

การนำเจเนติกและฮิวริสติกอัลกอริทึมมาใช้แก้ปัญหาคำเลือกเส้นทางของบีจีพี

AN APPLICATION OF COMBINED HEURISTIC AND GENETIC  
ALGORITHMS TO BGP ROUTING PROBLEM

ทศมนต์ ลิทธิรุตม์  
TOSAMON LITTRUT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2271-1

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การนำจีเนติกและฮิวริสติกอัลกอริทึมมาใช้แก้ปัญหาค่าเส้นทางของบีจีพี

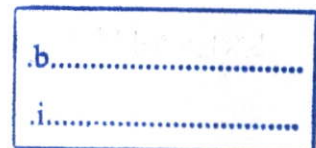
AN APPLICATION OF COMBINED HEURISTIC AND GENETIC  
ALGORITHMS TO BGP ROUTING PROBLEM



ทศมนต์ อุตริรุตม์

TOSAMON LITTIRUT

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 61678  
วัน,เดือน,ปี..... 19 ก.ค. 2549



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2271-1

**AN APPLICATION OF COMBINED HEURISTIC AND GENETIC  
ALGORITHMS TO BGP ROUTING PROBLEM**

**TOSAMON LITTIRUT**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE IN INFORMATION TECHNOLOGY  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2006**

**ISBN 974-15-2271-1**

**COPYRIGHT 2006**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIEDS**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การนำจีเนติกและชีววิสติกอัลกอริทึมมาใช้แก้ปัญหาการเลือกเส้นทางของบีจีพี
นักศึกษา	นาย ทศมนต์ ฤทธิรุตม์
รหัสประจำตัว	44067470
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสารสนเทศ
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. โชติพัชร ภรณวลัย

### บทคัดย่อ

บีจีพีเป็น โปรโตคอลหลักที่ใช้ในการเลือกเส้นทางสำหรับผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต ซึ่งทำหน้าที่หลักในการแลกเปลี่ยนข้อมูลเส้นทางระหว่างผู้ให้บริการด้วยกัน ผู้ควบคุมระบบจะใช้บีจีพีเป็นเครื่องมือในการกำหนดนโยบายของการเลือกเส้นทางของเครือข่าย โดยอาศัยคุณสมบัติเฉพาะของแต่ละเส้นทางเป็นข้อมูลในการตัดสินใจเพื่อที่จะเลือกเส้นทางที่ดีที่สุด ผลลัพธ์จากกระบวนการเลือกเส้นทางจะส่งผลกับการส่งผ่านข้อมูลระหว่างผู้ให้บริการ ซึ่งผู้บริหารระบบต้องมีการตัดสินใจว่าทำอย่างไรให้ข้อมูลที่ได้รับมาจากท่อนส่งข้อมูลขาเข้าผ่านเครือข่ายแล้วกระจายออกสู่ท่อนส่งข้อมูลขาออกเพื่อที่จะส่งไปยังเครือข่ายปลายทางได้อย่างมีความสมดุล เพื่อที่จะทำให้มีการใช้งานเครือข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

ภายในวิทยานิพนธ์นี้ เราได้นำเสนอการประยุกต์ใช้งานการรวมกันของสองอัลกอริทึมคือชีววิสติกและ เจเนติก เพื่อกำหนดการเลือกเส้นทางของบีจีพี ซึ่งวัตถุประสงค์หลักของอัลกอริทึมนี้คือการเลือกเส้นทางสำหรับส่งข้อมูลที่ไม่เกินความจุของท่อนส่งข้อมูลและใช้ทรัพยากรในการส่งผ่านข้อมูลภายในเครือข่ายให้น้อยที่สุด และจากผลลัพธ์จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมใหม่ที่ได้พัฒนาขึ้นมานั้น ให้คำตอบที่เป็นไปได้มากกว่าอัลกอริทึมเดิมที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีข้อจำกัดของท่อนส่งข้อมูลที่มีความจุน้อย ยิ่งไปกว่านั้นอัลกอริทึมนี้ยังสามารถหาคำตอบที่ดีกว่าอีกด้วย

<b>Thesis Title</b>	An Application of Combined Heuristic and Genetic Algorithms to BGP Routing Problem
<b>Student</b>	Mr. Tosamon Littirut
<b>Student ID.</b>	44067470
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Programme</b>	Information Technology
<b>Year</b>	2006
<b>Thesis Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Chotipat Pornavalai

### **ABSTRACT**

In Internet Service Provider environment, BGP is a routing protocol that used to exchange routing and reachability information between autonomous systems or domain. BGP is a path attributes protocol to determine route selection process to select the best route from multiple feasible routes. The results of routes selection process will effect to transit traffic between ASes. How to balance traffic though egress edge links to achieve the highest network utilizes is a main problem.

In this paper, we proposed a combined Heuristic and Genetic Algorithm to determine BGP routes selection. The main objective is discovery feasible solution that does not violate the bandwidth capacity of egress links and to minimize the solution cost. The simulation results shows that our algorithm discovers more feasible solutions than existing algorithms. It also can use less bandwidth capacity, while solution costs are almost the same as existing approaches.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โสทิพัทธ์ ภรณ์วลัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ และความช่วยเหลือในหลายสิ่งหลายอย่างจนกระทั่งลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ทศมนต์ ฤทธิรงค์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและเหตุจูงใจในการทำวิจัย.....	1
1.2 ปัญหาที่ศึกษาและวิจัย.....	2
1.3 อัตรกอร์ทีมที่มีอยู่เดิม.....	5
1.4 หลักการใหม่ที่นำเสนอ.....	5
1.5 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์.....	6
บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นของโปรโตคอลเลือกเส้นทางบีจีพี.....	7
2.1 สถาปัตยกรรมการเลือกเส้นทางในอินเทอร์เน็ต.....	7
2.2 บีจีพีคืออะไร.....	7
2.3 ระบบบอโตโนมัส.....	8
2.4 การเลือกเส้นทางของบีจีพี.....	8
บทที่ 3 ความรู้เบื้องต้นของจินติกและฮิวริสติกอัตรกอร์ทีม.....	11
3.1 พันธุศาสตร์ทางชีววิทยา.....	11
3.2 อัตรกอร์ทีมจินติกเบื้องต้น.....	14
3.3 ฟังก์ชันเป้าหมายกับฟังก์ชันความเหมาะสม.....	16
3.4 รูปแบบโครโมโซม.....	17
3.5 วัฏจักรของอัตรกอร์ทีมจินติก.....	18
3.6 พันธุศาสตร์ทางชีววิทยากับจินติกอัตรกอร์ทีม.....	25
3.7 ฮิวริสติกเบื้องต้น.....	26
บทที่ 4 การประยุกต์ใช้งานอัตรกอร์ทีมจินติกกับปัญหาการเลือกเส้นทางของบีจีพี.....	28
4.1 ลักษณะปัญหาการเลือกเส้นทางของบีจีพี.....	28

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.1 ปัญหาการเลือกเส้นทางแบบใช้ทางออกทางเดียว.....	29
4.1.2 ปัญหาการเลือกเส้นทางแบบใช้ทางออกได้หลายทาง.....	29
4.1.3 ตัวแปรที่ใช้ในปัญหาการเลือกเส้นทางของบีจีพี.....	30
4.2 จีเนติกอัลกอริทึมกับปัญหาการเลือกเส้นทางแบบใช้ทางออกทางเดียวของบีจีพี....	33
4.2.1 การสร้างประชากรเริ่มต้นของจีเนติกอัลกอริทึม.....	35
4.2.2 ฟังก์ชันเป้าหมาย.....	35
4.2.3 การกำหนดฟังก์ชันความเหมาะสม.....	39
4.2.4 การกำหนดรูปแบบของโครโมโซม.....	39
4.2.5 การวิเคราะห์ค่าความเหมาะสม.....	41
4.2.6 การคัดเลือกโครโมโซม.....	43
4.2.7 การดำเนินการทางพันธุศาสตร์.....	45
4.2.8 ประชากรรุ่นใหม่.....	48
4.2.9 การสิ้นสุดการทำงานของอัลกอริทึมจีเนติก.....	48
4.2.10 สรุปการทำงานของอัลกอริทึมจีเนติกแบบง่าย.....	48
บทที่ 5 การปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของอัลกอริทึมจีเนติก.....	49
5.1 การใช้ฮิวริสติกกับจีเนติกในการแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางแบบใช้ทางออกทาง เดียว.....	49
5.1.1 การปรับปรุงการครอสโอเวอร์แบบฮิวริสติกโดยใช้วิธีฮิวริสติก.....	52
5.1.2 การปรับปรุงการมิวเตชันแบบฮิวริสติกโดยใช้วิธีฮิวริสติก.....	54
บทที่ 6 การทดลองและวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของแต่ละอัลกอริทึม .....	57
6.1 สภาพแวดล้อมในการทดลอง.....	57
6.2 การทดลองในปัญหาการเลือกเส้นทางแบบใช้ทางออกทางเดียว.....	58
6.2.1 อัลกอริทึมบีทีเอฟ.....	58
6.2.2 อัลกอริทึมเอ็มพีเอฟ.....	59
6.2.3 อัลกอริทึมจีเนติก.....	59
6.2.4 อัลกอริทึมจีเนติกและฮิวริสติก.....	60
6.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองของปัญหาการเลือกเส้นทางแบบใช้ทางออกทางเดียว...	60
6.3.1 การเปรียบเทียบด้านการค้นพบคำตอบ.....	60

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.3.2 การเปรียบเทียบด้านต้นทุนรวมของคำตอบ.....	62
6.3.3 การเปรียบเทียบด้านเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ.....	66
บทที่ 7 บทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	68
7.1 ข้อเสนอแนะในการพัฒนางานวิจัย.....	68
7.2 ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้งานจริง.....	69
7.3 บทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	70
บรรณานุกรม.....	73
ภาคผนวก.....	75
ภาคผนวก ก ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	76
ประวัติผู้เขียน.....	82

# สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่	
3.1 ตารางแสดงชุดโครโมโซมในรุ่นเริ่มต้น.....	20
3.2 ตารางแสดงชุดโครโมโซมในรุ่นเริ่มต้นและค่าความเหมาะสม.....	21
3.3 ตารางแสดงตัวอย่างวิธีการหาค่าความน่าจะเป็น.....	22
3.4 ตารางแสดงตัวอย่างวิธีการสุ่มเลือกโครโมโซมเข้า mating pool.....	23
3.5 ตารางเปรียบเทียบคำศัพท์ระหว่างพันธุศาสตร์และจenetikอัลกอริทึม.....	26
4.1 ตารางสรุปตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัย.....	32
4.2 ตารางแสดงรายละเอียดของกระแสข้อมูล.....	40
4.3 ตารางแสดงวิธีการหาค่าต้นทุนของกระแสข้อมูล.....	42
4.4 ตารางแสดงค่าแบนวิดท์ของท่อส่งข้อมูล.....	42
4.5 ตารางแสดงตัวอย่างวิธีหาค่าความเหมาะสม.....	43
4.6 ตารางแสดงตัวอย่างวิธีการหาค่าความน่าจะเป็น.....	44
4.7 ตารางแสดงตัวอย่างวิธีการสุ่มเลือกโครโมโซมเข้า mating pool.....	45
4.8 ตารางแสดงตัวอย่างการจับคู่โครโมโซมสำหรับการครอสโอเวอร์.....	46
7.1 ตารางแสดงตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากเก็บจาก Netflow.....	70

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 สถาปัตยกรรมของเครือข่ายไอเอสพี.....	3
3.1 แสดง โคร โม โชมของเพชหญิง.....	12
3.2 แสดงส่วนประกอบของโคร โม โชม.....	12
3.3 แสดงการแบ่งตัวของเซลแบบไมโครซิส.....	13
3.4 แสดงการแบ่งตัวของเซลแบบไมโครซิส.....	13
3.5 แสดงการครอสโอเวอร์ระหว่างโคร โม โชม.....	13
3.6 แสดงหลักการเบื้องต้นของอัลกอริทึมจินติก.....	16
3.7 แสดงอัลกอริทึมจินติก.....	19
3.8 แสดงวงล้อถ่วงน้ำหนัก (Roulette Wheel) .....	22
3.9 แสดงการครอสโอเวอร์แบบหนึ่งตำแหน่ง.....	24
3.10 แสดงการมิวเตชัน.....	24
3.11 แสดงแสดงลักษณะทางพันธุศาสตร์ของเมล็ดถั่ว.....	25
3.12 แสดงลักษณะทางจินติก.....	26
4.1 แสดงให้เห็นถึงค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัย.....	31
4.2 แสดงการทำงานของจินติกแบบง่าย (SGA) .....	34
4.3 แสดงการทำงานของ SGA (L) .....	36
4.4 แสดงการทำงานของ SGA (S) .....	38
4.5 แสดงเครือข่ายตัวอย่างสำหรับการสร้างโคร โม โชม.....	39
4.6 แสดงรูปแบบของโคร โม โชม.....	40
4.7 แสดงตัวอย่างของโคร โม โชม.....	41
4.8 แสดงการครอสโอเวอร์ของโคร โม โชม.....	46
4.9 แสดงการสุ่มค่า $r$ สำหรับการมิวเตชัน.....	47
4.10 แสดงการมิวเตชันของโคร โม โชม.....	47
5.1 แสดงรูปอัลกอริทึม HGA (L) .....	50
5.2 แสดงรูปอัลกอริทึม HGA (S) .....	51
5.3 แสดงขั้นตอนการทำงานของฟังก์ชันครอสโอเวอร์แบบวิธีฮิวริสติก.....	52
5.4 โคร โม โชมพ่อแม่.....	53
5.5 แสดงตัวอย่างการทำครอสโอเวอร์แบบฮิวริสติก.....	53

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.6 แสดงขั้นตอนการทำงานของฟังก์ชันมิวเตชันแบบวิธีฮิวริสติก.....	54
5.7 แสดงตัวอย่างวิธีมิวเตชันแบบฮิวริสติก.....	56
6.1 แสดงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมบีทีเอฟ.....	58
6.2 แสดงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมเอ็มพีทีเอฟ.....	59
6.3 แสดงผลการทดลองในการเปรียบเทียบด้านการค้นหาคำตอบ.....	61
6.4 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าต้นทุนรวมระหว่าง SGA (S) และ SGA (L) .....	63
6.5 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าต้นทุนรวมระหว่าง SGA (S) และ MPPF.....	64
6.6 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าต้นทุนรวมระหว่าง SGA(S) และ HGA(S) .....	65
6.7 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าต้นทุนรวมระหว่าง SGA(S), HGA(S) และ MPPF.....	66
6.8 แสดงเวลาการทำงานของแต่ละอัลกอริทึม.....	67
7.1 การประยุกต์ใช้งานจริง.....	69

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและเหตุจูงใจในการทำวิจัย

เครือข่ายอินเทอร์เน็ตประกอบไปด้วยเครือข่ายหลายๆเครือข่ายที่กระจายอยู่ทั่วโลกมารวมตัวกัน โดยใช้โปรโตคอลทีซีพี/ไอพี (TCP/IP) เป็นแกนหลักในการส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งผู้ที่ส่งข้อมูลและผู้ที่รับข้อมูลอาจอยู่คนละมุมโลก อินเทอร์เน็ตทำให้ผู้คนทั่วโลกสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ ประโยชน์อีกด้านที่สำคัญคืออินเทอร์เน็ตเปรียบเสมือนห้องสมุดที่ใหญ่ที่สุดของโลก ที่ให้บริการสืบค้นข้อมูลหลายหลายประเภท และไม่ว่าเราจะอยู่ที่ไหนของโลกใบนี้ เพียงแค่เราเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เราก็สามารถเข้าถึงแหล่งของข้อมูลนั้นได้ ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็วกว่าวิธีเก่ามาก รวมถึงการให้บริการการสื่อสารแบบออนไลน์ต่างๆ เช่น การสนทนาแบบออนไลน์ การใช้โทรศัพท์ผ่านไอพี หรือการส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นจากประโยชน์อันมหาศาลของเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทำให้การเจริญเติบโตของเครือข่ายนี้เป็นไปอย่างทวีคูณ

ผู้ที่ให้บริการเชื่อมต่อเข้าสู่เครือข่ายอินเทอร์เน็ตหรือเป็นประตูทางเข้าสู่โลกไซเบอร์คือไอเอสพี (ISP: Internet Services Provider) [1] หรือผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต โดยที่หน้าที่รับผิดชอบหลักของไอเอสพี คือการให้บริการการส่งผ่านข้อมูลของกลุ่มลูกค้าของตนเองไปยังเป้าหมายที่ลูกค้าต้องการ ซึ่งข้อมูลจะต้องเดินทางผ่านไอเอสพีรายอื่นๆ เพื่อที่จะเดินทางนำข้อมูลไปสู่ปลายทาง ที่เป็นเป้าหมายของแต่ละข้อมูลนั้นๆ ต่อไป

ไอเอสพีในปัจจุบันมีเครื่องมือและอัลกอริทึมที่ใช้ในการแก้ปัญหาการวิเคราะห์การเลือกเส้นทางที่เหมาะสมกับทรัพยากรในระบบของตนน้อยมาก ส่วนใหญ่จะมีเพียงเครื่องมือในการวัดปริมาณข้อมูลที่ส่งผ่านในท่อส่งข้อมูล เช่น เอ็มอาร์ทีจี (MRTG) ส่วนเครื่องมือที่ใช้ในเรื่องการกำหนดนโยบายการเลือกเส้นทางระหว่างไอเอสพี ส่วนมากจะเป็นการตั้งค่าด้วยตนเองของผู้บริหารระบบ โดยอาศัยจากประสบการณ์หรือวิธีการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าไปตามเหตุการณ์ต่างๆ การเปลี่ยนแปลงนโยบายแต่ละครั้งก็มักจะเกิดจากรื่องการเพิ่มการเชื่อมต่อระหว่างไอเอสพีหรือการเพิ่มท่อส่งข้อมูล และจะไม่มีมีการเปลี่ยนแปลงอีกเลยจนกว่าจะมีปัญหาหรือมีการเปลี่ยนแปลงอีกครั้ง ซึ่งการตั้งค่าแต่ละครั้งอาจทำให้เกิดความผิดพลาด และไม่มีมีการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมในการกระจายปริมาณข้อมูลที่รับมาให้ส่งยังท่อส่งข้อมูลขาออกแต่ละท่อได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่เกินปริมาณที่ท่อส่งข้อมูลขาออกจะรับได้ รวมถึงการขาดแคลนเครื่องมือที่ใช้ในการวัดผลในการตั้งค่าแบบแต่ละครั้งจะได้ผลลัพธ์ที่ให้ความเหมาะสมในการใช้ทรัพยากรของเครือข่ายหรือไม่

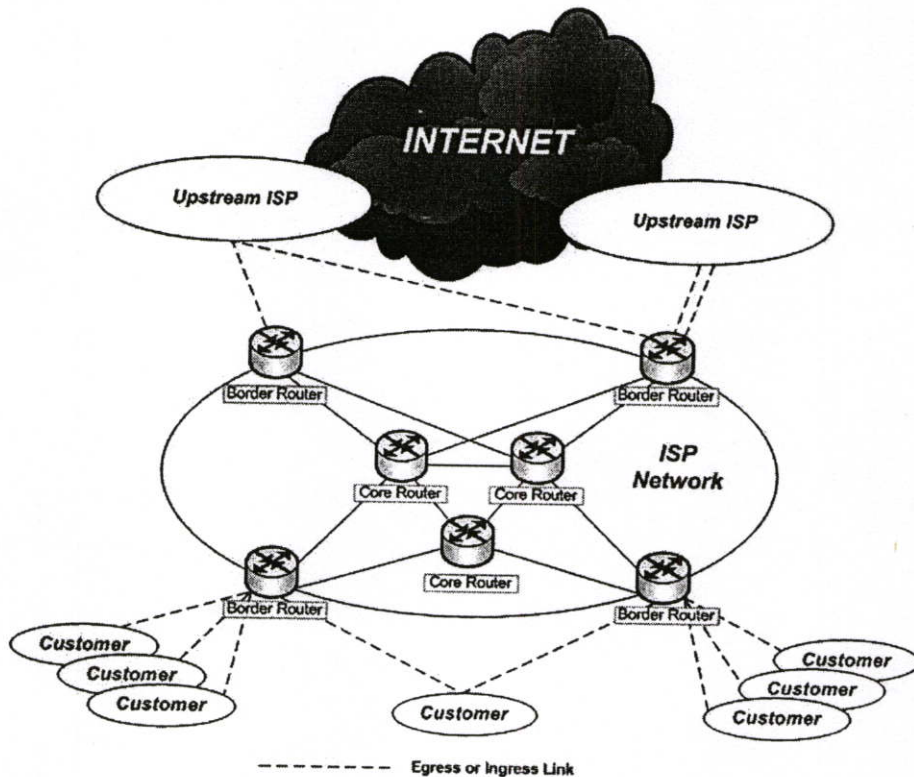
อัลกอริทึมที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้ จะเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้การตั้งค่านโยบายการเลือกเส้นทางของบีจีพี ซึ่งช่วยผู้บริหารระบบของไอเอสพีสามารถกำหนดเส้นทางที่เหมาะสมของการส่งข้อมูลไปยังท่อส่งข้อมูลขาออกของบอร์เดอร์เราเตอร์ (Border Router) ของไอเอสพี ทำให้การส่งผ่านข้อมูลจากท่อส่งข้อมูลขาเข้าหรืออินเกรสลิงก์ (Ingress Link) มายังเครือข่ายของไอเอสพี และถูกส่งไปยังท่อส่งข้อมูลทางออกหรืออีเกรสลิงก์ (Egress Link) ซึ่งเป็นจุดหมายปลายทางของแต่ละข้อมูลนั้นๆ โดยการกำหนดเส้นทางภายในไอเอสพีของข้อมูลเหล่านั้นให้เดินทางผ่านไปยังท่อส่งข้อมูลขาออกแต่ละท่ออย่างเหมาะสม ซึ่งช่วยเพิ่มคุณภาพการบริการของไอเอสพี ทั้งในเรื่องของการเพิ่มความรวดเร็วและความน่าเชื่อถือในเรื่องการส่งข้อมูลให้แก่ระบบ อีกทั้งยังทำให้มีการใช้งานทรัพยากรของระบบให้มีประสิทธิภาพสูงสุดอีกด้วย

## 1.2 ปัญหาที่ศึกษาและวิจัย

โครงสร้างของเครือข่ายอินเทอร์เน็ตประกอบไปด้วยเครือข่ายของไอเอสพีจำนวนมาก เชื่อมต่อกันผ่านอุปกรณ์เราเตอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์เครือข่ายที่ทำหน้าที่สำคัญในการส่งผ่านข้อมูลในรูปแบบแพ็คเกจไอพีไปยังจุดหมายปลายทาง แต่ก่อนที่จะทำตามขั้นตอนนี้ได้ เราเตอร์ต้องมีตารางเส้นทางของแต่ละปลายทางที่ต้องการจะไปก่อนที่จะทำการส่งข้อมูล ดังนั้นหน้าที่หลักอีกด้านหนึ่งของเราเตอร์คือการแลกเปลี่ยนข้อมูลเส้นทางเหล่านั้น เพื่อสร้างตารางเส้นทางทั้งของภายในเครือข่ายเองและรวมถึงระหว่างเครือข่ายหรือระหว่างไอเอสพีก่อนที่จะทำการส่งข้อมูล สำหรับ โพรโตคอลที่ไอเอสพีใช้ในการเลือกเส้นทางแบ่งออกเป็นสองชนิดคือ โพรโตคอลเกตเวย์ภายนอก (exterior gateway protocol) และ โพรโตคอลเกตเวย์ภายใน (interior gateway protocol) โพรโตคอลเกตเวย์ภายนอกมีหน้าที่แลกเปลี่ยนข้อมูลเส้นทางระหว่างไอเอสพี โพรโตคอลที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันคือ บีจีพี-4 (BGP-4) [2] [3] ทำหน้าที่ในการกำหนดเส้นทางสำหรับท่อส่งข้อมูลขาเข้าและท่อส่งข้อมูลขาออกระหว่างไอเอสพี ส่วน โพรโตคอลเกตเวย์ภายในเป็นโพรโตคอลที่ออกแบบมาใช้งานภายในเครือข่าย โพรโตคอลที่นิยมใช้กันมากสำหรับไอเอสพีคือ ไอเอสพีเอฟ (OSPF: Open Shortest Path First) และ ไอเอสไอเอส (IS-IS: Intermediate System to Intermediate System) ใช้สำหรับการเลือกเส้นทางภายในเครือข่ายของไอเอสพี

เราเตอร์ที่ทำการเชื่อมต่อกันระหว่างไอเอสพีกับลูกค้า รวมถึงระหว่างไอเอสพีด้วยกันเอง มีชื่อเรียกตามหน้าที่การทำงานของมันว่า “บอร์เดอร์เราเตอร์” แต่ละตัวก็จะมีท่อส่งข้อมูลอย่างน้อยสอง สำหรับเชื่อมไปยังเครือข่ายภายนอกและเครือข่ายภายใน เพื่อที่ใช้ส่งและรับข้อมูลระหว่างเครือข่าย ลิงก์ที่ใช้ในการเชื่อมต่ออาจเป็นได้ทั้ง เอทีเอ็ม เฟรมรีเลย์ หรือ วงจรเช่า ซึ่งอาจมีขนาดความจุหรือแบนวิดท์ที่แตกต่างกัน ซึ่งจุดนี้เองเป็นตัวบ่งบอกความสามารถในการส่งข้อมูลเข้าและออกของแต่ละไอเอสพีและเป็นจุดคอขวดหลักในการส่งข้อมูลระหว่างไอเอสพี ซึ่งวิธีแก้ปัญหาเมื่อปริมาณแบนวิดท์ไม่เพียงพอ ก็จะใช้วิธีการแก้ปัญหาแบบง่ายๆ ก็คือการเพิ่มปริมาณ

แบนวิคท์หรือการเพิ่มขนาดท่อส่งข้อมูลระหว่างกัน อีกทางเลือกหนึ่งคือการแก้ปัญหาอีกวิธีหนึ่งคือการเพิ่มจำนวนท่อส่งข้อมูลหลายๆ ท่อไปยังไอเอสพีรายอื่นๆ ซึ่งจะมีประโยชน์มากกว่าการเพิ่มขนาดของท่อส่งข้อมูลหลักเพียงท่อเดียว โดยประโยชน์ที่ได้เพิ่มขึ้นนี้อาจจะมีได้หลายวัตถุประสงค์ ยกตัวอย่างเช่น การสำรองท่อส่งข้อมูล ในกรณีท่อส่งข้อมูลหลักขาด หรือการแยกท่อส่งข้อมูลตามชนิดของข้อมูล เพื่อที่จะทำการกระจายปริมาณข้อมูลไปตามท่อส่งข้อมูลและยังสามารถจัดลำดับความสำคัญของท่อส่งข้อมูลกับชนิดของข้อมูลได้อีกด้วย ทำให้ส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยได้ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย ด้วยเหตุผลเหล่านี้เอง ไอเอสพีจึงนิยมเชื่อมต่อไปยังหลายๆ ไอเอสพีและภายในการเชื่อมต่อระหว่างไอเอสพียังสามารถมีท่อส่งข้อมูลระหว่างกันได้มากกว่าหนึ่งท่อส่งข้อมูลอีกด้วย



รูปที่ 1.1 สถาปัตยกรรมของเครือข่ายไอเอสพี

จากรูปที่ 1.1 เครือข่ายไอเอสพีให้บริการกับกลุ่มลูกค้าในการเชื่อมต่อไปยังเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยการเชื่อมต่อไปยังอินเทอร์เน็ตของไอเอสพีนั้น ไอเอสพีได้มีการเชื่อมต่อกับไอเอสพีรายอื่นๆ หรือเรียกว่าอัปสตรีมไอเอสพี (Upstream ISP) ภายในเครือข่ายของไอเอสพีประกอบไปด้วยบอเคอร์เราเตอร์และคอร์เราเตอร์ โดยที่คอร์เราเตอร์จะทำหน้าที่ส่งข้อมูลภายในเครือข่ายของไอเอสพีโดยรับข้อมูลมาจากบอเคอร์เราเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นทางเข้าของข้อมูลและส่งไปยังบอเคอร์เราเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นทางออกของข้อมูล ส่วนบอเคอร์เราเตอร์จะทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายภายในกับเครือข่ายภายนอก โดยท่อส่งข้อมูลของบอเคอร์เราเตอร์ทำ

หน้าที่ทั้งส่งและรับข้อมูลระหว่างเครือข่าย เราจะเรียกว่าเป็นอินเทอร์ลิงก์หรือท่อส่งข้อมูลขาเข้าก็ต่อเมื่อ ท่อส่งข้อมูลนั้นทำหน้าที่รับข้อมูลจากเครือข่ายภายนอก และเรียกว่าอินเทอร์ลิงก์หรือท่อส่งข้อมูลขาออก เมื่อกำลังส่งข้อมูลกับไปยังเครือข่ายภายนอก ซึ่งอาจจะพูดได้อีกในหนึ่งว่าเป็นการประเภทของท่อส่งข้อมูลตามลักษณะทิศทางการไหลของข้อมูล

ไอเอสพีสามารถเชื่อมต่อไปยังหลายๆ ไอเอสพีและมีท่อส่งข้อมูลได้หลายท่อระหว่างไอเอสพี ทำให้ไอเอสพีมีทางเลือกที่จะส่งข้อมูลได้มากขึ้น เส้นทางแต่ละเส้นทางที่ใช้ส่งก็จะมีค่าต้นทุนในการส่งต่างกัน เช่น การส่งข้อมูลไปยังท่อส่งข้อมูลหนึ่ง อาจผ่าน ไอเอสพีอื่นๆ เพียงสาม ไอเอสพี แต่ถ้าส่งไปยังอีกท่ออื่นที่เชื่อมกับ ไอเอสพีรายอื่น ต้องเดินทางไกลกว่าถึงห้า ไอเอสพี รวมถึงการใช้ทรัพยากรภายในไอเอสพีเอง เช่น เรื่องซีพียู โหลดของบอเคอร์เราเตอร์ โหลดของท่อส่งข้อมูล หรือระยะทางระหว่างบอเคอร์เราเตอร์ภายในไอเอสพี ซึ่งจะเป็นการสะท้อนให้เห็นถึงการจัดสรรทรัพยากรภายในระบบของ ไอเอสพีเอง เพราะฉะนั้นหน้าที่หลักของผู้บริหารระบบของ ไอเอสพี คือการกระจายการส่งข้อมูลของลูกค้าไปยังจุดหมายปลายทางแต่ละแห่ง โดยเลือกใช้เส้นทางที่เหมาะสมเพื่อที่จะใช้ประโยชน์จากทรัพยากรของตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด โปรโตคอลบีจีพีจึงเป็นเครื่องมือหลักที่ผู้บริหารระบบใช้ในการจัดสรรทรัพยากรเครือข่าย ดังนั้นการตั้งค่านโยบายการเลือกเส้นทางของบีจีพี จึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการที่จะทำให้บรรลุวัตถุประสงค์นี้

จุดเริ่มต้นของการทำวิจัยภายในวิทยานิพนธ์นี้คือปัญหาการเลือกเส้นทางของบีจีพีเราเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นบอเคอร์เราเตอร์ของไอเอสพีได้รับการประกาศข้อมูลเส้นทาง ทั้งที่มาจากบอเคอร์เราเตอร์ตัวอื่นๆ ของ ไอเอสพีเอง และจากบอเคอร์เราเตอร์ของ ไอเอสพีรายอื่นที่มีการเชื่อมต่อกันโดยตรงระหว่างกัน ข้อมูลที่บีจีพีเราเตอร์ได้รับมาจะถูกนำมาเข้าสู่กระบวนการเลือกเส้นทาง จากนโยบายที่ตั้งค่าไว้โดยผู้บริหารระบบ ข้อมูลเส้นทางที่รับมาหนึ่งเส้นทาง อาจจะมีเส้นทางไปยังจุดหมายปลายทางหลายเส้นทาง ทำให้เราสามารถเลือกส่งข้อมูลไปยังท่อส่งข้อมูลขาออกได้หลายเส้นทางพร้อมกัน ปัญหาแรกในงานวิจัยนี้คือ นโยบายการเลือกเส้นทางของเราเตอร์บีจีพีภายใน ไอเอสพีจะเลือกเส้นทางเพียงเส้นเดียวในการส่งข้อมูลไปยังท่อส่งข้อมูลขาออกสำหรับการเดินทางไปเครือข่ายปลายทางหนึ่ง เป็นการจับคู่แบบ หนึ่งต่อหนึ่ง ของท่อส่งข้อมูลขาออกกับหมายเลขเครือข่ายปลายทาง โดยจะเรียกปัญหานี้ว่า “เอสอีเอส” (SES: Single Egress link Selection) สำหรับปัญหาที่สอง นโยบายการเลือกเส้นทางของเราเตอร์บีจีพีภายใน ไอเอสพีเป็นอิสระต่อกัน โดยที่บอเคอร์เราเตอร์แต่ละตัวสามารถมีนโยบายการเลือกเส้นทางของตนเองและสามารถเลือกท่อส่งข้อมูลขาออกที่ต่างกันได้ ความสัมพันธ์เป็นแบบหนึ่งต่อกลุ่ม คือหนึ่งเครือข่ายปลายทางสามารถส่งไปยังท่อส่งข้อมูลขาออกได้หลายท่อ ปัญหานี้เรียกว่าเอ็มอีเอส (MES: Multiple Egress link Selection)

ดังนั้นการออกแบบนโยบายการเลือกเส้นทางของบอเคอร์เราเตอร์ที่ผิดสำหรับเส้นทาง การส่งผ่านข้อมูลภายในของไอเอสพี จะส่งผลให้เกิดปัญหามากมายตามมา เช่น อาจก่อให้เกิด

ปัญหาที่ส่งข้อมูลของบอเคอร์เราเตอร์บางตัวเต็ม ในขณะที่ตัวอื่นๆ ยังมีที่ส่งข้อมูลว่าง ทำให้ข้อมูลของลูกค้าสูญหาย ซึ่งเป็นความรับผิดชอบของไอเอสพีนั้นส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของเครือข่ายของตนเอง ในทางกลับกันที่ส่งข้อมูลที่ไม่ได้ถูกเลือกใช้ส่งข้อมูลหรือการใช้ที่ส่งข้อมูลไม่เต็มประสิทธิภาพ ทำให้เกิดการเสียโอกาสในการส่งข้อมูล ซึ่งจุดเชื่อมต่อระหว่างแต่ละไอเอสพีมักจะเกิดปัญหาเหล่านี้ หรืออีกนัยหนึ่งอาจจะเรียกได้ว่าเป็นปัญหาคอขวดของระบบอินเทอร์เน็ต

สำหรับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ จากการที่บอเคอร์เราเตอร์ ต้องมีการคำนึงถึงเรื่องของการที่จะเลือกเส้นทางอย่างไร เพื่อที่จะทำให้สามารถส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายได้ทั้งหมด ยังต้องมีการคำนึงถึงว่า ทำอย่างไรให้ข้อมูลที่เดินทางผ่านเครือข่ายนั้น เดินทางอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดอีกด้วย

### 1.3 อัลกอริทึมที่มีอยู่เดิม

เริ่มต้นจากผลงานเรื่อง "Optimal Configuration for BGP Route Selection" ของ Bressoud. และ Rastogi [4] ได้เสนอปัญหาการตั้งค่านโยบายการเลือกเส้นทางของบีจีพี และพิสูจน์ว่าปัญหานี้มีลักษณะเป็นปัญหา NP-Hard จากนั้นได้เสนอวิธีการแก้ปัญหานี้โดยใช้วิธีโปรแกรมเชิงเส้น (linear Programming) [5] และวิธีฮิวริสติกในการแยกคำตอบที่ได้จากโปรแกรมเชิงเส้น จากนั้น Tat Wing และ Kwan L. [6] ได้เสนอผลงานเรื่อง "Time-Efficient Algorithms for BGP Route Configuration" โดยนำเสนอเทคนิค Most popular prefix first ซึ่งเป็นการแก้จุดบกพร่องของ [4] ในเรื่องการไม่พบคำตอบกรณีที่ปริมาณแบนวิดท์ของที่ส่งข้อมูลมีน้อย ผลงานของทั้ง [4] และ [6] ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน ต่างกันตรงที่ [6] สามารถหาคำตอบได้มากกว่า ผลลัพธ์ที่ได้ก็มีค่าใกล้เคียงกัน และใช้เวลาในการทำงานที่ต่ำกว่าอีกด้วย

