การสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบไมโอซิส

A MEIOSIS GENETIC PROCESS MINING

รติ เพื่อพูล
RATI POEPOOL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2553

KMITL-2010-SC-M-002-006

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบไมโอซิส

A MEIOSIS GENETIC PROCESS MINING

รติ เพิ่มพูล

RATI POEMPOOL

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 107440
วัน,เดือน,ปี 29 มี.ค. 2553

b 12204766
i

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2553

KMITL-2010-SC-M-002-003

A MEIOSIS GENETIC PROCESS MINING

RATI POEMPOOL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULLFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN COMPUTER SICENCE

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2010

KMITL-2010-SC-M-002-003

COPY RIGHT 2010

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีไมโอซิสเจเนติก

A Meiosis Genetic Process Mining

นักศึกษา นายรติ เพิ่มพูล

รหัสประจำตัว 49067554

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาการคอมพิวเตอร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.วีระ บุญจริง

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.วีระ	บุญจริง	
ผศ.ดร.จีรพร	วีระพันธุ์	
ผศ.ดร.ศรัณย์	อินทโกสุม	
ดร.เฉลิมศักดิ์	เลิศวงศ์เสถียร	

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
SCHOOL OF GRADDUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ 21 ธันวาคม 2552 เวลา 10.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคารจุฬาภรณ 1 คณะวิทยาศาสตร์ ห้อง 217

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดุษณี ธนะบริพัฒน์)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วันที่ 11 **เดือน** ม.ค. **พ.ศ.** 53

สำนักทะเบียนและประมวลผล สจล.
วันที่ส่งเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
วันที่ 18 เดือน ม.ค. พ.ศ. 2553
ลงชื่อ.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบไมโอซิส
นักศึกษา	นายรติ เพิ่มพูล
รหัสประจำตัว	49067554
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาการคอมพิวเตอร์
พ.ศ.	2553
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.วีระ บุญจริง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาวิธีการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติกที่แตกต่างไปจากเดิมซึ่งเราเรียกวิธีการนี้ว่า "การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส" ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มความเร็วในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมให้ดีกว่าขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบเดิมโดยอาศัยหลักการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส เพื่อสร้างตัวแบบกระบวนการที่มีความหลากหลาย อีกทั้งยังป้องกันการสูญหายของตัวแบบกระบวนการที่มีลักษณะที่ดีของประชากรรุ่นก่อนหน้า ซึ่งจากการทดลองเพื่อเปรียบเทียบจำนวนเจเนเรชันระหว่างขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบเดิมกับขั้นตอนวิธีไมโอซิสเจเนติกพบว่า ขั้นตอนวิธีไมโอซิสใช้จำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยในการค้นหาตัวแบบกระบวนการน้อยกว่าขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบเดิม

Thesis	A MEIOSIS GENETIC PROCESS MINING
Student	Mr. RATI POEMPOOL
Student ID	49067554
Degree	Master of Science
Program	Computer Science
Year	2010
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. VEERA BOONJING

ABSTRACT

The research is to develop a new process mining called "A Meiosis Genetic Process Mining". The goal of the new process mining is to speed up process model discovery from event log. The new process mining is based-on meiosis cell division principle to create various of process models and protect loss of good process models in previous generations. The experiment results show that the new genetic process mining is able to mine process model with less generation number than of the typical genetic process mining.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.วีระ บุญจริง ที่คอยให้คำชี้แนะช่วยแก้ไขปัญหา ให้ความช่วยเหลือ ตลอดจนให้ความรู้และให้คำปรึกษาที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร ศรัณย์ อินทโกสุม ผศ.ดร.จีรพร วีระพันธุ์ และ ดร.เฉลิมศักดิ์ เลิศวงศ์เสถียร กรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณ รศ.อุมาพร จันทศร ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำเกี่ยวกับความรู้ทางด้านสถิติที่จะนำมาใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณ นางสาวจารุณี แซ่หลี และนางสาวจิราภรณ์ ทัดรัตน์ ที่คอยให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่จากวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า ขอมอบให้ บิดา มารดา ซึ่งเป็นผู้ที่ข้าพเจ้าให้ความเคารพเป็นอย่างยิ่ง และเป็นผู้ให้ทรัพย์ในการศึกษาแก่ข้าพเจ้า รวมทั้งยังเป็นผู้ให้กำลังใจที่ดีตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า ตลอดจน ครู อาจารย์ ที่ได้ประสิทธ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

รติ เพิ่มพูล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญภาพ.....XII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....2

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....2

1.4 ขอบเขตการวิจัย.....2

1.5 ส่วนประกอบวิทยานิพนธ์.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3

2.1 การสืบค้นกระบวนการ.....3

2.1.1 ตัวแบบกระบวนการ.....5

2.1.2 พีทรีเนท.....5

2.1.3 ขั้นตอนวิธีในการสืบค้นกระบวนการจากบันทึกเหตุการณ์.....7

2.1.4 ปัญหาของการสืบค้นกระบวนการ.....7

2.1.4.1 ปัญหาเชิงโครงสร้าง.....7

2.1.4.2 ปัญหาเชิงผลลัพธ์.....10

2.2 ขั้นตอนวิธีเจเนติก.....10

2.2.1 การเข้ารหัสโครโมโซม.....10

2.2.2 การสร้างประชากรเริ่มต้น.....11

2.2.3 ค่าความเหมาะสม.....11

2.2.4 ตัวดำเนินการเจเนติก.....11

2.2.5 พารามิเตอร์.....12

2.3 การสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติก.....13

2.3.1 การแทนตัวแบบกระบวนการ.....13

2.3.2 การวิเคราะห์เชิงตรรกะ.....15

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3.3 ขั้นตอนการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติก....18
2.3.3.1 การสร้างประชากรเริ่มต้น....18
2.3.3.2 ค่าความเหมาะสม....20
2.3.3.3 การหยุดทำงาน....22
2.3.3.4 ตัวดำเนินการเจเนติก....22
2.3.3.5 การสร้างเจเนเรชันถัดไป....28
2.4 ขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิส....29
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....31
บทที่ 3 การสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบไมโอซิส....33
3.1 ขั้นตอนการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส....33
3.1.1 การสร้างประชากรเริ่มต้น....34
3.1.2 ค่าความเหมาะสม....34
3.1.3 การจำลองตัวแบบกระบวนการ....35
3.1.4 การหยุดทำงาน....36
3.1.5 ตัวดำเนินการเจเนติก....36
3.1.6 การสร้างเจเนเรชันถัดไป....38
3.2 ตัวอย่างการทำงานของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรรมแบบไมโอซิส....39
3.3 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าความเหมาะสมแบบพูนิชเมนท์....47
บทที่ 4 การทดลอง....56
4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง....56
4.1.1 ฮาร์ดแวร์....56
4.1.2 ซอฟต์แวร์....56
4.2 วิธีการทดลอง....56
4.3 เครื่องมือวัดความเร็วในการสืบค้น....60
4.4 การกำหนดค่าการทดลอง....61
4.5 ผลการทดลอง....62
4.5.1 กรณีขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น20....62

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.5.1.1 การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิสกรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำและแบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม....62

4.5.1.2 การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิสกรณีมีอัตรากลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำและแบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม....66

4.5.1.3 การเปรียบเทียบจำนวนเจเนเรชันที่ดีที่สุด ระหว่าง การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ในสายนำ กับ การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิสกรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก....70

4.5.1.4 การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส และ การสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติก....73

4.5.2 กรณีขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 100....78

4.5.2.1 การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิสกรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำและแบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม....78

4.5.2.2 การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิสกรณีมีอัตรากลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำและแบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม....82

4.5.2.3 การเปรียบเทียบจำนวนเจเนเรชันที่ดีที่สุด ระหว่าง การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ในสายนำ กับ การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิสกรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก....86

4.5.2.4 การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส และ การสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติก....89

บทที่ 5 สรุป....95

เอกสารอ้างอิง....96

ภาคผนวก....97

ประวัติผู้เขียน....105

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 บันทึกเหตุการณ์ (An Event Log) 4

2.2 เทรสเหตุการณ์....4

2.3 คอสชวลเมทริกซ์ที่ถูกใช้เป็นตัวแทนตัวแบบกระบวนการ....14

2.4 คอสชวลเมทริกซ์อย่างย่อ....15

2.5 หลักเกณฑ์ในการปรับค่ามาร์คของกกิจกรรมจากการเอคซิคิวท์ในแต่ละกรณี....16

2.6 การวิเคราะห์เชิงตรรกะที่สมบูรณ์โดยใช้ตัวแบบกระบวนการในตารางที่ 2.4....17

2.7 ตัวอย่างคอสชวลเมทริกซ์หรือตัวแบบกระบวนการที่ได้จากการสร้างประชากรเริ่มต้น....20

2.8 ผลลัพธ์ที่ได้จากการครอสโอเวอร์ตัวแบบกระบวนการในตารางที่ 2.7 โดยกำหนดให้จุดครอสโอเวอร์เป็น D 25

2.9 ผลลัพธ์ที่ได้จากการกลายพันธุ์ตัวแบบกระบวนการในตารางที่ 2.8 โดยกำหนดให้จุดที่เกิดการกลายพันธุ์คือกิจกรรม D 27

2.10 ผลลัพธ์จากการปรับกิจกรรมที่เกี่ยวข้องของตัวแบบกระบวนการในตารางที่ 2.8- a) 28

3.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองตัวแบบกระบวนการในสายนำ โดยใช้ตัวแบบกระบวนการในตารางที่ 2.7 และกำหนดให้ไม่เกิดการกลายพันธุ์ที่สายนำ....35

3.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองตัวแบบกระบวนการในสายตาม โดยใช้ตัวแบบกระบวนการในตารางที่ 2.7 35

3.3 ผลลัพธที่ได้จากการครอสโอเวอร์ในสายนำของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบไมโอซิสของตัวแบบกระบวนการในตารางที่ 3.1 และ 3.2 โดยกำหนดให้ทำการครอสโอเวอร์ที่จุด H และไม่เกิดการกลายพันธุ์ในสายนำ....37

3.4 ผลลัพธที่ได้จากการครอสโอเวอร์ในสายตามของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบไมโอซิสของตัวแบบกระบวนการในตารางที่ 3.1 และ 3.2 โดยกำหนดให้ทำการครอสโอเวอร์ที่จุด H และไม่เกิดการกลายพันธุ์ในสายนำ....38

3.5 ลักษณะเคสเทรสเหตุการณ์ในบันทึกเหตุการณ์แบบ 5 กิจกรรม 300 เทรสเหตุการณ์....39

3.6 ตารางดีเพนเดนซีรีเรชันระหว่างกิจกรรมของบันทึกเหตุการณ์ในตารางที่ 3.5....40

3.7 ค่าความเหมาะสมของตัวแบบกระบวนการในประชากรเริ่มต้น....41

3.8 ค่าความเหมาะสมของตัวแบบกระบวนการใหม่ที่ผลิตได้....46

3.9 การวิเคราะห์ตัวแบบกระบวนการในภาพ 3.12 ด้วยเทรสเหตุการณ์ AECBD 48

3.10 การวิเคราะห์ตัวแบบกระบวนการในภาพ 3.12 ด้วยเทรสเหตุการณ์ AEBCD 49

3.11 การวิเคราะห์ตัวแบบกระบวนการในภาพ 3.12 ด้วยเทรสเหตุการณ์ AEEEEECBD 49

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

3.12 การวิเคราะห์ตัวแบบกระบวนการในภาพ 3.12 ด้วยเทรสเหตุการณ์ AEEEEEECBD 50

3.13 การวิเคราะห์ตัวแบบกระบวนการในภาพ 3.12 ด้วยเทรสเหตุการณ์ ACBD 52

3.14 การวิเคราะห์ตัวแบบกระบวนการในภาพ 3.12 ด้วยเทรสเหตุการณ์ ABCD 53

3.15 ค่าความถี่ต่างๆที่ได้จากการวิเคราะห์ทางตรรกกะ.....54

4.1 เทรสเหตุการณ์ของบันทึกเหตุการณ์แบบ 7 กิจกรรม 300 เทรสเหตุการณ์.....57

4.2 การกำหนดค่าให้แก่การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส และการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบเดิม เพื่อใช้ในการทดลอง.....61

4.3 ค่าความเหมาะสมสูงสุดเฉลี่ย จำนวนค่าความเหมาะสมที่เป็น 1 และ จำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่เกิดการกลายพันธุ์ที่สายนำ (MLR = 0) แบบเกิดการครอสโอเวอร์ในสายนำ และ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ในสายตาม เมื่อขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 20.....63

4.4 จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ อัตรากลายพันธุ์เป็น 0.3 ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 20.....64

4.5 จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตรากลายพันธุ์เป็น 0.1 ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 20.....64

4.6 ผลการทดสอบความแตกต่างด้วยการทดสอบแบบวิลคอกซันชนิดอันดับที่มีเครื่องหมาย ด้วยโปรแกรม SPSS โดยอาศัยข้อมูลในตารางที่ 4.4 และ 4.5.....65

4.7 ค่าความเหมาะสมสูงสุดเฉลี่ย จำนวนครั้งที่ค่าความเหมาะสมที่เป็น 1 และ จำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมากแบบเกิดการครอสโอเวอร์ในสายนำ และ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ในสายตาม เมื่อขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 20.....67

4.8 จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ อัตรากลายพันธุ์เป็น 0.2 ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 20.....68

4.9 จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตรากลายพันธุ์เป็น 0.3 ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 20.....68

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.10 ผลการทดสอบความแตกต่างด้วยการทดสอบแบบวิลคอกซันชนิดอันดับที่มีเครื่องหมายด้วยโปรแกรม SPSS โดยอาศัยข้อมูลในตารางที่ 4.8 และ 4.9 69

4.11 ผลการทดสอบความแตกต่างด้วยการทดสอบแบบวิลคอกซันชนิดอันดับที่มีเครื่องหมายด้วยโปรแกรม SPSS โดยอาศัยข้อมูลในตารางที่ 4.5 และ 4.9 71

4.12 ค่าความเหมาะสมสูงสุดเฉลี่ย จำนวนครั้งที่ค่าความเหมาะสมเป็น 1 และจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม ของการสืบค้นกระบวนการ โดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม เมื่ออัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.1 ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 20 73

4.13 ค่าความเหมาะสมสูงสุดเฉลี่ย จำนวนครั้งที่ค่าความเหมาะสมเป็น 1 และจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมของการสืบค้นกระบวนการ โดยใช้เจเนติกขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 20 74

4.14 จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมในแต่การทดลองแต่ละครั้งของการสืบค้นกระบวนการ โดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตรากลายพันธุ์เป็น 0.1 ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 20 75

4.15 จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมในแต่การทดลองแต่ละครั้งของการสืบค้นกระบวนการ โดยใช้เจเนติกแบบทั่วไป เมื่ออัตราบุริมสิทธิ์และอัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.3 ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 20 76

4.16 ผลการทดสอบความแตกต่างด้วยการทดสอบแบบวิลคอกซันชนิดอันดับที่มีเครื่องหมายด้วยโปรแกรม SPSS โดยอาศัยข้อมูลในตารางที่ 4.14 และ 4.15 76

4.17 ค่าความเหมาะสมสูงสุดเฉลี่ย จำนวนครั้งที่ค่าความเหมาะสมที่เป็น 1 และ จำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยของการสืบค้นกระบวนการ โดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่เกิดการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ และแบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม เมื่อขนาด ประชากรเริ่มต้นเป็น 100 79

4.18 จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมของการสืบค้นกระบวนการ โดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ อัตรากลายพันธุ์เป็น 0.3 ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็นเป็น 100 80

4.19 จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมของการสืบค้นกระบวนการ โดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ อัตรากลายพันธุ์เป็น 0.1 ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็นเป็น 100 80

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.20 ผลการทดสอบความแตกต่างด้วยการทดสอบแบบวิลคอกซันชนิดอันดับที่มีเครื่องหมายด้วยโปรแกรม SPSS โดยอาศัยข้อมูลในตารางที่ 4.18 และ 4.19 81

4.21 ค่าความเหมาะสมสูงสุดเฉลี่ย จำนวนครั้งที่ค่าความเหมาะสมที่เป็น 1 และ จำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิสกรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบเกิดการครอสโอเวอร์ในสายนำ และแบบเกิดการครอสโอเวอร์ในสายตาม เมื่อขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 100 83

4.22 จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ อัตรากลายพันธุ์เป็น 0.01 ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 100 84

4.23 จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตรากลายพันธุ์เป็น 0.1 ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 100 84

4.24 ผลการทดสอบความแตกต่างด้วยการทดสอบแบบวิลคอกซันชนิดอันดับที่มีเครื่องหมายด้วยโปรแกรม SPSS โดยอาศัยข้อมูลในตารางที่ 4.22 และ 4.23 85

4.25 ผลการทดสอบความแตกต่างด้วยการทดสอบแบบวิลคอกซันชนิดอันดับที่มีเครื่องหมายด้วยโปรแกรม SPSS โดยอาศัยข้อมูลในตารางที่ 4.19 และ 4.23 87

4.26 ค่าความเหมาะสมสูงสุดเฉลี่ย จำนวนครั้งที่ค่าความเหมาะสมเป็น 1 และจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตามอัตรากลายพันธุ์เป็น 0.1 ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 100 89

4.27 ค่าความเหมาะสมสูงสุดเฉลี่ย จำนวนครั้งที่ค่าความเหมาะสมเป็น 1 และจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติก ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 100 90

4.28 จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมในแต่การทดลองแต่ละครั้ง ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม เมื่ออัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.1 ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 100 91

4.29 จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมในแต่การทดลองแต่ละครั้ง ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติก เมื่ออัตราบุริมสิทธิ์เป็น 0.3 และอัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.2 เมื่อขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 100 92

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.30 ผลการทดสอบความแตกต่างด้วยการทดสอบแบบวิลคอกซันชนิดอันดับที่มีเครื่องหมายด้วยโปรแกรม SPSS โดยอาศัยข้อมูลในตารางที่ 4.28 และ 4.29.....92

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 ตัวอย่างของตัวแบบกระบวนการพีทรีเนท (a) และ การเอคซิคิวท์ทรานซิชันในพีทรีเนท (b).....6

2.2 พีทรีเนทตัวแบบกระบวนการที่ประกอบด้วย 2 ฮิดเดนทาส์ค.....8

2.3 พีทรีเนทตัวแบบกระบวนการที่มีกิจกรรมซ้ำ.....8

2.4 พีทรีเนทตัวแบบกระบวนการที่เป็นโครงสร้างที่ไม่มีความเป็นอิสระในการเลือก.....9

2.5 พีทรีเนทตัวแบบกระบวนการที่มีการทำซ้ำ.....9

2.6 ลักษณะของโครโมโซมที่มีการเข้ารหัสแบบไบนารี่.....11

2.7 การสร้างประชากรเริ่มต้นโดยการสุ่มเลือกจากประชากรทั้งหมด.....11

2.8 การครอสโอเวอร์ระหว่างโครโมโซมพ่อแม่.....12

2.9 การกลายพันธุ์ของโครโมโซม.....12

2.10 ขั้นตอนวิธีเจเนติก.....13

2.11 รูปแบบแอคติวิตี้มาร์คของเทรสเหตุการณ์.....15

2.12 ขั้นตอนวิธีการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติก.....18

2.13 สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าดีเพนเดนซีระหว่างกิจกรรม.....19

2.14 ขั้นตอนวิธีการสร้างประชากรเริ่มต้นของการสืบค้นกระบวนการ.....19

2.15 สมการแรกที่ใช้ในการคำนวณค่าความเหมาะสม.....21

2.16 สมการที่สองที่ใช้ในการคำนวณค่าความเหมาะสม.....21

2.17 สมการคำนวณค่าความเหมาะสมแบบพูนิชเมนท์.....22

2.18 ขั้นตอนวิธีการครอสโอเวอร์ของการสืบค้นกระบวนการ.....23

2.19 ขั้นตอนวิธีการกลายพันธุ์ของการสืบค้นกระบวนการ.....25

2.20 ขั้นตอนวิธีการปรับกิจกรรมของการสืบค้นกระบวนการ.....28

2.21 ขั้นตอนวิธีการสร้างเจเนเรชันใหม่ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติก..... 29

2.22 กระบวนการทำงานของขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิส.....30

3.1 ขั้นตอนการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิส.....34

3.2 ขั้นตอนวิธีการสร้างเจเนเรชันใหม่ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิส.....39

3.3 ประชากรเริ่มต้นที่จะนำมาสร้างตัวแบบกระบวนการใหม่.....40

3.4 ตัวแบบกระบวนการที่ได้รับการคัดเลือกจากประชากรเริ่มต้น.....41

3.5 การจำลองตัวแบบกระบวนการ Individual2 (Parent 1).....42

3.6 การจำลองตัวแบบกระบวนการ Individual3 (Parent 2).....43

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3.7 ผลที่ได้จากการจำลองตัวแบบกระบวนการ Individual 2 และ Individual 3.....43

3.8 ขั้นตอนการครอสโอเวอร์ที่สายตามและตัวแบบกระบวนการใหม่ที่ได้จากการครอสโอเวอร์.....44

3.9 ปรับกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับนิพจน์บูลีนที่เกิดการเปลี่ยนแปลง.....45

3.10 ตัวแบบกระบวนการใหม่ที่ผลิตได้ในรุ่นลูก.....45

3.11 ประชากรตัวแบบกระบวนการรุ่นใหม่.....46

3.12 ตัวแบบกระบวนการที่ได้จากการสืบค้นกระบวนการตามเงื่อนไขที่กำหนด.....47

3.13 พีทรีเนทตัวแบบกระบวนการผลลัพธ์จากการสืบค้นกระบวนการในภาพที่ 3.12 47

3.14 แอคติวิตี้มาร์คและอิลิเมนท์พิเศษของตัวแบบกระบวนการในภาพที่ 3.12 48

3.15 การคำนวณหาค่าพูนิชเมนท์.....54

3.16 การคำนวณหาค่าความเหมาะสม.....55

4.1 การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบครอสโอเวอร์ที่สายนำ.....58

4.2 การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม.....58

4.3 การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตรากลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบครอสโอเวอร์ที่สายนำ.....59

4.4 การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตรากลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม.....59

4.5 การวิเคราะห์ผลเพื่อทดสอบสมมุติฐานโดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ของโปรแกรม SPSS ในตารางที่ 4.6 65

4.6 การวิเคราะห์ผลเพื่อทดสอบสมมุติฐานโดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ของโปรแกรม SPSS ในตารางที่ 4.10.....69

4.7 การวิเคราะห์ผลเพื่อทดสอบสมมุติฐานโดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ของโปรแกรม SPSS ในตารางที่ 4.11.....72

4.8 การวิเคราะห์ผลเพื่อทดสอบสมมุติฐานโดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ของโปรแกรม SPSS ในตารางที่ 4.16.....77

4.9 การวิเคราะห์ผลเพื่อทดสอบสมมุติฐานโดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ของโปรแกรม SPSS ในตารางที่ 4.20.....81

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.10 การวิเคราะห์ผลเพื่อทดสอบสมมุติฐานโดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ของโปรแกรม SPSS ในตารางที่ 4.20 ... 85

4.11 การวิเคราะห์ผลเพื่อทดสอบสมมุติฐานโดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ของโปรแกรม SPSS ในตารางที่ 4.25 ... 88

4.12 การวิเคราะห์ผลเพื่อทดสอบสมมุติฐานโดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ของโปรแกรม SPSS ในตารางที่ 4.31 ... 94

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การสืบค้นกระบวนการ (Process Mining) [1-3] เป็นกระบวนการสกัดความรู้จากบันทึกเหตุการณ์ (Event Log) ที่ถูกบันทึกอยู่ในระบบสารสนเทศองค์กรขนาดใหญ่ (Enterprise Information System) โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อค้นหาตัวแบบกระบวนการ (Process Model) ที่สนับสนุนการทำงานของกระบวนการทางธุรกิจ (Business Process) เพื่อช่วยในการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการทางธุรกิจ

การสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติก (Genetic Process Mining) [6-9] เป็นหนึ่งในเทคนิคสำคัญที่ใช้ในการสืบค้นกระบวนการที่อาศัยขั้นตอนวิธีเจเนติก (Genetic Algorithm) ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีที่นำวิธีการค้นหามาประยุกต์ใช้ในการจำลองวิวัฒนาการของกระบวนการ เพื่อใช้ในการสืบค้นหาตัวแบบกระบวนการจากเซตของเทรสเหตุการณ์ (Event Trace) ที่กำหนดให้ และเพื่อจัดการกับปัญหาที่วิธีการทั่วไปไม่สามารถจัดการได้หรือจัดการได้ไม่ดีพอ ยกตัวอย่างเช่น สิ่งรบกวน (Noise) และความไม่สมบูรณ์ของบันทึกเหตุการณ์ (Incompleteness)

ในการทดสอบครั้งแรกเครื่องมือที่ได้ถูกนำมาใช้ในการรับประกันว่าตัวแบบกระบวนการที่ได้จากการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติกสามารถวิเคราะห์ได้ทุกเทรสเหตุการณ์ในบันทึกเหตุการณ์ คือ ค่าความเหมาะสม (Fitness Function) แต่จากงานวิจัยของ W. M. P. van der Aalst, A. J. M. Weijters, A.K. Alves de Medeiros [6] พบว่า ค่าความเหมาะสมอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะทำให้ได้ตัวแบบกระบวนการที่สามารถวิเคราะห์บันทึกเหตุการณ์ได้เป็นอย่างดี อีกทั้งจำนวนเจเนเรชันที่ใช้ในการสืบค้นกระบวนการยังคงอยู่ในระดับสูง ต่อมามีการพัฒนาวิธีในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่สมบูรณ์ที่เรียกว่า ขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบผสม (Hybrid Genetic Algorithm) โดยวิธีดังกล่าวจะนำ ฮิวริสติก (Heuristic) [5] มาช่วยในการสร้างประชากรเริ่มต้น (Initial Population) เพื่อให้ได้ประชากรเริ่มต้นที่มีประสิทธิภาพ จากแนวทางดังกล่าวได้ส่งผลให้ขั้นตอนวิธีเจเนติกสามารถสืบค้นตัวแบบกระบวนการที่สามารถวิเคราะห์ได้ทุกเทรสเหตุการณ์ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น แต่จากการทดลองพบว่า วิธีการดังกล่าวจะทำงานได้ดีกับโครงข่ายที่มีพฤติกรรมพิเศษ (Extra Behavior) น้อยหรือไม่มีเลย จึงส่งผลให้ในบางบันทึกเหตุการณ์ก็ยังคงมีความเร็วในการสืบค้นตัวแบบกระบวนการอยู่ในระดับต่ำ

ขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิส (A Meiosis Genetic Algorithm) เป็นขั้นตอนวิธีเจเนติกที่อาศัยหลักการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส เพื่อให้โครโมโซมที่ผลิตได้รองรับความสามารถในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม โดยการป้องกันการสูญเสียของโครโมโซมที่มีลักษณะที่ดี และเพิ่มความ

หลากหลายให้แก่โครโมโซม ด้วยการเพิ่มขั้นตอนการจำลองโครโมโซมแบบไม่เสมอภาค ซึ่งจะส่งผลให้มีความเร็วในการค้นหาคำตอบที่ถูกต้องสูงขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิสมาใช้กับการสืบค้นกระบวนการ โดยใช้จำนวนเจเนเรชันในการวัดความเร็วในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาขั้นตอนวิธีในการสืบค้นกระบวนการ โดยนำขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิสมาใช้แทนขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบเดิม โดยอาศัยหลักการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสในการป้องกันการสูญเสียตัวแบบกระบวนการที่ดี และเพิ่มความหลากหลายของตัวแบบกระบวนการ ซึ่งส่งผลให้จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการน้อยลง นั่นแสดงว่าการค้นหาตัวแบบกระบวนการมีความเร็วในการค้นหาตัวแบบกระบวนการเพิ่มขึ้น

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1. ไม่มีความแตกต่างกันของจำนวนเจเนเรชันในการสืบค้นกระบวนการโดยอาศัยขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิสระหว่างกรณีที่สายนำมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยกับกรณีไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่สายนำ

2. จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมของขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิสดีกว่า (น้อยกว่า) ขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบเดิม

1.4 ขอบเขตการวิจัย

ปรับปรุงและพัฒนาขั้นตอนวิธีการสืบค้นกระบวนการ โดยอาศัยหลักการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเพื่อเพิ่มความเร็วในการค้นหาตัวแบบกระบวนการ โดยวัดจากจำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม อีกทั้งยังเพิ่มการป้องกันการสูญเสียตัวแบบกระบวนการที่ดีในรุ่นพ่อแม่และเพิ่มความหลากหลายของตัวแบบกระบวนการที่ผลิตได้ รวมถึงทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่ให้จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาคำตอบน้อยที่สุดของขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบเดิม กับขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิส เพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบจำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการระหว่างขั้นตอนวิธีเจเนติกทั้งสองแบบ

1.5 ส่วนประกอบวิทยานิพนธ์

ส่วนที่เหลือของวิทยานิพนธ์นี้ จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 จากนั้นจะกล่าวถึง การสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบไมโอซิสในบทที่ 3 การทดลองในบทที่ 4 และจะกล่าวถึงการสรุปในบทที่ 5

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การสืบค้นกระบวนการ

การสืบค้นกระบวนการ เป็นกระบวนการค้นหาตัวแบบกระบวนการจากบันทึกเหตุการณ์โดยการสกัดข้อมูลเกี่ยวกับกิจกรรมและความสัมพันธ์มูลเหตุ (Causal Relation) ซึ่งสนับสนุนการทำงานของกระบวนการทางธุรกิจเพื่อช่วยในการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

บันทึกเหตุการณ์ คือ สิ่งที่ทำการบันทึกลำดับกระบวนการทำงานของเหตุการณ์ ซึ่งจะประกอบด้วยข้อมูลเกี่ยวกับ กิจกรรม(Activity/Task), เคส (Case) คือกระบวนการตัวอย่าง (Process Instance), ผู้ดำเนินการ (Originator) และ เวลาในการทำงาน (Time Stamp) โดยข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาใช้ในการสร้างจุดเริ่มต้นของการสืบค้น โดยในตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างของบันทึกเหตุการณ์ซึ่งมี 18 เหตุการณ์ และ 8 กิจกรรม

เราสามารถจำแนกลักษณะการสืบค้นกระบวนการได้เป็นสามประเภทด้วยกัน คือ

1) *ด้านกระบวนการ (Process Perspective)* การสืบค้นกระบวนการประเภทนี้จะให้ความสนใจกับการทำงานของกิจกรรม โดยมีเป้าหมายเพื่อค้นหาลักษณะที่ดีของเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยจะอธิบายมันในรูปของตัวแบบกระบวนการ
2) *ด้านผู้ดำเนินงาน (Originator Perspective)* จะให้ความสนใจกับผู้ดำเนินงาน โดยมีเป้าหมายเพื่อทำการแบ่งบุคลากรขององค์กรตามบทบาทหน้าที่(role)หรือความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการดำเนินงาน
3) *ด้านคุณสมบัติของเคส (Case Perspective)* การสืบค้นกระบวนการประเภทนี้จะให้ความสนใจกับคุณสมบัติของเคส และสร้างความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของเคสที่หลากหลาย

สำหรับงานวิจัยนี้จะมุ่งความสนใจไปที่ด้านกระบวนการเพียงอย่างเดียว และเพื่อให้ง่ายแก่การวิเคราะห์จึงได้ทำการจัดกิจกรรมในบันทึกเหตุการณ์ให้อยู่ในรูปของเทรสเหตุการณ์ ดังตารางที่ 2.2 จากนั้นนำเทรสเหตุการณ์ดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์เราจะสามารถสกัดกระบวนการออกมาจากเทรสเหตุการณ์เหล่านี้และใช้พีทรีเนท (Petri net) ในการแสดงตัวแบบของกระบวนการจากเทรสเหตุการณ์ดังกล่าว โดยวิธีการที่ใช้ในการสืบค้นกระบวนการอาจจะใช้วิธีที่กล่าวถึงในหัวข้อ 2.1.3

ตารางที่ 2.1 บันทึกเหตุการณ์

Case ID	Activity ID	Originator	Timestamp
Case 1	A	John	09-03-2004:15.01
Case 2	A	John	09-3-2004:15.12
Case 3	A	Sue	09-03-2004:16.03
Case 3	D	Carol	09-03-2004:16.07
Case 1	B	Mike	09-03-2004:18.25
Case 1	H	John	10-03-2004:09.23
Case 2	C	Mike	10-03-2004:10.34
Case 4	A	Sue	10-03-2004:10.35
Case 2	H	John	10-03-2004:12.34
Case 3	E	Pete	10-03-2004:12.50
Case 3	F	Carol	11-03-2004:10.12
Case 4	D	Pete	11-03-2004:10.14
Case 3	G	Sue	11-03-2004:10.44
Case 3	H	Pete	11-03-2004:11.03
Case 4	F	Sue	11-03-2004:11.18
Case 4	E	Clare	11-03-2004:12.22
Case 4	G	Mike	11-03-2004:14.34
Case 4	H	Clare	11-03-2004:14.38

ตารางที่ 2.2 เทรสเหตุการณ์

Case	Event Trace
1	ABH
2	ACH
3	ADEFGH
4	ADFEGH

2.1.1 ตัวแบบกระบวนการ

ตัวแบบกระบวนการ เป็นตัวแบบที่ใช้อธิบายเกี่ยวกับเส้นทาง (Routing) การทำงานของกิจกรรมสำหรับกระบวนการทางธุรกิจ โดยเส้นทาง (เส้นทาง คือ การที่กิจกรรมหนึ่งก่อให้เกิดอีกกิจกรรมหนึ่ง) ที่เกิดขึ้นในตัวแบบกระบวนการเราสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทดังต่อไปนี้

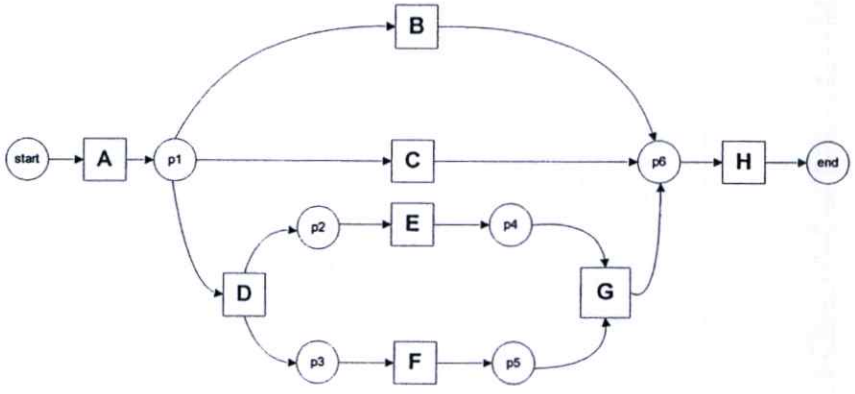
1) เส้นทางเดี่ยว (Sequence Routing) คือการที่กิจกรรมหนึ่งก่อให้เกิดกิจกรรมเดี่ยวอีกกิจกรรมหนึ่ง
2) เส้นทางขนาน (Parallel Routing) คือการที่กิจกรรมหนึ่งสามารถเอคซิคิวท์ได้หลายกิจกรรมพร้อมๆกัน
3) เส้นทางทางเลือก (Choice Routing) คือการที่กิจกรรมสามารถเอคซิคิวท์ได้หลายกิจกรรมแต่มีเพียงกิจกรรมเดียวเท่านั้นที่ถูกเอคซิคิวท์

โดยทั่วไปตัวแบบกระบวนการจะใช้ตัวดำเนินการทางตรรกศาสตร์ (Boolean Operator) โดยใช้ AND (^) กับกิจกรรมที่มีเส้นทางแบบขนาน และ OR (v) กับกิจกรรมที่มีเส้นทางแบบทางเลือก

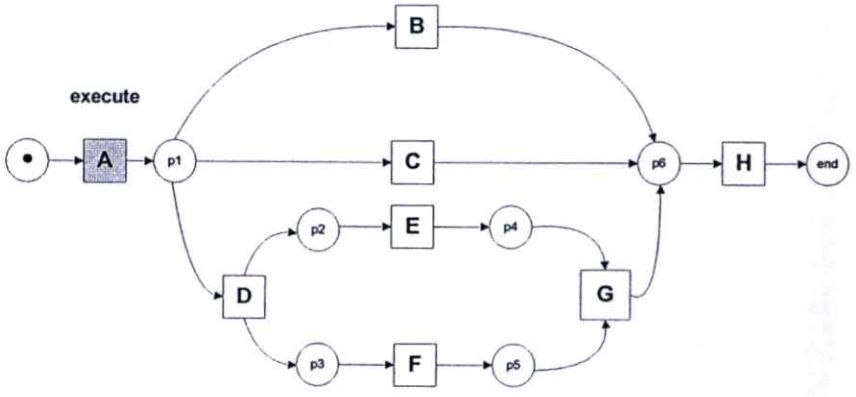
2.1.2 พีทรีเนท

พีทรีเนท เป็นกราฟสองทิศทางที่ประกอบด้วยโหนด 2 ชนิดคือ เพลส (Place) เป็นตัวแทนของเงื่อนไขในกระบวนการซึ่งจะแสดงสถานะที่เป็นไปได้ของระบบ และ ทรานซิชัน (Transition) เป็นกิจกรรมในบันทึกเหตุการณ์ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสถานะ โดยเราสามารถอธิบายสถานะของพีทรีเนทได้โดยการใส่จุดสีดำเข้าไปในเพลส ซึ่งเราเรียกมันว่า โทเคน (Token)

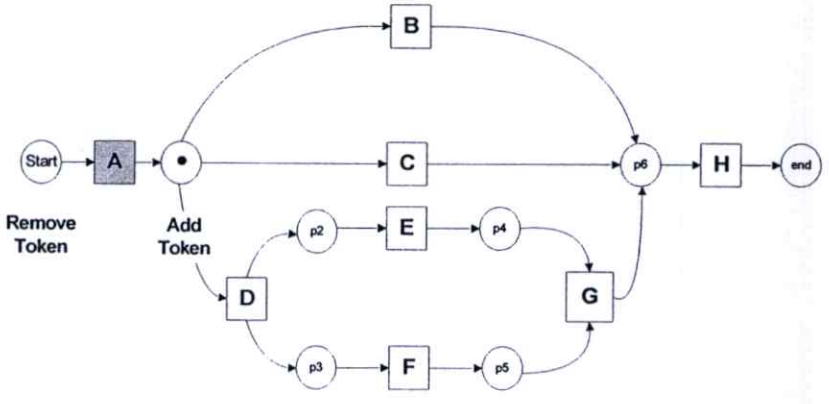
การเปลี่ยนแปลงของพีทรีเนทจะถูกพิจารณาตามกฎการเข้ากับเงื่อนไข (Firing Rule) โดยทรานซิชันจะสามารถถูกเอคซิคิวท์ก็ต่อเมื่อ อินพุทเพลส (Input Place) ทั้งหมดของมันมีจำนวนของโทเคนอย่างน้อยต้องเท่ากับจำนวนของกิ่งทิศทางจากเพลสไปสู่ทรานซิชัน หลังจากการเอคซิคิวท์ทรานซิชันก็จะทำการลบโทเคนจากอินพุทเพลส แล้วทำการสร้างโทเคนใหม่ที่เอาท์พุทเพลส (Output Place) และที่สำคัญพีทรีเนทที่เราจะนำมาใช้ในการพิจารณาต้องมีเพลสเริ่มต้น (Start Place) และ เพลสสิ้นสุด (End Place) เพียงอันเดียวเท่านั้น จากภาพที่ 2.1 เป็นรูปแสดงตัวแบบพีทรีเนท ของข้อมูลจากตารางที่ 2.2 และการเอคซิคิวท์ทรานซิชันในพีทรีเนท



a) ตัวแบบพีทรีเนท



ก่อนเอคซิคิวท์



หลังเอคซิคิวท์

b) การเอคซิคิวท์ทรานซิชันในพีทรีเนท

ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างของตัวแบบพีทรีเนท (a) และการเอคซิคิวท์ทรานซิชันในพีทรีเนท (b)

2.1.3 ขั้นตอนวิธีในการสืบค้นตัวแบบกระบวนการจากบันทึกเหตุการณ์

ขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการสืบค้นกระบวนการที่เหมาะสมจากบันทึกเหตุการณ์สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลยุทธ์ด้วยกันคือ

1. กลยุทธ์เฉพาะที่ (Local Strategies) เป็นการสร้างตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม (Optimal Process Model) ด้วยข้อมูลเฉพาะที่ (Local Information) ซึ่งจะให้ความสนใจเฉพาะกิจกรรมของเหตุการณ์ที่อยู่ใกล้เคียง โดยการสืบค้นกระบวนการด้วยขั้นตอนวิธีอัลฟา (Alpha Algorithm) [3] และการสืบค้นกระบวนการโดยใช้หลักการฮิวริสติค (Heuristic Process Mining) [4] เป็นตัวอย่างของการสืบค้นกระบวนการที่ใช้กลยุทธ์เฉพาะที่

