การไขว้เปลี่ยนในกำหนดการพันธุกรรมสำหรับโปรแกรมหุ่นยนต์

นายสุพจน์ เฮงพระพรหม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0662-4

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A CROSSOVER IN GENETIC PROGRAMMING FOR ROBOT PROGRAMS

Mr. Supoj Hengpraprohm

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement
for the Degree of Master of Science in Computer Science

Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2001
ISBN 974-03-0662-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การไขว้เปลี่ยนในกำหนดการพันธุกรรมสำหรับโปรแกรมหุ่นยนต์
โดย	นายสุพจน์ เฮงพระพรหม
ภาควิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. ประภาส จงสถิตย์วัฒนา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย ประสิทธ์จูตระกูล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประภาส จงสถิตย์วัฒนา)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญเสริม กิจศิริกุล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. วีระ เหมืองสิน)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุพจน์ เฮงพระพรหม : การไขว้เปลี่ยนในกำหนดการพันธุกรรมสำหรับโปรแกรมหุ่นยนต์
(A CROSSOVER IN GENETIC PROGRAMMING FOR ROBOT PROGRAMS)
อ. ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. ประภาส จงสถิตย์วัฒนา, 56 หน้า.
ISBN 974-03-0662-4

สมรรถนะของกำหนดการพันธุกรรมขึ้นอยู่กับตัวดำเนินการพันธุกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวดำเนินการไขว้เปลี่ยน การไขว้เปลี่ยนแบบปกติจะสลับต้นไม้ย่อยของพ่อแม่อย่างสุ่ม ต้นไม้ย่อยที่ดีอาจถูกทำลายได้เมื่อเลือกจุดไขว้เปลี่ยนที่ไม่เหมาะสม วิทยานิพนธ์นี้ เสนอตัวดำเนินการไขว้เปลี่ยนซึ่งหาต้นไม้ย่อยที่ดี โดยวัดผลกระทบของมันต่อค่าความเหมาะ และผสมต้นไม้ย่อยที่ดีของพ่อแม่ ตัวดำเนินการไขว้เปลี่ยนที่เสนอได้นำมาทดสอบกับปัญหา 2 เรื่อง คือ ปัญหาการควบคุมแขนหุ่นยนต์ และปัญหามดประดิษฐ์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ตัวดำเนินการไขว้เปลี่ยนที่เสนอลดความเพียรพยายามเชิงคำนวณได้โดยเฉลี่ย 13.8% สำหรับปัญหาการควบคุมแขนหุ่นยนต์ และ 18.6% สำหรับปัญหามดประดิษฐ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2544	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4270610621 : MAJOR COMPUTER SCIENCE

KEY WORD : GENETIC PROGRAMMING / COMPUTATIONAL EFFORT / CROSSOVER

SUPOJ HENGPRAPROHM : A CROSSOVER IN GENETIC PROGRAMMING FOR ROBOT PROGRAMS. THESIS ADVISOR: ASSO. PROF. PRABHAS CHONGSTITVATANA , 56 PP.

ISBN 974-03-0662-4

Performance of Genetic Programming depends on its genetic operators, especially the crossover operator. The simple crossover randomly swaps subtrees of the parents. The "good" subtree can be destroyed by an inappropriate choice of the crossover point. This work proposes a crossover operator that identifies a good subtree by measuring its impact on the fitness value and recombines good subtrees from parents. The proposed operator has been tested on two problems : the robot arm control problem and the artificial ant problem. The result shows that the proposed crossover operator reduces the computational effort by an average 13.8% for the robot arm control problem and 18.6% for the artificial ant problem.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Computer Engineering Student's signature .....

Field of study Computer Science Advisor's signature .....

Academic year 2001 Co-advisor's signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร. ประภาส จงสถิตย์วัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้การดูแล แนะนำ สั่งสอน และให้ข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณสำนักงานสภาสถาบันราชภัฏ และ สถาบันราชภัฏนครปฐม ที่ให้การสนับสนุนด้านเงินทุนและวัสดุอุปกรณ์ในการศึกษาและการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ สมาชิกห้องปฏิบัติการวิจัยระบบอัจฉริยะ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยเฉพาะพี่ชัยวัฒน์ เจษฎาปกรณ์ ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และข้อคิดเห็นต่าง ๆ มาโดยตลอด

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งได้ให้การสนับสนุนด้านการเงิน และคอยให้กำลังใจด้วยดีตลอดมาจนจบการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญภาพ ..... ซ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ 3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
1.5.1 งานวิจัยปัญหาแขนหุ่นยนต์ 3
1.5.2 งานวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีกำหนดการพันธุกรรมโดยการไขว้เปลี่ยน 4
1.6 เนื้อหาและรูปแบบการนำเสนอวิทยานิพนธ์ 5
1.7 ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ 5

2 กำหนดการพันธุกรรม 6

2.1 การสร้างประชากรของผลเฉลยเริ่มต้น 6
2.2 การประเมินค่าความเหมาะของผลเฉลย 8
2.3 การสร้างประชากรของผลเฉลยรุ่นใหม่ 9
2.3.1 การสืบพันธุ์ 9
2.3.2 การไขว้เปลี่ยน 9
2.3.3 การกลาย 10

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 การหาคำตอบ 11
2.5 ความเพียรพยายามเชิงคำนวณ 11
2.6 สรุปท้ายบท 12

3 ปัญหาที่ใช้ในการทดลอง 13

3.1 ปัญหาแขนหุ่นยนต์ 13
3.1.1 โครงสร้างโปรแกรมควบคุมแขนหุ่นยนต์ 14
3.1.2 ฟังก์ชันความเหมาะสำหรับปัญหาแขนหุ่นยนต์ 16
3.2 ปัญหามดประดิษฐ์ 16
3.2.1 โครงสร้างโปรแกรมควบคุมมดประดิษฐ์ 17
3.2.2 ฟังก์ชันความเหมาะสำหรับปัญหามดประดิษฐ์ 18
3.3 สรุปท้ายบท 19

4 การทดลองและผลการทดลอง 20

4.1 แนวคิดในการทดลอง 20
4.2 การออกแบบการทดลอง 21
4.3 การทดลองหาค่าจำนวนรอบของการทำซ้ำ 22
4.4 การทดลองหาโครงสร้างที่ดีและโครงสร้างที่เลวจากความถี่ที่ใช้ 23
4.5 การทดลองหาโครงสร้างที่ดีและโครงสร้างที่เลวด้วยวิธีการเล็มกิ่ง 29
4.6 การทวนสอบประสิทธิภาพของวิธีการไขว้เปลี่ยนแบบการนำโครงสร้างที่ดี
มาแทนที่โครงสร้างที่เลวด้วยวิธีการเล็มกิ่ง 43
4.7 สรุปท้ายบท 48

5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 50

5.1 สรุปผลการวิจัย 50
5.2 ข้อเสนอแนะ 50

รายการอ้างอิง 52

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก 53
ภาคผนวก ก บัญชีคำศัพท์ 54
ประวัติผู้เขียน 56

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 แสดงรายละเอียดของฟังก์ชันและเทอร์มินอลที่ใช้ในปัญหาแขนหุ่นยนต์ 15

3.2 แสดงรายละเอียดของฟังก์ชันและเทอร์มินอลที่ใช้ในปัญหามดประดิษฐ์ 18

4.1 ค่าการกระจายสัมพัทธ์ของข้อมูลและเวลาที่ใช้โดยประมาณของการทดลองรันในจำนวนรอบต่าง ๆ 22

ข.1 รายการศัพท์ภาษาอังกฤษทางกำหนดการพันธุกรรมและภาษาไทยที่ใช้แทนในวิทยานิพนธ์ 54

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 ผังงานของกำหนดการพันธุกรรม 7

2.2 แสดงโครงสร้างต้นไม้ของผลเฉลย 8

2.3 แสดงวิธีการไขว้เปลี่ยน 10

2.4 แสดงวิธีการกลาย 10

3.1 แสดง 3 สภาพแวดล้อมหลักที่ใช้ในการทดลองปัญหาแขนหุ่นยนต์ 13

3.2 ตัวอย่างโครงสร้างโปรแกรมควบคุมแขนหุ่นยนต์ 14

3.3 แสดงสนามในการทดลองมดประดิษฐ์ 17

3.4 ตัวอย่างโครงสร้างโปรแกรมควบคุมมดประดิษฐ์ 18

4.1 แสดงลักษณะการไขว้เปลี่ยนที่ใช้ในการทดลอง 21

4.2 กราฟแสดงค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของปัญหาแขนหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อมที่ 1..24

4.3 กราฟแสดงค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของปัญหาแขนหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อมที่ 2..24

4.4 กราฟแสดงค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของปัญหาแขนหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อมที่ 3..24

4.5 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในสภาพแวดล้อมที่ 1 25

4.6 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปแทนที่โครงสร้างที่เลว ในสภาพแวดล้อมที่ 1 25

4.7 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่เลวไปแทนที่โครงสร้างที่ดี ในสภาพแวดล้อมที่ 1 25

4.8 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปสลับกับโครงสร้างที่เลว ในสภาพแวดล้อมที่ 1 26