### 1.4 หลักการใหม่ที่นำเสนอ

ในวิทยานิพนธ์ได้เสนอวิธีการในการแก้ปัญหาค่าเลือกเส้นทางของบีจีพี ซึ่งได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นปัญหา NP-hard โดยการวิจัยเริ่มต้นจากการนำอัลกอริทึมจีเนติกแบบพื้นฐานเข้ามาแก้ปัญหา ทั้งปัญหาเอสไอเอสและ เอ็มไอเอส จากนั้นจึงเริ่มปรับปรุงการทำงานของ อัลกอริทึมจีเนติก โดยการนำวิธีฮิวริสติกเข้ามาช่วย ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มาดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบอัลกอริทึมใหม่ที่ได้พัฒนาขึ้นมากับอัลกอริทึมเดิมที่มีอยู่แล้ว พบว่าอัลกอริทึมใหม่สามารถหาคำตอบได้ดีกว่า [4] และ [6] อีกทั้งยังให้ค่าผลลัพธ์ของคำตอบที่ดีกว่าเดิมอีกด้วย

## 1.5 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ประกอบด้วย 7 บทด้วยกัน กล่าวคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงเหตุจูงใจในการทำวิจัย วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย ขอบเขตการทำวิจัย พร้อมทั้งที่มาของปัญหาและลักษณะของปัญหาที่พบแต่ละปัญหา รวมถึงวิธีการแก้ปัญหาที่มีอยู่ในปัจจุบัน นอกจากนี้ยังเสนอวิธีในการแก้ปัญหาแบบใหม่เพื่อที่จะนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการแก้ปัญหาที่มีอยู่ก่อนแล้ว

บทที่ 2 กล่าวถึงความรู้เบื้องต้นของโปรโตคอลเลือกเส้นทางบีจีพี รวมทั้งลักษณะเฉพาะของเส้นทาง ที่นำมาใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกเส้นทาง ลำดับขั้นตอนการตัดสินใจเพื่อที่เส้นทางที่ดีที่สุด

บทที่ 3 กล่าวถึงความรู้เบื้องต้นของจินเนติกและฮิวริสติกอัลกอริทึม รวมถึงการนำจินเนติกมาประยุกต์ใช้กับปัญหาต่างๆ

บทที่ 4 กล่าวถึงการประยุกต์ใช้งานจินเนติกอัลกอริทึมกับปัญหาการเลือกเส้นทางของโปรโตคอลเลือกเส้นทางบีจีพีในแต่ละปัญหา

บทที่ 5 กล่าวถึงการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของจินเนติกอัลกอริทึม โดยนำวิธีฮิวริสติกเข้ามาเพิ่มประสิทธิภาพของอัลกอริทึม

บทที่ 6 กล่าวถึงวิธีการทดลองการทำงานของแต่ละอัลกอริทึม รวมถึงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละอัลกอริทึมที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาแต่ละปัญหา

บทที่ 7 ในบทนี้จะทำการสรุปผลและวิจารณ์การทดลองกับปัญหาแต่ละปัญหาที่เกิดขึ้น รวมถึงข้อเสนอแนะและปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดลอง

## บทที่ 2

# ความรู้เบื้องต้นของโปรโตคอลเลือกเส้นทางบีจีพี

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการวิจัย และพื้นฐานของโปรโตคอลเลือกเส้นทางบีจีพี ซึ่งเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการเชื่อมต่อกันระหว่างเครือข่าย จนเป็นที่มาของเครือข่ายอินเทอร์เน็ต รวมถึงพื้นฐานของโปรโตคอลเลือกเส้นทางบีจีพี ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

### 2.1 สถาปัตยกรรมการเลือกเส้นทางในอินเทอร์เน็ต

เราเตอร์มีหน้าที่หลักในการเลือกเส้นทางบนเครือข่ายไอพี โดยอาศัยตารางเส้นทางเพื่อที่จะส่งไอพีแพ็คเก็ตไปยังเครือข่ายปลายทาง ตารางเส้นทางจะถูกสร้างขึ้นและอาจมีการปรับเปลี่ยนไปได้ตามสภาพเครือข่ายโดยอัตโนมัติจากการทำงานของโปรโตคอลเลือกเส้นทางที่ทำงานอยู่บนเราเตอร์ เราสามารถแบ่งประเภทของโปรโตคอลเลือกเส้นทางตามชนิดของการทำงานได้ 2 แบบคือ โปรโตคอลเกตเวย์ภายนอกและโปรโตคอลเกตเวย์ภายใน

โปรโตคอลเกตเวย์ภายนอก (exterior gateway protocol) มีหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลเส้นทางระหว่างเครือข่าย โดยที่แต่ละเครือข่ายมีการบริหารนโยบายการเลือกเส้นทางเป็นอิสระออกจากกัน เช่นระหว่างเครือข่ายของไอเอสพี โดยเครือข่ายที่มีนโยบายการเลือกเส้นทางที่เป็นอิสระจะเรียกว่า ระบบบอโตโนมัส (autonomous system) แต่ละระบบบอโตโนมัสจะมีหมายเลขกำกับอยู่เรียกว่า เลขระบบบอโตโนมัส (autonomous system number) สำหรับโปรโตคอลเกตเวย์ภายใน ใช้ในการหาเส้นทางภายในระบบบอโตโนมัส ใช้สำหรับเลือกเส้นทางการเดินทางภายในเครือข่ายภายใน มีหลายโปรโตคอลให้เลือกใช้ เช่น โอเอสพีเอฟ และ ไอเอสไอเอส ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันในเครือข่ายขนาดใหญ่

### 2.2 บีจีพีคืออะไร

บีจีพี (Border Gateway Protocol) คือ โปรโตคอลเกตเวย์ภายนอกที่ใช้เลือกเส้นทางระหว่างระบบบอโตโนมัส บีจีพีถูกใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลเส้นทางระหว่างระบบบอโตโนมัส โดยพัฒนามาจากโปรโตคอลอีจีพี (EGP: Exterior Gateway Protocol) ถูกพัฒนามาใช้ในเครือข่ายของเอ็นเอฟเอส (NSFNET: National Science Foundation NETwork) ซึ่งเป็นเครือข่ายของมหาวิทยาลัยและศูนย์วิจัยต่างๆ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของเครือข่ายอินเทอร์เน็ต [3]

หน้าที่หลักของเราเตอร์บีจีพีคือการแลกเปลี่ยนข้อมูลเส้นทาง การไปถึงได้ระหว่างเราเตอร์บีจีพี ข้อมูลเส้นทางจะประกอบไปด้วยรายชื่อระบบบอโตโนมัสที่จะต้องผ่านถ้าต้องการ

มายังเครือข่ายในข้อมูลเส้นทางนี้ ซึ่งข้อมูลนี้นอกจากจะใช้ในการไปยังเครือข่ายเป้าหมายแล้วยังใช้ในการตรวจสอบรูปในเครือข่ายอีกด้วย และลักษณะพิเศษอีกอย่างหนึ่งของบีจีพีคือ สามารถใช้ข้อมูลรายการเหล่านี้ในการเลือกเส้นทางตามที่ผู้บริหารระบบกำหนดไว้เองได้ เช่น การไม่ส่งข้อมูลไปยังเส้นทางที่ต้องเดินทางผ่านออโตโนมัสหมายเลขหนึ่ง ซึ่งทำให้บีจีพีเป็นโปรโตคอลเลือกเส้นทางโปรโตคอลเดียวที่สามารถกำหนดนโยบายในการเลือกเส้นทางโดยผู้บริหารระบบได้

ปัจจุบันบีจีพีได้พัฒนามาถึงเวอร์ชัน 4 แล้ว ซึ่งสนับสนุนการเลือกเส้นทางแบบคลาสเลส (Classless routing) ระหว่างระบบออโตโนมัส และยังสนับสนุนในเรื่องของการรวมแอดเดรส (Route Aggregation) เพื่อช่วยในตารางเส้นทางของเราเตอร์บีจีพีมีขนาดเล็กลง

### 2.3 ระบบออโตโนมัส

ความหมายของระบบออโตโนมัสซึ่งถูกกำหนดโดยอาร์เอฟซี (RFC) 1771 [2] ให้ความหมายว่า กลุ่มของเราเตอร์ที่อยู่ภายใต้การบริหารที่เป็นเอกเทศ เราเตอร์ใช้โปรโตคอลเกตเวย์ภายในชนิดใดชนิดหนึ่งด้วยเมตริกที่ใช้ตามปกติเพื่อเลือกเส้นทางภายใน และใช้โปรโตคอลเกตเวย์ภายนอกสำหรับเลือกเส้นทางไปยังระบบออโตโนมัสอื่น

ขอบเขตของระบบออโตโนมัสถูกกำหนดโดยหมายเลขระบบออโตโนมัส ซึ่งเป็นหมายเลขประจำระบบสำหรับให้โปรโตคอลเลือกเส้นทางสามารถแยกแยะระบบออโตโนมัสออกจากกันได้ โดยที่บีจีพีจะใช้เลขระบบออโตโนมัสในการกำหนดคุณลักษณะของเส้นทาง โดยจะกำกับไว้ในเส้นทางที่ใช้แลกเปลี่ยน เพื่อที่จะทำให้ทราบถึงต้นกำเนิดของเส้นทาง โดยที่จะเราเตอร์บีจีพีจะทำการเพิ่มหมายเลขออโตโนมัสของเครือข่ายตัวเองลงไป เมื่อข้อมูลเส้นทางนั้นกำลังจะออกจากเครือข่าย ทำให้เครือข่ายอื่นสามารถนำข้อมูลนี้มาใช้เป็นข้อมูลในการสร้างนโยบายการเลือกเส้นทางของแต่ละระบบออโตโนมัส

หมายเลขออโตโนมัสมีขนาด 16 บิต มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 65535 โดยปกติถ้าเครือข่ายไม่ได้มีการเชื่อมต่อไปยังอินเทอร์เน็ต จะสามารถใช้หมายเลขออโตโนมัสไพรเวต (Private AS number) แต่ถ้าต้องการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้หมายเลขมีการซ้ำกัน จึงจำเป็นต้องมีการลงทะเบียนหมายเลขระบบออโตโนมัสให้เป็นหมายเลขประจำของแต่ละเครือข่าย

### 2.4 การเลือกเส้นทางของบีจีพี

บีจีพีจัดว่าเป็นโปรโตคอลเกตเวย์ภายนอกที่ใช้ในการเลือกเส้นทางการเดินทางระหว่างออโตโนมัส โดยยึดหลักที่ว่า จะเลือกเส้นทางใดๆก็ได้จากเส้นทางที่สามารถไปถึงปลายทางโดยไม่วนรอบ การหาเส้นทางที่ไปให้ถึงปลายทางได้ถูกต้องจึงมีความสำคัญมากกว่าการหาเส้นทางที่

สั้นที่สุด บีจีพีใช้วิธี พาธเวกเตอร์ (path vector) โดยจะส่งข้อมูลเส้นทางไปคู่กับคุณลักษณะของเส้นทาง (path attribute) เช่น การส่งข้อมูลเส้นทางและมีหมายเลขลำดับของออโตโนมัสที่จะต้องผ่านเพื่อที่จะไปถึงปลายทางนั้น

ในการทำความเข้าใจการเลือกเส้นทางโดยใช้นโยบาย เป็นลักษณะพิเศษของการเลือกเส้นทางของบีจีพี โดยบีจีพีจะเลือกเส้นทางตามนโยบายที่ผู้ดูแลระบบกำหนด ซึ่งจะเป็นการกำหนดตามแต่ละแนวทางการบริการและการใช้งานเครือข่ายนั้นๆ ซึ่งจะเป็นการเลือกเส้นทางจากการประเมินว่าเหมาะสม แทนที่จะเลือกจากการคำนวณว่าเหมาะสม โดยทั่วไปแล้ว ไอเอสพีจะใช้เพียงหนึ่งหมายเลขออโตโนมัส ในการเชื่อมต่อกันไปยังจุดแลกเปลี่ยนข้อมูลภายในประเทศ (nation exchange point) หรือภายในภูมิภาค (region exchange point) ที่ให้บริการเชื่อมต่อไอเอสพีแต่ละรายเข้าด้วยกัน บีจีพีเรียกการเชื่อมต่อกันระหว่างออโตโนมัสเพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลเส้นทางว่า external bgp peering session ส่วนภายในระบบออโตโนมัสเองเรียกการเชื่อมต่อระหว่างเราเตอร์ที่รันบีจีพีว่า internal bgp peering session

สำหรับตัวข้อมูลเส้นทางของบีจีพีที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนกันเรียกว่า Network prefix ซึ่งจริงๆ แล้วคือหมายเลขเครือข่ายปลายทาง ซึ่งเป็นการรวมเส้นทาง (aggregate routes) การประกาศข้อมูลเส้นทางของบีจีพี จะประกอบไปด้วยข้อมูลเส้นทางและคุณสมบัติของเส้นทาง (route attribute) ที่จะนำมาใช้ในการตัดสินใจเลือกเส้นทางตามนโยบายที่เรากำหนด เช่น next-hop, local prefer, MED, AS-Path บีจีพีเราเตอร์ในระบบออโตโนมัสที่รับข้อมูลการประกาศเส้นทาง ก็จะนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้ในการเลือกเส้นทาง เมื่อผ่านกระบวนการตัดสินใจเลือกเส้นทางเสร็จสิ้นแล้ว บีจีพีเราเตอร์จะเพิ่มเส้นทางนี้ลงในตารางเส้นทางของตนเอง โดยอาศัยของมูล Next-hop จากข้อมูลคุณสมบัติเส้นทางเส้นทางนั้น จากนั้นบีจีพีเราเตอร์จะนำเส้นทางที่เลือกแล้วมาประกาศไปยังบีจีพีเราเตอร์ตัวอื่นๆ แต่ถ้าเป็นการประกาศไปยังระบบออโตโนมัสอื่น บีจีพีเราเตอร์จะเพิ่มหมายเลขระบบออโตโนมัสของตนเองลงไป AS-Path หรือต่อส่งข้อมูลออกจากระบบออโตโนมัสที่ได้รับมากับข้อมูลเส้นทางนั้น กลับมาสู่ระบบออโตโนมัสที่ส่งข้อมูลนั้นไป

นโยบายการเลือกเส้นทางของบีจีพี จะเลือกเส้นทางที่ดีที่สุดสำหรับแต่ละ prefix โดยลำดับของการเลือกเส้นทางลงสู่ตารางเส้นทางของเราเตอร์บีจีพีมีดังต่อไปนี้ [1] [2] [3]

1. เลือกเส้นทางที่มีค่าจากคุณสมบัติ local preference มากที่สุด
2. เลือกเส้นทางที่มีความยาวของคุณสมบัติ AS-Path สั้นที่สุด
3. เลือกเส้นทางจากคุณสมบัติ การกำเนิดเส้นทาง origin type ที่มีค่าต่ำที่สุด
4. เลือกเส้นทางที่มีค่าเมตริก MED ต่ำที่สุด
5. เลือกเส้นทางที่รับมาจากการประกาศของ external bgp ก่อนที่จะเลือกรับจากการประกาศจาก internal bgp
6. เลือกเส้นทางที่มีค่าต้นทุนของเส้นทางต่ำที่สุดของค่าเส้นทางที่ได้จาก IGP ไปยังบอร์เดอร์เราเตอร์ของเส้นทางออกนั้น

### 7. เลือกเส้นทางจากค่าสูงสุดของคุณสมบัติ next-hop

ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 6 การเลือกเส้นทางจะเป็นการตัดสินใจด้วย IGP เมตริก เช่นค่าต้นทุน (cost) ของไอเอสพีเอฟของเส้นทางระหว่างบีจีพีเราเตอร์ภายในระบบอโตโนมัสเดียวกัน เพื่อจะตัดสินใจเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดภายในเครือข่ายของตนเองไปยังเราเตอร์ที่จะทำหน้าที่เป็นทางออกของ prefix นั้น

นโยบายการตัดสินใจเลือกเส้นทางเป็นการควบคุมการเลือกเส้นทางของข้อมูลขาออกของบอร์เคอร์เราเตอร์ในการเลือกทอส่งข้อมูลไปยังแต่ละเครือข่ายปลายทาง (prefix) สำหรับฝั่งขาเข้า จะขึ้นอยู่กับนโยบายการประกาศเส้นทาง จะทำให้ระบบอโตโนมัสควบคุมข้อมูลขาเข้ามายังเครือข่ายของตนเองได้

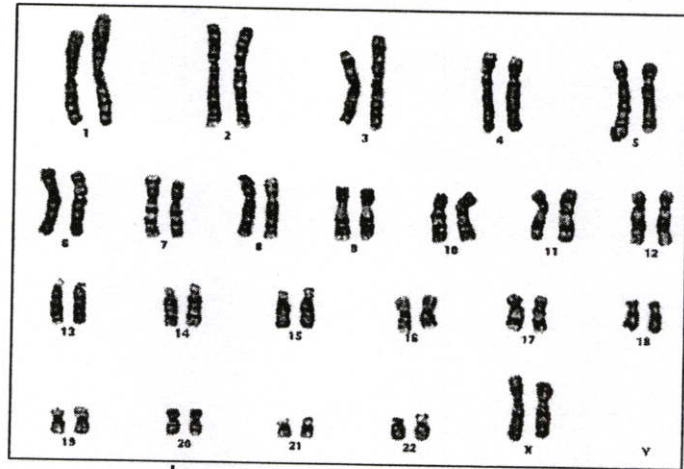
### บทที่ 3

## ความรู้เบื้องต้นของจีเนติกและฮิวริสติกอัลกอริทึม

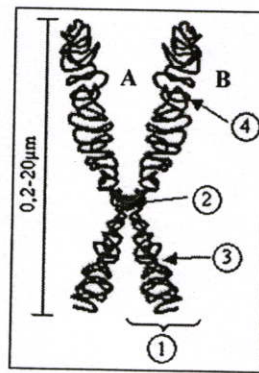
ในปัจจุบันการหาคำตอบของปัญหาบางประเภท ไม่ว่าจะเป็นปัญหาทางด้านวิทยาศาสตร์ หรือทางคอมพิวเตอร์ สามารถหาคำตอบได้หลายวิธี โดยปัญหาส่วนใหญ่ที่พบจะเป็นปัญหาที่ไม่เที่ยงตรงและคลุมเครือ ซึ่งหากต้องการคำตอบที่เที่ยงตรงและมีความแน่นอนสูงมากก็ย่อมมีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก อีกทั้งยังใช้เวลานานในการหาคำตอบ ซึ่งในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้นำความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีหรือกฎเกณฑ์ทางธรรมชาติเข้ามาช่วยในการหาคำตอบหรือศึกษาวิจัยเพิ่มมากขึ้น เช่น ระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) ฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) จีเนติก อัลกอริทึม (Genetic Algorithms) เป็นต้น โดยจีเนติก อัลกอริทึมเป็นวิธีการที่จำลองรูปแบบวิธีการทางชีววิทยา ในการให้กำเนิดประชากรรุ่นใหม่หรือขยายเผ่าพันธุ์ในรุ่นลูก รุ่นหลานต่อไป โดยอาศัยพื้นฐานความคิดของวิวัฒนาการทางธรรมชาติถ่ายทอดลักษณะต่างๆทางพันธุกรรม โดยปฏิบัติตามกระบวนการทางพันธุศาสตร์ เพื่อจะใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงที่สุดของปัญหาโดยคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ยังมีอีกวิธีการหนึ่งคือฮิวริสติก (Heuristic) เป็นอัลกอริทึมที่ไม่สามารถรับประกันคุณภาพของคำตอบ ได้ว่าเป็นคำตอบที่ดีที่สุดและ/หรือไม่สามารถรับประกันช่วงเวลาในการหาคำตอบว่าหาได้ภายในเวลาที่กำหนด แต่วิธีนี้จะเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการหาคำตอบ ซึ่งอาจได้คำตอบที่ไม่ดีนัก แต่คำตอบที่ได้ก็จะใกล้เคียงและสามารถยอมรับได้

### 3.1 พันธุศาสตร์ทางชีววิทยา

เมนเดล บิดาแห่งวิชาพันธุศาสตร์ ค้นพบว่าลักษณะต่างๆของสิ่งมีชีวิต เช่น ลักษณะผิวของเมล็ดพืช สีของเมล็ดพืช เป็นต้น ที่ถูกถ่ายทอดไปยังลูกหลานนั้นถูกควบคุมโดยหน่วยควบคุมลักษณะที่เรียกว่ายีนส์ (Gene) ซึ่งยีนส์หลายๆยีนส์จะเรียงตัวกันอยู่บนเส้นโครโมโซม (Chromosome) ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต โดยจะอยู่กันเป็นคู่ๆ แต่จะแตกต่างกันที่ค่าลักษณะย่อยต่างๆ โดยลักษณะย่อยของยีนส์จะเรียกว่าอัลลีล (Allele) และตำแหน่งของยีนส์แต่ละยีนส์บนโครโมโซมเรียกว่า โลกัส (Locus) ซึ่งแบบต่างๆของยีนส์ที่มีอัลลีลต่างกันในแต่ละตำแหน่งยีนส์เดียวกันเรียกว่า จีโนไทป์ (Genotype) สำหรับลักษณะภายนอกที่ปรากฏออกมาให้เห็น เรียกว่า ฟีนไทป์ (Phenotype) เช่น ในคนจะมีโครโมโซม 23 คู่ 46 โครโมโซม ซึ่งแต่ละโครโมโซมจะประกอบด้วยยีนส์ต่างๆกันราว 1250 ยีนส์ ตัวอย่างคู่โครโมโซมที่ 1 ในคน ซึ่งประกอบด้วยยีนส์ลักษณะสีผม สีผิว สีตา และอื่นๆอีกประมาณ 1247 ลักษณะ อัลลีลของยีนส์ลักษณะสีผม คือ ผมสีดำ ส่วนโครโมโซม 1B มีอัลลีลของยีนส์ลักษณะสีผม คือ ผมสีบลอนด์ [7] [8]



รูปที่ 3.1 แสดงโครโมโซมของเพศหญิง



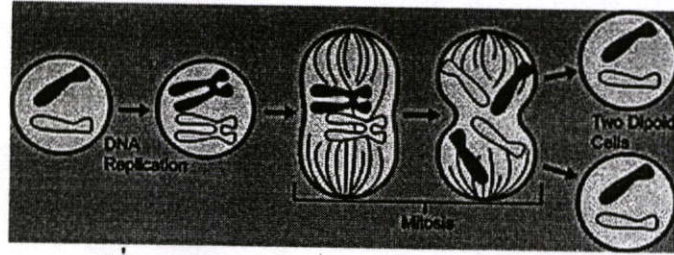
1. Chromatid
2. Centromere
3. Short arm
4. Long arm

รูปที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบของโครโมโซม

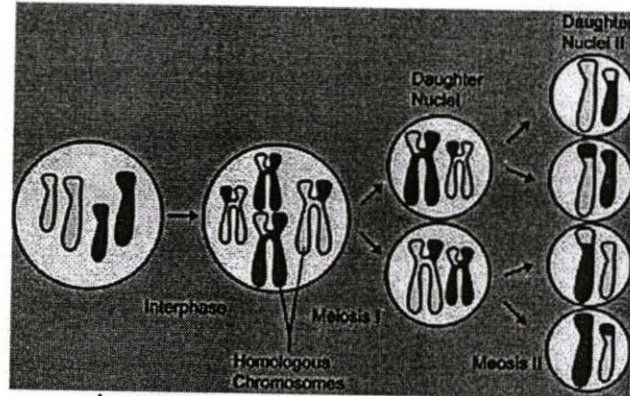
การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมเป็นการถ่ายทอดลักษณะต่างๆของสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นเมื่อมีการแบ่งตัวของเซลล์สิ่งมีชีวิต ซึ่งมี 2 แบบคือ

1. การเพิ่มจำนวนเซลล์ เป็นการแบ่งตัวแบบไมโทซิส(Mitosis) โดยโครโมโซมแต่ละตัวจะขยายตัวเพิ่มจำนวนตัวเองขึ้นเป็นสอง และเชื่อมหุ้มนิวเคลียส จะสลายลงเพื่อดึงแยกโครโมโซมที่เพิ่มจำนวนขึ้นออกจากโครโมโซมเพิ่มเป็นสองด้าน แล้วเชื่อมหุ้มนิวเคลียสจะถูกสร้างขึ้นใหม่ กลายเป็นเซลล์ใหม่ 1 เซลล์ที่มีโครโมโซมเหมือนเดิม ดังรูปที่ 3.3

2. การแบ่งตัวของเซลล์สืบพันธุ์ เป็นการแบ่งตัวแบบไมโอซิส(Meiosis) โดยโครโมโซมจากเซลล์พ่อ 1 โครโมโซมและโครโมโซมจากเซลล์แม่ 1 โครโมโซม จะเริ่มจับคู่กันที่โครโมโซมชนิดเดียวกัน ในขณะเดียวกันโครโมโซมแต่ละตัวทั้งที่มาจากพ่อและมาจากแม่ ต่างก็จำลองแบบของตนเพิ่มขึ้นมาอีกแต่ละโครโมโซม ทำให้ได้จำนวนโครโมโซมทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า และดำเนินการทางพันธุกรรมจนถึงระยะแบ่งตัว โครโมโซมพ่อพร้อมกันแบบจำลองและโครโมโซมแม่พร้อมกันแบบจำลองที่ได้จะแยกคู่ไปรวมกันเป็น 2 นิวเคลียส กลายเป็นเซลล์ใหม่ 2 เซลล์ ซึ่งจะแบ่งตัวต่อทันที โดยแต่ละโครโมโซมพ่อแยกตัวออกจากแบบจำลองและโครโมโซมแม่ก็แยกตัวออกจากแบบจำลองรวมกันเป็นเซลล์ใหม่ 4 เซลล์ ดังรูปที่ 3.4

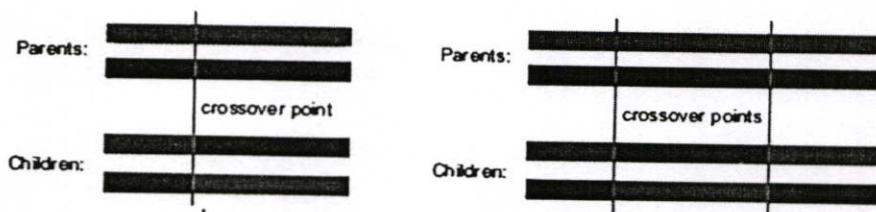


รูปที่ 3.3 แสดงการแบ่งตัวของเซลล์แบบไมโทซิส



รูปที่ 3.4 แสดงการแบ่งตัวของเซลล์แบบไมโอซิส

วิธีการทางพันธุศาสตร์ในระหว่างที่เกิดการแบ่งตัวของไมโอสิสนั้น โครโมโซมจะมีโอกาสแลกเปลี่ยนส่วนบางส่วนซึ่งกันและกัน อันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่าครอสโอเวอร์ของลักษณะต่างๆขึ้น ซึ่งการครอสโอเวอร์นั้นเกิดขึ้นขณะที่มีการจำลองแบบเพิ่มขึ้น และเกิดขึ้นระหว่าง โครโมโซมพ่อกับโครโมโซมแม่ ไม่ใช่เกิดขึ้นระหว่างโครโมโซมพ่อกับแบบจำลอง ซึ่งการครอสโอเวอร์จะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนลักษณะของยีสต์ต่างๆของคู่โครโมโซมพ่อกับแม่ โดยเนื่องจากยีนส์แต่ละยีนส์เรียงตัวกันบนเส้นโครโมโซมนั้นไม่ได้อยู่กันอย่างหนาแน่น แต่มีระยะห่างกันอย่างไม่สม่ำเสมอ เพราะคุณสมบัติของยีนส์นั้นเป็นโมเลกุลของสารโปรตีนประกอบตัวกันทางเคมี ช่องว่างระหว่างยีนส์นี้เองจะเป็นตำแหน่งที่แตกออกมาได้เวลาจะครอสโอเวอร์ และแลกเปลี่ยนยีนส์ของโครโมโซมโดยส่วนที่อยู่หลังรอยแตก โดยจะถูกย้ายไปอยู่อีกโครโมโซมหนึ่งทั้งหมด นอกจากนี้ยังสามารถแตกอีกที่แห่งก็ได้ ซึ่งผลนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถที่จะเชื่อมกันมากน้อยเพียงไรของช่องว่างระหว่างยีนส์



รูปที่ 3.5 แสดงการครอสโอเวอร์ระหว่างโครโมโซม

ประโยชน์ที่เกิดจากครอสโอเวอร์ดังกล่าวในรูปแบบที่ 3.5 แสดงให้เราเห็นถึงการทำให้มีโอกาสที่จะได้ลักษณะต่างๆกันมาอยู่รวมกันได้หลายแบบมากขึ้น ทำให้สิ่งมีชีวิตรุ่นลูกที่เกิดขึ้นมามีความหลากหลายมากขึ้น และอาจทำให้มีโอกาสเกิดสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะต่างๆที่ตีพอเหมาะรวมอยู่ด้วยกัน ได้อย่างพอดี เหมาะสมกับสิ่งแวดล้อม ถ้าการเกิดเซลล์ใหม่โดยถ่ายทอดโครโมโซมไม่มีการครอสโอเวอร์แล้ว โครโมโซมใดเคยมียีนส์ลักษณะใดก็จะมีลักษณะนั้นอยู่เรื่อยๆ รุ่นลูกก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกัน โอกาสที่สิ่งมีชีวิตนั้นจะเจริญหรือปรับตัวให้ดีขึ้นย่อมมีได้ยากกว่าการเปลี่ยนลักษณะยีนส์ใหม่หลายๆแบบมากขึ้น

ลักษณะต่างๆของสิ่งมีชีวิตจะสามารถอยู่รอดได้โดยการคัดเลือกทางธรรมชาติคือคัดเลือกโครโมโซมที่มีลักษณะที่ทำให้สิ่งมีชีวิตแข็งแรงเพียงพอ หรือเหมาะสมต่อสภาพแวดล้อม ซึ่งจะสามารถอยู่รอดและถ่ายทอดไปยังลูกหลาน ดังนั้นการคัดเลือกของธรรมชาติเพื่อถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม เป็นเพียงส่วนประกอบของการเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตเท่านั้น มิเวคั้นหรือการผ่าเหล่า คือการเปลี่ยนแปลงลักษณะของยีนส์ไปจากเดิมที่ควรเป็นไปตามการถ่ายทอด ซึ่งเป็นต้นเหตุของการเกิดลักษณะที่แปลกๆออกไปมากมายสำหรับสิ่งมีชีวิตหนึ่งๆ ซึ่งเท่ากับเป็นการให้โอกาสแก่ธรรมชาติในการที่จะเลือกลักษณะแปลกๆมากขึ้น เนื่องจากขบวนการวิวัฒนาการโดยธรรมชาติเองนั้นช้ามาก เพราะกว่าที่ธรรมชาติจะปรับสภาพแวดล้อมให้สิ่งมีชีวิตค่อยๆปรับตัวเองให้เหมาะสมนั้นมีโอกาสน้อยมาก การผ่าเหล่านั้นทุกลักษณะในแต่ละยีนส์ย่อมมีโอกาสที่จะเกิดความเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมได้พอๆกัน และถ้าเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมขณะนั้นก็คงอยู่ต่อไป แต่ถ้าการเปลี่ยนแปลงเป็นลักษณะใดเกิดผิดจังหวะคือไม่เหมาะสมกับสภาพขณะนั้นๆ ก็จะไม่ถูกคัดเลือกและหายไป ซึ่งข้อสรุปนี้ได้จากการทดลองโดยการนำเอายีนส์ของแบคทีเรียมาผสมกัน และจัดสภาพแวดล้อมที่ไม่อำนวยต่อการผสมกันแล้ว ยีนส์จะปรับตัวเองเพื่อเร่งขบวนการผสมพันธุ์จนได้ผลดีในรุ่น และในปัจจุบันลักษณะใหม่ที่เกิดจากการผ่าเหล่าก็ยังคงมีให้เห็นอยู่ เช่น ความสามารถของเชื้อโรคแบคทีเรียในการต้านทานต่อยาฆ่าเชื้อ หรือเซลล์ผิดปกติอันเกิดจากกัมมันตภาพรังสีต่างๆ ซึ่งมีผลต่อสารภายในเซลล์ทำให้ลักษณะของยีนส์ในเซลล์เปลี่ยนไป

### 3.2 อัลกอริทึมจินเนติก

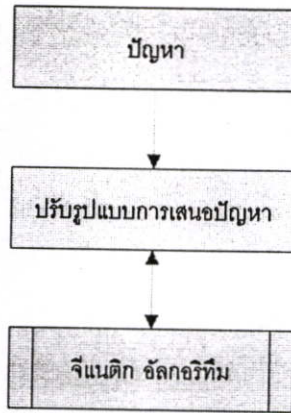
เป็นทฤษฎีที่จำลองกระบวนการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ (Natural Evolution) คือการคัดเลือกทาง ธรรมชาติ และอาศัยพื้นฐานความคิดทางพันธุกรรมในการถ่ายทอดลักษณะต่างๆ ไปยังรุ่นถัดไปที่สามารถนำมาพัฒนาใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัญหา จินเนติก อัลกอริทึมเป็นวิธีการหาคำตอบโดยการพิจารณา และดำเนินการจากกลุ่มของคำตอบของปัญหาที่ถูกสร้างขึ้นมาโดยการเข้ารหัส คือการแปลงค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ (Parameters) ของปัญหาให้อยู่ในรูปโครงสร้างของโครโมโซมที่กำหนด เพื่อคัดเลือกโครโมโซมคำตอบที่เหมาะสม

สำหรับสร้างวิวัฒนาการของคำตอบให้ดีขึ้นตามกระบวนการทางพันธุศาสตร์ โดยการแลกเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ระหว่างโครโมโซมที่ถูกคัดเลือกอันจะทำให้คำตอบของปัญหาถูกปรับปรุงให้ดีขึ้น โดยในปี ค.ศ. 1975 John Holland [9] เริ่มสนใจศึกษาในทฤษฎีวิวัฒนาการทางธรรมชาติในการกำเนิดประชากร (Population) สิ่งมีชีวิตในรุ่นต่อไป โดยกระบวนการธรรมชาติทางชีววิทยาประกอบด้วยการคัดเลือกทางธรรมชาติ (Natural Selection) คือสิ่งมีชีวิตใด แข็งแรงกว่าย่อมมีโอกาสอยู่รอดได้มากกว่านั้นหมายถึงการมีโครโมโซมซึ่งประกอบด้วยยีนส์ต่างๆ ที่มีลักษณะที่ดีนั้นจะมีโอกาสอยู่รอดได้มากกว่า โครโมโซมที่สามารถอยู่รอดได้ก็จะถูกถ่ายทอดยีนส์ที่มีลักษณะที่ดีเหล่านั้นไปยังลูกหลานได้มากกว่าเช่นกัน และกระบวนการทางพันธุศาสตร์ (Genetic Operation) คือการกำเนิดโครโมโซมใหม่โดยการผสมพันธุ์เพื่อถ่ายทอดยีนส์จากโครอสโอเวอร์หรือกลายพันธุ์จากมิวเตชัน

จากความเชื่อในวิวัฒนาการทางธรรมชาติที่แสดงถึงคุณลักษณะที่เป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิต โดยการถ่ายทอดลักษณะต่างๆ บนโครโมโซมนั้นมีคุณสมบัติทั่วไปที่ยอมรับกันคือ [10] [11]

1. วิวัฒนาการเป็นผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากความเปลี่ยนแปลงบนโครโมโซมที่เป็นอยู่ซึ่งแสดงลักษณะของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ
2. ธรรมชาติทางการคัดเลือกมีความสัมพันธ์กับโครโมโซมที่แสดงถึงประสิทธิภาพของโครงสร้างที่ดี ที่จะคัดเลือกเพื่อถ่ายทอดส่วนของโครงสร้างที่ดี
3. การถ่ายทอดในขณะที่เกิดวิวัฒนาการนั้น โครโมโซมพ่อ-แม่มีการแลกเปลี่ยนส่วนโครงสร้างกันเพื่อสร้างโครโมโซมลูกและเหตุผลที่ทำให้เกิดโครโมโซมลูกที่แตกต่างกันออกไปคือขบวนการผ่าเหล่า
4. วิวัฒนาการทางธรรมชาติมิได้เป็นสิ่งที่เกิดจากความจงใจ แต่เป็นกระบวนการที่เกิดจากโครงสร้างต่างๆ ในโครโมโซมที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นในขณะนั้น

Holland คิดว่าแนวคิดจากคุณสมบัติเหล่านี้ น่าจะนำมาปรับใช้กับคอมพิวเตอร์ให้ช่วยแก้ปัญหาที่ยู่ยากต่างๆ ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงที่สุด เขาจึงได้ทำการวิจัยโดยจำลองแบบเพื่อทดลองกับปัญหาแบบต่างๆ โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาระบบปรับปรุงการประมวลผลเอง (self adaptive process) และเพื่อสร้างโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญ (artificial system software) เพื่อแก้ปัญหา โดยอาศัยแนวความคิดของระบบทางธรรมชาติและค้นพบวิธีการใหม่ซึ่งเรียกว่าจีเนติก อัลกอริทึม (Genetic Algorithms: GA) [12] [13]