2. กลยุทธ์โดยรวม (Global Strategies) เป็นวิธีการที่ใช้การค้นหาเพื่อหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม โดยการค้นหาแบบเจเนติกก็เป็นหนึ่งในวิธีที่ใช้กลยุทธ์ดังกล่าวในการค้นหาตัวแบบกระบวนการ เนื่องจากค่าความเหมาะสมของตัวแบบคู่แข่ง จะถูกคำนวณจากการเปรียบเทียบตัวแบบกระบวนการกับเทรสเหตุการณ์ทั้งหมดในบันทึกเหตุการณ์ ส่งผลให้มันสามารถยืนยันได้ว่าจะได้ผลลัพธ์เป็นตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมที่ได้มาจากข้อมูลทั้งหมดในบันทึกเหตุการณ์ ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติก จะกล่าวถึงในหัวข้อ 2.3

2.1.4 ปัญหาของการสืบค้นกระบวนการ

ในหัวข้อนี้เราจะจำแนกปัญหาของการสืบค้นกระบวนการออกเป็น 2 ประเภทหลักคือ

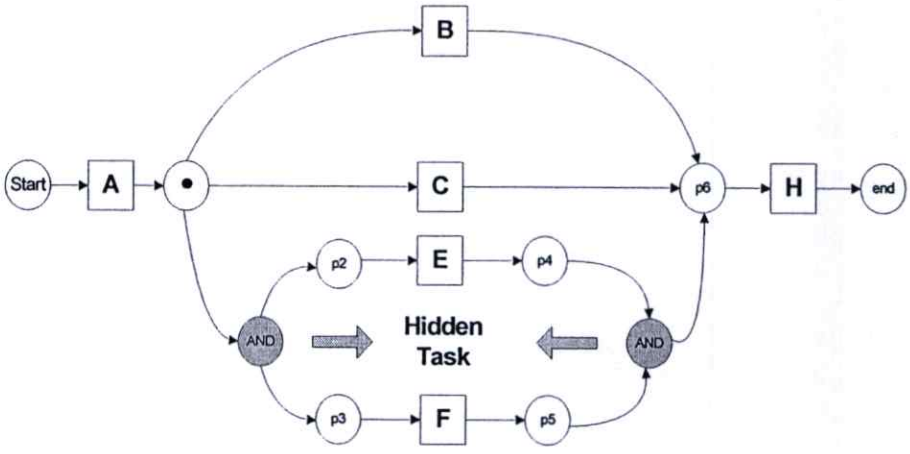
2.1.4.1 ปัญหาเชิงโครงสร้าง

ปัญหาเชิงโครงสร้าง เป็นปัญหาที่เกิดจากความผิดพลาดของโครงสร้างของพีทรีเนทซึ่งมีดังต่อไปนี้

กิจกรรมซ่อน (Invisible Activity/Hidden Activity)

จากข้อกำหนดพื้นฐานของการสืบค้นกระบวนการ คือ ทุกกิจกรรมที่เกิดขึ้นในเคสที่กำหนดจะต้องถูกบันทึกอยู่ในบันทึกเหตุการณ์ เพราะมันเป็นไปไม่ได้ที่เราจะพบกิจกรรมที่ไม่ได้ถูกบันทึก ดังนั้นจึงมีการสร้างภาษาแทนกิจกรรมที่ควรจะมีอยู่แต่ไม่ปรากฏให้เห็นที่เราเรียกมันว่า *"ยิดเดนทาสค์"* ซึ่งเป็นเพลสที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อเชื่อมต่อกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกันแทนกิจกรรมที่ควรจะมีแต่ไม่ปรากฏอยู่ในข้อมูล ส่งผลให้ไม่สามารถสร้างตัวแบบกระบวนการที่ถูกต้องได้

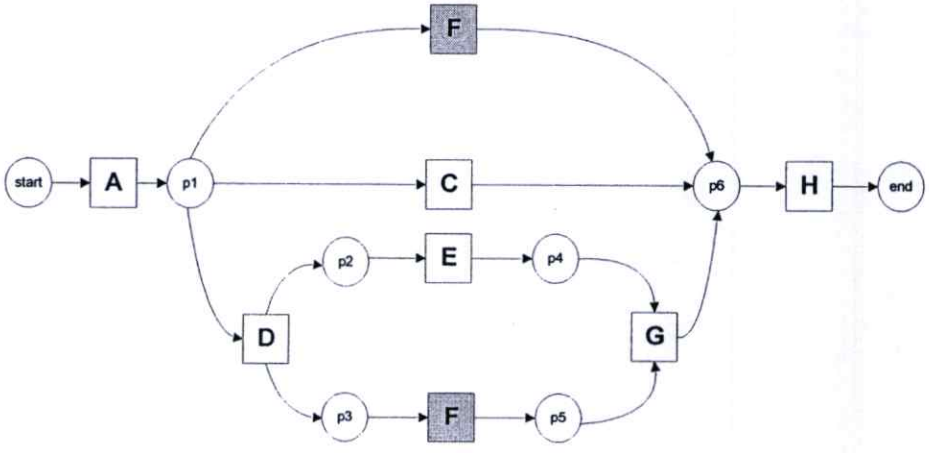
ยกตัวอย่างเช่น สมมุติว่าถ้า D และ G ถูกลบออกจากบันทึกเหตุการณ์ในตารางที่ 2.1 และกำหนดให้ E และ F อยู่ในระบบขนาน ส่งผลให้เราสามารถสร้างตัวแบบกระบวนการได้ดังภาพที่ 2.2 โดยเอา แอนด์สปริท (And-Split) แทนกิจกรรม D และ แอนด์จอยน์ (And-Join) แทนกิจกรรม G



ภาพที่ 2.2 พีทรีเนทตัวแบบกระบวนการที่ประกอบด้วย 2 ฮิดเดนทาสค์

กิจกรรมซ้ำ (Duplicate Task)

การซ้ำกันของกิจกรรม เกิดจากตัวแบบกระบวนการที่มีโหนดอย่างน้อย 2 โหนดขึ้นไปอ้างถึงกิจกรรมเดียวกัน ยกตัวอย่างเช่น ในตารางที่ 2.1 และภาพที่ 2.1 กิจกรรม B ถูกเปลี่ยนเป็นกิจกรรม F ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้จะส่งผลให้การสร้างตัวแบบกระบวนการโดยอัตโนมัติเป็นไปได้ยาก เพราะไม่สามารถจำแนก F ในเคสหนึ่งจาก F ในเคสอื่นๆได้ ดังภาพที่ 2.3

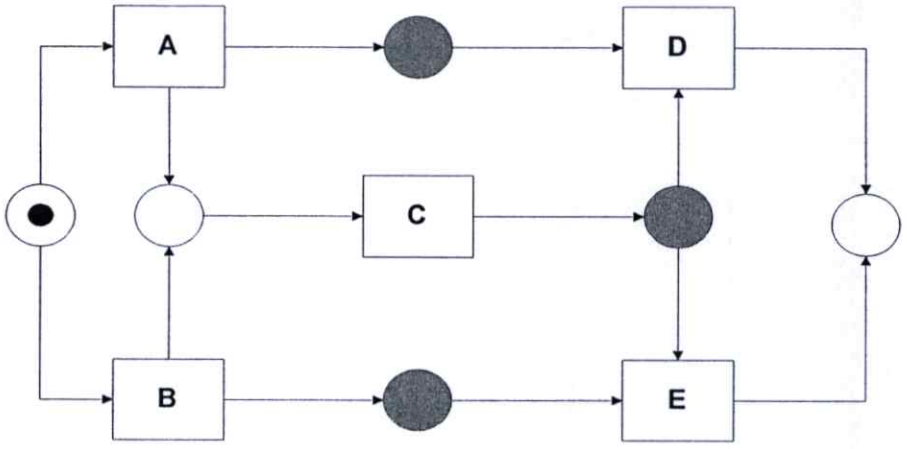


ภาพที่ 2.3 พีทรีเนทตัวแบบกระบวนการที่มีการซ้ำกันของกิจกรรม

โครงสร้างที่มีความไม่เป็นอิสระในการเลือก (Non-Free-Choice Construct)

โครงสร้างที่มีความไม่เป็นอิสระในการเลือก เมื่อถูกนำมาใช้ในการควบคุมการเลือกกิจกรรมที่จะถูกเอคซิคิวท์ระหว่างกิจกรรมสองกิจกรรม จะส่งผลให้ระบบไม่สามารถตัดสินใจได้ว่าจะเลือกเอคซิคิวท์กิจกรรมใดโดยอาศัยข้อมูลจากโหนดในตัวแบบกระบวนการเพียงโหนดเดียว แต่มันยังขึ้นอยู่กับทางเลือกที่สร้างขึ้นจากโหนดอื่นของตัวแบบกระบวนการ จากภาพที่ 2.4 แสดงให้เห็นว่า หลังจากทำการเอคซิคิวท์กิจกรรม C จะทำให้เกิดทางเลือกขึ้นระหว่าง

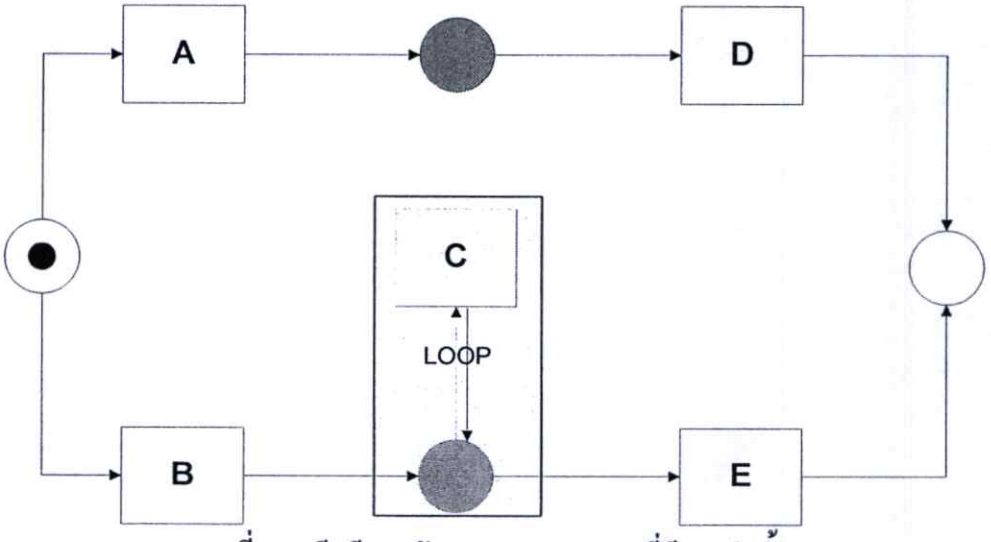
กิจกรรม E และ D ว่ากิจกรรมใดจะได้รับการเอคซิคิวท์ ซึ่งมันจะถูกควบคุมโดยกิจกรรมที่เอคซิคิวท์ได้เร็วกว่าระหว่างกิจกรรม A และ B แสดงว่าจะมีการเลือกเกิดขึ้นในกิจกรรม D และ E ยกตัวอย่างเช่น ถ้าการเอคซิคิวท์ในกิจกรรม A ทำเสร็จก่อน ระบบก็จะทำการเลือกเอคซิคิวท์กิจกรรม D



ภาพที่ 2.4 พีทรีเนทตัวแบบกระบวนการที่เป็นโครงสร้างที่ไม่มีความเป็นอิสระในการเลือก

การทำซ้ำ (Loop)

การทำซ้ำ เป็นการเอคซิคิวท์กิจกรรมเดียวกันหลายๆครั้งในกระบวนการ ดังจะเห็นได้จาก ภาพที่ 2.5 ซึ่งแสดงตัวแบบกระบวนการที่มีการทำซ้ำ โดยจากภาพจะเห็นได้ว่าหลังจากทำการเอคซิคิวท์ กิจกรรม B แล้ว กิจกรรม C จะถูกเอคซิคิวท์ได้หลายครั้ง อนึ่งการทำซ้ำยังสามารถถูกใช้เพื่อกระโดดกลับไปเพลสใดๆในกระบวนการ เทคนิคในการค้นหาจำนวนมากจะสร้างข้อกำหนดเกี่ยวกับการทำซ้ำเพื่อควบคุมให้สามารถค้นหากระบวนการได้อย่างถูกต้อง



ภาพที่ 2.5 พีทรีเนทตัวแบบกระบวนการที่มีการทำซ้ำ

2.1.4.2 ปัญหาเชิงผลลัพธ์

ปัญหาเชิงผลลัพธ์ เป็นปัญหาที่เกิดจากความผิดพลาดของข้อมูลซึ่งส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง โดยปัญหาเชิงผลลัพธ์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

สิ่งรบกวน

สิ่งรบกวน เกิดขึ้นจากความไม่ถูกต้องของข้อมูลที่ทำการบันทึกในการบันทึกเหตุการณ์หรือข้อยกเว้น (Exception) อันหมายถึงลำดับของเหตุการณ์ที่นำไปสู่ "พฤติกรรมที่ผิดปรกติ (Abnormal Behavior)" โดยที่สิ่งเหล่านี้จะก่อให้เกิดปัญหาเมื่อเรานำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการสืบค้นกระบวนการ

ความไม่สมบูรณ์

ความไม่สมบูรณ์ คือ การที่กระบวนการไม่สามารถที่จะแสดงพฤติกรรมเป็นไปได้ทั้งหมดซึ่งอยู่ในบันทึกเหตุการณ์ได้อย่างแท้จริง ซึ่งมันจะเกิดขึ้นเมื่อเรามีข้อมูลไม่เพียงพอที่จะสร้างกระบวนการ ยกตัวอย่างเช่น จากตารางที่ 2.2 เราสมมุติให้เส้นทางในเคส 1 เกิดขึ้นน้อยมาก เมื่อเราทำการสืบค้นเคสเทรสเหตุการณ์ที่มีจำนวนน้อยๆ มันจะส่งผลในทำนองเดียวกับมีเพียงเคส 2 ถึง 4 ที่ถูกบันทึก ดังนั้นตัวแบบกระบวนการที่เราค้นพบก็จะไม่ถูกต้องเพราะกิจกรรม B จะหายไปจากตัวแบบ

2.2 ขั้นตอนวิธีเจเนติก

ขั้นตอนวิธีเจเนติก เป็นขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยอาศัยกลไกตามแนวคิดของทฤษฎีวิวัฒนาการ เช่น การไขว้เปลี่ยนของโครโมโซมหรือการครอสโอเวอร์ (Crossover) การกลายพันธุ์ (Mutation) และทฤษฎีการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติ ซึ่งโดยทั่วไปตามธรรมชาติพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดจะมีพัฒนาการโดยการคัดสรรเลือกสิ่งที่ดีที่สุดในสายพันธ์เพื่อสืบทอดไปยังรุ่นต่อไป ส่งผลให้สามารถค้นหาคำตอบที่ดีกว่าเดิมในขั้นถัดไป

สำหรับการนำขั้นตอนวิธีเจเนติกมาใช้ในการค้นหาคำตอบของปัญหา จะมีเครื่องมือที่ต้องนำมาใช้ในการทำงานเพื่อค้นหาคำตอบดังต่อไปนี้

2.2.1 การเข้ารหัสโครโมโซม

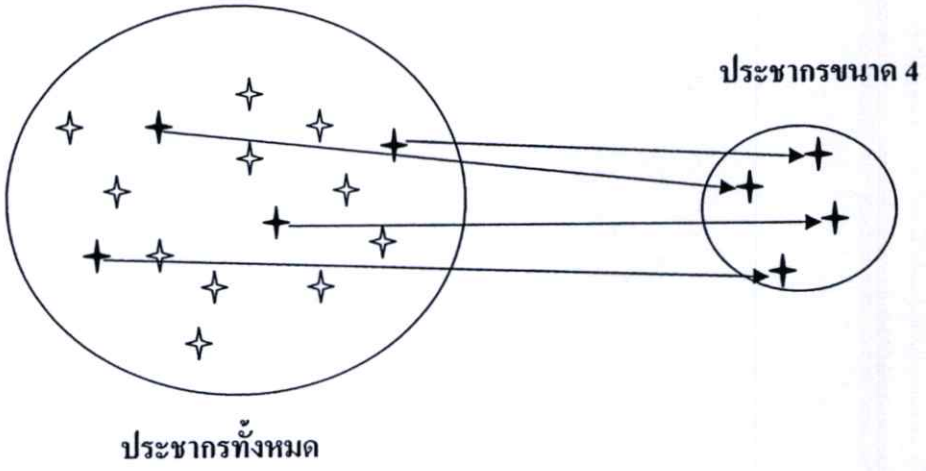
การเข้ารหัสโครโมโซม เป็นขั้นตอนที่ทำการแปลงปัญหาที่เราต้องการจะทำการแก้ไขให้อยู่ในรูปโครโมโซม โดยรูปแบบโครโมโซมที่เราจะใช้ในการแก้ไขปัญหามีหลากหลายรูปแบบตามประเภทของปัญหา ยกตัวอย่างเช่น การเข้ารหัสไบนารี่ (Binary Encoding) เป็นการเข้ารหัสโครโมโซมโดยให้ทุกตำแหน่งในโครโมโซมมีค่าเป็นเพียง 0 กับ 1 ดังภาพที่ 2.6

Chromosome 1 1101100100110110
Chromosome 2 1101111000011110

ภาพที่ 2.6 ลักษณะของโครโมโซมที่มีการเข้ารหัสแบบไบนารี่

2.2.2 การสร้างประชากรเริ่มต้น

ประชากรเริ่มต้นจะถูกสร้างจาก การสุ่มเลือกโครโมโซมจากโครโมโซมทั้งหมดเพื่อสร้างประชากรต้นแบบมาใช้เป็นจุดเริ่มต้นของการวิวัฒนาการ ดังจะเห็นได้จากภาพที่ 2.7 โดยขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นก่อนที่จะเข้ากระบวนการของขั้นตอนวิธีเจเนติก ซึ่งในการสุ่มเลือกจะทำการสุ่มตามจำนวนของประชากรที่ได้กำหนดไว้



ภาพที่ 2.7 การสร้างประชากรเริ่มต้นโดยการสุ่มเลือกจากประชากรทั้งหมด

2.2.3 ค่าความเหมาะสม

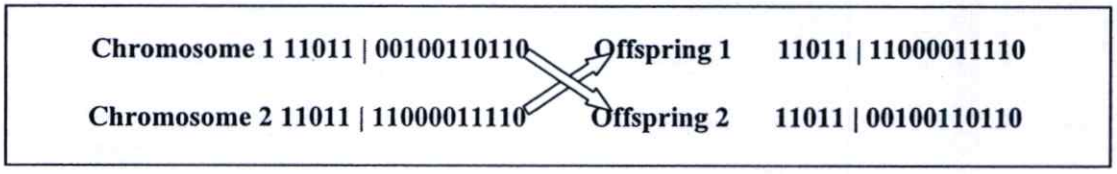
ค่าความเหมาะสม เป็นฟังก์ชันที่ใช้สำหรับการประเมินค่าเพื่อให้คะแนนสำหรับคำตอบทั้งหมดที่เป็นไปได้ของปัญหา ซึ่งโครโมโซมทุกตัวจะมีค่าความเหมาะสมของตัวเองเพื่อใช้ในการพิจารณาว่าโครโมโซมตัวใดที่มีความเหมาะสมที่จะได้รับการเลือกเพื่อนำมาใช้ในการสืบทอดพันธุกรรมสำหรับสร้างโครโมโซมรุ่นใหม่ โดยฟังก์ชันที่ใช้ในการคำนวณจะแตกต่างตามชนิดของปัญหาที่ทำการหาคำตอบ

2.2.4 ตัวดำเนินการเจเนติก

ตัวดำเนินการเจเนติก เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างโครโมโซมใหม่ตามกระบวนการของขั้นตอนวิธีเจเนติก เพื่อทำให้เกิดวิวัฒนาการไปสู่คำตอบที่ดีขึ้น โดยตัวดำเนินการพื้นฐานที่เราใช้ในการสร้างโครโมโซมใหม่มีดังต่อไปนี้

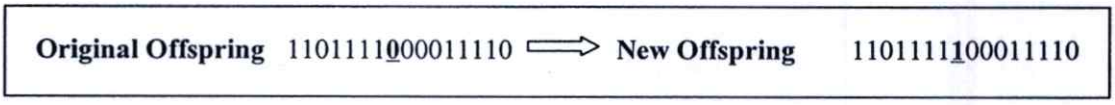
การคัดเลือก (Selection) เป็นการคัดเลือกโครโมโซมเพื่อนำมาเป็นพ่อแม่ในการผลิตรุ่นลูก โดยโครโมโซมที่มีค่าความเหมะสมสูงจะมีโอกาสได้รับเลือกมากกว่าโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมต่ำ ซึ่งส่งผลให้โครโมโซมที่มีความเหมาะสมต่ำอาจเกิดการสูญพันธุ์ได้

การครอสโอเวอร์ เป็นการสร้างประชากรหรือโครโมโซมใหม่จากประชากรต้นแบบ 2 ตัว ด้วยการแลกชิ้นส่วนกันของโครโมโซมพ่อแม่ที่ได้จากการคัดเลือกโครโมโซม ขั้นตอนในการครอสโอเวอร์จะเริ่มจากการสุ่มตำแหน่งที่จะทำการครอสโอเวอร์บนโครโมโซมซึ่งเราเรียกว่าจุดครอสโอเวอร์ (Crossover Point) จากนั้นทำการตัดแบ่งโครโมโซมทั้งคู่ตามตำแหน่งที่สุ่มได้แล้วทำการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ตัดออกระหว่างพ่อกับแม่จะทำให้ได้โครโมโซมใหม่ 2 ตัวดังที่จะเห็นได้จากในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 การครอสโอเวอร์ระหว่างโครโมโซมพ่อกับแม่

การกลายพันธุ์ เป็นการสร้างโครโมโซมใหม่จากประชากรต้นแบบเพียงหนึ่งตัวด้วยการเปลี่ยนข้อมูลของโครโมโซมจากค่าหนึ่งไปสู่อีกค่าหนึ่งตามตำแหน่งที่สุ่มได้บนโครโมโซม ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 การกลายพันธุ์ของโครโมโซม

2.2.5 พารามิเตอร์ (Parameter)

พารามิเตอร์ เป็นตัวแปรที่ต้องกำหนดก่อนที่ขั้นตอนวิธีเจเนติกจะทำงาน ซึ่งพารามิเตอร์พื้นฐานที่มีในขั้นตอนวิธีเจเนติกโดยทั่วไปจะมีทั้งหมด 4 ค่าด้วยกัน คือ ขนาดประชากร (Population Size) , จำนวนรอบในการทำงาน (Generation) , อัตราการครอสโอเวอร์ (Crossover Rate) และ อัตราการกลายพันธุ์ (Mutation Rate) โดยที่สองค่าสุดท้ายจะมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1

สำหรับเงื่อนไขในการหยุดการทำงานของขั้นตอนวิธีเจเนติกสามารถกำหนดได้หลายรูปแบบด้วยกัน ยกตัวอย่างเช่น ครบรอบการทำงานที่กำหนดไว้, พบเป้าหมายหรือได้คำตอบที่ต้องการ เป็นต้น อนึ่งจากเครื่องมือทั้ง 5 ที่ได้กล่าวในข้างต้นจะถูกนำมาใช้ในขั้นตอนวิธีเจเนติก ซึ่งสามารถสรุปขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธีเจเนติก ได้ดังภาพที่ 2.10

1. สร้างโครโมโซมเริ่มต้นโดยการสุ่มจากโครโมโซมทั้งหมดตามจำนวนประชากรที่กำหนดไว้
2. คำนวณค่าความเหมาะสมของโครโมโซมทุกตัว
3. สุ่มเลือกโครโมโซม 2 ตัวจากประชากรเริ่มต้น
4. ทำการครอสโอเวอร์โดยการสุ่มค่าและหากค่าที่สุ่มได้น้อยกว่าอัตราการครอสโอเวอร์เราจะนำโครโมโซมที่ได้จากข้อ 4 มาทำการครอสโอเวอร์
5. ทำการกลายพันธุ์โดยการสุ่มค่าและหากค่าที่สุ่มได้น้อยกว่าอัตราการกลายพันธุ์ ให้นำโครโมโซมที่ได้ในข้อที่ 5 มาทำการกลายพันธุ์
6. เก็บโครโมโซมในข้อ 6 ไว้ในเจเนติกพูล (Genetic Pool)
7. กลับไปทำข้อ 4 ใหม่จนกว่าจำนวนโครโมโซมในเจเนติกพูลเท่ากับจำนวนของประชากรที่กำหนดไว้
8. นำโครโมโซมทุกตัวในเจเนติกพูลมาแทนในรุ่นพ่อแม่
9. หากจำนวนรอบการทำงานยังไม่ครบหรือยังไม่เจอคำตอบให้กลับไปทำข้อ 2

ภาพที่ 2.10 ขั้นตอนวิธีเจเนติก

2.3 การสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติก

การสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติก เป็นการใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติกในการค้นหาตัวแบบกระบวนการจากบันทึกเหตุการณ์เพื่อจัดการกับปัญหาที่วิธีการทั่วไปไม่สามารถจัดการได้หรือจัดการได้ไม่ดีพอ ไม่ว่าจะเป็นปัญหาเกี่ยวกับการมีอยู่ของสิ่งรบกวน และความไม่สมบูรณ์ของบันทึกเหตุการณ์ นอกจากนี้ยังรวมถึงปัญหาที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้าง ยกเว้นปัญหาเกี่ยวกับการซ้ำกันของกิจกรรม เช่น กิจกรรมซ่อน โครงสร้างที่ไม่มีความเป็นอิสระในการเลือก เป็นต้น

2.3.1 การแทนตัวแบบกระบวนการ

ตัวแทนภายใน (Internal Representation) เป็นสิ่งที่ใช้เป็นตัวแทนในการอธิบายการขึ้นต่อกันระหว่างกิจกรรมในบันทึกเหตุการณ์ซึ่งถูกนำมาใช้แทนตัวแบบกระบวนการ เพื่อสร้างคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด (Search Space) และนำมาใช้เป็นประชากรเริ่มต้นในขั้นตอนวิธีเจเนติก จากเหตุผลข้างต้นจึงเป็นสาเหตุให้ คอซอลเมทริกซ์ (Causal Matrices: CM) ถูกนำมาใช้ในการสร้างตัวแทน

คอซอลเมทริกซ์ เป็นตัวแทนของตัวแบบกระบวนการที่ถูกสร้างโดยอาศัยแนวคิดของเมทริกซ์ กับนิพจน์บูลีน (Boolean Expression) โดยที่เมทริกซ์จะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างแถวและสดมภ์ของเมทริกซ์ ด้วยความสัมพันธ์มูลเหตุระหว่างกิจกรรมในกระบวนการ โดยทั่วไปคอซอลเมทริกซ์จะมีขนาด n x n เมื่อ n เป็นจำนวนกิจกรรมในกระบวนการ ซึ่งค่าความสัมพันธ์มูลเหตุในคอซอลเมทริกซ์จะเป็นสิ่งที่อธิบายว่า มีความสัมพันธ์มูลเหตุระหว่างกิจกรรมทั้งสองหรือไม่ โดยถ้า

Causal (Row, Column) มีค่าเป็น 1 แสดงว่ากิจกรรมทั้งสองมีความสัมพันธ์ แต่ถ้ามีค่าเป็น 0 แสดงว่ากิจกรรมทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์ ดังจะเห็นได้ในตารางที่ 2.3

ส่วนนิพจน์บูลีนจะถูกนำมาใช้ในการอธิบายโครงสร้างของเส้นทางด้วยตัวดำเนินการบูลีน ซึ่งเราสามารถจำแนกนิพจน์บูลีนได้เป็น 2 แบบคือ

1. **นิพจน์อินพุท** (Input Expression) เป็นนิพจน์บูลีนที่อยู่ในแถวอินพุท โดยจะอธิบายถึงกิจกรรมที่ควรจะเกิดขึ้นเพื่อสร้างกิจกรรมเอาท์พุทให้เกิดขึ้นที่สดมภ์ ยกตัวอย่างเช่น เมื่อพิจารณาที่สดมภ์กิจกรรม H ในตารางที่ 2.3 จะเห็นได้ว่ากิจกรรม H จะเอคซิคิวท์เพื่อสร้างกิจกรรมใหม่ได้ก็ต่อเมื่อมีกิจกรรม B หรือ C หรือ G ปรากฏขึ้น นั่นคือกิจกรรมเอาท์พุทของแถวกิจกรรม B หรือ C หรือ G มีกิจกรรมเอาท์พุทที่มีกิจกรรม H อยู่ในสถานะแอคทีฟ

2. **นิพจน์เอาท์พุท** (Output Expression) เป็นนิพจน์บูลีนที่อยู่ในแถวเอาท์พุทซึ่งจะแสดงกิจกรรมที่อาจจะถูกเอคซิคิวท์ หลังจากกิจกรรมที่แถวถูกเอคซิคิวท์ ยกตัวอย่างเช่น เมื่อกิจกรรม D ถูกเอคซิคิวท์ เราจะทำการพิจารณาที่แถวกิจกรรม D ในตารางที่ 2.3 จะเห็นได้ว่า กิจกรรม E และ F ซึ่งเป็นนิพจน์เอาท์พุทของกิจกรรม D จะเป็นกิจกรรมที่อาจจะถูกเอคซิคิวท์ในการเอคซิคิวท์ครั้งถัดไป นั่นคือ กิจกรรม E และ F จะถูกเซตให้มีสถานะเป็นแอคทีฟ

ตารางที่ 2.3 คอซอลเมทริกซ์ที่ถูกใช้เป็นตัวแทนตัวแบบกระบวนการ

INPUT	True	A	A	A	D	D	E ^ F	B v C v G	
→	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**	**OUTPUT**
A	0	1	1	1	0	0	0	0	B v C v D
B	0	0	0	0	0	0	0	1	H
C	0	0	0	0	0	0	0	1	H
D	0	0	0	0	1	1	0	0	E ^ F
E	0	0	0	0	0	0	1	0	G
F	0	0	0	0	0	0	1	0	G
G	0	0	0	0	0	0	0	1	H
H	0	0	0	0	0	0	0	0	True

จากตารางที่ 2.3 เป็นคอซอลเมทริกซ์ที่ใช้สำหรับอธิบายพีทรีเนทในภาพที่ 2.1 ซึ่งมีความซับซ้อนอยู่มาก และเพื่อให้ง่ายแก่ความเข้าใจจึงได้ทำการปรับคอซอลเมทริกซ์ให้อยู่ในรูปแบบย่อ โดยจะมีเพียงข้อมูล กิจกรรม นิพจน์อินพุทและนิพจนเอาท์พุทของตัวแบบกระบวนการ จากนั้นทำการจัดรูปแบบของนิพจน์บูลีนให้อยู่ในรูปของเซตของเซตย่อย (Set of Subset) โดยกิจกรรมที่อยู่ในเซตย่อยจะมีความสัมพันธ์แบบออร์ (OR: v) และแต่ละเซตย่อยจะมีความสัมพันธ์แบบแอนด์ (AND: ^) ดังตารางที่ 2.4 อนึ่งเนื่องจากคอซอลเมทริกซ์เป็นตัวแทนของตัวแบบกระบวนการ ซึ่ง

สามารถปรับให้อยู่ในรูปพีทรีเนทได้ จึงส่งผลให้สามารถเรียกคอซอลเมทริกซ์ว่าตัวแบบกระบวนการได้เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 2.4 คอซอลเมทริกซ์อย่างย่อ

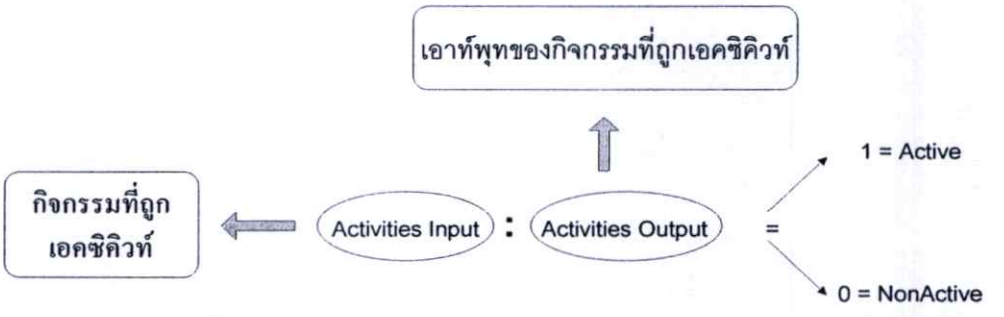
ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B,C,D}}
B	{{A}}	{{H}}
C	{{A}}	{{H}}
D	{{A}}	{{E},{F}}
E	{{D}}	{{G}}
F	{{D}}	{{G}}
G	{{E},{F}}	{{H}}
H	{{B,C,G}}	{}

2.3.2 การวิเคราะห์เชิงตรรกะ

การวิเคราะห์เชิงตรรกกะ เป็นการอ่านกิจกรรมจากเทรสเหตุการณ์ตามลำดับ และตรวจสอบว่ากิจกรรมดังกล่าวจะถูกเอคซิคิวท์ในตัวแบบกระบวนการหรือไม่ โดยกิจกรรมจะถูกเอคซิคิวท์ก็ต่อเมื่อค่าอินพุทของมันมีค่าเป็น True นั่นคือ มีอย่างน้อยหนึ่งกิจกรรมของแต่ละเซตย่อยที่มีค่าเป็น 1 หรือที่เรียกว่า แอคทีฟ ส่วนความถี่ที่ได้จากการอ่านกิจกรรมเราจะนำมาใช้ในการคำนวณค่าความเหมาะสม ซึ่งในการวิเคราห์เชิงตรรกะนั้นจะมีการแบ่งขั้นตอนในการทำการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ขั้นตอนหลักคือ

1) **ขั้นตอนการสร้าง** เป็นขั้นตอนสำหรับเตรียมความพร้อมก่อนที่จะเข้าสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์ ด้วยการสร้างสิ่งต่อไปนี้

1.1) สร้าง แอคติวิตี้มาร์ค (Activity Marking) ของเทรสเหตุการณ์ จากนิพจน์บูลีนในคอซอลเมทริกซ์ เพื่อที่จะนำมาใช้ทำการวิเคราะห์ โดยจัดให้อยู่ในรูปแบบเดียวกับภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 รูปแบบแอคติวิตี้มาร์คของเทรสเหตุการณ์

1.2) สร้างอิลิเมนท์พิเศษเพื่อนำมาใช้ในการมาร์คขึ้นมา 2 ตัวคือ "Start" และ "End" เพื่อให้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่ว่า กิจกรรมเริ่มต้น และ กิจกรรมสิ้นสุดต้องเป็นแบบจุดเดียว

2) **ขั้นตอนการวิเคราะห์** เป็นขั้นตอนในการวิเคราะห์เทรสเหตุการณ์โดยอาศัยสิ่งที่สร้างขึ้นมาจากขั้นตอนการสร้าง โดยกำหนดให้กิจกรรมที่ถูกเอคซิคิวท์ในแอคติวิตี้มาร์ค สามารถทำหน้าที่เป็นกิจกรรมอินพุทของกิจกรรมที่ถูกเอคซิคิวท์ได้อีกด้วย ส่วนขั้นตอนในการวิเคราะห์สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

2.1) กิจกรรมแรกจะถูกวิเคราะห์ก็ต่อเมื่อ อิลิเมนท์เริ่มต้นมีค่าเป็น 1 และหลังจากการเอคซิคิวท์ เอาท์พุทของกิจกรรมแรกที่ถูกเอคซิคิวท์จะถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 1 ส่วนอิลิเมนท์เริ่มต้นจะถูกกำหนด ให้มีค่าเป็น 0

2.2) ทำการอ่านกิจกรรมในเทรสเหตุการณ์ลำดับถัดไปเพื่อนำมาเอคซิคิวท์ โดยกิจกรรมดังกล่าวจะสามารถเอคซิคิวท์ได้ก็ต่อเมื่อกิจกรรมนั้นมีกิจกรรมอินพุทและกิจกรรมเอาท์พุทของกิจกรรมอินพุทนั้นจะต้องมีกิจกรรมนั้นอย่างน้อย 1 กิจกรรมในแต่ละเซตย่อยของนิพจน์อินพุทมีค่าเป็น 1

2.3) ทำการปรับค่ามาร์คของกิจกรรมเอาท์พุทในแอคติวิตี้มาร์ค ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการเอคซิคิวท์กิจกรรม โดยหลักเกณฑ์ในการปรับสถานะดังกล่าวสามารถแบ่งได้เป็น 3 กรณี ตามความสัมพันธ์ในนิพจน์เอาท์พุทของกิจกรรมอินพุทที่เป็นอินพุทของกิจกรรมเอคซิคิวท์ ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 หลักเกณฑ์ในการปรับค่ามาร์คของกิจกรรมจากการเอคซิคิวท์ในแต่ละกรณี

Sequence	Or	And
- กิจกรรมที่ถูกเอคซิคิวท์จะถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 0 - กิจกรรมเอาท์พุทของกิจกรรมที่ถูกเอคซิคิวท์จะถูกมาร์ค(กำหนดให้มีค่าเป็น 1)	- ทุกอิลิเมนท์ที่มีความสัมพันธ์กับกิจกรรมที่ถูกเอคซิคิวท์จะถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 0 - กิจกรรมเอาท์พุทของกิจกรรมที่ถูกเอคซิคิวท์จะถูกมาร์ค	- กิจกรรมเฉพาะตัวที่ถูกเอคซิคิวท์จะถูกกำหนดให้เป็น 0 - กิจกรรมเอาท์พุทของกิจกรรมที่ถูกเอคซิคิวท์จะถูกมาร์ค

2.4) กลับไปทำการวิเคราะห์ในข้อ 2.2) – 2.3) ไปเรื่อยจนกระทั่งหมดกิจกรรมในเทรสเหตุการณ์ หรือ อิลิเมนท์สุดท้ายมีค่าเป็น 1 โดยในกรณีที่วิเคราะห์จนหมดเทรสเหตุการณ์ อิลิเมนท์สุดท้ายควรจะมีค่าเป็น 1 เมื่อการวิเคราะห์สิ้นสุดลง

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

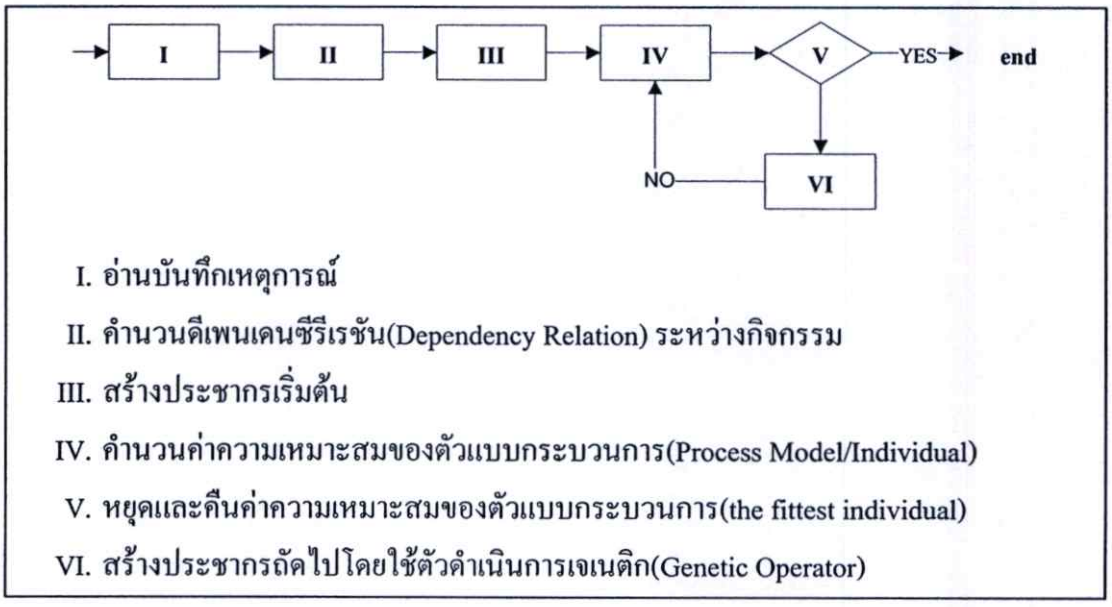
ตารางที่ 2.6 การวิเคราะห์เชิงตรรกะที่สมบูรณ์โดยใช้ตัวแบบกระบวนการในตารางที่ 2.4

