



การจัดเส้นทางที่เหมาะสมในโครงข่ายสื่อสารแบบคอนเนกชันโอเรียนเตด  
โดยใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึม

โดย  
วาทิต เบญจพลกุล

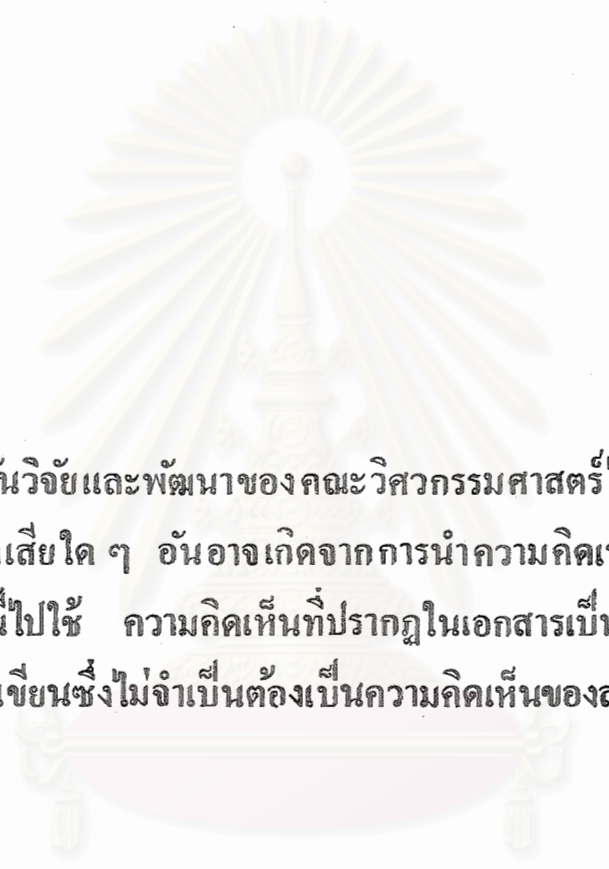
โครงการวิจัยเลขที่ 147-MRD-2540  
ทุนส่งเสริมการวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิจัยและพัฒนาคณะวิศวกรรมศาสตร์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
กรุงเทพฯ

สิงหาคม 2541

จพ  
วท 15  
007290



สถาบันวิจัยและพัฒนาของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ไม่รับผิดชอบ  
ต่อผลเสียใด ๆ อันอาจเกิดจากการนำความคิดเห็นในเอกสาร  
ฉบับนี้ไปใช้ ความคิดเห็นที่ปรากฏในเอกสารเป็นความคิดเห็น  
ของผู้เขียนซึ่งไม่จำเป็นต้องเป็นความคิดเห็นของสถาบัน ฯ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การจัดเส้นทางที่เหมาะสมในโครงข่ายสื่อสารแบบคอนเนกชันโอเรียนเตด  
โดยใช้วิธีสถิติอัลกอริทึม

โดย

ผศ.ดร. วาทีต เบญจพลกุล

วุฒิ D.ENG. (ELECTRONICS)



โครงการวิจัยเลขที่ 147-MRD-2540

ทุนส่งเสริมการวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์

ปี 2541

สถาบันวิจัยและพัฒนาคณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรุงเทพฯ

สิงหาคม 2541

## บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เสนอการจัดเส้นทางวงจรเสมือนที่เหมาะสมที่สุดในโครงข่ายสื่อสารที่ให้บริการแบบคอนเนกชันโอเรียนเตดและต้องการระบบการจัดเส้นทางแบบกึ่งสถิตโดยใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึม ซึ่งพัฒนามาจากขั้นตอนวิธีอัลกอริทึม ทาบูเซอรัช และอีโวลูชันนารีคอมพิวติง การจัดเส้นทางวงจรเสมือนพิจารณาจากความเป็นที่พึงเกิดเกิดการสูญหายในวงจรเสมือน เนื่องจากพึงเกิดเกิดการบล็อกขึ้นที่บัฟเฟอร์ด้านขาออกของสวิตช์ที่วงจรเสมือนผ่าน

นอกจากนี้ยังได้เสนอวิธีการกำหนดค่าตอบเริ่มต้นที่ใช้ในการค้นหาค่าตอบที่เหมาะสมที่สุดของฮิวริสติกอัลกอริทึมสำหรับแก้ปัญหานี้ด้วย โดยกำหนดจากเขตของเส้นทางวงจรเสมือนที่ได้จากเทคนิคการจัดเส้นทางที่มีจำนวนฮอปน้อยที่สุดและเทคนิคการจัดเส้นทางที่มีโหนดน้อยที่สุด

ผลการทดสอบการจัดเส้นทางวงจรเสมือน โดยใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึมสำหรับโครงข่ายทดสอบ พบว่าเส้นทางที่ได้จากการจัดเส้นทางโดยใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึมดีกว่าเส้นทางที่ได้จากการใช้เทคนิคการจัดเส้นทางที่มีจำนวนฮอปน้อยที่สุดและเทคนิคการจัดเส้นทางที่มีโหนดน้อยที่สุด โครงการวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบจำนวนรอบการประมวลผลของฮิวริสติกอัลกอริทึมในการจัดเส้นทางวงจรเสมือนเมื่อกำหนดจำนวนของเวกเตอร์แม่และเวกเตอร์ลูกไว้ต่าง ๆ กัน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มจำนวนของเวกเตอร์แม่และเวกเตอร์ลูกสามารถลดจำนวนรอบการประมวลผลของฮิวริสติกอัลกอริทึมลงได้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## Abstract

This research proposes an optimum semi-static virtual circuit routing method in connection-oriented communication network using Heuristic Algorithm, developed from Genetic Algorithm, Tabu Search, and Evolutionary Computing. The routing constraints are the probability of packet loss in virtual circuit due to the blocking of packet at the switch output buffer.

This research also proposes a method to assign initial solution, used to search the optimum point of Heuristic Algorithm. The initial solution is assigned by either a set of virtual circuit route, obtained from minimum hop route technique or from least load route one.

The tested result of optimum virtual circuit routing using the proposed Heuristic Algorithm for any network sizes shows that the routes obtained are better than those obtained from minimum hop route and least load route techniques. In this research, the comparison results of the number of iteration in calculation for Heuristic Algorithm in which the number of mother vectors and the number of son vectors are assigned by several values show that when the number of mother vectors and the number of son vectors are increased, the number of iteration is decreased.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณฝ่ายวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนทุนส่งเสริมการวิจัยนี้จนสำเร็จคล่องตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ขอขอบคุณนายวรวิทย์ เสถียรพัฒนากุล ผู้ช่วยวิจัยที่ช่วยเหลือในการเขียนโปรแกรมการคำนวณ ตลอดจนการจัดพิมพ์รายงานฉบับนี้ จนทำให้งานวิจัยนี้แล้วเสร็จตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

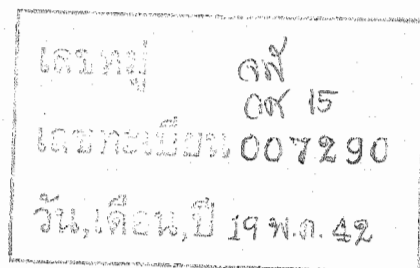
## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ข
กิตติกรรมประกาศ .....	ค
สารบัญตาราง .....	ฉ
สารบัญรูป .....	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์ .....	ญ
บทที่ 1. บทนำ .....	1
ความนำ .....	1
วัตถุประสงค์ .....	6
ขอบเขตโครงการวิจัย .....	6
ประโยชน์ที่ได้รับ .....	6
บทที่ 2. ทฤษฎีคิวอิงและฮิวริสติกอัลกอริทึม .....	8
ความนำ .....	8
ทฤษฎีคิวอิง .....	8
ทฤษฎีอีโวลูชันนารีคอมพิวติง .....	17
ทฤษฎีทาบูเซอรัช .....	18
ทฤษฎีฮินส์นติกอัลกอริทึม .....	19
ทฤษฎีฮิวริสติกอัลกอริทึม .....	22
บทที่ 3. แบบจำลองปัญหาการจัดเส้นทางวงจรเสมือนในโครงข่ายสื่อสาร แบบคอนเนกชันโอเรียนเตด .....	27
ความนำ .....	27
การคำนวณหาค่าวัตถุประสงค์ในการจัดเส้นทาง .....	27
การประยุกต์การใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทาง ทางวงจรเสมือน .....	31

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4. ผลการทดสอบการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารโดยใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึม.....	34
ความนำ .....	34
ผลการกำหนดคำตอบในตอนเริ่มการประมวลผลที่มีต่อจำนวนรอบการค้นหา .....	34
ผลการทดลองฮิวริสติกอัลกอริทึมกับจำนวนของเวกเตอร์แม่.....	40
ผลการทดลองฮิวริสติกอัลกอริทึมกับจำนวนของเวกเตอร์ลูกที่สร้างจากเวกเตอร์แม่.....	44
การทดสอบฮิวริสติกอัลกอริทึมกับโครงข่ายขนาด 26 โหนด.....	48
บทที่ 5. สรุปและข้อเสนอแนะ .....	66
สรุป.....	66
ข้อเสนอแนะ.....	67
รายการอ้างอิง.....	69

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1	ขนาดของบัฟเฟอร์ที่ใช้ส่งแพ็กเก็ตผ่านข่ายเชื่อมโยง ในโครงข่ายทดสอบ 6 โหนด..... 36
ตารางที่ 4.2	อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตในวงจรเสมือนที่ใช้ ทดสอบโครงข่ายขนาด 6 โหนด..... 37
ตารางที่ 4.3	เส้นทางของวงจรเสมือนสำหรับโครงข่าย 6 โหนดที่ได้ จากการใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึม..... 37
ตารางที่ 4.4	จำนวนรอบการประมวลผลของการกำหนดเวกเตอร์ แม่เริ่มต้นการประมวลผลทั้ง 4 วิธี..... 39
ตารางที่ 4.5	เปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดที่แพ็กเก็ตจะ สูญหายในเส้นทางที่ได้จากเทคนิค..... 39
ตารางที่ 4.6	ขนาดบัฟเฟอร์ที่ด้านออกของสวิตช์ที่จะใช้ทำการส่ง แพ็กเก็ตผ่านข่ายเชื่อมโยงสำหรับโครงข่ายทดสอบ 5 โหนด..... 42
ตารางที่ 4.7	อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตในแต่ละวงจรเสมือน ที่ใช้ทดสอบโครงข่าย 5 โหนด..... 43
ตารางที่ 4.8	จำนวนรอบการประมวลผลของฮิวริสติกอัลกอริทึมที่ จำนวนเวกเตอร์แม่จำนวนต่างๆและค่าวัตถุประสงค์ สุดท้ายที่ได้..... 43
ตารางที่ 4.9	เส้นทางของวงจรเสมือนสำหรับโครงข่ายทดสอบ 5 โหนด ที่ได้จากการจัดเส้นทางโดยใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึม..... 44
ตารางที่ 4.10	ค่าวัตถุประสงค์ในแต่ละรอบการประมวลผลของ ฮิวริสติกอัลกอริทึมที่ขนาดบัฟเฟอร์(จำนวนเวกเตอร์ลูก) สำหรับเวกเตอร์แม่ที่มีจำนวน 5, 8, 10 และ 15 เวกเตอร์..... 46
ตารางที่ 4.11	จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของฮิวริสติก อัลกอริทึมที่จำนวนเวกเตอร์ลูกที่สร้างจากเวกเตอร์แม่ 1 เวกเตอร์จำนวนต่างๆและค่าวัตถุประสงค์สุดท้ายที่ได้..... 47

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.12 อัตราการไหลเฉลี่ยของเพื่อกเกิดในแต่ละวงจรเสมือน ของโครงข่ายขนาด 26 โหนด.....	49
ตารางที่ 4.13 เส้นทางของวงจรเสมือนสำหรับโครงข่ายทดสอบ ขนาด 26 โหนดที่ได้จากการจัดเส้นทางโดยใช้ฮิวริสติก อัลกอริทึม.....	55
ตารางที่ 4.14 จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของฮิวริสติก อัลกอริทึมและค่าวัตถุประสงค์สุดท้ายที่ได้จากการทดสอบ กับโครงข่ายขนาด 26 โหนด.....	65

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1	ระบบคิวอิงที่มีขนาดบัฟเฟอร์เป็น $K$ ..... 10
รูปที่ 2.2	แสดงสเตตโคอะแกรมของระบบคิวอิงที่มีบัฟเฟอร์ขนาด $K$ ..... 10
รูปที่ 2.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดการบล็อกขึ้นที่บัฟเฟอร์เทียบกับโหนดที่ขนาดต่างๆ..... 16
รูปที่ 2.4	โพลีชาร์ตแสดงขั้นตอนของอีโวลูชันนารีคอมพิวติง..... 17
รูปที่ 2.5	โพลีชาร์ตแสดงขั้นตอนของทาบูเซอร์ช..... 19
รูปที่ 2.6	รูปแบบโครโมโซม..... 20
รูปที่ 2.7	การทำรีโพรดักชัน..... 20
รูปที่ 2.8	การทำครอสโอเวอร์..... 21
รูปที่ 2.9	การทำมิวเตชัน..... 21
รูปที่ 2.10	บล็อกโคอะแกรมการทำงานของฮิวริสติกอัลกอริทึม..... 22
รูปที่ 2.11	โพลีชาร์ตของฮิวริสติกอัลกอริทึมที่ได้เสนอ..... 24
รูปที่ 3.1	แบบจำลองโนดในโครงข่ายสื่อสาร..... 28
รูปที่ 3.2	แสดงการคิดค่าอัตราการใช้ของแก็กเกทในข่ายเชื่อมโยง, $F_{xy}$ , ที่ต่อโนดที่ $x$ เข้ากับโนดที่ $y$ ..... 29
รูปที่ 3.3	การถอดรหัสเวกเตอร์..... 33
รูปที่ 4.1	โทโปโลยีของโครงข่ายทดสอบขนาด 6 โหนด..... 36
รูปที่ 4.2	กราฟแสดงการเปรียบเทียบวิธีการกำหนดเวกเตอร์แม่เริ่มต้นการประมวลผลต่างๆกัน..... 38
รูปที่ 4.3	กราฟแสดงค่าวัตถุประสงค์ในแต่ละรอบการประมวลผลของฮิวริสติกอัลกอริทึมที่จำนวนเวกเตอร์แม่เป็น 3, 5, 10 และ 15 เวกเตอร์..... 40
รูปที่ 4.4	กราฟแท่งแสดงจำนวนรอบการประมวลผลของฮิวริสติกอัลกอริทึมที่จำนวนเวกเตอร์แม่เป็น 3, 5, 10 และ 15 เวกเตอร์..... 41
รูปที่ 4.5	โทโปโลยีของโครงข่ายทดสอบขนาด 5 โหนด..... 42

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.6	กราฟแสดงค่าวัตถุประสงคในแตลรอบการประมวลผลของฮิวริสติกอัลกอริทึมที่ขนาดบัพเฟอร์(จำนวนเวกเตอร์ลูก) สำหรับเวกเตอร์แม่ที่มีจำนวน 5, 8, 10 และ 15 เวกเตอร์.....	45
รูปที่ 4.7	กราฟแท่งแสดงจำนวนรอบการประมวลผลของฮิวริสติกอัลกอริทึมที่ขนาดบัพเฟอร์(จำนวนเวกเตอร์ลูก) เป็น 5, 8, 10 และ 15 เวกเตอร์ต่อหนึ่งเวกเตอร์แม่.....	45
รูปที่ 4.8	โทโปโลยีของโครงข่ายทดสอบขนาด 26 โหนด.....	48
รูปที่ 4.9	กราฟแสดงค่าวัตถุประสงคในแตลรอบการประมวลผลของฮิวริสติกอัลกอริทึม, ยีนส์นิติกอัลกอริทึม, ทาบูเซอร์ช และอีโวลูชันนารีคอมพิวติง ที่ทดสอบกับโครงข่ายขนาด 26 โหนด.....	54

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## คำอธิบายสัญลักษณ์

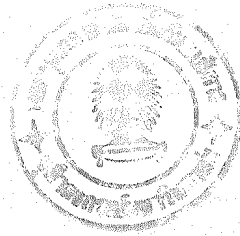
$n$	จำนวนแพ็กเกตในคิว
$\lambda$	อัตราเฉลี่ยการเข้ามาของแพ็กเกต (packet arrival rate)
$t$	เวลา
$P_n$	ความน่าจะเป็นที่จำนวนของแพ็กเกตในคิวเท่ากับ $n$ แพ็กเกต
$T$	ช่วงเวลาที่เข้ามาของแพ็กเกต
$\mu$	อัตราเฉลี่ยที่ใช้ส่งแพ็กเกตออกจากบัฟเฟอร์ (packet departure rate)
$P_B$	ความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตเกิดการบล็อกขึ้นที่บัฟเฟอร์ (probability of packet blocking)
$\rho$	โหลดของระบบคิว (load)
$K$	ขนาดของบัฟเฟอร์
$x$	คำตอบที่เป็นไปได้ของปัญหา
$X$	เซตของคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของปัญหา
$x_n$	กลุ่มคำตอบในรอบการประมวลผล
$NC(x)$	เซตของคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบ $x$
$H$	ทาบูลิสต์ (Tabu list)
$c(x)$	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ต้องการหาคำตอบ
$k$	จำนวนเวกเตอร์แม่ที่ใช้ในฮิวริสติกอัลกอริทึม
$L$	ขนาดบัฟเฟอร์ที่ใช้เก็บเวกเตอร์แม่และเวกเตอร์ที่สร้างจากเวกเตอร์แม่ $l$ เวกเตอร์
$N$	จำนวนโหนดในโครงข่ายสื่อสาร
$i, j$	โหนดต้นทางและโหนดปลายทาง
$P_{ij}$	เส้นทางที่ถูกเลือกใช้
$P_{ij}$	เซตของเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดของวงจรเสมือนที่เชื่อมจากโหนด ที่ $i$ ไปยังโหนดที่ $j$
$P_w$	เซตของเส้นทางที่ถูกเลือกใช้สำหรับแต่ละวงจรเสมือนในโครงข่ายสื่อสาร

## คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

$F_{xy}$	อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตในข่ายเชื่อมโยงที่ใช้ส่งแพ็กเก็ตจากโหนดที่ $x$ ไปยังโหนดที่ $y$
$C_{xy}$	ความจุของข่ายเชื่อมโยงจากโหนดที่ $x$ ไปยังโหนดที่ $y$
$r_{xy}(i, j)$	อัตราส่วนที่วงจรเสมือน $p_{ij}$ ที่ต่อจากโหนดที่ $i$ ไปยังโหนดที่ $j$ ได้เข้าใช้ข่ายเชื่อมโยงที่ต่อจากโหนดที่ $x$ ไปยังโหนดที่ $y$
$K_{xy}$	ขนาดของบัฟเฟอร์ที่ใช้ส่งแพ็กเก็ตจากโหนดที่ $x$ ไปยังโหนดที่ $y$
$P_b(x, y)$	ค่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะเกิดการสูญหายขึ้นเนื่องจากการบล็อกของบัฟเฟอร์ด้านขาออกของสวิตช์ในการส่งแพ็กเก็ตจากโหนดที่ $x$ ไปยังโหนดที่ $y$
$\rho_{xy}$	โหลดของกระบวนการคิวอิงที่บัฟเฟอร์ขาออกของสวิตช์
$L_{xy}$	อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ต ในข่ายเชื่อมโยงที่ใช้ส่งแพ็กเก็ตจากโหนดที่ $x$ ไปยังโหนดที่ $y$ ที่หายไป
$f_{ij}(x, y)$	อัตราการไหลของแพ็กเก็ตที่สูญหายไปสำหรับข่ายเชื่อมโยงจากโหนดที่ $x$ ไปยังโหนดที่ $y$ เฉพาะวงจรเสมือนที่ส่งแพ็กเก็ตจากโหนดที่ $i$ ไปยังโหนดที่ $j$
$P_{Bm}(i, j)$	ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการสูญหายของแพ็กเก็ตเนื่องจากการบล็อกของบัฟเฟอร์ภายในโหนดต่างๆตลอดเส้นทางที่วงจรเสมือนผ่าน
$P\%$	ค่าร้อยละที่ใช้ในการเผื่อไว้
$v$	เซตของเส้นทางของทุกๆวงจรเสมือนในรูปเวกเตอร์

## บทที่ 1

### บทนำ



#### ความนำ

ในการใช้บริการส่งข้อมูลผ่านทางโครงข่ายสื่อสารนั้น เมื่อมีข้อมูลที่ต้องการส่งจากต้นทางไปยังปลายทาง ต้นทางต้องขอใช้บริการจากโครงข่ายเพื่อที่จะนำข้อมูลจากต้นทางส่งผ่านโครงข่ายไปยังปลายทางโดยให้มีการใช้โครงข่ายสื่อสารให้คุ้มค่าที่สุด โครงข่ายสื่อสารสามารถแบ่งตามการให้บริการได้ 2 ลักษณะคือโครงข่ายที่ให้บริการแบบคอนเนกชันโอเรียนเตด (Connection-oriented) และโครงข่ายที่ให้บริการแบบคอนเนกชันเลส(Connectionless) (Stallings, 1994)

โครงข่ายที่ให้บริการแบบคอนเนกชันเลสนั้น ข้อมูลทั้งหมดที่ต้องการส่งจากต้นทางไปยังปลายทางจะถูกแบ่งออกเป็นแพ็กเก็ตย่อยๆหรือ datagram โดยเส้นทางในการส่งผ่าน datagram ถูกจัดเส้นทางขึ้นเมื่อ datagram จะส่งออกจากโหนดที่ datagram นั้นอยู่ โดยแต่ละ datagram ของข้อมูลที่จะส่งอาจสามารถใช้เส้นทางที่แตกต่างกันได้หลายเส้นทางซึ่งขึ้นกับการตัดสินใจของโหนดที่ datagram นั้นอยู่ จึงทำให้ datagram สามารถเปลี่ยนแปลงเส้นทางในขณะที่ส่ง datagram ผ่านโครงข่ายสื่อสารได้หากเกิดการล้มเหลวของโหนดใดโหนดหนึ่งขึ้นภายในโครงข่าย นอกจากนี้ datagram ที่รับได้ที่ปลายทางอาจไม่เรียงลำดับของข้อมูลก่อนหลัง ดังนั้นที่ปลายทางจำเป็นต้องสามารถทำการจัดลำดับของ datagram ที่ได้รับแล้วจึงสามารถนำ datagram รวมเข้าด้วยกันเป็นข้อมูลที่ต้นทางส่งให้ได้ การส่ง datagram ผ่านโหนดในโครงข่ายจะต้องเสียเวลาในการประมวลผลเพื่อจัดเส้นทางให้กับ datagram นั้นและทุกๆโหนดในโครงข่ายจำเป็นที่จะต้องมีหน่วยประมวลผลในการจัดเส้นทางซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในส่วนของโหนดในโครงข่ายสื่อสารมาก (Stallings, 1994)

ส่วนโครงข่ายที่ให้บริการแบบคอนเนกชันโอเรียนเตดนั้น ก่อนที่จะมีการส่งข้อมูลจำเป็นที่ต้องมีการต่อเส้นทางจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางก่อน เพื่อทำการจองช่องสัญญาณของโครงข่ายสื่อสารสำหรับใช้ในการส่งแพ็กเก็ตของข้อมูล โดยเส้นทางที่ต่อถึงกันนี้เรียกว่าวงจรเสมือน(virtual circuit) แล้วจึงทำการส่งข้อมูลผ่านทางวงจรเสมือนนั้น วงจรเสมือนถูกต่อถึงกันจน

กว่าการใช้บริการส่งผ่านข้อมูลจะเสร็จสิ้นลง แล้วจึงทำการยกเลิกการต่อถึงกันนั้นเพื่อทำการคืนช่องสัญญาณที่ใช้แก่โครงข่าย จากหลักการดังกล่าวพบว่าโครงข่ายที่ให้บริการแบบคอนเนกชันโอเรียนเตดสิ้นเปลืองช่องสัญญาณเมื่อไม่มีการส่งข้อมูลในช่วงของการต่อวงจรเสมือนและหากมีขั้วเชื่อมโยงโคข่ายเชื่อมโยงหนึ่งที่วงจรเสมือนนั้นให้อยู่เกิดการล้มเหลวขึ้น ต้นทางก็ไม่สามารถส่งผ่านข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางได้ (Stallings, 1994)

อย่างไรก็ตามในปัจจุบันอุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารได้ถูกพัฒนาให้มีความเชื่อถือได้สูง อีกทั้งยังมีความจุช่องสัญญาณที่สูงขึ้น จึงทำให้โครงข่ายสื่อสารที่ให้บริการส่งข้อมูลแบบคอนเนกชันโอเรียนเตดมีความเหมาะสมกว่าโครงข่ายที่ให้บริการแบบคอนเนกชันเลส (Green, 1995) โครงข่ายที่ให้บริการแบบคอนเนกชันโอเรียนเตดซึ่งมีการส่งผ่านข้อมูลเป็นแพ็กเก็ตด้วยอัตราการส่งแพ็กเก็ตที่สูงเช่น โครงข่ายเอทีเอ็ม(ATM Network) จะมีโครงข่ายศูนย์กลางทำหน้าที่ในการค้นหาและจัดเส้นทางเป็น Central Control Network (Stallings, 1994) เมื่อมีการขอใช้บริการส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางผ่านโครงข่าย Central Control Network ทำการจัดเส้นทางโดยขึ้นกับคุณภาพของการให้บริการ(Quality of Service) ที่ต้องการและแจ้งเส้นทางที่จัดได้ให้แก่โหนดต่างๆ เพื่อทำการต่อวงจรเสมือนขึ้น แล้วจึงทำการส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง (Schwartz, 1996)

การจัดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารที่ให้บริการส่งข้อมูลแบบคอนเนกชันโอเรียนเตดคือการค้นหาและกำหนดเส้นทางให้กับทราฟฟิกของผู้ขอใช้บริการในการส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางโดยให้สอดคล้องกับบริการที่ต้องการของทราฟฟิกของผู้ใช้และบริการที่มีให้จำกัดของโครงข่ายสื่อสาร โดยปัจจัยหลักที่จะนำมาพิจารณาในการเลือกเส้นทางให้กับทราฟฟิกของผู้ใช้โครงข่ายคือประสิทธิภาพสูงสุดและคุ่มค่าที่ต่ำในการให้บริการแก่ผู้ใช้ของโครงข่ายเช่น คุณภาพของการให้บริการ วัสดุสามารถ(Throughput) ในขณะที่ค่าใช้จ่ายของโครงข่ายสื่อสารโดยรวมต่ำที่สุด โดยขึ้นกับเงื่อนไขที่เทคโนโลยีของระบบสวิทช์ของโครงข่ายสื่อสาร ลักษณะของทราฟฟิกของผู้ใช้ ระดับบริการที่มีให้ของโครงข่ายและบริการที่ผู้เข้ามาใช้ต้องการ (Steenstrup, 1995)