รูปที่ 3.6 แสดงหลักการเบื้องต้นของอัลกอริทึมจีเนติก

รูปที่ 3.6 แสดงหลักการเบื้องต้นในการใช้จีเนติก อัลกอริทึมแก้ปัญหา โดยจะต้องมีการปรับปรุงรูปแบบปัญหาในการนำเสนอจีเนติก อัลกอริทึมในลักษณะที่เหมาะสม เพราะจีเนติก อัลกอริทึมเป็นวิธีการค้นหาคำตอบโดยอาศัยวิธีการเลียนแบบการคัดเลือกทางธรรมชาติ และธรรมชาติทางพันธุกรรมโดยการรวมกันหรือสลับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆอันเป็นองค์ประกอบโครงสร้างของปัญหาที่ให้คำตอบที่ต้องการซึ่งอาศัยหลักการสุ่ม เพื่อปรับปรุงความสามารถในการค้นหาคำตอบที่ดีขึ้น การค้นหาคำตอบจากรุ่นหนึ่งไปรุ่นถัดไปตามวิวัฒนาการทางธรรมชาตินั้น คำตอบในรุ่นใหม่เกิดขึ้นจากการสร้างความสัมพันธ์ขึ้น จะเห็นได้ว่าวิธีการพื้นฐานของจีเนติก อัลกอริทึมเป็นแบบการสุ่ม แต่มีหลักการและประสิทธิภาพจากการคาดเดาคำตอบใหม่จากสถิติคำตอบเดิมที่ดี ซึ่งแตกต่างจากวิธีการทั่วไปคือ

1. GA ค้นหาคำตอบภายใต้โครงสร้างของปัญหาอันเกิดจากการกำหนดรหัส (coding) รูปแบบโครงสร้างจากกลุ่มตัวแปรต่างๆของปัญหานั้น ไม่ใช่ค้นหาคำตอบจากค่าของกลุ่มตัวแปรนั้น
  2. GA ค้นหาคำตอบโดยพิจารณาจากประชากรคำตอบหรือกลุ่มคำตอบ ไม่ใช่พิจารณาจากคำตอบใดคำตอบหนึ่ง
  3. GA ค้นหาคำตอบจากผลลัพธ์ของกลุ่มค่าตัวแปรที่เป็นฟังก์ชันเป้าหมายของปัญหา
- GA ค้นหาคำตอบโดยอาศัยการถ่วงน้ำหนักความเหมาะสมของแต่ละคำตอบจากกลุ่มคำตอบนั้นๆ

### 3.3 ฟังก์ชันเป้าหมายกับฟังก์ชันความเหมาะสม

การหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาของจีเนติก อัลกอริทึมมีพื้นฐานอยู่บนผลลัพธ์จากการหาคำตอบที่ผ่านมา วิธีการของจีเนติก อัลกอริทึมจะไม่พิจารณาจากขั้นตอนของการแก้ปัญหา แต่จะพิจารณาโดยตัดสินใจว่าคำตอบใหม่ที่ได้รับดีขึ้นหรือไม่ หรือเป็นคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ต้องการหรือไม่ จากฟังก์ชันเป้าหมาย (Object Function :  $f$ ) เนื่องจากแต่ละปัญหาจะสามารถกำหนดฟังก์ชันเป้าหมายซึ่งเป็นฟังก์ชันที่แสดงความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปร พารามิเตอร์

เงื่อนไขหรือข้อกำหนดต่างๆของปัญหานั้นๆที่ระบุคำตอบใดคำตอบหนึ่งที่สามารถเป็นไปได้ ณ ค่าพารามิเตอร์ เงื่อนไขหรือข้อกำหนดชุดดังกล่าว สำหรับฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function :  $F$ ) เป็นฟังก์ชันที่กำหนดค่าความเหมาะสม (fitness) ของแต่ละโครโมโซมเปรียบเสมือนค่าความสามารถในการอยู่รอดของแต่ละโครโมโซมและเป็นฟังก์ชันที่กำหนดโอกาสหรือสัดส่วนที่แต่ละโครโมโซมเหมาะสมจะถูกคัดเลือกมาน้อยเพียงใด นั่นคือฟังก์ชันความเหมาะสมจะเป็นฟังก์ชันที่แสดงถึงค่าคำตอบที่เกิดขึ้นจากชุดตัวแปรของปัญหาของโครโมโซม นั่นคือเพียงใด โดยทั่วไปแล้วเรามักใช้ฟังก์ชันเป้าหมายเป็นฟังก์ชันความเหมาะสม หรืออาจใช้ฟังก์ชันเป้าหมายที่ถูกปรับให้เหมาะสมกับการนำเสนอจินตนาการ อัลกอริทึมเป็นฟังก์ชันความเหมาะสมก็ได้

### 3.4 รูปแบบโครโมโซม

ในการนำจินตนาการ อัลกอริทึมมาแก้ปัญหาจะมีการมองปัญหาเทียบเท่ากับโครโมโซมชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยยีนส์ลักษณะต่างๆ ซึ่งหมายถึงลำดับข้อมูลต่างๆที่แปลความหมายแล้วให้คำตอบของปัญหาค่าหนึ่ง การมองภาพยีนส์ของจินตนาการ อัลกอริทึมให้ถือเสมือนยีนส์ทางพันธุกรรมที่แสดงความหมายหรือเป็นตัวแทนคำตอบใดคำตอบหนึ่ง หรือลักษณะใดลักษณะหนึ่งทางกรรมพันธุ์ ในทางพันธุศาสตร์นั้นยีนส์เป็นตัวแสดงลักษณะที่อยู่รอดในสภาพแวดล้อมขณะนั้น สำหรับจินตนาการ อัลกอริทึมนั้นยีนส์เป็นตัวแสดงค่าคำตอบของปัญหาที่แปรผันไปตามการประยุกต์ใช้งาน ซึ่งโดยทั่วไปยีนส์หมายถึงตัวแปร พารามิเตอร์ เงื่อนไข หรือข้อกำหนดต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของปัญหา ดังนั้นการกำหนดรูปแบบโครโมโซมของแต่ละปัญหาโดยการแปลงตัวแปร พารามิเตอร์ เงื่อนไข หรือข้อกำหนดต่างๆให้อยู่ในรูปลำดับของยีนส์บนโครโมโซมหรือเรียกว่าสตริง (string) อันประกอบด้วยบิต (bit) หรือเรียกว่าอักขระ (character) ซึ่งลักษณะต่างๆที่เป็นได้ของแต่ละยีนส์คือค่าของบิต (bit Value) หรือค่าตัวแปร พารามิเตอร์ต่างๆที่เป็นไปได้ และรูปแบบของค่าบิตที่จัดเรียงบนโครโมโซม คือ จีโนไทป์ ที่จะแสดงถึงค่าของตัวแปรพารามิเตอร์ต่างๆที่เป็นไปได้ชุดหนึ่งหรือฟีโนไทป์นั่นเอง การกำหนดรูปแบบโครโมโซมของปัญหาให้เป็นตามแบบธรรมชาติ โดยกำหนดรหัสในรูปแบบตัวเลขหรือตัวอักษรในช่วงที่จำกัดตามค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ และประกอบรวมกันในจำนวนยีนส์หรือความยาวของโครโมโซมที่คงที่ เช่น หากต้องการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์  $y = x^2$  ที่  $x$  เป็นจำนวนเต็มอยู่ในช่วง  $[0,31]$  แล้ว วิธีการของจินตนาการ อัลกอริทึมในการแก้ปัญหาโดยกำหนดรูปแบบโครโมโซมจากการกำหนดรหัสตัวแปร  $x$  เป็นตัวเลขไบนารี 0 หรือ 1 จำนวน 5 ตำแหน่ง ซึ่ง  $x$  จะมีค่าตั้งแต่ 00000 ถึง 11111 เป็นค่า 0 ถึง 31 ตามต้องการ เป็นต้น

### 3.5 วัฏจักรของอัลกอริทึมจีเนติก

เมื่อกำหนดรูปแบบโครโมโซมและฟังก์ชันความเหมาะสมของปัญหาแล้ว จีเนติกอัลกอริทึมจะสามารถประมวลผลหาคำตอบของปัญหาได้ โดยสร้างวิวัฒนาการกลุ่มคำตอบในรุ่นต่อไปตามวัฏจักรการทำงานของอัลกอริทึมจีเนติก ซึ่งมี 4 ขั้นตอน คือ

1. สร้างประชากรโครโมโซมรุ่นเก่าตามรูปแบบโครโมโซมที่กำหนดไว้ โดยประชากรต้นกำเนิด (Initial Population) เกิดจากการสร้างชุดโครโมโซมต้นกำเนิด จากการสุ่มสร้างค่าแต่ละบิตของแต่ละโครโมโซม

2. วิเคราะห์ค่าความเหมาะสมแต่ละโครโมโซม โดยถอดรหัสค่าตัวแปร พารามิเตอร์ต่างๆของแต่ละบิตในโครโมโซม และคำนวณค่าความเหมาะสมจากฟังก์ชันความเหมาะสมที่กำหนดไว้

3. สร้าง mating pool คือชุดโครโมโซมต้นแบบหรือชุดโครโมโซมพ่อ-แม่ ที่สามารถอยู่รอดเป็นต้นแบบ ซึ่งอาศัยการจำลองการคัดเลือกทางธรรมชาติ โดยพิจารณาถ่วงน้ำหนักจากค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม หากโครโมโซมใดมีค่าความเหมาะสมมากก็จะมีโอกาสถูกคัดเลือกเป็นต้นแบบมาก ส่วนโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมต่ำ ก็จะได้รับคัดเลือกน้อยหรือไม่ได้รับการคัดเลือกเลย

4. ดำเนินการทางพันธุศาสตร์โดยสุ่มจับคู่โครโมโซมต้นแบบใน mating pool เพื่อสร้างประชากรโครโมโซมรุ่นใหม่ ซึ่งตัวดำเนินการทางพันธุศาสตร์ประกอบด้วย ครอสโอเวอร์ โดยการแลกเปลี่ยนค่าบิตบางส่วนของโครโมโซมซึ่งกันและกัน หรือมิวเตชัน โดยสุ่มเปลี่ยนค่าบิตบางบิตของแต่ละโครโมโซม เป็นต้น

การค้นหาคำตอบของอัลกอริทึมจีเนติกจะประมวลผลซ้ำตามวัฏจักรของอัลกอริทึมจีเนติก จนกว่าจะได้รับคำตอบที่พอใจตามกฎเกณฑ์ที่ตั้งไว้ หรือในระยะเวลาตามจำนวนรุ่นที่ดำเนินการที่ต้องการ ซึ่งแสดงอัลกอริทึมการทำงานของอัลกอริทึมจีเนติก [14] ในรูปที่ 3.7 ดังนี้

อัลกอริทึม

BEGIN

 $t := 0;$ Initpopulation  $P(t);$  // สร้างประชากรโครโมโซมต้นกำเนิดโดยการสุ่มEvaluate  $P(t);$  // วิเคราะห์ค่าความเหมาะสมแต่ละโครโมโซมประชากรต้น  
//กำเนิดWhile not terminate // ตรวจสอบเงื่อนไขความพอใจ (เช่น เวลา  
// หรือ ค่าความเหมาะสมเป็นต้น)

begin

 $t := t+1;$  $P'(t) := \text{Selectparents } P(t-1);$  // คัดเลือกโครโมโซมต้นแบบจากประชากรรุ่นก่อนRecombine  $P'(t);$  // แลกเปลี่ยนส่วนยีนส์ภายในโครโมโซมต้นแบบMutate  $P'(t);$  // มีวเตชันโครโมโซมต้นแบบEvaluate  $P'(t);$  // วิเคราะห์ค่าความเหมาะสมของประชากรรุ่นใหม่ $P(t) := P'(t);$  // ประชากรรุ่นใหม่กลายเป็นประชากรรุ่นถัดไป

end;

END.

## รูปที่ 3.7 แสดงอัลกอริทึมจีเนติก

จีเนติก อัลกอริทึมในยุคเริ่มแรกของ Holland นั้นคือ จีเนติก อัลกอริทึมแบบง่าย (Simple Genetic Algorithm: SGA) ซึ่งมีขั้นตอนพื้นฐานที่มีกระบวนการไม่มากนักและง่ายในการศึกษาและทำความเข้าใจในแต่ละขั้นตอนการทำงานเพื่อแก้ปัญหาในการหาคำตอบ

ตัวอย่างปัญหาที่จะนำ SGA เข้ามาช่วยแก้ไขคือ ต้องการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชัน  $f(x) = x^2$  โดยที่  $x$  มีค่าอยู่ระหว่าง  $[0, 31]$

โดยขั้นแรกต้องเตรียมการในการปรับรูปแบบของปัญหาให้เหมาะสมสำหรับการนำจีเนติก อัลกอริทึมเข้ามาแก้ปัญหา ซึ่งจะมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดฟังก์ชันความเหมาะสม

ฟังก์ชันเป้าหมาย คือ  $f = x^2$

ฟังก์ชันความเหมาะสม คือ  $F = x^2$

ซึ่งคำตอบที่ดีที่สุด คือ ค่า  $x$  ที่มีค่าความเหมาะสมสูงสุด (MAX(F))

2. กำหนดรูปแบบโครโมโซม

รูปแบบโครโมโซมของ SGA นั้นเป็นแบบไบนารี โดยค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ของปัญหาจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของไบนารีโครโมโซม คือประกอบด้วยบิตที่มีค่าเป็น 0 หรือ 1 ซึ่งเป็นค่าในเลขฐานสอง

จากตัวอย่าง จะมีการเข้ารหัสแบบไบนารี โดยแปลงค่าพารามิเตอร์  $x$  ให้อยู่ในรูปไบนารี 5 บิต ดังนั้นจะได้ค่าพารามิเตอร์ของ  $x$  ที่มีค่าอยู่ในช่วง 00000 จนถึง 1111 (ซึ่งเมื่อถอดรหัสแล้วจะได้ค่า  $x$  ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 31)

การนำอัลกอริทึมจีเนติกมาใช้ในการแก้ปัญหา ประกอบด้วยขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

### 1. สร้างประชากรโครโมโซมรุ่นเก่า (Old Population)

เป็นชุดโครโมโซมที่จะถูกคัดเลือกไปเป็นต้นแบบสำหรับสร้างประชากรรุ่นใหม่ (New Population) ในวิวัฒนาการรุ่นต่อไป

เมื่อกำหนดวิธีการเข้ารหัสแล้ว จำเป็นที่จะต้องสร้างประชากรเริ่มต้น (Initial Population) โดยกำหนดให้แต่ละรุ่นประกอบด้วย 4 โครโมโซม ซึ่งแต่ละโครโมโซมเกิดจากการสุ่มค่าไบนารี 0 หรือ 1 จำนวน 5 ครั้ง ซึ่งแสดงให้เห็นในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงชุดโครโมโซมในรุ่นเริ่มต้น

ลำดับ	โครโมโซม
1	0 1 1 1 0
2	1 1 0 0 1
3	0 1 0 0 0
4	1 0 0 1 1

### 2. วิเคราะห์ค่าความเหมาะสม

เป็นขั้นตอนของการถอดรหัสจากรูปแบบโครโมโซมที่กำหนดไว้ เพื่อคำนวณค่าความเหมาะสมตามฟังก์ชันความเหมาะสมของปัญหาของแต่ละโครโมโซม

จากฟังก์ชันเป้าหมาย คือ  $f = x^2$  การวิเคราะห์ค่าความเหมาะสมจะเป็นการถอดรหัสเลขฐานสองของแต่ละโครโมโซมออกมาเป็นค่าของตัวแปร  $x$  และคำนวณค่าความเหมาะสมคือค่า  $x^2$  ซึ่งแสดงตัวอย่างให้เห็นในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงชุดโครโมโซมในรุ่นเริ่มต้นและค่าความเหมาะสม

ลำดับ	โครโมโซม	x	ค่าความเหมาะสม
1	0 1 1 1 0	14	196
2	1 1 0 0 1	25	625
3	0 1 0 0 0	8	64
4	1 0 0 1 1	19	361

### 3. การคัดเลือกโครโมโซม

เป็นการจำลองแบบการคัดเลือกทางธรรมชาติเพื่อสร้าง mating pool โดยคัดเลือกชุดโครโมโซมรุ่นเก่าให้เป็นโครโมโซมต้นแบบหรือโครโมโซมพ่อแม่ เพื่อใช้ในการสร้างโครโมโซมลูกรุ่นต่อไป สำหรับการคัดเลือกเป็นแบบอ้างอิงความเหมาะสม โดยพิจารณาจากค่าความเหมาะสม ถ้าประชากรตัวนั้นมีค่าความเหมาะสมที่ดีก็จะมีโอกาสถูกกำหนดน้ำหนักค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกแต่ละครั้งสูง การกำหนดค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกต่อการสุ่มแต่ละครั้ง (Probability of Selected Values:  $pselect$ ) ของแต่ละโครโมโซม โดยกำหนดจากค่าความเหมาะสม เทียบกับผลรวมของค่าความเหมาะสมทั้งหมด

$$pselect_i = F_i / \sum F$$

สามารถคำนวณค่าที่คาดหวังว่าจะสุ่มได้ (Expected Value:  $E$ ) ของแต่ละโครโมโซมในแต่ละรุ่นได้จากสมการ

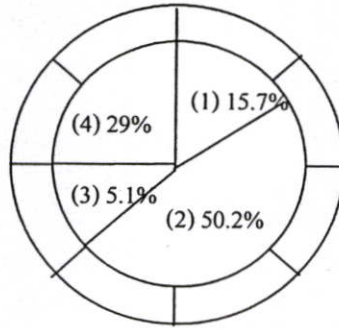
$$E_i = pselect_i \times popsize = F_i / F$$

สำหรับการสุ่มโครโมโซมต้นแบบเป็นแบบจำลองการหมุนวงล้อถ่วงน้ำหนัก (Roulette Wheel:  $RW$ ) ซึ่งกำหนดขนาดแต่ละช่องของวงล้อนั้นตามค่าความน่าจะเป็นที่จะสุ่มได้ในแต่ละครั้งของแต่ละโครโมโซมซึ่งมีวิธีการดังนี้

1. หาค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม
2. หาค่าความน่าจะเป็นที่จะสุ่มได้ในแต่ละครั้งของแต่ละโครโมโซม
3. หาค่าความถี่สะสม  $q$  ของค่าความน่าจะเป็นของแต่ละโครโมโซมจากสมการ

$$q_i = \sum_{j=1}^i pselect_j$$

4. สร้างเลขสุ่มจำนวนจริง ( $r$ ) ซึ่ง  $r$  มีค่าอยู่ระหว่าง  $[0.0, 1.0]$
5. เลือกโครโมโซมลำดับที่  $r$  ซึ่ง  $r$  มีค่าอยู่ระหว่าง  $q_{i-1}$  และ  $q_i$



รูปที่ 3.8 แสดงวงล้อถ่วงน้ำหนัก (Roulette Wheel)

ตารางที่ 3.3 แสดงตัวอย่างวิธีการหาค่าความน่าจะเป็น

ลำดับ	โครโมโซม	$x$	ค่าความ เหมาะสม	ค่าความน่าจะเป็น	จำนวนที่ คาดหวัง	จำนวนที่สุ่ม ได้จาก $RW$
1	0 1 1 1 0	14	196	0.157	0.628	1
2	1 1 0 0 1	25	625	0.502	2.008	2
3	0 1 0 0 0	8	64	0.051	0.204	0
4	1 0 0 1 1	19	361	0.290	1.160	1
	รวม		1246	1.000	4.000	
	ค่าเฉลี่ย		312	0.250	1.000	
	ค่าสูงสุด		625	0.502	2.008	

จากตารางที่ 3.3 จะแสดงให้เห็นว่าในการคัดเลือกโครโมโซมต้นแบบจาก 4 โครโมโซมนี้ โอกาสที่จะสุ่มได้โครโมโซมลำดับที่ 1 เป็นจำนวน 0.157 และโอกาสที่จะสุ่มได้โครโมโซมลำดับที่ 2, 3, 4 เป็นจำนวน 0.502, 0.051, 0.29 ตามลำดับ จากนั้นทำการสุ่มโดยการจำลองการหมุนวงล้อจะได้โครโมโซมดังนี้

ตารางที่ 3.4 แสดงตัวอย่างวิธีการสุ่มเลือกโครโมโซมเข้า mating pool

ลำดับโครโมโซม	1	2	3	4
ค่าความเหมาะสม ( $F$ )	196	625	64	361
ค่าความน่าจะเป็นที่สุ่มได้แต่ละครั้ง $p_{selecti}$	0.157	0.502	0.051	0.290
ความถี่สะสมค่าความน่าจะเป็น ( $q_i$ )	0.157	0.659	0.710	1.000
สร้างเลขสุ่มในการหมุนวงล้อแต่ละครั้ง ( $r$ )	0.333	0.844	0.456	0.128
ลำดับโครโมโซมที่ถูกเลือก ( $q_{i-1} < r < q_i$ )	2	4	2	1

จำนวนที่สุ่มได้เป็นโครโมโซมต้นแบบใน mating pool ของแต่ละโครโมโซมเป็น 1, 2, 0 และ 1 ตามลำดับ จะได้เห็นว่าโครโมโซมลำดับที่ 2 มีค่าความเหมาะสมสูงสุด ดังนั้นจึงมีโอกาสถูกคัดเลือกมากที่สุด ส่วนโครโมโซมลำดับที่ 3 มีค่าความเหมาะสมต่ำที่สุดจึงมีโอกาสที่จะไม่ถูกคัดเลือกเลย

#### 4. การดำเนินการทางพันธุศาสตร์

เป็นขั้นตอนที่จำลองแบบธรรมชาติทางพันธุกรรม ซึ่งตัวดำเนินการทางพันธุศาสตร์ของ SGA คือการครอสโอเวอร์และมิวเตชัน โดยทั้งสองวิธีมีการทำงานดังนี้

##### การครอสโอเวอร์

เป็นการแลกเปลี่ยนส่วนของโครโมโซมพ่อ-แม่ เพื่อสร้างชุดโครโมโซมรุ่นใหม่ หรือโครโมโซมลูก ในขั้นตอนนี้จะพยายามสร้างทางเลือกใหม่และปรับปรุงโครโมโซมให้ดีขึ้นโดยการครอสโอเวอร์ ซึ่งจินตนิมิตอัลกอริทึมจะพยายามสร้างโครโมโซมที่ดีขึ้นโดยการรวมลักษณะที่ดีของแต่ละโครโมโซมเข้าด้วยกัน โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมสูงกว่ามักจะถูกเลือกมาครอสโอเวอร์บ่อยครั้งกว่า ส่งผลให้มีโอกาสในการรอดไปยังรุ่นต่อไปมีมากกว่า โดยการครอสโอเวอร์ คือการนำค่ามาสับเปลี่ยนบิตสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การครอสโอเวอร์หนึ่งตำแหน่ง (one point crossover) การครอสโอเวอร์สองตำแหน่ง (two point crossover) หรือการครอสโอเวอร์หลายตำแหน่ง (multiple point crossover)

การกำหนดอัตราความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์ (Probability of Crossover:  $P_c$ ) เพื่อสร้างชุดโครโมโซมรุ่นใหม่หรือโครโมโซมลูก โดยมีขั้นตอนในการทำงานดังนี้

1. เริ่มต้นการจากสุ่มจับคู่โครโมโซมพ่อแม่ใน mating pool

2. สร้างเลขสุ่มจำนวนจริง ( $r$ ) ที่มีค่าอยู่ในช่วง  $[ 0.0 , 1.0 ]$  โดยถ้าค่า  $r < P_c$  แล้วโครโมโซมพ่อแม่จะมีการครอสโอเวอร์

3. ครอสโอเวอร์โดยการแลกเปลี่ยนส่วนคู่โครโมโซมพ่อแม่ ซึ่งการครอสโอเวอร์ของ SGA จะเป็นการครอสโอเวอร์แบบ 1 จุด โดยทำการสุ่มเลือกแถวของ  $P$  ของโครโมโซมพ่อแม่มาทำการครอสโอเวอร์

ตัวอย่าง การครอสโอเวอร์แบบหนึ่งตำแหน่ง โดยครอสโอเวอร์ ณ ตำแหน่งที่ 2

โครโมโซมพ่อแม่				
0	1	1	1	0
1	1	0	0	1
โครโมโซมลูก				
0	1	0	0	1
1	1	1	1	0

รูปที่ 3.9 แสดงการครอสโอเวอร์แบบหนึ่งตำแหน่ง

#### การมิวเตชัน

เป็นลักษณะของการผ่าเหล่าคือการนำโครโมโซมเก่ามาสุ่มแก้ไขบางส่วนของโครโมโซม ซึ่งอาจช่วยให้โครโมโซม มีค่าความเหมาะสมที่ขึ้นได้หลังจากครอสโอเวอร์ โดยทำการกลับค่าของบิตที่สุ่มได้ ตามอัตราความน่าจะเป็นของการมิวเตชันในแต่ละบิต (Probability of Mutation:  $P_m$ ) ที่กำหนด สำหรับการมิวเตชันของ SGA นั้นเป็นแบบไบนารีมิวเตชัน โดยการกลับค่าบิตเป็นค่าคอมพลีเมนต์ คือจาก 0 เป็น 1 และจาก 1 เป็น 0 โดยจะทำให้ได้โครโมโซมใหม่ที่มีสายพันธุ์ต่างจากเดิม ซึ่งมีโอกาสที่จะเป็นโครโมโซมที่ดีขึ้นหรือเลวลงก็ได้ หากโครโมโซมที่ได้ใหม่นี้เป็นโครโมโซมที่เลวลง โครโมโซมที่ได้นี้ก็จะถูกคัดออกไปในขั้นตอนการคัดเลือกเอง วัตถุประสงค์ของการมิวเตชันคือเพื่อป้องกันการสูญหายของข้อมูลและเพื่อความหลากหลายของข้อมูล ตัวอย่างการทำมิวเตชันในรูปที่ 3.10 เป็นการสุ่มเลือกเปลี่ยนโครโมโซมตำแหน่งบิตที่ 3

ก่อนการมิวเตชัน				
0	1	0	0	1
หลังการมิวเตชัน				
0	1	1	0	1

รูปที่ 3.10 แสดงการมิวเตชัน

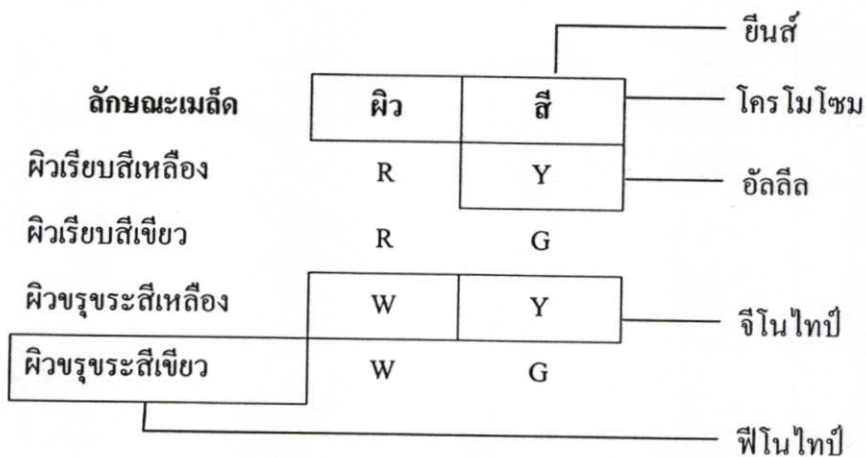
### 5. ประชากรรุ่นใหม่

เป็นชุดโครโมโซมลูกที่เกิดจากขั้นตอนของวิวัฒนาการต่างๆทั้งหมด ซึ่งประชากรรุ่นใหม่ทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะถูกถ่ายทอดกลายเป็นประชากรรุ่นเก่าสำหรับวิวัฒนาการในรุ่นถัดไป ซึ่งเรียกวิวัฒนาการแบบนี้ว่า การถ่ายทอดแบบทั่วไปหรือรีโพรดักชันแบบทั่วไป (General Reproduction) กระบวนการต่างๆจะถูกปฏิบัติซ้ำๆจนกระทั่งถึงรุ่นที่มากที่สุด (max generation: *maxgen*) ที่ต้องการ

### 3.6 พันธุศาสตร์ทางชีววิทยากับจีเนติกอัลกอริทึม

เพื่อเปรียบเทียบลักษณะ โครงสร้างทางพันธุศาสตร์กับจีเนติกอัลกอริทึม กล่าวโดยสรุปคือในทางพันธุศาสตร์แต่ละโครโมโซมประกอบด้วยหน่วยเก็บลักษณะหรือยีนส์ ซึ่งเก็บค่าแสดงลักษณะหรือแอลลี และแต่ละแบบของชุดยีนส์เรียกว่าจีโนไทป์ ซึ่งแสดงลักษณะภายนอกที่ปรากฏเรียกว่า ฟีนไทป์

รูปที่ 3.11 จะแสดงลักษณะทางพันธุศาสตร์ของโครโมโซมควบคุมลักษณะของเมล็ดถั่ว ซึ่งมียีนส์ลักษณะของผิวเมล็ดคือ มีลักษณะเรียบ (R) หรือ ขรุขระ (W) และยีนส์ลักษณะของสีเมล็ดคือมีสีเหลือง (Y) และสีเขียว (G)



รูปที่ 3.11 แสดงลักษณะทางพันธุศาสตร์ของเมล็ดถั่ว

สำหรับในทางจีเนติก อัลกอริทึม การแก้ปัญหาด้านคณิตศาสตร์ ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ของปัญหาจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของสตริง ซึ่งมักเรียกกันว่าโครโมโซม ประกอบด้วยอักขระหรือบิต แต่ละตำแหน่งของโครโมโซมจะเก็บค่าอักขระหรือค่าของบิตที่แสดงถึงโครงสร้างของแต่ละโครโมโซมที่มีค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ของปัญหาแตกต่างกัน และเป็นตัวกำหนดค่าความเหมาะสมตามฟังก์ชันความเหมาะสมของแต่ละปัญหา

รูปที่ 3.12 แสดงลักษณะทางจินตึก แสดงถึงการแก้ปัญหาในการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชัน  $f(x) = x^2$  โดยที่  $X$  มีค่าอยู่ระหว่าง  $[0, 4]$  และค่าของ  $x$  ถูกแปลงให้อยู่ในรูปของไบนารีสตริง

อักขระ	—			
สตริง	บิต 1	บิต 2	X	X <sup>2</sup>
ค่าอักขระ	0	0	0	0
	0	1	1	1
โครงสร้าง	1	0	2	4
	1	1	4	16
ค่าพารามิเตอร์	—			
คำตอบของปัญหาซึ่งเป็นค่าของฟังก์ชัน	—			

รูปที่ 3.12 แสดงลักษณะทางจินตึก

ดังนั้นสามารถสรุปความหมายเปรียบเทียบคำศัพท์ ที่ใช้ทางพันธุศาสตร์กับทางจินตึก อัลกอริทึมดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 เปรียบเทียบคำศัพท์ระหว่างพันธุศาสตร์และจินตึกอัลกอริทึม

พันธุศาสตร์	จินตึกอัลกอริทึม
โครโมโซม (Chromosome)	สตริง (String)
ยีนส์ (Gene)	คุณลักษณะ (Character), บิต (Bit)
อัลลีล (Allele)	ค่าของคุณลักษณะ (Character Value), ค่าบิต (Bit Value)
โลกัส (Locus)	ตำแหน่ง (String Position)
จีโนไทป์ (Genotype)	โครงสร้าง (Structure)
ฟีโนไทป์ (Phenotype)	โครงสร้างคำตอบ (A Decode Structure)

### 3.7 ฮิวริสติก (heuristic)

คืออัลกอริทึมที่ไม่สามารถรับประกันคุณภาพของคำตอบได้ว่าเป็นคำตอบที่ดีที่สุดและ/หรือไม่สามารถรับประกันช่วงเวลาในการหาคำตอบว่าหาได้ภายในเวลาที่กำหนด ตัวอย่างความหมายของความไม่สามารถรับประกันได้ เช่น ถ้าเรามีวิธีในการหาคำตอบของปัญหาประเภทหนึ่ง ซึ่งโดยปกติวิธีนี้จะให้คำตอบที่มีคุณภาพดี แต่ในบางครั้งคำตอบที่ได้อาจจะไม่ดี หรือ เราไม่สามารถจะพิสูจน์ได้ว่า วิธีการหาคำตอบหนึ่งจะสามารถหาคำตอบได้เร็วตลอดเวลา ถึงแม้ว่า

โดยทั่วไปแล้วจะเร็วก็ตาม โดยส่วนใหญ่ เราสามารถสร้างและยกตัวอย่างปัญหาเป็นพิเศษให้กับฮิวริสติก และเป็นกรณีที่ทำให้ฮิวริสติกให้คำตอบที่ผิด หรือทำงานอย่างเชื่องช้าได้ แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากโครงสร้างของปัญหานั้นเป็นกรณีที่พิเศษมากๆ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อย หรือ อาจไม่เกิดขึ้นเลย ดังนั้นเราจึงพบเห็นการนำฮิวริสติกไปใช้แก้ปัญหาในโลกแห่งความเป็นจริงอยู่ทั่วไป

## บทที่ 4

# การประยุกต์ใช้งานอัลกอริทึมจินตคณิตกับปัญหา การเลือกเส้นทางของบีจีพี

ในบทนี้จะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้งานอัลกอริทึมจินตคณิตกับปัญหาการเลือกเส้นทางของบีจีพี โดยภายในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของปัญหา ค่าพารามิเตอร์และตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง รวมถึงรายละเอียดของการประยุกต์ใช้งานอัลกอริทึมจินตคณิตกับปัญหาการเลือกเส้นทางของบีจีพีแบบทางเดียว

### 4.1 ลักษณะปัญหาการเลือกเส้นทางของบีจีพี

หมายเลขเครือข่าย (Network Prefix) คือตัวเลขที่ใช้ในการระบุเครือข่ายแต่ละเครือข่าย เช่น 10.1.1.0/24 เส้นทาง เป็นข้อมูลหลักที่บีจีพีเราเตอร์ใช้ในการแลกเปลี่ยนระหว่างกันเพื่อนำมาสร้างตารางเส้นทาง หมายเลขเครือข่ายเหล่านี้ จะมีความสัมพันธ์กับการส่งผ่านข้อมูลจากท่อนส่งข้อมูลขาเข้าไปยังท่อนส่งข้อมูลขาออก ดังนั้นการส่งผ่านข้อมูลจึงมีจุดเริ่มต้นจากการกำหนดเส้นทางไปยังเครือข่ายปลายทางโดยเราเตอร์ที่เป็นทางเข้าของการส่งผ่านข้อมูลนั้นๆ ภายในงานวิจัยจึงมุ่งประเด็นไปในเรื่อง ทำอย่างไรให้เครือข่ายของไอเอสพีสามารถส่งผ่านข้อมูลจากเราเตอร์ที่เป็นทางเข้าของเครือข่ายไปยังเราเตอร์ที่เป็นทางออกของเครือข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยการเลือกเส้นทางเหล่านั้นจะต้องบรรลุวัตถุประสงค์ในเรื่องของปริมาณข้อมูลจะต้องไม่เกินความจุของท่อนส่งข้อมูลขาออก ซึ่งเป็นข้อจำกัดของเครือข่าย และสามารถกระจายข้อมูล ไปยังเราเตอร์ที่สามารถจะส่งข้อมูล ไปยังเครือข่ายปลายทางได้โดยไม่เกินความจุของท่อนส่งข้อมูลของเราเตอร์นั้นๆ

ดังนั้นปัญหาพื้นฐานของการทำอย่างไรให้การใช้ทรัพยากรภายในเครือข่ายมีประสิทธิภาพคือ ทำการส่งข้อมูลจากจุดที่รับข้อมูลมาไปยังจุดที่ข้อมูลออกให้รวดเร็วที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ซึ่งอีกนัยหนึ่งก็คือการส่งข้อมูลที่รับมาทั้งหมดให้ใช้ระยะทางโดยรวมให้สั้นที่สุด ในการส่งผ่านภายในเครือข่ายของไอเอสพี ซึ่งภายในงานวิจัยจะมุ่งประเด็นไปในเรื่องการทำอย่างไรให้เสียต้นทุนน้อยที่สุดในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย ค่าต้นทุนเหล่านี้เป็นค่าคงที่ อาจจะได้มาจากค่าต้นทุนของโปรโตคอลเกตเวย์ภายใน ซึ่งอาจจะเป็นการนับจำนวนเราเตอร์ที่ข้อมูลนั้นเดินทางผ่าน ค่าหน่วยเวลา ค่าเอเอ็มทียู ขนาดท่อนส่งข้อมูล ภายในงานวิจัยความหมายของค่าต้นทุนเส้นทางไม่ได้รวมไปถึงการตั้งค่าโดยคำนึงจากปัจจัยที่ไม่คงที่อื่นๆ ที่นอกเหนือการควบคุมเช่น ความหนาแน่นของข้อมูลภายในท่อข้อมูล