Element Being Parsed	Individual Current Marking	Description Step
ADEFGH	A:B = 0 , C = 0 , D = 0 B:H = 0 D:E = 0 , F = 0 F: G = 0 C:H = 0 E:G = 0 G: H = 0 Start = 1 End = 0	เมื่อเราทำการเอคซิคิวท์ A เป็นกิจกรรมแรกซึ่งจะทำการเอคซิคิวท์ก็ต่อเมื่ออิลิเมนท์เริ่มต้นมีค่าเป็น 1
ADEFGH	***A:B = 1 , C = 1 , D = 1*** B:H = 0 D:E = 0,F = 0 F: G = 0 C:H = 0 E:G = 0 G: H = 0 ***Start = 0*** End = 0	ผลลัพธ์ที่ได้จากการเอคซิคิวท์ A จะทำให้อิลิเมนท์มีสถานะดังตาราง จากนั้นทำการเอคซิคิวท์กิจกรรม D ซึ่งจะทำได้ก็ต่อเมื่อ D ในกิจกรรมอินพุทของ D นั่นคือ Aถูก มาร์ค นั่นคือมีค่าเป็น 1
ADEFGH	***A:B = 0 , C = 0 , D = 0*** B:H = 0 *D:E = 1,F = 1* F: G = 0 C:H = 0 E:G = 0 G: H = 0 Start = 0 End = 0	ผลลัพธ์ ที่ได้จากการการเอคซิคิวท์ D จะทำให้อิลิเมนท์มีสถานะดังตาราง เนื่องจาก B , C , D มีความสัมพันธ์แบบออร์ เมื่อเลือกตัวใดตัวหนึ่งมาเอคซิคิวท์ จะส่งผลให้ค่าที่เหลือถูกกำหนด เป็น 0 แล้วทำการเอคซิคิวท์ E เป็นลำดับถัดไป
ADEFGH	A:B = 0 , C = 0 , D = 0 B:H = 0 ***D:E = 0,F = 1*** F: G = 0 C:H = 0 ***E:G = 1*** G: H = 0 Start = 0 End = 0	นี่คือผลลัพธ์ ที่ได้จากการการเอคซิคิวท์ E เนื่องจากที่กิจกรรมอินพุท D กิจกรรม E และ F มีความสัมพันธ์แบบแอนด์ ดังนั้นเมื่อทำการเอคซิคิวท์กิจกรรม E อิลิเมนท์ E จะถูกปรับให้เป็น 0
ADEFGH	A:B = 0 , C = 0 , D = 0 B:H = 0 ***D:E = 0,F = 0*** ***F: G = 1*** C:H = 0 ***E:G = 1*** G: H = 0 Start = 0 End = 0	นี่คือผลลัพธ์ ที่ได้จากการการเอคซิคิวท์ F เนื่องจาก ที่กิจกรรมอินพุท D กิจกรรม E และ F มีความสัมพันธ์แบบแอนด์ ดังนั้นเมื่อทำการเอคซิคิวท์กิจกรรม F อิลิเมนท์ F จะถูกปรับให้เป็น 0 จากนั้นทำการเอคซิคิวท์ G โดยจะเอคซิคิวท์ได้ก็ต่อเมื่อ G ใน E และ F มีค่าเป็น 1 เนื่องจาก E และ F มีความสัมพันธ์แบบแอนด์ในนิพจน์อินพุท
ADEFGH	A:B = 0 , C = 0 , D = 0 B:H = 0 D:E = 0,F = 0 ***F: G = 0*** C:H = 0 ***E:G = 0*** ***G: H = 1*** Start = 0 End = 0	ผลลัพธ์ ที่ได้จากการการเอคซิคิวท์ G จากนั้นทำการเอคซิคิวท์ H ซึ่งการเอคซิคิวท์ H จะเกิดขึ้นเมื่อกิจกรรมอินพุท B หรือ C หรือ G มีกิจกรรมเอาท์พุท H มีค่าเป็น 1
ADEFGH	A:B = 0 , C = 0 , D = 0 B:H = 0 D:E = 0,F = 0 F: G = 0 C:H = 0 E:G = 0 ***G: H = 0*** Start = 0 ***End = 1***	ผลลัพธ์ ที่ได้จากการการเอคซิคิวท์ H เนื่องจากเอาท์พุทของกิจกรรม H เป็น เซตว่างจึงส่งผลให้อิลิเมนท์สุดท้าย ถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 1

107440

2.3.3 ขั้นตอนการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติก

ในการสืบค้นกระบวนการ โดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติกจะมีขั้นตอนการทำงานดังภาพที่ 2.12 ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดของขั้นตอนหลักๆได้ดังนี้



I. อ่านบันทึกเหตุการณ์

II. คำนวนดีเพนเดนซีรีเรชัน(Dependency Relation) ระหว่างกิจกรรม

III. สร้างประชากรเริ่มต้น

IV. คำนวนค่าความเหมาะสมของตัวแบบกระบวนการ(Process Model/Individual)

V. หยุดและคืนค่าความเหมาะสมของตัวแบบกระบวนการ(the fittest individual)

VI. สร้างประชากรถัดไปโดยใช้ตัวดำเนินการเจเนติก(Genetic Operator)

ภาพที่ 2.12 ขั้นตอนการสืบค้นกระบวนการ โดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติก

2.3.3.1 การสร้างประชากรเริ่มต้น

เริ่มแรกประชากรเริ่มต้นหรือประชากรต้นกำเนิดถูกสร้างขึ้นมาอย่างไม่เป็นระบบ เพื่อนำมาใช้ในการสืบค้นกระบวนการ โดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติก ซึ่งคอซอลเมทริกซ์ที่เรานำมาใช้ในการสืบค้นนั้นจะได้มาจากการแมป (Map) พีทรีเนทตัวแบบกระบวนการซึ่งสร้างมาจากวิธีที่แตกต่างกัน ส่งผลให้โครโมโซมตัวแบบกระบวนการที่ได้มีข้อผิดพลาดจำนวนมากยากแก่การค้นหาคำตอบที่เหมาะสม

ต่อมาเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จึงมีการนำค่าดีเพนเดนซี (Dependency Measure) มาใช้ในการสร้างประชากรเริ่มต้น โดยอาศัยพื้นฐานของวิธีการแบบฮิวริสติก [5] ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการในภาพที่ 2.13 เมื่อเรากำหนดให้ t_1 และ t_2 เป็นกิจกรรมในบันทึกเหตุการณ์ T, $L1L\ (t_1)$ คือจำนวนครั้งที่สตริงย่อย *"t_1t_1"* ปรากฏ, $L2L\ (t_1,t_2)$ คือจำนวนครั้งที่สตริงย่อย *"$t_1t_2t_1$"* ปรากฏ และ $follow(t_1,t_2)$ คือ จำนวนครั้งที่ t_1t_2 ปรากฏ ($t_1 \rightarrow t_2$)

$$D(t_1,t_2)=\begin{cases}\frac{L2L(t_1,t_2)+L2L(t_2,t_1)}{L2L(t_1,t_2)+L2L(t_2,t_1)+1} & \text{if } t_1\neq t_2 \text{ and } L2L(t_1,t_2)>0\\ \frac{follows(t_1,t_2)-follows(t_2,t_1)}{follows(t_1,t_2)+follows(t_2,t_1)+1} & \text{if } t_1\neq t_2 \text{ and } L2L(t_1,t_2)=0\\ \frac{L1L(t_1,t_2)}{L1L(t_1,t_2)+1} & \text{if } t_1=t_2\end{cases}$$

ภาพที่ 2.13 สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าดีเพนเดนซีระหว่างกิจกรรม

จากนั้นนำสมการคำนวณค่าดีเพนเดนซีระหว่างกิจกรรมมาช่วยในการสร้างประชากรเริ่มต้น ด้วยขั้นตอนวิธีในการสร้างประชากรเริ่มต้น ดังภาพที่ 2.14

Input: บันทึกเหตุการณ์ , ค่ากำลัง , ค่าดีเพนเดนซี
Output: คอซอลรีเรชัน

1. ทุกกิจกรรม t_1 และ t_2 จะทำการสุ่มค่า r ซึ่งอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ถ้า $r < (D(t_1,t_2))^P$ แล้ว $Casual(t_1,t_2) = 1$ ไม่เช่นนั้น $Causal(t_1,t_2) = 0$
2. ทุกกิจกรรม t ถ้า $r < (S(t))^P$ แล้ว ค่าในสดมภ์ t จะมีค่าเป็น 0 ทั้งหมด
3. ทุกกิจกรรม t ถ้า $r < (E(t))^P$ แล้ว ค่าในแถว t จะมีค่าเป็น 0 ทั้งหมด
4. ทุกสดมภ์ t_1 ในคอซอลเมทริกซ์ เซตอินพุท คือ $X_i := \{t_2 | causal(t_2,t_1) = 1\}$
5. ทุกแถว t_1 ในคอซอลเมทริกซ์ เซตเอาท์พุท คือ $X_i := \{t_2 | causal(t_1,t_2) = 1\}$

ภาพที่ 2.14 ขั้นตอนวิธีการสร้างประชากรเริ่มต้นของการสืบค้นกระบวนการ

จากขั้นตอนวิธีการสร้างประชากรเริ่มต้นในภาพที่ 2.14 ค่า P คือ ค่ากำลัง (Power Value) ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นเลขคี่ โดยถ้าเรากำหนดให้ ค่า P มีค่าสูง แสดงว่าความสัมพันธ์มูลเหตุระหว่างกิจกรรมมีความสัมพันธ์กันน้อย ส่วนกิจกรรมในเซตอินพุทและเซตเอาท์พุทของคอซอลเมทริกซ์จะถูกนำมารวมกันด้วยตัวดำเนินการบูลีนซึ่งได้มาจากการสุ่ม เพื่อสร้างนิพจน์อินพุทและนิพจน์เอาท์พุทของตัวแบบกระบวนการ ยกตัวอย่างเช่น เมื่อพิจารณาที่กิจกรรม A ในตารางที่ 2.3 จะพบว่ากิจกรรม A มีเซตเอาท์พุทเป็น B C และ G จากนั้นทำการรวมเซตเอาท์พุทดังกล่าวด้วยตัวดำเนินการโดยอาศัยการรวมกันแบบสุ่ม (Random Combination) ซึ่งจะได้นิพจน์เอาท์พุทเป็นไปได้ คือ B ^ C ^ G B ^ C v G B ^ G v C ^ G v B และ C v B v G

หลังจากทำการสร้างประชากรเริ่มต้นตามขั้นตอนที่ได้อธิบายมาแล้ว จะส่งผลให้ได้ตัวแบบกระบวนการ ดังตัวอย่างที่จะแสดงให้เห็นในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ตัวอย่างคอซอลเมทริกซ์หรือตัวแบบกระบวนการที่ได้จากการสร้างประชากรเริ่มต้น

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B,C,D}}
B	{{A}}	{{H}}
C	{{A}}	{{H}}
D	{{A}}	{{E}}
E	{{D}}	{{G}}
F	{}	{{G}}
G	{{E},{F}}	{{H}}
H	{{C,B,G}}	{}

a) Individual 1

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B,C,D}}
B	{{A}}	{{H}}
C	{{A}}	{{H}}
D	{{A}}	{{E,F}}
E	{{D}}	{{G}}
F	{{D}}	{{G}}
G	{{E},{F}}	{{H}}
H	{{C},{B},{G}}	{}

b) Individual 2

2.3.3.2 ค่าความเหมาะสม

ค่าความเหมาะสมในการสืบค้นกระบวนการ เป็นค่าที่บอกถึงระดับความสามารถของตัวแบบกระบวนการในการวิเคราะห์เทรสเหตุการณ์ที่มีอยู่ในบันทึกเหตุการณ์ โดยถ้าค่าความเหมาะสมมีค่าสูง แสดงว่าตัวแบบกระบวนการที่นำมาวิเคราะห์นั้นสามารถอธิบายพฤติกรรมที่ถูกบรรจุอยู่ในบันทึกเหตุการณ์ได้มาก โดยในการสืบค้นกระบวนการด้วยขั้นตอนวิธีเจเนติกจะกำหนดให้ค่าความเหมาะสมของตัวแบบกระบวนการที่เป็นคำตอบที่เหมาะสมนั้นมีค่า เท่ากับ 1 นั่นหมายความว่า ตัวแบบกระบวนการดังกล่าวสามารถอธิบายพฤติกรรมที่บรรจุอยู่ในบันทึกเหตุการณ์ได้อย่างสมบูรณ์ ส่วนค่าที่เรานำมาใช้ในการคำนวณหาค่าความเหมาะสมนั้นเป็นค่าความถี่ที่ได้จากการวิเคราะห์เทรสเหตุการณ์ด้วยตัวแบบกระบวนการหรือที่เรียกว่า การวิเคราะห์เชิงตรรกกะ

ในระยะแรกที่เริ่มใช้การสืบค้นกระบวนการด้วยขั้นตอนวิธีเจเนติกนั้น ค่าความเหมาะสมของตัวแบบกระบวนการนั้นสามารถหาได้จากสมการในภาพที่ 2.15

$$fitness\,(PM, L) = 0.20 \times \frac{allParsedActivities\,(PM, L)}{numActivitiesLog\,(L)} + 0.30 \times \frac{allCompletedLogTrace\,(PM, L)}{numTraceLog(L)} + 0.50 \times \frac{allProperlyCompleteLogTraces(PM, L)}{numTracesLog(L)}$$

เมื่อ

numActivitiesLog = จำนวนของกิจกรรมในบันทึกเหตุการณ์

numTraceLog = จำนวนของเทรสในบันทึกเหตุการณ์

allParsedActivities = จำนวนกิจกรรมในบันทึกเหตุการณ์ทั้งหมด ซึ่งคอซอลเมทริกซ์สามารถถูกวิเคราะห์โดยปราศจากปัญหา

allProperlyCompleteLogTrace = เป็นจำนวนของเทรสซึ่งถูกวิเคราะห์โดยสมบูรณ์ คือจะมีเพียงอิลิเมนท์สุดท้ายเท่านั้นที่มีค่าเป็น 1

allCompleteLogTrace = เป็นจำนวนของเทรสในบันทึกเหตุการณ์ซึ่งถูกวิเคราะห์โดยสมบูรณ์

ภาพที่ 2.15 สมการแรกที่ใช้ในการคำนวณค่าความเหมาะสม

เนื่องจากในสมการแรกมีการวิเคราะห์ตรรกะแบบหยุด (Stop Semantics Parsing Procedure) ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาขึ้นเมื่อมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นระบบจะหยุดทำการวิเคราะห์ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวเราจะใช้สมการในภาพที่ 2.16 มาคำนวณหาค่าความเหมาะสม และให้การวิเคราะห์ดำเนินต่อไปไม่ทำการหยุดวิเคราะห์กระบวนการหลังจากพบข้อผิดพลาด แต่จะทำการบันทึกข้อผิดพลาดแล้วทำการวิเคราะห์ต่อไป ซึ่งเราเรียกวิธีการดังกล่าวว่าวิธีการวิเคราะห์ตรรกะแบบต่อเนื่อง (Continuous Semantic Parsing Procedure)

$$fitness = 0.40 \times \frac{allParsedActivities(PM, L)}{numberActivitiesAtLog(L)} + 0.60 \times \frac{allProperlyCompleteLogTraces(PM, L)}{numberTracesAtLog(L)}$$

ภาพที่ 2.16 สมการที่สองที่ใช้ในการคำนวณค่าความเหมาะสม

เนื่องจากค่าความเหมาะสมสองค่าแรกจะทำการพิจารณาเฉพาะส่วนที่มีการวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง แต่ไม่ได้ทำการพิจารณาถึงส่วนที่ไม่ถูกต้อง ดังนั้นเพื่อให้ได้ค่าความเหมาะสมที่สามารถหาตัวแบบกระบวนการที่สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมในบันทึกเหตุการณ์ได้ดีที่สุด จึงได้ทำการปรับสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความเหมาะสมเป็นสมการในภาพที่ 2.17 หรือที่เรียกว่าค่าความเหมาะสมแบบพูนิชเมนท์ (Punishment) ซึ่งใช้ข้อมูลทั้งสองส่วนในการคำนวณค่าดังกล่าว

$$fitness = \frac{allParsedA\ ctivities\ (PM, L) - puishment}{numActivit\ iesLog\ (L)}$$

$$punishment = \frac{allMis\ \sin\ gTokens\ (L, CM)}{numTracesL\ og(L) - numTracesM\ is\ \sin\ gTokens\ (L, CM) + 1} + \frac{allExtraTo\ kensLeftBe\ hing\ (L, CM)}{nemTracesL\ og(L) - numTracesE\ xtraThoken\ sLeftBehin\ d(L, CM) + 1}$$

เมื่อ

numTracesMissingTokens = จำนวนเทรสที่เกิดการสูญหายของโทเคน(Missing Token)

numTracesExtraTokensLeftBehind = จำนวนของเทรสซึ่งมีโทเคนที่เหลือจากการวิเคราะห์

allMissingTokens = จำนวนของโทเคนที่สูญหายในเทรสเหตุการณ์ทั้งหมด

allExtraTokenLeftBehind = จำนวนของโทเคนซึ่งไม่ถูกทำลายหลังจากการวิเคราะห์จบสิ้นลง (Left Behind Token) บวกกับจำนวนของโทเคนที่เพลสสุดท้ายไม่เป็น 1

ภาพที่ 2.17 สมการคำนวณค่าความเหมาะสมแบบพูนิชเมนท์

2.3.3.3 การหยุดทำงาน

ขั้นตอนวิธีการสืบค้น จะหยุดทำงานก็ต่อเมื่อเกิดเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่งต่อไปนี้

1. ค้นพบตัวแบบกระบวนการที่มีค่าความเหมาะสมเท่ากับ 1
2. คำนวณมาแล้ว n เจเนเรชัน เมื่อ n เป็นจำนวนเจเนเรชันสูงสุดที่เราจะทำการพิจารณา
3. ค่าความเหมาะสมของตัวแบบกระบวนการที่ทำการทดสอบนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงมา n/2 เจเนเรชัน

2.3.3.4 ตัวดำเนินการเจเนติก

ตัวดำเนินการเจเนติก เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับสร้างตัวแบบกระบวนการในเจเนเรชันถัดไปของการสืบค้นกระบวนการด้วยขั้นตอนวิธีเจเนติก ซึ่งประกอบด้วยเครื่องมือต่อไปนี้

การคัดเลือก เป็นขั้นตอนที่ใช้ในการเลือกพ่อ-แม่ เพื่อนำมาใช้ในการครอสโอเวอร์ โดยเทคนิคที่เราจะนำมาใช้ในการเลือกพ่อ-แม่คือ *การคัดเลือกแบบทัวร์นาเมนท์ (Tournament Selection)* โดยเริ่มแรกจะต้องทำการสุ่มเลือก 5 ตัวแบบกระบวนการจากประชากรเริ่มต้นแล้วทำการคำนวณหาค่าความเหมาะสมของตัวแบบกระบวนการแล้วเลือกตัวแบบที่มีค่าเหมาะสมสูงสุดขึ้นมาเพียงหนึ่งตัวแบบกระบวนการ

บุริมสิทธิ์ (Elitism) เป็นค่าร้อยละในการคัดเลือกตัวแบบกระบวนการที่ดีที่สุดในเจเนเรชันปัจจุบัน เพื่อทำการคัดลอกไปสู่เจเนเรชันถัดไป โดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนวิธีเจเนติกซึ่งเป็น

การรักษาโครโมโซมที่ดีเอาไว้ โดยจำนวนตัวแบบกระบวนการที่ถูกคัดลอกจะมีขนาดเท่ากับ อัตราบุริมสิทธิ์ (Elitism Rate) คูณกับ ขนาดประชากร

การครอสโอเวอร์ เป็นตัวดำเนินการที่สำคัญในขั้นตอนวิธีเจเนติก ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อสร้างตัวแบบกระบวนการใหม่ด้วยการสลับสายพันธ์ระหว่างพ่อ-แม่ (Parent/Fittest Individuals) ที่เลือกมาจากประชากรในรุ่นปัจจุบัน อนึ่งการครอสโอเวอร์จะเกิดขึ้นได้เมื่อค่าที่สุ่มได้มีค่าน้อยกว่าอัตราการครอสโอเวอร์ซึ่งถูกกำหนดโดยผู้ใช้ เมื่ออัตราการครอสโอเวอร์ คือ ค่าที่ใช้ในการตัดสินใจว่าจะเกิดการครอสโอเวอร์ที่จุดครอสโอเวอร์ของพ่อ-แม่หรือไม่ โดยขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการครอสโอเวอร์จะมีขั้นตอนการทำงานดังภาพที่ 2.18

Input: ตัวแบบกระบวนการ 2 ตัว, อัตราการครอสโอเวอร์(CR)
Output: ตัวแบบกระบวนการใหม่
1. ถ้าตัวแบบกระบวนการทั้งสองเท่ากันให้ข้ามไปทำข้อ 3
2. ทำการสุ่มเลือกกิจกรรม t เพื่อเป็นจุดคลอสโอเวอร์ของตัวแบบกระบวนการ
   2.1 สุ่มเลือก จุดสลับ sp1 สำหรับ I1(t) จุดสลับได้มาจากตำแหน่งที่ 0 ถึง n-1 เมื่อ n เป็นจำนวนของเซตย่อยในเงื่อนไขฟังก์ชัน I1(t)
   2.2 สุ่มเลือกจุดสลับ sp2 for I2(t)
   2.3 remainingSet1(t) = เซตย่อยใน I1(t) ซึ่งอยู่ในตำแหน่งระหว่าง 0 ถึง sp1
   2.4 swapSet1(t) = เซตย่อยใน I1(t) ซึ่งอยู่ในตำแหน่งที่ > sp1
   2.5 ทำซ้ำขั้น 2.4 และ 2.5 โดยใช้ remainingSet2(t) , Sp2 และ swapSet2(t) แทน
   2.6 For ทุก subset S2 ใน swapSet2(t) do
      2.6.1 เลือก เซตย่อยใน remainingSet1(t) ลบอีลิเมนท์ ใน S2 ที่ซ้ำกับเซตย่อยใน remainingSet1(t) และ เพิ่ม S2 ไปสู่ remainingSet1
   2.7 ทำซ้ำ ขั้น 2.6 แต่ใช้ remainingSet2(t) ,S1,X2 ,swapSet1(t)
   2.8 I1(t) <-- remainingSet1(t) และ I2(t) <-- remainingSet2(t)
   2.9 ทำซ้ำ ขั้น 2.2-2.8 แต่ใช้ O(t) แทน I(t)
   2.10 ปรับกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับ t
3. คืนค่าตัวแบบกระบวนการใหม่ที่ได้จากการครอสโอเวอร์(offspring1 และ offspring2)

ภาพที่ 2.18 ขั้นตอนวิธีการครอสโอเวอร์ของการสืบค้นกระบวนการ

จากขั้นตอนวิธีในภาพที่ 2.18 เพื่อเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับการครอสโอเวอร์ จึงได้ทำการยกตัวอย่างการครอสโอเวอร์โดยใช้ตัวแบบกระบวนการจากตารางที่ 2.7 เป็นพ่อ-แม่ และกำหนดให้จุดที่ทำการครอสโอเวอร์ คือ กิจกรรม D

ตัวอย่างการครอสโอเวอร์

พิจารณาที่นิพจน์อินพุทของกิจกรรม D ในกรณีนี้การครอสโอเวอร์จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจาก I1(D) = I2(D)

1. I1(D) ={{A}}	1. I2(D) ={{A}}

พิจารณาที่นิพจน์เอาท์พุทของกิจกรรม D ซึ่งจะมีขั้นตอนการครอสโอเวอร์ดังต่อไปนี้

1. O1(D) ={{E}}	1. O2(D) ={{E,F}}
2. สุ่มเลือกจุดสลับ SP1 จากช่วง 0 ถึง 0 ได้ sp1 = 0	2. สุ่มเลือกจุดสลับ SP1 จากช่วง 0 ถึง 0ได้ sp2 = 0
3. remainingSet1(D) = {}	3. remainingSet2(D) = {}
4. swapSet1(D) = {{E}}	4. swapSet2(D) = {{E,F}}
5. Subset X = {}	5. Subset X = {}
6. S2 = {{E,F}}	6. S1 = {{E}}
7. เนื่องจาก X เป็นเซตว่าง การลบสมาชิกของ X ออกจาก S2 จึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง	7. เนื่องจาก X เป็นเซตว่าง การลบสมาชิกของ X ออกจาก S1 จึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง
8. ทำการเพิ่ม S2 เข้าไปใน remainingSet1(D) จะได้ remainingSet1(D) = {{E,F}}	8. ทำการเพิ่ม S1 เข้าไปใน remainingSet2(D) จะได้ remainingSet2(D) = {{E}}
9.O1(D) = {{E,F}}	9.O2(D) = {{E}}

จากตัวอย่างการครอสโอเวอร์ หลังจากที่ทำการครอสโอเวอร์เสร็จแล้ว จะได้ตัวแบบกระบวนการใหม่ดังตารางที่ 2.8 ซึ่งจะทำให้เกิดความขัดแย้งระหว่างนิพจน์บูลีนกับค่าความสัมพันธ์มูลเหตุในคอซอลเมทริกซ์ จึงต้องทำการปรับค่าในคอซอลเมทริกซ์ให้สัมพันธ์กันด้วยตัวดำเนินการการปรับกิจกรรมที่เกี่ยวข้องซึ่งจะกล่าวถึงในภายหลัง

ตารางที่ 2.8 ผลลัพธ์ที่ได้จากการครอสโอเวอร์ตัวแบบกระบวนการในตารางที่ 2.7 โดยกำหนดให้จุดครอสโอเวอร์เป็น D

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B,C,D}}
B	{{A}}	{{H}}
C	{{A}}	{{H}}
D	{{A}}	{{E,F}}
E	{{D}}	{{G}}
F	{{D}}	{{G}}
G	{{E},{F}}	{{H}}
H	{{C,B,G}}	{}

a) Offspring 1

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B,C,D}}
B	{{A}}	{{H}}
C	{{A}}	{{H}}
D	{{A}}	{{E}}
E	{{D}}	{{G}}
F	{}	{{G}}
G	{{E},{F}}	{{H}}
H	{{C},{B},{G}}	{}

b) Offspring 2

การกลายพันธุ์ เป็นการปรับเปลี่ยนบางรายละเอียดของตัวแบบกระบวนการในนิพจน์บูลีนของทุกกิจกรรมในตัวแบบกระบวนการ เพื่อให้โครโมโซมมีความแตกต่างไปจากเดิม โดยวิธีในการกลายพันธุ์มีสามแบบคือ 1. การเพิ่มกิจกรรม 2. การลบกิจกรรม และ 3. การปรับตัวดำเนินการบูลีน ซึ่งเราสามารถสรุปขั้นตอนวิธีกลายพันธุ์ได้ภาพที่ 2.19

Input: ตัวแบบกระบวนการ (CM) , อัตราการกลายพันธุ์ (MR)
Output: CM ที่ผ่านการกลายพันธุ์
1. For ทุกกิจกรรมในตัวแบบกระบวนการ do
   1.1) เลือกสุ่มจำนวน r จากค่าระหว่าง 0 ถึง 1
   1.2) ถ้า r < อัตราการกลายพันธุ์:
      1.2.1.) สร้างนิพจน์ใหม่สำหรับอินพุทของกิจกรรม t ด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้
         1. เลือก เซตย่อย X จาก นิพจน์ของอินพุท I(t) แล้วเพิ่มกิจกรรม t ไปที่เซตย่อย X เมื่อกิจกรรม t เป็นส่วนหนึ่งของเซตของกิจกรรมทั้งหมดในตัวแบบกระบวนการ
         2. เลือกเซตย่อย X จาก นิพจน์ของอินพุท แล้วลบกิจกรรม t จากเซตย่อย X เมื่อกิจกรรม t เป็นส่วนหนึ่งของเซตย่อย X และ ถ้า X เป็นค่าว่างหลังจากเราทำการลบกิจกรรม t ออกแล้ว เราจะทำการขจัด เซตย่อย X ออกจากนิพจน์อินพุท
         3. ทำการสร้างนิพจน์ใหม่โดยใช้กิจกรรมที่มีอยู่เดิมในนิพจน์อินพุท
      1.2.2.) ทำซ้ำขั้น 1.2.1 แต่เปลี่ยนเป็นเอาท์พุทของกิจกรรม t
      1.2.3.) ทำการปรับกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับ กิจกรรม t
2. คืนตัวแบบกระบวนการ(CM)

ภาพที่ 2.19 ขั้นตอนวิธีการกลายพันธุ์ของการสืบค้นกระบวนการ

เพื่อเพิ่มความเข้าใจในขั้นตอนวิธีการกลายพันธุ์ จึงได้ทำการยกตัวอย่างการกลายพันธุ์โดยใช้ตัวแบบกระบวนการที่ได้จากการครอสโอเวอร์ในตารางที่ 2.8 โดยในตัวอย่างนี้จะทำการอธิบายการกลายพันธุ์ทั้งสามกรณีของกิจกรรม D ซึ่งในกรณีนี้จะทำการพิจารณาเฉพาะในส่วนนิพจน์เอาท์พุทของกิจกรรม D

ตัวอย่างการกลายพันธุ์

พิจารณาที่นิพจน์เอาท์พุทของกิจกรรม D จะอธิบายขั้นตอนการกลายพันธุ์ได้ดังนี้

Offspring 1

1. สมาชิกใน O1(D) = E , F
2. <u>*กรณี เพิ่มกิจกรรม*</u>
   a) สุ่มเลือกกิจกรรมจากกิจกรรมทั้งหมดได้กิจกรรม A
   b) สุ่มเลือกเซตย่อยในนิพจน์ได้นิพจน์ E,F
   c) เพิ่มกิจกรรม A เข้าในนิพจน์ดังกล่าว
   d) O(D) = E,F,A

<u>*กรณี ลบกิจกรรม*</u>

a) สุ่มเลือกกิจกรรมจากสมาชิกใน O1(D) ได้ กิจกรรม E
b) ลบกิจกรรม E ออกจาก O1(D)
c) O(D) = {{F}}

<u>*กรณีสร้างนิพจน์ใหม่*</u>

a) สร้างเซตขึ้นมา 2 เซต {} {}
b) ทำการสุ่มอิลิเมนท์มาใส่ไว้ในเซตที่สร้างขึ้น สมมุติว่าได้เป็น {E},{F}
c) สกัดเอานอนเอมพ์ตี้เซตออกมาจะได้ นอนเอมพ์ตี้เซตเป็น {{E},{F}}
d) O(D) = {{E},{F}}

Offspring 2

1. สมาชิกใน O1(D) = E
2. <u>*กรณี เพิ่มกิจกรรม*</u>
   a) สุ่มเลือกกิจกรรมจากกิจกรรมทั้งหมดได้กิจกรรม C
   b) สุ่มเลือกเซตย่อยในนิพจน์ได้นิพจน์ E
   c) เพิ่มกิจกรรม C เข้าในนิพจน์ดังกล่าว
   d) O(D) = E,C

<u>*กรณี ลบกิจกรรม*</u>

a) สุ่มเลือกกิจกรรมจากสมาชิกใน O1(D) ได้ กิจกรรม E
b) ลบกิจกรรม E ออกจาก O1(D)
c) O(D) = {}

<u>*กรณีสร้างนิพจน์ใหม่*</u>

a) สร้างเซตขึ้นมา 1 เซต {}
b) ทำการสุ่มอิลิเมนท์มาใส่ไว้ในเซตที่สร้างขึ้น สมมุติว่าได้เป็น {E}
c) สกัดเอานอนเอมพ์ตี้เซตออกมาจะได้ นอนเอมพ์ตี้เซตเป็น {{E}}
d) O(D) = {{E}}

จากขั้นตอนวิธีการกลายพันธุ์ที่ได้อธิบายมาในข้างต้น เมื่อนำตัวแบบกระบวนการที่ได้จากการครอสโอเวอร์ในตารางที่ 2.8 มาทำการกลายพันธุ์จะได้ตัวแบบกระบวนการใหม่ดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ผลลัพธ์ที่ได้จากกลายพันธุ์ตัวแบบกระบวนการในตารางที่ 2.8 โดยกำหนดให้จุดที่เกิดการกลายพันธุ์ คือ กิจกรรม D

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B,C,D}}
B	{{A}}	{{H}}
C	{{A}}	{{H}}
D	{{A}}	{{E},{F}}
E	{{D}}	{{G}}
F	{{D}}	{{G}}
G	{{E},{F}}	{{H}}
H	{{B,C,G}}	{}

a) Offspring 1

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B,C.D}}
B	{{A}}	{{H}}
C	{{A}}	{{H}}
D	{{A}}	{{E}}
E	{{D}}	{{G}}
F	{}	{{G}}
G	{{E},{F}}	{{H}}
H	{{B,C,G}}	{}

b) Offspring 2

เนื่องจากในการกลายพันธุ์มีการเพิ่มและลบกิจกรรมจึงทำให้ส่งผลเช่นเดียวกับการครอสโอเวอร์ คือ เกิดความขัดแย้งระหว่างนิพจน์บูลีนกับค่าความสัมพันธ์มูลเหตุในคอซอลเมทริกซ์ เป็นเหตุให้ต้องมีการปรับกิจกรรมที่เกี่ยวข้องเช่นเดียวกัน

การปรับกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง (Update Relate Activity) เนื่องจากในการครอสโอเวอร์และการกลายพันธุ์ อาจจะส่งผลกระทบต่อกิจกรรมอื่นที่สัมพันธ์กับกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการครอสโอเวอร์หรือการกลายพันธุ์ ซึ่งส่งผลให้ค่าความสัมพันธ์มูลเหตุในคอซอลเมทริกซ์เกิดความขัดแย้งกับนิพจน์บูลีน จึงส่งผลให้ต้องมีการปรับตัวแบบกระบวนการเพื่อให้มีความสอดคล้องกันระหว่างนิพจน์บูลีนกับค่าความสัมพันธ์มูลเหตุในคอซอลเมทริกซ์ และ เพื่อให้ง่ายแก่ความเข้าใจจึงได้แสดงผลที่ได้จากการปรับกิจกรรมที่เกี่ยวของในตัวแบบกระบวนการที่ได้จากการครอสโอเวอร์ในตารางที่ 2.8-a) ดังตารางที่ 2.10 ส่วนขั้นตอนวิธีในการปรับกิจกรรมเกี่ยวข้องจะอธิบายได้ดังภาพที่ 2.20

Input: ตัวแบบกระบวนการ, กิจกรรม *t*

Output: ตัวแบบกระบวนการที่ปรับแล้ว

1. ปรับคอซอลเมทริกซ์
   1.1 I(t) ถูกใช้เพื่อ ปรับสดมภ์ และ O(t) ถูกใช้เพื่อปรับแถว t ในคอซอลเมทริกซ์
      1.1.1. ทุกกิจกรรม *t'* ใน I(t) จะมี *casual (t',t)* = 1 ส่วนเอนทรี (Entries) อื่นในสดมภ์จะถูกกำหนดเป็น 0
      1.1.2. ทำซ้ำขั้น 1.1.1. แต่เป็น O(t)
2. ตรวจสอบนิพจน์บูลีนของกิจกรรมอื่นที่ขัดแย้งกับสดมภ์และแถวของ t ในคอซอลเมทริกซ์
   2.1 เมื่อมีความขัดแย้งกันระหว่าง เอนทรีในคอซอลเมทริกซ์และนิพจน์บูลีน โดยกิจกรรมซึ่งเอนทรีเป็น 0 จะถูกขจัดออกจากนิพจน์บูลีนและ เอนทรีที่มีค่าเป็น 1 จะถูกเพิ่มเป็นหนึ่งในเซตย่อยในนิพจน์บูลีน

ภาพที่ 2.20 ขั้นตอนวิธีการปรับกิจกรรมของการสืบค้นกระบวนการ

ตารางที่ 2.10 ผลลัพธ์จากการปรับกิจกรรมที่เกี่ยวข้องของตัวแบบกระบวนการในตารางที่ 2.8-a)

INPUT	True	A	A	A	D	D	E ^ F	B v C v G	
→	A	B	C	D	E	F	G	H	OUTPUT
A	0	1	1	1	0	0	0	0	B v C v D
B	0	0	0	0	0	0	0	1	H
C	0	0	0	0	0	0	0	1	H
D	0	0	0	0	1	1	0	0	E v F
E	0	0	0	0	0	0	1	0	G
F	0	0	0	0	0	0	1	0	G
G	0	0	0	0	0	0	0	1	H
H	0	0	0	0	0	0	0	0	true

2.3.3.5 การสร้างเจเนเรชันถัดไป

การสร้างเจเนเรชันถัดไปของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติก เป็นการสร้างตัวแบบกระบวนการรุ่นใหม่จากตัวแบบกระบวนการปัจจุบันโดยใช้ตัวดำเนินการเจเนติกที่ได้กล่าวถึงข้างต้นเป็นเครื่องมือในการสร้างเจเนเรชันใหม่ตามขั้นตอนวิธีในภาพที่ 2.21

Input: ประชากรปัจจุบัน, อัตราบุริมสิทธิ์(ER),อัตราการครอสโอเวอร์ ,อัตราการกลายพันธุ์

Output: ประชากรใหม่

1. คัดลอกตัวแบบกระบวนการที่ดีที่สุดจำนวน "ER x ขนาดประชากร" จากประชากรปัจจุบัน ไปสู่ประชากรถัดไป
2. While มี ตัวแบบกระบวนการ ที่ถูกสร้าง do
   2.1 ใช้ tournament selection เพื่อเลือก parent1
   2.2 ใช้ tournament selection เพื่อเลือก parent2
   2.3 สุ่มเลือกค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ให้กับ r
   2.4 ถ้า r < อัตราการครอสโอเวอร์ แล้ว ทำการ ครอสโอเวอร์ parent1 กับ parent2 ไม่เช่นนั้น offspring1 = parent1 และ offspring2 = parent2
   2.5 ถ้าอัตราการกลายพันธุ์ != 0 แล้ว ทำการกลายพันธุ์ offspring1 และ off spring2
   2.6 คัดลอก offspring1 และ offspring2 ไปสู่ประชากรใหม่
3. คืนค่าประชากรใหม่

ภาพที่ 2.21 ขั้นตอนวิธีการสร้างเจเนเรชันใหม่ของการสืบค้นกระบวนการโดยขั้นตอนวิธีเจเนติก

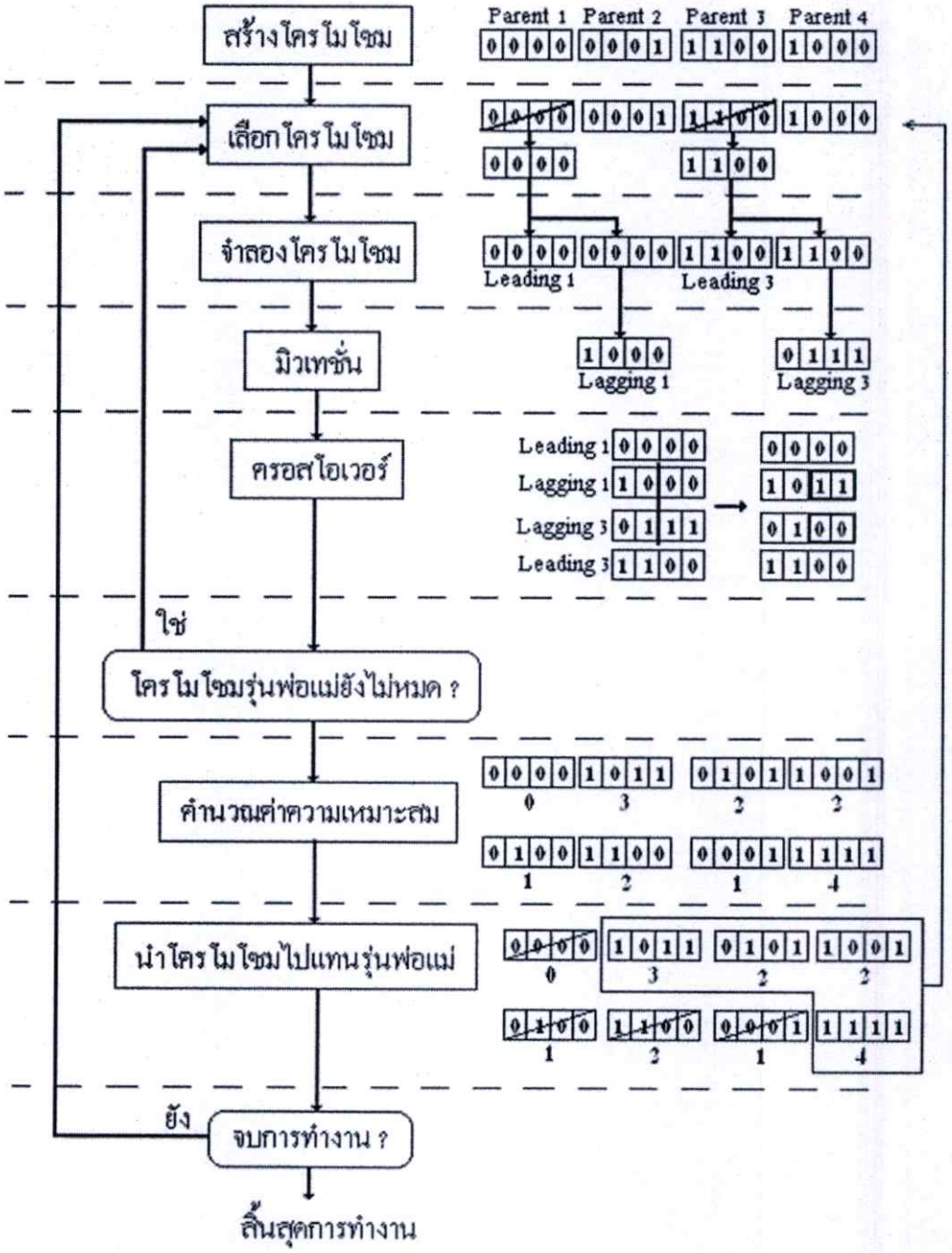
2.4 ขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิส

ขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิส [10] เป็นอีกขั้นตอนวิธีหนึ่งที่ใช้ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมโดยอาศัยหลักการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส เพื่อให้มีความสามารถป้องกันการสูญเสียโครโมโซมที่มีลักษณะดี และ สร้างโครโมโซมให้ครอบคลุมขอบเขตของปัญหา ซึ่งส่งผลให้มีความเร็วในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมได้ดีกว่าขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบเดิม อนึ่งในขั้นตอนวิธีนี้ได้มีการเพิ่มขั้นตอนการจำลองโครโมโซมแบบไม่เสมอภาค และกำหนดให้เกิดการกลายพันธุ์ก่อนที่จะทำการครอสโอเวอร์ โดยจากภาพที่ 2.22 แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธีไมโอซิสเจเนติกมี 7 ขั้นตอน ซึ่งเราจะทำการอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