การพิจารณาประสิทธิภาพของโครงข่ายสื่อสารที่ให้บริการแบบคอนเนกชันโอเรียนเตดนั้น จะสามารถพิจารณาได้จากคุณภาพของการให้บริการของโครงข่ายที่ให้กับข้อมูลที่ผู้ใช้ต้องการส่ง และอัตราการส่งข้อมูลสูงสุดที่สามารถให้บริการได้โดยที่มีคุณภาพของการให้บริการที่ยังสามารถที่จะยอมรับได้ คุณภาพของการให้บริการของโครงข่ายสื่อสารขึ้นกับปัจจัยที่สำคัญอยู่ 2 ประการคือ การประวิงเวลาของแพ็กเก็ต(Packet Delay) และความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายไป(Packet Loss Probability) ในขณะที่ทำการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลผ่านวงจรเสมือน (Steenstrup, 1995)



ในการจัดเส้นทางอาจสามารถแบ่งการจัดเส้นทางในระบบโทรคมนาคมได้ตามสถานะของการเปลี่ยนแปลงของทราฟฟิกในโครงข่ายได้ดังนี้ (Streenstrup, 1995)

1 การจัดเส้นทางแบบสถิต(Static routing system) โดยเส้นทางของทราฟฟิกจะถูกกำหนดล่วงหน้าไว้แล้ว และจะไม่มีมีการเปลี่ยนแปลงตามสถานะทราฟฟิกที่เกิดขึ้นในโครงข่าย เส้นทางที่กำหนดขึ้นมานี้จะได้มาจากการคาดคะเนการเข้าใช้งานโครงข่ายของผู้ใช้ไว้ตั้งแต่ในช่วงของการออกแบบโครงข่าย โดยมีวัตถุประสงค์เพียงให้โครงข่ายสามารถที่จะให้บริการแก่ผู้ใช้ได้ระดับหนึ่งเท่านั้น โดยให้มีค่าใช้จ่ายรวมของโครงข่ายน้อยที่สุด เนื่องจากเส้นทางที่กำหนดให้จะไม่ขึ้นกับสถานะของทราฟฟิกปัจจุบันภายในโครงข่าย จึงทำให้บริการและประสิทธิภาพของการใช้งานโครงข่ายไม่คุ้มค่า ถึงแม้ระบบโดยรวมจะมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำ

2 การจัดเส้นทางแบบกึ่งสถิต(Quasi-static routing system) เป็นการจัดเส้นทางที่สามารถจัดเส้นทางใหม่ได้ตามสถานะของทราฟฟิกภายในโครงข่ายในทุกๆช่วงเวลายาวนานหนึ่งๆ หรือทำการจัดเส้นทางใหม่เมื่อเกิดการล้มเหลวที่ข่ายเชื่อมโยงหรือสวิตช์ที่อยู่ภายในโครงข่าย โครงข่ายที่ใช้การจัดเส้นทางแบบกึ่งสถิตนี้จะต้องมีอุปกรณ์ประมวลผลที่สามารถทำการประมวลหาเส้นทางที่เหมาะสม และอุปกรณ์ที่สามารถจะตรวจวัดสภาพทราฟฟิกภายในโครงข่ายได้ในช่วงเวลาหนึ่งๆ เส้นทางที่ได้จากการจัดเส้นทางของระบบนี้จะให้ประสิทธิภาพและความคุ้มค่าของการใช้งานโครงข่ายสูงกว่าของการจัดเส้นทางแบบสถิต เส้นทางที่ได้จะเหมาะสมกับสถานะทราฟฟิกภายในโครงข่ายในขณะนั้น

3 การจัดเส้นทางแบบพลวัต(Dynamic routing system) ระบบจะทำการจัดเส้นทางใหม่บ่อยกว่าการจัดเส้นทางแบบกึ่งสถิต ระบบจะต้องมีอุปกรณ์ที่คอยตรวจวัดอัตราทราฟฟิกของโครงข่ายได้ตลอดเวลา หน่วยประมวลผลและหน่วยความจำที่ใช้ในการจัดเส้นทางที่รวดเร็วมาก โดยระบบจะต้องสามารถตัดสินใจเลือกเส้นทางที่เหมาะสมได้ทันที ประสิทธิภาพของการเข้าใช้งานโครงข่ายที่มีการจัดเส้นทางแบบพลวัตนี้จะดีที่สุดเพราะเส้นทางจะถูกปรับให้เหมาะสมกับสถานะทราฟฟิกปัจจุบันภายในของโครงข่าย ระบบนี้จะมีความซับซ้อนมากกว่าการจัดเส้นทางแบบสถิตและกึ่งสถิต และค่าใช้จ่ายโดยรวมของโครงข่ายจะสูงมากเพราะโครงข่ายจะต้องมีความฉลาดขึ้นและทรัพยากรต่างๆที่ใช้ในการประมวลผลและตรวจดูทราฟฟิกของโครงข่ายที่มีความรวดเร็วในการทำงานจะมีราคาที่สูงมาก

ถึงแม้ว่าการจัดเส้นทางแบบพลวัตจะให้ผลของการจัดเส้นทางที่ให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการจัดเส้นทางแบบสถิตและกึ่งสถิตก็ตาม แต่สำหรับโครงข่ายที่มีสถานะทราฟฟิกที่มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยแล้ว เส้นทางที่ได้จากการจัดเส้นทางในแต่ละครั้งอาจจะให้ประสิทธิภาพของการให้

บริการของโครงข่ายที่ต่างกันเล็กน้อย โครงข่ายอาจยังคงสามารถที่จะใช้เส้นทางเดิมได้โดยไม่จำเป็นต้องทำการจัดเส้นทางใหม่หากประสิทธิภาพของการให้บริการของโครงข่ายยังสามารถที่จะยอมรับได้ ดังนั้นระบบที่มีการจัดเส้นทางใหม่บ่อยๆอาจเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ประมวลผลและอุปกรณ์ตรวจสอบสถานะทราฟฟิกซึ่งมีความเร็วสูง การจัดเส้นทางแบบกึ่งสถิตจึงมีความเหมาะสมกว่าการจัดเส้นทางแบบพลวัตหากโครงข่ายมีการเปลี่ยนแปลงของสถานะทราฟฟิกเล็กน้อย

เทคนิคการจัดเส้นทางที่เป็นที่รู้จักและนิยมใช้กันมากที่สุดในโครงข่ายสื่อสารที่ให้บริการแบบคอนเนกชันโอเรียนเตดคือ เทคนิคการจัดเส้นทางจำนวนฮอปน้อยที่สุด(Minimum Hop Routing) หรือ MHR (Lin และ Wang, 1993) และเทคนิคการจัดเส้นทางโหลดน้อยที่สุด(Least Load Routing) หรือ LLR (Steenstrup, 1995) เทคนิคทั้งสองแบบเป็นเทคนิคการจัดเส้นทางที่ถูกเสนอขึ้นมาเพื่อจัดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารชนิดสวิตช์วงจร(Circuit switch) อย่างไรก็ตามเทคนิคทั้งสองยังไม่สามารถที่จะให้เส้นทางที่ให้คุณภาพในการให้บริการและความคุ้มค่าในการใช้โครงข่ายอย่างเหมาะสมได้ ถึงแม้ว่าเทคนิคการจัดเส้นทางทั้งสองจะเป็นเทคนิคที่ง่ายและสะดวกในทางปฏิบัติก็ตาม

เทคนิคการจัดเส้นทาง MHR จะเป็นเทคนิคการจัดเส้นทางแบบสถิต เส้นทางที่ถูกกำหนดให้เป็นเส้นทางที่ใช้จำนวนของฮอปน้อยที่สุด โดยจะทำการจัดเก็บเส้นทางไว้เป็นตารางตั้งแต่เริ่มทำการออกแบบโครงข่ายไว้ เนื่องจากเส้นทางที่ได้เป็นเส้นทางที่มีจำนวนของฮอปตลอดเส้นทางน้อยที่สุด เส้นทางที่ได้ก็จะมีจำนวนสวิตช์ลิงก์ที่ใช้ก็น้อย เป็นผลให้โอกาสรวมที่แพ็คเกจของข้อมูลจะสูญหายเนื่องจากการถูกบล็อกที่บัฟเฟอร์ด้านออกของสวิตช์ในแต่ละโหนดตลอดเส้นทางที่ต้องผ่านน้อยลงตาม แต่ถึงอย่างไรก็ตามเส้นทางที่ได้นั้นจะไม่ขึ้นกับสถานะของทราฟฟิกภายในโครงข่าย ทำให้โครงข่ายไม่สามารถรับประกันคุณภาพในการให้บริการต่อการส่งข้อมูลผ่านโครงข่ายได้ เป็นผลให้การใช้โครงข่ายได้ไม่คุ้มค่าและยังมีข้อจำกัดของอัตราการส่งแพ็คเกจสูงสุดจากต้นทางไปยังปลายทางใดๆ ไร่ที่ความจุของข่ายเชื่อม โยงใดข่ายเชื่อม โยงหนึ่งในเส้นทางที่ระบุให้ ซึ่งจะไม่สามารถที่จะหลีกเลี่ยงไปใช้เส้นทางอื่นที่ให้ ความจุของเส้นทางมากกว่าได้ และมีโอกาสที่จะเกิดปัญหาทราฟฟิกภายในโครงข่ายอาจจะคับคั่งที่ข่ายเชื่อม โยงใดข่ายเชื่อม โยงหนึ่งได้

สำหรับเทคนิคในการจัดเส้นทาง LLR จะเป็นเทคนิคการจัดเส้นทางแบบพลวัต เส้นทางที่จะทำการกำหนดให้ใช้จะเป็นเส้นทางที่มีทราฟฟิกรวมตลอดเส้นทางที่เบาบางที่สุด ซึ่งก็คือเส้นทางที่แต่ละข่ายเชื่อม โยงตลอดเส้นทางนั้นมีการใช้งานน้อยที่สุด จากการจัดเส้นทางด้วยวิธีดังกล่าวจะพบว่าระบบที่ทำการจัดเส้นทางจะต้องคอยตรวจสอบสถานะทราฟฟิกอยู่ตลอดเวลา เส้นทางที่

ได้เป็นเส้นทางที่หลีกเลี่ยงปัญหาทราฟฟิกที่ไปคับคั่งที่ชายเชื่อมต่อ โขงใดชายเชื่อมต่อ โขงหนึ่งได้ นอก  
จากนี้ยังพบว่าแต่ละชายเชื่อมต่อภายในโครงข่ายจะมีทราฟฟิกภายในชายเชื่อมต่อที่น้อยกว่าเมื่อ  
เทียบกับเทคนิคในการจัดเส้นทาง MHR ซึ่งก็คือโหลดของชายเชื่อมต่อจะลดลง เป็นผลให้โอกาส  
ที่แพ็กเกตของข้อมูลจะสูญหายเนื่องจากการถูกบล็อกที่บัพเฟอร์ด้านขาออกของสวิตช์ที่ทำการส่ง  
แพ็กเกตออกผ่านทางชายเชื่อมโยงนั้นลดลงกว่าโอกาสที่ได้จากเทคนิคในการจัดเส้นทาง MHR  
แต่เทคนิคดังกล่าวจะทำให้การใช้โครงข่ายไม่คุ้มค่าคือความจุภายในชายเชื่อมต่อโยงซึ่งไม่ได้นำไปใช้  
ส่งข้อมูลมีเหลืออยู่มาก นอกจากนี้เส้นทางที่ได้มีโอกาสรวมที่แพ็กเกตของข้อมูลจะสูญหายเนื่อง  
จากการถูกบล็อกที่บัพเฟอร์ด้านขาออกของสวิตช์ในแต่ละ โหนดตลอดเส้นทางที่ต้องผ่านจะสูงมากเมื่อ  
ทำการเทียบกับเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดซึ่งได้จากการค้นหาจากสเปซของเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด

อย่างไรก็ตามหากโครงข่ายสื่อสารที่มีการเปลี่ยนแปลงของทราฟฟิกไม่มากนัก แต่ต้องการ  
เส้นทางที่ให้คุณภาพในการให้บริการที่สูง โครงข่ายสื่อสารดังกล่าวจำเป็นต้องมีเทคนิคในการจัด  
เส้นทางที่เป็นการจัดเส้นทางแบบกึ่งสถิตและเส้นทางที่ได้ให้คุณภาพในการให้บริการได้สูง ไม่จำ  
เป็นที่จะต้องมีความเร็วในการจัดเส้นทางที่รวดเร็วนัก แต่เส้นทางที่ได้ต้องมีความเหมาะสมกว่า  
เส้นทางที่ได้จากเทคนิคการจัดเส้นทาง MHR และเทคนิคการจัดเส้นทาง LLR

ในปัจจุบัน ได้มีผู้วิจัยและพัฒนาเทคนิคการจัดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารที่ให้บริการแบบ  
คอนเนกชันโอเรียนเตด โดยใช้เทคนิคต่างๆในการจัดเส้นทางของวงจรเสมือน Park และ Tsai  
(1993) ได้ใช้เทคนิค Gradient-Projection ในการจัดเส้นทางที่มีค่าผลรวมที่น้อยที่สุดของอัตราการ  
สูญหายของแพ็กเกตในทุกๆชายเชื่อมต่อโยงต่อความต้องการทราฟฟิก (Traffic Demand) ของโครง  
ข่ายเอทีเอ็ม การจัดเส้นทางด้วยวิธีดังกล่าวนี้ไม่สามารถที่จะรับประกันคุณภาพของการให้บริการ  
ของโครงข่ายที่ให้แก่ข้อมูลของผู้ใช้ที่ต้องการส่งจากต้นทางไปยังปลายทางได้ เพราะการจัดเส้น  
ทางด้วยหลักการดังกล่าวจะได้เฉพาะเส้นทางที่มีการสูญหายของแพ็กเกตในชายเชื่อมต่อโยงเท่านั้น  
Lin และ Wang (1993) ได้เสนอวิธีการจัดเส้นทางสำหรับโครงข่ายสื่อสารที่ให้บริการแบบคอน  
เนกชันโอเรียนเตดที่เรียกว่า Minimax Utilization Routing (MUR) ซึ่งใช้เทคนิค Lagrangean  
relaxation โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะหาเส้นทางที่ให้ค่าของอัตราการใช้ของแพ็กเกตของชาย  
เชื่อมต่อโยงที่คับคั่งที่สุดในโครงข่ายให้มีค่าน้อยที่สุด การจัดเส้นทางโดยมีวัตถุประสงค์ดังกล่าวจะ  
ทำให้มีการใช้งานชายเชื่อมต่อโยงน้อยและอาจทำให้ไม่ได้เส้นทางที่ลดอัตราการสูญหายของแพ็กเกต  
ในการส่งข้อมูลผ่านโครงข่ายจากต้นทางไปยังปลายทางได้ นอกจากนี้การใช้เทคนิค Lagrangean  
relaxation และเทคนิค Gradient-Projection เป็นเทคนิคที่อาศัยหลักการทางแคลคูลัสซึ่งมีความยาก  
ในการคำนวณและไม่เหมาะสมในการนำไปใช้ในทางปฏิบัติ

โครงการวิจัยนี้กล่าวถึงเทคนิคการจัดเส้นทางแบบกึ่งสติในโครงข่ายสื่อสารที่ให้บริการแบบคอนเนกชันโอเรียนเตด โดยการนำเอาฮิวริสติกอัลกอริทึมที่ใช้สำหรับค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด ฮิวริสติกอัลกอริทึมดังกล่าวนี้ดัดแปลงมาจากอัลกอริทึมสำหรับการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด เช่น ยีนส์ติกอัลกอริทึม(Genetic Algorithm, GA) (Goldberg, 1991), ทาบู เซอร์ช(Tabu Search, TS) และอีโวลูชันนารีคอมพิวติง(Evolutionary Computing, EC) หรือ อีโวลูชันนารีสตราทิจี(Evolutionary Strategy, ES) (Glover และ Laguna, 1993) เป็นต้น เส้นทางที่ได้จากการจัดเส้นทางเป็นเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโครงข่ายสื่อสารที่มีการเปลี่ยนแปลงของทราฟฟิกไม่มากนัก โดยมีวัตถุประสงค์ขอบเขตของโครงการวิจัยและประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการวิจัยดังนี้

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและดัดแปลงอัลกอริทึมที่ใช้แก้ปัญหาในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด(optimization problem) จากยีนส์ติกอัลกอริทึมโดยการพัฒนาฮิวริสติกอัลกอริทึมที่ค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด
2. สามารถทำการจำลองปัญหาการจัดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารแบบคอนเนกชันโอเรียนเตดที่มีแบบจำลองบัฟเฟอร์ด้านออกของสวิตช์เป็นแบบ M/M/1/K เพื่อให้ได้เส้นทางที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึมได้

### ขอบเขตโครงการวิจัย

1. ออกแบบและดัดแปลงฮิวริสติกอัลกอริทึมที่ใช้แก้ปัญหาในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดจากยีนส์ติกอัลกอริทึมให้ได้ฮิวริสติกอัลกอริทึมที่ค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด
2. ทดลองเขียน โปรแกรมเพื่อทำการแก้ปัญหาในการจัดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารแบบคอนเนกชันโอเรียนเตดที่มีแบบจำลองบัฟเฟอร์ด้านออกของสวิตช์เป็นแบบ M/M/1/K เพื่อให้ได้เส้นทางที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึม

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เรียนรู้และเข้าใจในอัลกอริทึมที่ใช้สำหรับแก้ปัญหาในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด(optimization problem)
2. สามารถนำความรู้ที่ได้จากอัลกอริทึมที่ศึกษาไว้แล้วมาพัฒนาเป็นอัลกอริทึมใหม่ที่มีความเหมาะสมกับปัญหาได้

3. เข้าใจทฤษฎีของโครงข่ายสื่อสารแบบคอนเนกชันโอเรียนเตด
4. สามารถเขียนโปรแกรมสำหรับการจัดเส้นทางวงจรเสมือนที่เหมาะสมที่สุดในโครงข่ายสื่อสารแบบคอนเนกชันโอเรียนเตด
5. เป็นแนวทางในการพัฒนางานวิจัยเข้าสู่งานวิจัยในโครงข่ายสื่อสารเอทีเอ็ม (Virtual Path based ATM Network) ต่อไป

รายงานฉบับสมบูรณ์นี้แบ่งออกเป็น 5 บทกล่าวคือ

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาของปัญหาในการจัดเส้นทาง ชนิดของการจัดเส้นทาง เทคนิคที่ใช้จัดเส้นทางแบบดั้งเดิมและมูลเหตุจูงใจในการทำโครงการวิจัยเรื่องนี้

บทที่ 2 ทฤษฎี กล่าวถึงทฤษฎีต่างๆที่ใช้ประกอบในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางวงจรเสมือนโดยใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึม ได้แก่ ทฤษฎีคิวอิงระบบ M/M/1/K จากนั้นกล่าวถึงอัลกอริทึมที่ใช้ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ ยีนส์นิติกอัลกอริทึม ทาบูเซอร์ช อีโวลูชันนารีคอมพิวติงหรืออีโวลูชันนารีสตราทิจ และฮิวริสติกอัลกอริทึมที่ใช้ในการจัดเส้นทางที่เหมาะสมที่โครงการวิจัยนี้เสนอ

บทที่ 3 การจำลองปัญหา กล่าวถึงการจำลองปัญหาในการจัดเส้นทางสำหรับโครงข่ายสื่อสารที่ให้บริการแบบคอนเนกชันโอเรียนเตดและการกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการจัดเส้นทาง

บทที่ 4 ผลการทดลองที่ได้จากการจัดเส้นทางโครงข่ายสื่อสารที่ให้บริการแบบคอนเนกชันโอเรียนเตดโดยใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึมและการวิเคราะห์ผลของการทดลองที่ได้ โดยจะแบ่งกล่าวออกเป็นสองส่วนคือผลของการจัดเส้นทางโดยใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึมเทียบกับการจัดเส้นทางแบบดั้งเดิมและผลของการจัดเส้นทางโดยใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึมที่ค่าพารามิเตอร์ในการเริ่มต้นต่างๆ

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะกล่าวถึงข้อสรุปของการจัดเส้นทางโดยใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึมและนอกจากนี้ยังกล่าวถึงข้อเสนอแนะและแนวทางในการนำไปพัฒนาต่อเพื่อปรับปรุงให้ได้เทคนิคการจัดเส้นทางที่เป็นการจัดเส้นทางแบบพลวัตได้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีคิวอิงและฮิวริสติกอัลกอริทึม

#### ความนำ

ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีต่างๆที่ใช้ในการจำลองปัญหาการจัดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสาร ที่ให้บริการแบบคอนเนกชันโอเรียนเตด โดยจะแบ่งกล่าวเป็นหัวข้อย่อยๆดังนี้ ส่วนแรกจะกล่าวถึงทฤษฎีคิวอิง (Kleinrock, 1975) ที่จะนำมาจำลองปัญหาในการคำนวณความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตของข้อมูลจะเกิดการสูญหายเนื่องจากเกิดการบล็อกขึ้นที่บัพเฟอร์ด้านขาออกของสวิตช์ โดยได้กล่าวถึงแบบจำลอง M/M/1/K ที่จะนำมาเป็นแบบจำลองของโนดภายในโครงข่าย ส่วนต่อมาจะกล่าวถึงอัลกอริทึมต่างๆที่ใช้ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้แก่ ยีนส์นิติกอัลกอริทึม, ทาบูเซอร์ช และอีโวลูชันนารีคอมพิวติง หรืออีโวลูชันนารีสตราทิจี ซึ่งถูกนำไปดัดแปลงและปรับปรุงให้ได้เป็นฮิวริสติกอัลกอริทึม ในส่วนสุดท้ายจะกล่าวถึงฮิวริสติกอัลกอริทึมโดยละเอียด

#### ทฤษฎีคิวอิง (Kleinrock, 1975 และ Hayes, 1987)

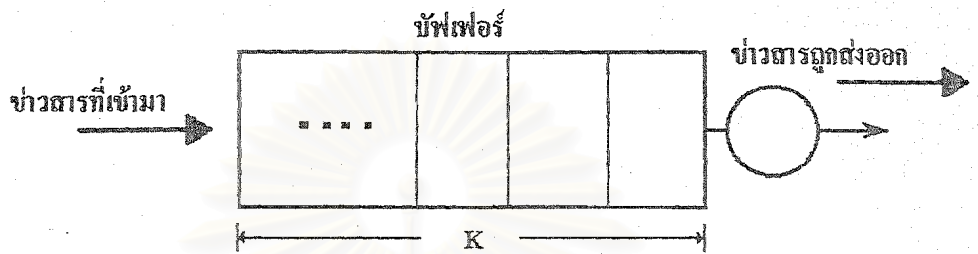
การศึกษาทฤษฎีคิวอิงนั้นจะเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์และออกแบบให้โครงข่ายสื่อสารโทรคมนาคมมีประสิทธิภาพสูงขึ้น (Hayes, 1987) การจัดระเบียบคิวอิงไม่เพียงจะเกิดขึ้นในสวิตช์ภายในโครงข่ายสื่อสารแต่ยังเกิดขึ้นในระบบของการคำนวณด้วยโปรเซสเซอร์หลายๆตัว และระบบที่มีหน่วยความจำหลายๆชุด นอกจากนี้แล้วทฤษฎีคิวอิงยังสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในระบบท่อส่งน้ำมัน โรงงานผลิตเรือ และ ระบบการจราจร เป็นต้น ในโครงข่ายข้อมูลพื้นที่กว้าง(wide-area data network) นั้น แพ็กเก็ตที่เข้ามายังโนดจะถูกจัดเข้าแถวรอการจัดส่งไปยังเส้นทางที่ต้องการ หากเส้นทางที่จะส่งผ่านเกิดความคับคั่งหรือโนดกำลังดำเนินการใดๆอยู่ ระยะเวลาในการดำเนินการของโนด เช่น เวลาที่ใช้ในการอ่านส่วนหัว(header) ของแพ็กเก็ต การตรวจ

สอบความผิดพลาด และการอ่านข่าวสารในการจัดเส้นทาง เป็นต้น จะเป็นเวลาที่ต้องนำมาพิจารณาเพื่อจะสามารถระบุถึงอัตราการให้บริการ(service rate) ของโนดได้ (Hayes, 1987)

ในการพิจารณาถึงระยะเวลาในการรอคอยการให้บริการแก่แพ็กเกตในคิวจะขึ้นกับกระบวนการเข้ามาของแพ็กเกต และความจุของช่องสัญญาณหรืออัตราที่ให้บริการได้ ในระบบคิวอิงจะสามารถที่จะเขียนแบบจำลองระบบแทนด้วยการระบุชนิดของกระบวนการเข้ามากระบวนการให้บริการ จำนวนผู้ให้บริการ(server) และขนาดของบัฟเฟอร์ในระบบคิวอิงได้ด้วยกลุ่มของตัวอักษรและตัวเลข (Hayes, 1987) เช่น  $M / G / 2 / 5$  โดย  $M$  ตัวแรกจะหมายถึงถึงกระบวนการเข้ามาของแพ็กเกตเป็นแบบสุ่มโดยมีสถิติเป็นการกระจายแบบปัวส์ซง(poisson distribution) ตัวอักษร  $G$  ตัวที่สองจะหมายถึงการให้บริการที่มีการกระจายทางสถิติของเวลาเป็นกรณีทั่วไป (general service time distribution) เลข 2 คือจำนวนของผู้ให้บริการในระบบคิวอิง และ ขนาดของบัฟเฟอร์จะเก็บแพ็กเกตได้ 5 แพ็กเกต เป็นต้น