คำตอบของปัญหานี้คือการทำอะไรในการเลือกกระจายส่งข้อมูลไปยังท่อส่งข้อมูลขาออกให้มีความเหมาะสมในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดของขนาดท่อส่งข้อมูลขาออก ส่วนใหญ่ของปัญหาคือ ขนาดการไหลของข้อมูลจากท่อส่งข้อมูลขาเข้าของบอร์เดอร์เราเตอร์ ซึ่งจะ ถูกกำหนดจากบุคคลภายนอกเช่น ไอเอสพีที่เราทำการเชื่อมต่อ กลุ่มผู้ใช้บริการ ซึ่งจะเป็นผู้ กำหนดนโยบายการเลือกเส้นทางส่งข้อมูลของตนเอง แต่มีหลายๆ ผู้ให้บริการใช้เทคนิคการ ชักชวนให้เลือกเส้นทางที่ต้องการ โดยใช้ MED ซึ่งเป็นเสมือนค่าต้นทุนในการเลือกเส้นทาง เราเตอร์ที่รับข้อมูลนี้ไปจะเลือกเส้นทางที่มีค่าต้นทุนที่ต่ำกว่าในการส่งข้อมูลกลับมา และการเพิ่มค่า หมายเลข ออกโหนดมันส์ตนเองให้ยาวมากกว่าปกติ เพื่อที่จะให้ข้อมูลกลับมาในทางที่มีการประกาศ แบบปกติ แต่สองวิธีนี้ไม่อาจรับประกันความแน่นอนของข้อมูลที่จะกลับมาได้จริงหรือไม่ เพราะ แต่ละออกโหนดมันส์มีการนโยบายการตัดสินใจเป็นของตัวเอง ปัญหาการตั้งค่าเส้นทางของบีจีพี แบ่งออกเป็นสองปัญหา ซึ่งแบ่งประเภทจากการบังคับการส่งข้อมูล ไปยังท่อส่งข้อมูลขาออก

#### 4.1.1 ปัญหาการเลือกเส้นทางแบบใช้ทางออกทางเดียว

ปัญหาแรกคือปัญหาการเลือกเส้นทางแบบใช้ทางออกทางเดียว บีจีพีเราเตอร์ทุกตัวในระบบบอโหนดมันส์จะเลือกท่อส่งข้อมูลขาออกเพียงท่อเดียว สำหรับแต่ละหมายเลขเครือข่ายปลายทาง ทุกๆการไหลของข้อมูลจากแต่ละท่อส่งข้อมูลขาเข้าจะถูกส่งออกไปยังท่อส่งข้อมูลขาออกที่บีจีพี ได้ทำการเลือกไว้ ลักษณะความสัมพันธ์เป็นแบบหนึ่งต่อหนึ่งระหว่างการไหลของข้อมูลขาเข้า ทั้งหมดกับท่อส่งข้อมูลขาออก ปัญหานี้เรียกว่า ปัญหาเอสไอเอส ในทางปฏิบัติผู้บริหารระบบ สามารถตั้งค่าแบบเอสไอเอสได้โดยใช้เทคนิคโลคอลพรีเฟอ (Local Preference) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ กันในการตั้งค่าบีจีพีอยู่แล้ว ผลจากการตั้งค่าด้วยโลคอลพรีเฟอ บีจีพีเราเตอร์ที่รับค่าการประกาศ เส้นทางจากออกโหนดมันส์ข้างเคียง เส้นทางที่มีค่าพรีเฟอที่สูงที่สุดในระบบบอโหนดมันส์จะถูกเลือก ในการใช้ส่งข้อมูลไปหาเครือข่ายปลายทางนั้น

#### 4.1.2 ปัญหาการเลือกเส้นทางแบบใช้ทางออกหลายทาง

ส่วนปัญหาที่สอง บีจีพีเราเตอร์แต่ละตัวในระบบบอโหนดมันส์ มีอิสระในการเลือก เส้นทางออกจากเครือข่ายที่ต่างกัน เช่น มี บีจีพีเราเตอร์สองตัวรับทราฟฟิคโฟว์ (Traffic Flow) ที่ ต้องการไปเป้าหมายปลายทางเดียวกัน ทั้งสองมีสิทธิในการเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุด จากจุดหมุน ของตัวเอง ไปยังท่อทางออกที่สามารถไปถึงเครือข่ายปลายทางได้ ในการปฏิบัติของปัญหานี้ ทางออกของเครือข่ายปลายทางที่มีทางออกหลายทาง สามารถใช้กฎการเลือกเส้นทางของบีจีพีใน ขั้นตอนที่หก เมื่อผ่านขั้นตอนที่หนึ่งถึงห้ามาแล้วแสดงว่า กำลังมีข้อมูลเส้นทางให้เลือกหลาย เส้นทาง โดยในขั้นตอนที่หกจะเป็นการเลือกเส้นทางโดยใช้ค่าต้นทุนจากโปรโตคอลเลือก เส้นทางไอจีพีเป็นตัวตัดสินใจ หรืออาจจะกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าตัดสินใจกันที่ค่าต้นทุนจากบีจีพีเรา เตอร์ที่เป็นทางเข้าของ ทราฟฟิคโฟว์ ไปยังบีจีพีเราเตอร์ที่เป็นทางออกของข้อมูล เพราะฉะนั้นเมื่อ บีจีพีเราเตอร์ที่เป็นทางเข้าของข้อมูลแต่ละตัว จึงสามารถเลือกทางออกได้อิสระ ซึ่งขึ้นอยู่กับ

คำนวณค่าต้นทุนจากตัวเองไปยังทางออกแต่ละทางที่เป็นไปได้ ดังนั้นข้อมูลจึงสามารถเลือกออกไปยังเครือข่ายเป้าหมายได้หลายทาง ปัญหานี้จึงเรียกว่าเอ็มอีเอส (MES: Multiple Egress Selection)

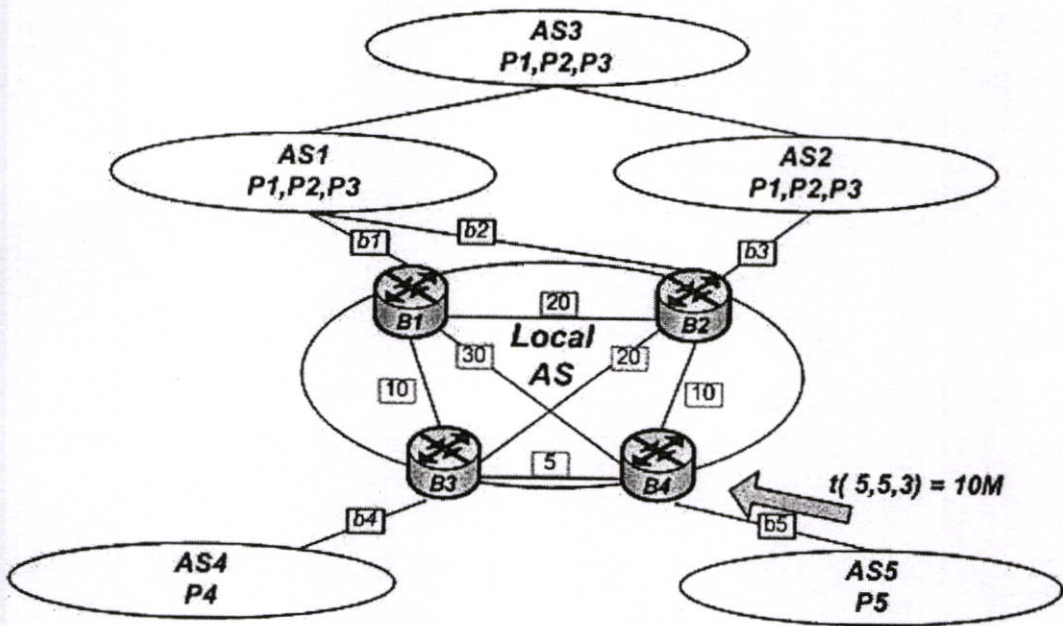
#### 4.1.3 ตัวแปรที่ใช้ในปัญหาเลือกเส้นทางของบีจีพี

ตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัยใช้เหมือนกับงานวิจัยของ [4] และ [6] ซึ่งตั้งสมมุติฐานว่าเราเตอร์ภายในเครือข่ายมีแบนวิดท์ของท่อส่งข้อมูลระหว่างกันไม่จำกัด แต่ท่อส่งข้อมูลจะถูกจำกัดขนาดในท่อส่งข้อมูลระหว่างระบบบอโตโนมัส เป็นการตั้งสมมุติฐานที่สอดคล้องกับความเป็นจริง กับลักษณะเครือข่ายของไอเอสพีในปัจจุบัน ซึ่งภายในเครือข่ายจะมีขนาดแบนวิดท์ระดับ 1000 เมกะบิต แต่ท่อส่งข้อมูลไปยังไอเอสพีต่างประเทศยังอยู่ที่ระดับ 2 ถึง 10 เมกะบิต เนื่องจากมีค่าเช่าวงจรมีราคาสูง

ท่อส่งข้อมูลระหว่างระบบบอโตโนมัสสามารถเป็นได้ทั้งท่อส่งข้อมูลขาเข้าและท่อส่งข้อมูลขาออก ซึ่งสามารถส่งข้อมูลได้พร้อมกันในความจุที่เท่ากัน บอเคอร์เราเตอร์หนึ่งตัวสามารถมีท่อส่งข้อมูลได้หลายท่อ รูปแบบการเชื่อมต่อกันระหว่างระบบบอโตโนมัสสามารถทำได้ทั้งการเชื่อมต่อโดยตรงและการเชื่อมต่อผ่านระบบบอโตโนมัสอื่น ท่อส่งข้อมูลที่เชื่อมต่อกันระหว่างระบบบอโตโนมัสสามารถมีได้มากกว่าหนึ่งท่อ สำหรับค่าเส้นทางที่ใช้ในการประกาศ ต้องเป็นหมายเลขเครือข่ายที่ไม่ซ้อนทับกันหรือไม่ใช้การรวมเส้นทาง [15][16] ข้อมูลทราฟฟิกจะเข้ามาสู่ระบบบอโตโนมัส จากท่อส่งข้อมูลที่ได้ทำการประกาศข้อมูลเส้นทางออกไป

เอเอส (AS) คือคำย่อของระบบบอโตโนมัส และโลคอลเอเอส (Local AS) คือ ระบบบอโตโนมัสที่ต้องการเลือกเส้นทาง และเอเอสอื่นๆ คือเอเอสข้างเคียง (Neighbor AS) โดยให้กลุ่มของเอเอสข้างเคียงแทนด้วย  $A_1, \dots, A_H$  กลุ่มของท่อส่งข้อมูลที่เชื่อมต่อระหว่างบอเคอร์เราเตอร์กับเอเอสข้างเคียงแทนด้วย  $b_1, \dots, b_i$  และ  $C_i$  จะเป็นตัวบอกปริมาณแบนวิดท์ของ  $b_i$  สำหรับฟังก์ชัน  $B(i)$  เป็นฟังก์ชันที่เมื่อใส่ท่อส่งข้อมูลที่  $i$  ไปจะส่งค่าของบอเคอร์เราเตอร์ตัวที่เป็นเจ้าของท่อส่งข้อมูลนั้นกลับมา สำหรับแต่ละเอเอส  $A_h$  จะประกอบไปด้วย กลุ่มของท่อส่งข้อมูลขาเข้า ซึ่งถูกแทนด้วย  $In(h)$  หมายถึงกลุ่มของท่อส่งข้อมูลของเอเอสที่  $A_h$  มายัง โลคอลเอเอส เมื่อเครือข่ายข้างเคียงต้องการส่งข้อมูลทราฟฟิก จะเลือกท่อส่งของมุลจาก  $In(h)$  ซึ่งคือท่อส่งข้อมูล  $b_i$  โดยที่มีปริมาณ ทราฟฟิกเป็น  $C_i$  ระยะทางระหว่างท่อส่งข้อมูลสองท่อ ซึ่งหมายถึงระยะทางระหว่างบอเคอร์เราเตอร์ที่เป็นเจ้าของท่อส่งข้อมูลนั้น จริงๆ แล้วก็คือค่าต้นทุนการเดินทางภายในเครือข่าย (Intradomain Cost) ถูกแทนด้วย  $d(i,j)$  แต่ละเอเอสจะประกาศหมายเลขเครือข่ายของตัวเองมา ให้  $P_1, \dots, P_k$  แทนเป็นกลุ่มของหมายเลขเครือข่ายทั้งหมดที่รับการประกาศมาจากท่อส่งข้อมูลระหว่างเอเอส และแต่ละ  $P_k$  จะมี ถูกแทนด้วย  $Out(k)$  แทนค่ากลุ่มของท่อส่งข้อมูลที่สามารถไปยังเครือข่าย  $P_k$  ได้

สำหรับการไหลของกราฟฟิคข้อมูลไปยังเป้าหมายปลายทาง  $P_k$  โดยที่ข้อมูลนี้ถูกส่งมาจากเอเอสข้างเคียง  $A_h$  ผ่านท่อส่งข้อมูลขาเข้า  $b_i$  จะถูกเขียนแทนด้วย  $t(h, i, k)$  สำหรับต้นทุนในการส่งการไหลของกราฟฟิคข้อมูลนี้ คือ  $t(h, i, k) \times d(i, j)$  ซึ่งเป็นการนำค่าต้นทุนระยะทางจากท่อส่งข้อมูลขาเข้า  $b_i$  ไปยังท่อส่งข้อมูลขาออก  $b_j$  มาคูณกับปริมาณกราฟฟิคที่จะยังเป้าหมายนั้น โดยที่จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้คือ การทำมีค่าต้นทุนการเดินทางผ่านเครือข่ายน้อยที่สุด โดยที่ไม่เกินความจุของท่อส่งข้อมูล สุดท้ายฟังก์ชัน  $f(h, i, k)$  เป็นฟังก์ชันที่ใช้กำหนดการไหลของกราฟฟิค ที่ถูกส่งมาจาก  $A_h$  ผ่านท่อส่งข้อมูลขาเข้า  $b_i$  และมีเป้าหมายไปยัง  $P_k$  ไปยังท่อส่งข้อมูลขาออก  $b_j$  ซึ่งคือผลลัพธ์ของฟังก์ชันนี้



รูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัย

จากรูปที่ 4.1 ประกอบไปด้วยกลุ่มของเอเอสข้างเคียง  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_5$  ภายในโลกอลเอเอสประกอบได้ด้วยกลุ่มของบอเคอร์เราเตอร์  $B_1, B_2, B_3, B_4$  ซึ่งประกอบไปด้วยกลุ่มของท่อส่งข้อมูล  $b_1, b_2, b_3, \dots, b_5$  โดยที่ฟังก์ชัน  $B(i)$  จะมีหน้าที่ส่งค่าเราเตอร์ที่ท่อส่งข้อมูลนั้นอยู่กลับมา เช่น  $B(4) = B3$  ส่วนกลุ่มของท่อส่งข้อมูลขาเข้าของเอเอส 1 มายังโลกอลเอเอส หรือ  $In(1)$  มี  $b_1, b_2$  เป็นสมาชิก สำหรับกลุ่มหมายเลขเครือข่าย  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_5$  ซึ่งถ้าเราต้องการส่งข้อมูลไปยังเครือข่าย  $P_3$  โลกอลเอเอสจะต้องเลือกท่อส่งข้อมูลจากกลุ่มของท่อส่งข้อมูลที่สามารถส่งข้อมูลไปยังเครือข่าย  $P_3$  ได้ ซึ่งเรียกว่า  $Out(3)$  ซึ่งจะประกอบไปด้วย ท่อส่งข้อมูล  $b_1, b_2, b_3$  จากรูป เมื่อเอเอส 5 ต้องการส่งกราฟฟิค 10 หน่วย ซึ่งถูกส่งออกท่อส่งข้อมูล  $b_5$  ไปยังเครือข่าย  $P_3$  จะถูกแทนด้วยตัวแปร  $t(5, 5, 3)$  จากนั้นบอเคอร์เราเตอร์  $B_3$  ต้องทำการเลือกเส้นทางโดยใช้ฟังก์ชัน  $f(5, 5, 3)$  การคำนวณของฟังก์ชันนี้ทำโดยการนำค่าระยะทางระหว่างเราเตอร์ที่เป็นทางเข้าและทางออกมา

คุณกับปริมาณกราฟฟิคที่ส่ง จากรูป การไปยังเครือข่าย  $P_k$  สามารถไปได้ 3 เส้นทาง โดยผ่านเราเตอร์  $B_i$ , หรือ  $B_j$  ซึ่งถ้าส่งไปยังเราเตอร์  $B_i$  จะต้องเสียต้นทุนในการเดินทางผ่านเครือข่าย 30 หน่วย ซึ่งเมื่อนำมาคูณกับปริมาณกราฟฟิคจะได้เท่ากับ  $300 (30 \times 10)$  ส่วนถ้าเลือกเส้นทาง  $B_j$  จะต้องเสียต้นทุนในการเดินทางผ่านเครือข่าย 10 หน่วย ซึ่งเมื่อนำมาคูณกับปริมาณกราฟฟิคจะได้เท่ากับ  $100 (10 \times 10)$  ดังนั้นเป้าหมายของฟังก์ชัน  $f(h, i, k)$  จึงเป็นฟังก์ชันที่สำคัญที่จะทำให้การการเดินทางของกระแสข้อมูล เดินทางผ่านเครือข่ายโดยใช้ต้นทุนน้อยที่สุด ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัย สรุปอยู่ในตารางที่ 4.1

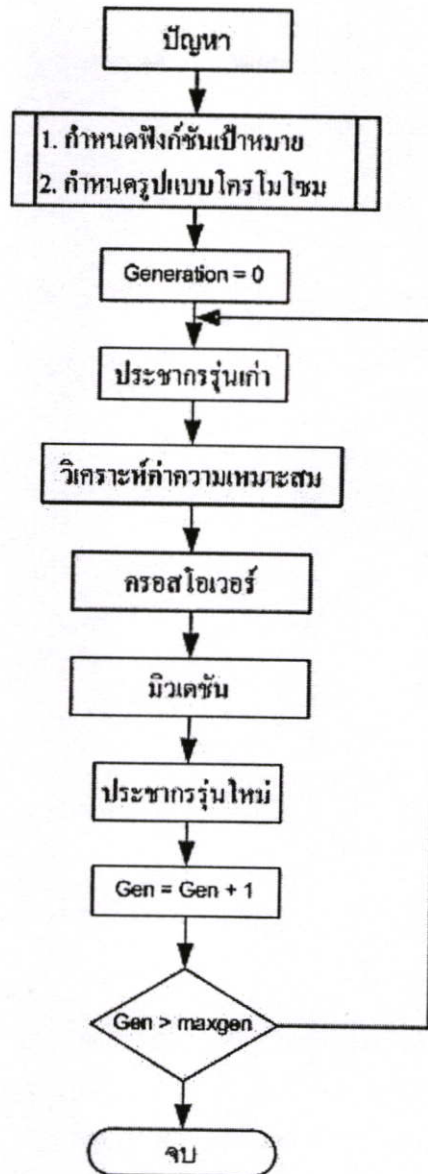
ตารางที่ 4.1 สรุปตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัย

ชื่อตัวแปร	คำอธิบายตัวแปร
$A_h, \dots, A_H$	กลุ่มของเอเอสข้างเคียง โดยที่ $A_h$ หมายถึงเอเอสหมายเลขที่ $h$ ซึ่งจะเริ่มต้นจากเอเอสหมายเลขที่ 1 ถึงเอเอสที่ $H$
$B_i, \dots, B_I$	กลุ่มของบอเคอร์เราเตอร์ โดยที่ $B_i$ หมายถึงเราเตอร์หมายเลขที่ $i$ ซึ่งจะเริ่มต้นจากเราเตอร์ตัวที่ 1 ถึงตัวที่ $I$
$b_i, \dots, b_I$	กลุ่มของท่อนส่งข้อมูล โดยที่ $b_i$ หมายถึงท่อนส่งข้อมูลหมายเลขที่ $i$ ซึ่งจะเริ่มต้นจากท่อนส่งข้อมูลที่ 1 ถึงตัวที่ $I$
$C_i$	ความจุของท่อนส่งข้อมูล $b_i$
$P_k, \dots, P_K$	กลุ่มของเครือข่ายปลายทาง โดยที่ $P_k$ หมายถึงเครือข่ายปลายทางหมายเลขที่ $k$ ซึ่งจะเริ่มต้นจากเครือข่ายปลายทางหมายเลขที่ 1 ถึงตัวที่ $K$
$In(h)$	กลุ่มของท่อนส่งข้อมูลของเอเอส $A_h$ ที่ใช้ส่งข้อมูลไปยัง โลกคอลเอเอส
$Out(k)$	กลุ่มของท่อนส่งข้อมูลที่สามารถส่งข้อมูลไปยังเครือข่ายปลายทาง $P_k$ ได้
$t(h, i, k)$	ปริมาณข้อมูลที่ต้องการส่ง จากเอเอสหมายเลข $h$ จากท่อนส่งข้อมูล $b_i$ เพื่อที่จะไปยังเครือข่าย $P_k$
$d(i, j)$	ฟังก์ชันที่ให้ผลเป็นค่าต้นทุนในการเดินทางจากท่อนส่งข้อมูลขาเข้า $b_i$ ไปยังท่อนส่งข้อมูลขาออก $b_j$
$B(i)$	ฟังก์ชันที่เมื่อนำค่าท่อนส่งข้อมูล $b_i$ โดยจะให้ผลเป็นค่าหมายเลขบอเคอร์เราเตอร์ตัวที่มีท่อนส่งข้อมูล $b_i$ กลับมา
$f(h, i, k)$	ฟังก์ชันการเลือกท่อนส่งข้อมูล เพื่อที่จะส่งข้อมูลไปยังเครือข่าย $P_k$ โดยที่ส่งข้อมูลจากเอเอส $A_h$ และส่งจากท่อนส่งข้อมูล $b_i$

#### 4.2 จีเนติกอัลกอริทึมกับปัญหาการเลือกเส้นทางแบบใช้ทางออกทางเดียวของบีจีพี

จีเนติกอัลกอริทึมถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางกับปัญหาการค้นหาและการหาค่าเหมาะสม หรือปัญหาการหาค่าสูงสุดหรือต่ำที่สุดในขอบเขตที่ถูกกำหนดไว้ ซึ่งในงานวิจัยเราได้เลือกจีเนติกอัลกอริทึมแบบง่ายหรือ (Simple Genetic Algorithm: SGA) [17] มาแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางของบีจีพี เพราะปัญหานี้เป็นปัญหาการหาค่าต้นทุนที่ต่ำที่สุดในการเดินทางผ่านเครือข่าย โดยที่มีทรัพยากรภายในเครือข่ายที่มีขนาดจำกัดในเรื่องท่อส่งข้อมูลระหว่างเครือข่าย เพื่อที่จะทำให้เครือข่ายมีการบริการการส่งข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

จีเนติกอัลกอริทึมแบบง่ายเมื่อกำหนดรูปแบบโครโมโซมและฟังก์ชันความเหมาะสมของปัญหาแล้ว จีเนติกจะประมวลผลหาคำตอบของปัญหา โดยสร้างวิวัฒนาการกลุ่มคำตอบในรุ่นต่อไปตามอัลกอริทึมในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงการทำงานของอัลกอริทึมแบบง่าย (SGA)

ในขั้นตอนเริ่มต้นเมื่ออัลกอริทึมรับปัญหาเข้ามา ก็จะทำการกำหนดรูปแบบของโครโมโซม และกำหนดฟังก์ชันเป้าหมาย จากนั้นทำการสร้างประชากรเริ่มต้นจากการสุ่มสร้างค่าแต่ละบิตของแต่ละโครโมโซม เมื่อได้จำนวนโครโมโซมตามที่ต้องการแล้ว จึงนำโครโมโซมมาเข้าฟังก์ชันหาความเหมาะสมให้แต่ละโครโมโซม จากนั้นทำค่าโครโมโซมมาทำการครอสโอเวอร์และมิวเตชัน จากนั้นทำการเพิ่มค่าให้กับค่าเงินเนเรชัน แล้วนำค่านั้นมาตรวจสอบว่ามีค่าเกินกว่าที่กำหนดหรือยัง ส่วนค่าที่กำหนดหรือ ค่าแมกซ์นั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหา ถ้าเกิดค่าเงินเนเรชันไม่เกินค่าแมกซ์ ก็ให้นำประชากรใหม่ที่ได้ออกไปเริ่มกระบวนการอัลกอริทึมใหม่ จนกว่าจะครบรอบหรือเงินเนเรชันที่เรากำหนด

#### 4.2.1 การสร้างประชากรเริ่มต้นของจีเนติกอัลกอริทึม

การสร้างประชากรเริ่มต้นของจีเนติกอัลกอริทึม เป็นส่วนสำคัญของจีเนติกอัลกอริทึมเป็นอย่างมาก ซึ่งจะส่งผลต่อส่วนอื่นๆ ของจีเนติกอัลกอริทึมต่อไป สำหรับวิธีการสุ่มสร้างประชากรเริ่มต้นมีสองวิธีในการคือ แบบแรกเป็นการสุ่ม โดยที่ไม่คำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหา ในทางกลับกันแบบที่สองจะเป็นการสุ่ม โดยคำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหา ทั้งสองวิธีนี้จะส่งผลให้กระบวนการของจีเนติกอัลกอริทึมมีลักษณะต่างกันในเรื่องของการตั้งฟังก์ชันเป้าหมาย

#### 4.2.2 ฟังก์ชันเป้าหมาย

การหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาสำหรับจีเนติกอัลกอริทึม มีพื้นฐานอยู่บนผลลัพธ์จากการหาคำตอบของครั้งที่ผ่านมา ซึ่งจีเนติกอัลกอริทึมจะไม่คำนึงถึงขั้นตอนในการแก้ปัญหา แต่กลับจะพิจารณาจากคำตอบใหม่ที่เกิดขึ้นมาว่าดีขึ้นกว่าเดิมหรือไม่ หรือใกล้เคียงกับคำตอบที่ต้องการหรือไม่ ซึ่งจะถูกกำหนดไว้โดยฟังก์ชันเป้าหมาย (Object Function:  $f$ ) โดยที่แต่ละปัญหาจะสามารถกำหนดฟังก์ชันเป้าหมายให้มีความสัมพันธ์กับตัวแปร พารามิเตอร์ และเงื่อนไขของปัญหาที่จะระบุคำตอบที่สามารถเป็นไปได้ โดยเริ่มต้นการโครโมโซมที่มีค่าอยู่ในขอบเขตที่กำหนด สำหรับปัญหาการเลือกเส้นทางของบีจีพีโดยใช้ทางออกทางเดียวได้มีการกำหนดฟังก์ชันเป้าหมายไว้ดังนี้

ฟังก์ชันเป้าหมายกับการสุ่มประชากรเริ่มต้น โดยไม่คำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหา

ฟังก์ชันเป้าหมาย

$$\text{Minimize } \sum_{h,i,k} t(h,i,k) \cdot d(i,j) \cdot \chi_{jk} + c_j \quad (4.1)$$

Subject to:

$$0 \quad \text{if } \sum_{h,i,k} t(h,i,k) \cdot \chi_{jk} < C_j,$$

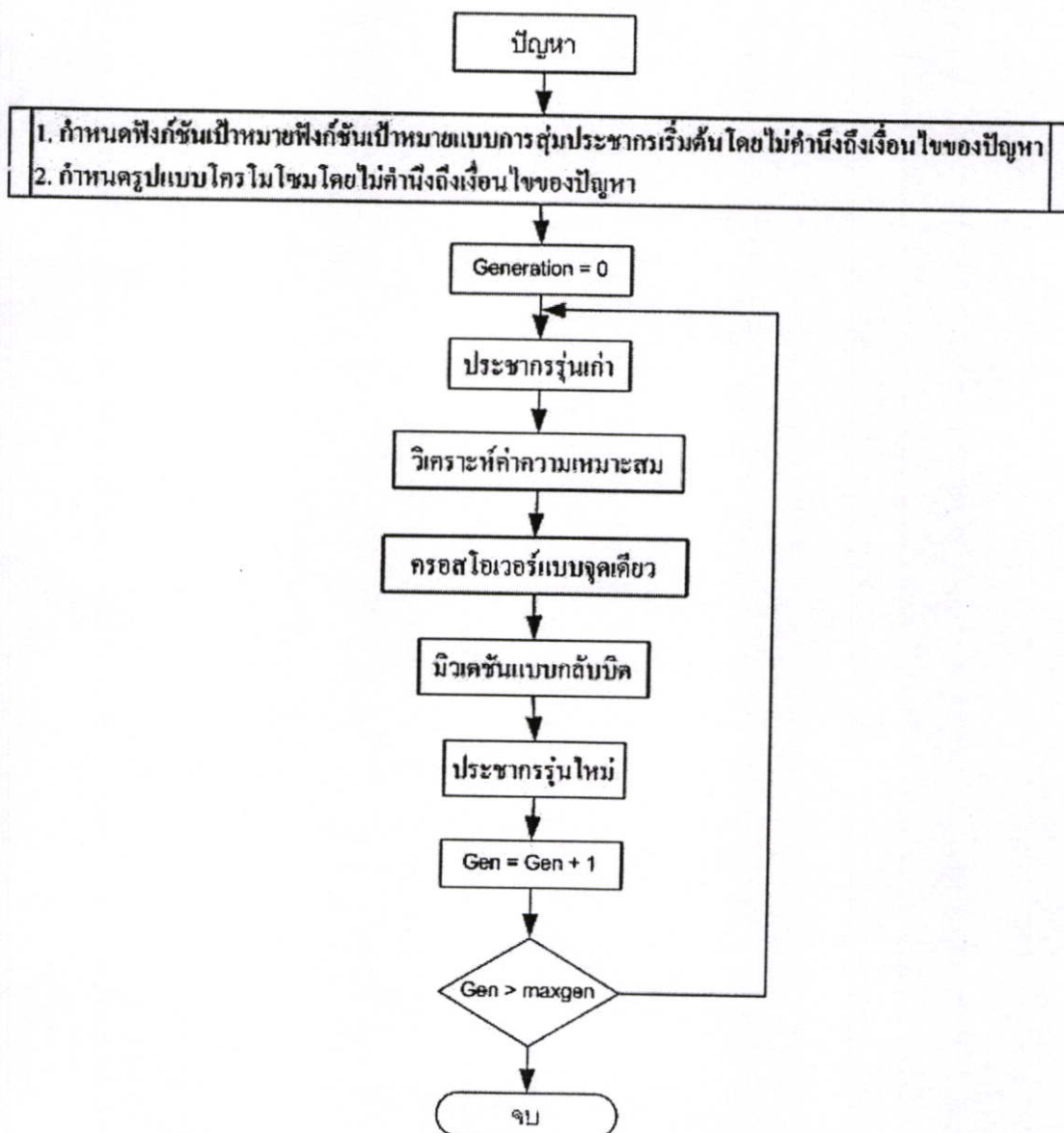
$$c_j = \left\{ \begin{array}{l} \\ \end{array} \right. \quad (4.2)$$

$$t(h,i,k) \quad \text{if } \sum_{h,i,k} t(h,i,k) \cdot \chi_{jk} > C_j,$$

$$\chi_{jk} \in \{0,1\}, \forall_j \in I, \forall_k \in K \quad (4.3)$$

สำหรับฟังก์ชันเป้าหมายใน (4.1) หมายความว่า ต้องการค่าที่ต่ำที่สุดของผลรวมของปริมาณแบนวิดท์คูณกับค่าระยะทางหรือต้นทุนในการส่งจากห้องส่งข้อมูลขาเข้า ไปยังห้องส่งข้อมูลขาออก สำหรับแต่ละการไหลของข้อมูลที่ส่งมาจากแต่ละเอเอสไปยังแต่ละปลายทางของ

ข้อมูล และรวมด้วยค่าปริมาณข้อมูลที่เกินขนาดที่ส่งข้อมูล ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากสมการที่ (4.2) ค่าของ  $c_i$  จะเป็น 0 ก็ต่อเมื่อ ค่าของข้อมูลมีปริมาณน้อยกว่าขนาดของท่อส่งข้อมูล และจะมีค่าที่ต่อเมื่อค่าของข้อมูลมีค่ามากกว่าขนาดท่อส่งข้อมูล สำหรับ(4.3) แทนการกำหนดเส้นทางของบีจีพีเราเตอร์ ซึ่งกำหนดค่าที่ส่งข้อมูลขาออกที่สามารถไปยังเครือข่ายปลายทางได้ โดยที่ข้อมูลที่เครือข่ายสามารถส่งข้อมูล ไปถึง ได้มีค่าเท่ากับหนึ่งและที่ไม่สามารถส่งข้อมูลไปถึง ได้มีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งการทำงานของอัลกอริทึม SGA ที่มีการกำหนดฟังก์ชันเป้าหมายแบบการสุ่มประชากรเริ่มต้น โดยไม่คำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหาแสดงอยู่ในรูป 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงการทำงานของ SGA (L)

สำหรับภายในงานวิจัยฉบับนี้เรียกอัลกอริทึมที่ว่า SGA แบบหลวมหรือ SGA (L: Loose) ซึ่งมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขสำหรับการเริ่มต้นสุ่มสร้างประชากรเริ่มต้น โดยไม่คำนึงถึง

เรื่องของการหาต้นทุนที่ต่ำที่สุดและขนาดปริมาณข้อมูลที่ต้องการส่ง ดังนั้นการหาคำตอบจึงอาจเริ่มต้นจากคำตอบที่คิดได้ และกระบวนการจินตนาการจะเป็นตัวปรับปรุงคำตอบให้ถูกต้องหรือใกล้เคียง โดยจะให้ค่าต้นทุนต่ำที่สุดเป็นคำตอบ

ฟังก์ชันเป้าหมายกับการสุ่มประชากรเริ่มต้น โดยคำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหา

ฟังก์ชันเป้าหมาย

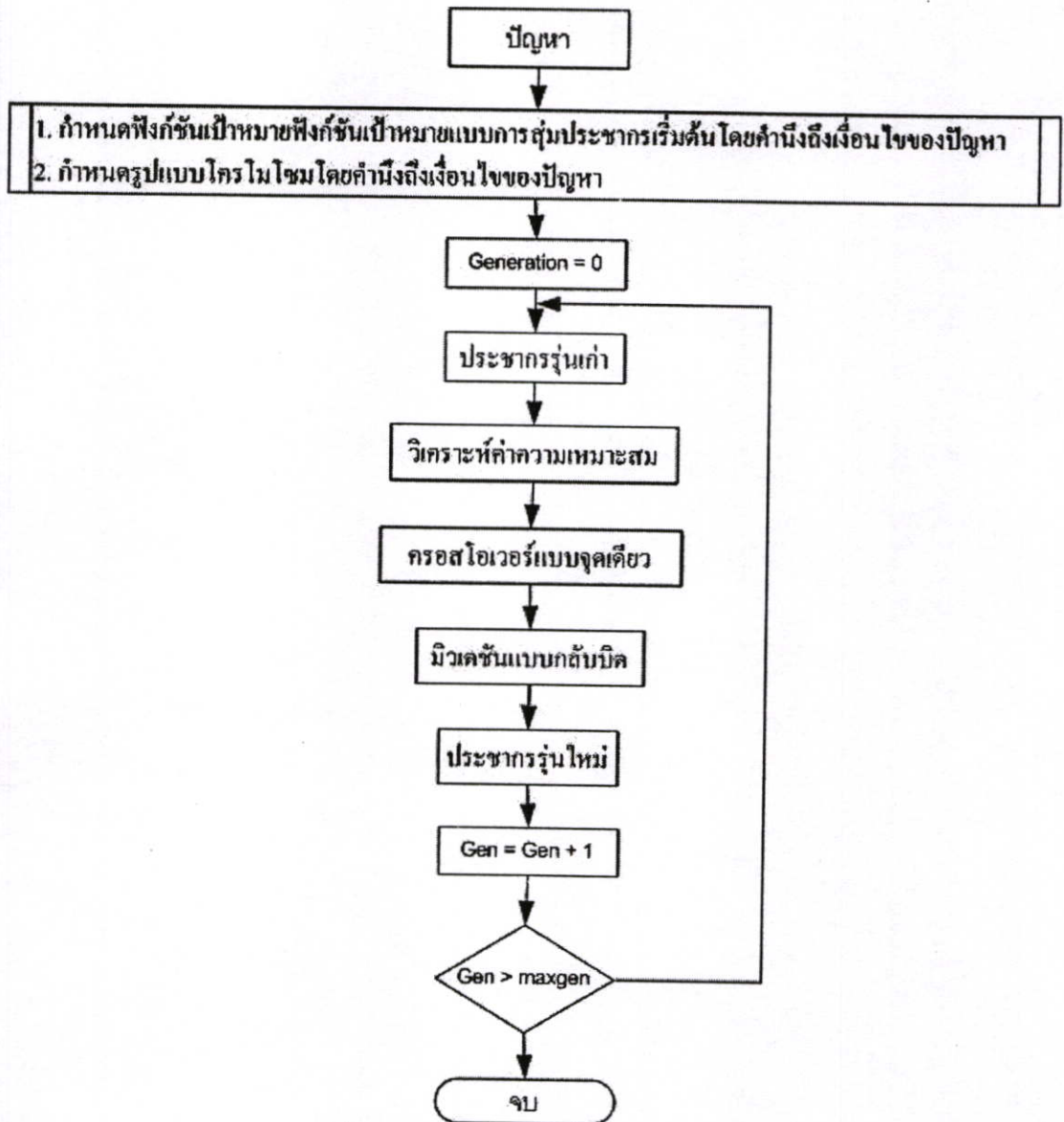
$$\text{Minimize } \sum_{h,i,k} t(h,i,k) \cdot d(i,j) \cdot \chi_{jk} \quad (4.4)$$