การสร้างโครโมโซม เป็นการเข้ารหัสของคำตอบของปัญหาที่ได้มาจากการสุ่มให้อยู่ในรูปแบบของโครโมโซม เพื่อที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงให้เข้ากับคำตอบที่เหมาะสมมากขึ้นด้วยขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบต่างๆ

การเลือกโครโมโซม เป็นขั้นตอนที่ทำการคัดเลือกโครโมโซมในรุ่นพ่อแม่เพื่อนำมาสร้างโครโมโซมในรุ่นถัดไป โดยการเลือกโครโมโซมในขั้นตอนวิธีไมโอซิสเจเนติกจะทำการเลือกโดยใช้หลักการเลือกแล้วลบทิ้ง หรืออาจกล่าวได้ว่าเมื่อโครโมโซมรุ่นพ่อแม่ได้รับการคัดเลือกขึ้นมาเพื่อใช้ในการสร้างโครโมโซมรุ่นลูกแล้ว โครโมโซมรุ่นพ่อแม่ที่ได้รับการคัดเลือกจะถูกลบทิ้งออก

จากระบบ ที่เป็นเช่นนี้เพราะเราต้องการให้โครโมโซมในรุ่นพ่อแม่ทุกตัวได้รับการคัดเลือกเพื่อสืบทอดคุณสมบัติให้แก่รุ่นลูกได้



ภาพที่ 2.22 กระบวนการทำงานของขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิส

การจำลองโครโมโซม เป็นขั้นตอนการเพิ่มโครโมโซมโดยการคัดลอกตัวเองจาก 1 สายเป็น 2 สาย ซึ่งรูปแบบการคัดลอกที่เราใช้ในขั้นตอนวิธีนี้คือการคัดลอกแบบไม่เสมอภาค นั่นคือในการคัดลอกโครโมโซม 1 สาย โครโมโซมจะทำการจำลองตัวเองเป็น 2 สาย โดยสายหนึ่งจะมีลักษณะโครโมโซมเหมือนต้นแบบมาก(ไม่เกิดการกลายพันธุ์หรือเกิดขึ้นน้อยมาก) เราเรียกว่า สายนำ

(Leading) ส่วนอีกสายหนึ่งจะแตกต่างจากโครโมโซมต้นแบบ ซึ่งเราเรียกว่าสายตาม (Lagging) ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความรวดเร็วในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมได้รวดเร็วขึ้น

การกลายพันธุ์ เป็นการแปรผันทางพันธุกรรมที่ทำให้คุณสมบัติของโครโมโซมเปลี่ยนไป โดยในขั้นตอนวิธีไมโอซิสเจเนติกกำหนดให้ใช้อัตรากลายพันธุ์แบบคงที่และเกิดขึ้นก่อนการครอสโอเวอร์

การครอสโอเวอร์ เป็นการสลับสายพันธ์ ซึ่งการครอสโอเวอร์ของขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิสมีอยู่ 2 แบบด้วยกันคือ การครอสโอเวอร์ที่สายนำกับการครอสโอเวอร์ที่สายตาม โดยถ้าเราทำการครอสโอเวอร์ที่สายนำจะส่งผลให้เราสามารถสร้างโครโมโซมที่มีความหลากหลายและครอบคลุมกับขอบเขตคำตอบ ส่วนการครอสโอเวอร์สายตามจะส่งผลให้โครโมโซมที่ได้มีความสามารถในการสืบทอดคุณสมบัติจากพ่อแม่ทำให้โครโมโซมในแต่ละรุ่นมีค่าความเหมาะสมไม่น้อยไปกว่าเดิม

การคำนวณค่าความเหมาะสม เป็นการวัดคุณสมบัติของโครโมโซมว่ามีการปรับตัวให้เข้ากับปัญหามากน้อยเพียงใด ซึ่งส่งผลต่อการเลือกโครโมโซมในรุ่นลูกไปแทนรุ่นพ่อแม่ โดยในขั้นตอนวิธีไมโอซิสเจเนติกโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมากที่สุดจะถูกเลือกให้ไปแทนรุ่นพ่อแม่ ส่วนโครโมโซมที่ค่าความเหมาะสมต่ำจะถูกกำจัดออกจากระบบ

การนำโครโมโซมไปแทนรุ่นพ่อแม่ โครโมโซมรุ่นลูกที่ได้จากขั้นตอนวิธีไมโอซิสเจเนติกจะมีจำนวนมากกว่ารุ่นพ่อแม่ถึง 2 เท่าเพราะในขั้นตอนวิธีดังกล่าวได้มีการเพิ่มขั้นตอนการจำลองโครโมโซมขึ้นมาจากขั้นตอนวิธีเจเนติกทั่วไป ดังนั้นเพื่อควบคุมจำนวนของโครโมโซมที่เพิ่มขึ้นอย่างเท่าตัว การนำโครโมโซมรุ่นลูกไปแทนรุ่นพ่อแม่เราจะทำการคัดเลือกโครโมโซมรุ่นลูกที่มีความเหมาะสมมากไปแทนรุ่นพ่อรุ่นแม่ก่อนจนกว่าจำนวนประชากรในรุ่นลูกจะลดลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของโครโมโซมที่ผลิตได้ใหม่ทั้งหมด

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการสืบค้นเพื่อหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม ซึ่งหมายถึงตัวแบบกระบวนการที่สามารถอธิบายทุกพฤติกรรมในบันทึกเหตุการณ์ได้ นั่นคือตัวแบบกระบวนการสามารถเอคซิคิวท์ได้ทุกกิจกรรมในบันทึกเหตุการณ์ โดยในงานวิจัยนี้จะให้ความสำคัญกับความเร็วในการค้นหาคำตอบซึ่งสังเกตุได้จากจำนวนเจเนเรชั่นของการทำงานจนได้ค่าความเหมาะสมตามต้องการ

ในระยะเริ่มแรกการสร้างประชากรเริ่มต้น เพื่อที่จะนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมให้กับปัญหาการสืบค้นกระบวนการนั้นถูกสร้างขึ้นมาอย่างไม่เป็นระบบ โดยคอซอลเมทริกซ์ที่เรานำมาใช้นั้นได้มาจาก การแปลงพีทรีเนทที่ได้มาจากวิธีการที่แตกต่างกัน และใช้เพียงค่าความเหมาะสมในการตรวจสอบเพื่อหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม โดยค่าความเหมาะสมได้รับการปรับปรุงเรื่อยมาเพื่อเพิ่มประสิทธภาพในการวัดคุณสมบัติของตัวแบบกระบวนการ อีกทั้งรูปแบบ

การวิเคราะห์เชิงตรรกะยังมีการพัฒนาจากการวิเคราะห์ตรรกะแบบหยุดมาเป็นการวิเคราะห์ตรรกะแบบต่อเนื่องเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการคำนวณหาค่าความเหมาะสมที่มีคุณภาพมากขึ้น

ค่าความเหมาะสมในระยะแรกเกิดขึ้นโดยอาศัยพื้นฐานจากจำนวนของเทรสเหตุการณ์ที่ถูกวิเคราะห์โดยสมบูรณ์หารด้วยจำนวนเทรสเหตุการณ์ทั้งหมด ซึ่งมันยังไม่ดีพอในการบ่งชี้ตัวแบบกระบวนการที่สอดคล้องกับบันทึกเหตุการณ์ ต่อมาจึงได้มีการนำเสนอค่าความเหมาะสมซึ่งรวบรวมค่าสังเกตุต่างๆมาใช้ในการคำนวณ (ภาพที่ 2.15) โดยค่าสังเกตุเหล่านี้ได้มาจากการนับความถี่ในการวิเคราะห์เชิงตรรกะ ต่อมาได้ทำการปรับค่าความเหมาะสมและให้ทำงานร่วมกับการวิเคราะห์เชิงตรรกะแบบต่อเนื่องเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวัดคุณสมบัติของตัวแบบกระบวนการ (ภาพที่ 2.16) แต่เนื่องจากค่าความเหมาะสมทั้งสองนั้นจะพิจารณาถึงแต่ส่วนที่วิเคราะห์ได้ถูกต้องไม่ได้มองส่วนที่ไม่ถูกต้องจึงได้มีการปรับสมการในการคำนวณค่าความเหมาะสมใหม่ให้นำเอาข้อมูลทั้งสองส่วนมาใช้ในการคำนวณหาค่าความเหมาะสมด้วย โดยเรียกสมการคำนวณค่าความเหมาะสมนี้ว่า การคำนวณค่าความเหมาะสมแบบพูนิชเมนท์ (ภาพที่ 2.17) [5]

จากการทดลองของ W. M. P. van der Aalst, A. J. M. Weijters, A.K. Alves de Medeiros [6] แสดงให้เห็นว่าการสืบค้นกระบวนการด้วยขั้นตอนวิธีเจเนติกที่มีประชากรเริ่มต้นที่ได้จากการแปลงพีทรีเนท ส่งผลให้บ่อยครั้งไม่ได้ตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมจากการทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง อีกทั้งยังมีความเร็วในการค้นหาตัวแบบกระบวนการต่ำ อันเนื่องมาจากประชากรเริ่มต้นเหล่านั้นมีความผิดพลาดแฝงอยู่เป็นจำนวนมาก จึงเป็นการยากที่จะค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม ซึ่งจากการทดลองนี้ทำให้เราทราบว่าแค่ค่าความเหมาะสม เพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะนำมาใช้ในการจัดการกับปัญหาดังกล่าว

ต่อมา W. M. P. van der Aalst, A. J. M. Weijters, A.K. Alves de Medeiros จึงได้นำเสนอวิธีการที่จะแก้ปัญหาดังกล่าว โดยใช้ฮิวริสติกมาช่วยในการสร้างประชากรเริ่มต้นซึ่งเราได้ทำการเรียกวิธีได้กล่าว ขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบผสม จากการทดลองพบว่าวิธีการดังกล่าวสามารถช่วยให้จำนวนเจเนเรชันที่ใช้ในการค้นหาตัวแบบที่เหมาะสมลดลงซึ่งแสดงว่าสามารถค้นหาได้รวดเร็วขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการสร้างประชากรเริ่มต้นด้วยฮิวริสติกจะช่วยแก้ปัญหาเชิงผลลัพธ์ของการสืบค้นกระบวนการส่งผลให้ตัวแบบกระบวนการที่ได้มีประสิทธิภาพดีขึ้น แต่จากการทดลองจะเห็นว่าในบางบันทึกเหตุการณ์ยังคงมีความเร็วในการค้นหาตัวแบบกระบวนการต่ำ

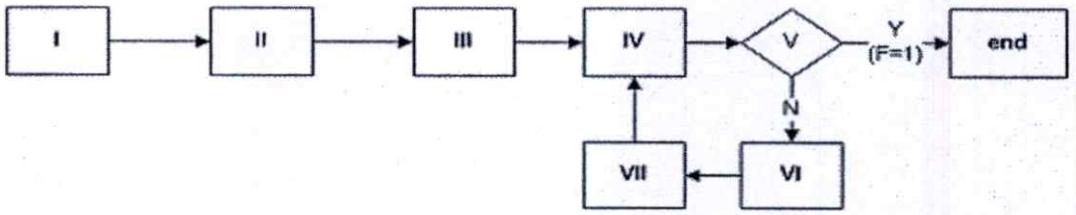
จากงานวิจัยขั้นตอนวิธีไมโอซิสเจเนติก [10] แสดงให้เห็นว่าวิธีการนี้สามารถสร้างโครโมโซมที่สืบทอดคุณสมบัติจากรุ่นพ่อแม่และยังครอบคลุมกับขอบเขตของคำตอบ โดยจากผลการทดลองขั้นตอนวิธีไมโอซิสเจเนติกจะมีเสถียรภาพและทำงานได้รวดเร็วกว่าขั้นตอนวิธีแบบเจเนติกทั่วไปถึง 27.7% เมื่อกำหนดอัตราการกลายพันธุ์ที่เหมาะสมที่สุดคือ 0.01 เนื่องจากมันมีการปรับตัวที่ดีกว่า ซึ่งเป็นผลมาจากคุณสมบัติการสืบทอดจากรุ่นพ่อแม่ และความหลากหลายของตัวแบบกระบวนการที่เพิ่มขึ้น

บทที่ 3
การสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบไมโอซิส

เนื่องด้วยในการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิส ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีเจเนติกที่ทำงานโดยอาศัยหลักการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส พบว่า โครโมโซมมีความเร็วในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมรวดเร็วกว่าขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบเดิม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเอาแนวคิดของขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิสมาประยุกต์ใช้กับการสืบค้นกระบวนการ เพื่อเพิ่มความเร็วในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม โดยอาศัยความสามารถในการรักษาคุณสมบัติจากรุ่นพ่อแม่และการสร้างโครโมโซมที่มีความแตกต่างกัน และเรียกวิธีการนี้ว่า *การสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบไมโอซิส หรือ การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส (A Meiosis Genetic Process Mining: MGPM)*

3.1 ขั้นตอนการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาการสืบค้นกระบวนการ ด้วยการนำแนวคิดของขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิสมาช่วยในการค้นหาตัวแบบกระบวนการเพื่อค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมจากคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มความเร็วในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมจากบันทึกเหตุการณ์ โดยอาศัยหลักการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสในขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิส มาช่วยในการป้องกันการสูญเสียโครโมโซมที่มีลักษณะที่ดี และสร้างตัวแบบกระบวนการที่หลากหลาย ด้วยการเพิ่มขั้นตอนการจำลองโครโมโซมแบบไม่เสมอภาค และกำหนดให้มีการกลายพันธุ์ก่อนการครอสโอเวอร์ ซึ่งสามารถสรุปขั้นตอนการสืบค้นตัวแบบกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนเจเนติกแบบไมโอซิสได้ดังภาพที่ 3.1



I. อ่าน บันทึกเหตุการณ์

II. คำนวณดีเพนเดนซีรีเรชันระหว่างกิจกรรม

III. สร้างประชากรเริ่มต้น

IV. เลือกและ คำนวณค่า ค่าความเหมาะสมของตัวแบบกระบวนการ

V. หยุดและคืนค่าความเหมาะสมของตัวแบบกระบวนการ

VI. จำลองตัวแบบกระบวนการ (Duplicate Chromosome)

VII. สร้างตัวแบบประชากรใหม่โดยใช้ตัวดำเนินการเจเนติก

ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิส

จากภาพที่ 3.1 เป็นภาพที่อธิบายถึงขั้นตอนในการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดของขั้นตอนหลักๆได้ดังนี้

3.1.1 การสร้างประชากรเริ่มต้น

การสร้างประชากรเริ่มต้นสำหรับการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิสนั้น จะมีขั้นตอนการสร้างเหมือนกับการสืบค้นกระบวนการด้วยขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบเดิม โดยเริ่มจากการคำนวณค่าดีเพนเดนซีรีเรชันระหว่างกิจกรรมจากสมการในภาพที่ 2.13 จากนั้นทำการสร้างประชากรเริ่มต้นตามขั้นตอนที่ได้กล่าวไว้ในการสืบค้นตัวแบบกระบวนการด้วยขั้นตอนวิธีเจเนติก

3.1.2 ค่าความเหมาะสม

ค่าความเหมาะสม เป็นค่าที่ใช้วัดระดับคุณภาพของตัวแบบกระบวนการในการปรับตัวให้เข้ากับคำตอบของปัญหา เพื่อนำมาใช้ในการพิจารณาเพื่อเลือกตัวแบบกระบวนการในรุ่นลูกไปแทนตัวแบบกระบวนการก่อนหน้า (รุ่นพ่อแม่) โดยตัวแบบกระบวนการที่มีค่าความเหมาะสมมากที่สุดจะถูกเลือกให้ไปแทนรุ่นพ่อแม่ ส่วนตัวแบบกระบวนการที่มีค่าความเหมาะสมต่ำจะถูกตัดทิ้งออกจากระบบ อนึ่งในการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส จะใช้สมการค่าความเหมาะสมแบบพูนิชเมนท์ในการคำนวณ (ภาพที่ 2.17)

3.1.3 การจำลองตัวแบบกระบวนการ

การจำลองตัวแบบกระบวนการ เป็นขั้นตอนในการเพิ่มโครโมโซมตัวแบบกระบวนการโดยการคัดลอกตัวเองจาก 1 สายเป็น 2 สาย โดยอาศัยหลักการคัดลอกแบบไม่เสมอภาค นั่นคือในการคัดลอกตัวแบบกระบวนการ 1 สาย ตัวแบบกระบวนการจะจำลองตัวเองขึ้นเป็น 2 สาย โดยสายหนึ่งจะมีลักษณะเหมือนโครโมโซมตัวแบบกระบวนการต้นแบบมาก (ไม่เกิดการกลายพันธุ์ในตัวแบบกระบวนการ หรือเกิดขึ้นน้อยมาก) ซึ่งเราเรียกว่า สายนำ อีกสายหนึ่งจะแตกต่างจากโครโมโซมต้นแบบ ซึ่งเราเรียกว่า สายตาม ซึ่งตัวอย่างของตัวแบบกระบวนการทั้งสายนำและสายตามจะแสดงให้เห็นในตารางที่ 3.1 และ ตารางที่ 3.2 ตามลำดับ โดยจากตารางดังกล่าวจะใช้ตัวแบบกระบวนการในตารางที่ 2.7 เป็นตัวแบบกระบวนการรุ่นพ่อแม่ และกำหนดให้สายนำไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 3.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองตัวแบบกระบวนการในสายนำ โดยใช้ตัวแบบกระบวนการในตารางที่ 2.7 และกำหนดให้ไม่เกิดการกลายพันธุ์ที่สายนำ

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B,C,D}}
B	{{A}}	{{H}}
C	{{A}}	{{H}}
D	{{A}}	{{E}}
E	{{D}}	{{G}}
F	{}	{{G}}
G	{{E},{F}}	{{H}}
H	{{C,B,G}}	{}

a) Leading 1

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B,C.D}}
B	{{A}}	{{H}}
C	{{A}}	{{H}}
D	{{A}}	{{E,F}}
E	{{D}}	{{G}}
F	{{D}}	{{G}}
G	{{E},{F}}	{{H}}
H	{{C},{B},{G}}	{}

b) Leading 2

ตารางที่ 3.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองตัวแบบกระบวนการในสายตาม โดยใช้ตัวแบบกระบวนการในตารางที่ 2.7

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B,C,D}}
B	{{A}}	{{H}}
C	{{A}}	{{H,E}}
D	{{A}}	{{E}}
E	{{D},{C}}	{{G}}
F	{}	{{G}}
G	{{E},{F}}	{{H}}
H	{{C,B},{G}}	{}

a) Lagging 1

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B,C.D}}
B	{{A}}	{{H}}
C	{{A,D}}	{}
D	{{A}}	{{E,F},{D}}
E	{{D}}	{{G}}
F	{{D}}	{{G}}
G	{{E,F}}	{{H}}
H	{{B},{G}}	{}

b) Lagging 2

3.1.4 การหยุดการทำงาน

ขั้นตอนวิธีการสืบค้น จะหยุดทำงานก็ต่อเมื่อเกิดเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่งต่อไปนี้

1. ค้นพบตัวแบบกระบวนการที่มีค่าความเหมาะสมเท่ากับ 1
2. คำนวณมาแล้ว n เจเนเรชัน เมื่อ n เป็นจำนวนเจเนเรชันสูงสุดที่เราจะทำการพิจารณา
3. ค่าความเหมาะสมของตัวแบบกระบวนการที่ทำการทดสอบนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงมา n/2 เจเนเรชัน

3.1.5 ตัวดำเนินการเจเนติก

การคัดเลือกตัวแบบกระบวนการ เป็นขั้นตอนที่ใช้ในการเลือกตัวแบบกระบวนการพ่อแม่จากตัวแบบประชากรรุ่นปัจจุบัน เพื่อที่จะนำไปสร้างตัวแบบกระบวนการใหม่ด้วยตัวดำเนินการเจเนติก ซึ่งการคัดเลือกในกรณีนี้จะใช้เทคนิคการคัดเลือกแบบทัวร์นาเมนท์ เช่นเดียวกับการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบเดิม

การกลายพันธุ์ เป็นการปรับเปลี่ยนบางรายละเอียดของกระบวนการ เนื่องจากขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิสจะมีการจำลองกระบวนการเพื่อเพิ่มโครโมโซมจาก 1 สายเป็น 2 สายคือ สายนำ และ สายตาม ดังนั้นในการสืบค้นกระบวนการด้วยวิธีดังกล่าวนี้ โครโมโซมตัวแบบกระบวนการที่เกิดการกลายพันธุ์คือ โครโมโซมตัวแบบกระบวนการสายตาม แต่โครโมโซมตัวแบบกระบวนการในสายนำจะไม่เกิดการกลายพันธุ์ หรือเกิดการกลายพันธุ์น้อยมาก ซึ่งสอดคล้องกับเงื่อนไขของเทคนิคการจำลองโครโมโซมที่ไม่เสมอภาค ส่วนขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการกลายพันธุ์จะใช้ขั้นตอนวิธีเดียวกับการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติก นอกจากนี้ในการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส ยังกำหนดให้เกิดการกลายพันธุ์ก่อนที่จะทำการครอสโอเวอร์ โดยจะเห็นได้ว่าการกลายพันธุ์จะเกิดในขั้นตอนการจำลองโครโมโซม

การครอสโอเวอร์ เป็นการสลับสายพันธ์ของตัวแบบกระบวนการพ่อแม่ที่เลือกมาจากประชากรรุ่นปัจจุบัน ซึ่งการครอสโอเวอร์ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิส จะมีอยู่ 2 แบบด้วยกันคือ การครอสโอเวอร์ที่สายนำ กับการครอสโอเวอร์ที่สายตาม โดยถ้าเราทำการครอสโอเวอร์ที่สายนำจะส่งผลให้การสืบค้นกระบวนการมีความหลากหลายและครอบคลุมกับขอบเขตคำตอบ ส่วนการครอสโอเวอร์สายตามจะส่งผลให้การสืบค้นกระบวนการมีความสามารถในการป้องกันการสูญเสียตัวแบบกระบวนการที่ดีโดยไม่สูญเสียความหลากหลายของตัวแบบกระบวนการที่ถูกสร้างใหม่ ซึ่งจะส่งผลให้โครโมโซมตัวแบบกระบวนการในแต่ละรุ่นมีค่าความเหมาะสมไม่น้อยไปกว่าเดิม โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการครอสโอเวอร์ในสายนำและสายตามจะเห็นได้จากตารางที่ 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากการครอสโอเวอร์ในสายนำของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีไมโอซิสเจเนติก ของตัวแบบกระบวนการในตารางที่ 3.1 และ 3.2 โดยกำหนดให้ทำการครอสโอเวอร์ที่จุด H และ ไม่เกิดการกลายพันธุ์ในสายนำ

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B,C,D}}
B	{{A}}	{{H}}
C	{{A}}	{{H}}
D	{{A}}	{{E}}
E	{{D}}	{{G}}
F	{}	{{G}}
G	{{E},{F}}	{}
H	{{C},{B}}	{}

a) Leading 1

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B,C.D}}
B	{{A}}	{{H}}
C	{{A}}	{{H}}
D	{{A}}	{{E,F}}
E	{{D}}	{{G}}
F	{{D}}	{{G}}
G	{{E},{F}}	{{H}}
H	{{C,B,G},{G}}	{}

b) Leading 2

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B,C,D}}
B	{{A}}	{{H}}
C	{{A}}	{{H,E}}
D	{{A},{C}}	{{E}}
E	{{D}}	{{G}}
F	{}	{{G}}
G	{{E},{F}}	{{H}}
H	{{C,B},{G}}	{}

c) Lagging 1

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B,C.D}}
B	{{A}}	{}
C	{{A,D}}	{{H}}
D	{{A}}	{{E,F},{D}}
E	{{D}}	{{G}}
F	{{D}}	{{G}}
G	{{E,F}}	{{H}}
H	{{B},{G}}	{}

d) Lagging 2

ตารางที่ 3.4 ผลลัพธ์ที่ได้จากการครอสโอเวอร์ในสายตามของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีไมโอซิสเจเนติก ของตัวแบบกระบวนการในตารางที่ 3.1 และ 3.2 โดยกำหนดให้ทำการครอสโอเวอร์ที่จุด H และไม่เกิดการกลายพันธุ์ในสายนำ

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B,C,D}}
B	{{A}}	{{H}}
C	{{A}}	{{H}}
D	{{A}}	{{E}}
E	{{D}}	{{G}}
F	{}	{{G}}
G	{{E},{F}}	{{H}}
H	{{C,B,G}}	{}

a) Leading 1

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B,C.D}}
B	{{A}}	{{H}}
C	{{A}}	{{H}}
D	{{A}}	{{E,F}}
E	{{D}}	{{G}}
F	{{D}}	{{G}}
G	{{E},{F}}	{{H}}
H	{{C},{B},{G}}	{}

b) Leading 2

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B,C,D}}
B	{{A}}	{{H}}
C	{{A}}	{{E}}
D	{{A}}	{{E}}
E	{{D}}	{{G}}
F	{}	{{G}}
G	{{E},{F}}	{{H}}
H	{{B},{G}}	{}

c) Lagging 1

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B,C.D}}
B	{{A}}	{}
C	{{A,D}}	{{H}}
D	{{A}}	{{E,F},{D}}
E	{{D}}	{{G}}
F	{{D}}	{{G}}
G	{{E,F}}	{{H}}
H	{{C,B},{G}}	{}

d) Lagging 2

การปรับกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง เป็นการปรับนิพจน์บูลีนและค่าความสัมพันธ์มูลเหตุของคอซอลเมทริกซ์ที่มีความขัดแย้งกันระหว่างค่าความสัมพันธ์มูลเหตุกับนิพจน์บูลีนให้มีความสอดคล้องกัน โดยความขัดแย้งดังกล่าวเกิดขึ้นมาจากการทำครอสโอเวอร์และการกลายพันธุ์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในตัวแบบกระบวนการ ซึ่งส่งผลกระทบไปยังกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง

3.1.6 การสร้างเจเนเรชันถัดไป

การสร้างเจเนเรชันถัดไปของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนเจเนติกแบบไมโอซิสเป็นการสร้างตัวแบบกระบวนการรุ่นใหม่จากตัวแบบกระบวนการปัจจุบันโดยใช้ตัวดำเนินการเจเนติกที่ได้กล่าวถึงข้างต้นเป็นเครื่องมือในการสร้างเจเนเรชันใหม่ตามขั้นตอนวิธีในภาพที่ 3.2

Input: ประชากรปัจจุบัน, อัตราการครอสโอเวอร์, อัตราการกลายพันธุ์
Output: ประชากรใหม่

1. เลือกสายที่จะทำการครอสโอเวอร์
   Case 1: ทำการครอสโอเวอร์สายนำ
   Case 2: ทำการครอสโอเวอร์สายตาม
2. While มี ตัวแบบกระบวนการ ที่ถูกสร้าง do
   2. 1.) ใช้ tournament selection เพื่อเลือก parent1
   2. 2.) ใช้ tournament selection เพื่อเลือก parent2
   2. 3.) การจำลองตัวแบบกระบวนการ และ ทำการกลายพันธุ์ เมื่ออัตรากลายพันธุ์ != 0
   2. 4.) สุ่มเลือกค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ให้กับ r
   2. 5.) ถ้า r < อัตราการครอสโอเวอร์ แล้ว ทำการครอสโอเวอร์
   2. 6.) คำนวณค่าความเหมาะสม
   2. 7.) คัดลอกตัวแบบประชากรที่ดีที่สุดโดยพิจารณาจากค่าความเหมาะสมจำนวนเท่ากับขนาดประชากรไปสู่ประชากรใหม่
3. คืนค่าประชากรใหม่

ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนวิธีการสร้างเจเนเรชันใหม่ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิส

3.2 ตัวอย่างการทำงานของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบไมโอซิส

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง การสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิสกับบันทึกเหตุการณ์แบบ 5 กิจกรรม 300 เคสเทรสเหตุการณ์ ดังตารางที่ 3.5 โดยกำหนดให้มีขนาดประชากรเป็น 4 อัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.1 อัตราการครอสโอเวอร์เป็น 1 และ จำนวนรอบการทำงานเป็น 1 รอบ ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

ตารางที่ 3.5 ลักษณะเคสเทรสเหตุการณ์ในบันทึกเหตุการณ์แบบ 5 กิจกรรม 300 เทรสเหตุการณ์

ID Case	Trace Event	Number of Instance
1	AECBD	37
2	AEBCD	35
3	AEEEEEBCD	19
4	AEEEEEECBD	37
5	ACBD	90
6	ABCD	82

1. ทำการคำนวณค่าดีเพนเดนซีรีเรชัน โดยใช้สมการในภาพที่ 2.13 จะได้ค่าดีเพนเดนซีรีเรนชัน ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ตารางดีเพนเดนซีรีเรชันระหว่างกิจกรรมของบันทึกเหตุการณ์ในตารางที่ 3.5

	A	E	C	B	D
A	0	0.9922	0.989	0.988	0
E	-0.9922	0.9962	0.9867	0.9818	0
C	-0.989	-0.9867	0	0.093	0.9927
B	-0.988	-0.9818	-0.093	0	0.9939
D	0	0	-0.9927	-0.9939	0

2. สร้างประชากรเริ่มต้นโดยใช้ค่าดีเพนเดนซีในตารางที่ 3.6 มาช่วยในการสร้างประชากรเริ่มต้น ซึ่งเป็นตัวแบบกระบวนการรุ่นแรกดังภาพที่ 3.3

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{C,E}}
E	{{E,A}}	{{E,C,B}}
C	{{E},{A}}	{{D}}
B	{{A,E}}	{{D}}
D	{{C},{B}}	{}

a) Individual 1

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{E,C}}
E	{{A,E}}	{{E,B,C}}
C	{{A,E}}	{{D}}
B	{{E,A}}	{{D}}
D	{{B},{C}}	{}

b) Individual 2

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{E},{C}}
E	{{E,A}}	{{C},{B},{E}}
C	{{A,E}}	{{D}}
B	{{A},{E}}	{{D}}
D	{{C},{B}}	{}

c) Individual 3

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{C,E}}
E	{{E},{A}}	{{E,C},{B}}
C	{{E},{A}}	{{D}}
B	{{E},{A}}	{{D}}
D	{{C},{B}}	{}

d) Individual 4

ภาพที่ 3.3 ประชากรเริ่มต้นที่จะนำมาสร้างตัวแบบกระบวนการใหม่

3. ทำการคำนวณค่าความเหมาะสมของตัวแบบกระบวนการในประชากรเริ่มต้น โดยใช้สมการค่าความเหมาะสมแบบพูนิชเมนท์ ซึ่งจะได้ค่าความเหมาะสม ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ค่าความเหมาะสมของตัวแบบกระบวนการในประชากรเริ่มต้น

ตัวแบบกระบวนการ	ค่าความเหมาะสม
Individual 1	-0.3493
Individual 2	0.9315
Individual 3	0.2683
Individual 4	-1.3776

4. ทำการเลือกตัวแบบกระบวนการจากประชากรเริ่มต้นโดยใช้การเลือกแบบทัวร์นาเมนท์ โดยในกรณีนี้มีประชากรเริ่มต้นเพียง 4 ตัวแบบ จึงทำการเลือกตัวแบกระบวนการที่มีค่าความเหมาะสมสูงสุดสองค่ามาเป็นตัวแบบกระบวนการในรุ่นพ่อแม่ ซึ่งจากค่าความเหมาะสมในตารางที่ 3.7 จะเห็นได้ว่าตัวแบบกระบวนการที่ถูกเลือกคือ Individual 2 และ Individual 3 แล้วทำการลบตัวแบบกระบวนการที่เลือกออกจากประชากรเริ่มต้น

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{E,C}}
E	{{A,E}}	{{E,B,C}}
C	{{A,E}}	{{D}}
B	{{E,A}}	{{D}}
D	{{B},{C}}	{}

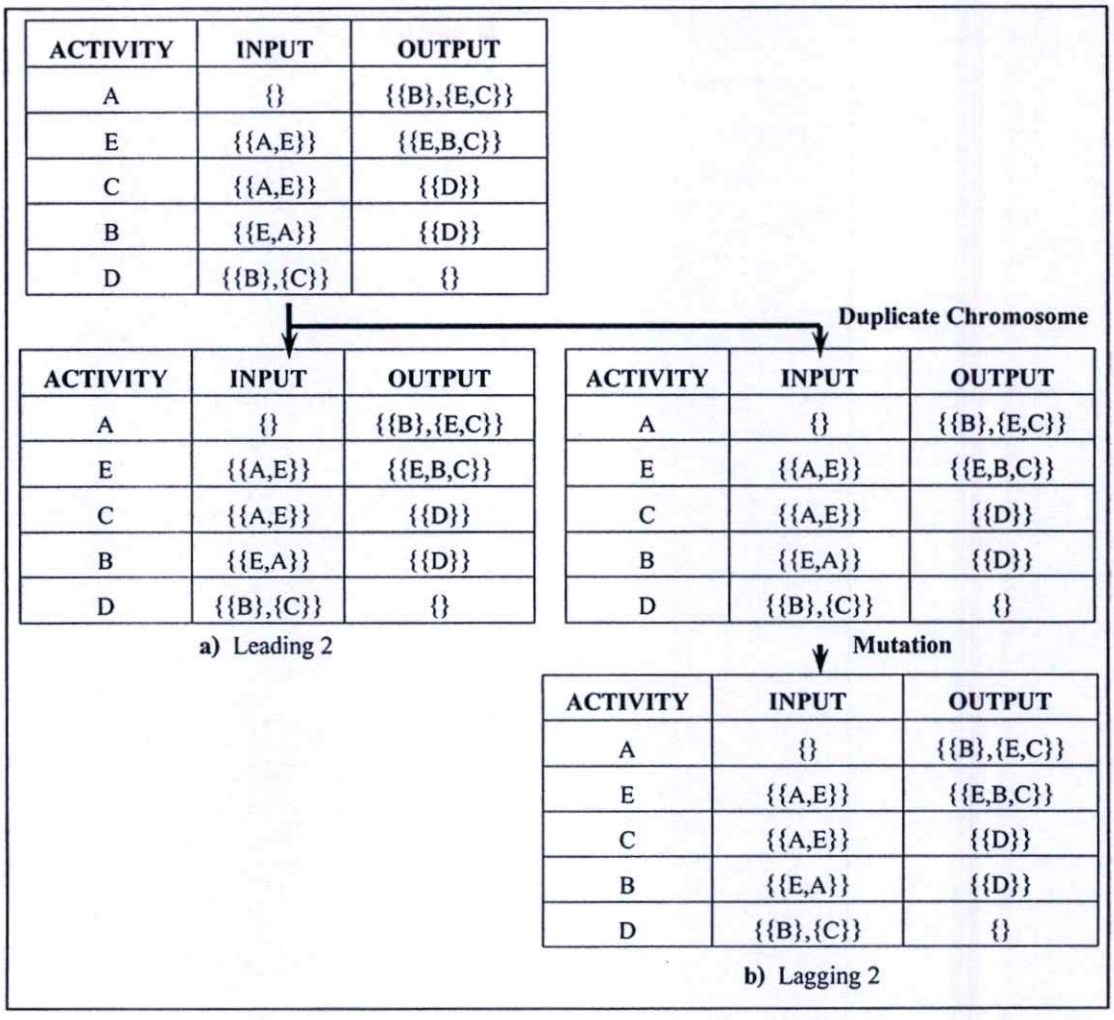
Individual 2

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{E},{C}}
E	{{E,A}}	{{C},{B},{E}}
C	{{A,E}}	{{D}}
B	{{A},{E}}	{{D}}
D	{{C},{B}}	{}

Individual 3

ภาพที่ 3.4 ตัวแบบกระบวนการที่ได้รับการคัดเลือกจากประชากรเริ่มต้น

5. จำลองตัวแบบกระบวนการที่ได้เลือกไว้ ดังภาพที่ 3.5และ 3.6 ซึ่งแสดงการจำลองตัวแบบกระบวนการรุ่นพ่อแม่ คือ Individual 2 และ Individual 3 ตามลำดับ จากนั้นทำการกลายพันธุ์ตัวแบบกระบวนการในสายตามโดยกำหนดให้อัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.1 พร้อมทั้งทำการปรับกิจกรรมที่เกี่ยวข้องเมื่อนิพจน์บูลีนในตัวแบบกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 3.5 การจำลองตัวแบบกระบวนการ Individual 2 (Parent 1)

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{E},{C}}
E	{{E,A}}	{{C},{B},{E}}
C	{{A,E}}	{{D}}
B	{{A},{E}}	{{D}}
D	{{C},{B}}	{}

Duplicate Chromosome

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{E},{C}}
E	{{E,A}}	{{C},{B},{E}}
C	{{A,E}}	{{D}}
B	{{A},{E}}	{{D}}
D	{{C},{B}}	{}

a) Leading 3

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{E},{C}}
E	{{E,A}}	{{C},{B},{E}}
C	{{A,E}}	{{D}}
B	{{A},{E}}	{{D}}
D	{{C},{B}}	{}

Mutation

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{E},{C}}
E	{{E,A}}	{{C},{B},{E}}
C	{{A,E}}	{{D}}
B	{{A},{E,B}}	{{B}}
D	{{C}}	{}

b) Lagging 3

ภาพที่ 3.6 การจำลองตัวแบบกระบวนการ Individual 3 (Parent 2)

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{E,C}}
E	{{A,E}}	{{E,B,C}}
C	{{A,E}}	{{D}}
B	{{E,A}}	{{D}}
D	{{B},{C}}	{}

Leading 2

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{E,C}}
E	{{A,E}}	{{E,B,C}}
C	{{A,E}}	{{D}}
B	{{E,A}}	{{D}}
D	{{B},{C}}	{}

Lagging 2

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{E},{C}}
E	{{E,A}}	{{C},{B},{E}}
C	{{A,E}}	{{D}}
B	{{A},{E}}	{{D}}
D	{{C},{B}}	{}

Leading 3

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{E},{C}}
E	{{E,A}}	{{C},{B},{E}}
C	{{A,E}}	{{D}}
B	{{A},{E,B}}	{{B}}
D	{{C}}	{}

Lagging 3

ภาพที่ 3.7 ผลที่ได้จากการจำลองตัวแบบกระบวนการ Individual 2 และ Individual 3

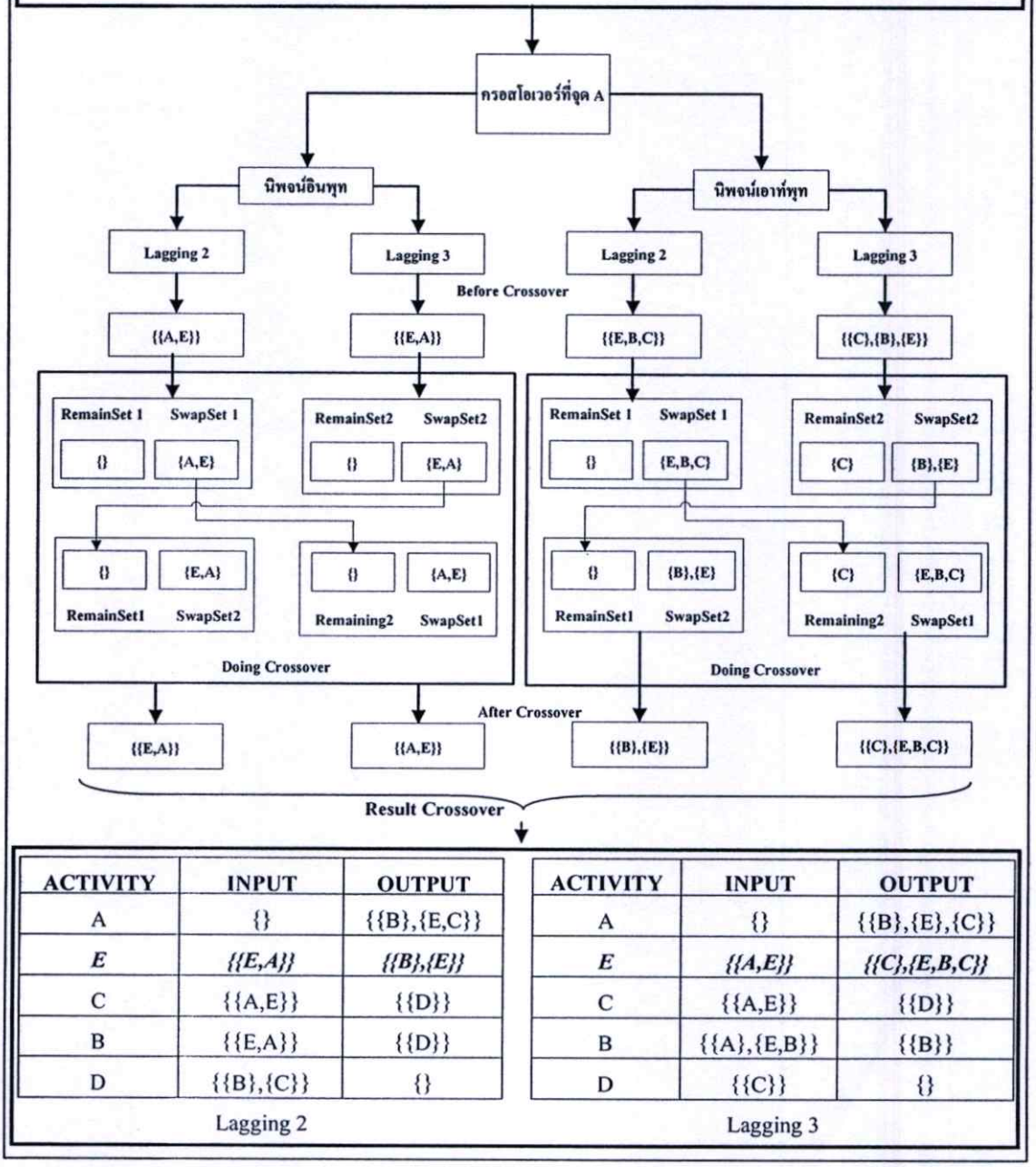
6. ทำการครอสโอเวอร์ที่สายตาม (Lagging) โดยจุดครอสโอเวอร์คือ จุด E ดังภาพที่ 3.8