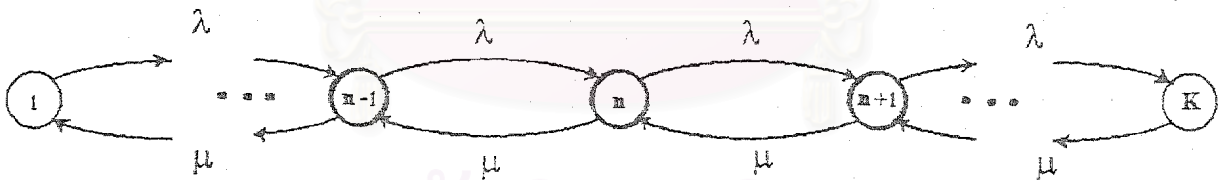
กรณีของคิวอิงระบบ  $M/M/1/K$  นั้น จะได้ว่าตัวอักษร  $M$  ตัวแรกหมายถึงถึงกระบวนการเข้ามาของแพ็กเกตเป็นแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบปัวส์ซง ตัวอักษร  $M$  ตัวที่สองจะหมายถึงการให้บริการที่มีการกระจายเวลาในการให้บริการเป็นแบบเอ็กโปเนนเชียล(exponential service time distribution) และใช้จำนวนของผู้ให้บริการเพียงหนึ่งตัว (single server) โดยในที่นี้จะมีขนาดของบัฟเฟอร์เป็น  $K$  แพ็กเกต ซึ่งสามารถแสดงระบบได้ในรูปที่ 2.1 จากระบบดังรูปจะสามารถที่จะอธิบายระบบได้ด้วยกระบวนการเกิด-ตาย (birth-death process) (Kleinrock, 1975) ซึ่งเป็นกระบวนการมาร์คอฟชนิดหนึ่งซึ่งมีสแตตการเปลี่ยนแปลงเพียงสองสแตตคือ สแตตการเกิดซึ่งทำให้ความยาวของคิวในบัฟเฟอร์ยาวขึ้นหนึ่งหน่วยแพ็กเกตเนื่องจากการเข้ามาของแพ็กเกต และสแตตการตายซึ่งทำให้ความยาวของคิวในบัฟเฟอร์ลดลงหนึ่งหน่วยแพ็กเกตเนื่องจากการให้บริการไป ในระบบคิวอิงระบบนี้จะมีการจัดระเบียบคิวเป็นชนิดเข้าก่อนได้รับบริการก่อน (first in first served : FIFO) และปราศจากสิทธิก่อน(Priority) ระบบสามารถแทนจำนวนแพ็กเกตในคิวได้ด้วยตัวแปรสุ่มที่เป็นค่าดีสครีต  $n(t)$  หากอัตราเฉลี่ยการเข้ามาของแพ็กเกต เป็น  $\lambda$  หน่วยแพ็กเกตต่อวินาที และมีอัตราเฉลี่ยการให้บริการกับแพ็กเกตในบัฟเฟอร์เป็น  $\mu$  หน่วยแพ็กเกตต่อวินาที ในช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปสั้นๆ  $dt$  วินาที แล้วจะได้ว่า  $n(t)$  จะแสดงได้ด้วยห่วงโซ่มาร์คอฟที่เวลาต่อเนื่อง(continuous time Markov chain) ซึ่งเขียนสมการความน่าจะเป็นที่สแตตใดๆที่เวลา  $t = t + dt$  วินาทีแสดงได้ด้วย  $P_n(t+dt)$  โดยเทียบกับที่เวลา  $t$  วินาทีได้ในสมการที่ 2.1

$$\begin{aligned}
 P_n(t+dt) = & P_n(t) \text{ [ ความน่าจะเป็นที่ย้ายมาจากสแตต } n \text{ ที่เวลา } t \text{ ไปยังสแตต } n \text{ ที่เวลา } t + dt \text{ วินาที ]} \\
 & + P_{n-1}(t) \text{ [ ความน่าจะเป็นที่ย้ายมาจากสแตต } n-1 \text{ ที่เวลา } t \text{ ไปยังสแตต } n \text{ ที่เวลา } t + dt \\
 & \text{ วินาที]} \\
 & + P_{n+1}(t) \text{ [ ความน่าจะเป็นที่ย้ายมาจากสแตต } n+1 \text{ ที่เวลา } t \text{ ไปยังสแตต } n \text{ ที่เวลา } t + dt \\
 & \text{ วินาที]}
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$



รูปที่ 2.1 ระบบคิวอิงที่มีขนาดบัฟเฟอร์เป็น K

ในสมการนี้จะทำการสมมติให้ความน่าจะเป็นของการเข้ามา การให้บริการ และสแตตของบัฟเฟอร์เป็นอิสระต่อกัน จากสมการจะพบว่าค่าของ  $P_n(t+dt)$  จะขึ้นกับ  $P_n(t)$ ,  $P_{n-1}(t)$  และ  $P_{n+1}(t)$  เท่านั้น แต่จะไม่ขึ้นกับ  $P_{n-2}(t)$  หรือ  $P_{n+2}(t)$  และค่าความน่าจะเป็นที่ สแตตอื่นๆ จากข้างต้นจะสามารถแสดงสแตตของห่วงโซ่มาร์คอฟได้ดังรูปที่ 2.2 (Hayes, 1987)



รูปที่ 2.2 แสดงสแตตไดอะแกรมของระบบคิวอิงที่มีบัฟเฟอร์ขนาด K

การกระจายแบบปัวส์ซงของการเข้ามาของแพ็กเกต (James, 1993) สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.2



$$P(\text{มีแฟ็กเกิด } k \text{ หน่วยที่เข้ามาในช่วงเวลา } T \text{ วินาที}) = \frac{(\lambda T)^k e^{-\lambda T}}{k!} \quad (2.2)$$

โดยที่ค่า  $k = 0, 1, 2, \dots$

จำนวนเฉลี่ยของจำนวนแฟ็กเกิดที่เข้ามาในช่วงเวลา  $T$  วินาทีจะได้เท่ากับ  $\lambda T$  หน่วยแฟ็กเกิดและจะได้ค่าความน่าจะเป็นที่จะมีแฟ็กเกิดหนึ่งแฟ็กเกิดเข้ามาในช่วงเวลา  $T$  วินาทีดังนี้

$$P(T) = \lambda T \cdot e^{-\lambda T} = (\lambda T) [1 + (-\lambda T) + (-\lambda T)^2 + (-\lambda T)^3 + K]$$

หรือ

$$P(T) = (\lambda T) [1 - \lambda T + (\lambda T)^2 - (\lambda T)^3 + K] \quad (2.3)$$

และจะได้ค่าเฉลี่ยของอัตราการเข้ามาของแฟ็กเกิดเป็น  $\lambda$  แฟ็กเกิดต่อวินาที

จากสมการที่ 2.3 ในช่วงเวลาแคบมากๆ  $dt$  วินาทีจะมีค่าความน่าจะเป็นที่จะมีแฟ็กเกิดเข้ามาหนึ่งหน่วยแฟ็กเกิดโดยประมาณดังนี้

$$\begin{aligned} P_1(dt) &= (\lambda \cdot dt) [1 - \lambda \cdot dt + \lambda^2 (dt)^2 - \lambda^3 (dt)^3 + K] \cong (\lambda \cdot dt)(1 - \lambda \cdot dt) \\ &\cong \lambda \cdot dt - \lambda^2 dt^2 \cong \lambda \cdot dt \end{aligned} \quad (2.4)$$

โดยที่ค่า  $dt$  มีค่าเข้าใกล้ศูนย์

และจะได้ค่าประมาณของค่าความน่าจะเป็นที่จะไม่มีแฟ็กเกิดเข้ามาในช่วงเวลาสั้นๆ  $dt$  วินาที จากสมการที่ 2.2 จะสามารถเขียนได้ดังนี้

$$P_0(dt) = e^{-\lambda \cdot dt} = [1 + (-\lambda \cdot dt) + (-\lambda \cdot dt)^2 + (-\lambda \cdot dt)^3 + K]$$

$$\cong 1 - \lambda dt \quad (2.5)$$

เวลาที่ใช้ในการให้บริการส่งแพ็คเกจหนึ่งแพ็คเกจออกไปซึ่งมีฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (James, 1993) จะได้สมการดังนี้คือ

$$p(t) = \mu \cdot e^{-\mu t} \quad (2.6)$$

ซึ่งจะได้ค่าเฉลี่ยทางเวลาที่ใช้ในการให้บริการส่งแพ็คเกจหนึ่งแพ็คเกจออกไปเป็น  $\frac{1}{\mu}$  วินาที หรือ อัตราเฉลี่ยที่ใช้ส่งแพ็คเกจออกจากบัฟเฟอร์เป็น  $\mu$  แพ็คเกจต่อวินาที

จากสมการที่ 2.6 จะสามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่จะมีแพ็คเกจถูกส่งออกจากบัฟเฟอร์ในช่วงเวลาสั้นๆ  $dt$  วินาทีได้ดังนี้

$$P_s(dt) = \int_0^{dt} p(t) dt = \int_0^{dt} \mu \cdot e^{-\mu t} dt = 1 - e^{-\mu \cdot dt}$$

$$= 1 - \left( 1 + (-\mu \cdot dt) + (-\mu \cdot dt)^2 + (-\mu \cdot dt)^3 + K \right) \cong \mu \cdot dt \quad (2.7)$$

และค่าความน่าจะเป็นที่จะไม่มีแพ็คเกจถูกส่งออกจากบัฟเฟอร์ในช่วงเวลาสั้นๆ  $dt$  วินาทีคือ

$$P_{ns}(dt) = 1 - \mu \cdot dt \quad (2.8)$$

พิจารณาสมการที่ 2.4, 2.5, 2.7 และ 2.8 ร่วมกับรูปที่ 2.2 จะได้ว่า

1) ค่าความน่าจะเป็นที่ย้ายมาจากสแตต  $n$  ที่เวลา  $t$  ไปยังสแตต  $n$  ที่เวลา  $t + dt$  วินาที = ค่าความน่าจะเป็นที่จะไม่มีแฟ็กเกตที่เข้ามาเพิ่มและไม่มีแฟ็กเกตถูกส่งออกไปจากบัฟเฟอร์

$$= (1 - \lambda \cdot dt)(1 - \mu \cdot dt)$$

2) ค่าความน่าจะเป็นที่ย้ายมาจากสแตต  $n-1$  ที่เวลา  $t$  ไปยังสแตต  $n$  ที่เวลา  $t + dt$  วินาที = ค่าความน่าจะเป็นที่จะมีแฟ็กเกตที่เข้ามาเพิ่มและไม่มีแฟ็กเกตถูกส่งออกไปจากบัฟเฟอร์

$$= (\lambda \cdot dt)(1 - \mu \cdot dt)$$

3) ค่าความน่าจะเป็นที่ย้ายมาจากสแตต  $n+1$  ที่เวลา  $t$  ไปยังสแตต  $n$  ที่เวลา  $t + dt$  วินาที = ค่าความน่าจะเป็นที่จะไม่มีแฟ็กเกตที่เข้ามาเพิ่มและมีแฟ็กเกตถูกส่งออกไปจากบัฟเฟอร์

$$= (1 - \lambda \cdot dt)(\mu \cdot dt)$$

ดังนั้นสมการที่ 2.1 จะสามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$P_n(t + dt) = P_n(t)(1 - \lambda \cdot dt)(1 - \mu \cdot dt) + P_{n-1}(t)(\lambda \cdot dt)(1 - \mu \cdot dt) + P_{n+1}(t)(1 - \lambda \cdot dt)(\mu \cdot dt) \quad (2.9)$$

กำหนดให้  $dt \rightarrow 0$  สมมติให้ค่าของค่าความน่าจะเป็น  $P_n(t)$  มีค่าที่ต่อเนื่องในเชิงเวลา ซึ่งจะได้ว่าหากทำการแสดงสมการในรูปของอนุกรม Taylor (James, 1993) ของ  $P_n(t+dt)$  โดยพิจารณาเฉพาะสองเทอมแรกซึ่งมีค่าที่เห็นเด่นชัดกว่าค่าที่ได้จากเทอมอื่นๆ จะสามารถทำการประมาณค่าของ  $P_n(t+dt)$  ได้ใหม่ดังนี้

$$P_n(t + dt) \cong P_n(t) + \frac{dP_n(t)}{dt}(dt) \quad (2.10)$$

จากสมการที่ 2.9 และ 2.10 จะได้

$$P_n(t) + \frac{dP_n(t)}{dt}(dt) = P_n(t)(1 - \lambda \cdot dt)(1 - \mu \cdot dt) + P_{n-1}(t)(\lambda \cdot dt)(1 - \mu \cdot dt) + P_{n+1}(t)(1 - \lambda \cdot dt)(\mu \cdot dt)$$

หรือ

$$P_n(t)(-\lambda \cdot dt - \mu \cdot dt + \lambda \cdot \mu \cdot dt^2) + P_{n-1}(t)(\lambda \cdot dt - \lambda \cdot \mu \cdot dt^2) + P_{n+1}(t)(\mu \cdot dt - \mu \cdot \lambda \cdot dt^2) \\ = \frac{dP_n(t)}{dt}(dt)$$

จะได้เป็น

$$-(\lambda + \mu)P_n(t) + \lambda \cdot P_{n-1}(t) + \mu \cdot P_{n+1}(t) \cong \frac{dP_n(t)}{dt} \quad (2.11)$$

หากพิจารณาค่าที่สถิตินิ่งไม่แปรตามเวลา (Stationary Statistics) แล้ว ค่าความน่าจะเป็นจะไม่ขึ้นกับเวลา จะได้ว่า  $\frac{dP_n(t)}{dt} = 0$  จากสมการที่ 2.11 จะได้

$$\lambda \cdot P_{n-1} + \mu \cdot P_{n+1} = (\lambda + \mu)P_n \quad (2.12)$$

สมการที่ 2.12 เป็นสมการอนุรักษ์การไหล (flow conservation) และจากรูปที่ 2.2 ที่แสดงเริ่มแรก จะได้ว่า

$$\mu P_1 = \lambda P_0 \quad (2.13)$$

จากสมการที่ 2.12 และ 2.13 จะสามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่มีแพ็กเกตอยู่ในบัฟเฟอร์จำนวน  $n$  แพ็กเกตได้โดยกำหนดให้โหลด  $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$  และ  $\rho \leq 1$  ดังนั้นจะได้ว่า

$$P_{n+1} = (\rho + 1)P_n - \rho \cdot P_{n-1} \quad (2.14)$$

$$P_1 = \frac{\lambda}{\mu} P_0 = \rho P_0$$

$$P_2 = (\rho + 1)P_1 - \rho P_0 = (\rho + 1)\rho P_0 - \rho P_0 = \rho^2 P_0$$

$$P_3 = (\rho + 1)P_2 - \rho P_1 = (\rho + 1)\rho^2 P_0 - \rho P_0 = \rho^3 P_0$$

$$P_n = \rho^n P_0 \quad (2.15)$$

ระบบที่มีคิวอิงแบบ M/M/1/K นั้น ขนาดของบัฟเฟอร์จะมีค่าคงที่เท่ากับ K แฟ็กเกต และหากแฟ็กเกตที่เข้ามาหลังจากที่บัฟเฟอร์เต็มแล้ว แฟ็กเกตนั้นจะถูกบล็อกทิ้งไป ดังนั้นสแตตที่เป็นไปได้ของระบบคิวอิงแบบนี้จะเป็นไปได้ตั้งแต่ 0 จนถึง K จากคุณสมบัติของค่าความน่าจะเป็นจะได้

$$\sum_{n=0}^K P_n = 1 \quad (2.16)$$

จากสมการที่ 2.15 จะได้สมการที่ 2.16 ใหม่เป็น

$$\sum_{n=0}^K \rho^n P_0 = \left[ \frac{1 - \rho^{K+1}}{1 - \rho} \right] P_0 = 1$$

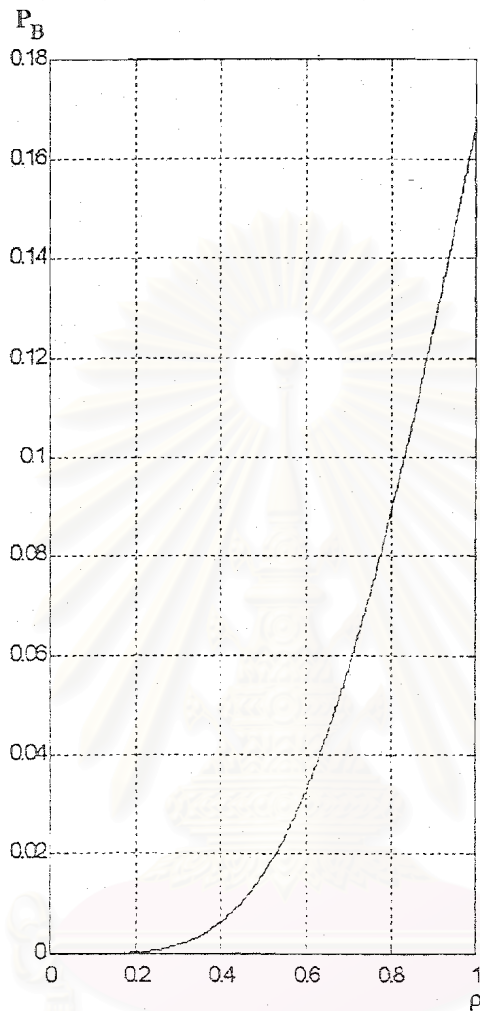
ซึ่งจะได้สมการใหม่เป็น

$$P_0 = \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{K+1}} \quad \text{และ} \quad P_n = \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{K+1}} \rho^n \quad (2.17)$$

จากสมการที่ 2.17 จะสามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่แฟ็กเกตที่เข้ามาจะเกิดการบล็อกขึ้น ซึ่งก็คือค่าความน่าจะเป็นที่แฟ็กเกตในบัฟเฟอร์จะมีจำนวนเท่ากับขนาดของบัฟเฟอร์

$$P_B = \frac{(1 - \rho)\rho^K}{1 - \rho^{K+1}} \quad (2.18)$$

และจะได้กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดการบล็อกขึ้นที่บัฟเฟอร์เทียบกับโหลด(อัตราส่วนของอัตราการเข้ามาต่ออัตราการให้บริการ) ได้ดังรูปที่ 2.3 เมื่อกำหนดให้ขนาดบัฟเฟอร์เป็น 5 แพ็กเกต

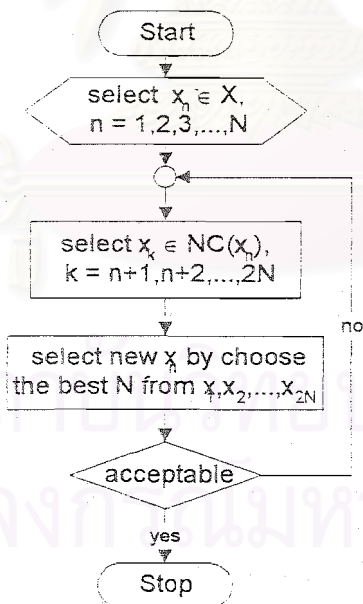


รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดการบล็อกขึ้นที่บัฟเฟอร์เทียบกับโหลดที่ขนาดต่างๆ

จากรูปกราฟและสมการที่ 2.18 จะพบว่า โอกาสที่แพ็กเกตข้อมูลจะเกิดบล็อกขึ้นที่บัฟเฟอร์ที่ด้านออกของสวิตช์แปรตามขนาดของอัตราการเข้ามาของแพ็กเกต

ทฤษฎีอีโวลูชันนารีคอมพิวเตอร์ (Evolutionary Computing) (Glover และ Laguna, 1993)

อีโวลูชันนารีคอมพิวเตอร์หรืออีโวลูชันนารีสตราตยี เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่ถูกคิดขึ้นมาอัลกอริทึมแรก (Glover และ Laguna, 1993) อัลกอริทึมจะเริ่มจากการเลือกกลุ่มคำตอบที่เป็นไปได้มาจำนวน  $N$  คำตอบ จากนั้นทำการเลือกคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบในกลุ่มเดิมขึ้นมาใหม่อีก  $N$  คำตอบ ซึ่งได้คำตอบทั้งหมดเป็น  $2N$  คำตอบ ทำการเลือกคำตอบที่เหมาะสมที่สุดจำนวน  $N$  คำตอบจากคำตอบในกลุ่มคำตอบ  $2N$  คำตอบ จากนั้นทำการวนซ้ำขั้นตอนซ้ำจนกว่าจะได้คำตอบที่เหมาะสมดังรูปโพลีชาร์ตรูปที่ 2.4 โดย  $x_n$  คือกลุ่มคำตอบในรอบการประมวลผลนั้นๆ เซต  $X$  เป็นเซตของคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด และ  $NC(x)$  คือเซตของคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบ  $x$  จากกระบวนการของอัลกอริทึมจะพบว่าการค้นหาคำตอบจะมุ่งเน้นไปทางการค้นหาคำตอบเท่านั้น ขณะที่ความหลากหลายของคำตอบที่ค้นหาในแต่ละรอบการประมวลผลยังไม่มากพอ จึงทำให้คำตอบของรอบการค้นหาในรอบต่างๆจะซ้ำๆกัน ซึ่งคำตอบที่ซ้ำๆกันจะเป็นคำตอบที่ใกล้กับคำตอบที่เหมาะสมที่สุด เป็นผลให้การค้นหาคำตอบใช้จำนวนรอบการประมวลผลหลายรอบกว่าจะทำให้คำตอบที่ได้ในรอบการประมวลผลท้ายๆหลุดออกจากคำตอบที่ซ้ำๆกันหลายรอบการประมวลผลมาเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ ซึ่งกระบวนการนี้ต้องการส่วนของอัลกอริทึมที่สามารถหลีกเลี่ยงการได้คำตอบที่ซ้ำๆกับคำตอบของรอบการประมวลผลที่แล้วมา



รูปที่ 2.4 โพลีชาร์ตแสดงขั้นตอนของอีโวลูชันนารีคอมพิวเตอร์

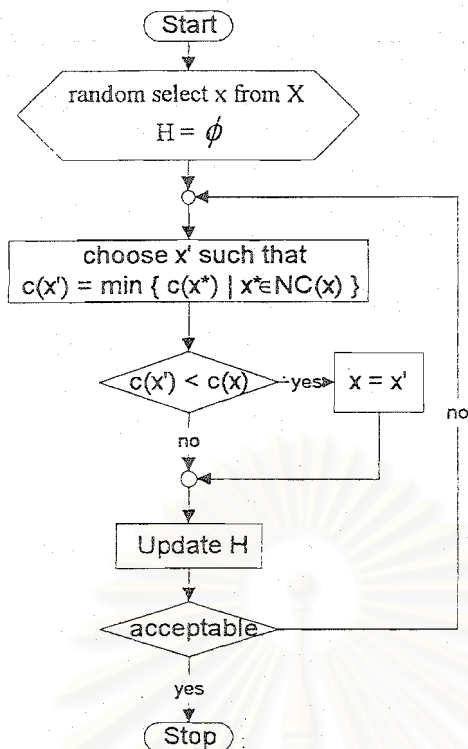
## ทฤษฎีทาบูเซอรัช (Tabu Search)

ทาบูเซอรัช (Glover และ Laguna, 1993) เป็นวิธีการในการแก้ปัญหาในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในวงกว้างวิธีการหนึ่ง โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการที่ไม่ซับซ้อนและเหมาะสมสำหรับนำไปใช้แก้ปัญหาที่จัดอยู่ในรูป Combinatorial optimization problem (Yagiura และ Tbaraki, 1996) ทาบูเซอรัชเป็นอัลกอริทึมที่มีรากฐานการพัฒนามาจากอัลกอริทึมฮิวริสติกคอมพิวเตอร์ หากจะแตกต่างตรงจำนวนของคำตอบที่นำมาใช้หาคำตอบในรอบการค้นหาค่าต่อไป และได้เพิ่มเทคนิคเพื่อป้องกันปัญหาการเกิดคำตอบซ้ำๆกันหลายๆรอบในช่วงรอบการประมวลผลรอบต่างๆได้ ในขบวนการของทาบูเซอรัชนั้นจำเป็นที่จะต้องใช้นหน่วยความจำในการเก็บคำตอบของการประมวลผลในรอบการประมวลผลที่ผ่านมาแล้ว ซึ่งจะถูกรเรียกว่า ทาบูลิสต์ (Tabu list) หรือ ประวัติทาบู (Tabu History) คำตอบในแต่ละรอบของการประมวลผลจะได้อมาจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในเซตของคำตอบที่เป็นคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบในรอบการประมวลผลที่ผ่านมา และคำตอบในเซตนี้จะต้องไม่ซ้ำกับคำตอบที่มีอยู่เดิมในทาบูลิสต์ (Glover, 1989)

หากกำหนดให้  $c(x)$  เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ต้องการหาคำตอบ  $x \in X$  ที่เหมาะสมที่สุด โดย  $X$  เป็นเซตของคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด เซต  $H$  เป็นเซตของคำตอบในรอบการประมวลผลที่ผ่านมา และ  $NC(H, x)$  เป็นเซตของคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบ  $x$  และไม่มีสมาชิกของเซตที่ซ้ำกับคำตอบที่เป็นสมาชิกในเซต  $H$  แล้ว จะสามารถแสดงขั้นตอนการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ดังโพลีชาร์ตรูปที่ 2.5

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 2.5 โพลีชาร์ตแสดงขั้นตอนของทาบูเซอรัช

จะพบว่าอัลกอริทึมนี้จะเน้นทางด้านความหลากหลายของคำตอบในแต่ละรอบการค้นหา โดยเฉพาะในช่วงรอบการประมวลผลรอบท้ายๆ ซึ่งต่างจากผลของฮิวริสติกคอมพิวติง และจำนวนของคำตอบที่จะนำมาสร้างกลุ่มคำตอบที่ใกล้เคียงมีเพียงคำตอบเดียวเท่านั้นซึ่งจะทำให้ความหลากหลายของคำตอบในแต่ละรอบการค้นหาไม่กระจายครอบคลุมคำตอบทั้งหมดได้ ซึ่งจะทำให้จำนวนรอบการประมวลผลที่มากกว่าคำตอบจะลู่เข้าหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Glover, 1990)

ทฤษฎียีนส์นิติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm) (Goldberg, 1991)

ยีนส์นิติกอัลกอริทึมเป็นวิธีในการทำให้เหมาะสมที่สุด (Optimization) โดยจะจำลองคำตอบที่ต้องการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในรูปของโครโมโซม (Goldberg, 1991) ซึ่งในโครโมโซมจะประกอบไปด้วยยีนส์หลายๆยีนส์ ซึ่งขั้นตอนของยีนส์นิติกอัลกอริทึมจะประกอบด้วยวิธีการทำ ยีนส์ โอเปอเรชัน กล่าวคือมีการพัฒนาการของยีนส์จนกระทั่งได้ยีนส์ที่ดีที่สุดตามวัตถุประสงค์ที่