Subject to:

$$\sum_{k=1}^K t(h,i,k) \cdot \chi_{jk} < C_j, \quad \forall_j \in I \quad (4.5)$$

$$\chi_{jk} \in \{0,1\}, \quad \forall_j \in I, \quad \forall_k \in K \quad (4.6)$$

สำหรับฟังก์ชันเป้าหมายใน (4.4) หมายความว่า ต้องการค่าที่ต่ำที่สุดของผลรวมของปริมาณแบนวิคท์คูณกับค่าระยะทางหรือต้นทุนในการส่งจากห้องส่งข้อมูลขาเข้า ไปยังห้องส่งข้อมูลขาออก สำหรับแต่ละการไหลของข้อมูลที่ส่งมาจากแต่ละเอเอสไปยังแต่ละปลายทางของข้อมูล โดยที่มีเงื่อนไขอยู่ว่า ผลรวมของปริมาณของข้อมูลต้องไม่เกินความจุของห้องส่งข้อมูล (4.5) และ  $\chi_{jk}$  ใน (4.6) แทนการกำหนดเส้นทางของบิตพีเรเตอร์ ซึ่งกำหนดค่าห้องส่งข้อมูลขาออกที่สามารถไปยังเครือข่ายปลายทางได้ โดยที่ข้อมูลที่เครือข่ายสามารถส่งข้อมูลไปถึงได้มีค่าเท่ากับหนึ่งและที่ไม่สามารถส่งข้อมูลไปถึงได้มีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งการทำงานของอัลกอริทึม SGA ที่มีกำหนดฟังก์ชันเป้าหมายแบบการสุ่มประชากรเริ่มต้น โดยคำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหาแสดงอยู่ในรูป 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงการทำงานของ SGA (S)

สำหรับการเริ่มต้นสุ่มสร้างประชากรเริ่มต้น โดยคำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหาภายในงานวิจัยฉบับนี้เรียกอัลกอริทึมที่ว่า SGA แบบเข้มงวดหรือ SGA (S: Strict) จะเห็นได้ว่าข้อจำกัดของปัญหานี้คือ สมการที่ (4.5) และ (4.6) ดังนั้นการสุ่มสร้างประชากรเริ่มจึงต้องคำนึงถึง เรื่องของปริมาณข้อมูลจะต้องไม่เกินความจุของท่อส่งข้อมูล และข้อมูลทุกๆข้อมูลจะต้องส่งออกไปยังเครือข่ายปลายทางได้

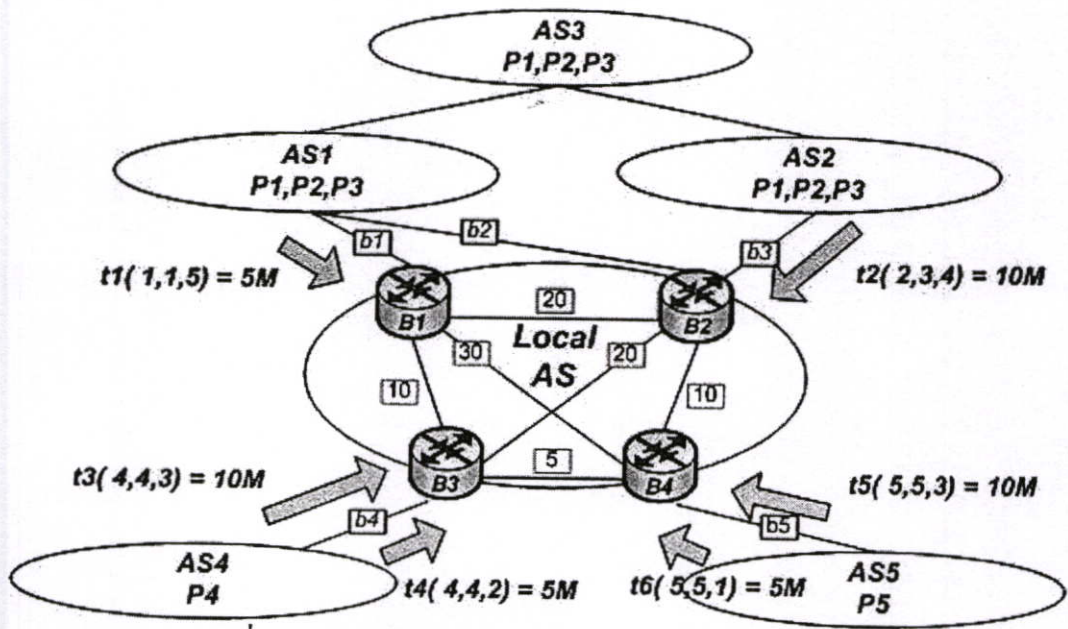
4.2.3 การกำหนดฟังก์ชันความเหมาะสม

สำหรับปัญหาการเลือกเส้นทางของบีจีพี เป็นการหาค่าต่ำสุดในการส่งกระแสข้อมูลผ่านเครือข่าย จึงเปรียบเทียบกับปัญหาการหาค่าต่ำสุด การนำกระแสข้อมูลของที่ถูกส่งมาจากเครือข่ายข้างเคียงมาคูณกับระยะทางจากเราเตอร์ที่ทำหน้าที่รับข้อมูลเข้าและเราเตอร์ที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลออกไปยังเครือข่ายปลายทางที่ถูกเลือกไว้ เมื่อมีการคำนวณทุกๆ กระแสของข้อมูลที่เดินทางผ่านเครือข่ายจะได้เป็นต้นทุนรวมทั้งหมด หรือคำตอบของปัญหานั้นเอง

$$\sum_{h,i,k} t(h,i,k) \cdot d(i,j) \cdot \chi_{jk}$$

4.2.4 การกำหนดรูปแบบของโครโมโซม

การกำหนดรูปแบบของโครโมโซม สำหรับรูปแบบโครโมโซมของเอสจีเอ (SGA) นั้นเป็นแบบไบนารี โดยค่าตัวแปรจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของไบนารี ซึ่งจะประกอบไปด้วย 0 และ 1 ซึ่งเป็นเลขฐานสอง เมื่อนำมาใช้กับปัญหานี้ เราได้จัดเรียงรูปแบบของโครโมโซมเป็นแบบเมตริก โดยจะยกตัวอย่างการสร้างโครโมโซมแบบง่ายๆ จากเครือข่ายตัวอย่าง



รูปที่ 4.5 แสดงเครือข่ายตัวอย่างสำหรับการสร้างโครโมโซม

จากเครือข่ายตัวอย่างในรูปที่ 4.5 ปรากฏว่าปัญหาของโลคอลเอเอสคือการส่งผ่านข้อมูลจากเอเอสข้างเคียง 5 กระแสข้อมูลไปยังเครือข่ายเป้าหมายของแต่ละข้อมูล โดยแต่ละกระแสข้อมูลมีลักษณะต่างๆ แสดงอยู่ในตารางที่ 4.2 ดังนี้

ตารางที่ 4.2 แสดงรายละเอียดของกระแสข้อมูล

	เอเอสต้นทาง	ท่ส่งข้อมูลขาเข้า	เครือข่ายปลายทาง	ปริมาณข้อมูล
$t_1 (1,1,5)$	1	$b_1$	$P_5$	5
$t_2 (2,3,4)$	2	$b_3$	$P_4$	10
$t_3 (4,4,3)$	4	$b_4$	$P_3$	10
$t_4 (4,4,2)$	4	$b_4$	$P_2$	5
$t_5 (5,5,3)$	5	$b_5$	$P_3$	10
$t_6 (5,5,1)$	5	$b_5$	$P_1$	5

จากข้อมูลของกระแสข้อมูลซึ่งถือว่าเป็นอินพุทของปัญหา เมื่อนำมาผ่านฟังก์ชัน  $f(h, i, k)$  ที่ใช้ในการเลือกเส้นทางของเราเตอร์ และเราสามารถนำมาสร้างเป็นตัวอย่าง โครโมโซมสำหรับปัญหาการเลือกเส้นทางของบีจีพีแบบใช้ทางออกทางเดียวแสดงตัวอย่างอยู่ในรูปที่ 4.6

**โครโมโซม**

	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
$b_1$	0	0	1	0	0
$b_2$	1	0	0	0	0
$b_3$	0	1	0	0	0
$b_4$	0	0	0	1	0
$b_5$	0	0	0	0	1

รูปที่ 4.6 แสดงรูปแบบของโครโมโซม

สำหรับโครโมโซมนี้จะเป็นคำตอบการเลือกเส้นทางแบบทางเดียวของบีจีพี โดยจะสังเกตได้ว่าแต่ละคอลัมน์ของเครือข่ายปลายทาง  $P$  จะมี "1" เพียงแค่ตัวเดียว ซึ่งถ้า "1" อยู่แถวใด ท่ส่งข้อมูล  $b$  ตำแหน่งนั้นก็จะถูกเลือกเป็นท่ส่งข้อมูลขาออกสำหรับหมายเลขเครือข่าย  $P$  นี้ ตัวอย่างเช่นถ้าต้องการส่งข้อมูลไปยัง  $P_3$  ของกระแสข้อมูลที่  $t_5$  ของเอเอส  $A_5$  มีปริมาณแบนวิดท์ 10 หน่วย ซึ่งก่อนทำการเลือก เราเตอร์  $B_3$  ซึ่งเป็นเจ้าของท่ส่งข้อมูล  $b_3$  ซึ่งเป็นทางเข้าของกระแสข้อมูลนี้ ต้องทำการเลือกเส้นทางจากฟังก์ชัน  $f(A_5, b_3, P_3)$  ซึ่งจากตัวอย่าง จะได้ผลลัพธ์เป็นท่ส่งข้อมูล  $b_3$  โดยที่กระแสข้อมูลนี้จะมีต้นทุนในการส่งอยู่ที่  $5 \times 10 = 50$  หน่วย ซึ่ง 5 คือปริมาณแบนวิดท์ของกระแสข้อมูลและ 10 คือค่าต้นทุนในการส่งข้อมูลจากเราเตอร์  $B_3$  ไปยัง  $B_3$  การคำนวณค่า

ต้นทุนการส่งข้อมูลของโครโมโซม จะต้องนำกระแสข้อมูลทุกตัวมาทำการเลือกเส้นทางพร้อมทั้งคำนวณค่าต้นทุนของแต่ละกระแส จากนั้นนำมารวมกันเป็นคำตอบของปัญหา

ประชากรรุ่นเก่า เป็นโครโมโซมที่จะถูกคัดเลือกเป็นต้นแบบสำหรับสร้างประชากรรุ่นใหม่ในวิวัฒนาการรุ่น (Generation) ต่อไป โดยจะเริ่มต้นจาก 0 ซึ่งประชากรโครโมโซมจะถูกสุ่มสร้างขึ้นตามจำนวนที่กำหนด (Population Size) ตัวอย่างของโครโมโซมแสดงอยู่ในรูป 4.7

โครโมโซม 1						โครโมโซม 2						โครโมโซม 3					
	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$		$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$		$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
$b_1$	0	0	1	0	0	$b_1$	1	0	0	0	0	$b_1$	0	1	0	0	0
$b_2$	1	0	0	0	0	$b_2$	0	1	1	0	0	$b_2$	0	0	0	0	0
$b_3$	0	1	0	0	0	$b_3$	0	0	0	0	0	$b_3$	1	0	1	0	0
$b_4$	0	0	0	1	0	$b_4$	0	0	0	1	0	$b_4$	0	0	0	1	0
$b_5$	0	0	0	0	1	$b_5$	0	0	0	0	1	$b_5$	0	0	0	0	1

รูปที่ 4.7 แสดงตัวอย่างของโครโมโซม

#### 4.2.5 การวิเคราะห์ค่าความเหมาะสม

เป็นขั้นตอนของการถอดรหัสโครโมโซมจากรูปแบบที่กำหนดไว้ เพื่อที่จะนำมาคำนวณค่าความเหมาะสมตามฟังก์ชัน เพื่อที่จะได้ค่า  $F$  มาใช้ในการคำนวณเลือกหาประชากรรุ่นที่เหมาะสมต่อไป โดยที่ ฟังก์ชันความเหมาะสมคือ

$$F = \sum t(h,i,k) \cdot d(i,j) \cdot \chi_{jk}$$

โดยที่

1. ปริมาณข้อมูลต้องไม่เกินความจุของท่อส่งข้อมูล
2. ท่อส่งข้อมูลที่ถูกเลือกจะต้องสามารถส่งข้อมูลนั้นได้
3. ทุกๆกระแสของข้อมูลต้องสามารถส่งไปถึงเครือข่ายปลายทางได้

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าความเหมาะสมของโครโมโซมที่ 1 โดยเริ่มต้นจากนำกระแสข้อมูลที่ 1 ซึ่งมาจากเอเอส  $A_1$  จากท่อส่งข้อมูล  $b$ , ต้องการไปยังเครือข่าย  $P_3$  เมื่อนำมาเข้าฟังก์ชัน  $f(A_1, b, P_3)$  ซึ่งจากโครโมโซมที่ 1 ถ้ากระแสของข้อมูลต้องการออกไปยังเครือข่ายที่  $P_3$  ซึ่งต้องทำการตรวจสอบในกลุ่มของ  $Out(P_3)$  ว่ามีท่อส่งข้อมูลไหนเป็นสมาชิกอยู่บ้าง ซึ่งในที่นี้มีเพียง  $b$ , เท่านั้น ดังนั้นจึงต้องส่งออกไปยังท่อส่งข้อมูล  $b$ , และค่าระยะระหว่าง  $b$ , และ  $b$ , มีค่า 30 นำมาคูณกับปริมาณกระแสข้อมูลที่ 1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5 ทำให้เครือข่ายเกิดต้นทุนในการส่งข้อมูลครั้งนี้ 150 หน่วย และท่อส่งข้อมูล  $b$ , ถ้าเริ่มต้นมีความจุอยู่ 100 เมื่อใช้ไปแล้ว 5 ก็ยังเหลือที่สำหรับส่งข้อมูลได้อีก 95 หน่วย การคำนวณจะต้องทำทุกๆ กระแสของข้อมูล ดังในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงวิธีการหาค่าต้นทุนของกระแสข้อมูล

	เอเอส ต้นทาง	ท่อส่ง ข้อมูลขาเข้า	เครือข่าย ปลายทาง	ท่อส่ง ข้อมูลขา ออก	ระยะทาง	ปริมาณ ข้อมูล	ต้นทุน
$t_1 (1,1,5)$	1	$b_1$	$P_5$	$b_5$	30	5	150
$t_2 (2,3,4)$	2	$b_3$	$P_4$	$b_4$	20	10	200
$t_3 (4,4,3)$	4	$b_4$	$P_3$	$b_1$	10	10	100
$t_4 (4,4,2)$	4	$b_4$	$P_2$	$b_2$	20	5	100
$t_5 (5,5,3)$	5	$b_5$	$P_3$	$b_1$	30	10	300
$t_6 (5,5,1)$	5	$b_5$	$P_1$	$b_2$	10	5	50
						รวม	900

ทุกๆกระแสข้อมูลจะต้องถูกส่งไปยังเครือข่ายปลายทางได้ ทั้งหมด โดยที่จุดที่จะตรวจสอบข้อจำกัดนี้ได้ก็คือ ปริมาณความจุที่เหลืออยู่ของท่อส่งข้อมูลต้องมากกว่า 0 ตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นถึงปริมาณความจุของท่อทุกท่อที่เหลืออยู่

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าแบนวิคท์ของท่อส่งข้อมูล

ท่อส่งข้อมูล	ปริมาณแบนวิคท์ที่เหลืออยู่
$b_1$	80
$b_2$	90
$b_3$	100
$b_4$	90
$b_5$	95

ฟังก์ชันความเหมาะสมที่ใช้ในการทดลองแก้ปัญหาค่าความเหมาะสมของบีจีพี ได้ใช้วิธีการปรับค่าความเหมาะสมแบบหน้าต่าง ซึ่งเป็นวิธีการปรับค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซมโดยพิจารณาจากค่าความเหมาะสมที่ไม่ดี โดยให้ค่านั้นเป็น  $f_{worst}$  โดยทำการปรับค่าความเหมาะสมจากสมการ ซึ่งได้แสดงอยู่ในตารางที่ 4.5

$$F = f_{worst} - f$$

ตารางที่ 4.5 แสดงตัวอย่างวิธีหาค่าความเหมาะสม

โครโมโซม	ค่าความเหมาะสม	$f_{worst}$	ค่าความเหมาะสมหลังทำการปรับ
1	900	950	50
2	900	950	50
3	950	950	0

#### 4.2.6 การคัดเลือกโครโมโซม

เป็นการจำลองแบบการคัดเลือกทางธรรมชาติเพื่อสร้าง mating pool โดยคัดเลือกชุดโครโมโซมรุ่นเก่าให้เป็นโครโมโซมต้นแบบหรือโครโมโซมพ่อแม่ เพื่อใช้ในการสร้างโครโมโซมลูกรุ่นต่อไป สำหรับในปัญหานี้การคัดเลือกเป็นแบบอ้างอิงความเหมาะสม โดยพิจารณาจากค่าความเหมาะสม ถ้าประชากรตัวนั้นมีค่าความเหมาะสมที่ดีก็จะมีโอกาสถูกกำหนดน้ำหนักค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกแต่ละครั้งสูง การกำหนดค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกต่อการสุ่มแต่ละครั้ง (Probability of Selected Values:  $p_{select}$ ) ของแต่ละโครโมโซม โดยกำหนดจากค่าความเหมาะสม เทียบกับผลรวมของค่าความเหมาะสมทั้งหมด

$$p_{select}_i = F_i / \sum F$$

และสามารถคำนวณค่าที่คาดหวังว่าจะสุ่มได้ (Expected Value:  $E$ ) ของแต่ละโครโมโซมในแต่ละรุ่นได้จากสมการ

$$E_i = p_{select}_i \times \text{popsize} = F_i / F$$

สำหรับการสุ่มโครโมโซมต้นแบบเป็นแบบจำลองการหมุนวงล้อถ่วงน้ำหนัก (Roulette Wheel:  $RW$ ) ซึ่งกำหนดขนาดแต่ละช่องของวงล้อนั้นตามค่าความน่าจะเป็นที่จะสุ่มได้ในแต่ละครั้งของแต่ละโครโมโซมซึ่งมีวิธีการดังนี้

1. หาค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม
2. หาค่าความน่าจะเป็นที่จะสุ่มได้ในแต่ละครั้งของแต่ละโครโมโซม
3. หาค่าความถี่สะสม  $q$  ของค่าความน่าจะเป็นของแต่ละโครโมโซมจากสมการ

$$q_i = \sum_{j=1}^i p_{select_j}$$

4. สร้างเลขสุ่มจำนวนจริง ( $r$ ) ซึ่ง  $r$  มีค่าอยู่ระหว่าง  $[0.0, 1.0]$
5. เลือกโครโมโซมลำดับที่  $r$  ซึ่ง  $r$  มีค่าอยู่ระหว่าง  $q_{i-1}$  และ  $q_i$

ตัวอย่างวิธีการหาค่าความน่าจะเป็นแสดงอยู่ในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงตัวอย่างวิธีการหาค่าความน่าจะเป็น

โครโมโซม	ค่าต้นทุน	ค่าความเหมาะสม	ค่าความน่าจะเป็น	จำนวนที่คาดหวัง	จำนวนที่สุ่มได้จาก $RW$
1	900	50	0.5	1.5	2
2	900	50	0.5	1.5	1
3	950	0	0	0	0
	รวม	100	1.0	3.0	

สำหรับการสุ่มเลือกโครโมโซมต้นแบบทั้ง 3 โครโมโซมนี้โอกาสที่จะสุ่มได้โครโมโซมลำดับที่ 1 และโครโมโซมลำดับที่ 2 ต่อการสุ่มแต่ละครั้งเท่ากับ 0.5 ส่วนโครโมโซมลำดับที่ 3 ซึ่งเป็นโครโมโซมตัวที่ไม่ดีที่สุดในรุ่นจะไปไม่โอกาสถูกเลือกเลย จากนั้นทำการสุ่มโดยการจำลองการหมุนวงล้อจะได้โครโมโซม ซึ่งแสดงอยู่ในตารางที่ 4.7 ดังนี้

ตารางที่ 4.7 แสดงตัวอย่างวิธีการสุ่มเลือกโครโมโซมเข้า mating pool

ลำดับโครโมโซม	1	2	3
ค่าความเหมาะสม ( $F$ )	50	50	0
ค่าความน่าจะเป็นที่สุ่มได้แต่ละครั้ง $p_{select_i}$	0.5	0.5	0
ความถี่สะสมค่าความน่าจะเป็น ( $q_i$ )	0.5	1	1
สร้างเลขสุ่มในการหมุนวงล้อแต่ละครั้ง ( $r$ )	0.333	0.711	0.122
ลำดับโครโมโซมที่ถูกเลือก ( $q_{i-1} < r < q_i$ )	1	2	1

ซึ่งจำนวนที่สุ่มได้เป็นโครโมโซมต้นแบบใน mating pool ของแต่ละโครโมโซมเป็น 2, 1 และ 0 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมสูงจะมีโอกาสถูกเลือกสูง แต่ถ้าโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมต่ำโอกาสที่จะถูกเลือกก็ต่ำตามไปด้วย

#### 4.2.7 การดำเนินการทางพันธุศาสตร์

เป็นขั้นตอนที่จำลองแบบธรรมชาติทางพันธุกรรม ซึ่งตัวดำเนินการทางพันธุศาสตร์ของ SGA คือการครอสโอเวอร์ และมิวเตชัน โดยทั้งสองวิธีมีการทำงานดังนี้

##### การครอสโอเวอร์

เป็นการดำเนินการในการแลกเปลี่ยนส่วนของโครโมโซมพ่อและแม่ ตามการกำหนดอัตราความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์ (Probability of Crossover:  $P_c$ ) เพื่อสร้างชุดโครโมโซมรุ่นใหม่หรือโครโมโซมลูก ซึ่งมีตัวอย่างแสดงการครอสโอเวอร์อยู่ในรูปที่ 4.8 และมีขั้นตอนในการทำงานดังนี้

1. เริ่มต้นการจากสุ่มจับคู่โครโมโซมพ่อแม่ใน mating pool
2. สร้างเลขสุ่มจำนวนจริง ( $r$ ) ที่มีค่าอยู่ในช่วง  $[ 0.0 , 1.0 ]$  โดยถ้าค่า  $r < P_c$  แล้วโครโมโซมพ่อแม่จะมีการครอสโอเวอร์ โดยในปัญหานี้กำหนดค่า  $P_c$  ไว้ที่ 0.6
3. ครอสโอเวอร์โดยการแลกเปลี่ยนส่วนคู่โครโมโซมพ่อแม่ สำหรับปัญหาการเลือกเส้นทางแบบทางเดียวของบีจีพี เป็นการครอสโอเวอร์แบบ 1 จุด โดยทำการสุ่มเลือกแถวของ  $P$  ของโครโมโซมพ่อแม่มาทำการครอสโอเวอร์
4. ตรวจสอบตามข้อจำกัดของปัญหา ว่าเป็นโครโมโซมที่สามารถใช้งานได้หรือไม่



## การมิวเตชัน

เป็นตัวดำเนินการผ่าเหล่าตัวหนึ่งที่อาจช่วยให้โครโมโซม มีค่าความเหมาะสมที่ดีขึ้นได้ หลังจากครอสโอเวอร์ โดยทำการกลับค่าของบิตที่สุ่มได้ ตามอัตราความน่าจะเป็นของการมิวเตชันในแต่ละบิต (Probability of Mutation:  $P_m$ ) ที่กำหนด สำหรับการมิวเตชันของ SGA นั้นเป็นแบบไบนารีมิวเตชัน โดยการกลับค่าบิตเป็นค่าคอมพลีเมนต์ คือจาก 0 เป็น 1 และจาก 1 เป็น 0

1. เริ่มต้นจากการทำการสุ่มเลือกโครโมโซมที่จะนำมาทำการมิวเตชัน โดยให้ทำการสุ่มค่า  $r$  ให้กลับแต่ละตำแหน่งแต่ละบิตของโครโมโซมดังรูป 4.9

		โครโมโซมพ่อ									
		$P_1$	$r_1$	$P_2$	$r_2$	$P_3$	$r_3$	$P_4$	$r_4$	$P_5$	$r_5$
$b_1$	0	0.34	0	0.01	1	0.45	0	0.55	0	0.77	
$b_2$	1	0.33	0	0.43	0	0.83	0	0.35	0	0.59	
$b_3$	0	0.89	1	0.51	0	0.91	0	0.67	0	0.71	
$b_4$	0	0.78	0	0.34	0	0.49	1	0.42	0	0.30	
$b_5$	0	0.51	0	0.66	0	0.37	0	0.91	1	0.53	

รูปที่ 4.9 แสดงการสุ่มค่า  $r$  สำหรับการมิวเตชัน

2. ทำการกลับค่าบิตในจุดที่มีค่าน้อยกว่า  $P_m$  และเป็นจุดไม่ขัดกับข้อกำหนด ดังตัวอย่างที่แสดงในรูป 4.10

		โครโมโซมพ่อ					โครโมโซมลูก					
		$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	
$b_1$	0	0	0	1	0	0	$b_1$	0	1	1	0	0
$b_2$	1	0	0	0	0	0	$b_2$	1	0	0	0	0
$b_3$	0	1	0	0	0	0	$b_3$	0	0	0	0	0
$b_4$	0	0	0	0	1	0	$b_4$	0	0	0	1	0
$b_5$	0	0	0	0	0	1	$b_5$	0	0	0	0	1

รูปที่ 4.10 แสดงการมิวเตชันของโครโมโซม

3. ทำการตรวจสอบโครโมโซมลูกที่ได้มาว่าขัดกับข้อจำกัดหรือไม่

จากการสุ่มตำแหน่งที่มิวเตชันโดยสร้างเลขสุ่ม  $r$  ของแต่ละตำแหน่งบิตในแต่ละโครโมโซมแล้ว ตำแหน่งของ  $P_2$  ที่บิตแรก เมื่อบิตแรกของโครโมโซมพ่อเป็น 0 จึงทำการกลับค่าเป็น 1 จากนั้นจึงกลับค่าบิตที่ 3 ที่มีค่าเป็น 1 อยู่แล้วให้มีค่าเป็น 0 จะเห็นได้ว่ามิวเตชันเป็นตัวดำเนินการที่อาจทำให้โครโมโซมมีค่าความเหมาะสมสูงขึ้นหรือลดลงก็ได้

#### 4.2.8 ประชากรรุ่นใหม่

เป็นชุดโครโมโซมลูกที่เกิดจากขั้นตอนของวิวัฒนาการต่างๆ ทั้งหมด ซึ่งประชากรรุ่นใหม่ทั้งหมดที่เกิดขึ้น จะถูกถ่ายทอดกลายเป็นประชากรรุ่นเก่าสำหรับวิวัฒนาการในรุ่นถัดไป ซึ่งแรกว่าการรีโพรดักชัน กระบวนการต่างๆ จะถูกปฏิบัติซ้ำๆ จนกระทั่งถึงรุ่นที่กำหนดไว้ ซึ่งในปัญหานี้ เราเลือกใช้การเก็บค่าโครโมโซมรุ่นพ่อแม่ที่ดีที่สุดไว้หนึ่งตัว เพื่อเป็นการส่งต่อทางพันธุกรรมไปสู่ประชากรรุ่นต่อไป แต่ถ้าไม่สามารถให้กำเนิดประชากรรุ่นใหม่ จากการครอสโอเวอร์ หรือมิวเตชัน ได้ ก็จะนำประชากรรุ่นเก่าเปลี่ยนเป็นประชากรรุ่นใหม่ เพื่อที่จะนำไปเข้ากระบวนการทำงานของโปรแกรมต่อไป

#### 4.2.9 การสิ้นสุดการทำงานของอัลกอริทึมจีเนติก

การทำงานของอัลกอริทึมจะสิ้นสุดก็ต่อเมื่อ ทำงานครบรอบเจนเรชันที่กำหนด ซึ่งการกำหนดจำนวนสูงสุดของรอบการทำงานของอัลกอริทึมแบบจีเนติกอาจจะทำให้การทำงานของโปรแกรมในการนำเอาไปใช้จริงช้า ดังนั้นจึงทำการประยุกต์ใช้แบบที่คำตอบของโครโมโซมที่ดีที่สุดไม่มี การเปลี่ยนแปลงเกินกว่าสิบเจนเรชัน ซึ่งถือได้ว่าเป็นคำตอบที่ดีที่สุดของการทำงานของอัลกอริทึมจีเนติกแล้วเช่นกัน

#### 4.2.10 สรุปการทำงานของอัลกอริทึมจีเนติกแบบง่าย

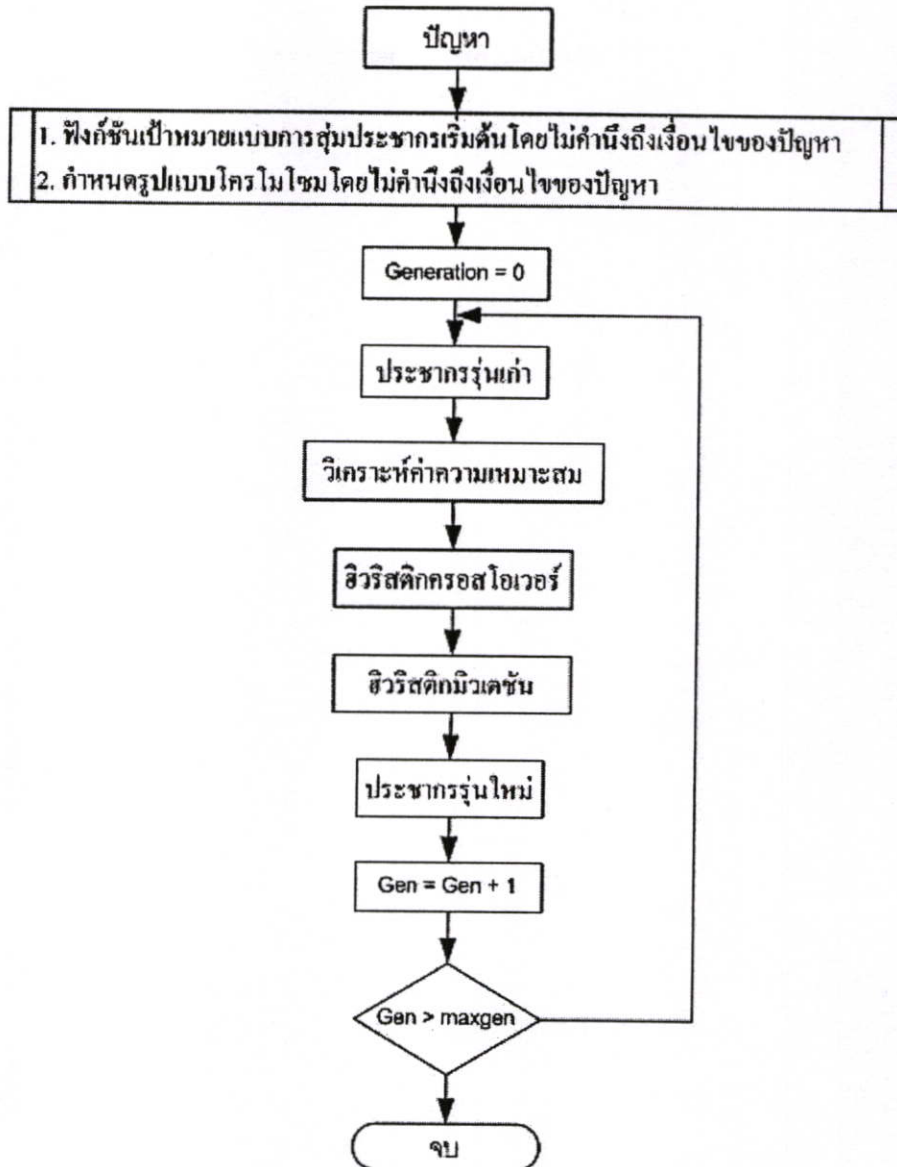
ภายในงานวิจัยชิ้นนี้ ได้ทำการแบ่งอัลกอริทึมจีเนติกแบบง่าย โดยวัตถุประสงค์หลักคือการหาค่าต้นทุนต่ำที่สุดในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย โดยที่ ข้อมูลทั้งหมดจะต้องสามารถส่งไปยังเครือข่ายปลายทางได้ และปริมาณข้อมูลที่ส่งจะต้องไม่เกินปริมาณที่ส่งข้อมูล ซึ่งงานวิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 อัลกอริทึมตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งแบ่งออกเป็นการสุ่มประชากรเริ่มต้น โดยไม่คำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหา และการสุ่มประชากรเริ่มต้น โดยคำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหา คือผลของการทำงานของอัลกอริทึมทั้งสองแสดงอยู่บนที่ 6 แต่ผลโดยรวมจากการเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมเดิมที่มีอยู่ อย่างเช่น MPPF อัลกอริทึม SGA ทั้งสองอัลกอริทึมยังให้ค่าต้นทุนที่สูงกว่า ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการพัฒนาอัลกอริทึม SGA ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งมีได้หลายแนวทาง ซึ่งอาจจะเป็นการปรับปรุงด้านตัวดำเนินการด้านพันธุกรรม เช่นการครอสโอเวอร์ ให้มีจำนวนจุดที่ใช้ในการครอสโอเวอร์มากขึ้น หรือการใช้ฮิวริสติกเข้ามาปรับปรุงซึ่งเป็นตัวเลือกที่ถูกเลือกในงานวิจัยนี้

## การปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของจินตริกอัลกอริทึม

เนื่องจากการแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางแบบการใช้ทางออกทางเดียวของบีจีพี ด้วยวิธีจินตริกแบบง่าย ยังไม่สามารถหาค่าต้นทุนที่เหมาะสมได้เมื่อเราเทียบกับอัลกอริทึม MPPF ดังนั้นเราจึงเริ่มการปรับปรุงอัลกอริทึมจินตริกแบบง่าย ด้วยการนำวิธีฮิวริสติกเพื่อที่จะช่วยให้ประชากรของจินตริกมีการพัฒนาไปในทางที่ดีกว่าเดิมเสมอ ในงานวิจัยเราได้ปรับปรุงการทำงานของจินตริกแบบง่าย โดยการปรับปรุงการครอสโอเวอร์และมิวเตชัน ซึ่งผลจากการปรับปรุงทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าเดิม และงานวิจัยเรื่อง “A Combined Heuristic and Genetic Approach to the BGP Route Configuration Problem” [18] ได้ตีพิมพ์ในวารสาร ITC-CSCC