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{E,C}}
E	*{{A,E}}*	*{{E,B,C}}*
C	{{A,E}}	{{D}}
B	{{E,A}}	{{D}}
D	{{B},{C}}	{}

Lagging 2

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{E},{C}}
E	*{{E,A}}*	*{{C},{B},{E}}*
C	{{A,E}}	{{D}}
B	{{A},{E,B}}	{{B}}
D	{{C}}	{}

Lagging 3



ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{E,C}}
E	*{{E,A}}*	*{{B},{E}}*
C	{{A,E}}	{{D}}
B	{{E,A}}	{{D}}
D	{{B},{C}}	{}

Lagging 2

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{E},{C}}
E	*{{A,E}}*	*{{C},{E,B,C}}*
C	{{A,E}}	{{D}}
B	{{A},{E,B}}	{{B}}
D	{{C}}	{}

Lagging 3

ภาพที่ 3.8 ขั้นตอนการครอสโอเวอร์ที่สายตามและตัวแบบกระบวนการใหม่ที่ได้จากการครอสโอเวอร์

7. ทำการปรับกิจกรรมที่เกี่ยวข้องในตัวแบบกระบวนการใหม่ที่ได้จากการครอสโอเวอร์จะได้ผลดังภาพที่ 3.9

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{E,C}}
E	*{{E,A}}*	*{{B},{E}}*
C	{{A}}	{{D}}
B	{{E,A}}	{{D}}
D	{{B},{C}}	{}

Lagging 2

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{E},{C}}
E	*{{A,E}}*	*{{C},{E,B,C}}*
C	{{A,E}}	{{D}}
B	{{A},{E,B}}	{{B}}
D	{{C}}	{}

Lagging 3

ภาพที่ 3.9 ปรับกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับนิพจน์บูลีนที่เกิดการเปลี่ยนแปลง

8. กลับไปทำข้อ 4 ใหม่จนกว่าโครโมโซมตัวแบบกระบวนการในรุ่นพ่อแม่จะหมด เมื่อโครโมโซมตัวแบบกระบวนการรุ่นพ่อแม่ทั้งหมดถูกนำมาสร้างเป็นโครโมโซมรุ่นลูกแล้วจะเห็นได้ว่า ตัวแบบกระบวนการรุ่นลูกจะมีมากกว่ารุ่นพ่อแม่ถึงสองเท่า ดังภาพที่ 3.10

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{C,E}}
E	{{E,A}}	{{E,C,B}}
C	{{E},{A}}	{{D}}
B	{{A,E}}	{{D}}
D	{{C},{B}}	{}

Leading 1

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{C,E}}
E	{{E,A}}	{{E,C,B}}
C	{{E},{A}}	{{D}}
B	{{A,E}}	{{D}}
D	{{B},{C}}	{}

Lagging1

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{E,C}}
E	{{A,E}}	{{E,B,C}}
C	{{A,E}}	{{D}}
B	{{E,A}}	{{D}}
D	{{B},{C}}	{}

Leading 2

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{E,C}}
E	{{E,A}}	{{B},{E}}
C	{{A}}	{{D}}
B	{{E,A}}	{{D}}
D	{{B},{C}}	{}

Lagging 2

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{E},{C}}
E	{{E,A}}	{{C},{B},{E}}
C	{{A,E}}	{{D}}
B	{{A},{E}}	{{D}}
D	{{C},{B}}	{}

Leading 3

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{E},{C}}
E	{{A,E}}	{{C},{E,B,C}}
C	{{A,E}}	{{D}}
B	{{A},{E,B}}	{{B}}
D	{{C}}	{}

Lagging 3

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{C,E}}
E	{{E},{A}}	{{E,C},{B}}
C	{{E},{A}}	{{D}}
B	{{E},{A}}	{{D}}
D	{{C},{B}}	{}

Leading 4

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{C,E}}
E	{{E},{A}}	{{E,C},{B}}
C	{{E,D},{A}}	{}
B	{{E,D},{A}}	{{D}}
D	{{B}}	{{B},{C}}

Lagging 4

ภาพที่ 3.10 ตัวแบบกระบวนการใหม่ที่ผลิตได้ในรุ่นลูก

9. คำนวณค่าความเหมาะสมของตัวแบบกระบวนการใหม่ที่ผลิตได้ในรุ่นลูก

ตารางที่ 3.8 ค่าความเหมาะสมของตัวแบบกระบวนการใหม่ที่ผลิตได้

ตัวแบบกระบวนการ	ค่าความเหมาะสม
Leading 1	-0.3493
Lagging 1	-0.3493
Leading 2	0.9315
Lagging 2	0.8366
Leading 3	0.2683
Lagging 3	0.5939
Leading 4	-1.3776
Lagging 4	-1.3776

10. นำโครโมโซมตัวแบบกระบวนการไปแทนรุ่นพ่อแม่ โดยจะทำการคัดเลือกจากโครโมโซมตัวแบบกระบวนการที่มีค่าความเหมาะสมมากที่สุดไปแทนก่อน จนกว่าจะแทนครบทุกโครโมโซมในรุ่นพ่อแม่ ซึ่งจะได้ประชากรตัวแบบกระบวนการ ดังภาพที่ 3.11 ในกรณีที่กำหนดจำนวนเจเนเรชันสูงสุดในการทำงานมากกว่า 1 รอบ จะนำประชากรตัวแบบกระบวนการใหม่ที่ได้กลับไปทำในข้อ 2 ใหม่อีกครั้งหนึ่งโดยกำหนดให้เป็นประชากรรุ่นพ่อแม่ ทำเช่นนี้จนกระทั่งเป็นไปตามเงื่อนไขการหยุดที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{E,C}}
E	{{A,E}}	{{E,B,C}}
C	{{A,E}}	{{D}}
B	{{E,A}}	{{D}}
D	{{B},{C}}	{}

a) Individual 1

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{E,C}}
E	{{E,A}}	{{B},{E}}
C	{{A}}	{{D}}
B	{{E,A}}	{{D}}
D	{{B},{C}}	{}

b) Individual 2

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{E},{C}}
E	{{E,A}}	{{C},{B},{E}}
C	{{A,E}}	{{D}}
B	{{A},{E}}	{{D}}
D	{{C},{B}}	{}

c) Individual 3

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{E},{C}}
E	{{A,E}}	{{C},{E,B,C}}
C	{{A,E},{B}}	{{D}}
B	{{A},{E}}	{{B}}
D	{{C}}	{}

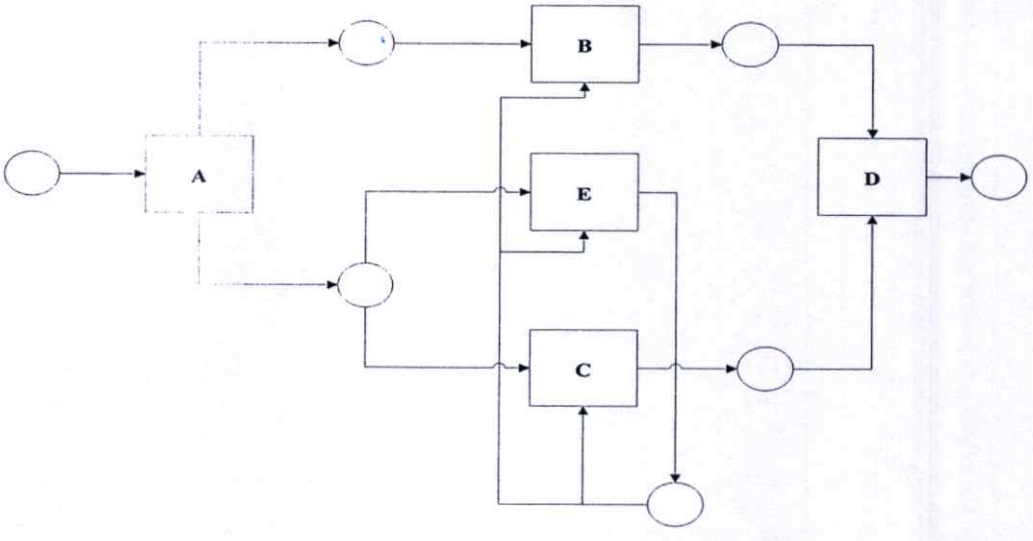
d) Individual 4

ภาพที่ 3.11 ประชากรตัวแบบกระบวนการรุ่นใหม่

11. หลังจากทำการสืบค้นกระบวนการจนกระทั่งเป็นไปตามเงื่อนไขการหยุดที่กำหนดไว้ข้อใดข้อหนึ่ง จากนั้นทำการสืบค้นหากระบวนการที่มีค่าความเหมาะสมสูงสุด และเลือกขึ้นมาเป็นคำตอบของการสืบค้นกระบวนการ โดยในตัวอย่างนี้จะพบว่าตัวแบบกระบวนการผลลัพธ์คือตัวแบบกระบวนการในภาพที่ 3.12

ACTIVITY	INPUT	OUTPUT
A	{}	{{B},{E,C}}
E	{{A,E}}	{{E,B,C}}
C	{{A,E}}	{{D}}
B	{{E,A}}	{{D}}
D	{{B},{C}}	{}

ภาพที่ 3.12 ตัวแบบกระบวนการที่ได้จากการสืบค้นกระบวนการตามเงื่อนไขที่กำหนด



ภาพที่ 3.13 พีทรีเนทตัวแบบกระบวนการผลลัพธ์จากการสืบค้นกระบวนการในภาพที่ 3.12

3.3 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าความเหมาะสมแบบพูนิชเมนท์

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการคำนวณค่าความเหมาะสมแบบพูนิชเมนท์ของตัวแบบกระบวนการซึ่งเป็นผลลัพธ์จากการสืบค้นกระบวนการของหัวข้อ 3.2 นั่นคือ ตัวแบบกระบวนการในภาพที่ 3.12 โดยใช้เทรสเหตุการณ์ในตารางที่ 3.5 ในการวิเคราะห์ ซึ่งจะมีขั้นตอนในการทำงานเพื่อคำนวณหาค่าความเหมาะสมดังต่อไปนี้

1. ทำการสร้างเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ทางตรรกะ นั่นคือ แอคติวิตี้มาร์ค์ และ อิลิเมนท์พิเศษ จากตัวแบบกระบวนการในภาพที่ 3.12 จะได้ แอคติวิตี้มาร์ค์และอิลิเมนท์พิเศษดังภาพที่ 3.14

A: B = 0 E = 0 C = 0	E: E = 0 B = 0 C = 0	C: D = 0
B: D = 0	Start = 1	End = 0

ภาพที่ 3.14 แอคติวิตี้มาร์ค์ และ อิลิเมนท์พิเศษของตัวแบบกระบวนการในภาพที่ 3.12

2. ทำการวิเคราะห์ทางตรรกะด้วยแอคติวิตี้มาร์ค์และอิลิเมนท์พิเศษที่เตรียมไว้ในข้อที่ 1 ร่วมกับเทรสเหตุการณ์ในตารางที่ 3.5 เพื่อเก็บค่าความถี่ที่ได้จากการวิเคราะห์ ซึ่งในขั้นนี้เราจะแสดงการวิเคราะห์ตัวแบบกระบวนการในแต่ละเคสเทรสเหตุการณ์ ดังต่อไปนี้

2.1 วิเคราะห์ตัวแบบกระบวนการในภาพ 3.12 ด้วยเทรสเหตุการณ์ AECBD จะได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 การวิเคราะห์ตัวแบบกระบวนการในภาพ 3.12 ด้วยเทรสเหตุการณ์ AECBD

Event Execute	Activity Mark	Comment
AECBD	A: B = 0 E = 0 C= 0 E: E = 0 B = 0 C= 0 C: D = 0 B: D = 0 Start = 1 End = 0	
AECBD	A: B = 1 E =1 C= 1 E: E=0 B =0 C= 0 C: D = 0 B: D = 0 Start = 0 End = 0	
AECBD	A: B= 1 E =0 C= 0 E: E=1 B =1 C= 1 C: D = 0 B: D = 0 Start = 0 End = 0	
AECBD	A: B= 1 E =0 C= 0 E: E=0 B =0 C= 0 C: D = 1 B: D = 0 Start = 0 End = 0	
AECBD	A: B= 0 E =0 C= 0 E: E=0 B =0 C= 0 C: D = 1 B: D = 1 Start = 0 End = 0	
AECBD	A: C = 0 B = 0 E =0 E: C = 0 E = 0 B =0 C: D = 0 B: D = 0 Start = 0 End = 1	

2.2 ทำการวิเคราะห์ตัวแบบกระบวนการในภาพ 3.12 ด้วยเทรสเหตุการณ์ AEBCD จะได้ผลการวิเคราะห์ดังตาราง 3.10

ตารางที่ 3.10 การวิเคราะห์ตัวแบบกระบวนการในภาพ 3.12 ด้วยเทรสเหตุการณ์ AEBCD

Event Execute	Activity Mark	Comment
AEBCD	A: B= 0 E =0 C = 0 E: E=0 B =0 C = 0 C: D = 0 B: D =0 Start = 1 End = 0	
AEBCD	A: B = 1 E =1 C = 1 E: E= 0 B =0 C = 0 C: D = 0 B: D = 0 Start = 0 End = 0	
AEBCD	A: B= 1 E = 0 C = 0 E: E=1 B = 1 C = 1 C: D = 0 B: D = 0 Start = 0 End = 0	
AEBCD	A: B= 0 E =0 C = 0 E: E= 0 B =0 C = 0 C: D = 0 B: D = 1 Start = 0 End = 0	Missing token
AEBCD	A: B= 0 E =0 C = 0 E: E= 0 B =0 C = 0 C: D = 0 B: D =1 Start = 0 End = 0	Missing token
AEBCD	A: B= 0 E =0 C = 0 E: E=0 B =0 C = 0 C: D = 0 B: D =1 Start = 0 End = 0	

2.3 ทำการวิเคราะห์ตัวแบบกระบวนการในภาพ 3.12 ด้วยเทรสเหตุการณ์ AEEEEEBCD จะได้ผลการวิเคราะห์ดังตาราง 3.11

ตารางที่ 3.11 การวิเคราะห์ตัวแบบกระบวนการในภาพ 3.12 ด้วยเทรสเหตุการณ์ AEEEEEBCD

Event Execute	Activity Mark	Comment
AEEEEEBCD	A: B = 0 E = 0 C = 0 E: E = 0 B = 0 C = 0 C: D = 0 B: D =0 Start = 1 End = 0	
AEEEEEBCD	A: B= 1 E = 1 C = 1 E: E=0 B = 0 C = 0 C: D = 0 B: D =0 Start = 0 End = 0	

ตารางที่ 3.11 (ต่อ) การวิเคราะห์ตัวแบบกระบวนการในภาพ 3.12 ด้วยเทรสเหตุการAEEEEEBCD

Event Execute	Activity Mark	Comment
AEEEEEBCD	A: B = 1 E = 0 C = 0 E: E = 1 B = 1 C = 1 C: D = 0 B: D = 0 Start = 0 End = 0	
AEEEEEBCD	A: B = 1 E = 0 C = 0 E: E =1 B = 1 C = 1 C: D = 0 B: D = 0 Start = 0 End = 0	
AEEEEEBCD	A: B = 1 E = 0 C = 0 E: E = 1 B = 1 C = 1 C: D = 0 B: D =0 Start = 0 End = 0	
AEEEEEBCD	A: B = 1 E = 0 C = 0 E: E =1 B = 1 C = 1 C: D = 0 B: D =0 Start = 0 End = 0	
AEEEEEBCD	A: B = 1 E = 0 C = 0 E: E =1 B = 1 C = 1 C: D = 0 B: D = 0 Start = 0 End = 0	
AEEEEEBCD	A: B = 0 E = 0 C = 0 E: E = 0 B = 0 C = 0 C: D = 0 B: D = 1 Start = 0 End = 0	Missing token
AEEEEEBCD	A: B = 0 E = 0 C = 0 E: E = 0 B = 0 C = 0 C: D = 0 B: D = 1 Start = 0 End = 0	Missing token
AEEEEEBCD	A: B = 0 E = 0 C= 0 E: E = 0 B = 0 C= 0 C: D = 0 B: D = 1 Start = 0 End = 0	

2.4 ทำการวิเคราะห์ตัวแบบกระบวนการในภาพ 3.12 ด้วยเทรสเหตุการณ์ AEEEEEECBD จะได้ผลการวิเคราะห์ดังตาราง 3.12

ตารางที่ 3.12 การวิเคราะห์ตัวแบบกระบวนการในภาพ 3.12 ด้วยเทรสเหตุการณ์ AEEEEEECBD

Event Execute	Activity Mark	Comment
AEEEEEECBD	A: B = 0 E = 0 C= 0 E: E = 0 B = 0 C= 0 C: D = 0 B: D = 0 Start = 1 End = 0	

ตารางที่ 3.12 (ต่อ) การวิเคราะห์ตัวแบบกระบวนการในภาพ 3.12 ด้วยเทรสเหตุการณ์

AEEEEEECBD

Event Execute	Activity Mark	Comment
AEEEEEECBD	A: B = 1 E = 1 C = 1 E: E = 0 B = 0 C = 0 C: D = 0 B: D = 0 Start = 0 End = 0	
AEEEEEECBD	A: B = 1 E = 0 C = 0 E: E = 1 B = 1 C = 1 C: D = 0 B: D = 0 Start = 0 End = 0	
AEEEEEECBD	A: B = 1 E = 0 C = 0 E: E = 1 B = 1 C = 1 C: D = 0 B: D = 0 Start = 0 End = 0	
AEEEEEECBD	A: B = 1 E = 0 C = 0 E: E = 1 B = 1 C = 1 C: D = 0 B: D = 0 Start = 0 End = 0	
AEEEEEECBD	A: B = 1 E = 0 C = 0 E: E = 1 B = 1 C = 1 C: D = 0 B: D = 0 Start = 0 End = 0	
AEEEEEECBD	A: B = 1 E = 0 C = 0 E: E = 1 B = 1 C = 1 C: D = 0 B: D = 0 Start = 0 End = 0	
AEEEEECBD	A: B = 1 E = 0 C = 0 E: E = 1 B = 1 C = 1 C: D = 0 B: D = 0 Start = 0 End = 0	
AEEEEECBD	A: B = 1 E = 0 C = 0 E: E = 0 B = 0 C = 0 C: D = 1 B: D = 0 Start = 0 End = 0	
AEEEEECBD	A: B = 0 E = 0 C = 0 E: E = 0 B = 0 C = 0 C: D = 1 B: D = 1 Start = 0 End = 0	
AEEEEECBD	A: B = 0 E = 0 C = 0 E: E = 0 B = 0 C = 0 C: D = 0 B: D = 0 Start = 0 End = 1	

2.5 ทำการวิเคราะห์ตัวแบบกระบวนการในภาพ 3.12 ด้วยเทรสเหตุการณ์ ACBD จะได้ผลการวิเคราะห์ดังตาราง 3.13

ตารางที่ 3.13 การวิเคราะห์ตัวแบบกระบวนการในภาพ 3.12 ด้วยเทรสเหตุการณ์ ACBD

Event Execute	Activity Mark	Comment
ACBD	A: B = 0 E = 0 C = 0 E: E = 0 B = 0 C = 0 C: D = 0 B: D = 0 Start = 1 End = 0	
ACBD	A: B = 1 E = 1 C = 1 E: E = 0 B = 0 C = 0 C: D = 0 B: D = 0 Start = 0 End = 0	
ACBD	A: B = 1 E = 0 C = 0 E: E = 0 B = 0 C = 0 C: D = 1 B: D = 0 Start = 0 End = 0	
ACBD	A: B = 0 E = 0 C = 0 E: E = 0 B = 0 C = 0 C: D = 1 B: D = 1 Start = 0 End = 0	
ACBD	A: B = 0 E = 0 C = 0 E: E = 0 B = 0 C = 0 C: D = 0 B: D = 0 Start = 0 End = 1	

2.6 ทำการวิเคราะห์ตัวแบบกระบวนการในภาพ 3.12 ด้วยเทรสเหตุการณ์ ABCD จะได้ผลการวิเคราะห์ดังตาราง 3.14

ตารางที่ 3.14 การวิเคราะห์ตัวแบบกระบวนการในภาพ 3.12 ด้วยเทรสเหตุการณ์ ABCD

Event Execute	Activity Mark	Comment
ABCD	A: B = 0 E = 0 C = 0 E: E = 0 B = 0 C = 0 C: D = 0 B: D = 0 Start = 1 End = 0	
ABCD	A: B = 1 E = 1 C = 1 E: E = 0 B = 0 C = 0 C: D = 0 B: D = 0 Start = 0 End = 0	
ABCD	A: B = 0 E = 1 C = 1 E: E = 0 B = 0 C = 0 C: D = 0 B: D = 1 Start = 0 End = 0	
ABCD	A: B = 0 E = 0 C = 0 E: E = 0 B = 0 C = 0 C: D = 1 B: D = 1 Start = 0 End = 0	
ABCD	A: B = 0 E = 0 C = 0 E: E = 0 B = 0 C = 0 C: D = 0 B: D = 0 Start = 0 End = 1	

3. จากตารางเทรสเหตุการณ์ที่ 3.5 ทำให้ทราบได้ว่าในแต่ละเคสของเทรสเหตุการณ์จะมีจำนวนเคสเทรสเหตุการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นในบันทึกเหตุการณ์ทั้งหมด 37, 35, 19, 37, 90 และ 82 เทรสเหตุการณ์ ตามลำดับเคสเทรสเหตุการณ์ จึงส่งผลให้การวิเคราะห์ทางตรรกะในแต่ละเคสเทรสเหตุการณ์ต้องเกิดขึ้นเท่ากับจำนวนของเทรสเหตุการณ์ในแต่ละเคสเทรสเหตุการณ์

4. หลังจากการวิเคราะห์ทางตรรกะเสร็จสิ้น จะทำการเก็บค่าความถี่ต่างๆในแต่ละเทรสเหตุการณ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางตรรกะ เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณค่าความเหมาะสม จะได้ผลดังตารางที่ 3.15

ตารางที่ 3.15 ค่าความถี่ต่างๆที่ได้จากการวิเคราะห์ทางตรรกะ

Event Execute	No. Missing Token	No. Left Behind Token When end Analyze	End Element not Zero When end Analyze	Parsing Activity
AECBD	0	0	0	185
AEBCD	70	35	35	105
AEEEEEBCD	38	19	19	133
AEEEEEECBD	0	0	0	370
ACBD	0	0	0	360
ABCD	0	0	0	328

5. นำค่าความถี่ที่ได้มาใช้ในการคำนวณค่าความเหมาะสมแบบพูนิชเมนท์ ซึ่งสามารถแบ่งการคำนวณได้เป็น 2 ขั้นตอนย่อย ดังต่อไปนี้

5.1 ทำการคำนวณเพื่อหาค่า พูนิชเมนท์ ดังภาพที่ 3.15 ซึ่งจากการคำนวณจะได้ค่าพูนิชเมนท์เป็น 0.8745

ขั้นที่ 1 หาค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ

allMisingTokes = (70+38) =108 numTracesLog = 300 numTraceMisingToken = 54

allExtraTokenLeftBehind = (35+35+19+19) = 108

numTraceExtraTokenLeftBehind = 35+19 = 54

ขั้นที่ 2 คำนวณค่าพูนิชเมนท์

$$punishment = \frac{allMis\sin gTokens(L,CM)}{numTracesLog(L) - numTracesMis\sin gTokens(L,CM)+1} + \frac{allExtraTokensLeftBehind(L,CM)}{nemTracesLog(L) - numTracesExtraThokensLeftBehind(L,CM)+1}$$

$$= \frac{108}{300-54+1} + \frac{108}{300-54+1}$$

$$= 0.8745$$

ภาพที่ 3.15 การคำนวณหาค่าพูนิชเมนท์

5.2 ทำการคำนวณหาค่าความเหมาะสม ดังภาพที่ 3.16 โดยใช้ค่าพูนิชเมนท์ที่คำนวณได้จากหัวข้อ 5.1 ซึ่งจากการคำนวณในภาพที่ 3.15 จะได้ค่าความเหมาะสมของตัวแบบกระบวนการในภาพ 3.12 เป็น 0.9315

ขั้นที่ 1 หาค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ

numActivitiesLog = 185 + 175 + 171 + 370 + 360 + 328 =1589

allParsedAcitities = 185 + 105 + 133 + 370 + 360 + 328 =1481

ขั้นที่2 คำนวณค่าความเหมาะสม

$$fitness = \frac{allParsedActivities(PM, L) - puishment}{numActivitiesLog(L)}$$

$$= \frac{1481 - 0.8745}{1589}$$

$$= 0.9315$$

ภาพที่ 3.16 การคำนวณหาค่าความเหมาะสม

บทที่ 4

การทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อวัดจำนวนเจเนเรชันหรือความเร็วในการสืบค้นกระบวนการเพื่อค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม ซึ่งในการทดลองนี้หมายถึงตัวแบบกระบวนการที่สามารถอธิบายได้ทุกพฤติกรรมที่มีอยู่ในบันทึกเหตุการณ์ นั่นคือมีค่าความเหมาะสมของตัวแบบกระบวนการเป็น 1 นอกจากนี้ยังทำการค้นหา อัตราการกลายพันธุ์ สายการครอสโอเวอร์ ที่ทำให้ได้จำนวนเจเนเรชันที่ดีที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการด้วยการสืบค้นกระบวนการโดยเจเนติกแบบไมโอซิส ซึ่งอาศัยหลักการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสมาช่วยในการเพิ่มความเร็วการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับจำนวนเจเนเรชันที่ดีที่สุดของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบเดิม

4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1 ฮาร์ดแวร์

หน่วยประมวลผล(CPU) Intel Pentium 4 2.80 กิกะเฮิร์ต

แผนวงจรรวม (Main Board) ASUS P4P800

หน่วยประมวลผลภาพ (VGA Card) ASUS RAEDON FX 9600

หน่วยความจำหลัก (RAM) 512 เมกะไบต์

หน่วยความจำสำรอง 80 กิกะไบต์

4.1.2 ซอฟต์แวร์

ระบบปฏิบัติการ Window XP Service Pack 2 Professional

ตัวแปลภาษาจาวาของบริษัทซันไมโครซิสเตม

โปรแกรม NetBeans 5.X ของบริษัทซันไมโครซิสเตม

โปรแกรม SPSS Version 17

4.2 วิธีการทดลอง

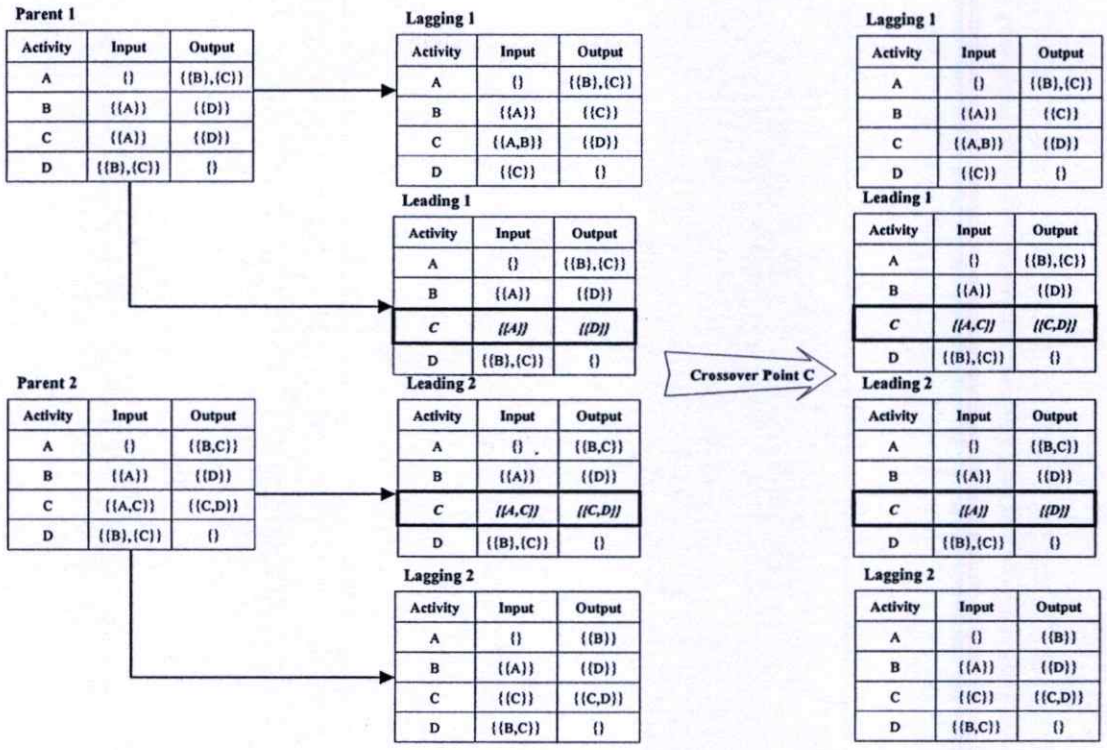
ในการทดลองเพื่อวัดจำนวนเจเนเรชัน (ความเร็ว) การค้นหาตัวแบบกระบวนการของบันทึกเหตุการณ์แบบ 7 กิจกรรม 300 เทรสเหตุการณ์ ดังตารางที่ 4.1 ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส โดยผู้วิจัยได้ทำการแบ่งการทดลองออกเป็น 4 กรณีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 เทรสเหตุการณ์ของบันทึกเหตุการณ์แบบ 7 กิจกรรม 300 เทรสเหตุการณ์

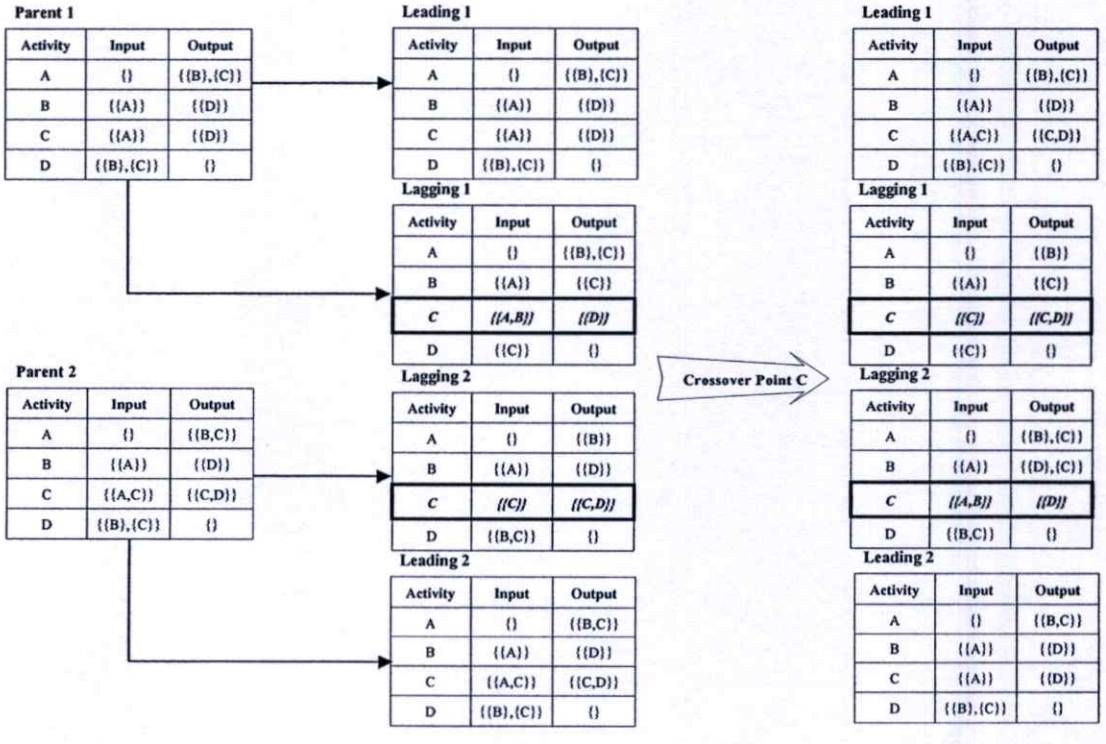
Event Trace	No. Similarity Event Trace
AGCFD	1
ACGFD	1
AFGCD	31
AGFCD	2
ACFGD	28
AFCGD	61
AGED	7
AEGD	70
ACGBD	1
AGBCD	2
AGCBD	2
ABGCD	24
ACBGD	20
ABCGD	50

1. กำหนดให้ทำการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์สายนำเพื่อทำการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลให้ใช้จำนวนเจเนเรชันน้อยที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม(จำนวนเจเนเรชันที่ดีที่สุด) ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิสแบบครอสโอเวอร์ที่สายนำ และ แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม ในกรณีดังกล่าว ดังภาพที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ จากนั้นทำการเปรียบเทียบจำนวนเจเนเรชันที่ดีที่สุดระหว่างการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิสของการครอสโอเวอร์ทั้งสองแบบ

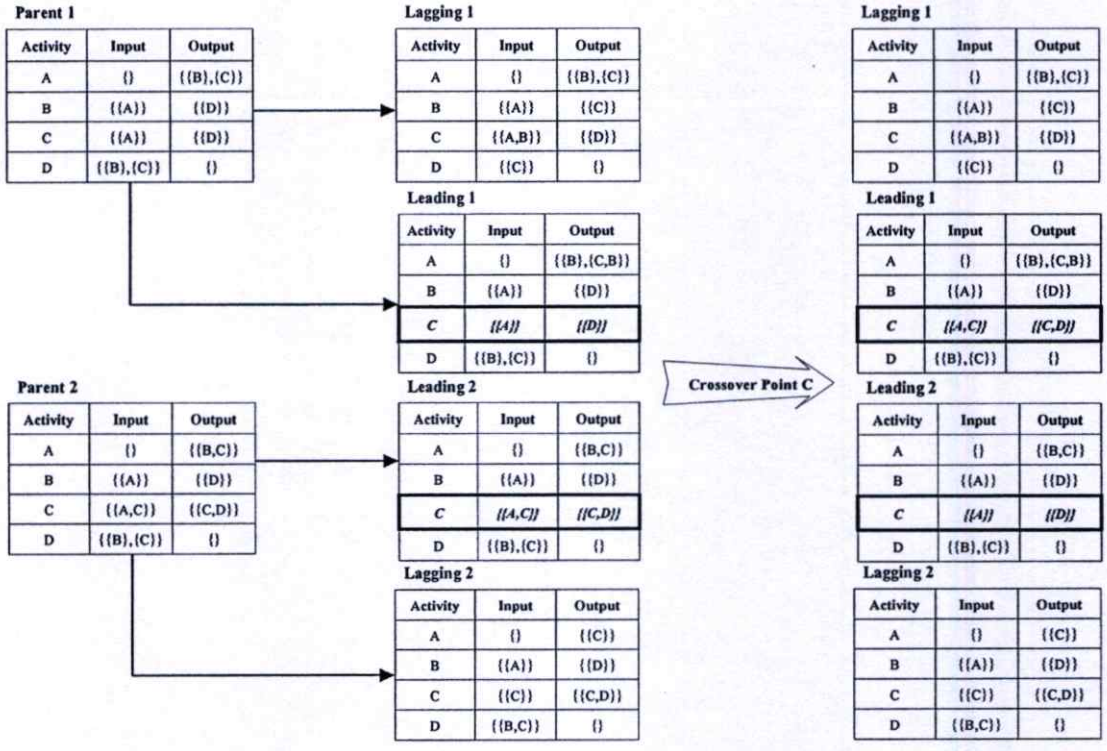
2. กำหนดให้ทำการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก เพื่อทำการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลให้ใช้จำนวนเจเนเรชันน้อยที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิสแบบครอสโอเวอร์ที่สายนำและแบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม ในกรณีดังกล่าว ดังภาพที่ 4.3 และ 4.4 จากนั้นทำการเปรียบเทียบจำนวนเจเนเรชันที่ดีที่สุดระหว่างการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิสของการครอสโอเวอร์ทั้งสองแบบ



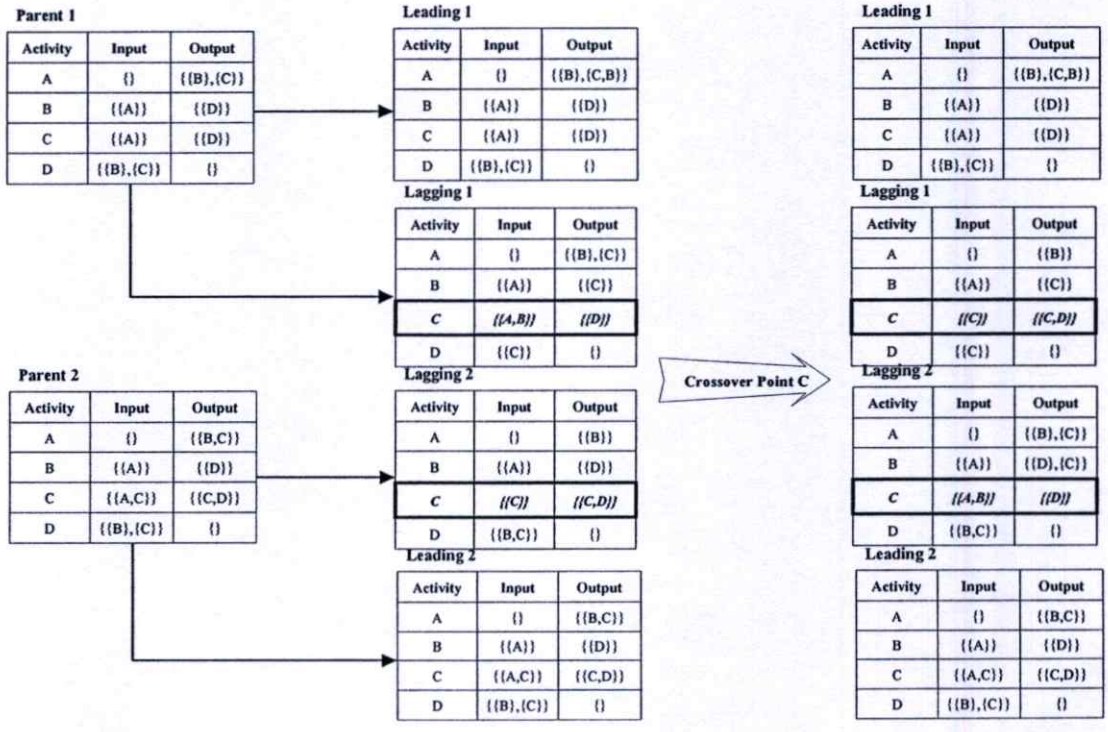
ภาพที่ 4.1 การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำแบบครอสโอเวอร์ที่สายนำ



ภาพที่ 4.2 การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำแบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม



ภาพที่ 4.3 การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบครอสโอเวอร์ที่สายนำ



ภาพที่ 4.4 การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม

3. ทำการเปรียบเทียบจำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส ที่ให้จำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยดีที่สุดในกรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ กับกรณีที่มีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก ที่ได้จากการทดลองในข้อที่ 1 และ 2

4. กำหนดให้ทำการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส ที่ให้ค่าจำนวนเจเนเรชันน้อยที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากผลที่ได้ในข้อ 3 เปรียบเทียบกับการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบเดิม ที่ให้จำนวนเจเนเรชันน้อยที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม

4.3 เครื่องมือวัดความเร็วในการสืบค้น

ในการวัดความเร็วในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมจากการสืบค้นกระบวนการสามารถวัดได้จากจำนวนเจเนเรชันที่ใช้ในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม โดยการสืบค้นกระบวนการที่ใช้จำนวนเจเนเรชันน้อยกว่าแสดงว่ามีความเร็วในการค้นหาตัวแบบกระบวนการมากกว่า ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้จำนวนครั้งที่ค่าความเหมาะสมเป็น 1 และจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยในการค้นหาตัวแบบกระบวนการ เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ทำให้การสืบค้นกระบวนการดังกล่าวใช้จำนวนเจเนเรชันน้อยที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการ จากนั้นนำจำนวนเจเนเรชันจากค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดของการสืบค้นกระบวนการในแต่ละแบบที่ได้จากการวิเคราะห์มาทำการเปรียบเทียบด้วยการเปรียบเทียบค่ากลางของจำนวนเจเนเรชันแบบสองกลุ่มสัมพันธ์กันด้วยวิธีการทางสถิติคือ การทดสอบแบบวิลคอกซันชนิดอันดับที่มีเครื่องหมาย (The Willcoxon Matched -Pairs Signed-Rank test) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสองขั้นตอนวิธีที่ต้องการทดสอบอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการทดสอบดังกล่าวมีวิธีการในการคำนวณดังต่อไปนี้