4.9 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในสภาพแวดล้อมที่ 2 26

4.10 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปแทนที่โครงสร้างที่เลว ในสภาพแวดล้อมที่ 2 26

4.11 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่เลวไปแทนที่โครงสร้างที่ดี ในสภาพแวดล้อมที่ 2 27

4.12 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปสลับกับโครงสร้างที่เลว ในสภาพแวดล้อมที่ 2 27

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า
4.13 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในสภาพแวดล้อมที่ 3 ……..…….. 27
4.14 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปแทนที่โครงสร้างที่เลว
ในสภาพแวดล้อมที่ 3 ……...…….. 28
4.15 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่เลวไปแทนที่โครงสร้างที่ดี
ในสภาพแวดล้อมที่ 3 ……...…….. 28
4.16 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปสลับกับโครงสร้างที่เลว
ในสภาพแวดล้อมที่ 3 ……...…….. 28
4.17 แสดงการหาโครงสร้างที่ดีและโครงสร้างที่เลวด้วยวิธีการเล็มกิ่ง ……..……30
4.18 กราฟแสดงค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของปัญหาแขนหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อม
ที่ 1 โดยวิธีการเล็มกิ่ง 20 โนด ……...……31
4.19 กราฟแสดงค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของปัญหาแขนหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อม
ที่ 2 โดยวิธีการเล็มกิ่ง 20 โนด ……...……31
4.20 กราฟแสดงค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของปัญหาแขนหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อม
ที่ 3 โดยวิธีการเล็มกิ่ง 20 โนด ……...……31
4.21 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปแทนที่โครงสร้างที่เลว
ในสภาพแวดล้อมที่ 1 เมื่อใช้วิธีการเล็มกิ่ง 20 โนด ……..…….. 32
4.22 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่เลวไปแทนที่โครงสร้างที่ดี
ในสภาพแวดล้อมที่ 1 เมื่อใช้วิธีการเล็มกิ่ง 20 โนด ……..…….. 32
4.23 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปสลับกับโครงสร้างที่เลว
ในสภาพแวดล้อมที่ 1 เมื่อใช้วิธีการเล็มกิ่ง 20 โนด ……..…….. 33
4.24 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปแทนที่โครงสร้างที่เลว
ในสภาพแวดล้อมที่ 2 เมื่อใช้วิธีการเล็มกิ่ง 20 โนด ……..…….. 33
4.25 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่เลวไปแทนที่โครงสร้างที่ดี
ในสภาพแวดล้อมที่ 2 เมื่อใช้วิธีการเล็มกิ่ง 20 โนด ……..…….. 33
4.26 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปสลับกับโครงสร้างที่เลว
ในสภาพแวดล้อมที่ 2 เมื่อใช้วิธีการเล็มกิ่ง 20 โนด ……..…….. 34

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.27 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปแทนที่โครงสร้างที่เลว ในสภาพแวดล้อมที่ 3 เมื่อใช้วิธีการเล็มกิ่ง 20 โนด 34

4.28 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่เลวไปแทนที่โครงสร้างที่ดี ในสภาพแวดล้อมที่ 3 เมื่อใช้วิธีการเล็มกิ่ง 20 โนด 34

4.29 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปสลับโครงสร้างที่เลว ในสภาพแวดล้อมที่ 3 เมื่อใช้วิธีการเล็มกิ่ง 20 โนด 35

4.30 กราฟแสดงค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของปัญหาแขนหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อม ที่ 1 โดยวิธีการเล็มกิ่งทุกโนด 36

4.31 กราฟแสดงค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของปัญหาแขนหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อม ที่ 2 โดยวิธีการเล็มกิ่งทุกโนด 36

4.32 กราฟแสดงค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของปัญหาแขนหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อม ที่ 3 โดยวิธีการเล็มกิ่งทุกโนด 36

4.33 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในสภาพแวดล้อมที่ 1 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 90% 37

4.34 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในสภาพแวดล้อมที่ 1 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 80% 37

4.35 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในสภาพแวดล้อมที่ 1 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 70% 37

4.36 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปแทนที่โครงสร้างที่เลว ในสภาพแวดล้อมที่ 1 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 90% 38

4.37 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปแทนที่โครงสร้างที่เลว ในสภาพแวดล้อมที่ 1 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 80% 38

4.38 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปแทนที่โครงสร้างที่เลว ในสภาพแวดล้อมที่ 1 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 70% 38

4.39 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในสภาพแวดล้อมที่ 2 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 90% 39

4.40 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในสภาพแวดล้อมที่ 2 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 80% 39

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.41 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในสภาพแวดล้อมที่ 2 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 70% 39

4.42 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปแทนที่โครงสร้างที่เลวในสภาพแวดล้อมที่ 2 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 90% 40

4.43 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปแทนที่โครงสร้างที่เลวในสภาพแวดล้อมที่ 2 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 80% 40

4.44 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปแทนที่โครงสร้างที่เลวในสภาพแวดล้อมที่ 2 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 70% 40

4.45 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในสภาพแวดล้อมที่ 3 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 90% 41

4.46 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในสภาพแวดล้อมที่ 3 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 80% 41

4.47 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในสภาพแวดล้อมที่ 3 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 70% 41

4.48 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปแทนที่โครงสร้างที่เลวในสภาพแวดล้อมที่ 3 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 90% 42

4.49 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปแทนที่โครงสร้างที่เลวในสภาพแวดล้อมที่ 3 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 80% 42

4.50 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปแทนที่โครงสร้างที่เลวในสภาพแวดล้อมที่ 3 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 70% 42

4.51 กราฟแสดงค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของปัญหามดประดิษฐ์ 44

4.52 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในปัญหามดประดิษฐ์ ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 90% 44

4.53 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในปัญหามดประดิษฐ์ ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 80% 45

4.54 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในปัญหามดประดิษฐ์ ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 70% 45

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.55 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปแทนที่โครงสร้างที่เลว ในปัญหามดประดิษฐ์ ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 90% 45

4.56 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปแทนที่โครงสร้างที่เลว ในปัญหามดประดิษฐ์ ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 80% 46

4.57 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปแทนที่โครงสร้างที่เลว ในปัญหามดประดิษฐ์ ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 70% 46

4.58 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของปัญหาแขนหุ่นยนต์ ในสภาพแวดล้อมที่ 1 โดยวิธีการไขว้เปลี่ยนแบบปกติกับการไขว้เปลี่ยนแบบการนำโครงสร้างที่ดีแทนที่โครงสร้างที่เลวด้วยวิธีการเล็มกิ่งแบบสุ่มโนดจากเซตของเทอร์มินอลมาใส่แทน 47

4.59 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของปัญหาแขนหุ่นยนต์ ในสภาพแวดล้อมที่ 2 โดยวิธีการไขว้เปลี่ยนแบบปกติกับการไขว้เปลี่ยนแบบการนำโครงสร้างที่ดีแทนที่โครงสร้างที่เลวด้วยวิธีการเล็มกิ่งแบบสุ่มโนดจากเซตของเทอร์มินอลมาใส่แทน 47

4.60 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของปัญหาแขนหุ่นยนต์ ในสภาพแวดล้อมที่ 3 โดยวิธีการไขว้เปลี่ยนแบบปกติกับการไขว้เปลี่ยนแบบการนำโครงสร้างที่ดีแทนที่โครงสร้างที่เลวด้วยวิธีการเล็มกิ่งแบบสุ่มโนดจากเซตของเทอร์มินอลมาใส่แทน 48

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา

กำหนดการพันธุกรรม (Genetic Programming) หรือ GP เป็นวิธีการหนึ่งของการค้นหาคำตอบ (Solution) โดยการจำลองแบบมาจากกระบวนการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต และกฎการคัดเลือกโดยธรรมชาติ กำหนดการพันธุกรรมสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ หลายประเภทได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การควบคุม การวางแผน การแก้ปัญหาสมการถดถอย (Symbolic Regression) การโปรแกรมอัตโนมัติ เป็นต้น วิธีกำหนดการพันธุกรรมนี้ จะมีลักษณะแตกต่างจากวิธีการแบบอื่น ๆ ทางปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) กล่าวคือ วิธีส่วนใหญ่จะเริ่มจากการสร้างความรู้ (Knowledge) จากกลุ่มตัวอย่าง ทั้งกลุ่มตัวอย่างที่ถูกและกลุ่มตัวอย่างที่ผิด จากนั้นจึงจะสามารถหาคำตอบโดยอ้างอิงกับความรู้นั้น ส่วนกำหนดการพันธุกรรมจะเริ่มจากการสร้างกลุ่มของผลเฉลย (Individual) ที่เป็นไปได้ขึ้นมาจำนวนหนึ่ง และทำการวิวัฒนาการ (evolve) กลุ่มของผลเฉลยเหล่านั้น จนได้คำตอบที่เหมาะสม