### 5.1 การใช้ฮิวริสติกกับจินตริกในการแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางแบบใช้ทางออกทางเดียว

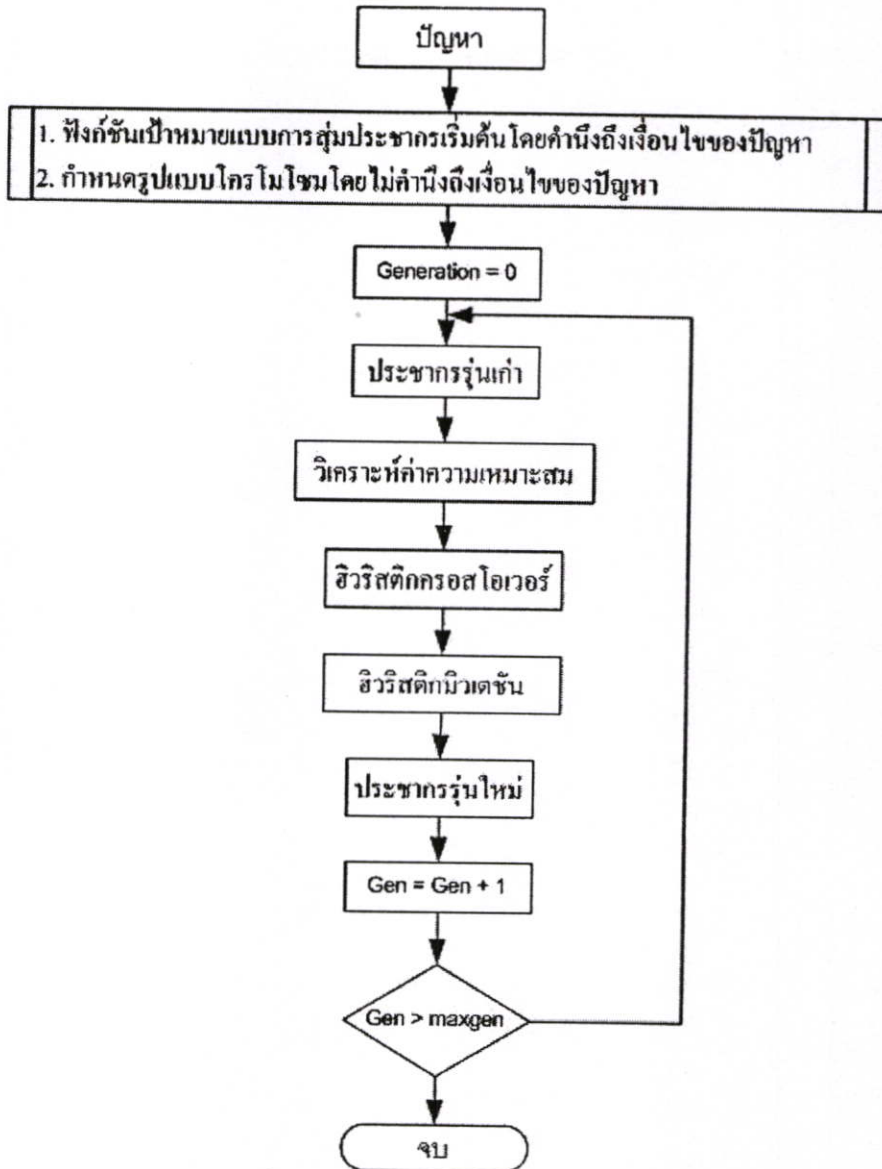
การนำฮิวริสติกมาปรับปรุงการทำงานของ SGA โดยการปรับปรุงการทำงานภายในอัลกอริทึมครอสโอเวอร์และมิวเตชัน ซึ่งการทำงานของวิธี SGA เป็นการทำงานแบบสุ่มทั้งวิธีครอสโอเวอร์และวิธีมิวเตชัน ซึ่งผลที่ได้จากสองวิธีนี้ผลที่ได้อาจไม่มีความแน่นอนว่าโครโมโซมที่ได้จากการทำงานจะมีวิวัฒนาการไปในทางใด อาจจะได้ผลที่ดีหรือไม่ก็ได้ขึ้นอยู่กับวิธีการใช้วิธีฮิวริสติกเข้ามาช่วยปรับปรุงการทำงานให้ส่วนนี้ โดยหลักการการทำงานที่สำคัญคือโครโมโซมลูกที่ได้จากการครอสโอเวอร์และมิวเตชันจะต้องได้ผลที่ดีกว่าโครโมโซมรุ่นพ่อแม่ การปรับปรุงโดยการนำฮิวริสติกเข้ามาใช้กับจินตริก ได้มีการแบ่งการทำงานออกเป็นสองแบบตามลักษณะของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยแบบแรกเป็นฟังก์ชันเป้าหมายแบบการสุ่มประชากรเริ่มต้น โดยไม่คำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหา ซึ่งมีชื่อเรียกว่า HGA (L) หรือ HGA แบบ Loose โดยมีการปรับปรุงการทำงานของ SGA (L) ดังนี้



รูปที่ 5.1 แสดงรูปอัลกอริทึม HGA (L)

อัลกอริทึมที่ได้ทำการปรับปรุงจีเนติก โดยการใช้สวิตติงแบบฟังก์ชันเป้าหมายแบบการสุ่มประชากรเริ่มต้นโดยไม่คำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหา HGA (L) ที่แสดงอยู่ในรูปที่ 5.1 โดยภาพรวมโครงสร้างการทำงานของอัลกอริทึมยังคงเดิม รวมถึง ฟังก์ชันวัตถุประสงค์และฟังก์ชันความเหมาะสม ส่วนที่เปลี่ยนแปลงไป จะเป็นส่วนของการพัฒนาอัลกอริทึมขึ้นมาใหม่นั้นได้ทำการเปลี่ยนแปลงเฉพาะในส่วนของการครอสโอเวอร์และมิวเตชันเท่านั้น

สำหรับแบบที่สองนั้นเป็นการปรับปรุงจาก SGA (S) ซึ่งใช้ฟังก์ชันเป้าหมายแบบการสุ่มประชากรเริ่มต้นโดยคำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหา มีชื่อแบบย่อว่า HGA (S) หรือ HGA แบบ Strict โดยมีการปรับปรุงการทำงานของ SGA (S) ดังนี้



รูปที่ 5.2 แสดงรูปอัลกอริทึม HGA (S)

จากรูปที่ 5.2 โครงสร้างหลักของอัลกอริทึมยังใช้วิธีเดียวกับ SGA (S) เริ่มต้นตั้งแต่การสุ่มสร้างโครโมโซมเริ่มต้น การคัดเลือกประชากร การรักษาสภาพประชากรรุ่นเก่า ด้านอัลกอริทึมใหม่ที่ได้พัฒนาขึ้นมานั้น ได้ทำการเปลี่ยนแปลงเฉพาะในส่วนของการครอสโอเวอร์และมิวเตชันเท่านั้น โดยที่ทั้งสองอัลกอริทึม HGA (L) และ HGA (S) มีอัลกอริทึมในการครอสโอเวอร์และมิวเตชันเหมือนกัน ซึ่งได้ทำการปรับปรุงดังต่อไปนี้

### 5.1.1 การปรับปรุงการครอสโอเวอร์แบบฮิวริสติกโดยใช้วิธีฮิวริสติก

การปรับปรุงการครอสโอเวอร์ของ SGA โดยการนำวิธีฮิวริสติกเข้ามาช่วยนั้น ซึ่งจุดประสงค์หลักคือ การต้องให้โครโมโซมลูกมีการพัฒนาไปในทางที่ดีขึ้นกว่าเดิม ในทางปฏิบัติแล้ว การทำงานของ SGA จะไม่คำนึงถึงผลการของการมีวิวัฒนาการว่าโครโมโซมจะมีวิวัฒนาการที่ดีขึ้นหรือไปจากจุดนี้ เราได้ทำการปรับปรุงการทำงานวิธีครอสโอเวอร์แบบสุ่ม โดยมีลำดับการทำงานแสดงอยู่ในรูปที่ 5.3 ดังนี้

#### Heuristic Crossover Algorithm

1: HCrossover( $CMS_1$ ,  $CMS_2$ )

2: Check the lower cost solution between two chromosomes ( $CMS_1$  and  $CMS_2$ ). Then the lower cost chromosome is called  $CMS_L$ , otherwise is  $CMS_H$ .

3: for prefix number  $k=1$  to  $K$  do {

4:  $CMS\_COST(k) = \text{Infinity}$

5:  $CMS_{L,k} = \text{Result of replacing of column } k \text{ on } CMS_L \text{ by column } k \text{ of } CMS_H$

6: If capacity constraint of  $CMS_{L,k}$  is satisfied by Eq.(4.2) then {

7: calculate cost of  $CMS_{L,k}$  chromosome and assign it to  $CMS\_COST[k]$

8: }

9: }

10: The  $CMS_{L,k}$  chromosome which has lowest cost of  $CMS\_COST[k]$  is then selected as a child chromosome for next generation

11: end

รูปที่ 5.3 แสดงขั้นตอนการทำงานของฟังก์ชันครอสโอเวอร์แบบวิธีฮิวริสติก

การทำงานของฟังก์ชันครอสโอเวอร์แบบฮิวริสติก เริ่มต้นจากการนำโครโมโซมพ่อและแม่ ที่ได้จากการจับคู่จากการสุ่มมาเข้ากระบวนการครอสโอเวอร์ จากรูปจะเห็นได้จากโครโมโซม  $CMS_1$  และ  $CMS_2$  เป็นตัวแปรของโครโมโซมพ่อและแม่จะทำการครอสโอเวอร์ โดยเริ่มต้นที่

บรรทัดที่ 2 ทำการเปรียบเทียบค่าต้นทุนของโครโมโซมพ่อกับแม่ โครโมโซมตัวใดมีค่าต้นทุนต่ำกว่าให้เรียกเป็นโครโมโซม  $CMS_L$  ส่วนตัวที่เหลือให้เป็น  $CMS_H$

บรรทัดที่ 3 เป็นการเริ่มต้นของลูปของตัวแปร  $k$  โดยลูปนี้จะทำงาน  $K$  ครั้ง หรือตามจำนวนหมายเลขเครือข่าย

บรรทัดที่ 4 กำหนดค่าเริ่มต้นให้กับตัวแปร  $CMS\_COST[k]$  ของแต่ละ  $k$  โดยให้ค่าเป็นอนันต์

บรรทัดที่ 5 ทำการคัดลอกค่าของแถวที่  $k$  จากโครโมโซม  $CMS_H$  แทนที่แถวที่  $k$  ของโครโมโซม  $CMS_L$

บรรทัดที่ 6 ทำการตรวจสอบค่าต้นทุนของโครโมโซมใหม่ที่ได้ ว่ามีแบนวิดท์เกินความจุของท่อส่งข้อมูลหรือไม่ ในสมการที่ 4.2 หรือ 4.5 ถ้าไม่เกินให้นำค่าต้นทุนที่ได้มาเก็บไว้ในตัวแปร  $CMS\_COST[k]$

บรรทัดที่ 10 เมื่อดำเนินการทำครบทุก  $k$  แล้วให้นำค่าต้นทุนที่ทำการครอสโอเวอร์ที่เก็บไว้ในตัวแปร  $CMS\_COST[k]$  มาหาค่าต่ำสุด ซึ่งโครโมโซมลูกที่มีค่าต้นทุนที่ต่ำที่สุดคือโครโมโซมลูกที่ได้จากการครอสโอเวอร์

โครโมโซมพ่อ						โครโมโซมแม่					
	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$		$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
$b_1$	0	0	1	0	0	$b_1$	0	1	0	0	0
$b_2$	1	0	0	0	0	$b_2$	0	0	0	0	0
$b_3$	0	1	0	0	0	$b_3$	1	0	1	0	0
$b_4$	0	0	0	1	0	$b_4$	0	0	0	1	0
$b_5$	0	0	0	0	1	$b_5$	0	0	0	0	1

รูปที่ 5.4 โครโมโซมพ่อแม่

ตัวอย่างการนำโครโมโซมพ่อและแม่จาก mating pool ในรูปที่ 5.4 มาทำการครอสโอเวอร์โดยใช้วิธีฮิวริสติก เริ่มต้นจากการนำโครโมโซมพ่อและแม่มาทำการเปรียบเทียบค่าต้นทุนรวมของทั้งคู่ โดยโครโมโซมพ่อ มีค่าต้นทุนรวมเป็น 900 และโครโมโซมแม่มีค่าต้นทุนรวมเป็น 950 จากนั้น เนื่องจากโครโมโซมพ่อมีค่าต้นทุนรวมที่ต่ำกว่า จึงเลือกโครโมโซมพ่อเป็นโครโมโซมตั้งต้นเป็นโครโมโซมลูก

โครโมโซมพ่อ						โครโมโซมแม่					
	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$		$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
$b_1$	0	0	1	0	0	$b_1$	0	1	0	0	0
$b_2$	1	0	0	0	0	$b_2$	0	0	0	0	0
$b_3$	0	1	0	0	0	$b_3$	1	0	1	0	0
$b_4$	0	0	0	1	0	$b_4$	0	0	0	1	0
$b_5$	0	0	0	0	1	$b_5$	0	0	0	0	1

โครโมโซมลูก																	
$b_1$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$b_1$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$b_1$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
$b_2$	0	0	0	0	0	$b_2$	1	0	0	0	0	$b_2$	1	0	0	0	0
$b_3$	1	1	0	0	0	$b_3$	0	0	0	0	0	$b_3$	0	1	1	0	0
$b_4$	0	0	0	1	0	$b_4$	0	0	1	0	0	$b_4$	0	0	0	1	0
$b_5$	0	0	0	0	1	$b_5$	0	0	0	1	0	$b_5$	0	0	0	0	1

CMS_COST[1] = 900						CMS_COST[2] = 850						CMS_COST[3] = 800					
-------------------	--	--	--	--	--	-------------------	--	--	--	--	--	-------------------	--	--	--	--	--

$b_1$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$b_1$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$b_1$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
$b_2$	0	0	1	0	0	$b_2$	1	0	0	0	0	$b_2$	1	0	0	0	0
$b_3$	0	1	0	0	0	$b_3$	0	1	0	0	0	$b_3$	0	1	0	0	0
$b_4$	0	0	0	1	0	$b_4$	0	0	0	1	0	$b_4$	0	0	0	1	0
$b_5$	0	0	0	0	1	$b_5$	0	0	0	0	1	$b_5$	0	0	0	0	1

CMS_COST[4] = 900						CMS_COST[5] = 900					
-------------------	--	--	--	--	--	-------------------	--	--	--	--	--

รูปที่ 5.5 แสดงตัวอย่างการทำครอสโอเวอร์แบบฮิวริสติก

เมื่อได้โครโมโซมตั้งต้นที่จะเป็นโครโมโซมลูกแล้ว จากนั้นจึงเริ่มนำคอลัมน์แรกของโครโมโซมแม่ ไปแทนที่ในคอลัมน์แรกของโครโมโซมพ่อ จากนั้นทำการคำนวณหาค่าต้นทุนของโครโมโซมตั้งต้น นำไปเก็บค่าไว้ใน  $CMS\_COST[k]$  ซึ่งจะทำการคำนวณทุกๆ คอลัมน์ ดังตัวอย่างในรูปที่ 5.5 จะเห็นได้ว่าค่า  $CMS\_COST[3]$  ได้ค่าต้นทุนเป็น 800 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำที่สุดในรอบที่ 3 แล้วจึงนำโครโมโซมตัวนี้มาเป็นโครโมโซมลูกในรอบต่อไป

โดยสรุปหลักการของการครอสโอเวอร์โดยใช้วิธีฮิวริสติก เป็นการคัดลอกส่วนที่ดีของแต่ละโครโมโซมของในแคร์รุ่นไว้ เพื่อให้ได้โครโมโซมในรุ่นใหม่ที่มีการพัฒนาไปในทางที่ดีขึ้นในรุ่นต่อไป

### 5.1.2 การปรับปรุงการมิวเตชันแบบฮิวริสติกโดยใช้วิธีฮิวริสติก

การมิวเตชันแบบฮิวริสติก เป็นการปรับปรุงการมิวเตชันของ SGA ซึ่งโดยปกติแล้วการทำงานของ SGA จะไม่คำนึงถึงผลการของการมิวเตชันว่าโครโมโซมจะมีวิวัฒนาการที่ดีขึ้นหรือไม่จากจุดนี้ เราได้ทำการปรับปรุงการทำงานวิธีมิวเตชันแบบสุ่ม โดยมีลำดับการทำงานแสดงอยู่ในรูปที่ 5.6 ดังนี้

#### Heuristic Mutation Algorithm

```

1: HMutation( $CMS, k$ )
2:    $Mincost = Cost(CMS)$ 
3:    $chk = 0;$ 
4:   for  $i = 1$  to total edge link in  $OUT(k)$  {
5:      $CMS_i = CMS$ 
6:     on each  $CMS_i$  move '1' on the column  $k$  to the row which is the member of  $OUT(k)$ , but has not been selected by previous steps.
7:     if ( $(Cost(CMS_i) < Mincost)$  AND
        (capacity constraint of  $CMS_i$  is satisfied by Eq.(4.2))) then {
8:        $Mincost = Cost(CMS_i)$ 
9:       Child chromosome =  $CMS_i$ 
10:       $chk = 1;$ 
11:    }
12:  }
13:  if ( $chk = 1$ )
14:    return( Child chromosome )
15:  else
16:    return ( $CMS$ )
17: end

```

รูปที่ 5.6 แสดงขั้นตอนการทำงานของฟังก์ชันมิวเตชันแบบวิธีฮิวริสติก

การเริ่มต้นการทำงานของมิวเตชันแบบฮิวริสติก เหมือนกับวิธี SGA ในการสุ่มเลือกโครโมโซมที่มีความเหมาะสมสูงมาจาก mating pool จากนั้นใช้วิธีสุ่มเลือกค่าหมายเลขเครือข่าย  $P_k$  เพื่อที่จะนำมาเข้าฟังก์ชัน HMutation( $CMS, k$ ) เริ่มต้นโดย

บรรทัดที่ 1 จะเห็นได้ว่าพารามิเตอร์ที่รับเข้ามาในฟังก์ชันคือค่า CMS หรือ โครโมโซม และค่า  $k$  ซึ่งคือหมายเลขแถวของโครโมโซมที่จะใช้เป็นตำแหน่งของการมิวเตชัน

บรรทัดที่ 2, 3 ทำการหาค่าต้นทุนของโครโมโซมเก็บไว้ในตัวแปร *Mincost* เพื่อที่ใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าต้นทุนใหม่ที่จะได้จากการมิวเตชัน และการตั้งค่าเริ่มต้นให้กับตัวแปร *chk* เพื่อไว้สำหรับการตรวจสอบว่าการมิวเตชันให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าเดิมหรือไม่

บรรทัดที่ 4 เป็นรูปในการหาตำแหน่งที่ดีที่สุด โดยการย้าย "1" ไปยังทุก  $b$ , ภายในเซตของ  $Out(k)$  ซึ่งอยู่ในแถว  $k$  ของโครโมโซม *CMS*, เพื่อที่จะหาค่าที่ต้นทุนที่ต่ำที่สุดในการย้าย

บรรทัดที่ 5 ทำการคัดลอกตัวแปร *CMS* ที่เป็นโครโมโซมพ่อไปยังโครโมโซมชั่วคราว *CMS*, ซึ่งจะเป็โครโมโซมที่จะนำมามิวเตชันในแต่ละรอบของ  $i$

บรรทัดที่ 6 แล้วจึงทำการมิวเตชันโครโมโซม *CMS*, จะทำโดยการย้ายตำแหน่งบิตของทอส่งข้อมูล  $b$ , ให้เป็น "1" ภายในแถวของ  $P_k$

บรรทัดที่ 7 ทำการตรวจสอบเงื่อนไข โดยนำค่าต้นทุนของโครโมโซมใหม่ (*CMS<sub>i</sub>*) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับ ค่าต้นทุนเดิม (*Mincost*) ว่ามีค่าน้อยกว่าเดิมหรือไม่ และโครโมโซมใหม่ (*CMS<sub>i</sub>*) ที่ทำการย้ายตำแหน่ง "1" ไปแล้ว จะต้องไม่ทำให้แบนวิคท์ของทอส่งข้อมูล  $b$ , ที่ย้ายไปเกินความจุทอส่งที่เหลืออยู่ ถ้าเงื่อนไขเป็นจริงให้ดำเนินการบรรทัดที่ 8 และ 9 ต่อไป

บรรทัดที่ 8 ทำการกำหนดค่า *Mincost* ใหม่ด้วยค่าต้นทุนของโครโมโซมใหม่ (*CMS<sub>i</sub>*)

บรรทัดที่ 9 คัดลอกโครโมโซมใหม่ไปยังโครโมโซมลูก (Child chromosome)

บรรทัดที่ 10 ทำการกำหนดค่า *chk* ให้เป็นค่า 1 เพื่อใช้ในการตรวจสอบว่าการทำมิวเตชันประสบความสำเร็จ

บรรทัดที่ 12 ให้ทำบรรทัดที่ 5 ถึง 11 ใหม่จนกว่าจะทำการย้าย "1" ไปยังทุกๆ  $b$ , ในแถวของ  $P_k$

บรรทัดที่ 13 ถ้า *chk* มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่ามีการมิวเตชันสำเร็จให้ ส่งค่าโครโมโซมลูก (Child chromosome) กลับไป

บรรทัดที่ 14 ถ้า *chk* มีค่าไม่เท่ากับ 1 แสดงว่าการมิวเตชันทำไม่สำเร็จให้ ส่งค่าโครโมโซมพ่อกลับไป ตัวอย่างการมิวเตชัน ของประชากรตัวที่ 1 คูในรูปที่ 5.7

โครโมโซมพ่อ						แบนวิดท์คงเหลือ	ค่าต้นทุนรวมของ $P_2$ ในแต่ละ $b_i$				
	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$		$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
$b_1$	0	0	1	0	0	80	$b_1$	50			
$b_2$	1	0	0	0	0	95	$b_2$	50			
$b_3$	0	1	0	0	0	95	$b_3$	100			
$b_4$	0	0	0	1	0	90	$b_4$	0			
$b_5$	0	0	0	0	1	95	$b_5$	0			

ต้นทุนรวม 900

โครโมโซมลูก						แบนวิดท์คงเหลือ
	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	
$b_1$	0	1	1	0	0	75
$b_2$	1	0	0	0	0	95
$b_3$	0	0	0	0	0	100
$b_4$	0	0	0	1	0	90
$b_5$	0	0	0	0	1	95

ต้นทุนรวม 850

รูปที่ 5.7 แสดงตัวอย่างวิธีมิวเตชันแบบฮิวริสติก

จากรูปที่ 5.7 เริ่มต้นจาก HGA ได้ทำการเลือกโครโมโซมตัวที่ 1 จาก mating pool มามิวเตชัน จากนั้นทำการสุ่มเลือก  $P_k$  มาหนึ่งแถวเพื่อที่จะใช้ในการมิวเตชัน ซึ่งการสุ่มในตัวอย่างเราได้แถวของ  $P_2$  มาทำการมิวเตชัน จากนั้นค้นหาค่าต้นทุนที่ต่ำที่สุดของแต่ละท่อส่งข้อมูล  $b_i$  ที่กระแสน้ำข้อมูลทั้งหมดมีจุดหมายปลายทางที่  $P_2$  แต่ยังคงต้องคำนึงถึงกฎในการย้ายค่า “1” ไปในแต่ละท่อส่งข้อมูล  $b_i$  จะต้องเป็นสมาชิกอยู่ในเซตของ  $Out(2)$  เสมอ ซึ่งสมาชิกของ  $Out(2)$  ประกอบไปด้วย  $b_1, b_2$  และ  $b_3$  จากรูปที่ 5.7 จะเห็นได้ว่าโครโมโซมพ่อมีตำแหน่ง “1” อยู่ที่  $b_3$  ถ้าย้ายไปที่ตำแหน่ง  $b_1$  หรือ  $b_2$  ซึ่งจะให้ค่าต้นทุนรวมที่ต่ำกว่า จากนั้นทำการสลับที่ตำแหน่ง “1” ของ  $b_3$  ไป  $b_1$  ทำให้ได้ต้นทุนรวมที่ต่ำกว่าโครโมโซมพ่อ คือ 850 หน่วย และแบนวิดท์ของท่อส่งข้อมูล  $b_3$  กลับมาเป็นค่าเริ่มต้นคือ 100 หน่วย และค่าแบนวิดท์ของ  $b_1$  ลดลงเหลือ 75 ซึ่งยังไม่เกินค่าความจุท่อส่งข้อมูล ถ้าหากมีการย้ายมาแล้วเกิดความจุท่อส่งข้อมูลเต็ม หรือไม่มีค่าที่ต่ำกว่าค่าเดิมที่มีอยู่ให้ยกเลิกการย้ายตำแหน่งแล้วทำการสุ่มค่า  $P_k$  ขึ้นมาใหม่จนกว่าจะครบตามจำนวนครั้งของ  $k$  จะเห็นได้ว่าวิธีฮิวริสติกมิวเตชันจะให้ผลของโครโมโซมลูกที่ดีกว่าเก่าเสมอ

โดยสรุปการมิวเตชันและครอสโอเวอร์โดยการใช้วิธีฮิวริสติก เป็นการดัดแปลงการมิวเตชันและครอสโอเวอร์แบบเดิม ซึ่งเป็นแบบสุ่มที่ไม่มีการคำนึงว่าผลที่ได้จากการทำงานจะดีขึ้นหรือแย่ลง การนำวิธีฮิวริสติกเข้ามาประยุกต์ใช้ในการแทนการสุ่ม โดยที่ทำให้เมื่อมีการทำมิวเตชันหรือครอสโอเวอร์แล้ว ผลของโครโมโซมลูกที่จะได้ออกมาจะต้องมีค่าที่ดีขึ้นแทน

## บทที่ 6

# การทดลองและวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของแต่ละอัลกอริทึม

### 6.1 สภาพแวดล้อมในการทดลอง

การจำลองสภาพแวดล้อมของเครือข่ายที่นำมาใช้ในการทดลองภายในงานวิจัย เราได้อ้างอิงข้อมูลและตัวแปรต่างๆ ในการสร้างเครือข่าย รูปแบบของกระแสข้อมูล รวมถึงกำหนดต่างๆ จาก [6] และทำการทดลองกับเครือข่ายที่ทำการสุ่มสร้างขึ้นมา 100 เครือข่าย รวมถึงกระแสข้อมูลที่ให้อยู่ในแต่ละเครือข่าย โดยมีรายละเอียดต่างๆ ดังต่อไปนี้

#### การจำลองเครือข่าย

เครือข่าย 100 เครือข่ายที่ใช้ในการทดสอบอัลกอริทึมต่างๆ เราจะกำหนดค่าต่างๆ สำหรับจำนวนบอเคอร์เราเตอร์ภายในโลกคอลเอเอสมีค่าเป็น  $X$  จำนวนของเครือข่ายเอเอสข้างเคียงมีค่าเป็น  $H$  และจำนวนหมายเลขเครือข่ายต้องส่งผ่านข้อมูลผ่านเป็น  $K$  สำหรับรูปแบบเครือข่ายที่ได้มีการสร้างขึ้นมามีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

1. สร้างเซตของท่อนส่งข้อมูล  $b$ ,
2. สร้างเซตของหมายเลขเครือข่าย  $P_k$ ,
3. ค่าต้นทุนระยะทางระหว่างบอเคอร์เราเตอร์ จะสุ่มค่าระหว่าง  $[10...100]$  โดยที่จะให้ค่าของ  $d(i, j) = d(j, i)$
4. ค่าจำนวนท่อนส่งข้อมูลของบอเคอร์เราเตอร์ สุ่มค่าระหว่าง  $[1...3]$  จากเซตของท่อนส่งข้อมูล ซึ่งแต่ละบอเคอร์เราเตอร์จะต้องได้ท่อนส่งข้อมูลที่ไม่ซ้ำกัน
5. สำหรับแต่ละเครือข่ายเอเอสข้างเคียงหรือ  $A_h$  มีเซตของ  $In(h)$  หรือเซตของท่อนส่งข้อมูลขาเข้าของแต่ละ  $A_h$  ซึ่งสุ่มจากเซตของท่อนส่งข้อมูลระหว่าง  $[1...3]$  ท่อนส่งข้อมูล
6. สำหรับแต่ละหมายเลขเครือข่าย  $P_k$  มีเซตของ  $Out(k)$  จะสุ่มเลือกท่อนส่งข้อมูลขาออกจำนวน  $[2...5]$  จากเซตของท่อนส่งข้อมูล

#### การจำลองกระแสข้อมูล

โดยสมมติให้ทุกๆ เครือข่ายเอเอสข้างเคียงมีการส่งข้อมูลไปยังทุกหมายเลขเครือข่ายปลายทาง โดยที่มีขนาดของข้อมูล เป็นการสุ่มค่าจาก  $[0...20]$  หน่วย โดยที่การทดลองไม่อนุญาตให้มีลูป และถ้าเครือข่ายเอเอสข้างเคียงมีการประกาศค่าหมายเลขเครือข่ายปลายทาง  $P_k$  มา เครือข่ายนั้นจะไม่สามารถส่งข้อมูลไปหา  $P_k$  ผ่านโลกคอลเอเอสได้

## 6.2 การทดลองในปัญหาการเลือกเส้นทางแบบใช้ทางออกทางเดียว

ภายในงานวิจัยในงานการเลือกเส้นทางแบบใช้ทางออกทางเดียวของบีจีพี ได้ทำการทดลองโดย สุ่มสร้างโทโปโลยีของเครือข่ายโคคอลเอเอส เป็นจำนวน 100 เครือข่าย เพื่อนำมาใช้ในการทดลอง โดยทำการทดลองกับอัลกอริทึมต่างๆ ดังต่อไปนี้

### 6.2.1 อัลกอริทึมบีทีเอฟ (Biggest Traffic First: BTF)

สำหรับหลักการการทำงานของอัลกอริทึมบีทีเอฟ มีการทำงานอย่างง่ายๆ โดยที่ จะเรียงกระแสข้อมูลจากทุกๆ เอเอสจากปริมาณมากไปหาน้อย จากนั้นทำการกำหนดเส้นทางโดยฟังก์ชัน  $f(A_h, b, P_k)$  โดยกระแสข้อมูล  $t(h,i,k)$  ที่มีปริมาณมาก จะได้สิทธิในการเลือกท่อส่งข้อมูลโดยเลือกท่อส่งข้อมูลที่ใกล้ที่สุดสำหรับ  $P_k$  ก่อน และเมื่อมีการเลือกท่อส่งข้อมูลขาออกไปแล้ว กระแสข้อมูลอื่นที่ตามมาเพื่อที่จะไปหมายเลขเครือข่าย  $P_k$  จะต้องเลือกท่อส่งข้อมูลเดิมเสมอ ไม่สามารถเลือกท่อส่งข้อมูลอื่นได้ การทำงานของอัลกอริทึมบีทีเอฟแสดงอยู่ในรูปที่ 6.1

**Biggest Traffic First Algorithm**  
**Inputs:**  $t(h, i, k)$  for all  $h, i, k$ ;  $d(i, j)$  for all  $i, j$   
**Outputs:**  $f$

- 1: For all  $j$ , set  $U_j = 0$ .                    /\*  $U_j$  records the amount of traffic assigned to  $b_j$ . \*/
- 2: Sort  $t(h, i, k)$  in an ordered list  $T$ .
- 3: For all  $k$ , set  $f(k) = 0$ .                /\* Initialize assignment to null. \*/
- 4: For each  $t(h, i, k)$  in  $T$ .
- 5:    if (  $f(k) \neq 0$  ) then
- 6:            Sort  $j \in \text{Out}(k)$  in non-decreasing order of  $\sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^I d(i,j) t(h,i,k)$  to form an ordered list  $J$ .
- 7:            For each  $j$  in the ordered list  $J$
- 8:                if (  $U_j + t(h,i,k) \leq C_j$  ) then                /\* Check for capacity violation \*/
- 9:                        Set  $f(k) = j$ .                        /\* Egress link  $b_j$  is selected \*/
- 10:                        Set  $U_j = U_j + t(h,i,k)$
- 11:                        If  $f(k) = 0$ , quit program.
- 12:    Else
- 13:                if (  $U_j + t(h,i,k) \leq C_j$  ) then
- 14:                        Set  $U_j = U_j + t(h,i,k)$
- 15:                        Else quit program.
- 16: End

รูปที่ 6.1 แสดงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมบีทีเอฟ

### 6.2.2 อัลกอริทึมเอ็มพีพีเอฟ (Most Popular Prefix First:MPPF)

การทำงานของอัลกอริทึมเอ็มพีพีเอฟในการทดลองปัญหาการเลือกเส้นทางแบบใช้ทางออกทางเดียวของบีจีพี เป็นการนำวิธีฮิวริสติกมาใช้แก้ปัญหาอีกวิธีหนึ่ง โดยเริ่มต้นจากการรวมค่าแบนวิดท์แต่ละ  $P_k$  เข้าด้วยกัน จากนั้นเรียงลำดับจากมากไปน้อย โดยให้กลุ่มของกระแสข้อมูลที่จะไป  $P_k$  เดียวกันและปริมาณแบนวิดท์สูงเลือกทอส่งข้อมูลที่ใช้ต้นทุนต่ำที่สุดก่อน ซึ่งเหมือนกับเป็นสิทธิพิเศษกับหมายเลขเครือข่ายที่มีปริมาณการส่งข้อมูลมากเลือกก่อน วิธีนี้จึงถูกเรียกว่า Most Popular Prefix First (MPPF) ตัวอย่างการทำงานของอัลกอริทึมเอ็มพีพีเอฟแสดงอยู่ในรูป 6.2

<b>Most Popular Prefix First Algorithm</b>	
Inputs: $t(h, i, k)$ for all $h, i, k$ ; $d(i, j)$ for all $i, j$	
Outputs: $f$	
1:	For all $j$ , set $U_j = 0$ . /* $U_j$ records the amount of traffic assigned to $b_j$ . */
2:	Compute
3:	$p_k = \sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^I t(h, i, k) \text{ for all } k \in [1, K]$
4:	Sort $k$ in non-increasing order of $p_k$ to form an ordered list $K$ .
5:	For all $k$ , set $f(k) = 0$ . /* Initialize assignment to null. */.
6:	For each $k$ in the ordered list $K$
7:	Sort $j \in \text{Out}(k)$ in non-decreasing order of $\sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^I d(i, j) t(h, i, k)$ to form an ordered list $J$ .
8:	For each $j$ in the ordered list $J$
9:	if ( $U_j + p_k \leq C_j$ ) then /* Check for capacity violation */
11:	Set $f(k) = j$ . /* Egress link $b_j$ is selected */
12:	Set $U_j = U_j + p_k$
13:	If $f(k) = 0$ , quit program.
14:	End

รูปที่ 6.2 แสดงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมเอ็มพีพีเอฟ

### 6.2.3 อัลกอริทึมจีเนติกแบบง่าย (SGA)

อัลกอริทึมจีเนติกที่ใช้ในการทดลองปัญหาการเลือกเส้นทางแบบใช้ทางออกทางเดียวของบีจีพี แบบอัลกอริทึมจีเนติกแบบง่าย โดย การครอส โอเวอร์ โดยให้ค่า  $P_c = 0.8$  ค่า  $P_m = 0.02$  และจำนวนประชากรเริ่มต้นที่ 50 สำหรับฟังก์ชันในการสุ่มประชากรเริ่มต้นทำที่ 30000 ครั้งต่อประชากรหนึ่งตัวสำหรับการสุ่มประชากรเริ่มต้น โดยคำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหา ซึ่งแทนด้วย SGA (S) และสุ่มประชากรเริ่มต้นเพียงครั้งเดียวกับวิธีการสุ่มประชากรเริ่มต้น โดยไม่คำนึงเงื่อนไขของปัญหา ซึ่งแทนด้วย SGA (L)

#### 6.2.4 อัลกอริทึมจินเนติกและฮิวริสติก (HGA)

การปรับปรุงอัลกอริทึมจินเนติกที่ใช้ในการทดลองปัญหาการเลือกเส้นทางแบบใช้ทางออกทางเดียวของบีจีพี โดยใช้วิธีฮิวริสติกในการมิวเตชันและครอสโอเวอร์ โดยการเลือกค่าต้นทุนที่ต่ำที่สุด ในการปรับเปลี่ยนบิตในแถวของหมายเลขเครือข่าย  $P_x$  ไปยังจุดที่มีค่าต้นทุนรวม น้อยที่สุด โดยที่ไม่ขัดกับค่าจำกัดด้านปริมาณท่อส่งข้อมูล โดยให้ค่า  $P_m = 0.02$   $P_c = 0.8$  และ จำนวนประชากรเริ่มต้นที่ 50 สำหรับฟังก์ชันในการสุ่มประชากรเริ่มต้นทำที่ 30000 ครั้งต่อ ประชากรหนึ่งตัวสำหรับการสุ่มประชากรเริ่มต้นโดยคำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหา ซึ่งแทนด้วย HGA (S) และสุ่มประชากรเริ่มต้นเพียงครั้งเดียวกับวิธีการสุ่มประชากรเริ่มต้นโดยไม่คำนึง เงื่อนไขของปัญหา ซึ่งแทนด้วย HGA (L)