อันดับแรกต้องหาความแตกต่างของจำนวนเจเนเรชันระหว่างข้อมูลในแต่ละคู่ที่จะนำมาทดสอบแล้วจัดอันดับของความแตกต่างจากค่าที่น้อยที่สุดไปสู่ค่าที่มากที่สุดโดยไม่ต้องคำนึงถึงเครื่องหมาย สำหรับข้อมูลที่มีความแตกต่างเท่ากันจะจัดลำดับโดยใช้ค่าเฉลี่ยของลำดับที่เท่ากันเหล่านั้น ส่วนข้อมูลคู่ที่มีค่าผลต่างเป็น 0 ให้ตัดทิ้งไปไม่นำมาวิเคราะห์ มีผลทำให้ขนาดของกลุ่มตัวอย่างลดลง

หลังจากที่ได้มีการจัดอันดับความแต่กต่างแล้วจึงทำการกำกับอันดับที่ได้ด้วยเครื่องหมายบวกหรือลบที่มีอยู่ตามเดิม จากนั้นทำการหาค่าสถิติ T+ คือค่าผลบวกของอันดับของผลต่างที่มีเครื่องหมายเป็นบวก และ T- คือค่าผลบวกของอันดับผลต่างที่มีเครื่องหมายเป็นลบแล้วนำค่าดังกล่าวมาใช้ในการทดสอบ ซึ่งในการทดลองนี้เราจะใช้ SPSS เป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์การทดสอบดังกล่าว

ส่วนผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์การทดสอบความแตกต่างด้วยโปรแกรม SPSS จะได้ค่าพี (P-Value) หรือที่เรียกว่า ค่าซิก (Significance: Sig.) ตามโปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งเป็นค่าสำคัญที่จะนำมาใช้ในการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติ โดยเราจะยอมรับสมมุติฐานหลักก็ต่อเมื่อ ค่าพีมีค่ามากกว่ากว่าค่าระดับนัยสำคัญ (α)

4.4 การกำหนดค่าในการทดลอง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการกำหนดค่าให้แก่การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส นอกจากนี้ยังทำการวิเคราะห์หาอัตรากลายพันธุ์ และสายการครอสโอเวอร์ที่เหมาะสมสำหรับการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส

การกำหนดค่าให้แก่การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส เป็นการกำหนดค่าเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หา อัตราการกลายพันธุ์ และ สายการครอสโอเวอร์ ในแต่ละขนาดประชากรหลังจากได้อัตราการกลายพันธุ์ และ สายการครอสโอเวอร์ที่เหมาะสมแล้ว ก็จะทำการเปรียบเทียบจำนวนเจเนเรชันที่ได้กับการสืบค้นกระบวนโดยใช้เจเนติกแบบเดิม ในอัตราการกลายพันธุ์ และอัตราบุริมสิทธิ์ที่เหมาะสมด้วยเช่นกัน โดยค่าที่กำหนดให้ในการทดลองจะเป็นไปดังตาราง 4.2

ตารางที่ 4.2 การกำหนดค่าให้แก่การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส และการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบเดิม เพื่อใช้ในการทดลอง

<table>
<tr><th></th><th>ขั้นตอนวิธีเจเนติก</th><th>ขั้นตอนวิธีไมโอซิสเจเนติก</th></tr>
<tr><td>จำนวนรอบสูงสุดในการทำงาน</td><td>10,000</td><td>10,000</td></tr>
<tr><td>จำนวนประชากร</td><td>20 , 100</td><td>20 , 100</td></tr>
<tr><td>อัตราการกลายพันธุ์ใน สายนำ (MLR)</td><td rowspan="2">0.01 , 0.1 , 0.2 , 0.3 , 0.5 , 1.0</td><td>0 , 0.01</td></tr>
<tr><td>อัตราการกลายพันธุ์ใน สายตาม (MR)</td><td>0.01 , 0.1 , 0.2 , 0.3 , 0.5 , 1.0</td></tr>
<tr><td>อัตราบุริมสิทธิ์</td><td>0.01 , 0.1 , 0.3 , 0.5</td><td>-</td></tr>
<tr><td>อัตราการครอสโอเวอร์</td><td>1.0</td><td>1.0</td></tr>
<tr><td>จำนวนครั้งในการทดลอง</td><td>10</td><td>10</td></tr>
</table>

4.5 ผลการทดลอง

ผลการทดลองการทำงานของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส และการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติก ซึ่งในการทดลองนี้ได้กำหนดให้การสร้างประชากรเริ่มต้นถูกสร้างขึ้นด้วยวิธีฮิวริสติก ส่งผลให้ประชากรเริ่มต้นมีประสิทธิภาพที่ดี อย่างไรก็ตามขนาดของประชากรเริ่มต้นอาจจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม ดังนั้นจากเหตุผลนี้เป็นสาเหตุให้ผู้วิจัยจึงได้ทำการแบ่งการทดลองออกเป็น 2 กรณีตามขนาดของประชากรเริ่มต้น คือ กรณีขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 20 และ กรณีขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 100

4.5.1 กรณีขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 20

ในกรณีนี้เป็นผลการทดลองการทำงานของการสืบค้นกระบวนการโดยกำหนดให้ประชากรเริ่มต้นเป็น 20 จำนวนรอบการทำงานสูงสุดเป็น 10,000 รอบ อัตราการครอสโอเวอร์เป็น 1 ค่ากำลังเป็น 1 อัตรากลายพันธุ์ในสายนำเป็น 0 และ 0.01 อัตราการกลายพันธุ์ในสายตามเป็น 0.01 0.1 0.2 0.3 0.5 และ 1 ทำการทดลองทั้งหมด 10 ครั้งได้ผลการทดลองเป็นดังนี้

4.5.1.1 การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ และ แบบเกิดครอสโอเวอร์ที่สายตาม

ผลการวัดค่าความเหมาะสมสูงสุดเฉลี่ย จำนวนค่าความเหมาะสมที่เป็น 1 และจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ย ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ กับ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ในสายตาม ที่อัตราการกลายพันธุ์ในสายตามในระดับต่างจะได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าความเหมาะสมสูงสุดเฉลี่ย จำนวนค่าความเหมาะสมที่เป็น 1 และ จำนวนเจเนเรชันเฉลี่ย ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่เกิดการกลายพันธุ์ที่สายนำ (MLR = 0) แบบเกิดการครอสโอเวอร์ในสายนำ และ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ในสายตาม เมื่อขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 20

Crossover Line	Mutation (MR)	AVG. Max Fitness	No. Fitness is 1	AVG. Generation
Leading	0.01	0.9996	2	4829.1
	0.1	1	10	1557
	0.2	1	10	1141
	0.3	***1***	***10***	***696.6***
	0.5	0.9048	6	5844.8
	1	0.3768	1	9423.3
Lagging	0.01	1	10	459.2
	0.1	***1***	***10***	***88.4***
	0.2	1	10	134.9
	0.3	1	10	271.6
	0.2	1	10	403.7
	1	0.9817	0	8867.5

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ ค่าอัตรากลายพันธุ์ในสายตามที่เหมาะสม ที่ส่งผลให้การสืบค้นกระบวนการใช้จำนวนเจเนเรชันน้อยที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการผลลัพธ์ที่เหมาะสม คือ 0.3 ส่วนแบบเกิดการครอสโอเวอร์ในสายตามจะได้ค่าอัตรากลายพันธุ์ในสายตามที่เหมาะสม เป็น 0.1 โดยที่อัตราการกลายพันธุ์ในสายตามที่เหมาะสมของการครอสโอเวอร์ทั้งสองแบบ จะได้ค่าความเหมาะสมสูงสุดเฉลี่ยเป็น 1 และ จำนวนครั้งที่ค่าความเหมาะสมเป็นหนึ่งเท่ากับ 10 เท่ากันในทั้งสองกรณี

เมื่อทราบค่าอัตราการกลายพันธุ์ในสายตามที่เหมาะสมของการครอสโอเวอร์ทั้งสองแบบ แล้วนำจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยทั้งสองมาเปรียบเทียบกัน พบว่าจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยที่ดีที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมแบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตามน้อยกว่าจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยที่ดีที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมแบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ

จากนั้นนำข้อมูลในการทดลองแต่ละครั้งของการครอสโอเวอร์ในสายนำ เมื่ออัตรากลายพันธุ์เป็น 0.3 ดังตารางที่ 4.4 และ การครอสโอเวอร์ในสายตาม เมื่ออัตรากลายพันธุ์เป็น 0.1 ดังตารางที่ 4.5 มาทำการทดสอบความแตกต่างของจำนวนเจเนเรชันโดยวิธีการทางสถิติ คือ การทดสอบแบบวิลคอกซันชนิดอันดับที่มีเครื่องหมาย ด้วย SPSS จะได้ผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.4 จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ อัตรากลายพันธุ์เป็น 0.3 ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 20

ครั้งที่ทดลอง	จำนวนเจเนเรชันในการสืบค้น
1	118
2	949
3	92
4	93
5	1906
6	256
7	128
8	891
9	2285
10	248

ตารางที่ 4.5 จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตรากลายพันธุ์เป็น 0.1 ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 20

ครั้งที่ทดลอง	จำนวนเจเนเรชันในการสืบค้น
1	73
2	67
3	93
4	25
5	143
6	38
7	10
8	85
9	242
10	108

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบความแตกต่างด้วยการทดสอบแบบวิลคอกซันชนิดอันดับที่มีเครื่องหมาย ด้วยโปรแกรม SPSS โดยอาศัยข้อมูลในตารางที่ 4.4 และ 4.5

	Rank				Test Statistics	
Lagging - Leading		*N*	*Mean Rank*	*Sum of Rank*	Statistics	*Value*
	Negative Rank	9	6.00	54.00	*Z*	-2.701
	Positive Rank	1	1.00	1.00	*P(2 tailed)*	.007
	Ties	0			*P(1 tailed , H1: <)*	.0035
	Total	10			*P(1 tailed , H1: >)*	0.9965

สมมุติฐาน

H0: จำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่เกิดการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์ (MR) 0.1 เท่ากับจำนวนเจเนเรชันของแบบครอสโอเวอร์ที่สายนำ อัตราการกลายพันธุ์ 0.3

H1: จำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่เกิดการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์ 0.1 น้อยกว่าจำนวนเจเนเรชันของแบบครอสโอเวอร์ที่สายนำ อัตราการกลายพันธุ์ 0.3

ระดับนัยสำคัญ

$\alpha = 0.05$

สถิติทดสอบ

Z = -2.701 ซึ่งพบว่ามีค่า P (1-tailed, H1: <) = 0.0035

สรุป

เนื่องจาก P(1-tailed, H1: <) น้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ จึงส่งผลให้ ปฏิเสธสมมุติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ภาพที่ 4.5 การวิเคราะห์ผลเพื่อทดสอบสมมุติฐานโดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ของโปรแกรม SPSS ในตารางที่ 4.6

เมื่อนำผลที่ได้ในตารางที่ 4.6 มาทำการวิเคราะห์ผล ดังภาพที่ 4.5 พบว่า ในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม เมื่ออัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.1 จะใช้จำนวนเจเนเรชันน้อยกว่า แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ เมื่ออัตรากลายพันธุ์เป็น 0.3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะ การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีที่ไม่เกิดการกลายพันธุ์ที่สายนำ จะทำให้โครโมโซมตัวแบบกระบวนการในสายนำไม่เกิดการ

เปลี่ยนแปลงขณะทำการจำลองตัวแบบกระบวนการ ดังนั้นเมื่อกำหนดให้เกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม จะทำให้โครโมโซมตัวแบบกระบวนการในรุ่นลูกสามารถรักษาคุณสมบัติในรุ่นพ่อแม่ไว้ได้ ส่งผลให้ตัวแบบกระบวนการที่ดีไม่สูญหายไปจากระบบ และเกิดการจับคู่กันระหว่างตัวแบบกระบวนการที่ดี จากเหตุผลดังกล่าวทำให้ตัวแบบกระบวนการที่ผลิตได้ในรุ่นลูกได้รับคุณสมบัติที่ดีจากรุ่นพ่อแม่ จึงส่งผลให้ประชากรุ่นต่อไปมีประสิทธิภาพไม่ต่ำไปจากเดิม ทำให้ความเร็วในการสืบค้นมากขึ้น ส่วนในกรณีที่กำหนดให้เกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ จะทำให้โครโมโซมในรุ่นลูกมีความแตกต่างจากรุ่นพ่อแม่ทั้งหมด เนื่องจากการครอสโอเวอร์ที่สายนำจะส่งผลให้ตัวแบบกระบวนการในสายนำเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้สูญเสียความสามารถในการสืบทอดคุณสมบัติจากรุ่นพ่อแม่ จากเหตุผลดังกล่าวส่งผลให้ตัวแบบกระบวนการในสายนำมีความหลากหลายมากกว่าการเกิดครอสโอเวอร์ในสายตาม อย่างไรก็ตามการครอสโอเวอร์ที่สายนำจะส่งผลให้ตัวแบบกระบวนการในแต่ละสายจะมีการปรับตัวเข้าสู่ตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมด้วยวิธีการเพียงวิธีการเดียวโดยที่สายนำจะมีการปรับตัวด้วยการครอสโอเวอร์ ส่วนในสายตามจะปรับตัวด้วยการกลายพันธุ์ ส่งผลให้ตัวแบบกระบวนการที่ได้มีการปรับตัวไม่ดีพอ เมื่อเทียบกับการครอสโอเวอร์ที่สายตาม อีกทั้งขนาดประชากรยังมีขนาดเล็ก ส่งผลให้ความหลากหลายของประชากรมีไม่มากพออีกด้วย ด้วยเหตุผลทั้งหมดที่กล่าวมานี้ทำให้การสืบค้นกระบวนการแบบครอสโอเวอร์ที่สายนำใช้จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการผลลัพธ์มากกว่าแบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม

4.5.1.2 การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบครอสโอเวอร์ที่สายนำ และ แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม

จากการทดลองจะได้ ค่าความเหมาะสมสูงสุดเฉลี่ย จำนวนครั้งที่ค่าความเหมาะสมเป็นหนึ่ง และจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ย ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตรากลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ และแบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม ที่อัตราการกลายพันธุ์ในระดับต่างๆ ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าความเหมาะสมสูงสุดเฉลี่ย จำนวนครั้งที่ค่าความเหมาะสมที่เป็น 1 และ จำนวนเจเนเรชันเฉลี่ย ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก (MLR = 0.01) แบบเกิดการครอสโอเวอร์ในสายนำ และ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ในสายตาม เมื่อขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 20

Crossover Line	Mutation (MR)	AVG. Max Fitness	No. Fitness is 1	AVG. Generation
Leading	0.01	1	10	824.8
	0.1	1	10	227.9
	0.2	***1***	***10***	***161.6***
	0.3	1	10	352.3
	0.5	0.7024	1	9440.4
	1	0.4059	0	10000
Lagging	0.01	1	10	792.1
	0.1	1	10	171.8
	0.2	1	10	173.1
	0.3	***1***	***10***	***159.5***
	0.2	0.9999	9	3232.6
	1	0.5912	0	10000

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่า ค่าอัตราการกลายพันธุ์ในสายตามที่เหมาะสม ซึ่งทำให้การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตรากลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำและแบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตามจะใช้จำนวนเจเนเรชันน้อยที่สุดการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมเมื่ออัตรากลายพันธุ์สำหรับการครอสโอเวอร์ในแต่ละแบบ เป็น 0.2 และ 0.3 ตามลำดับ ซึ่งที่อัตรากลายพันธุ์ที่เหมาะสมของการครอสโอเวอร์ทั้งสองสายนั้นจะให้ค่าเฉลี่ยความเหมาะสมสูงสุด เป็น 1 และจำนวนครั้งที่ค่าความเหมาะสมเป็นหนึ่ง คือ 10 เท่ากันทั้งสองกรณี

จากนั้นนำจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยของอัตรากลายพันธุ์ที่เหมาะสมในการครอสโอเวอร์แต่ละสายของการสืบค้นกระบวนการจากผลการทดลองในตารางที่ 4.7 มาทำการเปรียบเทียบกัน พบว่า ในการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตรากลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม และ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ จะมีจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยในการค้นหาตัวแบบกระบวนการใกล้เคียงกัน

นอกจากนี้เมื่อนำข้อมูลในการทดลองแต่ละครั้งของ การครอสโอเวอร์ในสายนำ เมื่ออัตรากลายพันธุ์เป็น 0.2 และ การครอสโอเวอร์ในสายตาม เมื่ออัตรากลายพันธุ์เป็น 0.3 ในตารางที่

4.8 และ 4.9 ตามลำดับ มาใช้ในการทดสอบความแตกต่างของจำนวนเจเนเรชันด้วยวิธีการทางสถิติที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยใช้โปรแกรม SPSS มาช่วยในการวิเคราะห์ จะได้ผลดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.8 จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ อัตรากลายพันธุ์เป็น 0.2 ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 20

ครั้งที่ทดลอง	จำนวนเจเนเรชันในการสืบค้น
1	83
2	43
3	100
4	33
5	29
6	450
7	41
8	55
9	678
10	104

ตารางที่ 4.9 จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตรากลายพันธุ์เป็น 0.3 ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 20

ครั้งที่ทดลอง	จำนวนเจเนเรชันในการสืบค้น
1	49
2	332
3	161
4	106
5	188
6	128
7	238
8	56
9	244
10	93

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบความแตกต่างด้วยการทดสอบแบบวิลคอกซันชนิดอันดับที่มีเครื่องหมาย ด้วยโปรแกรม SPSS โดยอาศัยข้อมูลในตารางที่ 4.8 และ 4.9

	Rank				Test Statistics	
Lagging - Leading		*N*	*Mean Rank*	*Sum of Rank*	Statistics	*Value*
	Negative Rank	4	6.00	24	*Z*	-.357
	Positive Rank	6	5.17	31	*P(2 tailed)*	.721
	Ties	0			*P(1 tailed , H1: <)*	.36605
	Total	10			*P(1 tailed , H1: >)*	0.6395

สมมุติฐาน

H0: จำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์ 0.3 เท่ากับ จำนวนเจเนเรชันของแบบครอสโอเวอร์ที่สายนำ อัตราการกลายพันธุ์ 0.2

H1: จำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์ 0.3 น้อยกว่า จำนวนเจเนเรชันของแบบครอสโอเวอร์ที่สายนำ อัตราการกลายพันธุ์ 0.2

ระดับนัยสำคัญ

$\alpha = 0.05$

สถิติทดสอบ

Z=-0.357 พบว่ามีค่า P(1-tailed, H1: <) = 0.36605

สรุป

เนื่องจาก P(1-tailed, H1: <) มากกว่าค่าระดับนัยสำคัญ จึงส่งผลให้ ยอมรับสมมุติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ภาพที่ 4.6 การวิเคราะห์ผลเพื่อทดสอบสมมุติฐานโดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ของโปรแกรม SPSS ในตารางที่ 4.10

เมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบความแตกต่างด้วย SPSS ในตารางที่ 4.10 มาทำการวิเคราะห์ ดังภาพที่ 4.6 จะได้ผลสรุปว่า จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม ระหว่าง การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม เมื่ออัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.3 และแบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ เมื่ออัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.2 จะใช้จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งเป็นผลมาจากการสืบค้น

กระบวนการในกรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก จะทำให้การสืบค้นกระบวนการสูญเสียความสามารถในการสืบทอดคุณสมบัติจากพ่อแม่ ถึงแม้ว่าโอกาสที่จะเกิดการกลายพันธุ์ในสายนำจะมีน้อยมากก็ตาม แต่เนื่องจากประชากรมีขนาดเล็กส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงตัวแบบกระบวนการสามารถส่งผลกระทบต่อการสืบค้นกระบวนการได้ จากเหตุผลที่กล่าวมานี้เมื่อกำหนดให้เกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม จะทำให้จำนวนเจเนเรชันในการสืบค้นกระบวนการเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันถ้าเรากำหนดให้การสืบค้นกระบวนการเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ จะทำให้โครโมโซมตัวแบบกระบวนการรุ่นลูกที่ผลิตได้จะแตกต่างจากรุ่นพ่อแม่ นอกจากนี้การสืบค้นกระบวนการในกรณีนี้จะเกิดการกลายพันธุ์ที่สายนำ ทำให้การสืบค้นกระบวนการ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ มีการปรับตัวแบบกระบวนการด้วยการครอสโอเวอร์และการกลายพันธุ์ ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการปรับตัวเข้าสู่ตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม จึงทำให้ตัวแบบกระบวนการที่ผลิตได้ในรุ่นลูกมีค่าความเหมาะสมและความหลากหลายมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้จำนวนเจเนเรชันที่ใช้ในการค้นหาตัวแบบกระบวนการลดลง นั่นคือ มีความเร็วในการค้นหาตัวแบบกระบวนการเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การสืบค้นกระบวนการในกรณีนี้ได้สูญเสียความสามารถในการสืบทอดคุณสมบัติจากรุ่นพ่อแม่มากกว่าแบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของตัวแบบกระบวนการไม่ได้เกิดจากการกลายพันธุ์เพียงอย่างเดียว จึงเป็นสาเหตุให้มีความเป็นไปได้ที่ตัวแบบกระบวนการที่ผลิตได้ในรุ่นลูกจะมีค่าความเหมาะสมที่แย่กว่ารุ่นพ่อแม่ นั่นคือได้ตัวแบบกระบวนการที่แย่กว่าเดิม ซึ่งจะเป็นการเพิ่มจำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการ จากเหตุผลดังกล่าวทำให้ทราบได้ว่าในการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำจะทำให้ได้จำนวนเจเนเรชันที่น้อยในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม แต่ในบางครั้งก็จะได้จำนวนเจเนเรชันที่สูงมากในการค้นหาตัวแบบกระบวนการ เนื่องจากสูญเสียความสามารถในการรักษาตัวแบบกระบวนการที่ดีจากรุ่นพ่อแม่ อีกทั้งประชากรเริ่มต้นยังมีขนาดเล็ก ส่งผลให้ตัวแบบกระบวนการที่ถูกสร้างใหม่มีความหลากหลายไม่มากพอ ดังนั้นเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการสืบค้นกระบวนการแบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตามในกรณีนี้จะได้จำนวนเจเนเรชันที่ไม่แตกต่างกัน

4.5.1.3 การเปรียบเทียบจำนวนเจเนเรชันที่ดีที่สุด ระหว่าง การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ในสายนำ กับ การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก

ในหัวข้อนี้เราจะทำการเปรียบเทียบจำนวนเจเนเรชันที่ดีที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส ระหว่างกรณีไม่มีการกลายพันธุ์ในสายนำ กับ กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก โดยจากการทดลองทั้ง

สองหัวข้อข้างต้น จะทำให้ทราบถึงสายการครอสโอเวอร์ และ อัตราการกลายพันธุ์ที่ทำให้การค้นหาตัวแบบกระบวนการผลลัพธ์ที่เหมาะสมมีความเร็วในการค้นหาดีที่สุด โดยในกรณีที่ไม่มีการกลายพันธุ์ในสายนำ การสืบค้นกระบวนการจะใช้จำนวนเจเนเรชันน้อยที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม เมื่อกำหนดให้เกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม และ อัตรากลายพันธุ์ เป็น 0.1 ส่วนในกรณีที่มีอัตราการกลายพันธุ์ในสายนำน้อยมาก จะเห็นได้ว่าจำนวนเจเนเรชันที่ดีที่สุดระหว่างการครอสโอเวอร์ทั้งสองสายไม่แตกต่างกัน แต่ในการทดลองนี้จะเลือกการสืบค้นกระบวนการ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.3 มาใช้ในการเปรียบเทียบ

เมื่อทราบถึงสายการครอสโอเวอร์และอัตรากลายพันธุ์ที่ส่งผลให้การสืบค้นกระบวนการใช้จำนวนเจเนเรชันน้อยที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมแล้ว เราจะนำข้อมูลจำนวนเจเนเรชันในการทดลองแต่ละครั้งในตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.9 ซึ่งเป็นตารางแสดงการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำแบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตรากลายพันธุ์ในสายตามเป็น 0.1 และ การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตรากลายพันธุ์ในสายตามเป็น 0.3 ตามลำดับ มาทำการทดสอบความแตกต่างด้วยโปรแกรม SPSS ซึ่งจะได้ผลดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบความแตกต่างด้วยการทดสอบแบบวิลคอกซันชนิดอันดับที่มีเครื่องหมาย ด้วยโปรแกรม SPSS โดยอาศัยข้อมูลในตารางที่ 4.5 และ 4.9

	Rank				Test Statistics	
		N	*Mean Rank*	*Sum of Rank*	Statistics	*Value*
Mlr 0.01 – Mlr 0	***Negative Rank***	3	3.0	9	***Z***	-1.886
	Positive Rank	7	6.57	46	***P (2 tailed)***	.059
	Ties	0			***P (1 tailed , H1: <)***	0.0295
	Total	10			***P(1 tailed , H1: >)***	0.9705

เมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบความแตกต่างด้วย SPSS ในตารางที่ 4.11 มาทำการวิเคราะห์ ดังภาพที่ 4.7 จะได้ผลสรุปว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตรากลายพันธุ์เป็น 0.1 จะใช้จำนวนเจเนเรชันน้อยกว่าในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนเจเนเรชันที่ดีที่สุดของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการ

กลายพันธุ์เป็น 0.3 สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะในการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ในสายนำ แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม จะมีความสามารถในการสืบทอดคุณสมบัติจากรุ่นพ่อแม่ ส่งผลให้ตัวแบบกระบวนการที่ดีไม่สูญหายไปจากระบบ และเกิดการจับคู่กันระหว่างตัวแบบกระบวนการที่ดี ในทางกลับกันการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบครอสโอเวอร์ที่สายตามจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ตัวแบบกระบวนการในสายนำด้วยวิธีการกลายพันธุ์ ถึงแม้ว่าอัตรากลายพันธุ์ที่สายนำจะน้อยมาก แต่เนื่องจากในการทดลองนี้ประชากรเริ่มต้นมีขนาดเล็กจึงส่งผลให้สูญเสียความสามารถในการสืบทอดคุณสมบัติจากรุ่นพ่อแม่ เป็นผลให้ความเร็วในการสืบค้นกระบวนการลดลง จากเหตุผลดังกล่าวนี้ทำให้จำนวนเจเนเรชันที่ดีที่สุดของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำ ใช้จำนวนเจเนเรชันในการสืบค้นกระบวนการน้อยกว่า จำนวนเจเนเรชันที่ดีที่สุดของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก

สมมุติฐาน

H0: จำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์ 0.1 เท่ากับ จำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์ 0.3

H1: จำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์ 0.1 น้อยกว่า จำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์ 0.3

ระดับนัยสำคัญ

$\alpha = 0.05$

สถิติทดสอบ

Z=-1.886 พบว่ามีค่า P(1-tailed, H1: <) = 0.0295

สรุป

เนื่องจาก P(1-tailed, H1: <) น้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ จึงส่งผลให้ ปฏิเสธสมมุติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ภาพที่ 4.7 การวิเคราะห์ผลเพื่อทดสอบสมมุติฐานโดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ของโปรแกรม SPSS ในตารางที่ 4.11

4.5.1.4 การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส และ การสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติก

จากการทดลองเพื่อหารูปแบบการสืบค้นกระบวนการ โดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส ที่ทำให้ใช้จำนวนเจเนเรชันน้อยที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม ในหัวข้อที่ผ่านมา พบว่า การสืบค้นกระบวนการ โดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส จะใช้จำนวนเจเนเรชันน้อยที่สุดก็ต่อเมื่อ กำหนดให้ไม่มีการกลายพันธุ์ในสายนำ และเกิดการครอสโอเวอร์ในสายตาม เมื่ออัตรากลายพันธุ์เป็น 0.1 ซึ่งค่าพารามิเตอร์นี้จะถูกนำมาใช้กับการทดลองในหัวข้อนี้และได้ผลดังตารางที่ 4.12 จากนั้นนำมาเปรียบเทียบ กับ จำนวนเจเนเรชันที่ดีที่สุดของการสืบค้นกระบวน โดยใช้เจเนติกแบบเดิม ซึ่งเมื่อทำการพิจารณาผลการทดลองเพื่อค้นหาจำนวนเจเนเรชันที่ดีที่สุดจากการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติก โดยกำหนดอัตราบุริมสิทธิ์เป็น 0.01 , 0.1 , 0.3 ,0.5 และ อัตรากลายพันธุ์เป็น 0.01 , 0.1 , 0.2 , 0.3 , 0.5 และ 1 ในตารางที่ 4.13 จะเห็นได้ว่า การสืบค้นกระบวนการ โดยใช้เจเนติก จะใช้จำนวนเจเนเรชันน้อยที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม เมื่อกำหนดให้อัตราบุริมสิทธิ์และอัตราการกลายพันธุ์ เป็น 0.3

ตารางที่ 4.12 ค่าความเหมาะสมสูงสุดเฉลี่ย จำนวนครั้งที่ค่าความเหมาะสมเป็น 1 และจำนวน เจเนเรชันเฉลี่ยในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม เมื่ออัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.1 ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 20

Crossover Line	Mutation	Avg. Max Fitness	No. Fitness is 1	Avg. Generation
Lagging	0.1	1	10	141.7

ตารางที่ 4.13 ค่าความเหมาะสมสูงสุดเฉลี่ย จำนวนครั้งที่ค่าความเหมาะสมเป็น 1 และจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติก ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 20

Elitism Rate	Mutation Rate	Avg. Max Fitness	No. Fitness is 1	Avg. Generation
0.01	0.01	0.1379	0	10000
	0.1	-0.1142	0	10000
	0.2	-0.3044	0	10000
	0.3	-0.2370	0	10000
	0.5	-0.3452	0	10000
	1.0	-0.3958	0	10000
0.1	0.01	0.9996	5	3262.5
	0.1	1	10	1346.9
	0.2	1	9	1552.3
	0.3	0.9999	8	2644.5
	0.5	0.9999	6	5524
	1.0	0.9027	0	8402
0.3	0.01	0.9996	2	4903.5
	0.1	1	9	826.6
	0.2	1	10	657.3
	0.3	***1***	***10***	***459.2***
	0.5	0.9999	8	2250.4
	1.0	0.9554	0	8969
0.5	0.01	0.999	3	3717.7
	0.1	0.9999	9	1995.1
	0.2	1	10	1286.2
	0.3	1	10	1253.3
	0.5	0.9999	9	1230.6
	1.0	0.9702	0	8656.4

เมื่อทราบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ส่งผลให้การสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบทั่วไปใช้จำนวนเจเนเรชันน้อยที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม จากนั้นทำการพิจารณาจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยของค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการสืบค้นกระบวนการทั้งสองวิธี จะเห็นได้ว่าจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยที่ดีที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิสจะน้อยกว่าจำนวน

เจเนเรชันเฉลี่ยที่ดีที่สุดของการสืบค้นกระบวนการ โดยใช้เจเนติกแบบเดิมอยู่มาก และเมื่อนำจำนวนเจเนเรชันในการทดลองแต่ละครั้งของการสืบค้นกระบวนการที่ให้จำนวนเจเนเรชันที่ดีที่สุดระหว่างการสืบค้นกระบวนการ โดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.1 และ การสืบค้นกระบวนการ โดยใช้เจเนติก เมื่อกำหนดอัตราการกลายพันธุ์และอัตราบุริมสิทธิ์ เป็น 0.3 ในตารางที่ 4.14 และ 4.15 มาทำการวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธีการทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS ซึ่งจะได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.14 จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมในแต่การทดลองแต่ละครั้ง ของการสืบค้นกระบวนการ โดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตรากลายพันธุ์เป็น 0.1 ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 20

ครั้งที่ทดลอง	จำนวนเจเนเรชันในการสืบค้น
1	40
2	68
3	51
4	65
5	70
6	529
7	60
8	217
9	272
10	45

ตารางที่ 4.15 จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมในแต่การทดลองแต่ละครั้ง ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบทั่วไป เมื่ออัตราบุริมสิทธิ์ และอัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.3 ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 20

ครั้งที่ทดลอง	จำนวนเจเนเรชันในการสืบค้น
1	197
2	340
3	1820
4	705
5	286
6	499
7	118
8	299
9	187
10	141

ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบความแตกต่างด้วยการทดสอบแบบวิลคอกซันชนิดอันดับที่มีเครื่องหมาย ด้วยโปรแกรม SPSS โดยอาศัยข้อมูลในตารางที่ 4.14 และ 4.15

	Rank				Test Statistics	
		N	*Mean Rank*	*Sum of Rank*	Statistics	*Value*
MGPM-GPM	*Negative Rank*	8	6.25	50	*Z*	-2.293
	Positive Rank	2	2.50	5	*P (2 tailed)*	.022
	Ties	0			*P(1 tailed , H1: <)*	0.011
	Total	10			*P(1 tailed , H1: >)*	0.989

เมื่อนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS ในตารางที่ 4.16 มาทำการวิเคราะห์เพื่อทดสอบความแตกต่างของจำนวนเจเนเรชันดังภาพที่ 4.8 พบว่า ในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ในสายนำ แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม เมื่ออัตราการกลายพันธุ์ที่สายตามเป็น 0.1 ใช้จำนวนเจเนเรชันน้อยกว่า การค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติก เมื่อกำหนดให้อัตราบุริมสิทธิ์และอัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะ ในการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำแบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม ทำให้ตัวแบบกระบวนการในสายนำไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง จึงมีความสามารถในการสืบทอดคุณสมบัติจากรุ่นพ่อแม่ เพื่อรักษาตัวแบบกระบวนการที่ดีไม่ให้สูญหายไปจากระบบ และเกิดการจับคู่กันระหว่างตัวแบบกระบวนการที่ดี ทำให้ตัวแบบ

กระบวนการที่ผลิตได้ในรุ่นลูกได้รับการสืบทอดคุณสมบัติที่ดีจากรุ่นพ่อแม่ ซึ่งส่งผลให้ได้ตัวแบบกระบวนการรุ่นลูกที่ดีกว่ารุ่นพ่อแม่ นอกจากนี้ในการสืบทอดคุณสมบัติของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส ในกรณีนี้จะไม่สูญเสียความหลากหลายในการสร้างตัวแบบกระบวนการรุ่นถัดไป เนื่องจากในขั้นตอนวิธีไมโอซิสเจเนติกจะมีการจำลองตัวแบบกระบวนการให้มีขนาดประชากรเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า ซึ่งแตกต่างจากการสืบทอดคุณสมบัติที่ดีจากรุ่นพ่อแม่ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบเดิม ที่จะสามารถรักษาตัวแบบกระบวนการที่ดีได้เพียงบางส่วนตามค่าอัตราบุริมสิทธิ์ซึ่งเป็นค่าร้อยละในการคัดลอกตัวแบบกระบวนการที่ดีไปไว้ที่รุ่นถัดไปของประชากรรุ่นถัดไปทั้งหมด ซึ่งการรักษาตัวแบบกระบวนการที่ดีในลักษณะเช่นนี้จะทำให้สูญเสียความหลากหลายในการสร้างตัวแบบกระบวนการใหม่ในรุ่นลูก เนื่องจากการคัดลอกตัวแบบกระบวนการไปไว้ที่รุ่นถัดไปจะทำให้พื้นที่ในการสร้างตัวแบบกระบวนการใหม่ลดลงเมื่ออัตราบุริมสิทธิ์เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้จำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบเดิมมีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการผลลัพธ์ด้วยการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกมีมากกว่าการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส ที่มีความหลากหลายของตัวแบบกระบวนการที่ผลิตได้มากกว่า

สมมุติฐาน

H0: จำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์ 0.1 เท่ากับ จำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบทั่วไป เมื่ออัตราบุริมสิทธิ์ และอัตราการกลายพันธุ์ เป็น 0.3

H1: จำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์ 0.1 น้อยกว่าจำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบทั่วไป เมื่ออัตราบุริมสิทธิ์ และ อัตราการกลายพันธุ์ เป็น 0.3

ระดับนัยสำคัญ

$\alpha = 0.05$

สถิติทดสอบ

Z = -2.293 พบว่ามีค่า P(1-tailed, H1: <) = 0.011

สรุป

เนื่องจาก P(1-tailed, H1: <) น้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ จึงส่งผลให้ ปฏิเสธสมมุติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ภาพที่ 4.8 การวิเคราะห์ผลเพื่อทดสอบสมมุติฐานโดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ของโปรแกรม SPSS ในตารางที่ 4.16

4.5.2 กรณีขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 100

สำหรับกรณีนี้เป็นผลการทดลองการทำงานของการสืบค้นกระบวนการ โดยกำหนดให้ประชากรเริ่มต้นเป็น 100 จำนวนรอบการทำงานสูงสุดเป็น 10,000 อัตราการครอสโอเวอร์เป็น 1 ค่ากำลังเป็น 1 อัตราการกลายพันธุ์ในสายนำเป็น 0 และ 0.01 อัตราการกลายพันธุ์ในสายตามเป็น 0.01 0.1 0.2 0.3 0.5 และ 1 ทำการทดลองทั้งหมด 10 ครั้งได้ผลการทดลองเป็นดังนี้

4.5.2.1 การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ และ แบบเกิดครอสโอเวอร์ที่สายตาม

จากการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาค่าอัตราการกลายพันธุ์ในสายตามที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ตัวแบบกระบวนการผลลัพธ์ที่ดีที่สุดและใช้จำนวนเจเนเรชันน้อยที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการในแต่ละสายการครอสโอเวอร์ เพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบจำนวนเจเนเรชันระหว่างการสืบค้นกระบวนการทั้งสองแบบที่ได้จากการวิเคราะห์ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองในตารางที่ 4.17 จะพบว่า การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ ค่าอัตราการกลายพันธุ์ในสายตามที่ส่งผลให้การสืบค้นกระบวนการใช้จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการน้อยที่สุดคือ 0.3 ส่วนในกรณีแบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม จะได้ค่าอัตราการกลายพันธุ์ในสายตามที่เหมาะสมเป็น 0.1 โดยเมื่อพิจารณาที่ตารางที่อัตราการกลายพันธุ์ในสายตามที่เหมาะสมของการครอสโอเวอร์ทั้งสองแบบสำหรับการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ จะสังเกตุเห็นว่า ค่าความเหมาะสมสูงสุดเฉลี่ยจะมีค่าเป็น 1 ส่วนจำนวนครั้งที่ค่าความเหมาะสมเป็น 1 จะมีค่าเป็น 10 เท่ากันทั้งสองกรณี

ตารางที่ 4.17 ค่าความเหมาะสมสูงสุดเฉลี่ย จำนวนครั้งที่ค่าความเหมาะสมที่เป็น 1 และ จำนวนเจเนเรชันเฉลี่ย ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่เกิดการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ และ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม เมื่อขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 100

Crossover Line	Mutation (MR)	AVG. Max Fitness	No. Fitness is 1	AVG. Generation
Leading	0.01	0.99969	2	4965.2
	0.1	1	10	277.9
	0.2	1	10	789.9
	0.3	***1***	***10***	***136.4***
	0.5	0.79845	1	9045.6
	1	0.48007	0	10000
Lagging	0.01	1	10	88.4
	0.1	***1***	***10***	***33.6***
	0.2	1	10	40.6
	0.3	1	10	73.3
	0.2	1	10	160.6
	1	0.99768	0	9518.2

หลังจากทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าอัตราการกลายพันธุ์ในสายตามที่เหมาะสมของการครอสโอเวอร์ทั้งสองแบบแล้วนำค่าจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยทั้งสองมาเปรียบเทียบกัน จะเห็นได้ว่า การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม จะมีจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยในการค้นหาตัวแบบกระบวนการน้อยกว่า การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ

จากนั้นนำข้อมูลในการทดลองแต่ละครั้งของการครอสโอเวอร์ในสายนำ เมื่ออัตราการกลายพันธุ์ที่สายตามเป็น 0.3 ดังตารางที่ 4.18 และในกรณีที่เกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม เมื่ออัตราการกลายพันธุ์ที่สายตามเป็น 0.1 ดังตารางที่ 4.19 มาทดสอบความแตกต่างของจำนวนเจเนเรชันโดยวิธีการทางสถิติ ด้วยโปรแกรม SPSS จะได้ผลดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.18 จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ อัตรากลายพันธุ์เป็น 0.3 ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 100

ครั้งที่ทดลอง	จำนวนเจเนเรชันในการสืบค้น
1	38
2	383
3	244
4	114
5	95
6	42
7	60
8	192
9	143
10	53

ตารางที่ 4.19 จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตรากลายพันธุ์เป็น 0.1 ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 100

ครั้งที่ทดลอง	จำนวนเจเนเรชันในการสืบค้น
1	50
2	14
3	43
4	40
5	25
6	21
7	13
8	52
9	19
10	59

ตารางที่ 4.20 ผลการทดสอบความแตกต่างด้วยการทดสอบแบบวิลคอกซันชนิดอันดับที่มีเครื่องหมาย ด้วยโปรแกรม SPSS โดยอาศัยข้อมูลในตารางที่ 4.18 และ 4.19