กำหนดการพันธุกรรม เป็นวิธีการที่ต้องอาศัยการคำนวณสูง วิธีการหนึ่งสำหรับการวัดประสิทธิภาพของกำหนดการพันธุกรรม คือ การวัดด้วยค่า *ความเพียรพยายามเชิงคำนวณ* (Computational Effort) ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณทางสถิติ เพื่อหาจำนวนผลเฉลยอย่างน้อยที่ต้องประมวลผลจนพบคำตอบ ภายใต้ความมั่นใจที่กำหนด ซึ่งค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณนี้จะเป็นตัวบ่งชี้ความยากของปัญหา และประสิทธิภาพของวิธี กล่าวคือ ในการแก้ปัญหาโดยวิธีแบบหนึ่ง ปัญหาที่ให้ค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณสูงกว่า จะหมายถึงปัญหานั้นมีความยากกว่าปัญหาที่ให้ค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณต่ำกว่า และในการแก้ปัญหาเดียวกันโดยวิธีต่างกัน วิธีที่ให้ค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณต่ำกว่า จะเป็นวิธีที่ดีกว่าวิธีที่ให้ค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณสูงกว่า

จุมพล พลวิชัย (พ.ศ.2539) ได้ทำวิจัยในหัวข้อ *การเรียนรู้ของแขนหุ่นยนต์โดยใช้การโปรแกรมพันธุการ* เพื่อทำการสังเคราะห์โปรแกรมควบคุมแขนหุ่นยนต์ในการเคลื่อนที่ไปหาเป้าหมาย โดยต้องหลบหลีกสิ่งกีดขวาง ซึ่งได้ทำการทดลองทั้งสิ้น 16 การทดลอง และจากการวิจัยพบว่า สามารถสังเคราะห์โปรแกรมควบคุมแขนหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายโดยหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้สำเร็จ แต่ค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณที่คำนวณได้ให้ค่าสูง

ต่อมา ชัยวัฒน์ เจษฎาปกรณ์ (พ.ศ.2540) จึงได้ทำการวิจัยเรื่อง *การลดทอนความเพียรพยายามเชิงคำนวณของการเรียนรู้แบบกำหนดการเชิงพันธุกรรม* โดยนำปัญหาแขนหุ่นยนต์ ของจุมพล พลวิชัย (พ.ศ.2539) มาทำการปรับปรุงกระบวนการด้วยวิธี ADFx (Automatically Defined Functions Extension) ซึ่งพัฒนามาจากวิธี ADF (Automatically Defined Functions) ของ Koza (ค.ศ.1994) โดยทำให้โครงสร้างของแต่ละโปรแกรมประกอบไปด้วยฟังก์ชันหลักและฟังก์ชันย่อย เลียนแบบการเขียนโปรแกรมเชิงโครงสร้าง (Structural Programming) ที่เขียนโดยมนุษย์ ซึ่งข้อแตกต่างระหว่างวิธี ADF ของ Koza (ค.ศ.1994) กับวิธี ADFx ของชัยวัฒน์ เจษฎาปกรณ์ (พ.ศ.2540) มีข้อแตกต่างกันที่สำคัญ 2 ประการ คือ วิธี ADFx จะกำหนดจำนวนฟังก์ชันเป็นช่วง และยอมให้มีการไขว้เปลี่ยนกันระหว่างต่างฟังก์ชันได้ ในขณะที่วิธี ADF จะต้องกำหนดจำนวนฟังก์ชันที่แน่นอน และไม่ยอมให้มีการไขว้เปลี่ยนกันระหว่างต่างฟังก์ชัน จึงทำให้วิธี ADFx เป็นวิธีที่มีความยืดหยุ่นมากกว่าวิธี ADF และจากการวิจัยนี้สามารถลดทอนความเพียรพยายามเชิงคำนวณลงได้ ซึ่งค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณที่ได้จะอยู่ระหว่างกรณีที่ไม่ใช้วิธี ADF กับกรณีเมื่อใช้วิธี ADF ในกรณีที่ดีที่สุด

ยอดธง รอดแก้ว (พ.ศ.2542) ได้ทำการวิจัยเรื่อง *การจินตทัศน์ข้อมูลในระหว่างการวิวัฒนาการของผลเฉลยที่ได้จากกำหนดการเชิงพันธุกรรม* ซึ่งได้นำข้อมูลจากการทดลองของชัยวัฒน์ เจษฎาปกรณ์ (พ.ศ.2540) มาทำการออกแบบและทำการทดลองการจินตทัศน์ข้อมูล ซึ่งช่วยให้มนุษย์สามารถรับรู้และเข้าใจในกระบวนการวิวัฒนาการ ได้เป็นอย่างดี จากการทดลองพบว่ามีเส้นทางในโปรแกรมบางเส้นทางที่ไม่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์เลย และโอกาสของการเลือกจุดที่ใช้ในการไขว้เปลี่ยนจะเป็นโนด (Node) ใบเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจะส่งผลให้ลักษณะของการไขว้เปลี่ยนจะมีลักษณะเหมือนกับการกลายแบบจุด (Point Mutation) ดังที่ Koza (ค.ศ.1992) ได้กล่าวไว้ ทำให้ผลของการไขว้เปลี่ยนไม่ก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างโปรแกรมของคำตอบเท่าที่ควร

ในงานวิจัยนี้ จึงต้องการศึกษาหาแนวทางการไขว้เปลี่ยนในกำหนดการพันธุกรรมสำหรับโปรแกรมหุ่นยนต์ ซึ่งจะทำการเลือกจุดที่ใช้ในการไขว้เปลี่ยน โดยดูพฤติกรรมการทำงานของโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ แทนที่จะเลือกจุดที่ใช้ในการไขว้เปลี่ยนแบบสุ่ม (Random) ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดการทำลายโครงสร้างที่ดีลงได้ ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพกำหนดการพันธุกรรมได้อีกวิธีหนึ่งด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อเสนอแนวทางในการลดทอนความเพียรพยายามเชิงคำนวณของวิธีกำหนดการพันธุกรรม โดยการปรับปรุงวิธีการไขว้เปลี่ยนในวิธีกำหนดการพันธุกรรมสำหรับโปรแกรมหุ่นยนต์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ใช้ข้อมูลการทดลองของ ชัยวัฒน์ เจษฎาปกรณ์ (พ.ศ.2540) เป็นกรณีศึกษาในการปรับปรุงวิธีการไขว้เปลี่ยน เพื่อลดทอนความเพียรพยายามเชิงคำนวณของกำหนดการพันธุกรรม
2. ข้อมูลที่แปรคืออัตราการไขว้เปลี่ยน โดยตัวแปรอื่น ๆ คงที่ ได้แก่ จำนวนประชากร ขนาดโปรแกรมเริ่มต้น อัตราการกลาย
3. ทดลองกับโจทย์อื่น ๆ ที่มีในหนังสือเรียนเพื่อเปรียบเทียบ
4. ไม่ทำการทดลองกับหุ่นยนต์จริง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้แนวทางในการลดทอนความเพียรพยายามเชิงคำนวณของวิธีกำหนดการพันธุกรรมสำหรับปัญหาหุ่นยนต์ โดยการปรับปรุงวิธีการไขว้เปลี่ยน ซึ่งอาจจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาอื่น ๆ ได้

1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5.1 งานวิจัยปัญหาแขนหุ่นยนต์

จุมพล พลวิชัย (พ.ศ.2539) ได้ทำวิจัยเรื่อง *การเรียนรู้ของแขนหุ่นยนต์โดยใช้การโปรแกรมพันธุการ* ซึ่งได้นำวิธีกำหนดการพันธุกรรมมาใช้ในการสังเคราะห์โปรแกรมควบคุมแขนหุ่นยนต์ ให้สามารถเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายโดยสามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ ซึ่งทำการจำลองบนเครื่องคอมพิวเตอร์ และนำคำตอบที่ได้มาทดลองกับแขนหุ่นยนต์จริง

ชัยวัฒน์ เจษฎาปกรณ์ (พ.ศ.2540) ได้ทำวิจัยเรื่อง *การลดทอนความเพียรพยายามเชิงคำนวณของวิธีการเรียนรู้แบบกำหนดการเชิงพันธุกรรม* ซึ่งได้ทำการปรับปรุงวิธีการใน

กำหนดการพันธุกรรมที่เรียกว่า วิธี ADFx โดยได้ทำการพัฒนาต่อจากวิธี ADF ของ Koza (ค.ศ.1994) ซึ่งมีข้อแตกต่างจากวิธี ADF คือ สามารถกำหนดจำนวนฟังก์ชันได้เป็นช่วง และยอมให้มีการไขว้เปลี่ยนต่างฟังก์ชันกันได้

ยอดธง รอดแก้ว (พ.ศ.2542) ได้ทำวิจัยเรื่อง *การจินตทัศน์ข้อมูลในระหว่างการวิวัฒนาการของผลเฉลยที่ได้จากกำหนดการเชิงพันธุกรรม* ซึ่งช่วยให้มนุษย์สามารถรับรู้และเข้าใจในกระบวนการวิวัฒนาการของกำหนดการพันธุกรรมได้เป็นอย่างดี

1.5.2 งานวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีกำหนดการพันธุกรรมโดยการไขว้เปลี่ยน

ในการวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีกำหนดการพันธุกรรมโดยการไขว้เปลี่ยนนั้น ได้มีการวิจัยในหลายวิธี ดังจะยกตัวอย่างพอเป็นสังเขป 2 ตัวอย่าง ดังนี้

Tackett (ค.ศ.1994) ได้ทำการวิจัยเรื่อง *Recombination, Selection, and Genetic Construction of Computer Programs* ซึ่งได้เสนอวิธีการปรับปรุงการไขว้เปลี่ยนที่เรียกว่า "*Brood Recombination*" โดยจะทำการเลือกผลเฉลย 2 ตัวแบบสุ่ม ไว้สำหรับเป็นพ่อแม่ จากนั้นจึงทำการสุ่มเลือกจุดที่จะทำการไขว้เปลี่ยนของทั้ง 2 ผลเฉลย เป็นจำนวน N ครั้ง โดยแต่ละครั้งจะทำการสร้างผลเฉลยลูก ซึ่งเกิดจากการไขว้เปลี่ยน ทำให้ผลเฉลยที่เป็นพ่อแม่ สามารถสร้างผลเฉลยลูกได้ 2N ตัว ซึ่งจะเรียกผลเฉลยลูกทั้ง 2N ตัวนี้ว่าเป็น กลุ่มตัวอ่อน (Brood) จากนั้นจึงทำการประเมินค่าความเหมาะของกลุ่มตัวอ่อนนี้แบบคร่าว ๆ และทำการเลือกตัวอ่อน 2 ตัว ที่มีค่าความเหมาะดีที่สุดมาสร้างเป็นประชากรของผลเฉลยในรุ่นต่อไป

Iba และ de Garis (ค.ศ.1996) ได้ทำวิจัยเรื่อง *Extending genetic programming with recombinative guidance* ซึ่งได้เสนอแนวทางการเลือกจุดที่จะทำการไขว้เปลี่ยน โดยการคำนวณหาค่าของต้นไม้ย่อย (Subtree Value, SV) ในการไขว้เปลี่ยนจะทำการเลือกผลเฉลย 2 ตัว เพื่อนำมาเป็นพ่อแม่ และทำการเลือกจุดที่มีค่าของต้นไม้ย่อยดี และ เลว ของผลเฉลยพ่อแม่ทั้งสอง โดยหาจากสมการต่าง ๆ ที่แตกต่างกันตามปัญหาที่ทำการทดลอง จากนั้นจึงทำการไขว้เปลี่ยน โดยการนำเอาส่วนที่ดีของตนไปแทนที่ส่วนที่เลวของผลเฉลยพ่อแม่อีกตัวหนึ่ง ซึ่งจากผลการทดลองสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้จริง

1.6 เนื้อหาและรูปแบบการนำเสนอวิทยานิพนธ์

ในบทที่ 2 จะอธิบายถึงรายละเอียดโดยทั่ว ๆ ไปของวิธีกำหนดการพันธุกรรม บทที่ 3 จะได้กล่าวถึงรายละเอียดของปัญหาที่ใช้ในการทดลอง บทที่ 4 กล่าวถึงวิธีการทดลองเพิ่มประสิทธิภาพของกำหนดการพันธุกรรมด้วยวิธีการไขว้เปลี่ยน และผลการทดลอง และบทที่ 5 เป็นบทสรุปของงานวิจัยนี้

1.7 ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

ส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์นี้ได้ตีพิมพ์เป็นบทความทางวิชาการ และนำเสนอในงานประชุมวิชาการ 2001 International Symposium on Communications and Information Technology (ISCIT 2001) ซึ่งจัดขึ้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างวันที่ 14 ถึง 16 พฤศจิกายน 2544 ในชื่อเรื่อง “Selective Crossover in Genetic Programming” โดย S. Hengpraprohm and P. Chongstitvatana

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

กำหนดการพันธุกรรม

กำหนดการพันธุกรรม เป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่คิดค้นโดย Koza (ค.ศ.1992) พัฒนามาจากขั้นตอนวิธีพันธุกรรม (Genetic Algorithm) หรือ GA ซึ่งคิดค้นโดย Holland (ค.ศ. 1975) โดยจำลองแบบมาจากกระบวนการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต และกฎการคัดเลือกโดยธรรมชาติ ข้อแตกต่างระหว่างขั้นตอนวิธีพันธุกรรมและกำหนดการพันธุกรรม คือ ลักษณะการแทนคำตอบ โดยขั้นตอนวิธีพันธุกรรมจะแทนลักษณะคำตอบอยู่ในรูปสายอักขระ (String) ที่มีขนาดคงที่ แต่กำหนดการพันธุกรรมจะแทนลักษณะคำตอบอยู่ในรูปโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถแทนที่ด้วยโครงสร้างของต้นไม้ได้ ทำให้ขนาดของคำตอบมีความยืดหยุ่นมากขึ้น

ขั้นตอนการค้นหาคำตอบโดยวิธีการกำหนดการพันธุกรรม จะแบ่งออกเป็นขั้นตอนหลัก ๆ คือ การสร้างประชากรของผลเฉลยเริ่มต้น การประเมินค่าความเหมาะ (Fitness Value) ของผลเฉลย การสร้างประชากรของผลเฉลยรุ่นใหม่ และการหาคำตอบ ซึ่งแสดงในรูปของผังงาน (Flowchart) ดังรูปที่ 2.1 และรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนเป็นดังนี้

2.1 การสร้างประชากรของผลเฉลยเริ่มต้น

เป็นการสร้างผลเฉลยเริ่มต้นที่เป็นไปได้แบบสุ่ม โดยแต่ละผลเฉลยจะประกอบด้วย ฟังก์ชัน (Function) และ เทอร์มินอล (Terminal)

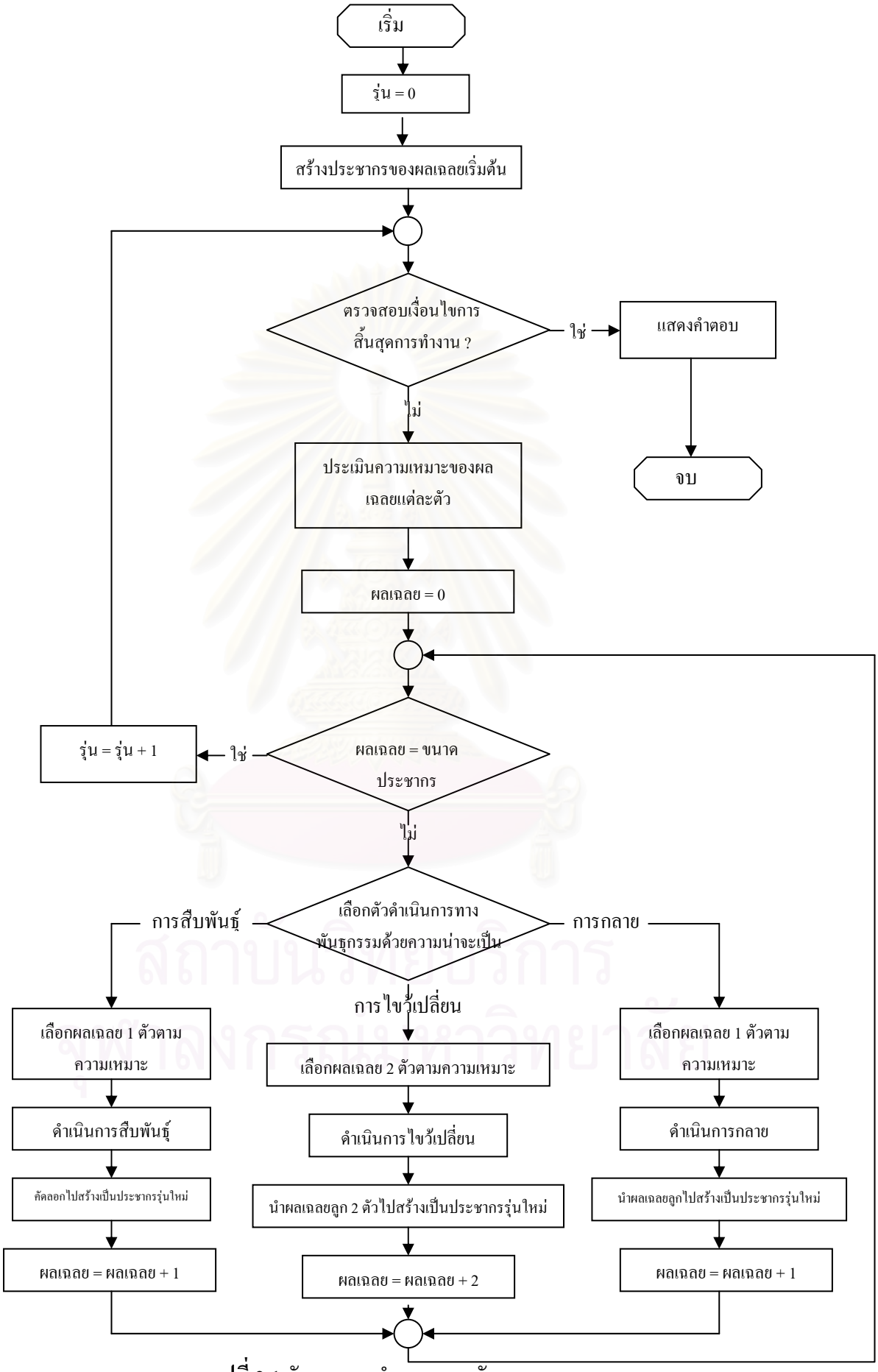
ฟังก์ชัน หมายถึง ฟังก์ชันต่าง ๆ ที่ใช้กับเทอร์มินอลในผลเฉลย ซึ่งอาจจะเป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ เช่น บวก ลบ SIN COS ฟังก์ชันทางตรรกศาสตร์ เช่น OR AND IF-OR IF-AND หรือเป็นฟังก์ชันที่นิยามขึ้นสำหรับปัญหานั้น ๆ

เทอร์มินอล หมายถึง เซตของปัจจัยที่เป็นอิสระแก่กันสำหรับปัญหานั้น ๆ อาจเป็นค่าคงที่ ตัวแปร หรือคำสั่งที่มีผลกระทบโดยตรงกับปัญหานั้น ตัวอย่างเช่น ค่าคงที่ 1 2 … ตัวแปร x y … คำสั่ง เลี้ยวซ้าย เดินหน้า คำสั่งในการตรวจรู้ (Sensing) เป็นต้น

ตัวอย่างเช่น หากกำหนดให้ ฟังก์ชันเซต (Function Set) แทนด้วย F และ เทอร์มินอลเซต (Terminal Set) แทนด้วย T โดย

$$F = \{+, -, *, /\}$$

$$T = \{1, x, y\}$$



รูปที่ 2.1 ผังงานของกำหนดการพันธุกรรม

โดยการสร้างผลเฉลยเริ่มต้น จะทำการสุ่มเลือกฟังก์ชันจากฟังก์ชันเซต และทำการสุ่มเลือกเทอร์มินอลจากเทอร์มินอลเซตมาใส่เป็นส่วนของอาร์กิวเมนต์ (Argument) ให้กับฟังก์ชันที่สุ่มได้ตามจำนวนอาร์กิวเมนต์ที่ฟังก์ชันนั้นต้องการ เช่น หากสุ่มได้ * (คูณ) จากฟังก์ชันเซต และ 1 กับ x จากเทอร์มินอลเซต จะได้โครงสร้างของผลเฉลย แสดงดังรูปที่ 2.2 (ก) จากนั้นจะทำการสุ่มตำแหน่งโนดใบ (Leaf Node) และสุ่มใส่ฟังก์ชันและเทอร์มินอลไปเรื่อย ๆ จนได้ขนาดของผลเฉลยเริ่มต้นตามที่ต้องการ โดยอาจกำหนดขนาดของผลเฉลยเป็นจำนวนโนด หรือเป็นความสูงหรือความลึกของต้นไม้ก็ได้ รูปที่ 2.2 (ข) แสดงผลเฉลยที่มีขนาด 5 โนด ที่แทนนิพจน์เชิงสัญลักษณ์ (Symbolic Expression) (Y+1)*X

(ก) โครงสร้างผลเฉลยแทน 1*X (ข) โครงสร้างผลเฉลยขนาด 5 โนด แทน (Y+1)*X

รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างต้นไม้ของผลเฉลย

จากขั้นตอนนี้จะได้กลุ่มของผลเฉลยจำนวนหนึ่งตามจำนวนประชากร (Population) ที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งจะมีลักษณะที่แตกต่างกันไปตามการสุ่ม

2.2 การประเมินค่าความเหมาะของผลเฉลย

ในขั้นตอนนี้ จะเป็นการวัดค่าความเหมาะ (Fitness Value) ของผลเฉลยแต่ละตัวโดยใช้ฟังก์ชันความเหมาะ (Fitness Function) ที่ถูกกำหนดขึ้นมาตามความเหมาะสมกับปัญหานั้น ๆ เพื่อหาผลเฉลยที่ดีที่จะนำไปสร้างประชากรของผลเฉลยรุ่นใหม่ต่อไป การนิยามฟังก์ชันความเหมาะเป็นส่วนที่ยากและสำคัญสำหรับวิธีกำหนดการพันธุกรรม

ค่าความเหมาะนี้จะใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินว่าผลเฉลยตัวใดมีความสามารถในการแก้ปัญหาและสมควรที่จะถูกคัดเลือกให้อยู่รอดและขยายพันธุ์ต่อไป โดยการประเมินค่าความเหมาะของผลเฉลยนี้ จะนำผลเฉลยแต่ละตัวไปทดสอบแก้ปัญหาที่กำหนด แล้วใช้ฟังก์ชันความเหมาะวัดค่าความเหมาะของผลเฉลยเหล่านั้น ก็จะได้ค่าความเหมาะหรือประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาของผลเฉลยแต่ละตัว

2.3 การสร้างประชากรของผลเฉลยรุ่นใหม่

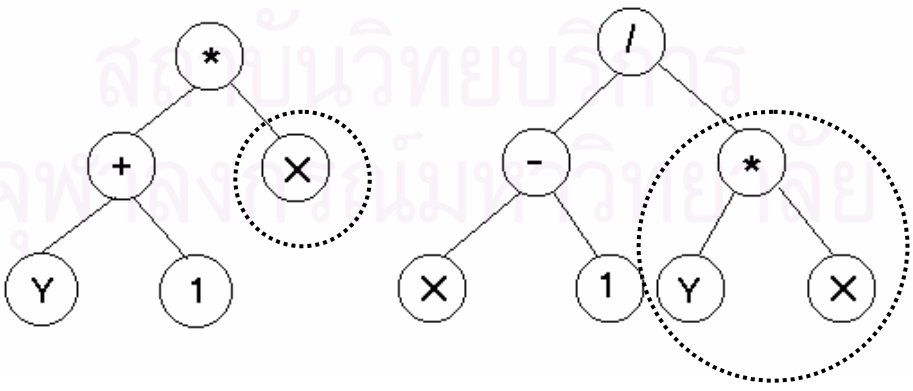
หลังจากทำการประเมินค่าความเหมาะของผลเฉลยแล้ว ก็จะทำการคัดเลือกผลเฉลยตามความเหมาะเพื่อนำมาสร้างประชากรของผลเฉลยรุ่นใหม่ โดยอาศัยตัวดำเนินการทางพันธุกรรม (Genetic Operator) ซึ่งได้แก่ การสืบพันธุ์ (Reproduction) การไขว้เปลี่ยน (Crossover) และการกลาย (Mutation) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1 การสืบพันธุ์

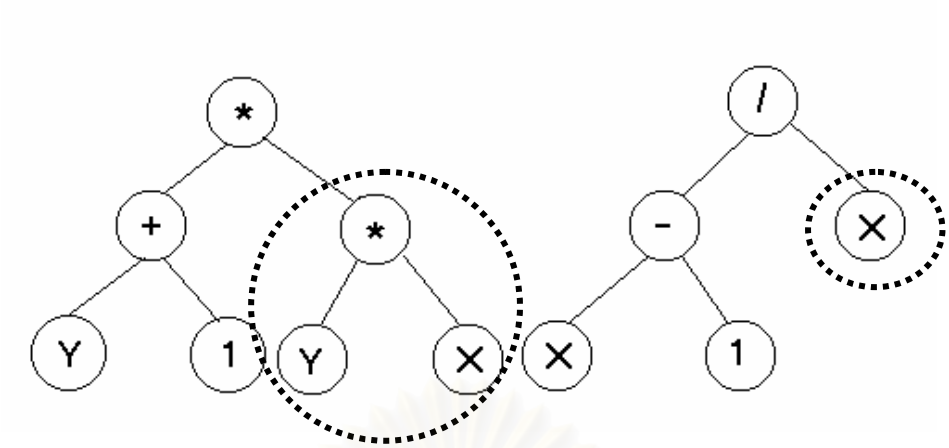
เป็นการคัดลอกผลเฉลยที่มีค่าความเหมาะสูงจากประชากรของผลเฉลยรุ่นเดิมมาสร้างเป็นประชากรของผลเฉลยรุ่นใหม่ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างใด ๆ ของผลเฉลยนั้น

2.3.2 การไขว้เปลี่ยน

เป็นการสร้างประชากรของผลเฉลยรุ่นใหม่ โดยการสุ่มเลือกผลเฉลยจากประชากรของผลเฉลยรุ่นเดิมมาครั้งละ 2 ตัว ตามความเหมาะ เพื่อนำมาเป็นพ่อแม่ (Parent) จากนั้นจะทำการสุ่มตำแหน่งที่จะทำการไขว้เปลี่ยนของพ่อแม่ และทำการสลับโครงสร้าง ณ ตำแหน่งจุดที่สุ่มได้ ซึ่งจะได้ลูก (Children หรือ Offspring) จำนวน 2 ตัว เป็นประชากรของผลเฉลยรุ่นใหม่ รูปที่ 2.3 (ก) แสดงถึงผลเฉลย 2 ตัว ที่ถูกคัดเลือกเพื่อนำมาเป็นพ่อแม่ เส้นประแสดงถึงตำแหน่งที่สุ่มได้ที่จะใช้ในการไขว้เปลี่ยน และรูปที่ 2.3 (ข) แสดงถึงผลเฉลยลูกที่เกิดจากการไขว้เปลี่ยน