### 6.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองของปัญหาการเลือกเส้นทางแบบใช้ทางออกทางเดียว

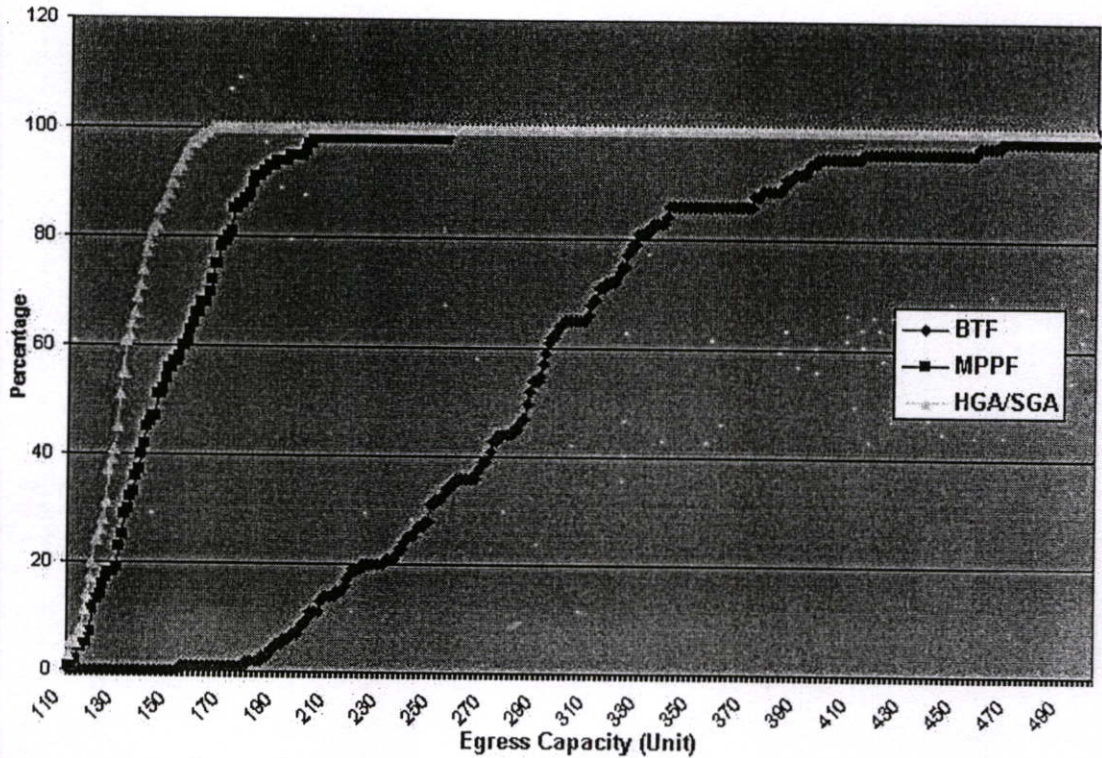
การทำการวิจัยและทดลองปัญหาการเลือกเส้นทางแบบใช้ทางออกทางเดียวของบีจีพี จะ ทำการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบผลของแต่ละอัลกอริทึม โดยจะแบ่งออกเป็นสองลักษณะคือ

- การเปรียบเทียบด้านการค้นพบคำตอบ
- การเปรียบเทียบด้านต้นทุนรวมของคำตอบ
- การเปรียบเทียบด้านเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ

#### 6.3.1 การเปรียบเทียบด้านการค้นพบคำตอบ

เป็นการเปรียบเทียบความสามารถของแต่ละอัลกอริทึม ในการค้นหาคำตอบในแต่ละ ขนาดของท่อส่งข้อมูลขาออก สำหรับความหมายของคำตอบคือ เครือข่ายจะต้องส่งกระแสข้อมูล ทั้งหมดที่วิ่งผ่านเครือข่ายไปยังเครือข่ายปลายทางได้ทั้งหมด ตามข้อกำหนดในสมการที่ (4.3) ดังนั้นอัลกอริทึมที่ดีควรจะคำนวณการส่งข้อมูล โดยใช้ขนาดท่อส่งข้อมูลมีขนาดจำกัด ซึ่งเป็น ขนาดที่พอดีหรือใกล้เคียงกับปริมาณข้อมูลที่ส่งผ่านเครือข่าย การที่สามารถใช้ขนาดท่อส่งข้อมูล ใต้น้อยกว่าโดยที่ปริมาณข้อมูลที่ส่งเท่ากันนั้น แสดงว่าเครือข่ายสามารถลดต้นทุนด้านการ เชื่อมต่อระหว่างไอเอสพี ซึ่งเป็นต้นทุนหลักในการดำเนินงานของไอเอสพี ในขณะที่เรายัง สามารถให้บริการกับลูกค้าได้เท่าเดิม

เริ่มต้นจากการเปรียบเทียบผลการทดลองของอัลกอริทึม SGA (L) และ SGA(S) รวมถึง HGA (L) และ HGA (S) ซึ่งเป็นจินเนติกอัลกอริทึมจึงแทนด้วย SGA และ HGA สำหรับ BTS กับ MPPF ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่ได้ถูกพัฒนามาก่อนในเอกสาร [6] และใช้เป็นพื้นฐานในการ เปรียบเทียบกับอัลกอริทึมที่เราได้พัฒนาขึ้นมาทั้งหมด ผลการทดลองที่ได้ด้านการค้นพบคำตอบ ทั้งหมดของ 100 เครือข่ายที่ใช้ในการทดลองแสดงอยู่ในรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 แสดงผลการทดลองในการเปรียบเทียบด้านการค้นหาคำตอบ

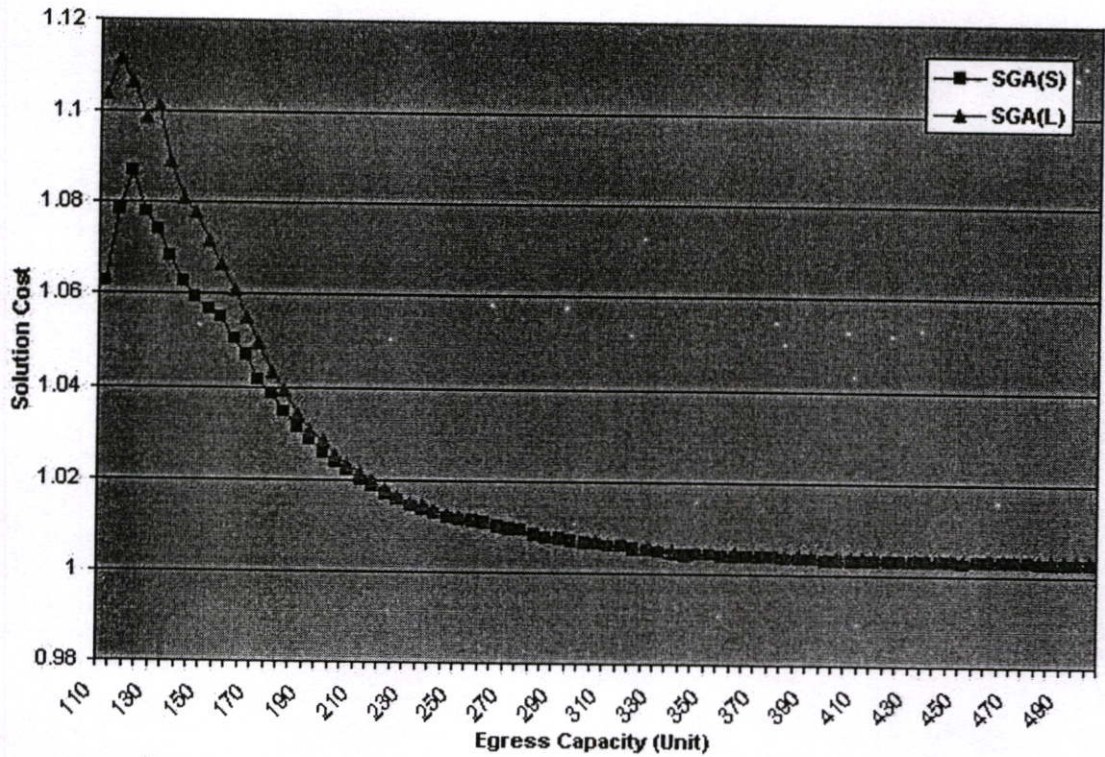
ในรูปที่ 6.3 แสดงผลการทดลองในการเปรียบเทียบด้านการค้นหาคำตอบ โดยแกนแนวนอนแทนค่าขนาดของท่อส่งข้อมูล ซึ่งมีหน่วยเป็นยูนิต ซึ่งถ้านำมาเทียบเคียงกับในสภาวะปัจจุบัน อาจแทนค่าเป็นเมกะบิต (Mbps) โดยเริ่มต้นจาก 110 หน่วยซึ่งเป็นค่าขนาดท่อส่งข้อมูลแรกที่มีการพบคำตอบ จนถึง 500 หน่วยซึ่งเป็นค่าขนาดท่อส่งข้อมูลที่ทุกอัลกอริทึมสามารถหาคำตอบได้ทั้งหมดหรือโทโปโลยีเครือข่าย ส่วนแกนในแนวตั้งแทนค่าเปอร์เซ็นต์การค้นพบคำตอบ ซึ่ง การที่อัลกอริทึมค้นพบคำตอบ 100% แสดงให้เห็นว่าสามารถหาคำตอบได้ครบทั้ง 100 เครือข่าย จากการทดลองโดยทำการเปรียบเทียบระหว่าง อัลกอริทึม SGA(S) , SGA(L) ซึ่งแทนด้วย SGA และ HGA(S) , HGA(L) ซึ่งแทนด้วย HGA และ MPPF กับ BTF ซึ่งผลการทดลองจะเห็นได้ว่าอัลกอริทึมจินเนติก SGA และ HGA สามารถค้นหาคำตอบได้ 100% ในขณะที่ใช้ขนาดของท่อส่งข้อมูลที่ 162 หน่วย ซึ่งจินเนติกอัลกอริทึมที่ใช้ในการทดสอบนี้ ยังประกอบย่อยๆ ไปด้วย SGA และ HGA แบบการสุ่มประชากรเริ่มต้น โดยคำนึงและไม่คำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหาซึ่งทั้งหมดพบคำตอบที่เหมือนกัน แต่สำหรับ MPPF จะพบคำตอบ 100% ในขณะที่ใช้ขนาดของท่อส่งข้อมูลที่ 254 หน่วยและ BTF ที่เจอคำตอบทั้ง 100 เครือข่ายที่ 464 ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์แล้ว จะทำให้เห็นว่าอัลกอริทึม SGA และ HGA ทำงานได้ดีกว่า MPPF ถึง 36% และยังสามารถค้นหาคำตอบได้ดีกว่า BTF ถึง 65% สรุปผลการทดลองในด้านการค้นหาคำตอบแสดงให้เราเห็นว่า อัลกอริทึม SGA และ HGA สามารถหาค้นพบคำตอบได้ในขณะที่ปริมาณท่อส่งข้อมูลมีขนาดใกล้เคียงกับปริมาณข้อมูลที่ส่ง

สำหรับ SGA (S) และ HGA (S) แบบการสุ่มประชากรเริ่มต้นโดยคำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหาสามารถหาคำตอบได้ถูกต้องจากการทดลองทั้งหมดจากทั้ง 100 เครื่องข่ายทำการทดลองเริ่มตั้งแต่ขนาดท่ส่งข้อมูล 100 หน่วยไปจนถึง 500 หน่วย และแต่ละขนาดท่ส่งข้อมูลทำการทดลอง 100 ครั้ง ส่วน SGA (L) และ HGA (L) แบบการสุ่มประชากรเริ่มต้นโดยไม่คำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหานั้น มีความผิดพลาดในการหาคำตอบ 1.73% ซึ่งความผิดพลาดในส่วนนี้ เกิดจากการที่ทำการทดลอง 100 ครั้งใน 1 ขนาดท่ส่งข้อมูลของเครื่องข่าย ไม่สามารถหาคำตอบได้ครบทั้ง 100 ครั้ง

### 6.3.2 การเปรียบเทียบด้านต้นทุนรวมของคำตอบ

เป็นการเปรียบเทียบด้านประสิทธิภาพของอัลกอริทึมในด้านค่าของคำตอบที่แต่ละอัลกอริทึมหามาได้นั้น อัลกอริทึมใดสามารถหาค่าต้นทุนรวมของการส่งข้อมูลผ่านเครื่องข่ายได้ต่ำกว่ากัน สำหรับการกำหนดค่าต้นทุนการเดินทางผ่านเครื่องข่าย เป็นการหมายถึงการกำหนดค่าความสำคัญให้กับทรัพยากรภายในเครื่องข่าย เช่น โหลดของอุปกรณ์ที่ข้อมูลวิ่งผ่าน จำนวนพอร์ตปริมาณโหลดของท่ส่งข้อมูลภายใน กระแสข้อมูลที่เดินทางผ่านอุปกรณ์เหล่านั้นหมายถึงการใช้ทรัพยากรภายในเครื่องข่าย ดังนั้นการที่อัลกอริทึมไหนที่สามารถหาค่าต้นทุนรวมที่ข้อมูลวิ่งผ่านเครื่องข่ายได้ต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่า การส่งข้อมูลผ่านเครื่องข่ายใช้ทรัพยากรของเครื่องข่ายได้มีประสิทธิภาพมากที่สุดเช่นกัน

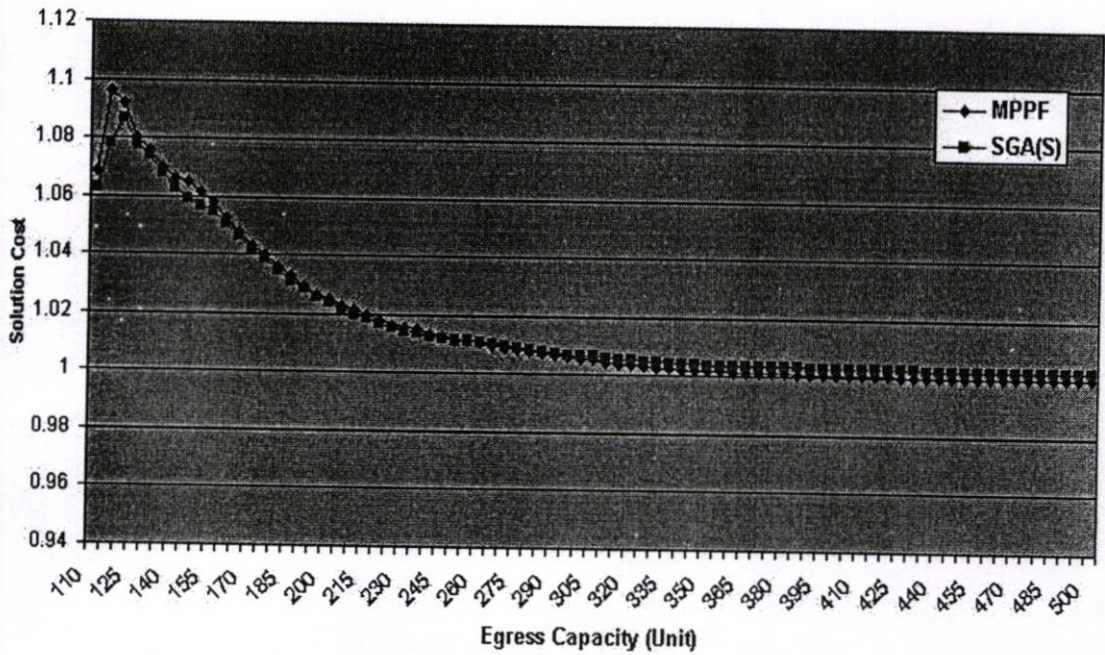
การเริ่มต้นของการทดลองเพื่อที่จะได้อัลกอริทึมจีเนติก ที่สามารถหาค่าต้นทุนมีประสิทธิภาพมากที่สุด หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือการหาว่าจีเนติกอัลกอริทึมใดสามารถหาค่าต้นทุนได้ต่ำที่สุด โดยเริ่มต้นเปรียบเทียบกันระหว่าง SGA (S) แบบการสุ่มประชากรเริ่มต้นโดยคำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหา และ SGA (L) แบบการสุ่มประชากรเริ่มต้นโดยไม่คำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหา ซึ่งผลการทดลองด้านต้นทุนรวมระหว่าง SGA (L) และ SGA (S) สำหรับการเปรียบเทียบด้านต้นทุนรวมระหว่าง SGA (L) และ SGA (S) จะทำการทดลองกับเครื่องข่าย 100 โดยเปรียบเทียบกันในการหาค่าต้นทุนต่ำสุด ซึ่งการที่คำตอบที่ได้มีค่าเข้าใกล้ 1 มากเท่าไรแสดงว่าคำตอบนั้นเป็นจุดที่เหมาะสมที่สุดในเครื่องข่ายนั้น



รูปที่ 6.4 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าต้นทุนรวมระหว่าง SGA (S) และ SGA (L)

จากรูปที่ 6.4 แสดงให้เห็นถึงผลการทดลองของ SGA (S) และ SGA (L) โดยที่แกนแนวนอนแทนด้วยขนาดท่อส่งข้อมูล และแกนแนวตั้งแสดงค่าต้นทุนรวม โดยที่ค่าต้นทุนรวมที่ดีที่สุดของปัญหาถูกแทนที่ด้วย 1 จากผลการทดลองการคำนวณหาค่าต้นทุนต่ำสุด จะเห็นได้ว่า SGA (S) ซึ่งเป็นแบบการสุ่มประชากรเริ่มต้นโดยคำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหา สามารถหาค่าต้นทุนได้ต่ำกว่าแบบ SGA (L) ซึ่งเป็นแบบการสุ่มประชากรเริ่มต้นโดยไม่คำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหา

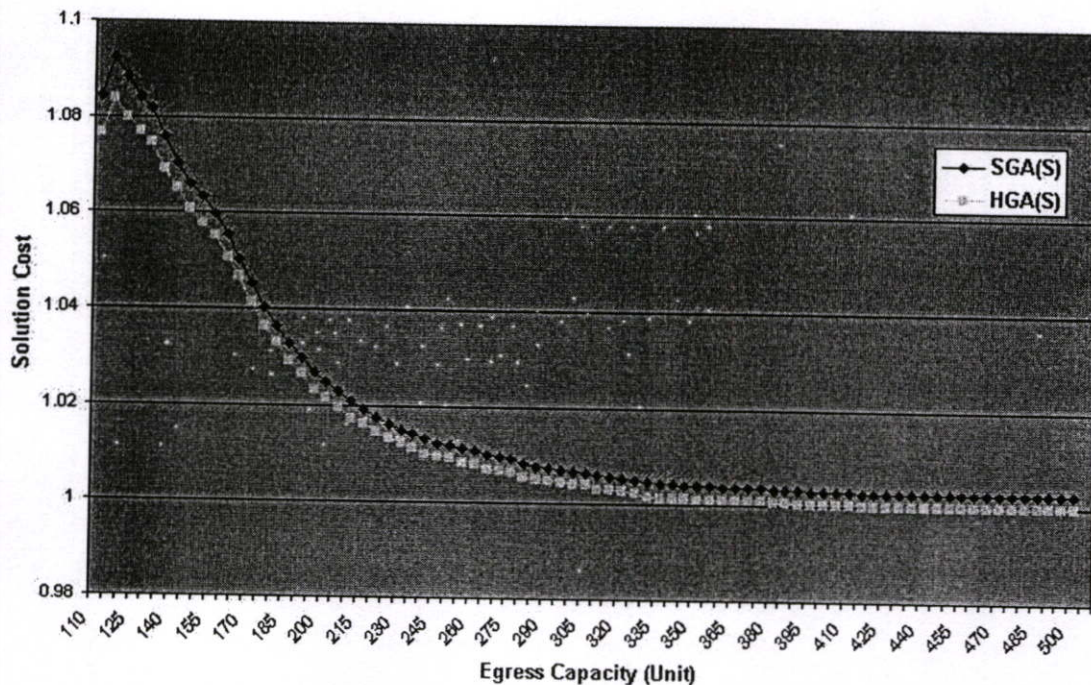
ดังนั้นการทดลองขั้นต่อไป จะเป็นการเปรียบเทียบเฉพาะจีเนติกอัลกอริทึมแบบการสุ่มประชากรเริ่มต้นโดยคำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหา กับอัลกอริทึมอื่นๆ สำหรับการเปรียบเทียบค่าต้นทุนรวมระหว่าง SGA (S) และ MPPF ซึ่งทำการทดลองกับเครือข่าย 100 เครือข่าย และทำการเปรียบเทียบเฉพาะเครือข่ายที่ทั้ง SGA (S) และ MPPF สามารถค้นหาคำตอบได้เท่านั้น ผลของการทดลองแสดงอยู่ในรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าต้นทุนรวมระหว่าง SGA (S) และ MPPF

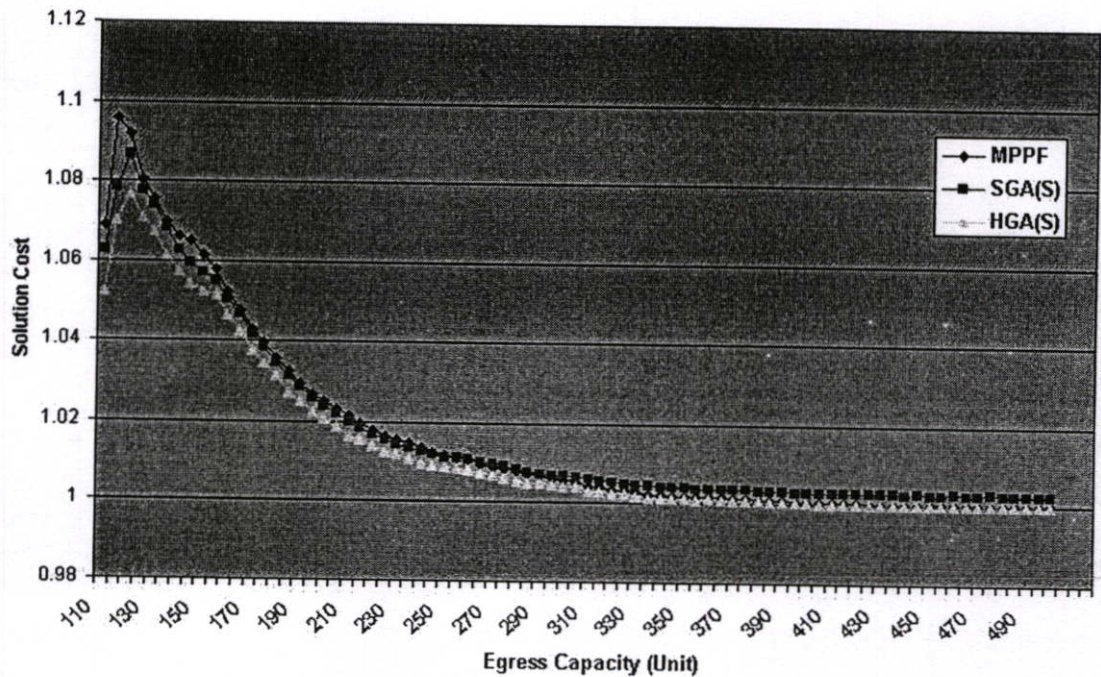
จากรูปที่ 6.5 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าต้นทุนรวมระหว่าง SGA (S) และ MPPF โดยที่แกนแนวนอนแทนด้วยขนาดท่อส่งข้อมูล และแกนแนวตั้งแสดงค่าต้นทุนรวม โดยที่ค่าต้นทุนรวมที่ดีที่สุดของปัญหาถูกแทนที่ด้วย 1 จากผลการทดลองอัลกอริทึม SGA (S) สามารถหาค่าต้นทุนรวมในการเดินทางผ่านเครือข่ายได้ดีกว่า ในขณะที่ขนาดของท่อส่งข้อมูลอยู่ระหว่าง 110 หน่วย ถึง 255 หน่วยซึ่งสามารถหาค่าต้นทุนรวมได้ต่ำกว่า MPPF 0.25% สำหรับการเปรียบเทียบกับระหว่าง SGA (S) และ MPPF จะเห็นได้ว่า ผลลัพธ์ที่ได้นั้นมีขนาดใกล้เคียงกัน และในกรณีที่ขนาดท่อส่งข้อมูลมีขนาดกว้างขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ข้อจำกัดด้านขนาดท่อส่งข้อมูลลดลง แต่ผลที่ได้จะเห็นได้ว่า SGA (S) ให้คำตอบที่สูงกว่า MPPF ในช่วงดังกล่าว ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลให้มีการปรับปรุงการทำงานของ SGA (S) ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยการนำวิธีฮิวริสติกเข้ามาช่วย

อัลกอริทึมที่เกิดจากการปรับปรุง SGA (S) โดยการใช้วิธีครอส โอเวอร์และมิวเตชันแบบฮิวริสติกเข้ามาช่วยคือ HGA (S) ผลที่ได้ของ HGA (S) สามารถแก้ไขจุดบกพร่องของ SGA (S) ในด้าน การหาค่าต้นทุนรวม และความเร็วในการหาคำตอบ รูปที่ 6.6



รูปที่ 6.6 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าต้นทุนรวมระหว่าง SGA (S) และ HGA (S)

รูปที่ 6.6 เป็นการแสดงผลการเปรียบเทียบค่าต้นทุนรวมระหว่าง SGA (S) และ HGA (S) โดยเปรียบเทียบในขณะที่เครือข่ายสามารถหาคำตอบของปัญหาได้ โดยที่ใช้ขนาดท่ส่งข้อมูลเท่ากัน ซึ่งทั้งสองอัลกอริทึมนี้สามารถหาคำตอบได้เท่ากัน แตกต่างกันเฉพาะผลลัพธ์ค่าต้นทุนรวมของเครือข่าย จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อัลกอริทึม HGA (S) ที่ได้รับการปรับปรุงแล้วนั้นสามารถหาค่าต้นทุนรวม ตั้งแต่ขนาดท่ส่งข้อมูล 110 หน่วยจนถึง 500 หน่วยได้ต่ำกว่า SGA (S) โดยเฉลี่ยแล้ว 0.34% และเมื่อนำทั้ง 3 อัลกอริทึมมาเปรียบเทียบกันแล้วผลที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.7 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าต้นทุนรวมระหว่าง SGA (S), HGA (S) และ MPPF

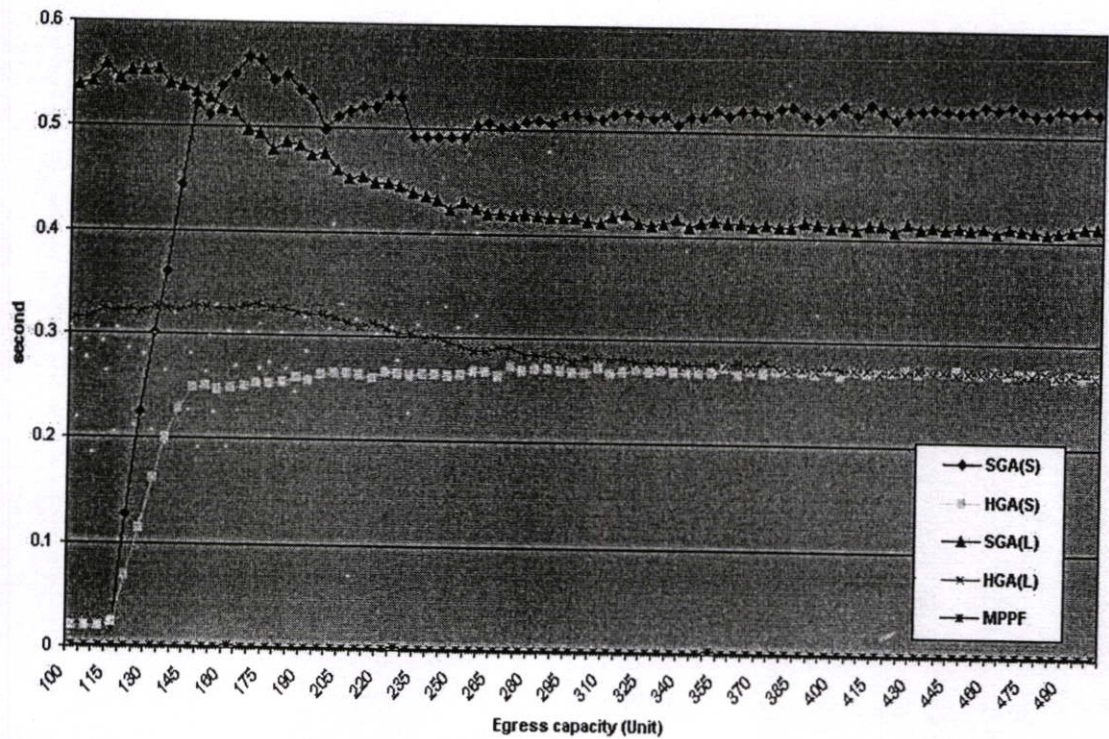
สำหรับการเปรียบเทียบค่าต้นทุนรวมของทั้ง 3 อัลกอริทึม จะมีการเปรียบเทียบเฉพาะเครือข่ายที่สามารถค้นพบคำตอบ โดยที่ใช้ท่อส่งข้อมูลขนาดเท่ากัน ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ในกรณีที่ขนาดของท่อส่งข้อมูลมีขนาดเล็ก เช่นขนาดท่อส่งข้อมูลตั้งแต่ 110 หน่วยถึง 250 หน่วยค่าต้นทุนรวมของเครือข่ายที่เป็นคำตอบของอัลกอริทึม HAG (S) มีค่าต่ำกว่า MPPF 0.67% แต่เมื่อขนาดท่อส่งข้อมูลเพิ่มไปเรื่อยๆ จะเห็นได้ว่าทุกอัลกอริทึมจะค้นพบคำตอบที่เข้าใกล้ค่าที่เหมาะสมที่สุดเหมือนกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าอัลกอริทึม MPPF และ HGA (S) ให้ค่าที่เท่ากันเมื่อในกรณีนี้ แต่ SGA (S) จะให้ค่าสูงกว่าเล็กน้อย แต่สำหรับการเพิ่มขนาดของท่อส่งข้อมูลมากขึ้นเท่าไร เครือข่ายก็จะต้องมีต้นทุนการดำเนินงานเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

### 6.3.3 การเปรียบเทียบด้านเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ

สำหรับการเปรียบเทียบด้านเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ จะเป็นการเปรียบเทียบด้านประสิทธิภาพของอัลกอริทึม ดังนั้นการทดลองจึงต้องทำอยู่บนสถานะแวดล้อมเดียวกัน โดยได้ทำการทดลองบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีรายละเอียดของเครื่องดังนี้

1. ซีพียู Intel Pentium4 2.6 GHz
2. หน่วยความจำ 512MB
3. ฮาร์ดดิสก์ 40GB
4. ระบบปฏิบัติการ Windows XP

อัลกอริทึมที่ใช้ในการเปรียบเทียบได้แก่ MPPF BTf SGA (S) SGA (L) และ HGA (S) HGA (L) ผลการทดลองแสดงอยู่ในรูปที่ 6.8



รูปที่ 6.8 แสดงเวลาการทำงานของแต่ละอัลกอริทึม

จากรูปที่ 6.8 แสดงผลการทดลองด้านเวลาที่ใช้ในการทำงานของอัลกอริทึม MPPF และจีเนติก ซึ่งประกอบไปด้วย SGA (S) และ HGA (S) แบบการสุ่มประชากรเริ่มต้นโดยคำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหา และ SGA (L) และ HGA (L) แบบการสุ่มประชากรเริ่มต้นโดยไม่คำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหา แกนแนวนอนแทนขนาดท่อส่งข้อมูล แกนแนวตั้งแทนเวลาการทำงานซึ่งมีหน่วยเป็นวินาที จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าอัลกอริทึม MPPF ใช้เวลาในการทำงานเพียง 0.002 วินาที แต่อัลกอริทึม SGA (S) ใช้เวลาโดยเฉลี่ย 0.5 วินาที ส่วน SGA (L) ใช้เวลา 0.4 วินาที และอัลกอริทึม HGA (S) ซึ่งได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานจาก SGA แล้วทำให้เวลาการทำงาน โดยเฉลี่ย 0.25 วินาที และ HGA (L) ที่ใช้เวลาใกล้เคียงกับ HGA (S)

สำหรับข้อแตกต่างกันระหว่างจีเนติกอัลกอริทึมแบบการสุ่มประชากรเริ่มต้นโดยคำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหาและไม่คำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหานั้นจะเห็นได้ว่า ในช่วงที่ไม่สามารถหาคำตอบได้ คือช่วงที่ท่อส่งข้อมูลมีขนาด 100 ถึง 115 จะเห็นจากผลการทดลองได้ว่า การที่สุ่มประชากรเริ่มต้น 30000 ครั้งสำหรับการค้นหาประชากรที่ถูกต้องในเรื่องของการส่งข้อมูลไม่ให้เกิดขนาดท่อส่งข้อมูล ใช้เวลาน้อยกว่า การที่เริ่มต้นจากประชากรที่ไม่ถูกต้องที่สุ่มแบบให้การส่งข้อมูลสามารถเกิดขนาดท่อส่งข้อมูลได้ถึง 0.5 วินาที ซึ่งสรุปได้ว่า จีเนติกแบบการสุ่มประชากรเริ่มต้นโดยคำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหานั้นใช้เวลาการทำงานน้อยกว่าแบบการสุ่มประชากรเริ่มต้นโดยไม่คำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหา

## บทที่ 7

# สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

สำหรับเนื้อหาภายในบทที่ 7 ประกอบไปด้วย การสรุปผลการวิจัยเรื่องการแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางแบบใช้ทางออกทางเดียว รวมถึงข้อเสนอแนะสำหรับการนำงานวิจัยชิ้นนี้ไปพัฒนาต่อและข้อเสนอแนะนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

### 7.1 ข้อเสนอแนะในการพัฒนางานวิจัย

ในงานวิจัยได้เริ่มต้นด้วยการนำอัลกอริทึมจินเนติกแบบง่าย (SGA) เข้าไปแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางแบบใช้ทางออกทางเดียว จากนั้นจึงทำการพัฒนาต่อโดยการนำฮิวริสติกเข้าไปช่วยเสริม ซึ่งทำให้ข้อเด่นของอัลกอริทึมแบบจินเนติกที่เป็นมีลักษณะการทำงานเป็นแบบสุ่ม ทั้งในการครอสโอเวอร์และมิวเตชันหมดไป ดังนั้นแนวทางในการปรับปรุงอัลกอริทึมจินเนติกที่นอกเหนือจากการนำฮิวริสติกเข้าไปช่วยแล้ว ยังสามารถปรับปรุงสมรรถนะของอัลกอริทึมจินเนติกได้โดยการคงจุดเด่นของอัลกอริทึมจินเนติกไว้ได้ เช่นการปรับปรุงการครอสโอเวอร์เป็นแบบสองจุด หรือการทำไบนารีมิวเตชันแบบกำหนดค่าบิต หรือวิธีอินเวอร์ชัน (Inversion) รวมไปถึงการปรับปรุงการคัดเลือกต้นแบบ เช่น แบบการอ้างอิงค่าความเหมาะสม แบบเชิงเส้นและแบบตัดส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการรีโพรดักชันประชากรรุ่นใหม่ ด้วยวิธีต่างๆ เช่น การรีโพรดักชันด้วยรักษาสถานะคงที่แบบซ้ำ การรีโพรดักชันโดยรักษาสถานะคงที่แบบไม่ซ้ำ

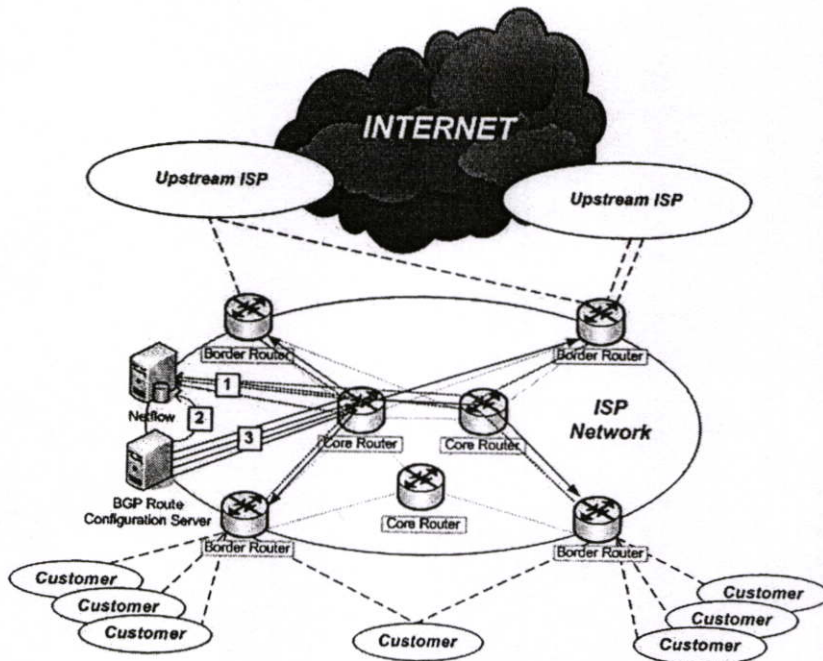
ส่วนในการปรับปรุงเรื่องจุดอ่อนของอัลกอริทึมจินเนติกในเรื่องของค่าตอบ ซึ่งการคำนวณในแต่ละครั้งอาจทำให้ได้ค่าไม่เหมือนกัน และเมื่อมีการนำไปใช้งานในเครือข่ายจริง อาจส่งผลทำให้เกิดปัญหาเรื่อง route flapping ของบีจีพีได้ ซึ่งส่งผลกระทบต่อโดยรวมให้กับระบบ ในเรื่องของความคงที่ของเส้นทาง ดังนั้นวิธีในการแก้ไขจุดอ่อนของอัลกอริทึมจินเนติกในจุดนี้อาจแก้ปัญหา โดยทำการคำนวณอัลกอริทึมจินเนติกหลายๆ รอบเพื่อที่จะนำค่าที่ดีที่สุดเป็นคำตอบ เช่น อาจจะทำการคำนวณ 100 รอบ แล้วจึงเลือกคำตอบที่ดีที่สุดภายใน 100 คำตอบนั้น จากนั้นจึงนำคำตอบที่ได้ไปตั้งค่าให้กับบีจีพีเราเตอร์ภายในเครือข่าย ซึ่งการเพิ่มจำนวนรอบในการคำนวณจะส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับเวลาในการทำงานของอัลกอริทึมจินเนติกซึ่งใช้เวลาในการทำงานค่อนข้างมาก แต่เนื่องจากลักษณะของปัญหานี้เป็นการตั้งค่าให้กับระบบ ทำให้ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องคำนวณผลในทันทีทันใด และสามารถทำการคำนวณแบบออฟไลน์ได้ ดังนั้นผลกระทบในส่วนนี้จึงส่งผลกระทบไม่มากนัก และสำหรับการตั้งค่าให้กับบีจีพีเราเตอร์ภายในเครือข่าย ไม่ควรตั้งค่าถี่เกินไป โดยที่การตั้งค่าเส้นทางของบีจีพีใหม่ภายในเครือข่าย ควรทำเมื่อเครือข่ายมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เช่น มีการเชื่อมต่อกับไอเอสพีรายใหม่ หรือการขยายขนาดท่อส่งข้อมูล รวมถึงการเพิ่มจำนวนเราเตอร์หรือสวิตช์ต่างๆ ภายในเครือข่าย ซึ่งหมายถึง พารามิเตอร์หรือ