	Rank				Test Statistics	
Lagging-Leading		*N*	*Mean Rank*	*Sum of Rank*	Statistics	*Value*
	Negative Rank	8	6.5	52	*Z*	-2.497
	Positive Rank	2	1.5	3	*P (2 tailed)*	.013
	Ties	0			*P(1 tailed , H1: <)*	0.0055
	Total	10			*P(1 tailed , H1: >)*	0.9945

สมมุติฐาน

H0: จำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่เกิดการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์ 0.1 เท่ากับ จำนวนเจเนเรชันของแบบครอสโอเวอร์ที่สายนำ อัตราการกลายพันธุ์ 0.3

H1: จำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่เกิดการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์ 0.1 น้อยกว่าจำนวนเจเนเรชันของแบบครอสโอเวอร์ที่สายนำ อัตราการกลายพันธุ์ 0.3

ระดับนัยสำคัญ

$\alpha = 0.01$

สถิติทดสอบ

Z=-2.497 พบว่ามีค่า P(1-tailed, H1: <) = 0.0055

สรุป

เนื่องจาก P(1-tailed, H1: <) น้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ จึงส่งผลให้ ปฏิเสธสมมุติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ภาพที่ 4.9 การวิเคราะห์ผลเพื่อทดสอบสมมุติฐานโดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ของโปรแกรม SPSSในตารางที่ 4.20

เมื่อนำผลการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรม SPSS ในตารางที่ 4.20 มาทำการวิเคราะห์ผลเพื่อทดสอบสมมุติฐาน ดังภาพที่ 4.9 พบว่า ในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม เมื่ออัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.1 จะใช้จำนวนเจเนเรชันน้อยกว่า แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ เมื่ออัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะ การสืบค้นกระบวนการในกรณีไม่เกิดการกลายพันธุ์ที่สายนำ จะทำให้โครโมโซม

ตัวแบบกระบวนการที่สายนำไม่เกิดการกลายพันธุ์เมื่อระบบทำการจำลองตัวแบบกระบวนการ ส่งผลให้เมื่อเรากำหนดให้เกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตามจะทำให้ตัวแบบกระบวนการในรุ่นลูกมีความสามารถในการสืบทอดคุณลักษณะที่ดีจากรุ่นพ่อแม่ และเกิดการจับคู่กันระหว่างตัวแบบกระบวนการที่ดี จากเหตุผลนี้ทำให้ตัวแบบกระบวนการที่ผลิตได้ในรุ่นลูกมีประสิทธิภาพไม่ต่ำไปกว่าเดิม ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มความเร็วในการค้นหาตัวแบบกระบวนการ แต่เมื่อเรากำหนดให้เกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ จะส่งผลให้โครโมโซมตัวแบบกระบวนการในรุ่นลูกมีความแตกต่างจากรุ่นพ่อแม่ทั้งหมด และยังทำให้สูญเสียความสามารถในการสืบทอดคุณสมบัติจากรุ่นพ่อแม่ นอกจากนี้ยังทำให้ตัวแบบกระบวนการในรุ่นลูกมีความหลากหลายมากกว่ากรณีเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ อีกทั้งขนาดประชากรยังมีขนาดใหญ่ขึ้นส่งผลให้ความแตกต่างของจำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการของการครอสโอเวอร์ทั้งสองแบบลดลง ซึ่งสามารถสังเกตุได้จากค่าพีที่คำนวณได้จากโปรแกรม SPSS มีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการสืบค้นกระบวนการกรณีเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำจะทำให้การปรับตัวของตัวแบบกระบวนการในรุ่นลูกไม่ดีพอ เนื่องจากตัวแบบกระบวนการในสายนำจะถูกปรับโดยการครอสโอเวอร์ ส่วนตัวแบบกระบวนการในสายตามจะถูกปรับโดยการกลายพันธุ์ ส่งผลให้ค่าความเหมาะสมของตัวแบบกระบวนการที่ได้จากการปรับไม่แตกต่างไปจากเดิมมากนัก ในขณะที่กรณีที่เกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตามตัวแบบกระบวนการจะมีการปรับตัวด้วยการกลายพันธุ์และการครอสโอเวอร์จึงมีการปรับตัวไปสู่คำตอบได้ดีกว่า และส่งผลให้ใช้จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการน้อยกว่ากรณีที่เกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ

4.5.2.2 การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบครอสโอเวอร์ที่สายนำ และ แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม

ผลการวัดค่าความเหมาะสมสูงสุดเฉลี่ย จำนวนครั้งที่ค่าความเหมาะสมเป็นหนึ่ง จำนวนเจเนเรชันเฉลี่ย ในตารางที่ 4.21 เป็นผลการทดลองที่ได้จากการทดลองเพื่อค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส ทั้งแบบกำหนดให้เกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ และแบบกำหนดให้เกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม เพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบหาสายการครอสโอเวอร์ และอัตราการกลายพันธุ์ในสายตามที่ส่งผลให้ใช้จำนวนเจเนเรชันน้อยที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม โดยเมื่อพิจารณาข้อมูลในตารางที่ 4.21 จะเห็นได้ว่า การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ จะใช้จำนวนเจเนเรชันน้อยที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม เมื่ออัตราการกลายพันธุ์ที่สายตามเป็น 0.01 ส่วนแบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม จะใช้จำนวนเจเนเรชันน้อยที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม เมื่ออัตราการกลายพันธุ์ที่สายตามเป็น 0.1 นอกจากนี้เมื่อเราทำการพิจารณาที่อัตราการ

กลายพันธุ์ในสายตามที่เหมาะสมของการครอสโอเวอร์ทั้งสองสาย จะเห็นว่า ค่าความเหมาะสมสูงสุดเฉลี่ย และ จำนวนครั้งที่ค่าความเหมาะสมเป็นหนึ่ง มีค่าเป็น 1 และ 10 เท่ากันทั้งสองสายการครอสโอเวอร์

ตารางที่ 4.21 ค่าความเหมาะสมสูงสุดเฉลี่ย จำนวนครั้งที่ค่าความเหมาะสมที่เป็น 1 และ จำนวนเจเนเรชันเฉลี่ย ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบเกิดการครอสโอเวอร์ในสายนำ และ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ในสายตาม เมื่อขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 100

Crossover Line	Mutation	AVG. Max Fitness	No. Fitness is 1	AVG. Generation
Leading	***0.01***	***1***	***10***	***36.9***
	0.1	1	10	59.7
	0.2	1	10	64.8
	0.3	0.99643	9	1122.1
	0.5	0.69526	0	10000
	1	0.55772	0	10000
Lagging	0.01	1	10	74.6
	0.1	***1***	***10***	***33.1***
	0.2	1	10	45
	0.3	1	10	83.7
	0.5	1	10	1038.3
	1	0.67713	0	10000

หลังทราบค่าอัตราการกลายพันธุ์ในสายตามที่เหมาะสมของการครอสโอเวอร์ทั้งสองสายแล้วนำจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยของการสืบค้นกระบวนการทั้งสองแบบที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้งสองแบบมาทำการเปรียบเทียบกัน จะเห็นได้ว่า การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์ 0.1 มีจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยในการค้นหาตัวแบบกระบวนการผลลัพธ์ใกล้เคียงกันกับแบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ อัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.01

จากนั้นนำข้อมูลจำนวนเจเนเรชันในการทดลองแต่ละครั้ง ของการสืบค้นกระบวนการ กรณีมีการกลายพันธุ์ในสายตามน้อยมาก แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ อัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.01 ดังตารางที่ 4.22 และ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.1 ดังตารางที่ 4.23 มาใช้ในการทดสอบหาความแตกต่างของจำนวนเจเนเรชันด้วยวิธีการทางสถิติ ด้วยโปรแกรม SPSS ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.22 จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ อัตรากลายพันธุ์เป็น 0.01 ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 100

ครั้งที่ทดลอง	จำนวนเจเนเรชันในการสืบค้น
1	24
2	19
3	27
4	39
5	18
6	62
7	43
8	54
9	51
10	32

ตารางที่ 4.23 จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตรากลายพันธุ์เป็น 0.1 ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 100

ครั้งที่ทดลอง	จำนวนเจเนเรชันในการสืบค้น
1	18
2	27
3	44
4	30
5	33
6	40
7	36
8	46
9	31
10	26

ตารางที่ 4.24 ผลการทดสอบความแตกต่างด้วยการทดสอบแบบวิลคอกซันชนิดอันดับที่มีเครื่องหมาย ด้วยโปรแกรม SPSS โดยอาศัยข้อมูลในตารางที่ 4.22 และ 4.23

	Rank				Test Statistics	
		N	*Mean Rank*	*Sum of Rank*	Statistics	*Value*
Lagging-Leading	*Negative Rank*	7	5.07	35.5	*Z*	-0.816
	Positive Rank	3	6.50	19.5	*P (2 tailed)*	.414
	Ties	0			*P (1 tailed , H1: <)*	0.207
	Total	10			*P(1 tailed , H1: >)*	0.793

สมมุติฐาน

H0: จำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์ 0.1 เท่ากับ จำนวนเจเนเรชันของแบบครอสโอเวอร์ที่สายนำ อัตราการกลายพันธุ์ 0.01

H1: จำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์ 0.1 น้อยกว่า จำนวนเจเนเรชันของแบบครอสโอเวอร์ที่สายนำ อัตราการกลายพันธุ์ 0.01

ระดับนัยสำคัญ

$\alpha = 0.01$

สถิติทดสอบ

Z = -0.816 พบว่ามีค่า P(1-tailed, H1: <) = 0.207

สรุป

เนื่องจาก P(1-tailed, H1: <) มากกว่าค่าระดับนัยสำคัญ จึงส่งผลให้ ยอมรับสมมุติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ภาพที่ 4.10 การวิเคราะห์ผลเพื่อทดสอบสมมุติฐานโดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ของโปรแกรม SPSS ในตารางที่ 4.24

เมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบความแตกต่างด้วยโปรแกรม SPSS ในตารางที่ 4.24 มาทำการวิเคราะห์ ดังภาพที่ 4.10 จะได้ผลสรุปว่า จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมระหว่างการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.1

และแบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ อัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.01 จะใช้จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะการสืบค้นกระบวนการ กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ในสายนำน้อยมาก จะทำให้ตัวแบบกระบวนการที่ผลิตได้ในรุ่นลูกมีความหลากหลายมากกว่ากรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แต่จะสูญเสียความสามารถในการสืบทอดคุณสมบัติจากรุ่นพ่อแม่ อย่างไรก็ตามโอกาศที่จะเกิดการกลายพันธุ์ในสายนำมีน้อยมาก จึงไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแบบกระบวนการมากนักเมื่อเทียบกับขนาดของประชากร นอกจากนี้การที่ประชากรของตัวแบบกระบวนการมีขนาดใหญ่ ทำให้ประสิทธิภาพในการสืบค้นกระบวนการเพิ่มขึ้น นั่นคือ จำนวนเจเนเรชันที่ใช้ในการค้นหาตัวแบบกระบวนการผลลัพธ์จะน้อยกว่ากรณีที่ประชากรมีขนาดเล็ก เนื่องจากตัวแบบกระบวนการที่ผลิตได้ในรุ่นลูกจะมีความหลากหลายมากกว่าดังนั้นเมื่อเรากำหนดให้เกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตามจำนวนเจเนเรชันที่ใช้ในการค้นหาตัวแบบกระบวนการจะมีค่าลดลง เมื่อเทียบกับกรณีที่ประชากรเป็น 20 อีกทั้งยังมีจำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมใกล้เคียงกับวิธีการเดียวกันในกรณีไม่เกิดการกลายพันธุ์ที่สายนำ นั่นแสดงให้เห็นว่า การสูญเสียความสามารถในการสืบทอดคุณสมบัติจากรุ่นพ่อแม่มีเพียงเล็กน้อย และส่งผลกระทบต่อความเร็วในการค้นหาตัวแบบกระบวนการไม่มากนัก ในทางกลับกันเมื่อกำหนดให้เกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ การสืบค้นกระบวนการในกรณีนี้จะทำงานภายใต้คุณสมบัติความหลากหลายและครอบคลุมของตัวแบบกระบวนการเช่นเดียวกันกับ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม นอกจากนี้การปรับตัวของตัวแบบกระบวนการ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำในกรณีที่สายนำมีอัตราการกลายพันธุ์น้อยมาก จะมีการปรับตัวแบบกระบวนการด้วยการกลายพันธุ์และการครอสโอเวอร์ซึ่งจะมีประสิทธิภาพดีกว่าการปรับตัวด้วยวิธีการใดวิธีการหนึ่งเพียงวิธีเดียว และยังเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้จำนวนเจเนเรชันของการค้นหาตัวแบบกระบวนการ กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมากมีค่าดีกว่า กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ นอกจากนี้ยังส่งผลให้จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมของการสืบค้นกระบวนการ กรณีกำหนดให้เกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ และเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตามไม่แตกต่างกัน

4.5.1.3 การเปรียบเทียบจำนวนเจเนเรชันที่ดีที่สุด ระหว่าง การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ในสายนำ กับ การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก

เมื่อทราบถึงสายการครอสโอเวอร์และอัตราการกลายพันธุ์ในสายตามที่ให้จำนวนเจเนเรชันน้อยที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการผลลัพธ์ โดยในกรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิสจะใช้จำนวนเจเนเรชันน้อยที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม เมื่อเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม และ อัตรากลายพันธุ์

เป็น 0.1 ส่วนในกรณีที่มีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก จากการทดสอบทางสถิติจะเห็นได้ว่า จำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส ในกรณีที่กำหนดให้เกิดการครอสโอเวอร์ที่สายนำ และ กรณีที่กำหนดให้มีการครอสโอเวอร์ที่สายตาม มีค่าไม่แตกต่างกัน แต่ในการทดลองนี้ได้ทำการเลือกการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตรากลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบเกิดการครอสโอเวอร์ในสายตาม อัตรากลายพันธุ์เป็น 0.1 มาใช้ในการทดสอบความแตกต่างของจำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการกับ การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ในสายตาม อัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.1 ด้วยการทดสอบแบบวิลคอกซันชนิดอันดับที่มีเครื่องหมาย โดยใช้ข้อมูลจำนวนเจเนเรชันในการทดลองแต่ละครั้งของการสืบค้นกระบวนการ กรณีไม่มีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.1 ในตารางที่ 4.19 และการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ในสายตาม อัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.1 ในตารางที่ 4.23 มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS ซึ่งจะได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 ผลการทดสอบความแตกต่างด้วยการทดสอบแบบวิลคอกซันชนิดอันดับที่มีเครื่องหมาย ด้วยโปรแกรม SPSS โดยอาศัยข้อมูลในตารางที่ 4.19 และ 4.23

	Rank				**Test Statistics**	
MLR0.01-MLR0		***N***	***Mean Rank***	***Sum of Rank***	**Statistics**	***Value***
	Negative Rank	4	6.25	25.00	***Z***	-0.255
	Positive Rank	6	5.00	30.00	***P (2 tailed)***	.799
	Ties	0			***P(1 tailed , H1: <)***	0.3995
	Total	10			***P(1 tailed , H1: >)***	0.6005

จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบความแตกต่างด้วยโปรแกรม SPSS ในตาราง 4.25 มาวิเคราะห์ ดังภาพที่ 4.11 จะได้ว่า จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม ระหว่างการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.1 กับ การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก อัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.1 ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะ การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ จะมีความสามารถในการสืบทอดคุณสมบัติจากรุ่นพ่อแม่ เพื่อรักษาตัวแบบกระบวนการที่ดีในการผลิตตัวแบบกระบวนการรุ่นลูก นี้เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อความเร็วใน

การสืบค้นกระบวนการเพื่อค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม ส่วนในกรณีที่กำหนดให้มีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก จะทำให้ตัวแบบกระบวนการในสายนำเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับขนาดประชากร จึงไม่ส่งผลกระทบต่อการสูญเสียความสามารถในการสืบทอดคุณสมบัติจากรุ่นพ่อแม่มากนัก แต่ยังเพิ่มประสิทธิภาพในการปรับตัวของตัวแบบกระบวนการ เพราะ การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงตัวแบบกระบวนการที่สายนำเกิดขึ้น ก่อนที่จะทำการครอสโอเวอร์ที่สายนำ ทำให้ตัวแบบกระบวนการที่สายนำถูกปรับด้วยการกลายพันธุ์และการครอสโอเวอร์ จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่ารูปแบบการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส ของการครอสโอเวอร์ทั้งสองกรณีไม่แตกต่างกัน จึงไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างกันของจำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการผลลัพธ์ระหว่างการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส แบบเกิดครอสโอเวอร์ที่สายตาม กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ และ กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก นอกจากนี้ประชากรยังมีขนาดใหญ่ขึ้นส่งผลให้ความหลากหลายของตัวแบบกระบวนการเพิ่มขึ้น ทำให้จำนวนเจเนเรชันที่ใช้ในการค้นหาตัวแบบกระบวนการลดลง เมื่อเทียบกับกรณีประชากรเริ่มต้นมีขนาดเล็ก

สมมุติฐาน

H0: จำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์ 0.1 เท่ากับจำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการ กรณีไม่เกิดการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์ 0.1

H1: จำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์ 0.1 เท่ากับจำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการ กรณีไม่เกิดการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์ 0.1

ระดับนัยสำคัญ

$\alpha = 0.01$

สถิติทดสอบ

Z = -0.255 พบว่ามีค่า P(1-tailed, H1: <) = 0.3995

สรุป

เนื่องจาก P(1-tailed, H1: <) มากกว่าค่าระดับนัยสำคัญ จึงส่งผลให้ ยอมรับสมมุติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ภาพที่ 4.11 การวิเคราะห์ผลเพื่อทดสอบสมมุติฐานโดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ของโปรแกรม SPSS ในตารางที่ 4.25

4.5.2.4 การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส และ การสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติก

จากการทดลองในหัวข้อที่ผ่านมาได้ทำการค้นหารูปแบบการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิสที่ทำให้ใช้จำนวนเจเนเรชันน้อยที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการผลลัพธ์ จะเห็นได้ว่า จำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.1 กับ การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก อัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.1 ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ในการทดลองนี้เราจะทำการเลือกใช้การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ในสายนำ อัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.1 มาใช้ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับจำนวนเจเนเรชันที่ดีที่สุดของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบเดิม เมื่อกำหนดอัตราบุริมสิทธิ์เป็น 0.01 , 0.1 , 0.3 และ 0.5 อัตรากลายพันธุ์เป็น 0.01 , 0.1 , 0.2 , 0.3 ,0.5 และ 1 ดังนั้นเราจึงทำการทดลองเพื่อค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ทำให้จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการผลลัพธ์มีค่าน้อยที่สุด เพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบจำนวนเจเนเรชันกับการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีไมโอซิสเจเนติกที่ได้ทำการเลือกไว้ โดยผลการทดลองที่ได้จากการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิสในกรณีดังกล่าวจะเป็นไปตามตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 ค่าความเหมาะสมสูงสุดเฉลี่ย จำนวนครั้งที่ค่าความเหมาะสมเป็น 1 และจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตรากลายพันธุ์เป็น 0.1 ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 100

Crossover Line	Mutation	Avg. Max Fitness	No. Fitness is 1	Avg. Generation
Lagging	0.1	1	10	28.7

ส่วนผลการทดลองที่ได้จากการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบเดิม จะเห็นได้ในตารางที่ 4.27 ซึ่งเมื่อเราทำการพิจารณาผลการทดลองที่ปรากฏในตารางนี้เพื่อค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม จะเห็นได้ว่า การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบเดิม จะใช้จำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยน้อยที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการผลลัพธ์ที่เหมาะสม เมื่อกำหนดให้อัตราบุริมสิทธิ์เป็น 0.3 และอัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.2 และเมื่อทำการเปรียบเทียบจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยของการสืบค้นกระบวนการทั้งสองแบบ จะพบว่า ในการค้นหาตัวแบบกระบวนการผลลัพธ์ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการ

กลายพันธุ์ที่สายนำ เกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์ที่สายตามเป็น 0.1 จะมีค่าจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยที่ใช้ในการค้นหาน้อยกว่า การสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติกเมื่อกำหนดให้อัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.3 และ อัตราบุริมสิทธิ์เป็น 0.2

ตารางที่ 4.27 ค่าความเหมาะสมสูงสุดเฉลี่ย จำนวนครั้งที่ค่าความเหมาะสมเป็น 1 และจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติก ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 100

Elitism Rate	Mutation Rate (MR)	Avg. Max Fitness	No. Fitness is 1	Avg. Generation
0.01	0.01	0.99408	3	4841.2
	0.1	0.99924	4	7196.6
	0.2	0.97891	2	7234
	0.3	0.99896	2	8413.3
	0.5	0.98337	0	9600.3
	1.0	0.90748	0	8336
0.1	0.01	0.99995	9	2379.1
	0.1	1	10	151.7
	0.2	1	10	287.9
	0.3	1	10	753.2
	0.5	1	10	1496.9
	1.0	0.97021	0	8475.3
0.3	0.01	0.99979	4	4717.1
	0.1	1	10	157.1
	0.2	***1***	***10***	***74.8***
	0.3	1	10	81.1
	0.5	1	10	530.9
	1.0	0.98714	0	8103.1
0.5	0.01	0.99965	2	4776.8
	0.1	1	10	585.9
	0.2	1	10	202.7
	0.3	1	10	295.8
	0.5	1	10	218.9
	1.0	0.9905	0	8531.3

จากนั้นนำจำนวนเจเรชันของการทดลองในแต่ละครั้งของการสืบค้นกระบวนการที่ให้จำนวนเจเนเรชันที่ดีที่สุดซึ่งได้มาจากการวิเคราะห์ก่อนหน้า ระหว่างการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กับ การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบเดิม มาใช้ในการเปรียบเทียบเพื่อหาความแตกต่างระหว่างจำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการทั้งสองกรณี ด้วยโปรแกรม SPSS โดยข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์เป็นข้อมูลในตารางที่ 4.28 และ 4.29 ซึ่งเป็นข้อมูลจำนวนเจเนเรชันในการทดลองแต่ละครั้งของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ในสายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์ที่สายตามเป็น 0.1 และข้อมูลจำนวนเจเนเรชันในการทดลองแต่ละครั้งของการสืบค้นกระบวนโดยใช้เจเนติก เมื่อกำหนดให้อัตราบุริมสิทธิ์และอัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.3 และ 0.2 ตามลำดับ หลังจากที่ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งสองตารางด้วยโปรแกรม SPSS แล้วจะได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.30

ตารางที่ 4.28 จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมในแต่การทดลองแต่ละครั้ง ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม เมื่ออัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.1 ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 100

ครั้งที่ทดลอง	จำนวนเจเนเรชันในการสืบค้น
1	24
2	28
3	31
4	30
5	13
6	51
7	22
8	38
9	31
10	19

ตารางที่ 4.29 จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมในแต่การทดลองแต่ละครั้ง ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติก เมื่ออัตราบุริมสิทธิ์เป็น 0.3 และอัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.2 เมื่อขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 100

ครั้งที่ทดลอง	จำนวนเจเนเรชันในการสืบค้น
1	101
2	71
3	104
4	39
5	90
6	50
7	100
8	110
9	46
10	37

ตารางที่ 4.30 ผลการทดสอบความแตกต่างด้วยการทดสอบแบบวิลคอกซันชนิดอันดับที่มีเครื่องหมาย ด้วยโปรแกรม SPSS โดยอาศัยข้อมูลในตารางที่ 4.28 และ 4.29

	Rank				Test Statistics	
MGPM-GPM		*N*	*Mean Rank*	*Sum of Rank*	Statistics	*Value*
	Negative Rank	9	6.	54	*Z*	-2.703
	Positive Rank	1	1	1	*P (2 tailed)*	.007
	Ties	0			*P (1 tailed , H1: <)*	0.0035
	Total	10			*P(1 tailed , H1: >)*	0.9965

เมื่อนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS ในตารางที่ 4.30 มาทำการวิเคราะห์เพื่อทดสอบความแตกต่างของจำนวนเจเนเรชันดังภาพที่ 4.12 สามารถสรุปได้ว่า การค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบเกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.1 จะใช้จำนวนเจเนเรชันน้อยกว่า การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติก เมื่ออัตราบุริมสิทธิ์เป็น 0.3 อัตรากลายพันธุ์เป็น 0.2 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.005 สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะ การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส จะมีการจำลองตัวแบบกระบวนการออกเป็นสองสายคือ สายนำ และสายตาม ซึ่งในกรณีไม่มีการกลายพันธุ์ในสายนำ จะทำให้ตัวแบบกระบวนการในสายนำไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม จึงยังคงลักษณะเดิมของตัวแบบกระบวนการเอาไว้ และเมื่อกำหนดให้เกิดการครอสโอเวอร์ที่สายตาม จะทำให้การผลิตตัวแบบกระบวนการในรุ่นลูกจะทำงานภายใต้

ความสามารถในการสืบทอดคุณสมบัติจากรุ่นพ่อแม่ ซึ่งจะช่วยป้องกันการสูญเสียตัวแบบกระบวนการที่ดีไปจากระบบและทำให้เกิดการจับคู่กันระหว่างตัวแบบกระบวนการที่ดี ส่งผลให้ตัวแบบกระบวนการที่ผลิตได้รุ่นลูกดีกว่ารุ่นพ่อแม่ ส่วนตัวแบบกระบวนการที่ไม่ดีจะถูกคัดออกจากระบบ นอกจากนี้การจำลองตัวแบบกระบวนการยังส่งผลให้การสืบทอดคุณสมบัติจากรุ่นพ่อแม่ของในการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส ไม่สูญเสียความหลากหลายของตัวแบบกระบวนการในรุ่นลูก เนื่องจากการจำลองตัวแบบกระบวนการจะส่งผลให้ประชากรตัวแบบกระบวนการมีขนาดเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า จึงไม่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่การสร้างตัวแบบกระบวนการใหม่ในรุ่นลูก แต่ในทางกลับกันการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกซึ่งมีคุณสมบัติในการรักษาตัวแบบกระบวนการที่ดีเช่นเดียวกัน แต่การรักษาตัวแบบกระบวนการในการสืบค้นด้วยขั้นตอนวิธีนี้จะทำการรักษาตัวแบบกระบวนการได้เพียงบางส่วนเท่านั้น โดยจะขึ้นอยู่กับอัตราบุริมสิทธิ์ที่กำหนดก่อนที่จะเริ่มทำการสืบค้น นอกจากนี้การคัดลอกตัวแบบกระบวนการที่ดีที่ได้รับการคัดเลือกไปสู่ประชากรตัวแบบกระบวนการในรุ่นถัดไป จะทำให้สูญเสียพื้นที่ในการสร้างตัวแบบกระบวนการใหม่ ซึ่งส่งผลให้ความหลากหลายของตัวแบบกระบวนในรุ่นลูกลดลงตามอัตราบุริมสิทธิ์เพิ่มขึ้น และนี่เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้จำนวนเจเนเรชันในการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกมีค่ามากกว่าการสืบค้นกระบวนโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส และเนื่องจากการทดลองในหัวข้อนี้มีขนาดประชากรที่ใหญ่ขึ้นจึงส่งผลให้ความเร็วของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส มีประสิทธิภาพดีกว่าประชากรขนาดเล็ก เพราะตัวแบบกระบวนการที่ผลิตได้จะมีความหลากหลายมากขึ้น จึงส่งผลให้ความแตกต่างของจำนวนเจเนเรชันในการสืบค้นกระบวนการทั้งสองขั้นตอนวิธีมีความแตกต่างกันมากขึ้นด้วย

สมมุติฐาน

H0: จำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์ 0.1 เท่ากับ จำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติก เมื่ออัตราบุริมสิทธิ์เป็น 0.3 และอัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.2

H1: จำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม อัตราการกลายพันธุ์ 0.1 น้อยกว่าจำนวนเจเนเรชันของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติก เมื่ออัตราบุริมสิทธิ์ เป็น 0.3 และ อัตราการกลายพันธุ์เป็น 0.2

ระดับนัยสำคัญ

$\alpha = 0.005$

สถิติทดสอบ

Z=-2.703 พบว่าค่า P(1-tailed, H1: <) = 0.0035

สรุป

เนื่องจาก P(1-tailed, H1: <) น้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ จึงส่งผลให้ ปฏิเสธสมมุติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ 0.005

ภาพที่ 4.12 การวิเคราะห์ผลเพื่อทดสอบสมมุติฐานโดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ของโปรแกรม SPSS ในตารางที่ 4.30

บทที่ 5
สรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีการสืบค้นกระบวนการ โดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบไมโอซิส ที่มีความสามารถในการผลิตโครโมโซมตัวแบบกระบวนการที่สืบทอดคุณสมบัติที่ดีจากรุ่นพ่อแม่ และยังทำให้ตัวแบบกระบวนการที่ผลิตได้มีความหลากหลายและครอบคลุมกับขอบเขตของคำตอบ ซึ่งการสืบค้นกระบวนการวิธีการใหม่จะแบ่งการครอสโอเวอร์เป็นสองรูปแบบด้วยกันคือ การครอสโอเวอร์ที่สายนำและการครอสโอเวอร์ที่สายตาม โดยจากผลการทดลอง พบว่า กรณีที่ไม่เกิดการกลายพันธุ์ที่สายนำการสืบค้นกระบวนการ โดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบไมโอซิส แบบครอสโอเวอร์ที่สายนำจะใช้จำนวนเจเนเรชันมากกว่าแบบครอสโอเวอร์ที่สายตามในการค้นหาตัวแบบกระบวนการผลลัพธ์ที่เหมาะสม ส่วนในกรณีที่มีอัตรากลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก การสืบค้นกระบวนการแบบครอสโอเวอร์ที่สายนำและแบบครอสโอเวอร์ที่สายตามจะให้จำนวนเจเนเรชันที่ดีที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการผลลัพธ์ที่เหมาะสมใกล้เคียงกัน ที่เป็นเช่นนี้เพราะการกลายพันธุ์ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการปรับตัวเข้าหาตัวแบบกระบวนการผลลัพธ์ และนี่ยังเป็นสาเหตุที่ทำให้การสืบค้นกระบวนการ โดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบไมโอซิส แบบครอสโอเวอร์ที่สายนำ ในกรณีที่มีอัตรากลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก มีความเร็วในการค้นหาตัวแบบกระบวนการผลลัพธ์ดีกว่า กรณีไม่มีอัตรากลายพันธุ์ที่สายนำ แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบจำนวนเจเนเรชันที่ดีที่สุดระหว่างกรณีไม่มีการกลายพันธ์ที่สายนำและกรณีมีอัตรากลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก จะพบว่า จำนวนเจเนเรชันแบบไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำจะน้อยกว่าในกรณีที่ประชากรเริ่มต้นมีขนาดเล็กแต่จะไม่แตกต่างกันเมื่อประชากรเริ่มต้นมีขนาดใหญ่ขึ้น

นอกจากนี้ยังพบว่า การสืบค้นกระบวนการ โดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบไมโอซิสจะให้จำนวนเจเนเรชันน้อยกว่า การสืบค้นกระบวนการ โดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติก ในการค้นหาตัวแบบกระบวนการผลลัพธ์ที่เหมาะสม เนื่องจากในขั้นตอนวิธีเจเนติกจะมีความสามารถในการสืบทอดคุณสมบัติที่ดีจากรุ่นพ่อแม่ได้เพียงบางส่วน และยังสูญเสียพื้นที่ในการสร้างตัวแบบกระบวนการใหม่ ทำให้ความหลากหลายของตัวแบบกระบวนการที่ผลิตได้ลดลง แต่ในขณะเดียวกันความสามารถในการสืบทอดคุณสมบัติจากพ่อแม่ของขั้นตอนวิธีไมโอซิสจะสามารถสืบทอดคุณสมบัติจากพ่อแม่ได้ทั้งหมดโดยไม่สูญเสียพื้นที่ในการสร้างประชากรรุ่นใหม่ และยังทำให้ความหลากหลายของตัวแบบกระบวนการที่ผลิตได้มีมากกว่าการสืบค้นด้วยขั้นตอนวิธีเจเนติก

เอกสารอ้างอิง

[1] W. M. P. van der Aalst, A. J. M. Weijters, "Process mining: a research agenda", Department of Technology Management Eindnhoven university of Technology , "Computer in industry 53(2004) of ELSEIER" , page 231 – 244 ,2004

[2] A. Tiwari , C.J. Turner B. Majeed , "A review of business process mining: state-of-the-art and future trend" , School of Applied Sciences Cranfield University Cranfield United Kingdom , "Business Process Management Journal" , Volume 14 ,page 5 – 22 ,2006

[3] W. M. P. van der Aalst, A. J. M. Weijters , " Techniques of Process Mining" ,Department of Technology Management Eindnhoven University of Technology , Netherland

[4] W. M. P. van der Aalst, A. J. M. Weijters ,J.Herbs , etc. ,"Workflow Mining : A Survey of Issues and Approaches" , Department of Technology Management Eindnhoven University of Technology ,Netherland

[5] W. M. P. van der Aalst, A. J. M. Weijters , "Rediscovering Workflow Models From Event-Based Data Using Little Thumb", Department of Technology Management Eindnhoven University of Technology , Netherland

[6] W. M. P. van der Aalst, A. J. M. Weijters, A.K. Alves de Medeiros , "Genetic Process Mining: A basic Approach and its Challenges" , Department of Technology Management Einduhoven University of Technology , BPM 2005 workshops , page 203-215,2005

[7] W.M.P van der Aalst, A.J.M.M Weijters and A.K. Alves de Medeiros, "Using Genetic Algorithms o Mine process Models: Representation, Operators and results", Department of Technology Management Eindnhoven University of Technology ,Netherland

[8] W.M.P van der Aalst, A.J.M.M Weijters and A.K. Alves de Medeiros , *"Genetic Process Mining"*, Department of Technology Management Eindnhoven University of Technology ,ICATPN 2005,page 48-69,2005

[9] W.M.P van der Aalst, A.J.M.M Weijters and A.K. Alves de Medeiros , " Genetic process mining: an experimental evaluation", Department of Technology Management Eindnhoven University of Technology , Spinger Data Min Knowl DISC ,Vol 14, page 245-304 , 2007

[10] ณัฐวุฒิ วิริยเสริมกุล และ วีระ บุญจริง, "A Meiosis Genetic Algorithm" , 11th National Computer Science and Engineering Conference (NCSEC) ,November 19-21, 2007

ภาคผนวก

NCSEC 2009
Green Computing Technology

NCSEC 2009
The 13th National Computer Science and Engineering Conference

---------- Green Computing Technology ----------
November 5th-6th, 2009

จัดโดย

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สนับสนุนโดย

การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส
A Meiosis Genetic Process Mining

รติ เพิ่มพูล และ วีระ บุญจริง
ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมระบบซอฟต์แวร์
ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถ. ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพ 10520 โทรศัพท์: 0-2737-3000
E-mail: rati_ben109@hotmail.com, kbveera@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เสนอวิธีการใหม่ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิส วิธีการใหม่นี้สามารถค้นหาตัวแบบกระบวนการจากบันทึกเหตุการณ์ได้รวดเร็ว เนื่องจากความสามารถในการสร้างความหลากหลายของประชากรและความสามารถในการรักษาประชากรที่ดี ผลการทดลองพบว่าการสืบค้นกระบวนการโดยใช้วิธีการใหม่นี้ใช้จำนวนเจเนเรชันน้อยกว่าการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติก

คำสำคัญ: การสืบค้นกระบวนการ, ขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิส, การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส

Abstract

This research paper proposes a new genetic process mining using a meiosis genetic algorithm. The new process mining is able to fast discover a process model from a given even log because of its capable of producing chromosome diversity and retaining a good chromosome. The experiment results show that the proposed process mining can give a process model with number of generations less than of a genetic process mining.

