำหนดให้การสร้างต้นไม้สำหรับโครงข่ายแกนหลักของอัลกอริทึม MENTOR-II เป็นแบบ Shortest Path Tree (SPT) ให้  $\alpha = 0$  จะได้ต้นไม้ที่มี 18 สาขา คือ (1, 2), (2, 17), (17, 18), (18, 19), (1, 5), (5, 4), (4, 3), (5, 8), (8, 9), (8, 11), (8, 10), (10, 12), (5, 7), (7, 13), (7, 14), (14, 6), (6, 15) และ (15, 16) ดังภาพที่ 3 โดยที่จะมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดในกรณีติดตั้งสายสัญญาณทั้งหมดอยู่ที่ราคา 10,975,000 บาท โดยที่มีค่าพารามิเตอร์ดังนี้  $\rho = 0.45$ ,  $s = 0.5$  และ  $\alpha = 0.02$



ภาพที่ 1 โครงข่ายแกนหลักของผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตภายในจังหวัดสุราษฎร์ธานี



ภาพที่ 2 โปรแกรม MENTOR-II ที่พัฒนาด้วยโปรแกรมภาษา Visual C#

### 5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการออกแบบโครงข่ายอินเทอร์เน็ตโพรโตคอลที่สามารถรองรับทราฟฟิกแบบยูนิคาสต์ที่มีลักษณะการใช้งาน เทคนิคการจัดการเส้นทาง และแนวทางการแก้ปัญหาที่หลากหลาย ในงานวิจัยนี้จึงจำกัดความสนใจเฉพาะการออกแบบโครงข่ายอินเทอร์เน็ตโพรโตคอล ที่มีคุณสมบัติดังนี้ (1) เป็นโครงข่ายที่ใช้อุปกรณ์จัดเส้นทางที่ใช้



ภายใน Autonomous System (AS) เดียวกัน (2) โพรโตคอลที่ใช้เลือกเส้นทางสามารถเลือกใช้และกำหนดน้ำหนักให้กับแต่ละสายสัญญาณได้หลายค่า

โดยการใช้โปรแกรม DELite เพื่อคำนวณความต้องการต่างๆ ของโครงข่ายแกนหลักและนำค่าที่ได้ไปใช้ในการออกแบบด้วยโปรแกรม MENTOR-II เพื่อสามารถวิเคราะห์และออกแบบโครงข่ายทั้ง 19 โหนด ดังนั้น จะเห็น

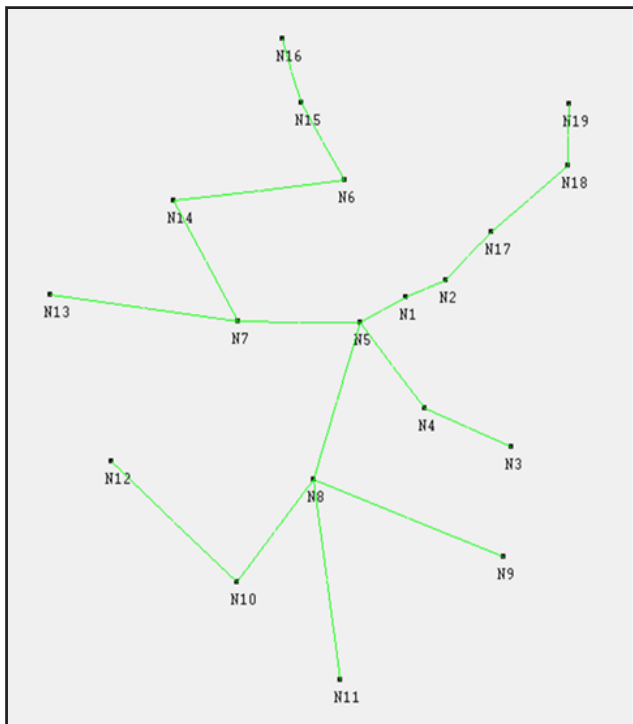
ได้ว่าเมื่อทำการปรับค่าตัวแปรและเงื่อนไขของกราฟฟิกแบบยูนิคาสต์ โดยเมื่อค่า  $\alpha$  มีค่าลดลงจะส่งผลทำให้ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งลดลงตามไปด้วย จึงทำให้ผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางการออกแบบโครงข่ายแกนหลักที่มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสายสัญญาณที่ต่ำที่สุด

ตารางที่ 1 ระยะทางระหว่างจุดในโครงข่าย (หน่วย: กิโลเมตร)

S/D	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18	N19
N1	0	18.1	41.4	47.4	14.7	41.5	63.5	77.1	68.3	111	139.1	103	85.7	78	58	85.3	63	104.1	132.6
N2	18.1	0	59.5	65.5	32.8	59.6	81.6	95.2	86.4	129.1	157.2	121.1	103.8	95.9	76.1	103.4	44.9	86	114.5
N3	41.4	59.5	0	88.8	56.1	82.9	104.3	118.5	26.9	152.4	180.5	144.4	127.1	119.2	99.4	126.7	104.4	145.5	174
N4	47.4	65.5	88.8	0	62.1	88.9	110.9	29.7	115.7	63.6	91.7	150.4	131.1	125.2	105.4	132.7	110.4	151.8	180.3
N5	14.7	32.8	56.1	62.1	0	26.8	48.8	91.8	83	125.7	53.8	88.3	71	63.1	43.3	70.6	77.7	118.8	147.3
N6	41.5	59.6	82.9	88.9	26.8	0	75.6	118.6	109.8	152.5	180.6	115.1	97.8	36.3	16.5	43.8	104.5	145.6	174.1
N7	63.5	81.6	104.3	110.9	48.8	75.6	0	140.6	131.8	174.5	202.6	39.5	22.2	111.9	92.1	119.4	126.5	167.6	196.1
N8	77.1	95.2	118.5	29.7	91.8	118.6	140.6	0	145.4	33.9	62	180.1	162.8	154.9	135.1	162.4	140.1	181.2	209.7
N9	68.3	86.4	26.9	115.7	83	109.8	131.8	145.4	0	179.3	207.4	171.3	154	146.1	126.3	153.6	131.3	172.4	200.9
N10	111	129.1	152.4	63.6	125.7	152.5	174.5	33.9	179.3	0	28.1	214	196.7	174.1	154.3	181.6	174	215.1	243.6
N11	139.1	157.2	180.5	91.7	53.8	180.6	202.6	62	207.4	28.1	0	242.2	224.8	216.9	197.1	224.4	202.1	243.2	271.7
N12	103	121.1	144.4	150.4	88.3	115.1	39.5	180.1	171.3	214	242.2	0	17.3	151.4	131.6	158.9	166	207.1	235.6
N13	85.7	103.8	127.1	131.1	71	97.8	22.2	162.8	154	196.7	224.8	17.3	0	134.1	114.3	141.6	148.7	189.8	218.3
N14	78	95.9	119.2	125.2	63.1	36.3	111.9	154.9	146.1	174.1	216.9	151.4	134.1	0	52.8	80.1	140.8	181.9	210.4
N15	58	76.1	99.4	105.4	43.3	16.5	92.1	135.1	126.3	154.3	197.1	131.6	114.3	52.8	27.3	27.3	121	162.1	190.6
N16	85.3	103.4	126.7	132.7	70.6	43.8	119.4	162.4	153.6	181.6	224.4	158.9	141.6	80.1	121	0	148.3	189.4	217.9
N17	63	44.9	104.4	110.4	77.7	104.5	126.5	140.1	131.3	174	202.1	166	148.7	140.8	162.1	148.3	0	41.1	69.6
N18	104.1	86	145.5	151.8	118.8	145.6	167.6	181.2	172.4	215.1	243.2	207.1	189.8	181.9	162.1	189.4	41.1	0	28.5
N19	132.6	114.5	174	180.3	147.3	174.1	196.1	209.7	200.9	243.6	271.7	235.6	218.3	210.4	190.6	217.9	69.6	28.5	0

ตารางที่ 2 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสายสัญญาณระหว่างจุดในโครงข่าย (หน่วย: บาทต่อกิโลเมตร)

S/D	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18	N19
N1	10000	181000	414000	474000	147000	415000	635000	771000	683000	111000	1391000	1030000	857000	780000	580000	853000	630000	1041000	1326000
N2	181000	10000	595000	655000	328000	596000	816000	952000	864000	1291000	1572000	1211000	1038000	959000	761000	1034000	449000	860000	1145000
N3	414000	595000	10000	888000	561000	829000	1043000	1185000	269000	1524000	1805000	1444000	1271000	1192000	994000	1267000	1044000	1455000	1740000
N4	474000	655000	888000	10000	621000	889000	1109000	297000	1157000	636000	917000	1504000	1311000	1252000	1054000	1327000	1104000	1518000	1803000
N5	147000	328000	561000	621000	10000	268000	488000	918000	830000	1257000	538000	883000	710000	631000	433000	706000	777000	1188000	1473000
N6	415000	596000	829000	889000	268000	10000	756000	1186000	1098000	1525000	1806000	1151000	978000	363000	165000	438000	1045000	1456000	1741000
N7	635000	816000	1043000	1109000	488000	756000	10000	1406000	1318000	1745000	2026000	395000	222000	1119000	921000	1194000	1265000	1676000	1961000
N8	771000	952000	1185000	297000	918000	1186000	1406000	10000	1454000	339000	620000	1801000	1628000	1549000	1351000	1624000	1401000	1812000	2097000
N9	683000	864000	269000	1157000	830000	1098000	1318000	1454000	10000	1793000	2074000	1713000	1540000	1461000	1263000	1536000	1313000	1724000	2009000
N10	111000	1291000	1524000	636000	1257000	1525000	1745000	339000	1793000	10000	281000	214000	1967000	1741000	1543000	1816000	1740000	2151000	2436000
N11	1391000	1572000	1805000	917000	538000	1806000	2026000	620000	2074000	281000	10000	2422000	2248000	2169000	1971000	2244000	2021000	2432000	2717000
N12	1030000	1211000	1444000	1504000	883000	1151000	395000	1801000	1713000	2140000	2422000	10000	173000	1514000	1316000	1589000	1660000	2071000	2356000
N13	857000	1038000	1271000	1311000	710000	978000	222000	1628000	154000	1967000	2248000	173000	10000	1341000	1143000	1416000	1487000	1898000	2183000
N14	780000	959000	1192000	1252000	631000	363000	1119000	1549000	1461000	1741000	2169000	1514000	1341000	10000	528000	801000	1408000	1819000	2104000
N15	580000	761000	994000	1054000	433000	165000	921000	1351000	1263000	1543000	1971000	1316000	1143000	528000	10000	273000	1210000	1621000	1906000
N16	853000	1034000	1267000	1327000	706000	438000	1194000	1624000	1536000	1816000	2244000	1589000	1416000	801000	273000	10000	1483000	1894000	2179000
N17	630000	449000	1044000	1104000	777000	1045000	1265000	1401000	1313000	1740000	2021000	1660000	1487000	1408000	1210000	1483000	10000	411000	696000
N18	1041000	860000	1455000	1518000	1188000	1456000	1676000	1812000	1724000	2151000	2432000	2071000	1898000	1819000	1621000	1894000	411000	10000	285000
N19	1326000	1145000	1740000	1803000	1473000	1741000	1961000	2097000	2009000	2436000	2717000	2356000	2183000	2104000	1906000	2179000	696000	285000	10000



ภาพที่ 3 ผลการออกแบบโครงข่ายเพื่อติดตั้งสายสัญญาณ

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] พิสิษฐ์ ชายภูเกียรติกิจอง. การออกแบบโครงข่ายคอมพิวเตอร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: บริษัท เอเชีย ดิจิตอล จำกัด, 2550.
- [2] สมชาย ประสิทธิ์จตุระกุล. การออกแบบและวิเคราะห์อัลกอริทึม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.
- [3] A. Dehestani, and P. Hajipour. "Comparative Study of M/Er/1 and M/M/1 Queuing Delay Models of the Two IP-PBXs." *Journal of Convergence Information Technology*, Vol.5, pp. 36-42, 2010.
- [4] A. Kershenbaum, P. Kermani, and G. A. Grover. "MENTOR: An Algorithm for Mesh Network Topological Optimization and Routing." *In Proceeding of the IEEE Transaction on Communications*, Vol.39,



- pp. 503-513, 1991.
- [5] A. Sridharan, C. Diot, and R. Gurerin. "Achieving Near-Optimal Traffic Engineering Solutions for Current OSPF/ISIS Networks." *In Proceeding of INFOCOM*, pp. 1167-1177, 2003.
- [6] B. Fortz, and M. Thorup. "Internet Traffic Engineering by Optimizing OSPF Weights." *In Proceedings of the IEEE INFOCOM*, Vol.2, pp.519-528, 2000.
- [7] H. Takahashi and A. Matsuyama. "An Approximate Solution for the Steiner Problem in Graphs." *Math. Japonica*, Vol.6, pp. 533-577, 1980.
- [8] J. L. Wang. "Traffic Routing and Performance Analysis of Common Channel Signaling System no.7 Network." *In Proceedings of the Global Telecommunications Conference*, Vol.1, pp. 301-305, 1991.
- [9] K. Jaroenrat and P. Charnkeitkong. "On Routing Performance of MENTOR Algorithm." *WSEAS Transaction on Communications*, Issue 9, Vol.5, pp. 1769-1776, 2006.
- [10] K. Jaroenrat and P. Charnkeitkong. "Enhanced MENTOR Algorithm with ECMP Routing Enable." *IJDCTA: International Journal of Digital Content Technology and its Applications*, Vol.7, pp. 10-20, 2013.
- [11] N. F. Maxemchuk. "Video Distribution on Multicast Networks." *IEEE Journal on Selected areas in Communications*, Vol.15, pp. 357-372, 1997.
- [12] N. Wang, and G. Pavlou. "Traffic Engineered Multicast Content Delivery without MPLS Overlay." *IEEE Transactions on Multimedia*, Vol.9, pp. 619-628, 2007.
- [13] P. Hajipour, L. Mohammadi and M. R. Keshavarzi. "Measurements and Comparative of M/M/1 and M/D/1 Queuing Models of Resource Management in Satellite Systems." *JCIT: Journal of Convergence Information Technology*, Vol.6, pp.99-107, 2011.
- [14] P. Charnkeitkong, K. Jaroenrat, and P. Keatthalerenglit. "On IP Network Routing Performance of MENTOR-II Algorithm." *In Proceedings of IT Towards Empowerment International Conference*, pp. 138-143, 2007.
- [15] R. S. Cahn. *Wide Area Network Design*, San Francisco: Morgan Kaufmann, 1998.
- [16] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, and C. Stein. *Introduction to Algorithms*, Massachusetts: The MIT Press, 2009.
- [17] T. Przygienda, N. Shen, and N. Sheth. *M-ISIS: Multi Topology (MT) Routing in IS-IS*. 2005.
- [18] W. Hu, J. Lv and H. Hou. "An Improved Strategy of PIM-SM Protocol Registered Efficiency Based on Recombinant and Slice." *AISS: Advances in Information Sciences and Service Sciences*, Vol.4, pp. 396-402, 2012.
- [19] Z. Wang, Y. Wang, and L. Zhang. "Internet Traffic Engineering without Full-Mesh Overlaying." *In Proceeding of INFOCOM*, pp.565-571, 2001.