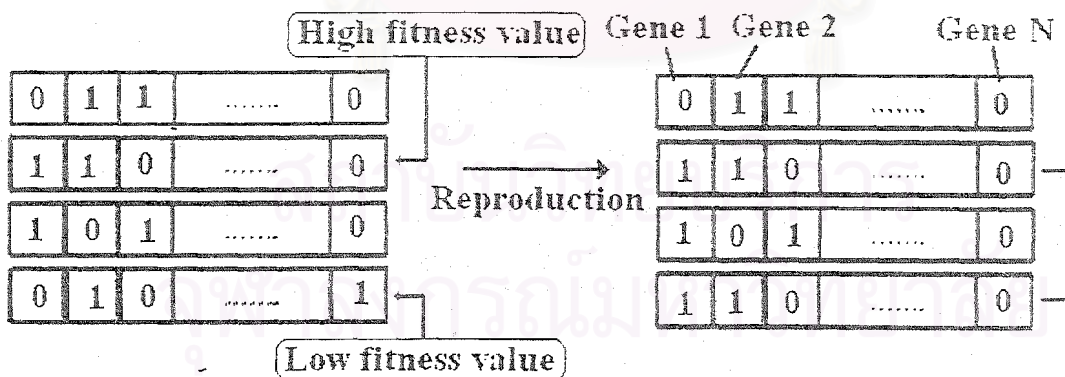
ต้องการ การประเมินค่าว่ายีนส์หรือโครโมโซมมีคุณภาพมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับค่าความเหมาะสม (Fitness) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของโครโมโซมนั้นๆ ในแต่ละโครโมโซมประกอบไปด้วยยีนส์หลายๆยีนส์ซึ่งจะมีจำนวนขึ้นอยู่กับความยาวของโครโมโซม เช่น ถ้าโครโมโซมหนึ่งมีความยาว  $N$  จะมียีนส์จำนวน  $N$  ตัวเรียงตามตำแหน่งตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 จนถึงตำแหน่งที่  $N$  ถ้าใช้เลขฐาน 2 ในการเข้ารหัสสำหรับแต่ละโครโมโซม โครโมโซมความยาว  $N$  จะมีจำนวนโครโมโซมที่เป็นไปได้ทั้งสิ้น  $2^N$  รูปแบบของโครโมโซมจะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.6

gene 1	gene2	gene3	gene4	gene5	gene6	gene7	gene8
1	0	1	1	0	1	0	1

รูปที่ 2.6 รูปแบบโครโมโซม

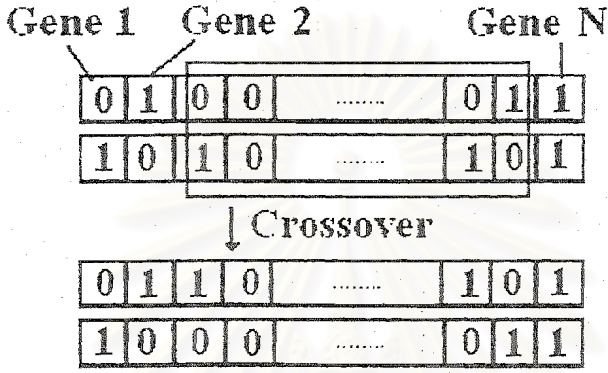
ขั้นตอนในการทำยีนส์โอเปอเรชันแบ่งออกเป็นขั้นตอนดังนี้

1) การทำรีโพรดักชัน (Reproduction) คือการเพิ่มจำนวนและการลดจำนวนของโครโมโซมเนื่องจากโครโมโซมแต่ละตัวมีค่าความเหมาะสมที่แตกต่างกัน โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมน้อยเป็นโครโมโซมที่มีโอกาสลดจำนวนลงในขณะที่โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมากมีโอกาสเพิ่มจำนวนมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.7 เป็นการทำรีโพรดักชันของโครโมโซม 2 โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมที่แตกต่างกัน



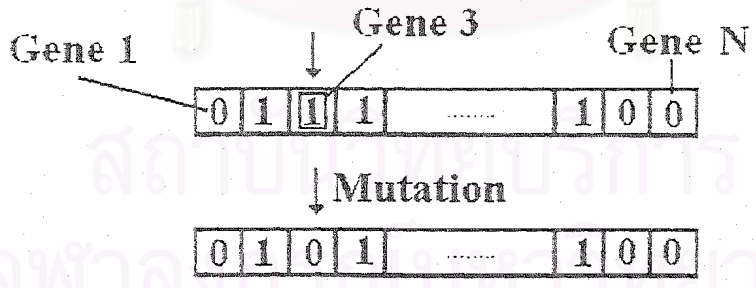
รูปที่ 2.7 การทำรีโพรดักชัน

2) การทำครอสโอเวอร์ (Crossover Operation) เป็นการแลกเปลี่ยน ยีนยีนระหว่างโครโมโซมสองโครโมโซมที่แตกต่างกันโดยมี วัตถุประสงค์เพื่อที่จะได้รับโครโมโซมใหม่สองโครโมโซมที่แตกต่างไปจากโครโมโซมเดิม ดังแสดงในรูปที่ 2.8 เป็นการทำครอสโอเวอร์ แบบ 2 จุด ซึ่งภายหลังจากทำการครอสโอเวอร์แล้วยีนที่อยู่ระหว่างจุดที่ทำการครอสโอเวอร์นั้นจะแลกเปลี่ยนกันได้เป็นโครโมโซมใหม่ขึ้นมา



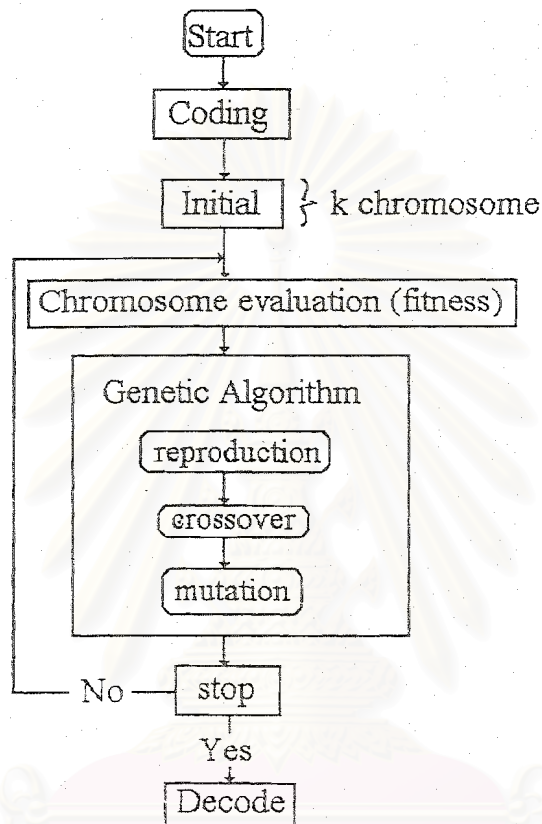
รูปที่ 2.8 การทำครอสโอเวอร์

3) การทำมิวเตชัน (Mutation Operation) มีวัตถุประสงค์เพื่อเปลี่ยนค่ายีนยีนในโครโมโซมหนึ่งให้เป็นค่าใหม่ ดังนั้นโครโมโซมที่ผ่านการมิวเตชันไปแล้วจะได้เป็นโครโมโซมใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 เป็นการแสดงการทำมิวเตชันของยีนยีนหนึ่งยีน



รูปที่ 2.9 การทำมิวเตชัน

ขั้นตอนของการทำยีนส์โอเปอเรชันจะกระทำซ้ำในขั้นตอนที่ 1) ถึง 3) จนกว่าค่าเฉลี่ยของความเหมาะสมของประชากร (population) มีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก บล็อกไดอะแกรมการทำงานของยีนส์นิติกอัลกอริทึมสามารถแสดงได้ในรูปที่ 2.10 รายละเอียดเกี่ยวกับยีนส์โอเปอเรชันสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก Goldberg (1991)



รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของยีนส์นิติกอัลกอริทึม

### ทฤษฎีฮิวริสติกอัลกอริทึม(Heuristic Algorithm) (วิธีที่เสนอง)

ฮิวริสติกอัลกอริทึมที่ใช้ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดนี้ ถูกพัฒนามาจากหลักการของอีโวลูชันนารีคอมพิวติง, ทาบูเซอรัช และยีนส์นิติกอัลกอริทึม โดยฮิวริสติกอัลกอริทึมจะอาศัยหลักการของอีโวลูชันนารีคอมพิวติงในการสร้างเวกเตอร์ใหม่จากเวกเตอร์แม่ โดยทำการเลือกเวกเตอร์ที่ใกล้เคียงกับเวกเตอร์แม่ ใช้หลักการบัพเฟอร์ภายนอกเข้ามาเพิ่มความหลากหลายของเวก

เตอร์ในแต่ละรอบการประมวลผลซึ่งเป็นคุณสมบัติของทาบูเซอร์ช ส่วนการเข้ารหัสเวกเตอร์ และการใช้เวกเตอร์แทนคำตอบของการค้นหา รวมถึงการคำนวณค่า fitness ของแต่ละเวกเตอร์ได้มาจากหลักการของยีนส์นิติกอัลกอริทึม

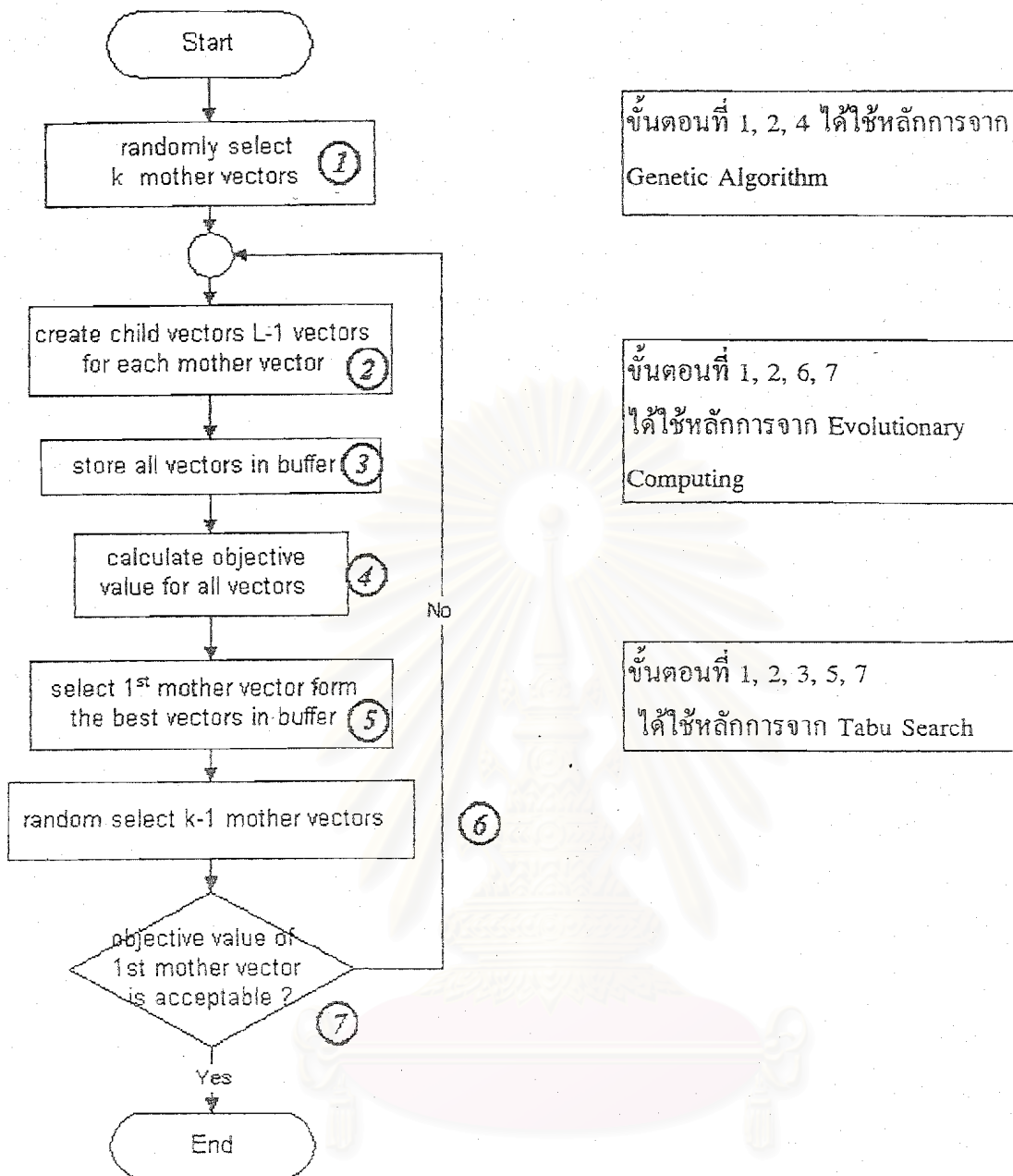
รูปที่ 2.11 เป็นโฟลว์ชาร์ตของฮิวริสติกอัลกอริทึมที่เสนอใช้ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด โดยจะสามารถอธิบายขั้นตอนได้ 4 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนแรก ทำการสร้างเวกเตอร์ขึ้นมาจำนวน  $k$  เวกเตอร์ที่แตกต่างกันเรียกเวกเตอร์  $k$  เวกเตอร์นี้ว่าเวกเตอร์แม่(mother vector) ซึ่งเวกเตอร์เหล่านี้จะถูกเลือกมาอย่างสุ่มจากเวกเตอร์คำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด การจัดรูปแบบคำตอบให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์จะคล้ายกับการจัดรูปแบบคำตอบให้อยู่ในรูปแบบโครโมโซมซึ่งใช้ในยีนส์นิติกอัลกอริทึม

ขั้นตอนที่สอง ทำการสร้างเวกเตอร์ขึ้นมาใหม่จากเวกเตอร์แม่แต่ละเวกเตอร์ ซึ่งจะเรียกว่าเวกเตอร์ลูก(child vector) โดยสร้างเวกเตอร์ลูกขึ้นมาที่ไม่ซ้ำกัน  $L-1$  เวกเตอร์ต่อเวกเตอร์แม่หนึ่งเวกเตอร์ ทำการเก็บเวกเตอร์ใหม่และเวกเตอร์แม่ลงในบัพเฟอร์ขนาด  $L \cdot k$  เวกเตอร์ และทำการหาค่าวัตถุประสงค์สำหรับทุกๆเวกเตอร์ใหม่ การสร้างเวกเตอร์ลูกขึ้นมาใหม่จากเวกเตอร์แม่จะเป็นลักษณะเดียวกับการสร้างเวกเตอร์ที่ใกล้เคียงกับเวกเตอร์เดิมในทาบูเซอร์ช และอีโวลูชันนารี คอมพิวติง และจะคล้ายกับการทำมิวเตชันในยีนส์นิติกอัลกอริทึม การทำให้คำตอบที่ทำการค้นหาในแต่ละรอบการประมวลผลมีความหลากหลายของคำตอบมากยิ่งขึ้นนั้น การสร้างเวกเตอร์ลูกขึ้นมาใหม่จึงจำเป็นที่จะต้องไม่ซ้ำกับเวกเตอร์ลูกเดิมที่มีอยู่ ซึ่งวิธีการนี้จะได้มาจากแนวคิดการใช้ทาบูลิสต์ในทาบูเซอร์ช สำหรับการหาค่าวัตถุประสงค์ก็จะกระทำในลักษณะเดียวกับขั้นตอนการหาค่าวัตถุประสงค์ของยีนส์นิติกอัลกอริทึม

ขั้นตอนที่สาม เลือกเวกเตอร์ที่มีค่าวัตถุประสงค์ที่น้อยที่สุดจากเวกเตอร์ทั้งหมดที่เก็บในบัพเฟอร์มาเป็นเวกเตอร์แม่เวกเตอร์แรกในรอบถัดไปและทำการสุ่มเลือกเวกเตอร์แม่ที่เหลืออีก  $k-1$  เวกเตอร์จากเวกเตอร์ทั้งหมดที่เก็บในบัพเฟอร์โดยไม่ซ้ำกัน ในขั้นตอนนี้จะกระทำคล้ายกับหลักการที่ใช้ในการเลือกคำตอบเริ่มต้นของรอบการประมวลผลรอบต่อไปของทาบูเซอร์ช

ขั้นตอนที่สี่ ตรวจสอบค่าวัตถุประสงค์ของเวกเตอร์ที่มีค่าน้อยที่สุดในบัพเฟอร์ว่าน้อยพอที่จะสามารถยอมรับได้หรือไม่ หากไม่สามารถยอมรับค่าได้ก็จะกลับไปทำตั้งแต่ขั้นตอนที่สองใหม่ หากสามารถยอมรับค่าได้ เวกเตอร์นั้นจะถูกนำไปถอดรหัสเพื่อเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ขั้นตอนนี้จะเป็นกระทำแบบเดียวกับยีนส์นิติกอัลกอริทึม, ทาบูเซอร์ช และอีโวลูชันนารี คอมพิวติง



รูปที่ 2.11 โฟลว์ชาร์ตของฮิวริสติกอัลกอริทึมที่ได้อธิบาย

จากขั้นตอนของฮิวริสติกอัลกอริทึมพบว่าฮิวริสติกอัลกอริทึมมีความคล้ายคลึงกับทาบูเซิร์ช อีโวลูชันนารีคอมพิวติงและขั้นตอนการมีเวชันในฮิวริสติกอัลกอริทึม ทั้งนี้อาศัยสมมุติฐานที่ว่าคำตอบที่เหมาะสมกว่าในรอบถัดไปจะเป็นคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบในรอบปัจจุบัน และหากทำการสร้างคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบเดิมหลายคำตอบมากขึ้นก็จะเป็น

ไปได้ที่จะได้คำตอบที่เหมาะสมกว่ามากขึ้นซึ่งอาจพิจารณาได้จากความหลากหลายของคำตอบในแต่ละรอบการประมวลผลของอัลกอริทึม(Yagiura และ Tbaraki, 1996)

เนื่องจากทาบูเซอรัชใช้คำตอบเดียวในแต่ละรอบในการหาคำตอบที่ใกล้เคียงจึงทำให้การดูเข้าหาคำตอบจำเป็นต้องใช้จำนวนรอบการประมวลผลที่มาก(Glover, 1990) แต่ในขั้นตอนของทาบูเซอรัชได้ใช้ทาบูลีสทำให้แต่ละคำตอบที่ได้ในแต่ละรอบการประมวลผลต่างกัน(Glover, 1989) ดังนั้นจำนวนคำตอบใหม่ที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบเท่ากับ 1 คำตอบ ฮิวริสติกอัลกอริทึมได้ดัดแปลงแนวคิดในการหาคำตอบที่ใกล้เคียงจากทาบูเซอรัชมาเป็นการใช้จำนวนคำตอบในการหาคำตอบที่ใกล้เคียงใน 1 รอบการประมวลผลเท่ากับจำนวนของเวกเตอร์แม่จึงทำให้มีความหลากหลายของคำตอบมากกว่าทาบูเซอรัช ทำให้โอกาสที่จะพบคำตอบที่เหมาะสมกว่ามีมากขึ้น นอกจากนี้การใช้ทาบูลีสของทาบูเซอรัชมีความยุ่งยากต่อการเขียนโปรแกรมเพราะต้องเขียนโปรแกรมในส่วนที่คอยตรวจสอบคำตอบในแต่ละรอบกับคำตอบเดิมที่เก็บไว้ในทาบูลีส และเวลาส่วนใหญ่ที่เสียไปในขณะประมวลผลก็คือเวลาที่โปรแกรมใช้ตรวจสอบคำตอบในทาบูลีส(Yagiura และ Tbaraki, 1996) ฮิวริสติกอัลกอริทึมจึงไม่ใช้ส่วนของทาบูลีสมาทำการเพิ่มความหลากหลายของคำตอบแต่ทำการเพิ่มความหลากหลายของคำตอบด้วยวิธีอื่นแทน

โดยแนวคิดที่จะใช้จำนวนคำตอบที่ใช้หาคำตอบที่ใกล้เคียงมากกว่า 1 นั้นได้มาจากขั้นตอนของอีโวลูชันนารีคอมพิวติง แต่ได้ทำการดัดแปลงให้ 1 คำตอบเดิมในฮิวริสติกอัลกอริทึมสามารถสร้างคำตอบที่ใกล้เคียงได้มากกว่า 1 คำตอบใหม่ซึ่งต่างจากอีโวลูชันนารีคอมพิวติงซึ่งการสร้างคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบเดิมจะสร้างเพียง 1 คำตอบใหม่ต่อ 1 คำตอบเดิม(Glover และ Laguna, 1993) ซึ่งก็เป็นผลให้ใช้จำนวนรอบการประมวลผลลดลง นอกจากนี้แล้วการเลือกกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมในแต่ละรอบของอีโวลูชันนารีคอมพิวติงจะได้จากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดครั้งแรกจากกลุ่มคำตอบที่สร้างจากคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบเดิม ทำให้คำตอบในกลุ่มคำตอบที่ใกล้เคียงในรอบการประมวลผลหลายๆมีคำตอบที่ซ้ำกันมากซึ่งทำให้โอกาสที่จะพบคำตอบที่เหมาะสมที่สุดลดลง(Yagiura และ Tbaraki, 1996) แต่ฮิวริสติกอัลกอริทึมจะเลือกคำตอบที่ดีที่สุดในกลุ่มคำตอบที่ใกล้เคียงเพียงคำตอบเดียว และเลือกคำตอบที่เหลือในกลุ่มจากคำตอบที่เป็นคำตอบที่ใกล้เคียงโดยการสุ่มเลือก ทำให้คำตอบที่ใกล้เคียงในรอบการประมวลผลหลายๆไม่เกิดการซ้ำกัน และเวลาที่ใช้ในการประมวลผล 1 รอบของฮิวริสติกอัลกอริทึมจะมากกว่าอีโวลูชันนารีคอมพิวติงเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเทียบกับจำนวนรอบที่ลดลงพบว่าเวลาที่ใช้ทั้งหมดของฮิวริสติกอัลกอริทึมน้อยกว่าอีโวลูชันนารีคอมพิวติงมาก

การสร้างคำตอบที่ใกล้เคียงของฮิวริสติกอัลกอริทึม ได้จากขั้นตอนมีเวตชันในฮิวริสติกอัลกอริทึม จากขั้นตอนของฮิวริสติกอัลกอริทึมพบว่าขั้นตอนที่ใช้ในการสร้างคำตอบที่ใกล้เคียงคือขั้นตอนการทำครอสโอเวอร์และขั้นตอนการมีเวตชัน(Tanterdtid, 1997) ในรอบการประมวลผลรอบท้ายๆพบว่าคำตอบในกลุ่มคำตอบจะซ้ำกันมาก ดังนั้นการสร้างคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบเดิมโดยการทำครอสโอเวอร์จะไม่สามารถที่จะได้คำตอบใหม่ที่ไม่ซ้ำกับคำตอบเดิม การสร้างคำตอบใหม่จึงขึ้นกับการทำการมีเวตชันเท่านั้น จากขั้นตอนของฮิวริสติกอัลกอริทึมพบว่าค่าวัตถุประสงค์ในแต่ละรอบการประมวลผลมีค่าแกว่งไปมาทำให้ยากต่อการตัดสินใจยุติการประมวลผล(Goldberg, 1991) เนื่องจากการที่ค่าวัตถุประสงค์แกว่งขึ้นๆลงๆทำให้ใช้จำนวนรอบในการประมวลผลมากกว่าฮิวริสติกอัลกอริทึม การพัฒนาโปรแกรมประมวลของฮิวริสติกอัลกอริทึมทำได้ยากกว่าฮิวริสติกอัลกอริทึม เพราะในขั้นตอนการทำครอสโอเวอร์นั้น การเขียนส่วนโปรแกรมที่ทำหน้าที่สลับยีนส์ภายในโครโมโซมทำได้ยาก และเวลาที่เสียไปในการประมวลผลคือเวลาในการทำครอสโอเวอร์ หากโครโมโซมยิ่งยาวมากเท่าไรเวลาที่ใช้ในการสลับยีนส์ภายในโครโมโซมจะยิ่งมากขึ้น(Goldberg, 1991)

จากทฤษฎีและขั้นตอนการค้นหาคำตอบของอัลกอริทึมที่ใช้สำหรับค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดข้างต้นนี้ พบว่าถ้าหากทำการเลือกคำตอบที่ใช้เริ่มต้นอัลกอริทึมให้ใกล้กับคำตอบที่เหมาะสมที่สุดมากๆได้ ก็จะทำให้จำนวนรอบในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดลดลงได้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



### บทที่ 3

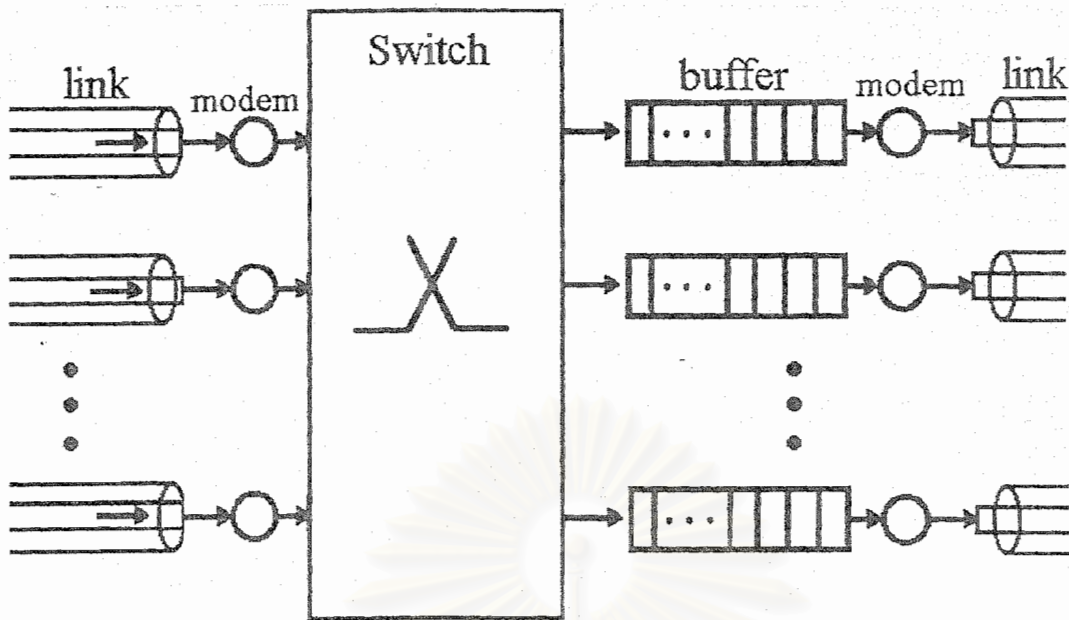
## แบบจำลองปัญหาการจัดเส้นทางวงจรเสมือนในโครงข่ายสื่อสารแบบคอนเนกชันโอเรียนเตด

### ความนำ

ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางของวงจรเสมือน จำเป็นที่จะต้องทราบโทโปโลยี (topology) ของโครงข่ายที่จะทำการจัดเส้นทางให้กับวงจรเสมือน และ อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตในวงจรเสมือนที่ต้องการส่งจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง ในบทนี้จะกล่าวถึงแบบจำลองปัญหาการจัดเส้นทางของวงจรเสมือนให้กับโครงข่ายสื่อสารแบบคอนเนกชันโอเรียนเตด โดยแบ่งกล่าวเป็นสองหัวข้อคือ การคำนวณหาค่าวัตถุประสงค์ (objective value) ที่จะนำมาใช้ในการเลือกเซตของเส้นทางวงจรเสมือนจากสเปซเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดของวงจรเสมือนทุกวงจรเสมือน และหัวข้อต่อมาจะกล่าวถึงการประยุกต์การใช้วิธีสติคอัลกอริทึมเข้ามาแก้ปัญหาในการจัดเส้นทางวงจรเสมือนทุกๆ โหนดต้นทาง-โหนดปลายทางในโครงข่ายสื่อสาร

### การคำนวณหาค่าวัตถุประสงค์ในการจัดเส้นทาง

โครงการวิจัยนี้ ได้พิจารณาการรับประกันคุณภาพในการให้บริการของเส้นทางวงจรเสมือนในโครงข่ายสื่อสารที่ให้บริการแบบคอนเนกชันโอเรียนเตดเฉพาะ โอกาสที่แพ็กเก็ตจะเกิดการสูญหายเมื่อทำการส่งแพ็กเก็ตผ่านวงจรเสมือนเท่านั้น ซึ่งทำการพิจารณาจากค่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะเกิดการสูญหายตลอดเส้นทางที่วงจรเสมือนได้ต่อถึง โดยการสูญหายของแพ็กเก็ตนี้จะเกิดขึ้นจากการที่แพ็กเก็ตเกิดการบล็อกรันที่หน้าบัฟเฟอร์ในแต่ละโหนดที่วงจรเสมือนทำการต่อถึง และสมมุติให้บัฟเฟอร์ที่ใช้วางอยู่ด้านขาออกของสวิตช์ (Park and Tsai, 1993) ดังรูปที่ 3.1 แสดงถึงแบบจำลองโหนดในโครงข่ายสื่อสารที่ใช้ในการจำลองปัญหา



รูปที่ 3.1 แบบจำลองโหนดในโครงข่ายสื่อสาร

พิจารณาโครงข่ายสื่อสารขนาด  $N$  โหนด โดยแต่ละวงจรเสมือนมีอัตราการไหลของแพ็กเก็ตที่ต้องการส่งแพ็กเก็ตจากโหนดที่  $i$  ไปยังโหนดที่  $j$  เป็น  $x_{ij}$  ค่า  $i$  และ  $j$  เท่ากับ  $1, 2, \dots, N$  โดยที่  $i \neq j$  และเส้นทางที่ถูกเลือกใช้เป็น  $p_{ij}$  ซึ่งเป็นสมาชิกในเซต  $P_{ij}$  โดยที่เซต  $P_{ij}$  เป็นเซตของเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดของวงจรเสมือนที่ต่อจากโหนดที่  $i$  ไปยังโหนดที่  $j$  และเซตของเส้นทางที่ถูกเลือกใช้สำหรับแต่ละวงจรเสมือนในโครงข่ายสื่อสารเป็น  $P_w = \{p_{12}, p_{13}, p_{14}, \dots, p_{N(N-1)}\}$  แล้วจะสามารถหาค่าอัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตในข่ายเชื่อมโยงที่ใช้ส่งแพ็กเก็ตจากโหนดที่  $x$  ไปยังโหนดที่  $y$  หรือ  $F_{xy}$  ได้เท่ากับผลรวมของอัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตในแต่ละวงจรเสมือนที่มีเส้นทางผ่านข่ายเชื่อมโยงที่เชื่อมจากโหนดที่  $x$  ไปยังโหนดที่  $y$  ดังสมการที่ 3.1 (Lin and Wang, 1993)

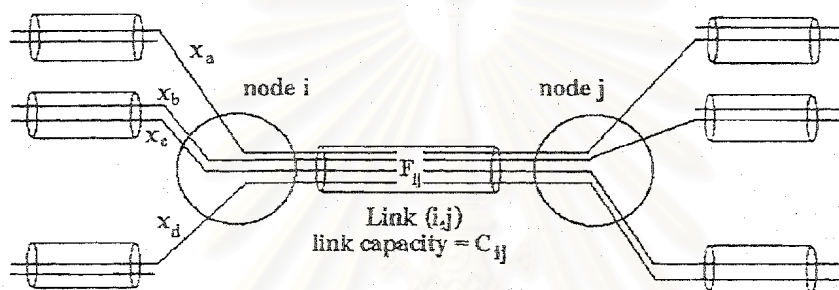
$$F_{xy} = \sum_{\forall i, j | i \neq j, p_{ij} \in P_w} x_{ij} \delta_{xy}(i, j) \quad (3.1)$$

ซึ่งถ้าข่ายเชื่อมโยงจากโหนดที่  $x$  ไปยังโหนดที่  $y$  อยู่บนเส้นทาง  $p_{ij}$  แล้วค่าของ  $\delta_{xy}(i, j) = 1$  แต่ถ้าข่ายเชื่อมโยงจากโหนดที่  $x$  ไปยังโหนดที่  $y$  ไม่อยู่บนเส้นทาง  $p_{ij}$  แล้วค่าของ  $\delta_{xy}(i, j) = 0$  และ

อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตในข่ายเชื่อมโยงที่ใช้ส่งแพ็กเก็ตจากโหนดที่  $x$  ไปยังโหนดที่  $y$  นี้จะต้องมีค่าน้อยกว่าอัตราการส่งแพ็กเก็ตที่ข่ายเชื่อมโยงจะทำการส่งแพ็กเก็ตได้ (Green, 1995) จากโทโปโลยีของโครงข่ายสื่อสารจะพบว่าอัตราการส่งแพ็กเก็ตของข่ายเชื่อมโยงจากโหนดที่  $x$  ไปยังโหนดที่  $y$  จะเท่ากับค่าความจุของข่ายเชื่อมโยงจากโหนดที่  $x$  ไปยังโหนดที่  $y$  ซึ่งกำหนดให้มีค่าเป็น  $C_{xy}$  จะได้ว่า

$$F_{xy} \leq C_{xy} \quad (3.2)$$

สมการที่ 3.2 นี้จะใช้เป็นเงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับการเลือกเซตของเส้นทางวงจรเสมือนที่เหมาะสมที่สุด รูปที่ 3.2 อธิบายถึงค่าต่างๆที่กำหนดขึ้นข้างต้น



$x_a, x_b, x_c$  และ  $x_d$  เป็นอัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตในวงจรเสมือนที่ต้องผ่าน link (i,j)

รูปที่ 3.2 แสดงการคิดค่าอัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตในข่ายเชื่อมโยง,  $F_{xy}$ , ที่ต่อโหนดที่  $x$  เข้ากับโหนดที่  $y$

จากสมการที่ 3.1 จะสามารถคำนวณหาอัตราส่วนที่วงจรเสมือน  $p_{ij}$  ที่ต่อเชื่อมจากโหนดที่  $i$  ไปยังโหนดที่  $j$  ได้เข้าใช้ข่ายเชื่อมโยงที่เชื่อมจากโหนดที่  $x$  ไปยังโหนดที่  $y$  ตามสมการที่ 3.3

$$r_{xy}(i, j) = \frac{x_{ij}}{F_{xy}} \quad (3.3)$$

เราสามารถจำลองกระบวนการเข้าคิวของแพ็กเก็ตที่หน้าบัฟเฟอร์ด้านขาออกของสวิตช์เป็นกระบวนการเข้ามาของแพ็กเก็ตที่มีการกระจายแบบปัวส์ซง (Poisson distribution) ซึ่งเป็นกรณีทั่วไปสำหรับกระบวนการแรนดัมของทราฟฟิกในโครงข่ายสื่อสาร ในการจำลองปัญหานี้ได้

กำหนดให้อัตราการส่งออกของโมเดมมีการกระจายแบบเอ็กโปเนนเชียล(exponential service time distribution) ที่มีอัตราการส่งข้อมูลเฉลี่ยเท่ากับ  $C_{xy}$  แพ็กเก็ต/วินาที จากแบบจำลองของโนดข้างต้นนั้น จำนวนของโมเดมที่ใช้มีเพียงตัวเดียว และมีขนาดของบัฟเฟอร์ที่ใช้ส่งแพ็กเก็ตจากโนดที่  $x$  ไปยังโนดที่  $y$  เป็น  $K_{xy}$  แพ็กเก็ต ดังนั้นจะได้รูปแบบจำลองการเข้าคิวของแพ็กเก็ตเป็น M/M/1/K ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะเกิดการสูญหายขึ้นเนื่องจากการบล็อกของบัฟเฟอร์ด้านขาออกของสวิตช์ในการส่งแพ็กเก็ตจากโนดที่  $x$  ไปยังโนดที่  $y$  เป็น  $P_b(x, y)$  จะสามารถหาค่าได้จากค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดการบล็อกในแบบจำลอง M/M/1/K ดังสมการที่ 3.4

$$P_b(x, y) = \frac{(1 - \rho_{xy}) \rho_{xy}^{K_{xy}}}{1 - \rho_{xy}^{K_{xy} + 1}} \quad (3.4)$$

โดยค่า  $\rho_{xy} = \frac{F_{xy}}{C_{xy}}$  เป็นค่าโหลดของกระบวนการคิวอิงที่บัฟเฟอร์ขาออกของสวิตช์

พิจารณาจากสมการที่ 3.2 จะพบว่าค่า  $\rho_{xy}$  นี้จะต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับหนึ่งเท่านั้น

จากสมการที่ 3.1 และสมการที่ 3.4 เราสามารถคำนวณหาอัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตในข่ายเชื่อมโยงที่ใช้ส่งแพ็กเก็ตจากโนดที่  $x$  ไปยังโนดที่  $y$  ที่หายไปเนื่องจากแพ็กเก็ตเกิดการบล็อกขึ้นที่บัฟเฟอร์ด้านออกของสวิตช์ได้เป็น  $L_{xy}$  ตามสมการที่ 3.5

$$L_{xy} = F_{xy} \times P_b(x, y) \quad (3.5)$$

จากค่าอัตราส่วนการเข้าใช้ข่ายเชื่อมโยงในสมการที่ 3.3 และอัตราการสูญหายของแพ็กเก็ตในสมการที่ 3.5 เราสามารถคำนวณหาอัตราการไหลของแพ็กเก็ตที่สูญหายไปสำหรับข่ายเชื่อมโยงจากโนดที่  $x$  ไปยังโนดที่  $y$  เฉพาะวงจรเสมือนที่ส่งแพ็กเก็ตจากโนดที่  $i$  ไปยังโนดที่  $j$  ได้เป็น  $f_{ij}(x, y)$  ดังแสดงในสมการที่ 3.6

$$f_{ij}(x, y) = L_{xy} \times r_{xy}(i, j) \times \delta_{xy}(i, j) \quad (3.6)$$

และจะได้ค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดการสูญหายของแพ็กเก็ตเนื่องจากการบล็อกของบัฟเฟอร์ภายในโนดต่างๆตลอดเส้นทางที่วงจรเสมือนผ่าน  $P_{Bm}(i, j)$  มีค่าเท่ากับผลรวมของอัตรา

การไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่หายไปในทุกๆ ข่ายเชื่อม โยงตลอดเส้นทางที่วงจรเสมือน  $p_{ij}$  ผ่านต่อ อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่ต้นทางต้องการส่งไปยังปลายทางดังแสดงในสมการที่ 3.7

$$P_{B_m}(i, j) = \frac{\sum_{link(x, y) \in P_{ij}} f_{ij}(x, y)}{x_{ij}} \quad (3.7)$$

เราสามารถนำสมการที่ 3.7 ไปใช้ประกอบการเลือกเซตของเส้นทางสำหรับวงจรเสมือนของทุกๆ คู่โหนดต้นทาง-โหนดปลายทางในโครงข่ายสื่อสารที่ให้บริการแบบคอนเนกชันโอเรียนเตด โดยเซตของเส้นทางสำหรับทุกๆ วงจรเสมือนที่จะถูกเลือกจะต้องมีค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดการสูญหายของแพ็กเก็ตเนื่องจากการบล็อกของบัฟเฟอร์ภายในโหนดต่างๆ ตลอดเส้นทางที่วงจรเสมือนผ่านน้อยที่สุดสำหรับทุกๆ วงจรเสมือนในโครงข่าย ดังนั้นเราสามารถกำหนดเป็นค่าวัตถุประสงค์ที่จะนำไปใช้ในการค้นหาเซตของเส้นทางวงจรเสมือนที่เหมาะสมที่สุดได้ดังนี้

$$\text{ค่าวัตถุประสงค์ (Objective Value)} = \max_{p_{ij} \in P_w} \{P_{B_m}(i, j)\} \quad (3.8)$$

โดยเราสามารถอธิบายได้ว่าค่าวัตถุประสงค์ที่ได้จากสมการที่ 3.8 เป็นค่าสูงที่สุดจากค่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะเกิดการสูญหายในแต่ละวงจรเสมือนในโครงข่ายสื่อสาร ดังนั้นเซตของเส้นทางของทุกๆ วงจรเสมือนที่เหมาะสมที่สุดจะหาได้จาก

$$\text{Min. } \left\{ \max_{p_{ij} \in P_w} \{P_{B_m}(i, j)\} \right\} \quad (3.9)$$

โดยมีเงื่อนไข  $F_{xy} \leq C_{xy}$

การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางวงจรเสมือน

การจัดเส้นทางโดยขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตของวงจรเสมือนที่เชื่อมโหนดต้นทางและปลายทางนั้น จำเป็นที่จะต้องเผื่ออัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตไว้ เพราะหากมีอัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตจากโหนดต้นทางและปลายทางเพิ่มขึ้นแต่ยังคงอยู่ในช่วงที่ได้ทำการเผื่อค่าไว้ก็ไม่จำเป็นที่จะต้องทำการจัดเส้นทางของวงจรเสมือนใหม่ ถ้ากำหนดให้ค่าร้อยละที่ใช้ใน

การเพื่อไว้เป็น  $P_{xy}$  เราสามารถหาอัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตในข่ายเชื่อมโยงจาก โหนดที่  $x$  ไปยัง โหนดที่  $y$  ที่วงจรเสมือนผ่านแทนการหาจากสมการที่ 3.1 ได้ดังนี้

$$F_{xy} = \sum_{\forall i, j | p_{ij} \in P_w} \left(1 + \frac{P_w}{100}\right) \times x_{ij} \times \delta_{xy}(i, j) = \left(1 + \frac{P_w}{100}\right) \times \sum_{\forall i, j | p_{ij} \in P_w} x_{ij} \delta_{xy}(i, j) \quad (3.10)$$

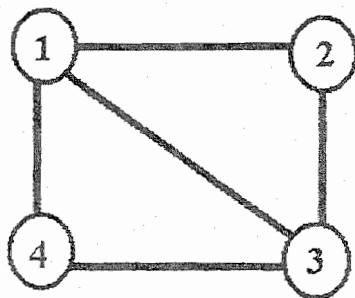
หลังจากนั้นแล้วจึงค่อยทำการจัดเส้นทางวงจรเสมือน

จากขั้นตอนการดำเนินการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึมในบทที่ 2 จะพบว่าคำตอบที่ใช้ในการแก้ปัญหาจะถูกจัดให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์ เซตของเส้นทางของทุกๆ วงจรเสมือนสามารถที่จะเข้ารหัสให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์ได้โดยให้สมาชิกในเวกเตอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ มีค่าเป็นเลขจำนวนเต็ม ซึ่งแทนลำดับของเส้นทางวงจรเสมือนที่ถูกเลือกใช้จากเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดดังนี้ หากโครงข่ายสื่อสารมีขนาด  $N$  โหนด จะได้ว่าจำนวนของวงจรเสมือนที่ใช้ส่งแพ็กเก็ตจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางทั้งหมดเป็น  $N(N-1)$  วงจรเสมือน ในวงจรเสมือนที่เชื่อมต่อจากโหนดต้นทางที่  $i$  ไปยังโหนดปลายทางที่  $j$  สามารถมีเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดเป็น  $n_{ij}$  เส้นทาง โดยแต่ละเส้นทางจะถูกแทนด้วยเลขจำนวนเต็มตั้งแต่ 1 จนถึง  $n_{ij}$  ดังนั้นเราสามารถเขียนเซตของเส้นทางของทุกๆ วงจรเสมือนในรูปเวกเตอร์ได้เป็น

$$V = [P_{12}, P_{13}, P_{14}, \dots, P_{N(N-1)}] \quad (3.11)$$

โดยแต่ละสมาชิกของเวกเตอร์จะแสดงถึงเส้นทางที่เลือกใช้ในการส่งแพ็กเก็ตจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง และจำนวนของสมาชิกในเวกเตอร์จะเท่ากับจำนวนของวงจรเสมือนทั้งหมดที่ใช้ในโครงข่าย

สำหรับการหาเวกเตอร์ที่ใกล้เคียงกับเวกเตอร์เดิมในขบวนการของฮิวริสติกอัลกอริทึมจะกระทำได้โดยการเปลี่ยนค่าตัวเลขในบางสมาชิกของเวกเตอร์ ซึ่งก็คือการเปลี่ยนเส้นทางของวงจรเสมือนบางวงจรเสมือนในเซตของเส้นทางของทุกๆ วงจรเสมือน เมื่อเสร็จสิ้นการประมวลผลแล้วเวกเตอร์ที่ได้จะถูกนำมาถอดรหัสเพื่อให้ได้เส้นทางที่เหมาะสมที่สุดของวงจรเสมือนทุกวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.3



$V = [1, 3, 1, 2, \dots, 2]$

$P_{12}$

$P_{43}$

$P_{13}$

source : 1 destination : 3

index	path (transit nodes)
1	1 2 3
2	1 3
3	1 4 3

1

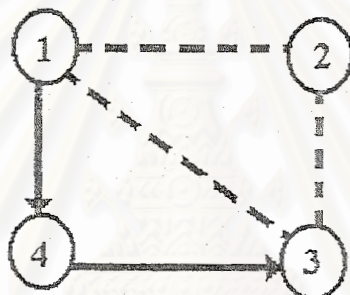
1 2 3

2

1 3

3

1 4 3



รูปที่ 3.3 การถอดรหัสเวกเตอร์

## บทที่ 4

ผลการทดสอบการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสาร โดยใช้วิธีสติกอัลกอริทึม

### ความนำ

ในบทนี้จะแสดงถึงผลของการจัดเส้นทางวงจรเสมือน โดยใช้วิธีสติกอัลกอริทึม ซึ่งจะแสดงถึงผลของการจัดเส้นทางโดยใช้วิธีสติกอัลกอริทึมที่มีการเลือกคำตอบในตอนเริ่มต้นการประมวลผลด้วยวิธีสุ่มจากคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด และที่มีบางคำตอบในตอนเริ่มต้นที่กำหนดให้จากผลของเทคนิคการจัดเส้นทางแบบ MHR และ LLR ซึ่งจะทำการแสดงไว้ในหัวข้อผลการกำหนดคำตอบในตอนเริ่มการประมวลผลที่มีต่อจำนวนรอบการค้นหา ผลของการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆต่อจำนวนรอบของการค้นหาคำตอบของวิธีสติกอัลกอริทึมแบ่งแสดงได้สองหัวข้อคือ หัวข้อผลของการเพิ่มหรือลดจำนวนเวกเตอร์แม่ที่มีต่อจำนวนรอบการประมวลผล และหัวข้อผลของการเพิ่มหรือลดจำนวนเวกเตอร์ลูกที่มีต่อจำนวนรอบการประมวลผล การทดสอบทั้งหมดนี้จะกำหนดให้ค่าเพื่อไว้  $P_{\alpha}=10$  สำหรับทุกๆการทดสอบ และการทดสอบแต่ละครั้งได้ใช้เครื่องประมวลผลคือคอมพิวเตอร์ HP Vectra 515 โดยเขียนโปรแกรมด้วย MathLab รุ่น 5.0

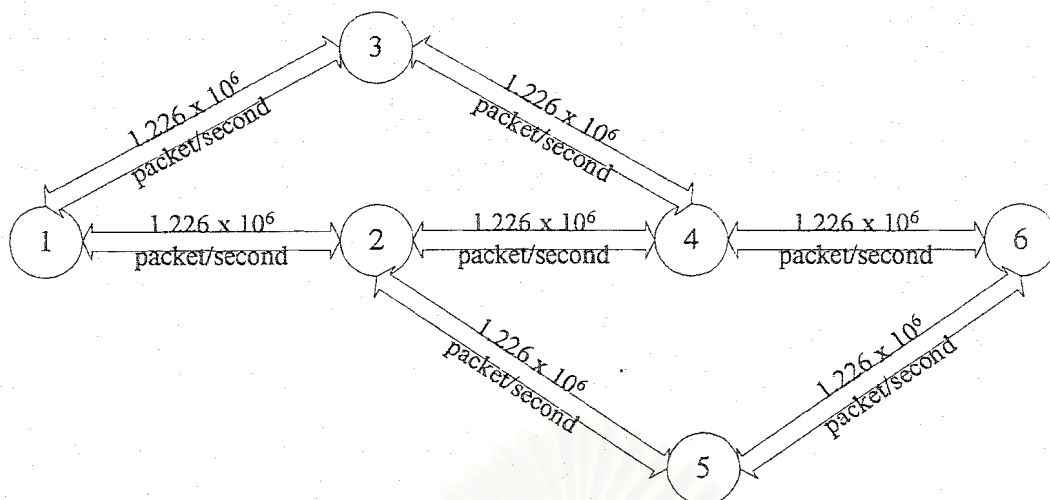
### ผลการกำหนดคำตอบในตอนเริ่มการประมวลผลที่มีต่อจำนวนรอบการค้นหา

ในการทดสอบจะทดสอบการจัดเส้นทางวงจรเสมือนให้กับโครงข่ายขนาด 6 โหนด ซึ่งจะมีโทโปโลยีดังรูปที่ 4.1 กำหนดขนาดของความจุของแต่ละข่ายเชื่อมโยงมีค่าเท่ากันหมดทุกข่ายเชื่อมโยงคือ  $1.226 \times 10^6$  แพ็กเกต/วินาที และขนาดของบัฟเฟอร์ที่ใช้ทดสอบโครงข่ายนี้จะแสดงในตารางที่ 4.1 การทดสอบการจัดเส้นทางของวงจรเสมือนในขั้นนี้เพื่อเลือกวิธีการกำหนดเวกเตอร์เริ่มต้นที่ทำให้จำนวนรอบการประมวลผลน้อยที่สุดจากวิธีการกำหนด 4 วิธีคือ คือ 1) กำหนดเวกเตอร์แม่แบบสุ่มทุกเวกเตอร์แม่ 2) กำหนดเวกเตอร์แม่เวกเตอร์แรกเป็นคำตอบของการจัดเส้นทางแบบ MHR และเวกเตอร์แม่ที่เหลือจะกำหนดแบบสุ่ม 3) กำหนดเวกเตอร์แม่เวกเตอร์แรกเป็นคำตอบของการจัดเส้นทางแบบ LLR และเวกเตอร์แม่ที่เหลือจะกำหนดแบบสุ่ม 4) กำหนดเวกเตอร์แม่เวกเตอร์แรกและเวกเตอร์ที่สองเป็นคำตอบของการจัดเส้นทางแบบ MHR และ LLR ตามลำดับ



โดยที่เวกเตอร์แม่ที่เหลือจะกำหนดแบบสุ่ม เทคนิคการจัดเส้นทาง LLR เป็นเทคนิคการจัดเส้นทางแบบพลวัต โดยทำการจัดเส้นทางวงจรเสมือนที่ละวงจรเสมือนจนครบทุกวงจรเสมือน (Steenstrup, 1995) จำนวนของเซตของเส้นทางวงจรเสมือนที่เทคนิค LLR ใช้ในการคำนวณจะใช้เพียงเซตเดียว แต่การจัดเส้นทางวงจรเสมือนโดยใช้วิธีสติก อัลกอริทึม เซตของเส้นทางวงจรเสมือนได้ถูกแทนด้วยเวกเตอร์และเวลาที่ใช้ในการประมวลผล 1 รอบการประมวลผลขึ้นกับจำนวนของเวกเตอร์ที่ใช้ทั้งหมดใน 1 รอบการประมวลผล จะพบว่าจำนวนเวกเตอร์ที่วิธีสติกอัลกอริทึมใช้ใน 1 รอบการประมวลผลมากกว่าจำนวนเวกเตอร์ที่เทคนิค LLR ใช้ ดังนั้นเวลาที่เทคนิค LLR ใช้จะน้อยกว่าเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของวิธีสติกอัลกอริทึมเพียงรอบการประมวลผลเดียว จากเหตุผลดังกล่าว การกำหนดค่าเวกเตอร์แม่เริ่มต้นด้วยเซตของเส้นทางที่ได้จากเทคนิค LLR จึงไม่เป็นการสิ้นเปลืองเวลาในการกำหนดเวกเตอร์แม่เริ่มต้น สำหรับเทคนิค MHR เป็นเทคนิคการจัดเส้นทางแบบสติก เส้นทางที่ได้จากเทคนิคการจัดเส้นทางแบบ MHR จึงสามารถนำมาใช้ในการกำหนดค่าเวกเตอร์แม่เริ่มต้นให้กับวิธีสติกอัลกอริทึมได้ทันที (Steenstrup, 1995) การทดสอบนี้ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ของการทดสอบวิธีสติกอัลกอริทึมคือ จำนวนเวกเตอร์แม่เป็น 10 เวกเตอร์ และจำนวนเวกเตอร์ลูกต่อ 1 เวกเตอร์แม่เป็น 8 เวกเตอร์ อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ต ของแต่ละวงจรเสมือนสำหรับใช้ทดสอบโครงข่ายในหน่วย "แพ็กเก็ต/วินาที" แสดงในตารางที่ 4.2 ผลของการจัดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารโดยใช้วิธีสติกอัลกอริทึมจะได้กราฟแสดงการลดลงของค่าตอบในรูปที่ 4.2 เส้นทางวงจรเสมือนที่ได้จะแสดงในตารางที่ 4.3 จำนวนรอบของการค้นหาของอัลกอริทึมจะแสดงไว้ในตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5 จะเป็นค่าวัตถุประสงค์ที่ได้จากเทคนิคการจัดเส้นทางวงจรเสมือนโดยใช้วิธีสติกอัลกอริทึมและเทคนิคการจัดเส้นทางอื่น ค่าวัตถุประสงค์นี้เป็นค่าที่ได้จากที่กำหนดในสมการที่ 3.8 (ค่าความน่าจะเป็นของการสูญหายของแพ็กเก็ต เนื่องจากแพ็กเก็ตเกิดการบดบังขึ้นที่บัพเฟอร์ขาออกของสวิตช์ต่างๆ ตลอดเส้นทางวงจรเสมือนที่มากที่สุดจากวงจรเสมือนทั้งหมด)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 โทโปโลยีของโครงข่ายทดสอบขนาด 6 โหนด

ตารางที่ 4.1 ขนาดของบัฟเฟอร์ที่ใช้ส่งแพ็กเก็ตผ่านข่ายเชื่อมโยงในโครงข่ายทดสอบ 6 โหนด

ขนาดของบัฟเฟอร์ (แพ็กเก็ต)						
โหนด ต้นทาง	โหนดปลายทาง					
	1	2	3	4	5	6
1	-	52	60	-	-	-
2	52	-	55	50	48	-
3	60	55	-	56	60	-
4	-	50	56	-	60	48
5	-	48	60	60	-	50
6	-	-	-	48	50	-

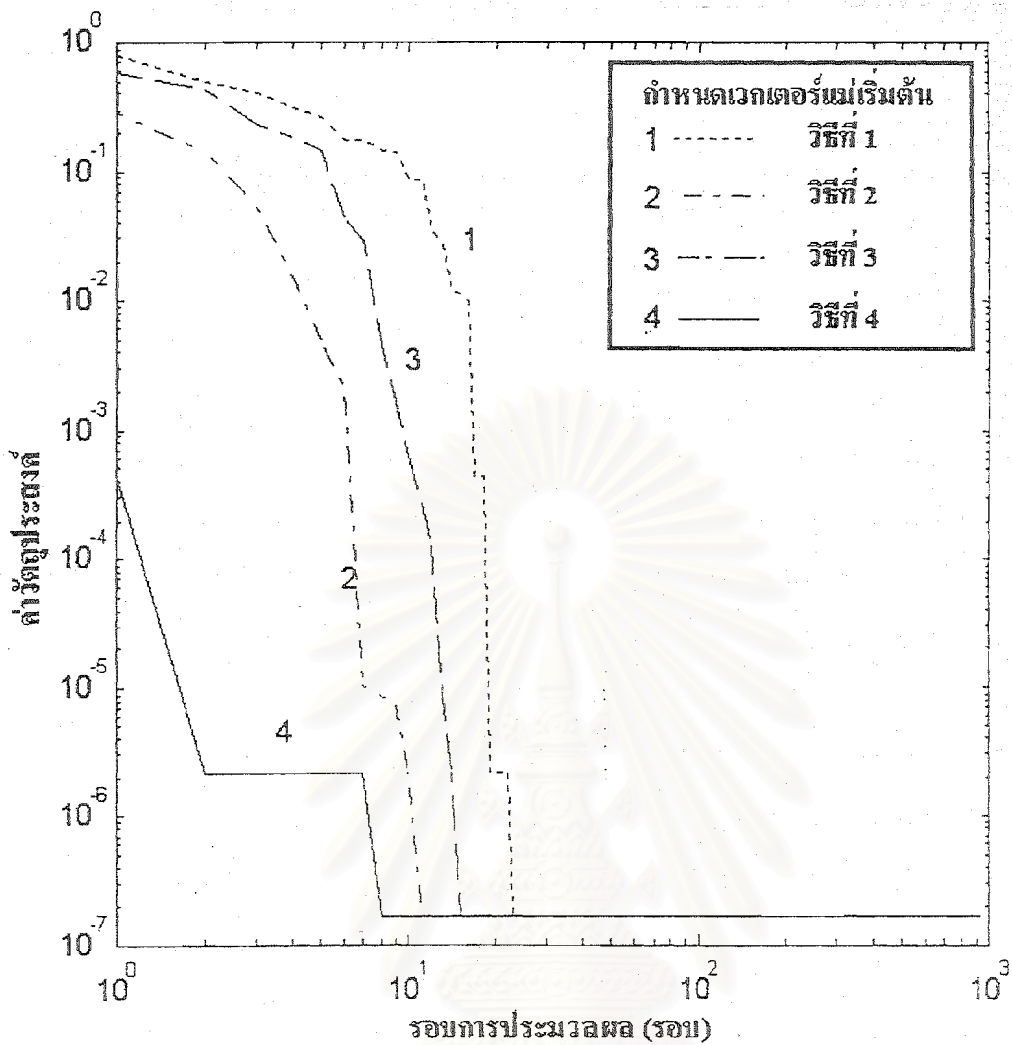
ตารางที่ 4.2 อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตในวงจรเสมือนที่ใช้ทดสอบโครงข่ายขนาด 6 โหนด

อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่ใช้ทดสอบโครงข่าย (แพ็กเก็ต/วินาที)						
โหนด ต้นทาง	โหนดปลายทาง					
	1	2	3	4	5	6
1	-	25461747	25021238	49672021	19660337	25269120
2	33576530	-	20074466	41481125	47326476	47105860
3	14165281	42029838	-	25547002	38771586	36193120
4	22713495	9127463	5939747	-	25663865	14116219
5	41880964	33585940	39230675	14244342	-	41857318
6	36123871	9051699	50175908	33651168	17039243	-

ตารางที่ 4.3 เส้นทางของวงจรเสมือนสำหรับโครงข่าย 6 โหนดที่ได้จากการใช้วิธีสติกอัลกอริทึม

โหนดที่วงจรเสมือนผ่าน						
โหนด ต้นทาง	โหนดปลายทาง					
	1	2	3	4	5	6
1	-	1, 2	1, 3	1, 3, 4	1, 2, 5	1, 2, 4, 6
2	2, 1	-	2, 3	2, 4	2, 5	2, 3, 5, 6
3	3, 1	3, 2	-	3, 2, 4	3, 5	3, 4, 6
4	4, 3, 1	4, 2	4, 3	-	4, 5	4, 6
5	5, 4, 2, 1	5, 2	5, 3	5, 4	-	5, 6
6	6, 5, 3, 1	6, 5, 2	6, 4, 3	6, 4	6, 5	-

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบวิธีการกำหนดเวกเตอร์แม่เริ่มต้นการประมวลผลต่างๆกัน

วิธีที่ 1 คือ กำหนดเวกเตอร์แม่เริ่มต้นทุกเวกเตอร์จากการสุ่ม

วิธีที่ 2 คือ กำหนดเวกเตอร์แม่เริ่มต้นจากเทคนิค MHR และจากการสุ่ม

วิธีที่ 3 คือ กำหนดเวกเตอร์แม่เริ่มต้นจากเทคนิค LLR และจากการสุ่ม

วิธีที่ 4 คือ กำหนดเวกเตอร์แม่เริ่มต้นจากเทคนิค MHR, LLR และจากการสุ่ม

ตารางที่ 4.4 จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของการกำหนดเวกเตอร์แม่เริ่มต้นการประมวลผลทั้ง 4 วิธี

วิธี	จำนวนรอบที่ใช้ในการประมวลผล (รอบ)	เวลาที่ใช้ (วินาที)
1	22	275.44
2	10	125.2
3	14	175.28
4	7	87.64

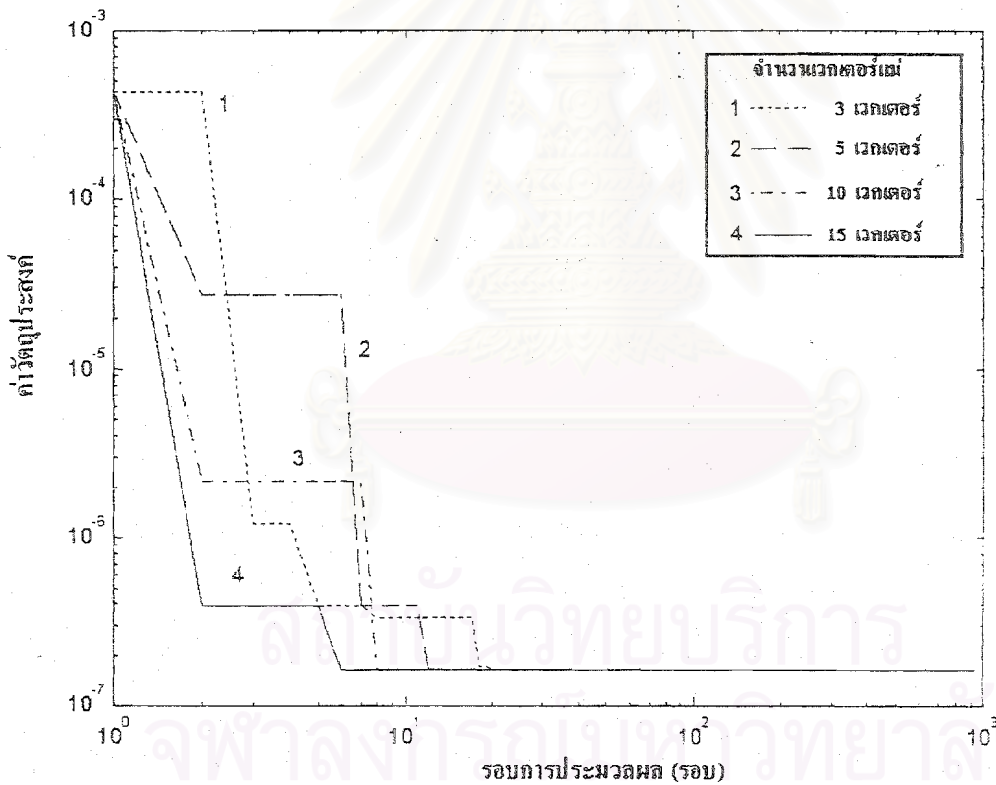
ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดที่แพ็กเก็ตจะสูญหายในเส้นทางที่ได้จากเทคนิคการจัดเส้นทางต่างๆ

เทคนิคการจัดเส้นทาง	ค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดที่แพ็กเก็ตจะสูญหาย
MHR	0.2814
LLR	0.1756
ฮิวริสติกอัลกอริทึม	$1.6733 \times 10^{-7}$

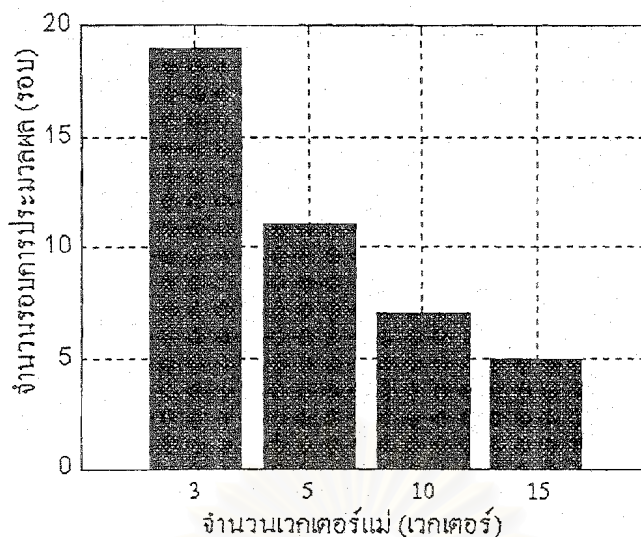
จากการทดสอบการจัดเส้นทางวงจรเสมือนให้กับโครงข่ายสื่อสารขนาด 6 โหนด ผลที่ได้ในรูปที่ 4.2 และ ตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าหากทำการกำหนดเวกเตอร์แม่เริ่มต้นการประมวลผลให้เป็นเวกเตอร์ที่เป็นคำตอบของการจัดเส้นทางด้วยเทคนิค MHR และ LLR จะทำให้ลดจำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเพื่อจัดเส้นทางวงจรเสมือนที่เหมาะสมที่สุดได้ ทั้งนี้เพราะผลของคำตอบการจัดเส้นทางด้วยเทคนิค MHR และ LLR จะเป็นเส้นทางที่ใกล้กับเส้นทางที่เป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุด และจากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าค่าความน่าจะเป็นที่สูงที่สุดของการเกิดการสูญหายของแพ็กเก็ต ในวงจรเสมือนของเส้นทางที่ได้จาก LLR และ MHR จะเป็นเส้นทางที่มีโอกาสเกิดการสูญหายของแพ็กเก็ตที่สูงมากเมื่อเทียบกับการจัดเส้นทางโดยใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึม ในการทดสอบนี้ได้ตรวจสอบคำตอบกับคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด พบว่าคำตอบที่ได้จากฮิวริสติกอัลกอริทึมในการทดสอบนี้เป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดจากคำตอบทั้งหมดที่เป็นไปได้

### ผลการทดสอบฮิวริสติกอัลกอริทึมกับจำนวนของเวกเตอร์แม่

ในการทดลองนี้ ได้ทำการทดลองกำหนดจำนวนของเวกเตอร์แม่ไว้จำนวนต่างๆ เพื่อที่จะทำการเปรียบเทียบจำนวนรอบการประมวลผลของฮิวริสติกอัลกอริทึมในการจัดเส้นทางวงจรเสมือนให้โครงข่ายสื่อสารขนาด 6 โหนดดังรูปที่ 4.1 โดยกำหนดค่าของจำนวนเวกเตอร์ลูกที่สร้างจากเวกเตอร์แม่ 1 เวกเตอร์เป็น 8 เวกเตอร์ โครงข่ายมีการกำหนดขนาดบัพเฟอร์ด้านขาออกของสวิตช์ที่โหนดต่างๆในโครงข่ายและอัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตในแต่ละวงจรเสมือนที่ใช้ทดสอบโครงข่ายดังในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 ในการทดสอบฮิวริสติกอัลกอริทึมที่จำนวนเวกเตอร์แม่จำนวนต่างๆจะได้กราฟการลู่เข้าหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดดังรูปที่ 4.3 และกราฟแห่งแสดงจำนวนรอบการประมวลผลได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.4 โดยในการทดสอบนี้ได้ทำการทดสอบกับจำนวนเวกเตอร์แม่ที่จำนวน 3, 5, 10 และ 15 เวกเตอร์ ตามลำดับ ผลของเส้นทางที่ได้จะเป็นเส้นทางกลุ่มเดียวกับในตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าวัตถุประสงค์ในแต่ละรอบการประมวลผลของฮิวริสติกอัลกอริทึมที่จำนวนเวกเตอร์แม่เป็น 3, 5, 10 และ 15 เวกเตอร์

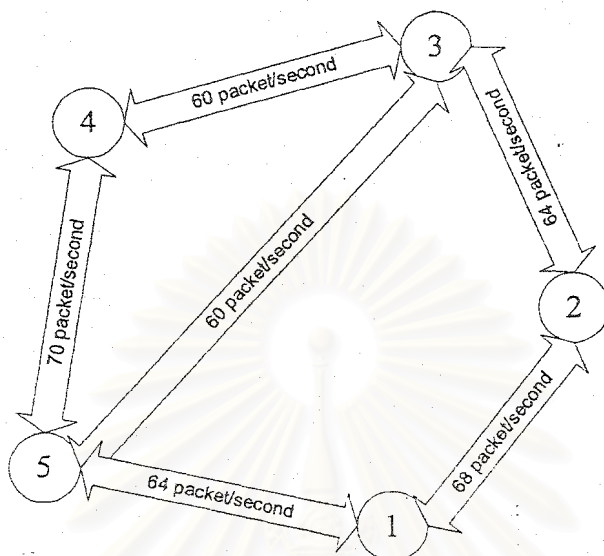


รูปที่ 4.4 กราฟแท่งแสดงจำนวนรอบการประมวลผลของฮิวริสติกอัลกอริทึมที่  
จำนวนเวกเตอร์แม่เป็น 3, 5, 10 และ 15 เวกเตอร์

คำตอบการจัดเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดจะได้คำตอบแบบเดียวกับคำตอบในตารางที่ 4.3 จากรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 จะพบว่าที่จำนวนเวกเตอร์แม่มากขึ้นจะทำให้จำนวนรอบที่ใช้ในการประมวลผลน้อยลง นอกจากนี้ยังพิจารณาได้ว่าการที่เพิ่มจำนวนเวกเตอร์แม่จะเป็นการเพิ่มความหลากหลายของคำตอบให้กับการค้นหา ซึ่งจะทำให้เวกเตอร์ที่เก็บไว้ในบัพเฟอร์ของแต่ละรอบการค้นหาจะกระจายครอบคลุมเวกเตอร์หรือคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดมากยิ่งขึ้น เป็นผลให้จำนวนรอบการประมวลผลเพื่อค้นหาคำตอบลดลงได้ แต่การเพิ่มจำนวนเวกเตอร์แม่หากนำไปประมวลผลแบบอนุกรมจะทำให้เวลาที่ใช้ในหนึ่งรอบการประมวลผลมากขึ้น แต่เมื่อนำไปประมวลผลแบบขนานแล้วเวลาที่ใช้ในหนึ่งรอบการประมวลผลเมื่อเพิ่มจำนวนเวกเตอร์แม่จะเท่าเดิม จากการตรวจสอบคำตอบกับคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด พบว่าคำตอบที่ได้จากฮิวริสติกอัลกอริทึมในการทดสอบนี้เป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดจากคำตอบทั้งหมดที่เป็นไปได้

นอกจากการทดสอบการจัดเส้นทางวงจรเสมือนในโครงข่ายสื่อสารขนาด 6 โหนดแล้วยังทำการทดสอบการจัดเส้นทางวงจรเสมือนในโครงข่ายสื่อสารขนาด 5 โหนดที่มีโทโปโลยีดังรูปที่ 4.5 เพื่อเปรียบเทียบจำนวนรอบการประมวลผลเมื่อทำการเพิ่มจำนวนเวกเตอร์แม่มากขึ้น ซึ่งโครงข่ายขนาด 5 โหนดจะมีขนาดสเปซของเซตของเส้นทางวงจรเสมือนที่เล็กกว่าของโครงข่ายขนาด 6 โหนด มาก ดังนั้นการเพิ่มจำนวนเวกเตอร์แม่จะทำให้จำนวนรอบของการประมวลผลที่ใช้ลดลงอย่างชัดเจนกว่าการทดสอบกับโครงข่ายขนาด 6 โหนด การทดสอบนี้ได้กำหนดขนาดบัพเฟอร์ด้าน

ออกของสวิตช์ในแต่ละโหนดดังในตารางที่ 4.6 และอัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตในวงจรเสมือนที่ใช้ทดสอบ โครงข่ายดังในตารางที่ 4.7 กำหนดจำนวนของเวกเตอร์ลูกที่สร้างขึ้นจากเวกเตอร์แม่หนึ่งเวกเตอร์เป็น 5 เวกเตอร์ ผลของจำนวนรอบการประมวลผลและ เส้นทางที่ได้จะแสดงในตารางที่ 4.8 และ ตารางที่ 4.9 ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 โทโปโลยีของโครงข่ายทดสอบขนาด 5 โหนด

ตารางที่ 4.6 ขนาดบัฟเฟอร์ที่ด้านออกของสวิตช์ที่จะใช้ทำการส่งแพ็กเก็ตผ่านข่ายเชื่อมโยงสำหรับโครงข่ายทดสอบ 5 โหนด

ขนาดบัฟเฟอร์ที่ใช้ทำการส่งแพ็กเก็ตผ่านข่ายเชื่อมโยง(แพ็กเก็ต)					
โหนดต้นทาง	โหนดปลายทาง				
	1	2	3	4	5
1	-	52	-	-	60
2	52	-	55	-	-
3	-	55	-	58	52
4	-	-	58	-	48
5	60	-	52	48	-



ตารางที่ 4.7 อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตในแต่ละวงจรเสมือนที่ใช้ทดสอบโครงข่าย 5 โหนด

อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตของวงจรเสมือน (แพ็กเก็ต/วินาที)					
โหนด ต้นทาง	โหนดปลายทาง				
	1	2	3	4	5
1	-	3.8373	3.9038	3.4818	9.8851
2	0.5628	-	1.4731	7.8217	8.3690
3	9.1923	3.7621	-	373	8.2703
4	4.4751	0.1286	3.6064	-	9.5095
5	3.5017	1.2473	2.3082	6.2676	-

ตารางที่ 4.8 จำนวนรอบการประมวลผลของอีวิสต์กัลกอริทึมที่จำนวนเวกเตอร์แม่จำนวนต่างๆ และค่าวัตถุประสงค์สุดท้ายที่ได้

จำนวนเวกเตอร์แม่	จำนวนรอบการประมวลผล ผล (รอบ)	เวลาที่ใช้ในการประมวลผล ผล (วินาที)	ค่าวัตถุประสงค์
3	48	576	$5.7769 \times 10^{-7}$
5	13	156	$5.7769 \times 10^{-7}$
10	9	108	$5.7769 \times 10^{-7}$
15	7	84	$5.7769 \times 10^{-7}$
20	6	72	$5.7769 \times 10^{-7}$
30	3	36	$5.7769 \times 10^{-7}$
40	3	36	$5.7769 \times 10^{-7}$
50	3	36	$5.7769 \times 10^{-7}$

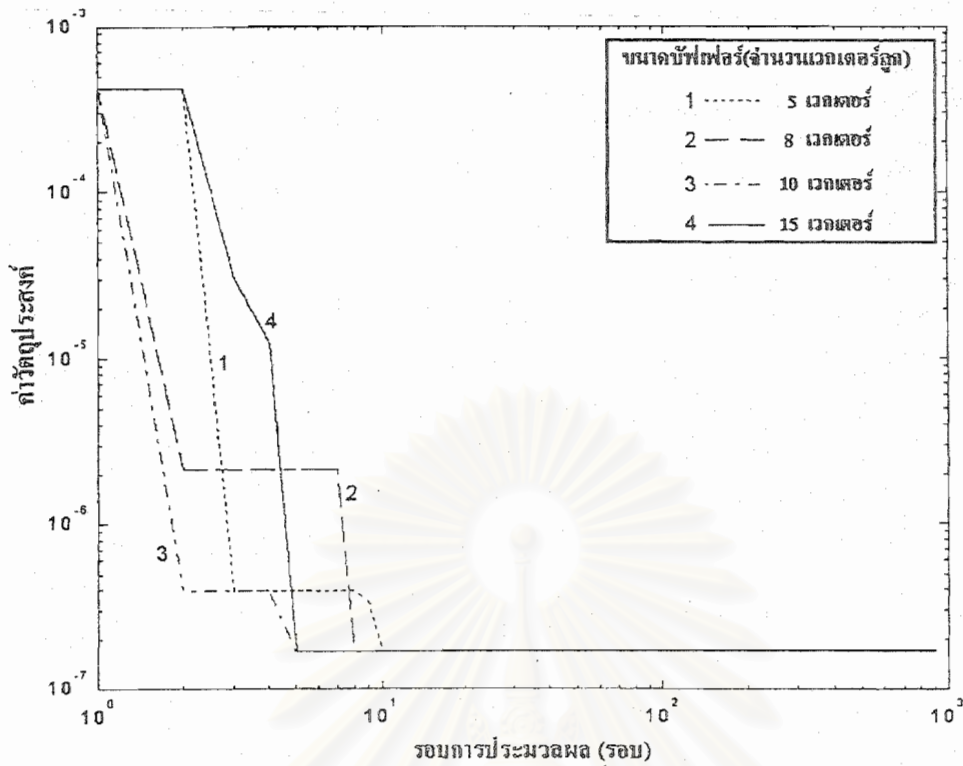
ตารางที่ 4.9 เส้นทางของวงจรเสมือนสำหรับโครงข่ายทดสอบ 5 โหนดที่ได้จากการจัดเส้นทางโดยใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึม

โหนดที่วงจรเสมือนเชื่อมต่อ					
โหนด ต้นทาง	โหนดปลายทาง				
	1	2	3	4	5
1	-	1, 2	1, 5, 4, 3	1, 5, 4	1, 5
2	2, 1	-	2, 3	2, 3, 4	2, 3, 4, 5
3	3, 5, 1	3, 2	-	3, 4	3, 4, 5
4	4, 5, 1	4, 3, 2	4, 3	-	4, 5
5	5, 1	5, 1, 2	5, 3	5, 4	-

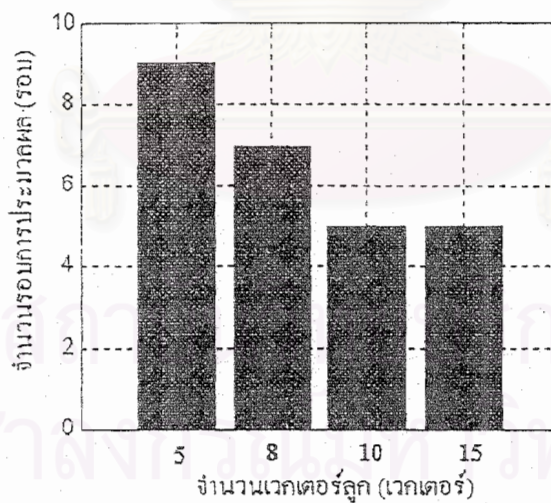
จากตารางข้างต้น จะพบว่าการทดสอบการเพิ่มจำนวนเวกเตอร์แม่กับฮิวริสติกอัลกอริทึมเพื่อทำการจัดเส้นทางวงจรเสมือนสำหรับโครงข่ายทดสอบขนาด 5 โหนดก็จะทำให้จำนวนรอบการประมวลผลลดลงเช่นกัน จากตารางที่ 4.8 จะพบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนเวกเตอร์แม่มากขึ้นที่จำนวนๆ หนึ่งแล้วจะไม่สามารถลดจำนวนรอบการประมวลผลลงไปได้อีก