Keywords: Process Mining, Meiosis Genetic Algorithm, Meiosis Genetic Process Mining

1. บทนำ

การสืบค้นกระบวนการ(Process Mining) [1-3] เป็นกระบวนการสกัดความรู้จากบันทึกเหตุการณ์ (Event Log) โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อค้นหาตัวแบบกระบวนการของกระบวนการทางธุรกิจ เพื่อช่วยในการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น บันทึกเหตุการณ์คือสิ่งที่บันทึกลำดับการทำงานของกิจกรรม (Activity /Task) ซึ่งสามารถจัดให้อยู่ในรูปของเทรสเหตุการณ์ (Event Trace) ได้ดังตารางที่ 1 ซึ่งประกอบ ด้วยกิจกรรมทั้งหมด 8 กิจกรรม คือ A, B, C, D, E, F, G และ H

ตารางที่ 1 เทรสเหตุการณ์ แบบ 8 กิจกรรม

Case	Event Trace		Case	Event Trace
1	ABH		3	ADEFGH
2	ACH		4	ADFEGH

การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติก(Genetic Process Mining) [5-8] เป็นเทคนิคการสืบค้นกระบวนการด้วยการใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติก (Genetic Algorithm) ในการสืบค้นตัวแบบกระบวนการ (Process Model) จากเทรสเหตุการณ์ด้วยกระบวนการ 6 กระบวนการ คือ การสร้างประชากรเริ่มต้น (Initial Population) การวิเคราะห์เชิงตรรกกะ (Parsing Semantic) การคัดเลือกสายพันธ์ (Selection) การครอสโอเวอร์ (Crossover) การกลายพันธุ์ (Mutation) และการนำรุ่นลูกไปแทนรุ่นพ่อแม่ (Created Next Generation) ซึ่งกระบวนการดังกล่าวมีเป้าหมายเพื่อที่จะแก้ปัญหาเชิงโครงสร้าง (Logical Problem) และ ปัญหาเชิงข้อมูล (Data Problem) [1,3] แต่ปัญหาที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติก คือ ปัญหาความเร็วในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสม และปัญหาการลู่เข้าหาตัวแบบกระบวนการที่ไม่ถูกต้อง ต่อมามีการนำเทคนิคฮิวริสติก [4] มาช่วยในการสร้างประชากรเริ่มต้น ส่งผลให้ความเร็วในการค้นหาตัวแบบกระบวนการสูงขึ้น แต่ในบางบันทึกเหตุการณ์ก็ยังคงมีความเร็วในการค้นหาตัวแบบกระบวนการอยู่ในระดับต่ำ

เมื่อเราพิจารณาขั้นตอนวิธีไมโอซิสเจเนติก (A Meiosis Genetic Algorithm) [9] พบว่า วิธีการนี้จะมีโครโมโซมที่ได้รับการสืบทอดจากพ่อแม่ และ มีการจำลองโครโมโซมแบบไม่เสมอภาค เพื่อเพิ่มความหลากหลาย ซึ่งจะส่งผลให้มีความเร็วในการลู่เข้าสู่คำตอบที่ถูกต้องมากกว่าขั้นตอนวิธีเจเนติกโดยทั่วไป ดังนั้น บทความวิจัยนี้จึงได้เสนอการสืบค้นตัวแบบกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส

บทความวิจัยนี้มีเนื้อหาส่วนที่เหลือดังนี้ ส่วนที่ 2 กล่าวถึงการแทนตัวแบบกระบวนการ ส่วนที่ 3 กล่าวถึง ขั้นตอนวิธีไมโอซิสเจเนติก ส่วนที่ 4 กล่าวถึง การสืบค้นตัวแบบกระบวนการโดยใช้ไมโอซิสเจเนติก ส่วนที่ 5 เป็นการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพของวิธีการใหม่เทียบกับวิธีการเจเนติกเดิม และ สรุปในส่วนที่ 6

2. การแทนตัวแบบกระบวนการ

ตัวแทนภายในเป็นสิ่งที่ใช้อธิบายการขึ้นต่อกันระหว่างกิจกรรมภายในบันทึกเหตุการณ์ซึ่งถูกนำมาใช้แทนตัวแบบกระบวนการเพื่อสร้างคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด และนำมาใช้เป็นประชากรเริ่มต้นในขั้นตอนวิธีเจเนติก จึงส่งผลให้คอสชวลเมทริกซ์ถูกนำมาใช้ในการสร้างตัวแทน ซึ่งสามารถอธิบายโครงสร้างได้ดังต่อไปนี้

คอสชวลเมทริกซ์ (Causal Matrices)[6] เป็นการสร้างตัวแทนตัวแบบกระบวนการโดยอาศัยแนวความคิดของเมทริกซ์ขนาด n x n เมื่อ n คือจำนวนกิจกรรมในกระบวนการ กับนิพจน์บูลีน (Boolean Expression) โดยที่เมทริกซ์จะแสดงถึงความสัมพันธ์มูลเหตุระหว่างกิจกรรมในกระบวนการ ซึ่งถ้ากิจกรรมทั้งสองมีความสัมพันธ์กันค่าคอสชวลจะมีค่าเป็น 1 ขณะที่นิพจน์บูลีนจะถูกนำมาใช้ในการอธิบายโครงสร้างของเส้นทางด้วยตัวดำเนินการบูลีน (Boolean Operators) แอนด์(^) และ ออร์ (v) โดยนิพจน์อินพุทจะอธิบายถึงกิจกรรมที่ควรจะเกิดขึ้นเพื่อสร้างกิจกรรมใหม่ ส่วนนิพจน์เอาท์พุทจะแสดงกิจกรรมที่อาจจะถูกเอคซิคิวท์หลังจากกิจกรรมอินพุทถูกเอคซิคิวท์ และเพื่อให้ง่ายแก่ความเข้าใจจึงทำการจัดรูปแบบคอสชวลเมทริกซ์โดยให้นิพจน์บูลีนอยู่ในรูปของเซตของเซตย่อย โดยกิจกรรมที่อยู่ในเซตย่อยจะมีความสัมพันธ์แบบออร์ และแต่ละเซตย่อยจะมีความสัมพันธ์แบบแอนด์ ดังตารางที่ 2

การวิเคราะห์เชิงตรรกะ [6] เป็นการอ่านค่ากิจกรรมจากเทรสเหตุการณ์ตามลำดับ และตรวจสอบว่ากิจกรรมดังกล่าวจะถูกเอคซิคิวท์หรือไม่ โดยกิจกรรมจะถูกเอคซิคิวท์ก็ต่อเมื่อมีอย่างน้อยหนึ่งกิจกรรมของแต่ละเซตย่อยมีค่าเป็น 1 ซึ่งขั้นตอนในการวิเคราะห์เชิงตรรกะจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนการสร้าง จะเริ่มจากการสร้างแอคติวิตี้มาร์ค (Activity Mark) ของเทรสเหตุการณ์จากนิพจน์บูลีนในคอสชวลเมทริกซ์ให้อยู่ในรูป Activity Input: Activity Output = {0,1} โดย Activity Input คือกิจกรรมที่จะถูกเอคซิคิวท์และยังเป็นกิจกรรมอินพุทของกิจกรรมที่จะถูกเอคซิคิวท์ และ Activity Output คือเอาท์พุทของกิจกรรมที่ถูกเอคซิคิวท์ นอกจากนี้ยังมีการสร้างอิลิเมนท์พิเศษสำหรับการมาร์คขึ้นมา 2 ตัวคือ "Start" และ "End" ซึ่งถูกสร้างขึ้นมาเพื่อให้การวิเคราะห์สอดคล้องกับข้อกำหนดที่ว่า กิจกรรมเริ่มต้น และ กิจกรรมสิ้นสุด เป็นแบบจุดเดียว

ขั้นตอนการวิเคราะห์ การวิเคราะห์กิจกรรมแรกในเทรสเหตุการณ์จะเริ่มขึ้นก็ต่อเมื่ออิลิเมนท์เริ่มต้นมีค่าเป็น 1 โดยหลังจากการเอคซิคิวท์ เอาท์พุทของกิจกรรมที่เอคซิคิวท์จะถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 1 ส่วนอิลิเมนท์เริ่มต้นจะถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 0 จากนั้นทำการอ่านกิจกรรมลำดับถัดไปในเทรสเหตุการณ์ เพื่อนำมาเอคซิคิวท์โดยกิจกรรมดังกล่าวจะสามารถเอคซิคิวท์ได้ก็ต่อเมื่อกิจกรรมนั้นมีกิจกรรมอินพุทและกิจกรรมเอาท์พุทของกิจกรรมอินพุทนั้นจะต้องมีกิจกรรมนั้นอย่างน้อย 1 กิจกรรมในแต่ละเซตย่อยของนิพจน์บูลีนอินพุทมีค่าเป็น 1 ยกตัวอย่างเช่น กิจกรรม G จะถูกเอคซิคิวท์ได้ก็ต่อเมื่อนิพจน์เอาท์พุทของกิจกรรม E และ F มีกิจกรรม G อยู่ในสถานะแอคทีฟ ส่วนผลที่ได้จากการเอคซิคิวท์กิจกรรมแบ่งได้เป็น 3 กรณีคือ กรณีแรกเอคซิคิวท์กิจกรรมเดี่ยวกิจกรรมที่ถูกเอคซิคิวท์จะถูกกำหนดให้เป็น 0 กรณีที่ 2 เอคซิคิวท์กิจกรรมที่มีความสัมพันธ์แบบออร์กับกิจกรรมอื่น ในกรณีนี้ทุกอิลิเมนท์ที่มีความสัมพันธ์แบบออร์กับกิจกรรมที่เอคซิคิวท์จะถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 0 กรณีที่สาม เอคซิคิวท์กิจกรรมที่มีความสัมพันธ์แบบแอนด์กับกิจกรรมอื่น ในกรณีนี้จะมีเพียงกิจกรรมที่ถูกเอคซิคิวท์ที่ถูกกำหนดให้เป็น 0 โดยทั้งสามกรณีกิจกรรมเอาท์พุทของกิจกรรมที่เอคซิคิวท์จะถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 1 ทุกกิจกรรม เมื่อทำการเอคซิคิวท์กิจกรรมดังกล่าวเสร็จแล้วเราก็จะทำการวิเคราะห์ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งหมดกิจกรรมในเทรสเหตุการณ์หรืออิลิเมนท์สุดท้ายมีค่าเป็น 1

ตารางที่ 2 ตารางคอสชวลเมทริกซ์ที่เป็นตัวแทนของตัวแบบกระบวนการ

Activity	Input Expression	Output Expression
A	{}	{{B,C,D}}
B	{{A}}	{{H}}
C	{{A}}	{{H}}
D	{{A}}	{{E},{F}}
E	{{D}}	{{G}}
F	{{D}}	{{G}}
G	{{E},{F}}	{{H}}
H	{{B,C,G}}	{}

3. ขั้นตอนวิธีไมโอซิสเจเนติก

ขั้นตอนวิธีไมโอซิสเจเนติก เป็นขั้นตอนวิธีหนึ่งที่ใช้ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมโดยอาศัยหลักการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส ซึ่งในขั้นตอนวิธีนี้ได้มีการปรับขั้นตอนการทำงานโดยการเพิ่มขั้นตอนการจำลองโครโมโซม และการกำหนดให้มีการกลายพันธุ์ก่อนที่จะทำการครอสโอเวอร์ ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานทั้งหมด 7 ขั้นตอน คือ

การสร้างโครโมโซม เป็นการเข้ารหัสของคำตอบของปัญหาให้อยู่ในรูปโครโมโซม เพื่อนำมาใช้ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมมากขึ้นด้วยขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบต่างๆ

การเลือกโครโมโซม เป็นการคัดเลือกโครโมโซมในรุ่นพ่อแม่เพื่อนำมาสร้างโครโมโซมรุ่นถัดไป โดยอาศัยหลักการเลือกแล้วลบทิ้ง

การจำลองโครโมโซม เป็นขั้นตอนในการเพิ่มโครโมโซมโดยการคัดลอกตัวเองจาก 1 สายเป็น 2 สาย โดยอาศัยการคัดลอกแบบไม่เสมอภาคนั่นคือในการคัดลอกจะมีสายหนึ่งที่ไม่เกิดการกลายพันธุ์หรือเกิดน้อยที่สุด เรียกว่า สายนำ (Leading) อีกสายหนึ่งจะเกิดการกลายพันธุ์ทำให้แตกต่างจากโครโมโซมต้นแบบ ซึ่งเรียกว่า สายตาม (Lagging) ซึ่งจะส่งผลให้ค้นหาคำตอบที่เหมาะสมได้รวดเร็วมากขึ้น

การกลายพันธุ์ เป็นการแปรผันทางพันธุกรรมที่ทำให้คุณสมบัติของโครโมโซมเปลี่ยนไป โดยในขั้นตอนวิธีไมโอซิสเจเนติกกำหนดให้อัตรากลายพันธุ์คงที่ และเกิดขึ้นก่อนการครอสโอเวอร์

การครอสโอเวอร์ เป็นการสลับสายพันธุ์โดยในขั้นตอนวิธีนี้มี 2 แบบด้วยกันคือ การครอสโอเวอร์ที่สายนำ ซึ่งจะทำให้ได้โครโมโซมที่มีความหลากหลายและครอบคลุมกับคำตอบ และ การครอสโอเวอร์ที่สายตาม จะมีความสามารถในการสืบทอดคุณสมบัติจากรุ่นพ่อแม่

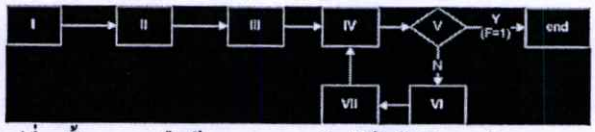
การคำนวณค่าความเหมาะสม เป็นการวัดคุณสมบัติของโครโมโซมว่ามีการปรับตัวให้เข้ากับคำตอบมากน้อยเพียงใด ซึ่งจะส่งผลต่อการคัดเลือกโครโมโซม โดยโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมสูงจะถูกเลือกไปยังรุ่นถัดไป

การนำโครโมโซมไปแทนรุ่นพ่อแม่ โครโมโซมรุ่นลูกที่ได้จากขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิสจะมีจำนวนมากกว่ารุ่นพ่อแม่ถึง 2 เท่า ดังนั้นเพื่อควบคุมจำนวนโครโมโซมที่เพิ่มขึ้นอย่างเท่าตัว เราจะทำการคัดเลือกโครโมโซมรุ่นลูกที่มีค่าความเหมาะสมสูงไปแทนโครโมโซมพ่อแม่ก่อนจนกระทั่งครบทุกโครโมโซม

4. การสืบค้นตัวแบบกระบวนการโดยใช้ไมโอซิสเจเนติก

การสืบค้นกระบวนการโดยใช้ไมโอซิสเจเนติก เป็นการนำแนวคิดของขั้นตอนวิธีไมโอซิสมาประยุกต์ใช้กับการสืบค้นตัวแบบกระบวนการเพื่อค้นหาคำตอบที่เหมาะสมจากคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด

เพื่อให้โครโมโซมมีหลากหลายและครอบคลุมกับขอบเขตของคำตอบมากขึ้น และช่วยป้องกันการสูญเสียตัวแบบกระบวนการที่ดีในรุ่นพ่อแม่ ซึ่งขั้นตอนวิธีการสืบค้น เป็นดังรูปที่ 1 โดยที่ I ถึง VII แทนขั้นตอน การอ่านบันทึกเหตุการณ์, การคำนวณดีเพนเดนซีรีเรชันระหว่างกิจกรรม, การสร้างประชากรเริ่มต้น, การเลือกและคำนวณค่าความเหมาะสม, การหยุดและคืนค่าความเหมาะสมของตัวแบบกระบวนการ, การจำลองตัวแบบกระบวนการ และ การสร้างประชากรใหม่โดยตัวดำเนินการเจเนติก ตามลำดับ ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดของขั้นตอนหลักๆได้ดังนี้



รูปที่ 1 ขั้นตอนการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ไมโอซิสเจเนติก

4.1 การสร้างประชากรเริ่มต้น

ประชากรเริ่มต้นจะถูกสร้างจากค่าดีเพนเดนซี (Dependency Measure) [6] (ค่าวัดความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม) โดยอาศัยพื้นฐานของวิธีการฮิวริสติก ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 เมื่อเรากำหนดให้ t_1 และ t_2 เป็นกิจกรรมในบันทึกเหตุการณ์ T, $L1L(t_1)$ คือจำนวนครั้งที่สตริงย่อย (Substring) "t_1t_1" ปรากฏ, $L2L(t_1,t_2)$ คือจำนวนครั้งที่สตริงย่อย "$t_1t_2t_1$" ปรากฏ และ $follow(t_1,t_2)$ คือ จำนวนครั้งที่ $t_1 \rightarrow t_2$

$$D(t_1,t_2)=\begin{cases}\dfrac{L2L(t_1,t_2)+L2L(t_2,t_1)}{L2L(t_1,t_2)+L2L(t_2,t_1)+1} & \text{if } t_1\neq t_2 \text{ and } L2L(t_1,t_2)>0\\ \dfrac{follow(t_1,t_2)-follow(t_2,t_1)}{follow(t_1,t_2)+follow(t_2,t_1)+1} & \text{if } t_1\neq t_2 \text{ and } L2L(t_1,t_2)=0\\ \dfrac{L1L(t_1,t_2)}{L1L(t_1,t_2)+1} & \text{if } t_1=t_2\end{cases} \quad (1)$$

เมื่อคำนวณค่าจากสมการที่ 1 ได้แล้วทำการสุ่มค่า r ในช่วง 0 ถึง 1 โดยถ้าค่าที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า r ให้มีค่าเป็น 1 เพื่อสร้างคอสชวลเมทริกซ์ ซึ่งจะส่งผลให้ได้ประชากรเริ่มต้นดังตารางที่ 2

4.2 ค่าความเหมาะสม (Fitness Function)

ค่าความเหมาะสม เป็นค่าที่บอกถึงระดับความสามารถของตัวแบบกระบวนการในการวิเคราะห์เทรสเหตุการณ์ที่มีอยู่ในบันทึกเหตุการณ์ โดยตัวแบบกระบวนการที่เป็นคำตอบที่เหมาะสมจะต้องมีค่าความเหมาะสมเป็น 1 นั่นคือ ตัวแบบกระบวนการดังกล่าวสามารถอธิบายพฤติกรรมในบันทึกเหตุการณ์ได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งในงานวิจัยนี้สมการค่าความเหมาะสมที่เราจะนำมาใช้ในการคำนวณ คือ ค่าความเหมาะสมแบบพูนิชเมนท์ (Punishment) ในสมการที่ 2 และ 3 เมื่อ *numActivitiesLog* คือจำนวนกิจกรรมในบันทึกเหตุการณ์ *numTraceLog* คือ จำนวนของเทรสในบันทึกเหตุการณ์ *allParsedActivities* คือจำนวนกิจกรรมในบันทึกเหตุการณ์ทั้งหมดซึ่งคอสชวลเมทริกซ์สามารถวิเคราะห์โดยปราศจากปัญหา *numTraceMissingTokens* คือจำนวนเทรสที่เกิดการสูญหายของโทเคน(Missing Token) *numTracesExtraToken LeftBehind* คือ จำนวนของเทรสซึ่งมีโทเคนเหลือจากการวิเคราะห์ *allMissingTokens* คือจำนวนของโทเคนที่สูญหายในเทรสเหตุการณ์ทั้งหมด allExtraTokenleftBehind คือจำนวนของโทเคนซึ่งไม่ถูกทำลายหลังการวิเคราะห์จบสิ้นลงบวกกับจำนวนของโทเคนที่เพลสสุดท้ายไม่เป็น1 โดยค่าที่นำมาใช้ในการคำนวณคือค่าความถี่ที่ได้จากการวิเคราะห์เทรสเหตุการณ์ด้วยการวิเคราะห์เชิงตรรกะ

$$fitness=\frac{allParsedActivities(PM,L)-puishment}{numActivitiesLog(L)} \quad (2)$$

$$punishment=\frac{allMissingTokens(L,CM)}{numTracesLog(L)-numTracesMissingTokens(L,CM)+1}+\frac{allExtraTokensLeftBehind(L,CM)}{nemTracesLog(L)-numTracesExtraThokensLeftBehind(L,CM)+1} \quad (3)$$

4.3 เกณฑ์การหยุด

ขั้นตอนวิธีการสืบค้นกระบวนการจะหยุดการทำงานก็ต่อเมื่อ

1) ค้นพบตัวแบบกระบวนการที่มีค่าความเหมาะสมเป็น 1
2) คำนวณครบ n เจเนเรชัน เมื่อ n เป็นจำนวนเจเนเรชันสูงสุดที่เราจะทำการวิเคราะห์
3) ค่าความเหมาะสมสูงสุดของตัวแบบกระบวนการที่ทำการทดสอบนั้นไม่เปลี่ยนแปลงมา n/2 เจเนเรชัน

4.4 ตัวดำเนินการเจเนติก

ตัวดำเนินการเจเนติก เป็นเครื่องมือที่เราใช้ในการสร้างตัวแบบกระบวนการในเจเนเรชันถัดไป ซึ่งประกอบด้วยเครื่องมือต่อไปนี้

<u>การคัดเลือก</u> เป็นการคัดเลือกพ่อแม่เพื่อนำมาใช้ในการสร้างประชากรรุ่นถัดไป โดยใช้เทคนิคการคัดเลือกแบบทัวร์นาเมนท์ (Tournament Selection) โดยเริ่มจากการสุ่มเลือกตัวแบบกระบวนการ 5 ตัวแบบจากประชากรเริ่มต้นทั้งหมด แล้วทำการคัดเลือกตัวแบบกระบวนการที่มีค่าความเหมะสมสูงสุดเพียงหนึ่งตัวแบบกระบวนการ

<u>การครอสโอเวอร์</u> เป็นตัวดำเนินการเจเนติกที่ใช้ในการสลับสายพันธ์ระหว่างพ่อกับแม่ โดยจะเกิดขึ้นเมื่อค่าที่สุ่มได้มีค่าน้อยกว่าอัตราการครอสโอเวอร์ (Crossover Rate) ซึ่งถูกกำหนดโดยผู้ใช้ การครอสโอเวอร์ในขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิสจะมี 2 แบบ คือ

Input: Two process models.
Output: Two recombined process models.
1. If the process model is equals , go to step 11.
2. Randomly select an activity t to be the process model 'crossover point.
3. Set 1 = I (t) in the first process model.
4. Set2 = I(t) in the second process model.
5. Select a swap point sp1 to crossover in Set1. The swap point has a value between 0 (before the first subset) and the number of subsets in the set minus 1.
6. Select a swap point sp2 to crossover in Set2.
7. Swap the selected parts .The parts go from the swap point to the end of the set.
8. If there are overlaps in the subsets ,with an equal probability either merge the sets whose intersection is non-empty or remove the intersection activities from the subset that is not being swapped.
9. Update the related activities.
10. Repeat steps 3 to 9 but use the Output sets instead of the Input sets.
11. Return the two recombined process model.

รูปที่ 2 ขั้นตอนวิธีการครอสโอเวอร์ [6]

การครอสโอเวอร์ที่สายนำ และการครอสโอเวอร์ที่สายตามโดยขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการครอสโอเวอร์จะมีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 2

จากขั้นตอนวิธีครอสโอเวอร์สามารถอธิบายเพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นจากตัวอย่างต่อไปนี้ สมมุติให้จุดที่จะทำการครอสโอเวอร์คือ กิจกรรม G เริ่มแรกทำการพิจารณาที่นิพจน์อินพุทของกิจกรรม G พบว่า I1(G) = {{E},{F}} และ I2(G) = {{E},{F}} จากนั้นทำการสุ่มค่า SP1 และ SP2 ซึ่งในที่นี้กำหนดให้เป็น 0 และ 1 ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวจะทำให้ remainSet1 = {} , swapSet1 = {{E},{F}} , remainSet2 = {{E}} และ swapSet2 = {{F}} ซึ่งจะทำให้ได้ค่านิพจน์อินพุทใหม่หลังจากการครอสโอเวอร์เป็น I1(G) = {{F}} และ I2(G) = {{E},{F}} ต่อมาพิจารณาที่นิพจน์เอาท์พุทของกิจกรรม G จะได้ว่า O1(G) = {{H}} และ O2(G) = {{H}} เนื่องจาก O1(G) = O2(G) จึงส่งผลให้การครอสโอเวอร์ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

การกลายพันธุ์ เป็นการปรับเปลี่ยนบางรายละเอียดของตัวแบบกระบวนการในนิพจน์บูลีนของทุกกิจกรรมในตัวแบบกระบวนการเพื่อให้โครโซมแตกต่างไปจากเดิม โดยในขั้นตอนวิธีไมโอซิสจะกำหนดให้อัตราการกลายพันธุ์ในการจำลองโครโมโซมแต่ละสายแตกต่างกัน เพื่อให้สอดคล้องกับหลักการการจำลองโครโมโซมที่ไม่เสมอภาค ส่วนวิธีการในการกลายพันธุ์มีสามแบบคือ การเพิ่มกิจกรรม , การลดกิจกรรม และ การปรับตัวดำเนินการบูลีน ซึ่งขั้นตอนวิธีในการกลายพันธุ์จะมีลักษณะดังรูปที่3

จากขั้นตอนวิธีการกลายพันธุ์สามารถอธิบายเพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นจากตัวอย่างต่อไปนี้ โดยในตัวอย่างนี้จะทำการกลายพันธุ์นิพจน์บูลีนอินพุทของกิจกรรม H พบว่า I1(H) = {{C,B,G}} เมื่อนำไปทำการกลายพันธุ์ด้วยหนึ่งในสามวิธีการต่อไปนี้การเพิ่มกิจกรรม การลดกิจกรรม และการปรับตัวดำเนินการบูลีนจะได้นิพจน์บูลีนใหม่ตามลำดับต่อไปนี้ I1(H) = {{C,B,G,A}}, I1(H) = {{B,G}} และ I1(H) ={{C,B},{G}}

การปรับกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง เนื่องจากในการครอสโอเวอร์และการกลายพันธุ์อาจจะส่งผลกระทบต่อกิจกรรมอื่นๆที่สัมพันธ์กับกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการครอสโอเวอร์หรือการกลายพันธุ์ ซึ่งส่งผลให้ค่าคอสชวลในตารางเกิดการเปลี่ยนแปลงและขัดแย้งกับนิพจน์บูลีน จึงส่งผลให้ต้องมีการปรับตัวแบบกระบวนการเพื่อให้มีความสอดคล้องกันระหว่างนิพจน์บูลีนกับค่าคอสชวลในคอสชวลเมทริกซ์

5. การทดลอง

การวิจัยนี้จะนำบันทึกเหตุการณ์แบบ 7 กิจกรรม ประกอบด้วยเทรสเหตุการณ์ทั้งหมด 300 เคส(www.processmining.org) มาใช้ในการทดลองเพื่อวัดจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมและจำนวนครั้งที่ค่าความเหมาะสมเป็น 1 จากการทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง ของการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีไมโอซิสเจเนติกกรณีมีอัตรากลายพันธุ์สายนำน้อยมาก(อัตรากลายพันธุ์สายนำเป็น 0.01) ขั้นตอนวิธีไมโอซิสกรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ และขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบเดิม เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ให้จำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยน้อยที่สุด จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่ากลางของจำนวนเจเนเรชันที่ดีที่สุดที่นำเสนอในงานวิจัยด้วยวิธีการทางสถิติคือ การทดสอบแบบวิลคอกซันชนิดอันดับที่มีเครื่องหมาย เพื่อทดสอบความแตกต่างของจำนวนเจเนเรชันอย่างมีนัยสำคัญ โดยในการทดลองได้กำหนดจำนวนรอบสูงสุดเป็น 10000 อัตราการครอสโอเวอร์เป็น 1 อัตรากลายพันธุ์ (MR) เป็น 0.01, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5 และ 1 อีกทั้งในขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบเดิมกำหนดค่าบุริมสิทธิ์ (Elitism Rate) [6] (ค่าร้อยละในการคัดลอกตัวแบบกระบวนการที่ดี) เป็น 0.1, 0.3 และ 0.5 โดยในการทดลองนี้ได้กำหนดขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 20 และ 100 ซึ่งได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

Input: process models , mutation rate (MR)
Output: A possibly mutated process model
1. For every task t in process model do:
   1.1) With probability mutation rate do one of the following operations for the condition function I(t):
      1) Select a subset X in I(t) and add a task t' to X, where t' belongs to the set of tasks in process model
      2) Select a subset X in I(t) and remove a task t' from X , where t' belongs to X. If X is empty after t' removal, exclude X from I(t)
      3) Redistribute the element in I(t)
   1.2) Repeat step 1.1), but use the condition function O(t) instead of I(t).
   1.3) Update the related tasks to t

รูปที่ 3 ขั้นตอนวิธีการกลายพันธุ์ [8]

5.1 ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 20

เมื่อพิจารณาในตารางที่ 3 คอลัมน์ MLR = 0 จะเห็นได้ว่า การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิสกรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ ทั้งแบบครอสโอเวอร์ที่สายนำและแบบครอสโอเวอร์สายตามจะใช้จำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยน้อยที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการเมื่ออัตรากลายพันธุ์เป็น 0.3 และ 0.1 ตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยที่ดีที่สุดระหว่างทั้งสองกรณีด้วยวิธีการทางสถิติพบว่า ในกรณีที่ไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำขั้นตอนวิธีไมโอซิสเจเนติกแบบครอสโอเวอร์ที่สายตามมีจำนวนเจเนเรชันน้อยกว่าแบบครอสโอเวอร์ที่สายนำ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เนื่องจากการครอสโอเวอร์สายตามจะทำให้ตัวแบบกระบวนการมีความสามารถในการสืบทอดคุณสมบัติจากรุ่นพ่อแม่ เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบกับตัวแบบกระบวนการที่ได้มาใหม่และคัดเลือกตัวแบบกระบวนการที่ดีที่สุดเพื่อนำไปเป็นรุ่นพ่อแม่ ส่งผลให้ตัวแบบกระบวนการที่ผลิตได้มีความเร็วในการค้นหาตัวแบบกระบวนการมากขึ้น ส่วนขั้นตอนวิธีไมโอซิสแบบครอสโอเวอร์สายนำในกรณีนี้จะไม่เกิดการกลายพันธุ์ที่สายนำ ทำให้การปรับตัวที่สายนำมีแต่การครอสโอเวอร์เพียงอย่างเดียว ส่งผลให้การปรับตัวเข้าสู่ตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมมีประสิทธิภาพแย่กว่าแบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม นอกจากนี้การครอสโอเวอร์ที่สายนำจะทำให้สูญเสียความสามารถในการสืบทอดคุณสมบัติจึงส่งผลให้มีความเป็นไปได้ที่จะได้ตัวแบบกระบวนการที่มีค่าความเหมาะสมน้อยกว่ารุ่นก่อนหน้า อีกทั้งประชากรยังมีขนาดเล็กส่งผลให้ความหลากหลายของตัวแบบกระบวนการมีไม่มากพอ

ตารางที่ 3 ผลการทดลองของขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิส กรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ (MLR=0) และกรณีมีการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก (MLR=0.01) เมื่อขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 20

crossover	MLR = 0			MLR = 0.01		
	MR	No. fit=1	AVG. Gen	MR	No. fit=1	AVG. Gen
Leading	0.01	2	4829.1	0.01	10	824.8
	0.1	10	1557	0.1	10	227.9
	0.2	10	1141	***0.2***	***10***	***161.6***
	0.3	***10***	***696.6***	0.3	10	352.3
	0.5	6	5884.8	0.5	1	9440.4
	1.0	1	9423.3	1.0	0	10000
Lagging	0.01	10	459.2	0.01	10	792.1
	0.1	***10***	***88.4***	0.1	10	171.8
	0.2	10	134.9	0.2	10	173.1
	0.3	10	271.6	***0.3***	***10***	***159.5***
	0.5	10	403.7	0.5	9	3232.6
	1.0	0	8867.5	1.0	0	10000

เมื่อพิจารณาในตารางที่ 3 คอลัมน์ MLR = 0 .01 จะเห็นได้ว่าการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิส กรณีมีอัตรากลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก ทั้งแบบครอสโอเวอร์สายนำและแบบครอสโอเวอร์สายตามจะใช้จำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยน้อยที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการ เมื่ออัตรากลายพันธุ์เป็น 0.2 และ 0.3 ตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยที่ดีที่สุดทั้งสองกรณี พบว่า ในกรณีที่สายนำมีการเปลี่ยนแปลงจากการกลายพันธุ์ จำนวนเจเนเรชันในการค้นหาตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมของขั้นตอนวิธีไมโอซิสเจเนติกแบบครอสโอเวอร์ที่สายตามกับแบบครอสโอเวอร์ที่สายนำไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เนื่องจากการครอสโอเวอร์ที่สายนำในกรณีนี้เกิดการกลายพันธุ์ที่สายนำส่งผลให้การปรับตัวเข้าสู่ตัวแบบกระบวนการที่เหมาะสมมีประสิทธิภาพมากขึ้นเนื่องจากมีการปรับตัวด้วยการกลายพันธุ์และการครอสโอเวอร์เช่นเดียวกับแบบครอสโอเวอร์ที่สายตามจึงทำให้ตัวแบบกระบวนการที่ผลิตได้ในรุ่นถัดไปมีค่าความเหมาะสมมากขึ้น นอกจากนี้การครอสโอเวอร์ที่สายตามจะสูญเสียความสามารถในการสืบทอดคุณสมบัติจากรุ่นพ่อแม่และทำงานภายใต้ความสามารถในการผลิตตัวแบบกระบวนการที่หลากหลายและครอบคลุมเช่นเดียวกับแบบครอสโอเวอร์ที่สายนำ สาเหตุที่ทำให้เป็นเช่นนี้คือการเกิดการกลายพันธุ์ที่สายนำ ถึงแม้ว่าอัตรากลายพันธุ์ที่สายนำจะน้อยมากแต่เนื่องจากประชากรเริ่มต้นมีขนาดเล็กจึงส่งผลต่อความสามารถในการสืบทอดคุณสมบัติ หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยที่ดีที่สุดระหว่างขั้นตอนวิธีไมโอซิส กรณีมีอัตรากลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก กับกรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำด้วยวิธีการทางสถิติ พบว่า ขั้นตอนวิธีไมโอซิสเจเนติกกรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำจะมีจำนวนเจเนเรชันน้อยกว่ากรณีมีอัตรากลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เนื่องจากในกรณีที่สายนำเกิดการเปลี่ยนแปลง ถึงแม้ว่าอัตราการกลายพันธุ์ที่สายนำจะน้อยมาก แต่เนื่องจากประชากรมีขนาดเล็กจึงทำให้การครอสโอเวอร์ในสายตามสูญเสียความสามารถในสืบคุณสมบัติจากพ่อแม่ ส่งผลให้ตัวแบบกระบวนการในรุ่นถัดไปมีโอกาสที่จะได้ค่าความเหมาะสมน้อยกว่ารุ่นพ่อแม่ นอกจากนี้การที่ประชากรยังมีขนาดเล็กยังทำให้ความหลากหลายของตัวแบบกระบวนการมีไม่มากพอ

จากตารางที่ 4 และ 5 พบว่า ในขั้นตอนวิธีไมโอซิสเจเนติก ชนิดไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ แบบครอสโอเวอร์สายตาม อัตรากลายพันธุ์ 0.1

ตารางที่ 4 ผลการทดลองการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ไมโอซิสเจเนติกแบบไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ เมื่อประชากรเริ่มต้นเป็น 20

crossover	MR	No. fit = 1	AVG. Gen
Leading	0.01	3	4932.2
	0.1	9	1938.8
	0.2	9	1136.9
	0.3	10	717
	0.5	3	8065.1
	1.0	0	10000
Lagging	0.01	10	314.6
	0.1	***10***	***141.7***
	0.2	10	163.1
	0.3	10	379.6
	0.5	10	371.2
	1.0	0	9456.4

จะเป็นค่าพารามิเตอร์ที่ให้ค่าจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยน้อยที่สุด ส่วนในขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบเดิม ที่อัตราบุริมสิทธิ์ 0.3 และอัตรากลายพันธุ์ 0.3 จะเป็นค่าพารามิเตอร์ที่ให้ค่าจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยน้อยที่สุด จากนั้นนำจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยที่ดีที่สุดทั้งสองค่ามาเปรียบเทียบกันด้วยวิธีการทางสถิติพบว่า ขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิสมีจำนวนเจเนเรชันน้อยกว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นเป็นเพราะในขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบเดิมจะมีความสามารถในการสืบทอดคุณสมบัติจากรุ่นพ่อแม่เพียงบางส่วนเท่านั้น เนื่องจากจำนวนการสืบทอดดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับอัตราบุริมสิทธิ์ ซึ่งส่งผลให้ตัวแบบกระบวนการที่ผลิตได้ใหม่มีความหลากหลายน้อยลงตามอัตราบุริมสิทธิ์ที่เพิ่มมากขึ้น แต่ในขณะเดียวกันความสามารถในการสืบทอดคุณสมบัติจากพ่อแม่ของขั้นตอนวิธีไมโอซิสแบบครอสโอเวอร์ที่สายตามจะสามารถสืบทอดคุณสมบัติรุ่นพ่อแม่ได้ทั้งหมดโดยไม่สูญเสียความหลากหลายของตัวแบบกระบวนการเนื่องจากมีขนาดเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า

ตารางที่ 5 ผลการทดลองการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบเดิม เมื่อประชากรเริ่มต้นเป็น 20

Elitism Rate	MR	No. fit = 1	AVG Gen
0.1	0.01	5	3262.5
	0.1	10	1346.9
	0.2	9	1552.3
	0.3	8	2644.5
	0.5	6	5524
	1.0	0	8402
0.3	0.01	2	4903.5
	0.1	9	826.6
	0.2	10	657.3
	0.3	***10***	***459.2***
	0.5	8	2250.4
	1.0	0	8969
0.5	0.01	3	3717.7
	0.1	9	1995.1
	0.2	10	1286.2
	0.3	10	1253.3
	0.5	9	1230.6
	1.0	0	8656.4

5.2 ขนาดประชากรเริ่มต้นเป็น 100

ในงานวิจัยนี้ยังได้ทำการทดลองในกรณีที่จำนวนประชากรเริ่มต้นเป็น 100 ซึ่งให้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกัน ดังนี้

จากการทดลองเมื่อพิจารณาหาค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ได้จำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยน้อยที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการในแต่ละสายการครอสโอเวอร์ของขั้นตอนวิธีไมโอซิสกรณีไม่มีการกลายพันธุ์

ที่สายนำ และ กรณีมีอัตรากลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมากจะได้ผลดังตารางที่ 6 จากนั้นทำการเปรียบเทียบจำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยที่ดีที่สุดระหว่างการครอสโอเวอร์ทั้งสองสายในตารางที่ 6 ทั้งในคอลัมน์ MLR =0 และคอลัมน์ MLR = 0.01 ด้วยวิธีการทางสถิติจะให้ผลเช่นเดียวกับกรณีประชากรเริ่มต้นเป็น 20 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ส่วนการเปรียบเทียบจำนวนเจเนเรชันที่ดีที่สุดระหว่างขั้นตอนวิธีไมโอซิสแบบไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำกับแบบที่มีอัตรากลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก พบว่าทั้งสองขั้นตอนวิธีมีค่าจำนวนเจเนเรชันใกล้เคียงกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 เนื่องจากประชากรมีขนาดใหญ่ขึ้นส่งผลให้ตัวแบบกระบวนการมีความหลากหลายมากขึ้น

ต่อมาทำการทดลองเพื่อพิจารณาหาค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ได้จำนวนเจเนเรชันเฉลี่ยน้อยที่สุดในการค้นหาตัวแบบกระบวนการของขั้นตอนวิธีไมโอซิสกรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ และขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบเดิมจะได้ผลดังตารางที่ 7 และ 8 ตามลำดับ จากนั้นทำการเปรียบเทียบจำนวนเจเนเรชันที่ดีที่สุดระหว่างขั้นตอนวิธีทั้งสองด้วยวิธีการทางสถิติจะพบว่าได้ผลเช่นเดียวกับกรณีประชากรเริ่มต้นเป็น 20 คือ การสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบไมโอซิสกรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำจะให้จำนวนเจเนเรชันน้อยกว่าการสืบค้นกระบวนการโดยใช้เจเนติกแบบเดิมที่ระดับนัยสำคัญ 0.005

ตารางที่ 6 ผลการทดลองที่ดีที่สุดของขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิสกรณีไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ และมีการกลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก เมื่อประชากรเริ่มต้นเป็น 100

crossover	MLR = 0			MLR = 0.01		
	MR	No. fit=1	AVG. Gen	MR	No. fit=1	AVG. Gen
Leading	0.3	10	136.4	0.01	10	36.9
Lagging	0.1	10	33.6	0.1	10	33.1

ตารางที่ 7 ผลการทดลองที่ดีที่สุดของขั้นตอนวิธีไมโอซิสเจเนติกแบบไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำ ประชากรเริ่มต้นเป็น 100

crossover	Mutation Rate	No. fit = 1	AVG. Gen
Lagging	0.1	10	28.7

ตารางที่ 8 ผลการทดลองที่ดีที่สุดของของขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบเดิม เมื่อประชากรเริ่มต้นเป็น 100

Elitism Rate	Mutation Rate	No. fit = 1	AVG Gen
0.3	0.2	10	74.8

6. สรุป

งานวิจัยนี้ได้เสนอขั้นตอนวิธีการสืบค้นกระบวนการโดยใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบไมโอซิส ที่สามารถผลิตโครโมโซมตัวแบบกระบวนการที่สืบทอดคุณสมบัติจากรุ่นพ่อแม่ และครอบคลุมกับขอบเขตของคำตอบ โดยทำการแบ่งการครอสโอเวอร์เป็นสองรูปแบบคือการครอสโอเวอร์ที่สายนำ และการครอสโอเวอร์ที่สายตาม จากผลการทดลอง พบว่า กรณีที่ไม่เกิดการกลายพันธุ์ที่สายนำ การสืบค้นกระบวนการโดยใช้ไมโอซิสเจเนติกแบบครอสโอเวอร์ที่สายนำจะมีจำนวนเจเนเรชันมากกว่าแบบครอสโอเวอร์ที่สายตาม ส่วนในกรณีที่มีอัตรากลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก การครอสโอเวอร์ในสายนำและสายตามจะให้จำนวนเจเนเรชันที่ดีที่สุดใกล้เคียงกัน ที่เป็นเช่นนี้เพราะการกลายพันธุ์ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการปรับตัวเข้าหาตัวแบบกระบวนการผลลัพธ์ แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบจำนวนเจเนเรชันที่ดีที่สุดระหว่างขั้นตอนวิธีไมโอซิสแบบไม่มีการกลายพันธุ์ที่สายนำกับแบบมีอัตรากลายพันธุ์ที่สายนำน้อยมาก จะพบว่า จำนวนเจเนเรชันแบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงสายนำจะน้อยกว่าในกรณีที่ประชากรเริ่มต้นมีขนาดเล็กแต่จะไม่แตกต่างกันเมื่อประชากรเริ่มต้นมีขนาดใหญ่ขึ้น

นอกจากนี้ยังพบว่า การค้นหาตัวแบบกระบวนการของขั้นตอนวิธีไมโอซิสจะให้จำนวนเจเนเรชันน้อยกว่าขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบเดิม เนื่องจากในขั้นตอนวิธีเจเนติกแบบเดิมจะมีความสามารถในการสืบทอดคุณสมบัติจากรุ่นพ่อแม่เพียงบางส่วน และยังสูญเสียพื้นที่ในการสร้างตัวแบบกระบวนการใหม่ ทำให้ความหลากหลายของตัวแบบกระบวนการที่ผลิตได้ลดลง แต่ในขณะเดียวกันความสามารถในการสืบทอดคุณสมบัติจากพ่อแม่ของขั้นตอนวิธีไมโอซิสจะสามารถสืบทอดคุณสมบัติรุ่นพ่อแม่ได้ทั้งหมดโดยไม่สูญเสียพื้นที่ในสร้างประชากรรุ่นใหม่

7. เอกสารอ้างอิง

[1] W. M. P. van der Aalst, A. J. M. Weijters, "Process mining: a research agenda", Computer in industry Volume 53 Issue 3 ELSEIER , pp. 231–244, Amsterdam ,April ,2004

[2] A. Tiwari , C.J. Turner and B. Majeed , "A review of business process mining: state-of-the-art and future trends", Business Process Management Journal Volume 14 ,pp. 5 –22 ,2006

[3] W. M. P. van der Aalst, A. J. M. Weijters , " Techniques of Process Mining" ,Department of Technology Management Eindnhoven University of Technology , Netherland

[4] W. M. P. van der Aalst, A. J. M. Weijters , "Rediscovering Workflow Models From Event-Based Data Using Little Thumb", Integrated Computer-Aided Engineering Volume 10 Number 2 , pp. 151-162,2003

[5] W. M. P. van der Aalst, A. J. M. Weijters, A.K. Alves de Medeiros , "Genetic Process Mining: A basic Approach and its Challenges" , , BPM 2005 Workshop, LNCS Volume 3812, pp. 203-215,2006

[6] W.M.P van der Aalst, A.J.M.M Weijters and A.K. Alves de Medeiros, "Using Genetic Algorithms to Mine process Models: Representation, Operators and results", Department of Technology Management Eindnhoven University of Technology ,Netherland

[7] W.M.P van der Aalst, A.J.M.M Weijters and A.K. Alves de Medeiros , *"Genetic Process Mining"*, 26th International Conference On Application And Theory Of Petri-nets (ICATPN), pp. 48-69,2005

[8] W.M.P van der Aalst, A.J.M.M Weijters and A.K. Alves de Medeiros , " Genetic process mining: an experimental evaluation ", Data Mining and Knowledge Discovery Volume 14 Number 2, pp. 245-304 , April , 2007

[9] ณัฐวุฒิ วิริยเสริมกุล และ วีระ บุญจริง, "A Meiosis Genetic Algorithm" , 11th National Computer Science and Engineering Conference (NCSEC) ,November 19-21, 2007

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายรติ เพิ่มพูล
วัน เดือน ปีเกิด	13 กรกฎาคม 2528
ที่อยู่	443/7/11 ถนน ศุภกิจ ซอย 1 อำเภอเมือง ตำบล หน้าเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา 24000
ประวัติการศึกษา	2549 วิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาสถิติ สาขาวิชา สถิติประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประวัติการทำงาน	2550 นักพัฒนาชุดคำสั่ง บริษัทวิริยะประกันภัย ปัจจุบัน นักวิชาการคอมพิวเตอร์ปฏิบัติการ กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร