

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



191037

รหัสโครงการ SUT7-709-53-12-33



รายงานการวิจัย

การวางแผนโครงข่ายไอพีบนการมัลติเพล็กซ์เชิงความยาวคลื่นภายใต้  
ความไม่แน่นอนของทราฟฟิกเพื่อการใช้งานแบนด์วิดท์ใน

โครงข่ายแกนหลักของชาติอย่างมีประสิทธิภาพ

(IP over WDM Network Planning Under Traffic Uncertainty for  
Efficient Bandwidth Utilization in National Backbone Networks)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

๒๐๐๒๕๕๖๕๖

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



191037

รหัสโครงการ SUT7-709-53-12-33



รายงานการวิจัย

การวางแผนโครงข่ายไอพีบนการมัลติเพล็กซ์เชิงความยาวคลื่นภายใต้  
ความไม่แน่นอนของทราฟฟิกเพื่อการใช้งานแบนด์วิดท์ใน  
โครงข่ายแกนหลักของชาติอย่างมีประสิทธิภาพ

(IP over WDM Network Planning Under Traffic Uncertainty for  
Efficient Bandwidth Utilization in National Backbone Networks)



ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT7-709-53-12-33



## รายงานการวิจัย

การวางแผนโครงข่ายไอพีบนการมัลติเพรสเซสเชิงความยาวคลื่นภายใต้  
ความไม่แน่นอนของทราฟฟิกเพื่อการใช้งานแบนด์วิดท์ใน  
โครงข่ายแกนหลักของชาติอย่างมีประสิทธิภาพ  
(IP over WDM Network Planning Under Traffic Uncertainty for  
Efficient Bandwidth Utilization in National Backbone Networks)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชุติมา พรหมมาก

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2553

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

มิถุนายน 2555

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุกท่านที่ได้ช่วยให้งานวิจัยนี้เสร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบคุณศูนย์คอมพิวเตอร์ และ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้อำนวยความสะดวกในการวิจัย ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในการให้ทุนสนับสนุนการวิจัย และให้งบประมาณในการนำเสนอผลงานวิจัย ณ การประชุมวิชาการนานาชาติ

ผู้วิจัย

มิถุนายน 2555

## บทคัดย่อ

191037

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาและพัฒนาเทคนิคการวางแผนโครงข่ายสำหรับการจัดส่งทราฟฟิกไอพีผ่านโครงข่ายไอพีบนการมัลติเพล็กซ์เชิงความยาวคลื่น (IP over WDM) โดยได้พิจารณาถึงลักษณะความไม่แน่นอนของทราฟฟิกและความสมดุลของการจัดส่งทราฟฟิกด้วยเทคนิคดังกล่าวได้พัฒนาขึ้นในรูปของสมการคณิตศาสตร์แบบโปรแกรมเชิงเส้นเลขจำนวนเต็ม

นวัตกรรมของงานวิจัยนี้ได้แก่การพัฒนาเทคนิคการวางแผนโครงข่าย IP over WDM ที่สามารถ (ก) สร้างความมั่นใจในการสื่อสารข้อมูลในโครงข่ายไอพี (ข) สามารถทำให้เกิดความสมดุลของปริมาณทราฟฟิกภายในโครงข่ายใยแก้วนำแสงที่ใช้การมัลติเพล็กซ์เชิงความยาวคลื่น และ (ค) สามารถรับประกันความเพียงพอของความจุของสัญญาณที่เตรียมให้กับทราฟฟิกไอพีซึ่งอาจมีความแปรปรวนของปริมาณทราฟฟิกในระดับที่ต้องการได้ จากผลการทดลองสังเกตได้ว่าเทคนิควิธีที่นำเสนอสามารถกระจายทราฟฟิกในโครงข่ายใยแก้วนำแสงมากขึ้น ทำให้ลดความไม่สมดุลทราฟฟิกได้ถึง 68 % และสามารถเพิ่มการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรโครงข่ายได้สูงถึง 8 % ในการรองรับทราฟฟิกไอพีที่มีลักษณะทราฟฟิกที่แปรปรวน

## Abstract

191037

This research presents a study and development of network planning techniques for transporting traffic across IP over WDM networks. In particular, traffic uncertainty and load balance are incorporated into the network planning procedure. The proposed techniques are mathematically formulated as an integer linear programming model.

Our key contribution is that the proposed model can address three important issues including (a) ensuring connectivity of the IP layer (logical topology) (b) balancing traffic load in WDM networks and (c) ensuring network capacity to accommodate traffic demand under traffic uncertainty scenarios. We observe that the proposed network planning technique with load balancing consideration enables much higher traffic distribution across the physical links allowing up to 63 % decreasing in unbalancing index and up to 8 % increasing in the resource utilization needed to support IP traffic demand with traffic uncertainty considerations.

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ .....	ก
บทคัดย่อ .....	ข
Abstract .....	ก
สารบัญ .....	ง
สารบัญภาพ .....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย .....	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและปริทัศน์วรรณกรรม	
2.1 โครงสร้างโครงข่าย IP over WDM .....	4
2.2 การวางแผนโครงข่าย IP over WDM .....	5
2.3 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย.....	6
2.4 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	7
บทที่ 3 การทดลองและวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของทราฟฟิกไอพี	
3.1 ความสำคัญและที่มาของการวิเคราะห์ลักษณะความไม่แน่นอนของทราฟฟิกไอพี.....	9
3.2 โครงสร้างของโครงข่ายมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและการออกแบบการทดลอง....	10
3.3 การวิเคราะห์คุณลักษณะการกระจายของทราฟฟิก.....	13
3.4 สรุป.....	17
บทที่ 4 การวางแผนโครงข่ายไอพีบนบนการมัลติเพล็กซ์เชิงความยาวคลื่นภายใต้ความไม่แน่นอนของทราฟฟิก	
4.1 แนวคิดในการวางแผนโครงข่ายเสมือนภายใต้ความไม่แน่นอนของทราฟฟิก.....	18

	หน้า
4.2 การพัฒนาสมการคณิตศาสตร์โปรแกรมเชิงเส้นเลขจำนวนเต็ม.....	20
4.2.1 การนิยามตัวแปร.....	20
4.2.2 สมการเชิงเส้นเลขจำนวนเต็มสำหรับวางแผนโครงข่ายเสมือน.....	21
4.3 โปรแกรมช่วยหาคำตอบสำหรับการโปรแกรมเชิงเส้นเลขจำนวนเต็ม.....	24
4.3.1 การแปลงสมการเชิงเส้นเลขจำนวนเต็มเป็นคำสั่งในโปรแกรม.....	24
4.3.2 ส่วนประกอบของโปรแกรม.....	26
4.4 การทดลองและการวิเคราะห์ผล.....	28
4.4.1 ลักษณะพารามิเตอร์และโครงข่ายที่ใช้ในการทดลอง.....	28
4.4.2 การวิเคราะห์ความสมดุลของกราฟฟิคในโครงข่าย.....	29
4.4.3 การศึกษาผลกระทบจากงบประมาณที่กำหนดและความไม่แน่นอน ของกราฟฟิค.....	31
4.4.4 การวิเคราะห์การใช้ฟังก์ชันการกระจายตัวของกราฟฟิคที่ต่างกัน ในการวางแผนโครงข่ายเสมือน.....	32
4.4.5 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการใช้ทรัพยากรโครงข่าย.....	34
4.5 สรุป.....	35
บทที่ 5 สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	36
บรรณานุกรม .....	38
ภาคผนวก	
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	41
ประวัติผู้วิจัย.....	51

## สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แบบจำลองโครงข่าย IP over WDM .....	5
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของโครงข่ายภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.....	11
รูปที่ 3.2 ปริมาณของทราฟฟิกที่ไหลผ่านสวิตช์ S4.....	12
รูปที่ 3.3 ปริมาณของทราฟฟิกที่ไหลผ่านสวิตช์ S13.....	12
รูปที่ 3.4 การเปรียบเทียบการใช้งานทราฟฟิกที่ Switch S4.....	13
รูปที่ 3.5 Histogram ของทราฟฟิกในช่วงเวลา peak-load ของ Switch S4.....	14
รูปที่ 3.6 Histogram ของทราฟฟิกในช่วงเวลา light-load ของ Switch S4.....	14
รูปที่ 3.7 Histogram ของทราฟฟิกในช่วงเวลา peak-load ของ Switch S13.....	14
รูปที่ 3.8 Histogram ของทราฟฟิกในช่วงเวลา light-load ของ Switch S13.....	15
รูปที่ 3.9 P-P Plot ในช่วง Peak-load ของ Switch S4.....	16
รูปที่ 3.10 P-P Plot ในช่วง Light-load ของ Switch S4.....	16
รูปที่ 4.1 หน้าต่างโปรแกรม IBM ILOC CPLEX Optimization Studio.....	27
รูปที่ 4.2 โครงข่ายที่พิจารณาในการทดลอง.....	28
รูปที่ 4.3 กรณีสัมพันธ์กับความไม่แน่นอนของทราฟฟิกที่ระดับ 90%.....	30
รูปที่ 4.4 กรณีสัมพันธ์กับความไม่แน่นอนของทราฟฟิกที่ระดับ 99%.....	31
รูปที่ 4.5 ดัชนีความไม่สมดุลในกรณีของการกระจายแบบปกติ.....	32
รูปที่ 4.6 ปริมาณของทราฟฟิกในระดับการรับประกันความไม่แน่นอนที่แตกต่างกัน.....	33
รูปที่ 4.7 ดัชนีความไม่สมดุลในกรณีของการรับประกันความไม่แน่นอนที่ 90%.....	33
รูปที่ 4.8 ดัชนีความไม่สมดุลในกรณีของการรับประกันความไม่แน่นอนที่ 95%.....	34
รูปที่ 4.9 ดัชนีความไม่สมดุลในกรณีของการรับประกันความไม่แน่นอนที่ 99%.....	34

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์สำหรับคุณลักษณะการกระจาย.....	15
ตารางที่ 4.1 สัญลักษณ์ที่ใช้สำหรับตัวแปรเซท.....	20
ตารางที่ 4.2 สัญลักษณ์ที่ใช้สำหรับตัวแปรตัดสินใจ.....	20
ตารางที่ 4.3 สัญลักษณ์ที่ใช้สำหรับพารามิเตอร์ที่มีค่าคงที่.....	21
ตารางที่ 4.4 การแปลงสมการคณิตศาสตร์ของการโปรแกรมเชิงเส้นเป็นรูปแบบ คำสั่งในโปรแกรม IBM ILOG CPLEX Optimization Studio.....	25
ตารางที่ 4.5 พารามิเตอร์ค่าคงที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างเครือข่าย.....	29
ตารางที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์การใช้ประโยชน์จ่ายเชื่อมโยง.....	35