#### ผลการทดสอบฮิวริสติกอัลกอริทึมกับจำนวนของเวกเตอร์ลูกที่สร้างจากเวกเตอร์แม่

ในการทดลองนี้ ได้ทำการทดสอบเพื่อศึกษาผลของจำนวนเวกเตอร์ลูกที่สร้างจากเวกเตอร์แม่ 1 เวกเตอร์ โดยกำหนดจำนวนของเวกเตอร์ลูกที่สร้างใหม่จากเวกเตอร์แม่ในแต่ละรอบการประมวลผลไว้ที่จำนวนต่างๆ และทำการพิจารณาถึงจำนวนรอบการประมวลผลของฮิวริสติก อัลกอริทึมในการจัดเส้นทางให้โครงข่ายสื่อสารขนาด 6 โหนดดังรูปที่ 4.1 โดยกำหนดค่าของจำนวนเวกเตอร์แม่ที่ใช้สร้างเวกเตอร์ลูกเป็น 10 เวกเตอร์ โครงข่ายที่ใช้ทดสอบจะมีขนาดของบัพเฟอร์ที่ โหนดต่างๆ ในโครงข่ายและอัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่ใช้ทดสอบโครงข่ายดังในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 ในการทดสอบฮิวริสติกอัลกอริทึมได้ทำการทดสอบที่จำนวนเวกเตอร์ลูกที่สร้างจากเวกเตอร์แม่ 1 เวกเตอร์เป็น 5, 8, 10 และ 15 เวกเตอร์ ตามลำดับ จะได้กราฟการลู่เข้าหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดดังรูปที่ 4.6 และกราฟแท่งแสดงจำนวนรอบการประมวลผลได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าวัตถุประสงค์ในแต่ละรอบการประมวลผลของฮิวริสติกอัลกอริทึมที่มีขนาดบัพเฟอร์(จำนวนเวกเตอร์ลูก) สำหรับเวกเตอร์แม่ที่มีจำนวน 5, 8, 10 และ 15 เวกเตอร์



รูปที่ 4.7 กราฟแท่งแสดงจำนวนรอบการประมวลผลของฮิวริสติกอัลกอริทึมที่มีขนาดบัพเฟอร์(จำนวนเวกเตอร์ลูก) เป็น 5, 8, 10 และ 15 เวกเตอร์ ต่อหนึ่งเวกเตอร์แม่

ตารางที่ 4.10 ค่าวัตถุประสงค์ในแต่ละรอบการประมวลผลของฮิวริสติกอัลกอริทึมที่ขนาดบัพเฟอร์(จำนวนเวกเตอร์ลูก) สำหรับเวกเตอร์แม่ที่มีจำนวน 5, 8, 10 และ 15 เวกเตอร์

รอบการประมวลผลที่	ค่าวัตถุประสงค์ เมื่อกำหนดขนาดบัพเฟอร์สำหรับ 1 เวกเตอร์แม่			
	5 เวกเตอร์	8 เวกเตอร์	10 เวกเตอร์	15 เวกเตอร์
1	$4.314 \times 10^{-4}$	$4.314 \times 10^{-4}$	$4.314 \times 10^{-4}$	$4.314 \times 10^{-4}$
2	$4.314 \times 10^{-4}$	$2.2 \times 10^{-6}$	$4 \times 10^{-7}$	$4.314 \times 10^{-4}$
3	$4 \times 10^{-7}$	$2.2 \times 10^{-6}$	$4 \times 10^{-7}$	$3.03 \times 10^{-5}$
4	$4 \times 10^{-7}$	$2.2 \times 10^{-6}$	$4 \times 10^{-7}$	$1.23 \times 10^{-5}$
5	$4 \times 10^{-7}$	$2.2 \times 10^{-6}$	$2 \times 10^{-7}$	$2 \times 10^{-7}$
6	$4 \times 10^{-7}$	$2.2 \times 10^{-6}$	$2 \times 10^{-7}$	$2 \times 10^{-7}$
7	$4 \times 10^{-7}$	$2 \times 10^{-7}$	$2 \times 10^{-7}$	$2 \times 10^{-7}$
8	$4 \times 10^{-7}$	$2 \times 10^{-7}$	$2 \times 10^{-7}$	$2 \times 10^{-7}$
9	$2 \times 10^{-7}$	$2 \times 10^{-7}$	$2 \times 10^{-7}$	$2 \times 10^{-7}$

จากรูปกราฟในรูปที่ 4.6 รูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.10 จะพบว่าหากทำการเพิ่มจำนวนของเวกเตอร์ลูกที่สร้างจากเวกเตอร์แม่ 1 เวกเตอร์แล้วจะทำให้จำนวนรอบการประมวลผลลดลงได้เช่นเดียวกับการเพิ่มจำนวนเวกเตอร์แม่ ซึ่งเป็นการเพิ่มความหลากหลายของคำตอบในแต่ละรอบการประมวลผลเช่นกัน แต่จำนวนรอบการประมวลผลที่ลดลงนี้จะไม่เด่นชัดเท่ากับการจำนวนรอบที่ลดลงของการประมวลผลโดยการเพิ่มจำนวนเวกเตอร์แม่ อย่างไรก็ตามการเพิ่มจำนวนเวกเตอร์ลูกจะทำให้เวลาในการประมวลผลหนึ่งรอบเพิ่มขึ้นในการประมวลผลแบบอนุกรม สำหรับการประมวลผลแบบขนานแล้วเวลาที่ใช้ในหนึ่งรอบการประมวลผลไม่เพิ่มขึ้น

สำหรับการจัดเส้นทางวงจรเสมือนในโครงข่ายสื่อสารขนาด 5 โหนดที่มีโทโปโลยีดังรูปที่ 4.5 ที่ขนาดบัพเฟอร์ค่านอกของสวิทช์ในแต่ละ โหนดและอัตราการใช้แบนด์วิดท์ของแต่ละวงจรเสมือนเดียวกับหัวข้อผลการทดสอบฮิวริสติกอัลกอริทึมกับจำนวนของเวกเตอร์แม่ กำหนด

ให้จำนวนของเวกเตอร์แม่เป็น 5 เวกเตอร์ และ 10 เวกเตอร์ โดยทำการเปลี่ยนจำนวนของเวกเตอร์ลูกที่เวกเตอร์แม่สร้างขึ้น จะได้ผลของจำนวนรอบการประมวลผลตามตารางที่ 4.11

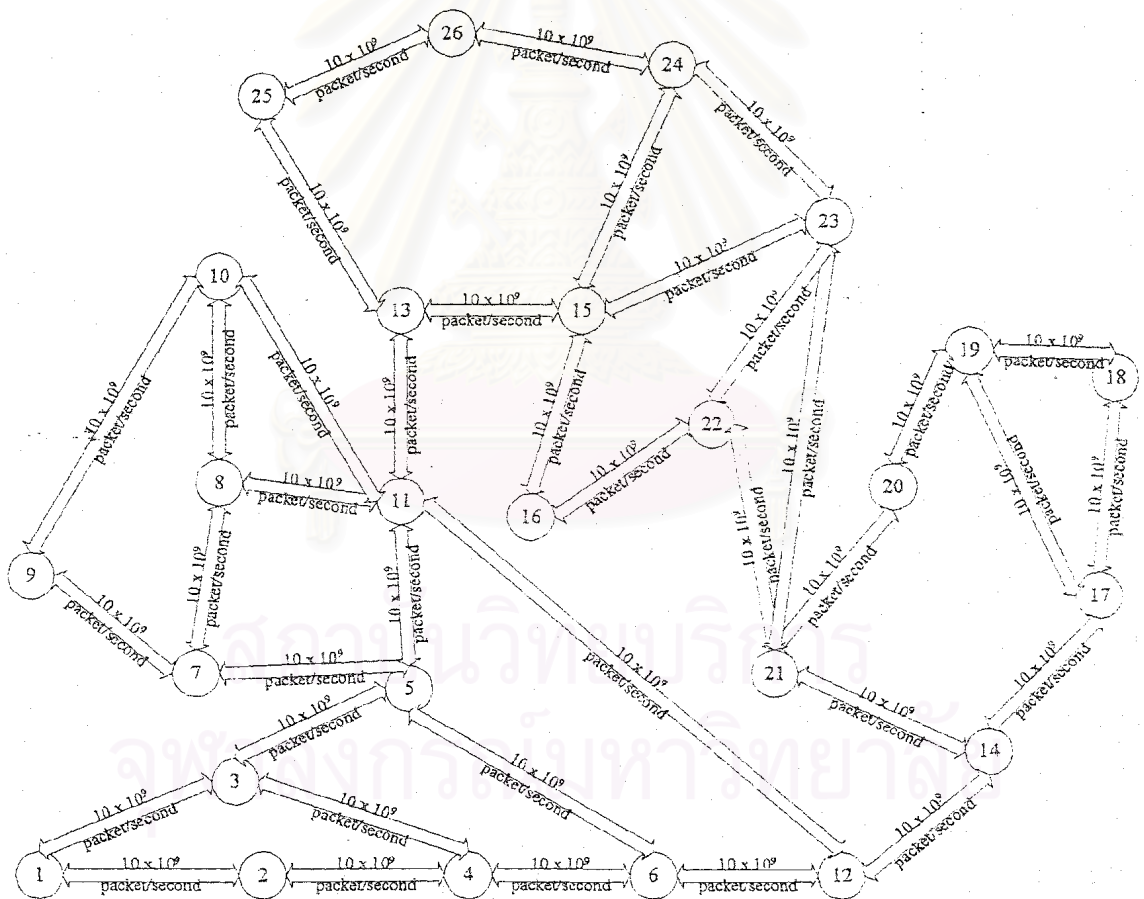
ตารางที่ 4.11 จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของฮิวริสติกอัลกอริทึมที่จำนวนเวกเตอร์ลูกที่สร้างจากเวกเตอร์แม่ 1 เวกเตอร์จำนวนต่างๆและค่าวัตถุประสงค์สุดท้ายที่ได้

จำนวนเวกเตอร์แม่	จำนวนเวกเตอร์ลูก	จำนวนรอบการประมวลผล (รอบ)	เวลาที่ใช้ในการประมวลผล (วินาที)	ค่าวัตถุประสงค์
5	3	17	204	$5.7769 \times 10^{-7}$
5	5	13	156	$5.7769 \times 10^{-7}$
5	10	10	120	$5.7769 \times 10^{-7}$
5	16	9	108	$5.7769 \times 10^{-7}$
5	24	9	108	$5.7769 \times 10^{-7}$
5	28	7	84	$5.7769 \times 10^{-7}$
10	5	9	108	$5.7769 \times 10^{-7}$
10	8	7	84	$5.7769 \times 10^{-7}$
10	15	4	48	$5.7769 \times 10^{-7}$
10	24	3	36	$5.7769 \times 10^{-7}$
10	28	3	36	$5.7769 \times 10^{-7}$

จากตารางที่ 4.11 จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการประมวลผลที่ได้ลดลงค่อนข้างมากหากทำการเพิ่มจำนวนของเวกเตอร์แม่มากขึ้น เมื่อเทียบกับจำนวนรอบของการประมวลผลที่ลดลงของการเพิ่มจำนวนเวกเตอร์ลูกที่สร้างขึ้นจากเวกเตอร์แม่ 1 เวกเตอร์ เนื่องจากฮิวริสติกอัลกอริทึมสามารถทำการประมวลผลแบบขนาน ทำให้ขั้นตอนการสร้างเวกเตอร์ลูกขึ้นมาใหม่สามารถแบ่งดำเนินการพร้อมๆกันได้ ดังนั้นการเพิ่มจำนวนเวกเตอร์ลูกที่สร้างจากเวกเตอร์แม่ 1 เวกเตอร์ขึ้นจะไม่ทำให้เวลาที่ใช้ในการประมวลผล 1 รอบการประมวลผลเพิ่มขึ้นหากทำการเพิ่มจำนวนหน่วยประมวลผล

## การทดสอบฮิวริสติกอัลกอริทึมกับโครงข่ายขนาด 26 โหนด

ในส่วนนี้ได้ทำการทดสอบกับโครงข่ายขนาดใหญ่คือโครงข่ายขนาด 26 โหนด ซึ่งมีโทโปโลยีดังแสดงในรูปที่ 4.8 ขนาดของบัพเฟอร์ที่ขาออกของสวิตช์ทุกบัพเฟอร์จะกำหนดให้มีขนาดเท่ากันทุกบัพเฟอร์ในโครงข่ายคือ 64 แพ็กเก็ตและมีอัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่ใช้ทดสอบโครงข่ายดังในตารางที่ 4.12 ฮิวริสติกอัลกอริทึมจะกำหนดจำนวนของเวกเตอร์แม่ที่ใช้เป็น 10 เวกเตอร์ และเวกเตอร์ลูกจำนวน 20 เวกเตอร์สำหรับเวกเตอร์แม่ 1 เวกเตอร์ ค่าวัตถุประสงค์ในแต่ละรอบการประมวลผลของการจัดเส้นทางวงจรเสมือนแสดงในรูปที่ 4.9 และ ตารางที่ 4.13 จะแสดงถึงเส้นทางของวงจรเสมือนที่ได้รับจากการใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึม และ ตารางที่ 4.14 แสดงจำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของฮิวริสติกอัลกอริทึมและค่าวัตถุประสงค์ที่ได้



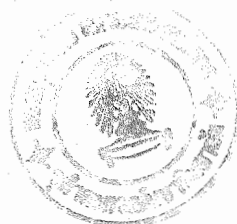
รูปที่ 4.8 โทโปโลยีของโครงข่ายทดสอบขนาด 26 โหนด

ตารางที่ 4.12 อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเกจในแต่ละวงจรเสมือนที่ใช้ทดสอบ

วงจรเสมือนที่เชื่อมระหว่าง		อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเกจ ในวงจรเสมือน (แพ็กเกจ/วินาที)	วงจรเสมือนที่เชื่อมระหว่าง		อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเกจ ในวงจรเสมือน (แพ็กเกจ/วินาที)
ต้นทาง	ปลายทาง		ต้นทาง	ปลายทาง	
1	2	154480155	2	1	71645007
	3	86126053		3	48218675
	4	91011860		5	265171495
	5	264175704		7	236832729
	6	226039908		11	118078563
	9	212089050		12	85771442
	10	69794101		14	273506975
	14	166413618		15	223790637
	15	234593994		16	237838090
	16	144264815		17	36171646
	18	86514685		19	12190032
	19	22701029		21	234531501
	24	143453930		22	151446380
	25	181790235		24	233783190
3	1	160701484	2	25	116784225
	2	14256327		26	75007013
	8	55791366	4	3	9333924
	9	20767683		6	274715898
	10	93690461		7	34436637
	14	104701163		9	245819522
	16	266588407		10	9555024
	18	80660996		11	50601056
	19	17658224		12	133072906
	20	265106106		13	157220927
	21	63525559		14	250745061
	22	234026246		15	122292632
23	118114032	19		80435233	
24	215635318	21		221178230	
5	2	264394632	2	25	259772471
	3	100487259		26	53232364
	4	190207512	6	7	94192981
	6	154381147		10	230973007
	8	182407367		11	53143007

ตารางที่ 4.12 อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตในแต่ละวงจรเสมือนที่ใช้ทดสอบ (ต่อ)

วงจรเสมือนที่เชื่อมระหว่าง		อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ต ในวงจรเสมือน (แพ็กเก็ต/วินาที)	วงจรเสมือนที่เชื่อมระหว่าง		อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ต ในวงจรเสมือน (แพ็กเก็ต/วินาที)	
ต้นทาง	ปลายทาง		ต้นทาง	ปลายทาง		
5	11	88605270	6	12	154884712	
	12	80171747		16	189615635	
	13	170893581		19	25198744	
	23	34261543		20	256428563	
	25	135293946		23	56441233	
	26	2928895		24	212543072	
7	2	12510621	6	25	132264916	
	5	126503238		26	31132943	
	6	152107425	8	6	242125426	
	9	132088536		9	30858680	
	10	91500225		13	116786235	
	12	20038433		15	241958374	
	13	179759812		19	14372707	
	18	209877742		21	203946198	
	19	90838616		23	209301308	
	20	215302504		24	185258889	
	21	266664975		25	181326402	
	23	192756380		26	197979425	
	24	70125871		10	4	25229549
	25	210257125			5	126854873
26	253155351	8	58393238			
9	2	59185865	9		9	256089233
	3	56309570		11	22421216	
	6	94837538		12	187285774	
	7	237373935		15	23356122	
	8	58229565		16	199309962	
	11	82864262		17	237655114	
	12	173213951		20	113384981	
	13	31111549		22	184483232	
	16	84450		23	31422890	
	18	8856016		25	14157157	
	23	270096873	26	249966670		
24	31074230	12	5	201513307		
26	159886578		7	226311839		
11	4	192830455	9	176471319		





ตารางที่ 4.12 อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตในแต่ละวงจรเสมือนที่ใช้ทดสอบ (ต่อ)

วงจรเสมือนที่เชื่อมระหว่าง		อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ต	วงจรเสมือนที่เชื่อมระหว่าง		อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ต	
เส้นทาง	ปลายทาง	ในวงจรเสมือน (แพ็กเก็ต/วินาที)	เส้นทาง	ปลายทาง	ในวงจรเสมือน (แพ็กเก็ต/วินาที)	
11	5	88745458	12	10	90833871	
	7	105363737		13	250149485	
	12	12073972		18	267587737	
	14	231002122		19	13889008	
	16	202121511		20	215816927	
	17	159471726		22	157598782	
	19	159627919		24	60828461	
	20	247861045		25	163001184	
	22	28639570		26	72981736	
	23	107885742		14	3	105793307
	24	48265002			4	259344991
	26	25049307			6	272466385
		9	56255039			
13	2	270149474	16	4	92051082	
	3	113984417		7	8569125	
	4	199103581		9	118366980	
	5	70041420		11	50052208	
	6	273081747		14	116255646	
	10	261744101		18	138801366	
	12	6022267		19	206404423	
	15	104953870		21	141570048	
	16	90888964		23	28552144	
	17	193384852		24	14003458	
	18	198198031		26	143776289	
	20	118595962		18	1	215795935
	21	116359318			2	31119672
	22	378578				
	24	69741018				
	25	91829501				
	26	36088563				
	15	1		250094873		
8		102969533				
9		19674895				
11		265079485				
16		97109973				
20		252909721				

ตารางที่ 4.12 อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตในแต่ละวงจรเสมือนที่ใช้ทดสอบ (ต่อ)

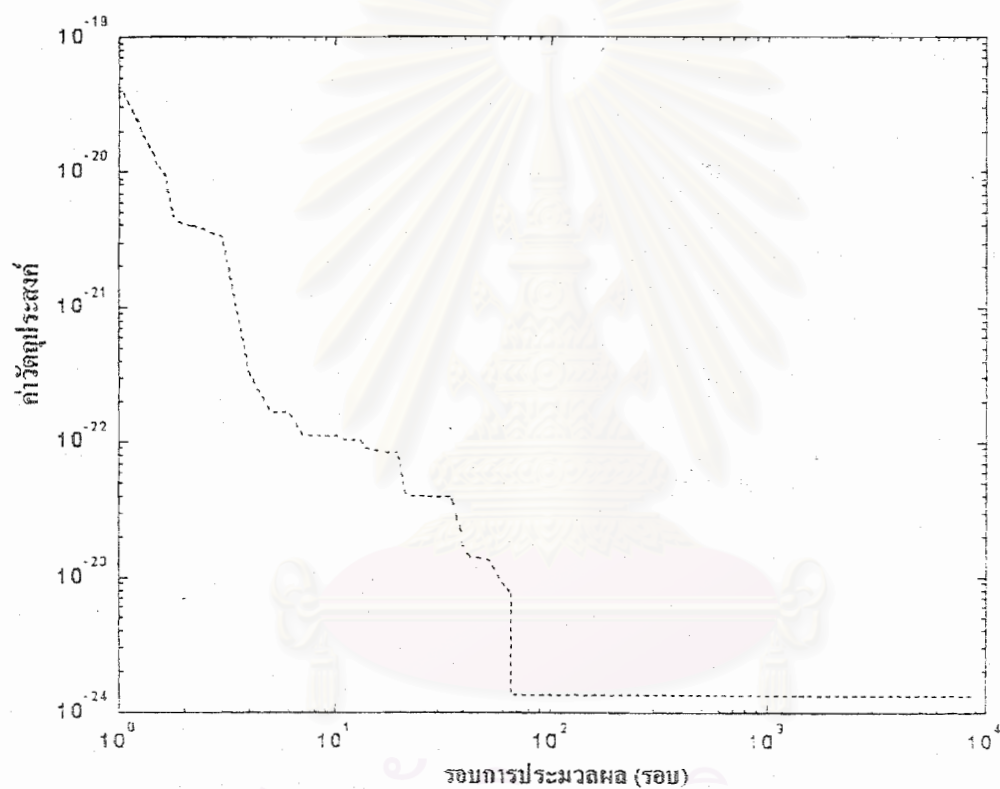
วงจรเสมือนที่เชื่อมระหว่าง		อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ต ในวงจรเสมือน (แพ็กเก็ต/วินาที)	วงจรเสมือนที่เชื่อมระหว่าง		อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ต ในวงจรเสมือน (แพ็กเก็ต/วินาที)
ต้นทาง	ปลายทาง		ต้นทาง	ปลายทาง	
15	22	137536541	18	4	171904412
	23	267882187		5	41903002
17	1	264232890	18	8	154081629
	2	241997383		10	110031179
	3	209124122		12	71729056
	4	94896332		16	66097029
	5	66004938		23	9483201
	6	89160149		24	168496723
	7	149548343		26	248512921
	8	210230262	20	1	168107527
	11	125194342		5	11077941
	12	20491570		6	167773586
	14	187025586		8	69469088
	15	78397168		12	7072991
	16	254096691		13	190819254
	18	123865898		14	267868755
19	207009409	15	39896868		
21	80307672	17	42280053		
23	168475811	18	176647377		
24	174038026	22	82937935		
19	1	148701506	18	23	223714150
	2	80939281		25	135114428
	3	245126948		26	250056911
	4	151083485	22	5	264469833
	6	159790949		7	25082847
	8	143556075		8	198789988
	10	88051758		9	204002659
	11	90740654		11	96321608
	12	104603924		13	89021812
	13	74956504		17	11912954
	15	11146788		23	248768444
	16	215422986		24	171230096
	20	160462852		26	74887335
21	217834240	24	2	4407259	
23	261189061		4	75122428	

ตารางที่ 4.12 อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตในแต่ละวงจรมือถือที่ใช้ทดสอบ (ต่อ)

วงจรมือถือที่เชื่อมระหว่าง		อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ต ในวงจรมือถือ (แพ็กเก็ต/วินาที)	วงจรมือถือที่เชื่อมระหว่าง		อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ต ในวงจรมือถือ (แพ็กเก็ต/วินาที)
ต้นทาง	ปลายทาง		ต้นทาง	ปลายทาง	
19	25	256394702	24	5	146389501
	26	119078777		9	233608900
21	2	223818707	26	10	42771795
	7	223728707		11	17753774
	11	112858734		12	226051571
	13	26058289		13	99968252
	15	236490825		16	215263736
	17	209592461		17	115683313
	20	160612932		19	226569452
	22	80983034		20	209395249
	23	74649828		22	105080948
	25	64017142		25	33440283
	26	27850562			
23	1	3149270		4	36243790
	2	124186327		5	270485908
	6	11628557		8	198751704
	7	157442911		9	53379790
	9	35886686		10	207620106
	10	239482857		11	245353115
	11	11582471		12	196221495
	13	184982214		14	179301689
	14	52477538		15	230993195
	15	230797592		20	96491474
	16	50112772		21	152111367
	18	61127013		22	55216863
	21	99227260		23	215182584
26	74790498		24	165866782	
			25	39481050	
25	1	75729667			
	3	75677066			
	5	35975479			
	8	3892756			
	11	33946584			
	13	138351367			
	15	253315163			
16	36643522				

ตารางที่ 4.12 อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตในแต่ละวงจรเสมือนที่ใช้ทดสอบ (ต่อ)

วงจรเสมือนที่เชื่อมระหว่าง		อัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ต ในวงจรเสมือน (แพ็กเก็ต/วินาที)
ต้นทาง	ปลายทาง	
25	18	157934975
	19	4415543
	20	122052632
	22	69732895
	23	61430712



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าวัดประสงค์ในแต่ละรอบการประมวลผลของฮิวริสติกอัลกอริทึมที่ทดสอบกับโครงข่ายขนาด 26 โหนด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.13 เส้นทางของวงจรเสมือนสำหรับโครงข่ายทดสอบขนาด 26 โหนดที่ได้จากการจัดเส้นทางโดยใช้วิธีสถิติอัลกอริทึม

วงจรเสมือนที่เชื่อมระหว่าง		ผลการจัดเส้นทางวงจรเสมือน (โหนดที่วงจรเสมือนเชื่อมต่อ)
โหนดต้นทาง	โหนดปลายทาง	
1	2	1 3 4 2
	3	1 3
	4	1 2 4
	5	1 3 5
	6	1 2 4 6
	9	1 3 5 7 9
	10	1 3 5 11 10
	14	1 2 4 6 12 14
	15	1 3 5 11 13 15
	16	1 3 5 11 13 15 16
	18	1 2 4 6 12 14 17 18
	19	1 3 5 11 12 14 17 19
	24	1 2 4 6 12 24
	25	1 3 4 6 5 11 13 25
2	1	2 1
	3	2 1 3
	5	2 4 6 5
	7	2 1 3 5 7
	11	2 1 3 5 11
	12	2 4 6 12
	14	2 1 3 5 11 12 14
	15	2 4 6 12 24 15
	16	2 4 6 12 24 15 16
	17	2 1 3 5 6 12 14 17
	19	2 4 6 12 14 17 19
	21	2 4 6 5 11 12 14 21
	22	2 4 6 12 24 15 23 22
	24	2 4 6 12 24
25	2 1 3 5 11 13 25	
26	2 1 3 5 11 12 24 26	
3	1	3 1
	2	3 1 2
	8	3 5 7 8

ตารางที่ 4.13 เส้นทางของวงจรเสมือนสำหรับโครงข่ายทดสอบขนาด 26 โหนดที่ได้จากการจัดเส้นทางโดยใช้วิธีสติกอัลกอริทึม (ต่อ)

วงจรเสมือนที่เชื่อมระหว่าง		ผลการจัดเส้นทางวงจรเสมือน (โหนดที่วงจรเสมือนเชื่อมต่อ)							
โหนดต้นทาง	โหนดปลายทาง								
3	9	3	4	6	5	11	10	9	
	10	3	5	11	10				
	14	3	5	11	12	24	23	21	14
	16	3	4	6	12	14	21	22	16
	18	3	5	11	12	14	17	18	
	19	3	4	6	12	14	17	19	
	20	3	5	6	12	24	23	21	20
	21	3	5	11	12	24	23	21	
	22	3	4	6	12	14	21	22	
	23	3	5	11	12	24	15	23	
	24	3	4	6	12	24			
4	3	4	3						
	6	4	6						
	7	4	2	1	3	5	7		
	9	4	3	5	7	9			
	10	4	3	5	11	8	7	9	10
	11	4	3	5	11				
	12	4	6	5	7	8	10	11	12
	13	4	3	5	11	13			
	14	4	6	12	14				
	15	4	6	12	24	15			
	19	4	3	5	11	12	14	17	19
21	4	6	12	14	21				
25	4	3	5	11	13	25			
26	4	6	5	11	12	24	26		
5	2	5	6	4	3	1	2		
	3	5	3						
	4	5	3	4					
	6	5	6						
	8	5	7	8					
	11	5	11						
	12	5	6	12					
	13	5	11	13					

ตารางที่ 4.13 เส้นทางของวงจรเสมือนสำหรับโครงข่ายทดสอบขนาด 26 โหนดที่ได้จากการจัดเส้นทางโดยใช้วิธีสติกอัลกอริทึม (ต่อ)

วงจรเสมือนที่เชื่อมระหว่าง		ผลการจัดเส้นทางวงจรเสมือน (โหนดที่วงจรเสมือนเชื่อมต่อ)
โหนดต้นทาง	โหนดปลายทาง	
5	23	5 11 12 24 15 16 22 23
	25	5 11 13 25
	26	5 6 12 24 26
6	7	6 12 11 8 10 9 7
	10	6 5 11 10
	11	6 5 11
	12	6 12
	16	6 12 24 15 16
	19	6 12 14 17 19
	20	6 12 24 15 16 22 21 20
	23	6 5 7 8 11 12 24 23
	24	6 12 24
	25	6 5 11 13 15 24 26 25
26	6 4 3 5 11 12 24 26	
7	2	7 5 3 1 2
	5	7 5
	6	7 5 6
	9	7 9
	10	7 8 10
	12	7 5 11 13 15 24 12
	13	7 5 11 13
	18	7 5 6 12 14 17 18
	19	7 8 11 12 14 21 20 19
	20	7 5 6 12 14 21 20
	21	7 9 10 11 12 14 21
	23	7 5 6 12 24 23
	24	7 8 10 11 13 15 23 24
25	7 5 11 13 25	
26	7 5 11 13 25 26	
8	6	8 7 5 6
	9	8 7 9
	13	8 10 11 12 24 23 15 13
	15	8 11 13 15

ตารางที่ 4.13 เส้นทางของวงจรเสมือนสำหรับโครงข่ายทดสอบขนาด 26 โหนดที่ได้จากการจัดเส้นทางโดยใช้วิธีสติกอัลกอริทึม (ต่อ)

วงจรเสมือนที่เชื่อมระหว่าง		ผลการจัดเส้นทางวงจรเสมือน (โหนดที่วงจรเสมือนเชื่อมต่อ)
โหนดต้นทาง	โหนดปลายทาง	
8	19	8 11 12 24 23 21 20 19
	21	8 11 12 14 21
	23	8 11 12 24 23
	24	8 11 12 24
	25	8 11 13 25
	26	8 11 12 24 26
9	2	9 7 5 3 1 2
	3	9 7 5 3
	6	9 7 5 6
	7	9 7
	8	9 7 8
	11	9 10 11
	12	9 7 8 11 12
	13	9 10 11 13
	16	9 10 11 13 15 16
	18	9 10 11 12 14 17 18
	23	9 10 11 12 24 23
10	4	10 11 5 3 4
	5	10 11 5
	8	10 8
	9	10 9
	11	10 11
	12	10 11 12
	15	10 11 13 15
	16	10 11 13 15 16
	17	10 11 12 14 17
	20	10 11 12 14 21 20
	22	10 11 13 15 23 21 22
23	10 11 12 24 23	
25	10 11 13 25	
26	10 8 11 13 15 23 24 26	



ตารางที่ 4.13 เส้นทางของวงจรเสมือนสำหรับโครงข่ายทดสอบขนาด 26 โหนดที่ได้จากการจัดเส้นทางโดยใช้วิธีสติกอัลกอริทึม (ต่อ)

วงจรเสมือนที่เชื่อมระหว่าง		ผลการจัดเส้นทางวงจรเสมือน (โหนดที่วงจรเสมือนเชื่อมต่อ)										
โหนดต้นทาง	โหนดปลายทาง											
11	4	11	5	3	4							
	5	11	5									
	7	11	5	7								
	12	11	13	15	16	22	21	14	12			
	14	11	12	14								
	16	11	13	15	16							
	17	11	13	15	24	23	21	14	17			
	19	11	12	14	17	19						
	20	11	12	14	21	20						
	22	11	12	14	21	22						
	23	11	12	24	23							
	24	11	12	24								
	26	11	12	14	21	22	23	24	26			
12	5	12	6	5								
	7	12	11	10	8	7						
	9	12	11	10	9							
	10	12	11	10								
	13	12	11	13								
	18	12	14	17	18							
	19	12	14	17	19							
	20	12	11	13	15	23	22	21	20			
	22	12	14	21	22							
	24	12	24									
13	2	13	11	5	3	1	2					
	3	13	11	5	3							
	4	13	11	5	3	4						
	5	13	11	5								
	6	13	11	5	6							
	10	13	11	10								
12	13	11	12									
15	13	15										

ตารางที่ 4.13 เส้นทางของวงจรเสมือนสำหรับโครงข่ายทดสอบขนาด 26 โหนดที่ได้จากการจัดเส้นทางโดยใช้วิธีสติกอัลกอริทึม (ต่อ)

วงจรเสมือนที่เชื่อมระหว่าง		ผลการจัดเส้นทางวงจรเสมือน (โหนดที่วงจรเสมือนเชื่อมต่อ)
โหนดต้นทาง	โหนดปลายทาง	
13	16	13 15 16
	17	13 15 23 22 21 20 19 17
	18	13 15 24 23 21 14 17 18
	20	13 15 23 21 20
	21	13 15 23 21
	22	13 15 16 22
	24	13 15 24
	25	13 25
	26	13 25 26
14	3	14 12 6 4 3
	4	14 12 6 4
	6	14 21 22 23 24 12 6
	9	14 12 11 10 9
	10	14 12 11 10
	11	14 12 11
	13	14 21 22 23 24 15 13
	15	14 21 23 24 15
	16	14 21 22 23 24 15 16
	17	14 17
	20	14 17 19 20
22	14 21 22	
26	14 12 24 26	
15	1	15 13 11 5 3 1
	8	15 13 11 8
	9	15 13 11 10 9
	11	15 13 11
	16	15 16
	20	15 23 21 20
	22	15 16 22
23	15 23	
16	4	16 15 24 12 6 4
	7	16 15 13 11 5 7
	9	16 15 13 11 8 7 9

ตารางที่ 4.13 เส้นทางของวงจรเสมือนสำหรับโครงข่ายทดสอบขนาด 26 โหนดที่ได้จากการจัดเส้นทางโดยใช้วิธีสติกอัลกอริทึม (ต่อ)

วงจรเสมือนที่เชื่อมระหว่าง		ผลการจัดเส้นทางวงจรเสมือน (โหนดที่วงจรเสมือนเชื่อมต่อ)
โหนดต้นทาง	โหนดปลายทาง	
16	11	16 15 13 11
	14	16 22 21 14
	18	16 22 21 14 17 18
	19	16 15 23 21 20 19
	21	16 22 21
	23	16 15 23
	24	16 15 24
	26	16 15 24 26
17	1	17 14 12 6 4 2 1
	2	17 14 12 11 5 6 4 2
	3	17 14 12 6 4 3
	4	17 14 21 23 24 12 6 4
	5	17 14 12 6 5
	6	17 19 20 21 14 12 6
	7	17 14 12 6 5 7
	8	17 14 21 23 24 12 11 8
	11	17 14 12 11
	12	17 14 21 23 24 12
	14	17 14
	15	17 19 20 21 22 23 15
	16	17 14 21 22 16
	18	17 18
	19	17 19
	21	17 14 21
23	17 14 21 23	
24	17 18 19 20 21 23 15 24	
18	1	18 17 14 12 6 4 2 1
	2	18 19 17 14 12 6 4 2
	4	18 17 14 12 6 4
	5	18 17 14 12 6 5
	8	18 17 14 12 11 8
	10	18 19 20 21 14 12 11 10
	12	18 19 17 14 12

ตารางที่ 4.13 เส้นทางของวงจรเสมือนสำหรับโครงข่ายทดสอบขนาด 26 โหนดที่ได้จากการจัดเส้นทางโดยใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึม (ต่อ)

วงจรเสมือนที่เชื่อมระหว่าง		ผลการจัดเส้นทางวงจรเสมือน (โหนดที่วงจรเสมือนเชื่อมต่อ)
โหนดต้นทาง	โหนดปลายทาง	
18	16	18 17 14 21 23 24 15 16
	23	18 17 14 21 23
	24	18 17 19 20 21 22 23 24
	26	18 17 14 21 23 15 24 26
19	1	19 17 14 12 6 4 2 1
	2	19 17 14 12 6 4 2
	3	19 17 14 12 6 4 3
	4	19 17 14 12 6 4
	6	19 20 21 22 23 24 12 6
	8	19 17 14 12 11 8
	10	19 20 21 23 15 13 11 10
	11	19 17 14 12 11
	12	19 20 21 14 12
	13	19 20 21 22 16 15 13
	15	19 20 21 22 23 24 15
	16	19 20 21 23 15 16
	20	19 20
	21	19 20 21
	23	19 20 21 23
25	19 20 21 23 24 15 13 25	
26	19 17 14 12 24 26	
20	1	20 21 14 12 6 4 2 1
	5	20 21 23 24 12 11 5
	6	20 21 23 24 12 6
	8	20 21 23 15 13 11 10 8
	12	20 21 14 12
	13	20 21 23 15 13
	14	20 19 18 17 14
	15	20 21 23 15
	17	20 19 17
	18	20 19 18
	22	20 21 22
	23	20 21 23

ตารางที่ 4.13 เส้นทางของวงจรเสมือนสำหรับโครงข่ายทดสอบขนาด 26 โหนดที่ได้จากการจัดเส้นทางโดยใช้วิธีสติกอัลกอริทึม (ต่อ)

วงจรเสมือนที่เชื่อมระหว่าง		ผลการจัดเส้นทางวงจรเสมือน (โหนดที่วงจรเสมือนเชื่อมต่อ)							
โหนดต้นทาง	โหนดปลายทาง								
20	25	20	21	23	15	13	25		
	26	20	21	23	24	26			
21	2	21	22	23	24	12	6	4	2
	7	21	14	12	6	5	7		
	11	21	23	15	13	11			
	13	21	23	15	13				
	15	21	23	15					
	17	21	14	17					
	20	21	20						
	22	21	22						
	23	21	23						
	25	21	23	15	13	25			
	26	21	23	15	13	25	26		
22	5	22	16	15	13	11	5		
	7	22	16	15	13	11	5	7	
	8	22	23	21	14	12	11	8	
	9	22	21	23	15	13	11	10	9
	11	22	16	15	13	11			
	13	22	16	15	13				
	17	22	21	14	17				
	23	22	23						
	24	22	23	24					
	26	22	23	24	26				
23	1	23	15	13	11	5	3	1	
	2	23	15	24	12	6	4	2	
	6	23	24	12	6				
	7	23	15	13	11	5	7		
	9	23	22	21	14	12	11	10	9
	10	23	15	13	11	10			
	11	23	15	13	11				
	13	23	15	13					
	14	23	21	14					
	15	23	15						

ตารางที่ 4.13 เส้นทางของวงจรเสมือนสำหรับโครงข่ายทดสอบขนาด 26 โหนดที่ได้จากการจัดเส้นทางโดยใช้วิธีสติกอัลกอริทึม (ต่อ)

วงจรเสมือนที่เชื่อมระหว่าง		ผลการจัดเส้นทางวงจรเสมือน (โหนดที่วงจรเสมือนเชื่อมต่อ)
โหนดต้นทาง	โหนดปลายทาง	
23	16	23 15 16
	18	23 21 14 17 18
	21	23 21
	26	23 24 26
24	2	24 12 6 4 2
	4	24 12 6 4
	5	24 12 6 5
	9	24 12 11 10 9
	10	24 12 11 10
	11	24 12 6 5 7 8 10 11
	12	24 12
	13	24 15 13
	16	24 15 16
	17	24 23 22 21 14 17
	19	24 15 23 22 21 20 19
	20	24 23 21 14 17 19 20
	22	24 23 22
25	24 26 25	
25	1	25 13 11 5 3 4 2 1
	3	25 13 11 5 3
	5	25 13 11 5
	8	25 13 11 8
	11	25 13 11
	13	25 13
	15	25 13 15
	16	25 13 15 16
	18	25 26 24 12 14 17 19 18
	19	25 13 11 12 14 17 19
	20	25 13 15 16 22 21 20
22	25 13 15 24 23 21 22	
23	25 13 15 23	
26	4	26 24 12 6 4
	5	26 24 12 6 5

ตารางที่ 4.13 เส้นทางของวงจรเสมือนสำหรับโครงข่ายทดสอบขนาด 26 โหนดที่ได้จากการจัดเส้นทางโดยใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึม (ต่อ)

วงจรเสมือนที่เชื่อมระหว่าง		ผลการจัดเส้นทางวงจรเสมือน (โหนดที่วงจรเสมือนเชื่อมต่อ)
โหนดต้นทาง	โหนดปลายทาง	
	8	26 24 12 11 8
	9	26 24 12 11 10 9
	10	26 24 12 11 10
	11	26 24 12 11
	12	26 24 12
	14	26 25 13 15 23 22 21 14
26	15	26 24 15
	20	26 24 23 21 20
	21	26 24 23 21
	22	26 24 15 16 22
	23	26 24 23
	24	26 24
	25	26 25

ตารางที่ 4.14 จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของฮิวริสติกอัลกอริทึมและค่าวัตถุประสงค์สุดท้ายที่ได้จากการทดสอบกับโครงข่ายขนาด 26 โหนด

อัลกอริทึม	จำนวนรอบการประมวลผล	เวลาที่ใช้ในการประมวลผล	ค่าวัตถุประสงค์สุดท้าย
ฮิวริสติกอัลกอริทึม	66 รอบ	3352.8 วินาที	$1.36395 \times 10^{-24}$
เทคนิคการจัดเส้นทางแบบ MHR	-	-	$2.70315 \times 10^{-11}$
เทคนิคการจัดเส้นทางแบบ LLR	-	-	$4.45969 \times 10^{-20}$

จากการทดสอบโครงข่ายขนาด 26 โหนด จากตารางสรุปได้ว่าฮิวริสติกอัลกอริทึมสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางวงจรเสมือนให้ผลของการจัดเส้นทางที่ได้มีความเหมาะสมกว่าผลของการจัดเส้นทางด้วยเทคนิค MHR และ LLR เช่นเดียวกับที่ได้ทดสอบกับโครงข่ายขนาด 6 โหนด

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### สรุป

ในโครงการวิจัยนี้ ได้ทำการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดของวงจรเสมือนโดยใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึม ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่พัฒนาและดัดแปลงมาจาก ยีนส์นิติกอัลกอริทึม ทาบูเซอร์ช และอีโวลูชันนารีคอมพิวติง โดยการนำเอาข้อดีของอัลกอริทึมทั้งสามมาทำการดัดแปลงให้ได้อัลกอริทึมที่เหมาะสม ฮิวริสติกอัลกอริทึมเหมาะสำหรับระบบประมวลผลแบบขนาน สำหรับการประมวลผลแบบขนานของยีนส์นิติกอัลกอริทึมจะไม่สามารถกระทำได้โดยตรง หากแต่จะต้องใช้วิธีแบ่งเซตของคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดหรือสเปซของคำตอบออกเป็นหลายๆส่วน แล้วจึงทำการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละส่วนขนานกันไป จากนั้นจึงนำผลของคำตอบสุดท้ายในแต่ละส่วนมาทำการเปรียบเทียบกันเพื่อทำการเลือกคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Goldberg, 1991) ในการประมวลผลแบบขนานด้วยวิธีนี้ หากนำมาใช้กับฮิวริสติกอัลกอริทึมจะสามารถลดจำนวนรอบการประมวลผลลงได้มากขึ้น แต่การแบ่งเซตคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดออกเป็นหลายๆส่วนจะเพิ่มความซับซ้อนให้แก่ระบบประมวลผล อีกทั้งปัญหาบางปัญหาไม่สามารถที่จะทำการแบ่งสเปซของคำตอบออกเป็นหลายๆส่วนได้

การนำเอาฮิวริสติกอัลกอริทึมมาแก้ปัญหาในการจัดเส้นทางวงจรเสมือนของโครงข่ายที่ให้บริการแบบคอนเนกชัน โอเรียนเตดมีความเหมาะสมในกรณีที่โครงข่ายไม่ต้องการการจัดเส้นทางใหม่ตลอดเวลาแต่ต้องการจัดเส้นทางเฉพาะเมื่ออัตราการไหลเฉลี่ยของแพ็กเก็ตของวงจรเสมือนที่เชื่อมโนดต้นทางและ โนดปลายทางมีค่ามากกว่าค่าที่เผื่อเอาไว้ หรือเป็นการจัดเส้นทางแบบกึ่งสถิต ซึ่งกล่าวได้ว่าการจัดเส้นทางของวงจรเสมือนด้วยฮิวริสติกอัลกอริทึมนี้เป็นแบบ Off-Line (Stallings, 1994)



จากผลการทดสอบการจัดเส้นทางวงจรเสมือนให้กับโครงข่ายขนาดต่างๆกัน พบว่าผลของเส้นทางที่ได้จากการจัดเส้นทางโดยใช้วิธีสติกอัลกอริทึมจะมีค่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะเกิดการสูญหายของวงจรเสมือนที่น้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นที่ได้จากเส้นทางที่ใช้เทคนิคการจัดเส้นทาง MHR และเทคนิคการจัดเส้นทาง LLR อย่างชัดเจน ในการลดจำนวนรอบการประมวลผลของวิธีสติกอัลกอริทึมสามารถที่จะทำได้โดยการเพิ่มจำนวนเวกเตอร์แม่หรือจำนวนของเวกเตอร์ลูกที่สร้างจากเวกเตอร์แม่ 1 เวกเตอร์ การเพิ่มจำนวนเวกเตอร์แม่จะมีจำนวนรอบการประมวลผลที่ลดลงอย่างเด่นชัดกว่าการเพิ่มจำนวนเวกเตอร์ลูกที่สร้างจากเวกเตอร์แม่ 1 เวกเตอร์ นอกจากการเพิ่มจำนวนของเวกเตอร์แม่และจำนวนเวกเตอร์ลูกที่สร้างจากเวกเตอร์แม่ 1 เวกเตอร์แล้ว ยังสามารถที่จะทำการลดจำนวนรอบการประมวลผลได้โดยการกำหนดเวกเตอร์แม่เริ่มต้นให้เป็นเซตของเส้นทางที่ได้จากเทคนิค MHR และ LLR และเส้นทางที่ได้จากวิธีสติกอัลกอริทึมมีโอกาสที่จะเป็นเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดมากขึ้น สำหรับเทคนิค MHR เป็นเทคนิคการจัดเส้นทางแบบเวลาจริง (real time) ซึ่งจะได้เส้นทางที่เลือกใช้ทันที (Lin and Wang, 1993) และเทคนิค LLR เป็นเทคนิคที่ใช้ระยะเวลาในการคำนวณน้อยเพราะเป็นเทคนิคที่ใช้จัดเส้นทางแบบพลวัต (Steenstrup, 1995) การนำเทคนิคทั้งสองมาใช้ร่วมกับวิธีสติกอัลกอริทึมสำหรับจัดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารที่ต้องการเทคนิคการจัดเส้นทางแบบกึ่งสถิตนี้ ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นจากการกำหนดเวกเตอร์แม่เริ่มต้นให้เป็นเซตของเส้นทางที่ได้จากเทคนิค MHR และ LLR จะน้อยมากเมื่อเทียบกับระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเพียงหนึ่งรอบการประมวลผลของวิธีสติกอัลกอริทึม สรุปจากผลการทดสอบได้ว่าเทคนิคการจัดเส้นทางโดยใช้วิธีสติกอัลกอริทึมมีความเหมาะสมที่จะใช้ในการจัดเส้นทางวงจรเสมือนในโครงข่ายสื่อสารที่ให้บริการแบบคอนเนกชันโอเรียนเตดอีกเทคนิคหนึ่ง

#### ข้อเสนอแนะ

ในโครงการวิจัยนี้ ได้พิจารณาคุณภาพในการให้บริการของวงจรเสมือนในโครงข่ายสื่อสารเฉพาะค่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายเท่านั้น อย่างไรก็ตาม การจัดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารแบบคอนเนกชันโอเรียนเตด นอกจากจะมีการนำปัจจัยค่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายมาใช้ในการจัดเส้นทางแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นที่อาจต้องนำมาพิจารณาด้วย เช่น การประวิงเวลาของแพ็กเกตที่ส่งจากต้นทางมายังปลายทางด้วย การหาค่าความน่าจะเป็นของการเกิดการบล็อกขึ้นจากบัฟเฟอร์ด้านออกของสวิตช์นอกจากแบบจำลอง M/M/1/K ควรที่จะทำการจำลองบัฟเฟอร์ด้าน

ออกของสวิตช์เป็นแบบจำลอง M/D/1/K ในกรณีแฟ็กเกตที่อยู่บัฟเฟอร์จะถูกส่งออกไปด้วยอัตราที่คงที่(Park and Tsai, 1993) ในทางปฏิบัติแล้วโนดจะต้องมีบัฟเฟอร์ที่ด้านขาเข้าของสวิตช์ด้วย(Schwartz, 1996) จำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงโอกาสที่แฟ็กเกตจะเกิดการบล็อกขึ้นที่บัฟเฟอร์ด้านหน้าของสวิตช์ การใช้แบบจำลองโนดที่มีบัฟเฟอร์ด้านออกของสวิตช์เพียงด้านเดียวจึงยังไม่เพียงพอ เราสามารถที่จะลดจำนวนรอบการประมวลผลของการจัดเส้นทางโดยใช้วิธีสติกอัลกอริทึมลงได้อีกหากทำการลดจำนวนของเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดของทุกวงจรเสมือนลง โดยการกำหนดจำนวนข่ายเชื่อมโยงที่เส้นทางของวงจรเสมือนใช้ และการจำกัดการประวิงเวลาของวงจรเสมือน เพื่อให้มีเซตของเส้นทางที่เป็นไปได้ของทุกวงจรเสมือนที่เล็กลง ทำให้การค้นหาเซตของเส้นทางสำหรับทุกวงจรเสมือนโดยใช้วิธีสติกอัลกอริทึมใช้จำนวนรอบการประมวลผลที่ลดลง การกระทำเช่นนี้จะไม่ส่งผลต่อเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด เพราะเส้นทางที่มีจำนวนข่ายเชื่อมโยงมากที่สุดก็คือเส้นทางที่มีจำนวนโนดที่ผ่านมาก ทำให้โอกาสรวมที่แฟ็กเกตจะเกิดการบล็อกขึ้นที่หน้าบัฟเฟอร์ในแต่ละโนดตลอดเส้นทางสูงขึ้น(Lin and Wang, 1993) ดังนั้นเส้นทางดังกล่าวจึงไม่เหมาะสมที่จะถูกเลือกใช้เป็นเส้นทางของวงจรเสมือน หากทำการตัดเส้นทางดังกล่าวออกจากสเปซของคำตอบของเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด จะทำให้การค้นหาคำตอบด้วยวิธีวิธีสติกอัลกอริทึมใช้จำนวนรอบการประมวลผลและเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบที่น้อยลงได้

อย่างไรก็ตาม โครงการวิจัยนี้สามารถที่จะทำการวิจัยต่อไปถึงการหาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่เหมาะสมกว่า รวมถึงการนำค่าการประวิงเวลาของแฟ็กเกตมาเป็นอีกปัจจัยหนึ่งในการจัดเส้นทาง และเป็นแนวทางในการวิจัยสู่การจัดเส้นทางในโครงข่ายเอทีเอ็ม

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

### ภาษาอังกฤษ

- Glover, F. 1989. Tabu Search - Part I. ORSA J. on Computing. 1:190-206.
- Glover, F. 1990. Tabu Search - Part II. ORSA J. on Computing. 2:4-32.
- Glover, F. and Laguna, M. 1993. Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems.  
New York: John Wiley & Sons.
- Goldberg, D. E. 1991. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning.  
New York: Addison-Wesley.
- Green, D. C. 1995. Data Communication. New York: Addison-Wesley.
- Hayes, J. F. 1987. Modeling and Analysis of Computer Communications Networks.  
New York: Plenum Publishing.
- James, G. 1993. Advanced Modern Engineering Mathematics. New York: Addison-Wesley.
- Kleinrock, L. 1975. Queueing Systems. New York: Wiley Interscience.
- Lin, F. Y. S. and Wang, J. L. 1993. A Minimax Utilization Routing Algorithm in Networks  
with Single-path Routing. International IEEE Conference.
- Park, S. W. and Tsai, W. K. 1993. Optimal Routing Algorithm for High-Speed (ATM)  
Networks. IEEE International Information Communication Conference 3: 972-979.
- Schwartz, M. 1996. Broadband Integrated Networks. New Jersey: Prentice-Hall.
- Stallings, W. 1994. Data and Computer Communications. , New York: Macmillan.
- Steenstrup, M. E. 1995. Routing in Communication Networks. New Jersey: Prentice-Hall.
- Tanterdtid, S. , et al. 1997. Optimizing ATM Network Throughput based on Virtual Path  
Concept using Genetic Algorithm. International IEEE ICIPS Conference. 2:1634-1639.
- Yagiura, M. and Tbaraki, T. 1996. Metaheuristics as Robust and Simple Optimization Tools.  
International IEEE ICEC Conference. 1: 541-546.