อินพุทของโปรแกรมมีการเปลี่ยนแปลงไป จึงส่งผลให้ควรรคำนวณค่าการเลือกเส้นทางภายในเครือข่ายใหม่

## 7.2 ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้งานจริง

สำหรับการนำอัลกอริทึมจินตคณิตและฮิวริสติกส์ไปใช้งานกับปัญหาการตั้งค่าบีจีพีเราเตอร์ สำหรับปัญหาการเลือกเส้นทางแบบใช้ทางออกทางเดียว แบ่งออกเป็นสองส่วนหลักคือ การกำหนดพารามิเตอร์และส่วนการทำงานของอัลกอริทึมจินตคณิตและฮิวริสติก

ส่วนของการตั้งค่าพารามิเตอร์ มีแนวทางในการเก็บข้อมูลอยู่สองแบบ คือการตั้งค่าต่างๆ โดยผู้บริหารระบบและการเก็บค่าทางสถิติของกระแสข้อมูลภายในเครือข่าย จาก โปรแกรมอื่นๆ เช่น Netflow เมื่อได้มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เรียบร้อยแล้ว จึงทำการประมวลผลด้วย อัลกอริทึมจินตคณิตและฮิวริสติก ผลที่ได้คือค่าการตั้งค่าของบีจีพีเราเตอร์ ซึ่งเป็นค่าการตั้งค่า attribute ต่างๆ กับบีจีพีเราเตอร์ทุกตัวในเครือข่าย เช่น local prefer attribute แนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงกับตัวอย่างเครือข่ายของไอเอสพีตามรูปที่ 7.1



รูปที่ 7.1 การประยุกต์ใช้งานจริง

เริ่มจากในขั้นตอนที่หนึ่ง บีจีพีเราเตอร์ทุกตัวในเครือข่ายทำการส่งข้อมูลของกระแสข้อมูลที่วิ่งผ่านตัวบีจีพีเราเตอร์ทั้งหมดภายในเครือข่ายของไอเอสพีมาที่ Netflow Collector ซึ่งเป็นเซิร์ฟเวอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการไหลกระแสข้อมูลภายในเครือข่ายทั้งหมดเป็นสถิติ ซึ่งข้อมูลที่เรามาจะอยู่ในรูปตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 แสดงตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากเก็บจาก Netflow

Network Prefix	Data Volume
203.102.10/24	20M
204.20.20.0/24	15M
192.100.0.0/20	10M
201.200.200.0/24	5M

เมื่อได้ข้อมูลสถิติต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วย หมายเลขเครือข่าย พร้อมทั้งปริมาณข้อมูลที่ใช้อยู่ ซึ่งอาจจะใช้เป็นรายวัน สัปดาห์ หรือรายเดือน ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม จากนั้น โปรแกรมจินติกและฮิวริสติกจะเข้าไปดึงข้อมูลที่ต้องการจาก Netflow เซิร์ฟเวอร์ ซึ่งค่าที่ได้มารวมกับข้อมูลพื้นฐานเช่นจำนวนบิตที่เรเตอร์ จำนวนและขนาดของลิงค์แต่ละลิงค์ รวมถึงข้อมูลหมายเลขเครือข่ายปลายทางซึ่งได้รับมาจากบิตที่เรเตอร์ภายในเครือข่าย ซึ่งตัวเซิร์ฟเวอร์อาจทำตัวเป็นบิตที่เรเตอร์เซิร์ฟเวอร์และทำการเก็บค่าหมายเลขเครือข่ายปลายทาง การนำข้อมูลหมายเลขเครือข่ายมาประมวลผล อาจแบบเป็นกลุ่มตามลักษณะของเส้นทางหรือลักษณะของการให้บริการ เมื่อได้ข้อมูลทั้งหมดมาแล้ว จึงนำผลที่ได้จากการประมวลผลอัลกอริทึมจินติกและฮิวริสติกจากนั้นนำค่ามาแปลงเป็นค่าการตั้งค่าบิตที่เรเตอร์ ซึ่งจะประกอบไปด้วย การตั้งค่า attribute local-prefer ให้กับแต่ละเครือข่ายปลายทางที่เป็นผลจากการคำนวณ จากนั้นทำในขั้นตอนที่สามเป็นการนำค่าที่ได้ไปตั้งค่าให้กับ บิตที่เรเตอร์ตามที่ผลของอัลกอริทึมประมวลผลมา ซึ่งการสั่งงานให้โปรแกรมทำการตั้งค่าให้กับเรเตอร์นั้น อาจเป็นการกำหนดเวลา เช่น การกำหนดให้ตั้งค่าในเวลาเที่ยงคืน เพื่อไม่ให้กระทบกับการทำงานของเรเตอร์ ซึ่งมักจะทำงานหนักในตอนกลางวัน เมื่อโปรแกรมทำงานสมบูรณ์ กระแสข้อมูลที่ส่งผ่านภายในเครือข่ายของไอเอสพี ก็จะเป็นไปตามที่โปรแกรมคำนวณออกมา ส่วนความถี่ของการใช้โปรแกรมในการตั้งค่าบิตที่เรเตอร์ ไม่ควรจะใช้ถี่เกินไป ควรใช้ในรอบหนึ่งเดือน หรือทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงภายในเครือข่าย เช่น การเพิ่มเรเตอร์ หรือการเพิ่มขนาดท่อส่งข้อมูล

### 7.3 บทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

สำหรับงานวิจัยเรื่องการแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางของบิตที่ ซึ่งเป็นปัญหาประเภท NP-hard ซึ่งถูกแบ่งออกเป็นสองปัญหา ปัญหาแรกคือปัญหาการเลือกเส้นทางออกทางเดียวในแต่ละหมายเลขเครือข่าย ส่วนปัญหาที่สองคือการเลือกเส้นทางออกได้หลายเส้นทางในแต่ละหมายเลขเครือข่าย ซึ่งไม่ได้อยู่ในขอบเขตของงานวิจัยเล่มนี้ สำหรับปัญหาซึ่งเราได้นำเสนอวิธีจินติกในการแก้ปัญหา ซึ่งจินติก อัลกอริทึมเป็นทฤษฎีที่เลียนแบบกระบวนการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ และนำมาประยุกต์ใช้งานกับการแก้ปัญหาในระบบคอมพิวเตอร์ การแก้ปัญหาของจินติกเป็นการ

แก้ปัญหาโดยการหาคำตอบของปัญหาในลักษณะสุ่ม โดยอาศัยหลักการพิจารณาจากกลุ่มคำตอบที่สร้างขึ้นและปรับปรุงแก้ไขคำตอบให้ดีขึ้นด้วยกระบวนการทางพันธุศาสตร์ วิธีการที่จะประยุกต์ใช้จีเนติกอัลกอริทึมกับปัญหาต่างๆ นั้น จะต้องพิจารณารูปแบบของปัญหาและแปลงเป็นโครโมโซมตามและลักษณะของปัญหา แต่ละปัญหาก็สามารถนำเสนอรูปแบบของโครโมโซมได้หลายๆ รูปแบบ ซึ่งจะต้องสัมพันธ์กับกระบวนการตัวดำเนินการทางพันธุศาสตร์ของปัญหานั้น เพื่อความถูกต้องของการประมวลผลและปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้น

สำหรับค่าพารามิเตอร์หลักที่จำเป็นสำหรับการประมวลผลหาคำตอบของจีเนติกอัลกอริทึมประกอบไปด้วยค่าอัตราความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์ และค่าอัตราความน่าจะเป็นของการมิวเตชัน สำหรับค่าที่เหมาะสมในการค้นหาคำตอบขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหา ค่าที่เหมาะสมกับปัญหาหนึ่งอาจจะไม่เหมาะสมกับปัญหาอื่น ดังนั้นจึงต้องมีการทดลองหาค่าที่เหมาะสมสำหรับแต่ละปัญหา สำหรับปัญหาการตั้งค่าการเลือกเส้นทางของบีจีพี เมื่อนำจีเนติกแบบง่ายหรือ SGA เข้ามาประยุกต์แก้ปัญหานี้ ผลของการทดลองแสดงให้เห็นว่า สามารถค้นพบคำตอบได้มากขึ้น รวมถึงผลของคำตอบหรือค่าต้นทุนเครือข่ายก็สามารถหาได้ต่ำกว่า MPPF ในขณะที่ขนาดท่อส่งข้อมูลมีขนาดจำกัด และเมื่อขนาดท่อส่งข้อมูลมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ MPPF สามารถหาค่าต้นทุนได้ต่ำกว่า และเมื่อทำการเปรียบเทียบด้านเวลาการทำงาน จะเห็นได้ชัดว่า SGA ยังใช้เวลาการทำงานค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงทำการปรับปรุงอัลกอริทึมจีเนติกแบบเดิม โดยใช้วิธีฮิวริสติกเข้ามาปรับปรุงกระบวนการทำงานของอัลกอริทึมจีเนติก ซึ่งเรียกว่า HGA โดยมีวัตถุประสงค์หลักในการลดเวลาในการทำงานและหาคำตอบได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้นจากอัลกอริทึม SGA ดังนั้นจึงได้เกิดการครอสโอเวอร์และมิวเตชันแบบฮิวริสติกขึ้นมา

สำหรับผลการทดลองในเรื่องของเวลาการทำงานหลังจากที่ได้ทำการปรับปรุงแล้วนั้น อัลกอริทึมจีเนติกแบบ HGA แสดงให้เห็นว่าการนำฮิวริสติกเข้ามาช่วยทำให้การทำงานของ HGA เร็วกว่า SGA ถึงสองเท่า แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ MPPF แล้วจะเห็นได้ชัดว่าอัลกอริทึมแบบจีเนติกใช้เวลานานกว่าอัลกอริทึม MPPF มาก แต่สำหรับปัญหาการตั้งค่าการเลือกเส้นทางของบีจีพี ซึ่งเป็นปัญหาที่มีการนำข้อมูลมาประมวลผลในลักษณะออฟไลน์ สำหรับผลที่ได้จะนำไปใช้ในการตั้งค่าการเลือกเส้นทางของขาออกของบีจีพี ซึ่งใช้ในการวางแผนภายในเครือข่าย จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงการเลือกเส้นทางภายในเครือข่าย จะไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ เช่น การเพิ่ม เราเตอร์ หรือขนาดท่อส่งข้อมูล ส่วนเรื่องการเปลี่ยนแปลงเส้นทางของบีจีพีที่มีความถี่สูง หรือ route flapping นั้นในงานวิจัยฉบับนี้ไม่ได้นำมาเป็นตัวแปรในการคำนวณ ในการเลือกเส้นทางเพราะบีจีพีมีวิธีการจัดการเส้นทางที่มีลักษณะดังกล่าวอยู่แล้วคือ route dampening ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้ถือว่าเส้นทางที่นำมาคำนวณมีความคงที่อยู่แล้ว จากเหตุผลที่ได้กล่าวมาทั้งหมดจึงถือว่าเรื่องของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจึงไม่มีความสำคัญมากนัก ในการเลือกใช้อัลกอริทึม

ปัจจัยหลักที่นำมาตัดสินใจในการเลือกใช้อัลกอริทึมใดที่เหมาะสมในการใช้แก้ปัญหา นี้ควรจะเป็นเรื่องการค้นหาคำตอบได้ในขณะที่มีข้อจำกัดเรื่องท่อส่งข้อมูลขาออกมีขนาดเล็ก ซึ่ง การที่เราสามารถทำให้ท่อส่งข้อมูลขาออก มีขนาดใกล้เคียงปริมาณข้อมูลที่เราจะส่งจริงได้นั้น ถือว่า เป็นการลดค่าใช้จ่ายหลักของเครือข่ายในด้านการเช่าท่อส่งข้อมูลไปยังเครือข่ายอื่นๆ ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อท่อส่งข้อมูลมีขนาดจำกัดจะเห็นได้จากผลการทดลอง อัลกอริทึมแบบ จี เนติกทั้ง SGA และ HGA สามารถหาคำตอบได้มากกว่าถึง 36% เมื่อเทียบกับอัลกอริทึม MPPF และปัจจัยหลักที่สำคัญอีกด้านคือการหาค่าต้นทุนการเดินทางผ่านเครือข่ายภายใน ซึ่งค่าต้นทุนยัง ต่ำแสดงให้เห็นว่าเป็นการใช้ทรัพยากรเครือข่ายภายในแบบมีประสิทธิภาพ ซึ่งอัลกอริทึมจีเนติก แบบฮิวริสติก HGA แสดงให้เห็นแล้วว่า สามารถหาต้นทุนได้ต่ำกว่าอัลกอริทึม MPPF 0.67% โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ท่อส่งข้อมูลมีขนาดจำกัด และ HGA ยังสามารถหาค่าต้นทุนได้ ใกล้เคียงกับ MPPF ในกรณีที่ขนาดท่อส่งข้อมูลมีขนาดใหญ่

จากสองปัจจัยหลักที่อัลกอริทึมจีเนติกแบบฮิวริสติก แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่ดีกว่าใน การนำไปใช้กับปัญหานี้ ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าไม่มีประโยชน์อะไรเลยที่อัลกอริทึมที่ประมวลผลได้ เร็วกว่า แต่ไม่สามารถหาคำตอบได้ ในขณะที่อัลกอริทึมอื่นสามารถหาคำตอบได้และยังให้ผล ของคำตอบที่ดีกว่าอีกด้วย

## บรรณานุกรม

- [1] B. Halabi, **Internet routing architecture**. Cisco Press 1997.
- [2] Y. Rekhter and T. Li, "A border gateway protocol 4" Internet-Draft (RFC 1772), February 1998.
- [3] J. W. S. III, **BGP4: Inter-Domain Routing in the Internet**. Addison-Wesley, 1999.
- [4] T.C. Bressoud, R. Rastogi and M. A. Smith, "Optimal Configuration for BGP Route Selection," IEEE INFOCOM, April 2003.
- [5] D. B. Shymoys and E. Tardos, "Approximation algorithm for the generalized assignment problem," *Mathematical Programming A*, vol. 62, pp. 461 – 474. 1993.
- [6] Tat Wing Chim; Yeung, K.L., "Time-Efficient Algorithms for BGP Route Configuration", *Communications*, 2004 IEEE International Conference on Volume 2, 20-24 June 2004 Page(s):1197 - 1201 Vol.2.
- [7] ไพศาล เหล่าสุวรรณ, **พันธุศาสตร์**, ไทยวัฒนาพานิช, 2535.
- [8] ชัชชัย วิวัฒน์วรพันธ์., พัฒพงษ์ กุลยานนท์., สมศักดิ์ ตันติพุกนันทน์ และสุชาติ สรณสถาพร, **พันธุกรรมรากฐานแห่งชีวิต**, อักษรบัณฑิต, 2520.
- [9] Holland, J. H., **Genetic Algorithms**, *Scientific American*, July 1992, pp. 44-50.
- [10] Stein, R. M., **Real Artificial Life**, *BYTE*, January 1991, pp. 289-298.
- [11] Wayner, P., **Genetic Algorithms**, *BYTE*, January 1991, pp. 361-368.
- [12] Davis, L., **Handbook of Genetic Algorithms**, Van Nostrand Reinhold, New York, 1991.
- [13] Davis, L., Steenstrup, M., *Genetic Algorithms and Simmulate Annealing : An Overview*, **Genetic Algorithms and Simmulate Annealing**, Morgan Kaufmann Publishers, Inc., Los Altos, CA, 1987, pp. 1-11.
- [14] Michalewicz, Z., **Genetic Algorithms+Data Structures = Evolutionary Programs**, Springer-Verlag, Berlin, 1992.
- [15] R. P. Draves, C. King, S. Venkatachary and B. D. Zill, "Constructing Optimal IP Routing Table," IEEE INFOCOM, March 1999.
- [16] C. Labovitz, G. R. Malan, and F. Jahanian, "Internet routing instability," in *Proceedings of ACM SIGCOMM*, 1997.
- [17] Goldberg, D. E., **Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning**, Addison Wesley, MA, 1989.

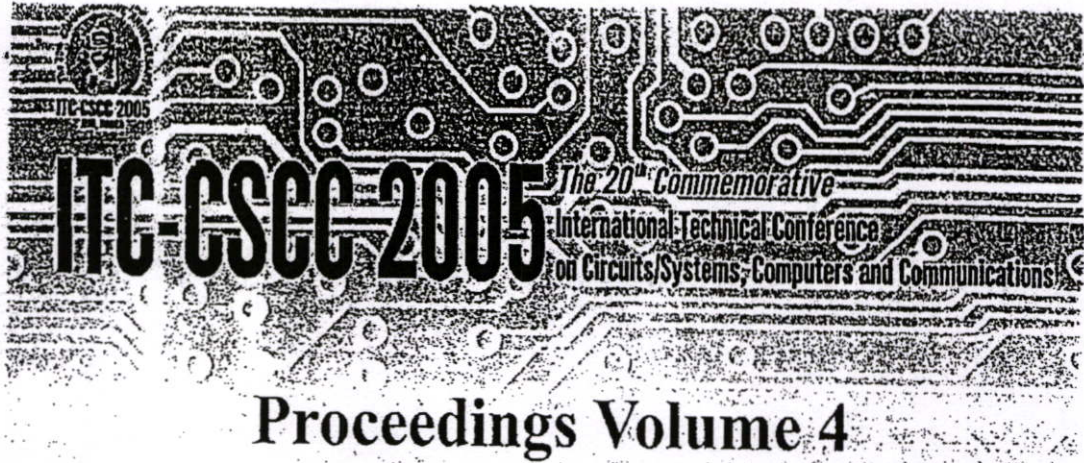
- [18] Chotipat Pornavalai, Tosamon Littirut, “**A Combined Heuristic and Genetic Approach to the BGP Route Configuration Problem**”, ITC-CSCC, 2005.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

1. Chotipat Pornavalai, Tosamon Littirut, "A Combined Heuristic and Genetic Approach to the BGP Route Configuration Problem", ITC-CSCC, 2005.



ITC-CSEC 2005

**ITC-CSEC-2005** The 20<sup>th</sup> Commemorative  
International Technical Conference  
on Circuits/Systems, Computers and Communications

# Proceedings Volume 4

**Sponsored by**

The Institute of Electronics Engineers of Korea (IEEK)

The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (IEICE), The Engineering Sciences Society, Japan

The Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Association, Thailand

**Co-Sponsored by**

Ministry of Information and Communication

Samsung Electronics

KTF


SK Telecom

LG Electronics

Institute of Information Technology Assessment

The Korean Federation of Science and Technology Societies

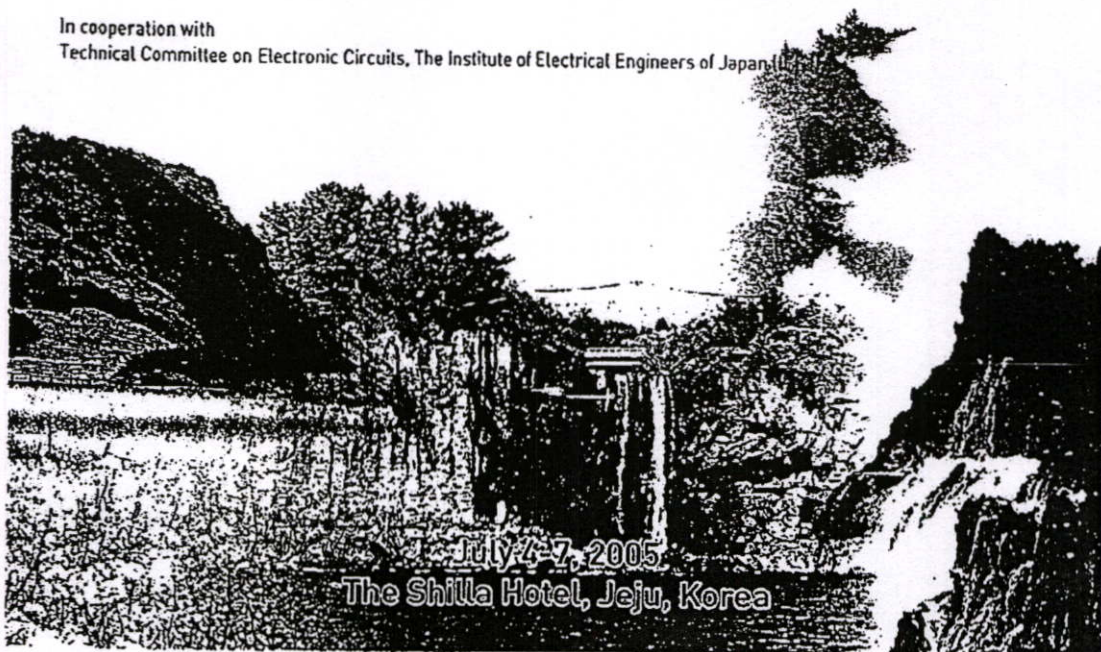
Korea Research Foundation

 Korea National Tourism Organization

Jeju Provincial Government

**In cooperation with**

Technical Committee on Electronic Circuits, The Institute of Electrical Engineers of Japan



July 4-7, 2005

The Shilla Hotel, Jeju, Korea



# ITC-CSCC 2005

*The 20<sup>th</sup> Commemorative*  
International Technical Conference on  
Circuits/Systems, Computers and Communications

## Proceedings Volume 4

July 4 – 7, 2005

The Shilla Hotel, Jeju, Korea

Copyright©2005 by The Institute of Electronics Engineers of Korea. All rights reserved.

39. Capacitive Absolute Pressure Sensor with Vacuum Chamber Formed by Bonding Silicon to SOI wafer for Upper Air Observations Kang Ryeol Lee, Kunyuan Kim, Hyo-Derk Park, KETI, Korea; Tae-Kyu Aho, Jinyang Industrial Co. Ltd., Korea	1407
40. Improvement of Active Queue Management Based on the Dynamic Variation of Queue Length Jonghwa Kim, Jeongkyoon Lee, Kiyong Lee, University of Incheon, Korea	1409
41. New Approach to Ray-Space Interpolation for Free Viewpoint Video System Gang-yi Jiang, Liang-zhong Fan, Mei Yu, Ningbo University, China; Yong-deak Kim, Ajou University, Korea	1411
42. A Fast and Efficient MB mode Decision Algorithm of Variable Block Size in H.264/AVC Sangwoo Lee, Sang Ju Park, Ho Kyoung Lee, Hongik University, Korea; Min-Chul Park, Korea Institute of Science and Technology, Korea	1413
43. A Study of the efficient management of IPsec Protocol Jae Deok Lim, Ki Young Kim, ETRI, Korea	1415
44. Performance improvement of H.264/AVC using SKIP mode by segmentation Se Jun Park, Sang Ju Park, Hongik University, Korea; Min Chul Park, Korea Institute of Science and Technology, Korea	1417
45. Dynamic and Adaptive Mechanism for Resource Provisioning in Differentiated Service Networks Mijeong Yang, Tail Kim, ETRI, Korea; Junhwa Lee, Sangha Kim, ChungNam National University, Korea	1419
46. An Implementation and Adaptation of a Scalable RSVP-TE Protocol into MPLS Networks Ki-Yong, Hyun-Mi Moon, Young-Woo Lee, KT, Korea; Sang-Ha Kim, ChungNam National University, Korea	1421
47. The reconfiguration of arbitration Table to guarantee QoS in Infiniband Network Younghwan Kim, KETI, Korea; Changwon Park, SungKyunKwan University, Korea	1423
48. A Combined Heuristic and Genetic Approach to the BGP Route Configuration Problem Tosamon Littirut, Chotipat Pornavalai, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand	1425
49. A Novel Scheme for Range Rule Matching in Ternary CAM Yong-Kwon Kim, Jang-Geun Ki, Kongju National University, Korea; Kyou-Ho Lee, Inje University, Korea	1427
50. QoS Support Extended SIP-based Network Architecture and Session Management Methods Eun-hee Cho, Kang-Sik Shin, Sang-Jo Yoo, Inha University, Korea	1429
51. Packet Classification using Dual TCAM Tables Seok-Min Kang, Taek-Geun Kwon, Chungnam National University, Korea; Yoshiaki Kasahara, Kyushu University, Japan	1431
52. Design of the Session Management protocol for Secure and Reliable integrated Service Jungjin Park, Su Jin Lee, Hyun-Kook Kahng, Korea University, Korea	1433
53. Design and implementation of extended NAT-PT for efficient routing between a mobile IPv6 node and IPv4 node Su Jin Lee, Jungjin Park, Hyun-Kook Kahng, Korea University, Korea	1435
54. Multiuser Temporal Resource Allocation Scheme using Link Layer Effective Capacity for QoS Providing Systems Si Hwan Sung, Won Cheol Lee, Soongsil University	1437
55. Design of Access Router Hardware Platform using the IXP2800 Network Processor Yong-Sung Jeon, Sang-Woo Lee, Ki-Young Kim, ETRI, Korea	1439

### THA3: Power Electronics & Circuits

1. Educational Inverter for Induction-Heating Toru Higashi, Kumamoto University, Japan; Hiroshi Skamoto, Sojo University, Japan	1441
2. Development of AIM System for the Signal Fidelity in the Transmission Line Tracks Sun Hyo Lee, Yen Tae Jung, Ye Hen Jung, Seung Woo Kim, Dal Hwan Yoon, Semyung University, Korea	1443
3. Design and Fabrication of Smart-Power ICs for Solid State Relay Hanju Cho, Inchul Choi, Yongseo Koo, Seokyeong University, Korea; Yunsik Lee, ETRI, Korea; Jongdae Kim, KETI, Korea	1445
4. Design and Analysis of NPC Multi-level Converters With Input Filters Yoon-Ho Kim, Soo-Hong Kim, Sang-seok Bang, Chung-Ang University, Korea; Chang-Ho Choi, Kwang-seob Kim, POSCON Corporation, Korea	1447
5. An Optimal ILP model for Delay Time to Minimize Peak Power and Area Ki-Bog Kim, Chiho Lin, Semyung University, Korea	1449
6. The Photovoltaic Water Pumping System Using Optimum Slip Control to Maximum Power and Efficiency Varin Yongmanee, The University of The Thai Chamber of Commerce, Thailand	1451

# A Combined Heuristic and Genetic Approach to the BGP Route Configuration Problem

Tosamon Littirut, Chotipat Pornavalai

Faculty of Information Technology  
 Research Center for Communication and Information Technology  
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,  
 Chalokkrung Road, Bangkok 10520, Thailand  
 Email: s4066470@kmitl.ac.th, chotipat@it.kmitl.ac.th

**Abstract:** In this paper, we proposed a combined Heuristic and Genetic Algorithm to determine BGP routes selection. The main objective is to discover feasible solutions that do not violate the bandwidth capacity of egress links and at the same time try to minimize solution cost. The results from our simulation showed that our algorithm discovers more feasible solutions than existing algorithms especially when bandwidth capacity of egress links is low. Furthermore, it gives a little bit lower solution costs than any existing approaches.

## 1. Introduction

BGP [1] is an inter-Autonomous System routing protocol. An autonomous system is a network or group of networks under a common administration and with common routing policies.

The Single Egress Selection (SES) and Multiple Egress Selection (MES) problems are proved to be NP-Hard in [2]. One of the existing solutions for SES problem, known as SES Heuristic [2], is proposed based on linear programming (LP) relaxation with heuristic algorithm to round the fractional solution from LP to the nearby integers. Another solution known as MPPF\_SES (Most Popular Prefix First) is proposed in [3]. Another solution is BTF (Biggest Traffic First) algorithm [3]. It chooses the egress point based on the volume of traffic, where the highest traffic volume is selected first.

This paper proposes a new and alternative solution to the SES problem. Our solution is based on the Genetic algorithm, where the crossover and mutation steps are combined with heuristic algorithm. We call our algorithm "Heuristic and Genetic Algorithm for SES" or (HGA\_SES).

## 2. Genetic Algorithm for SES

The SES problem formation is based on [2] and [3]. The assumption of intra-domain links in local AS are infinity bandwidth but edge links that connect to other ASes are limited with less bandwidth capacities. Edge links functionality are transit traffic both direction. Links between ASes have high cost to the ISP, so we should utilize those edge links to the highest efficiency. The notation of variables are explained in [3].

Genetic algorithms have been used widely in searching and optimization, such as finding the maximum or minimum of a function over some domain space. In

this paper, we applied the GA and heuristic to SES problem. The objective is to find the optimum solution cost, which it is the results of traffic volumes multiply with internal distance cost between ingress border router and egress border router. For BGP route selection, it will select the egress edge link for each destination prefix to transit the traffic which it has more than one to egress edge link in selection processes. But the constraint of SES problem is only one egress edge link selection for each destination prefix. Another constraint is every traffic volume must be able to be transited to each destination prefix. Finally, the capacity constraint ensures that the bandwidth requirement of traffic assigned to each edge link do not exceed its capacity.

## 3. Heuristic GA for SES

The Heuristic Genetic Algorithm for SES problem. It can improve the quality of the solution cost by using the heuristic crossover and mutation. The HGA\_SES algorithm is shown in Figure 1.

```
HGA_SES Algorithm
1: generate chromosome by randomization.
2: GEN = 0
3: repeat
4:   compute fitness value of each chromosome
5:   select chromosome in mating pool
6:   Heuristic Crossover
7:   Heuristic Mutation
8:   New chromosome
9:   GEN = GEN + 1
10: until GEN < MAXGEN
11: end
```

Fig. 1 The HGA\_SES algorithm

In Figure 1, the HGA\_SES starts the first generation of chromosomes by randomization possible solutions without considering the solution cost, but constraints must be satisfied. Line 2 we initialize the generation variable (GEN). Next, a main loop of algorithm begins at line 3. Line 4, the chromosomes were computed the fitness value of each chromosome from Eq. (1). Line 5, it selects the chromosomes from mating pool based on fitness values. Line 6 and 7, the chromosomes were performed heuristic crossover and mutation. Line 8, the combination of results from crossovers, mutations and old chromosomes are the new chromosome for the next generation. Finally, it repeat line 3 to 10 until the generation numbers (GEN) are excess maximum

generation numbers (MAXGEN) or all of chromosomes in the generation having the same cost.

#### 4.1 Heuristic Crossover

The Heuristic crossover was modified from the SGA crossover which has the objective to find lower solution cost than parent chromosomes. It does not select a random prefix to do crossover but it tests to crossover all prefixes on the parent chromosomes. The position (prefix) on the chromosome that gives the lowest cost after doing all the crossovers will be selected as a child chromosome. See [4] for more detail.

#### 4.2 Heuristic Mutation

The heuristic mutation is randomization of destination prefix to be mutated. After selected the prefix, it will check all egress edge links that able to transit traffic to destination prefix to find the solution cost for each egress edge link. Finally, it will select the lowest solution cost of checked egress edge link that satisfied capacity constraint.

### 5. Experimental Results

We set up network model for SES problem using the same parameters as same as [3]. For our GA parameters, the numbers of population was chosen to be 20. We also varied this parameter as well. But results showed that at population size of 20 gave good performance while the size is not big.

We generate different 100 network topologies and assume the capacities of edge links are equal. The egress edge capacities start at 100 to 500. We run each topology 100 times to find average solution cost.

We compared with our proposed HGA\_SES algorithm with other known existing algorithms such as BTF (Biggest Traffic First) and MPPF (Most Popular Prefix First). Another existing algorithm which has not been compared in our simulation is called Rounding\_SES [2] [3]. But simulation results from [3] already showed that MPPF can find much more feasible solution when capacity constraint is very strict than the Rounding\_SES, though its cost is a little bit higher. However as stated in [3] that if an algorithm cannot send 100% of the offered traffic, it is in general not meaningful to compare solution cost.

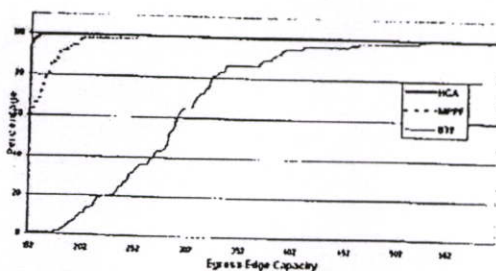


Fig. 2 Percentage of traffic sent in the SES environment

Figure 1 shows the percentage of total traffic that is successfully sent against the capacity of each egress link. If the result is 100%, it means that we can find all the traffic can be transited. The HGA found the 100% of feasible solution where the egress capacity is only at 162, while the MPPF and BTF are at 254 and 528 respectively. So our HGA gives 36% better performance when compared with MPPF.

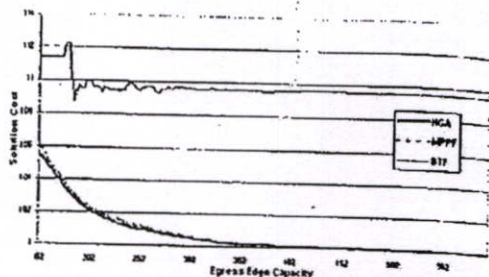


Fig. 2 Normalized solution cost in the SES environment

Another parameter to be compared is the total cost used by each algorithm which is shown Figure 2. The graph in Figure 2 is normalized with the total cost when edge link capacity has no effect to any algorithm. In 100 topologies were compared the solution cost. Some algorithm may be found or not found the solution cost. So we compare the solution cost when 3 algorithms can find it. In Figure 8, the HGA shows to have a little bit lower cost (0.01%) than the MPPF algorithm.

### 5. Conclusions

In this paper, we apply the GA with heuristic crossover and mutation to Single Egress Route Selection problem, which was proved to be a NP-hard problem. Results from the simulation shows that our algorithm able to find feasible solution greater than MPPF 36%. In future work, we will develop the GA with heuristic algorithm with MES problem.

### References

- [1] Y. Rekhter and T. Li, "A border gateway protocol 4", Internet-Draft (RFC 1772), February 1998.
- [2] T.C. Bressoud, R. Rastogi and M. A. Smith, "Optimal Configuration for BGP Route Selection," IEEE INFOCOM, April 2003.
- [3] Tat Wing Chim and Yeung, K.L., "Time-Efficient Algorithms for BGP Route Configuration", Communications, 2004 IEEE International Conference on Volume 2, 20-24 June 2004 Page(s):1197 - 1201 Vol.
- [4] Tosamon Littirut, Chotipat Pornavalai, Ruttikorn Varakulsiripunth, "An Efficient Algorithm for BGP Route Configuration Problem using Heuristic and Genetic Approaches", Submitted for publication.

## ประวัติผู้เขียน

นายทศมนต์ ฤทธิรัฐ เกิดเมื่อวันที่ 29 พฤศจิกายน พ.ศ.2519 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีบริหารธุรกิจบัณฑิต สาขาการตลาด จากภาควิชาบริหารธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปีการศึกษา 2540 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2544 ส่วนด้านการทำงาน เริ่มทำงานเกี่ยวกับด้านคอมพิวเตอร์และงานพัฒนาระบบตั้งแต่ปี 2541 ถึง 2543 จากนั้นได้เปลี่ยนการทำงานมาในด้านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ตั้งแต่ปี 2544 ถึงปัจจุบัน โดยมีตำแหน่งเป็นผู้ให้คำปรึกษาด้านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์