(ก) แสดงผลเฉลย 2 ตัวที่ถูกคัดเลือกเพื่อนำมาเป็นพ่อแม่

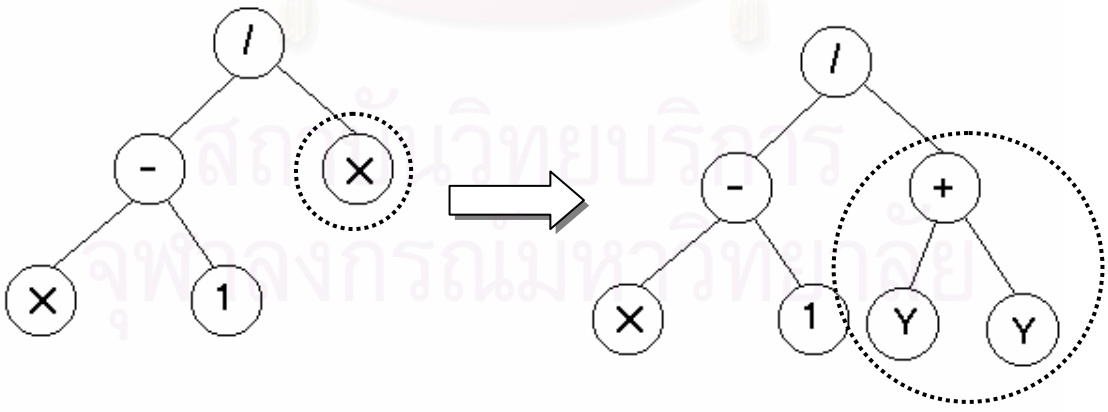


(ข) ผลเฉลยลูกที่เกิดจากการไขว้เปลี่ยน

รูปที่ 2.3 แสดงวิธีการไขว้เปลี่ยน

2.3.3 การกลาย

เป็นการสร้างประชากรของผลเฉลยรุ่นใหม่ โดยการสุ่มเลือกผลเฉลยจากประชากรของผลเฉลยรุ่นเดิม มาครั้งละ 1 ตัว ตามความเหมาะ และทำการสุ่มตำแหน่งที่จะทำการกลาย จากนั้นจึงทำการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ณ ตำแหน่งที่สุ่ม ด้วยโครงสร้างอื่นที่สร้างขึ้นมาแบบสุ่มเช่นกัน รูปที่ 2.4 (ซ้าย) แสดงผลเฉลยที่ถูกคัดเลือกมาเพื่อทำการกลาย และ (ขวา) แสดงผลเฉลยที่เกิดจากการกลาย เส้นประแสดงตำแหน่งที่สุ่มได้ที่จะทำการกลาย



รูปที่ 2.4 แสดงวิธีการกลาย

ในขั้นตอนการสร้างประชากรของผลเฉลยรุ่นใหม่นี้ จะทำการสร้างประชากรของผลเฉลยรุ่นใหม่ ด้วยตัวดำเนินการทางพันธุกรรม โดยจะใช้อัตรา (Rate) ตามที่กำหนด เช่น ใช้อัตรา

การสืบพันธุ์ 10% อัตราการไขว้เปลี่ยน 89% และอัตราการกลาย 1% เป็นต้น จนได้จำนวนประชากรครบตามที่ต้องการ จากนั้นก็จะกลับไปทำในขั้นการประเมินค่าความเหมาะของผลเฉลยและการสร้างประชากรของผลเฉลยรุ่นใหม่ซ้ำต่อไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งพบคำตอบ หรือครบตามจำนวนรุ่น (Generation) ที่กำหนด

2.4 การหาคำตอบ

กำหนดการพันธุกรรมส่วนใหญ่จะใช้กับปัญหาที่ไม่มีคำตอบแน่นอน เพราะฉะนั้นคำตอบที่ได้จากกำหนดการพันธุกรรม จะเป็นผลเฉลยที่ให้ค่าความเหมาะดีที่สุด หลังผ่านกระบวนการสร้างประชากรของผลเฉลยรุ่นใหม่จนครบตามจำนวนรุ่นที่กำหนด

2.5 ความเพียรพยายามเชิงคำนวณ (Computational Effort)

ในการวัดประสิทธิภาพของวิธีกำหนดการพันธุกรรมวิธีหนึ่ง คือ การวัดค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณ ซึ่งเสนอโดย Koza (ค.ศ.1994) ซึ่งเป็นการคำนวณทางสถิติเพื่อหาจำนวนผลเฉลยอย่างน้อยที่ต้องประมวลผลจนพบผลเฉลยที่ประสบความสำเร็จ (หมายถึงผลเฉลยที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งยอมรับได้ว่าเป็นคำตอบของปัญหา) ภายใต้ความมั่นใจที่กำหนด พอสรุปได้ดังนี้

ในการดำเนินการทดลองของกำหนดการพันธุกรรม ซึ่งมีจำนวนประชากรของผลเฉลยในแต่ละรุ่นคงที่ เท่ากับ M และมีจำนวนรุ่น เท่ากับ G หากสามารถพบผลเฉลยที่ประสบความสำเร็จในรุ่นเดียวกันทุกรอบของการทดลอง จำนวนผลเฉลยอย่างน้อยที่ต้องประมวลผลจนพบผลเฉลยที่ประสบความสำเร็จ จะมีค่าเท่ากับผลคูณของจำนวนประชากร M กับจำนวนรุ่นที่ใช้ในการหาผลเฉลยที่ประสบความสำเร็จ หากไม่พบผลเฉลยที่ประสบความสำเร็จในรุ่นเดียวกันในแต่ละรอบของการทดลอง แต่สามารถหาผลเฉลยที่ประสบความสำเร็จภายใน G รุ่น ของทุกรอบการทดลอง จำนวนผลเฉลยอย่างน้อยที่ต้องประมวลผลจนพบผลเฉลยที่ประสบความสำเร็จจะมีค่าเท่ากับผลคูณของจำนวนประชากร M กับค่าเฉลี่ยของจำนวนรุ่นที่ใช้จนพบผลเฉลยที่ประสบความสำเร็จในแต่ละรอบของการทดลอง แต่เนื่องจากกำหนดการพันธุกรรมเป็นขั้นตอนที่ใช้หลักของความน่าจะเป็น ซึ่งไม่สามารถรับประกันได้ว่า ในการทดลองทุกรอบ จะสามารถพบผลเฉลยที่ประสบความสำเร็จได้ภายในจำนวนรุ่นที่กำหนด จึงต้องใช้การคำนวณทางสถิติ เพื่อหาจำนวนผลเฉลยอย่างน้อยที่ต้องประมวลผลจนพบผลเฉลยที่ประสบความสำเร็จภายใต้ความมั่นใจที่กำหนด

หากกำหนดให้ Y(M,i) แทนความน่าจะเป็นที่จะพบผลเฉลยที่ประสบความสำเร็จในรุ่นที่ i ซึ่งคำนวณได้จากจำนวนรอบของการทดลองที่พบผลเฉลยที่ประสบความสำเร็จในรุ่นที่ i หารด้วยจำนวนรอบของการทดลองทั้งหมด และจะทำให้สามารถคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นสะสมของ

ความสำเร็จ P(M,i) ได้ โดย P(M,i) จะเป็นฟังก์ชันที่ไม่ลดลง หากในทุกรอบของการทดลองพบผลเฉลยที่ประสบความสำเร็จภายใน G รุ่นดังกล่าวมาข้างต้นแล้ว จะได้ว่า P(M,G) จะมีค่าเท่ากับ 1.0 แต่ในความเป็นจริงจะพบว่า P(M,G) มักจะมีค่าน้อยกว่า 1.0 เนื่องจากจะมีบางรอบของการทดลองที่ไม่พบผลเฉลยที่ประสบความสำเร็จได้ภายใน G รุ่น

หากกำหนดให้ R(M,i,z) แทนจำนวนรอบของการทดลองเพื่อให้สามารถพบผลเฉลยที่ประสบความสำเร็จภายในรุ่นที่ i โดยมีความมั่นใจของความสำเร็จเท่ากับ z (เช่น z เท่ากับ 99 เปอร์เซ็นต์) จะได้ว่า

$$z = 1 - [1 - P(M,i)]^{R(M,i,z)}$$

ซึ่งสามารถหา R(M,i,z) ได้จากสมการ

$$R(M,i,z) = \left\lceil \frac{\mathrm{Log}(1 - z)}{\mathrm{Log}(1 - P(M,i))} \right\rceil$$

หากกำหนดให้ I(M,i,z) แทนจำนวนผลเฉลยอย่างน้อยที่ต้องประมวลผลจนพบผลเฉลยที่ประสบความสำเร็จภายในรุ่นที่ i โดยมีค่าความมั่นใจของความสำเร็จเท่ากับ z จะได้ว่า

$$I(M,i,z) = M \times i \times R(M,i,z)$$

สำหรับรุ่นที่มีค่า I(M,i,z) น้อยที่สุด เรียกว่า รุ่นที่ดีที่สุด (best generation, i*) ซึ่งค่า I(M,i,z) ของรุ่นที่ดีที่สุดนี้เรียกว่า ค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณ (E) โดย

$$E = I(M,i^*,z) = M \times i^* \times R(M,i^*,z)$$

ซึ่งค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณที่คำนวณได้นี้ ไม่จำเป็นจะต้องเป็นค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณน้อยที่สุดจริง ๆ ของปัญหานั้นก็ได้

2.6 สรุปท้ายบท

กำหนดการพันธุกรรมเป็นวิธีการค้นหาคำตอบโดยเลียนแบบจากกระบวนการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตและกฎการคัดเลือกโดยธรรมชาติ โดยแทนคำตอบให้อยู่ในรูปโครงสร้างต้นไม้ โดยมีขั้นตอนเริ่มจากการสร้างกลุ่มคำตอบที่เป็นไปได้ขึ้นมาจำนวนหนึ่ง แล้วทำการวิวัฒนาการคำตอบเหล่านั้นจนได้คำตอบที่แท้จริงที่สามารถแก้ไขปัญหาที่กำหนดได้

การวัดประสิทธิภาพของวิธีกำหนดการพันธุกรรมวิธีหนึ่ง คือ การวัดค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณ ซึ่งเป็นการวัดค่าทางสถิติ เพื่อหาจำนวนผลเฉลยอย่างน้อยที่ต้องประมวลผลจนได้คำตอบ ค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณนี้จะเป็นตัวบ่งชี้ความยากง่ายของปัญหา และประสิทธิภาพของวิธีการ

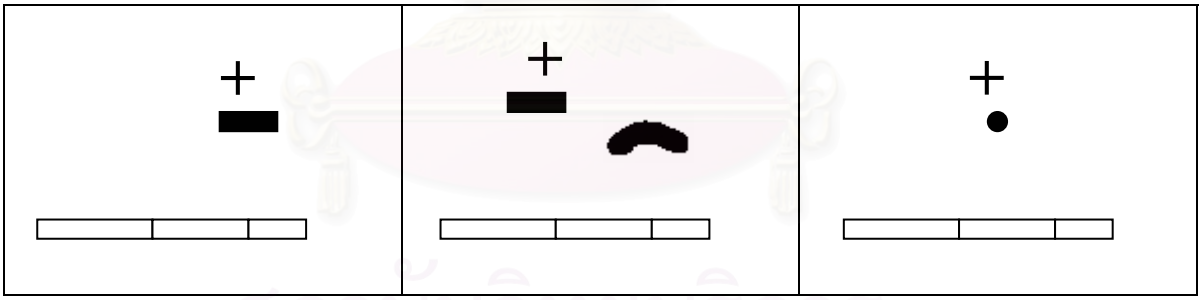
บทที่ 3

ปัญหาที่ใช้ในการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดต่าง ๆ เกี่ยวกับปัญหาที่ใช้ในการทดลองเพื่อปรับปรุงวิธีการไขว้เปลี่ยน 2 ปัญหา ได้แก่ ปัญหาแขนหุ่นยนต์ ของชัยวัฒน์ เจษฎาปกรณ์ (2540) และปัญหามดประดิษฐ์ (Artificial Ant) ของ Koza (1992) ซึ่งปัญหาทั้งสอง เป็นการจำลองการทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์เท่านั้น ไม่ได้ทำการทดลองกับหุ่นยนต์จริง

3.1 ปัญหาแขนหุ่นยนต์

ปัญหาแขนหุ่นยนต์ ของชัยวัฒน์ เจษฎาปกรณ์ (2540) เป็นปัญหาที่ต้องการให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำการสังเคราะห์โปรแกรมเพื่อควบคุมให้แขนหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปหาเป้าหมาย โดยต้องหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ ซึ่งได้ทำการทดลองกับ 3 สภาพแวดล้อมหลัก แสดงดังรูปที่ 3.1



สภาพแวดล้อมที่ 1 สภาพแวดล้อมที่ 2 สภาพแวดล้อมที่ 3

รูปที่ 3.1 แสดง 3 สภาพแวดล้อมหลักที่ใช้ในการทดลองปัญหาแขนหุ่นยนต์

รายละเอียดในการจำลองแขนหุ่นยนต์และพื้นที่ในการทดลองมีดังนี้

1. ขนาดของแขนหุ่นยนต์ แขนหุ่นยนต์แบ่งออกเป็น 3 ท่อน โดยความยาวของท่อนไหล่ ท่อนศอก และท่อนมือเท่ากับ 74 68 และ 24 จุดภาพ ตามลำดับ ความกว้างของแต่ละท่อนเท่ากับ 15 จุดภาพ

2. ระยะจำกัดของการหมุนของข้อต่อแขนหุ่นยนต์ ข้อต่อของแขนหุ่นยนต์ 3 ข้อต่อ ได้แก่ ข้อต่อไหล่ ข้อต่อศอก และข้อต่อมือ จะมีระยะจำกัดของการหมุนเท่ากับ -90 ถึง 90 องศา -20 ถึง 160 องศา และ –90 ถึง 90 องศา ตามลำดับ โดยตำแหน่งของข้อต่อไหล่อยู่ที่ตำแหน่ง (40,170) และแต่ละข้อต่อจะมีขั้นการหมุนจำนวน 37 ขั้น โดยแต่ละขั้นจะขยับข้อต่อขึ้นหรือลง ขั้นละ 5 องศา

*3. ขนาดของพื้นที่ พื้น*ที่มีความกว้าง 200 จุดภาพ และความสูง 250 จุดภาพ

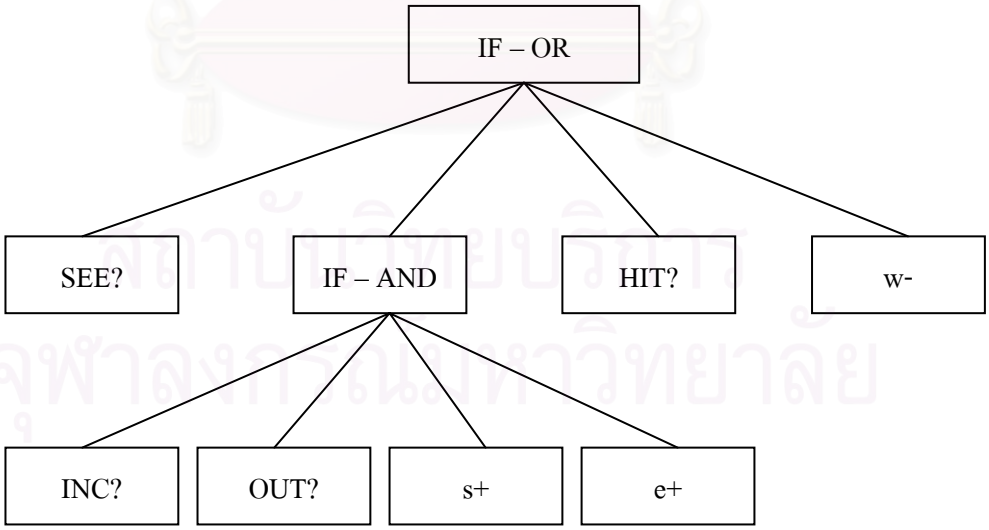
3.1.1 <u>โครงสร้างโปรแกรมควบคุมแขนหุ่นยนต์</u>

โครงสร้างของโปรแกรมควบคุมแขนหุ่นยนต์ จะประกอบไปด้วย ฟังก์ชัน และเทอร์มินอล ดังนี้

ฟังก์ชัน = {IF-AND, IF-OR, IF-NOT}

เทอร์มินอล = {HIT?, SEE?, INC?, DEC?, OUT?, s+, s-, e+, e-, w+, w-}

โดยรายละเอียดของฟังก์ชันและเทอร์มินอลต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 3.1 และตัวอย่างโครงสร้างโปรแกรมควบคุมแขนหุ่นยนต์ แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างโครงสร้างโปรแกรมควบคุมแขนหุ่นยนต์

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของฟังก์ชันและเทอร์มินอลที่ใช้ในปัญหาแขนหุ่นยนต์

ชื่อฟังก์ชัน/เทอมินอล	คำอธิบาย
IF – AND	เป็นฟังก์ชันที่มี 4 อาร์กิวเมนต์ (argument) โดยจะปฏิบัติตามอาร์กิวเมนต์ที่ 3 เมื่ออาร์กิวเมนต์ที่ 1 และ 2 เป็นจริง ไม่เช่นนั้นจะปฏิบัติตามอาร์กิวเมนต์ที่ 4
IF – OR	เป็นฟังก์ชันที่มี 4 อาร์กิวเมนต์ โดยจะปฏิบัติตามอาร์กิวเมนต์ที่ 3 เมื่ออาร์กิวเมนต์ที่ 1 หรือ 2 เป็นจริง ไม่เช่นนั้นจะปฏิบัติตามอาร์กิวเมนต์ที่ 4
IF NOT	เป็นฟังก์ชันที่มี 3 อาร์กิวเมนต์ โดยจะปฏิบัติตามอาร์กิวเมนต์ที่ 2 เมื่ออาร์กิวเมนต์ที่ 1 เป็นเท็จ และจะปฏิบัติตามอาร์กิวเมนต์ที่ 3 เมื่ออาร์กิวเมนต์ที่ 1 เป็นจริง
HIT?	ตรวจสอบสภาพการชนกับสิ่งกีดขวาง โดยจะให้ค่าเป็นจริงเมื่อส่วนใดส่วนหนึ่งของแขนหุ่นยนต์มีการชนกับสิ่งกีดขวาง และให้ค่าเป็นเท็จ เมื่อไม่พบการชน
SEE?	ตรวจสอบการมองเห็นเป้าหมาย โดยให้ค่าเป็นจริง เมื่อแนวเส้นตรงจากปลายแขนหุ่นยนต์ไปยังเป้าหมายไม่มีสิ่งกีดขวางบัง และให้ค่าเป็นเท็จ เมื่อพบสิ่งกีดขวางบังอยู่
INC?	ตรวจสอบระยะทางที่เพิ่มขึ้นระหว่างปลายแขนหุ่นยนต์และเป้าหมาย โดยให้ค่าเป็นจริงเมื่อพบว่าปลายแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ออกห่างจากเป้าหมาย และให้ค่าเป็นเท็จเมื่อพบว่าปลายแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่เข้าใกล้เป้าหมาย
DEC?	จะทำหน้าที่ตรงข้ามกับ INC? คือ ให้ค่าเป็นจริงเมื่อพบว่าปลายแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่เข้าใกล้เป้าหมาย และให้ค่าเป็นเท็จเมื่อพบว่าปลายแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ออกห่างจากเป้าหมาย
OUT?	ตรวจสอบการออกนอกพื้นที่ โดยให้ค่าเป็นจริงเมื่อพบว่ามีส่วนใดส่วนหนึ่งของแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ออกนอกพื้นที่ และให้ค่าเป็นเท็จเมื่อไม่พบการออกนอกพื้นที่
s+	ทำหน้าที่เป็นคำสั่งให้หมุนข้อต่อหัวไหล่ขึ้น 1 ขั้น (5 องศา)
s-	ทำหน้าที่เป็นคำสั่งให้หมุนข้อต่อหัวไหล่ลง 1 ขั้น
e+	ทำหน้าที่เป็นคำสั่งให้หมุนข้อต่อข้อศอกขึ้น 1 ขั้น
e-	ทำหน้าที่เป็นคำสั่งให้หมุนข้อต่อข้อศอกลง 1 ขั้น
w+	ทำหน้าที่เป็นคำสั่งให้หมุนข้อต่อข้อมือขึ้น 1 ขั้น
w-	ทำหน้าที่เป็นคำสั่งให้หมุนข้อต่อข้อมือลง 1 ขั้น

3.1.2 <u>ฟังก์ชันความเหมาะสำหรับปัญหาแขนหุ่นยนต์</u>

การวัดประสิทธิภาพของโปรแกรมควบคุมแขนหุ่นยนต์ คำนวณได้จากสมการฟังก์ชันความเหมาะดังนี้

FitnessValue = -2000 x FinalDistance / InitialDistance
-100 x SumDistance / InitialDistance
-1000 x notSee
-4000 x Die

โดยที่

InitialDistance หมายถึง ระยะห่างระหว่างปลายแขนหุ่นยนต์และเป้าหมายก่อนการประมวลผลโปรแกรมหุ่นยนต์

FinalDistance หมายถึง ระยะห่างระหว่างปลายแขนหุ่นยนต์และเป้าหมายเมื่อประมวลผลตามโปรแกรมหุ่นยนต์จบแล้ว

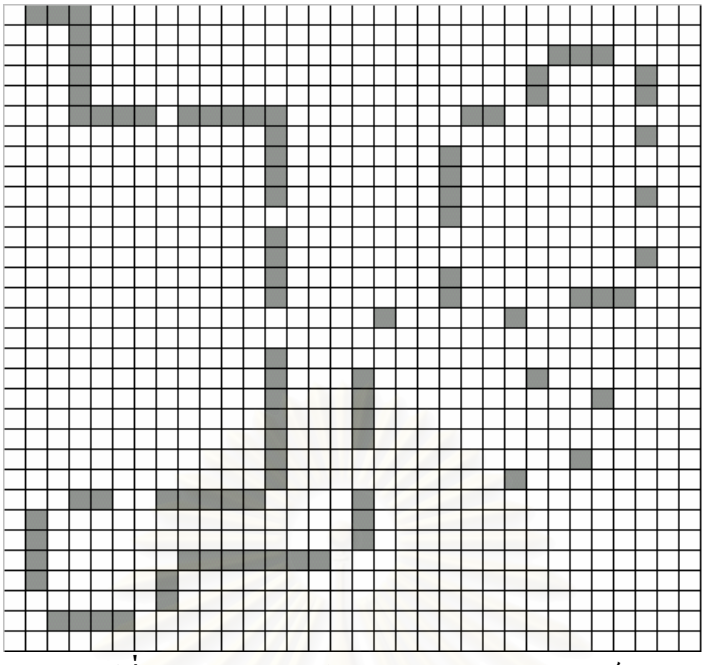
SumDistance หมายถึง ระยะทางรวมในการเคลื่อนแขนหุ่นยนต์จนจบการประมวลผลตามโปรแกรมหุ่นยนต์

notSee หมายถึง เมื่อประมวลผลตามโปรแกรมหุ่นยนต์จบแล้ว พบว่าระหว่างปลายแขนหุ่นยนต์และเป้าหมายมีสิ่งกีดขวางบังอยู่

Die หมายถึง โปรแกรมหุ่นยนต์สิ้นสุดการทำงานในลักษณะตาย ซึ่งเกิดจากระหว่างการประมวลผลโปรแกรมหุ่นยนต์ พบว่ามีการชนระหว่างแขนหุ่นยนต์และสิ่งกีดขวางมากเกินกว่าที่กำหนด

3.2 ปัญหามดประดิษฐ์

ปัญหามดประดิษฐ์ ของ Koza (1992) เป็นปัญหาที่ต้องการให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำการสังเคราะห์โปรแกรมเพื่อควบคุมให้มดประดิษฐ์สามารถไปหาอาหารซึ่งมีทั้งหมด 89 ชิ้น ในตาราง 32 x 32 ช่อง ภายในระยะเวลาที่กำหนด คือ 400 ตัวดำเนินการ (นับเฉพาะตัวดำเนินการที่เป็นเทอร์มินอล) ลักษณะของสนามที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงสนามในการทดลองมดประดิษฐ์

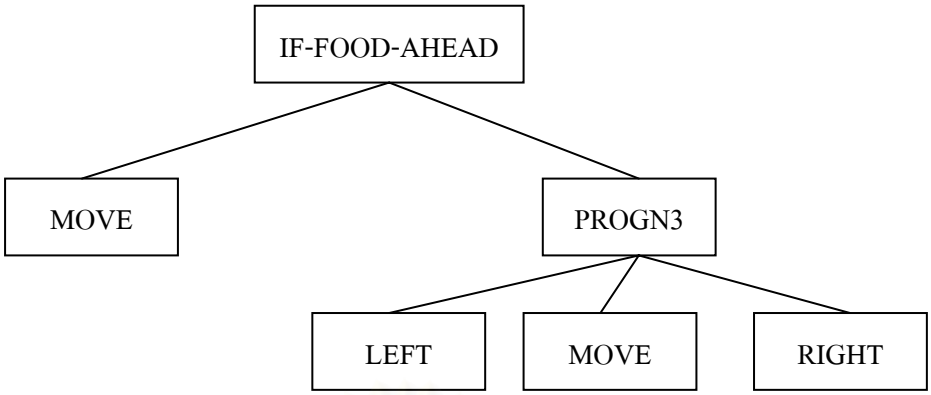
โดยการเริ่มต้นการทดลอง จะให้มดประดิษฐ์อยู่ในตารางช่องที่ (1,1) (ช่องซ้ายบนสุดของตาราง) และหันหน้าไปทางทิศตะวันออก (ทางขวาของตาราง)

3.2.1 <u>โครงสร้างโปรแกรมควบคุมมดประดิษฐ์</u>

โครงสร้างของโปรแกรมควบคุมมดประดิษฐ์ จะประกอบไปด้วย ฟังก์ชัน และ เทอร์มินอล ดังนี้

ฟังก์ชัน = {IF-FOOD-AHEAD, PROGN2, PROGN3}
เทอร์มินอล = {MOVE, RIGHT, LEFT}

โดยรายละเอียดของฟังก์ชันและเทอร์มินอลต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 3.2 และตัวอย่างโครงสร้างโปรแกรมควบคุมมดประดิษฐ์ แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างโครงสร้างโปรแกรมควบคุมมดประดิษฐ์

ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของฟังก์ชันและเทอร์มินอลที่ใช้ในปัญหามดประดิษฐ์

ชื่อฟังก์ชัน/เทอมินอล	คำอธิบาย
IF-FOOD-AHEAD	เป็นฟังก์ชันที่มี 2 อาร์กิวเมนต์ (argument) โดยจะปฏิบัติตามอาร์กิวเมนต์ที่ 1 เมื่อมีการตรวจสอบพบว่ามีอาหารอยู่ข้างหน้ามดประดิษฐ์ แต่ถ้าไม่พบจะปฏิบัติตามอาร์กิวเมนต์ที่ 2
PROGN2	เป็นฟังก์ชันที่มี 2 อาร์กิวเมนต์ โดยจะปฏิบัติตามอาร์กิวเมนต์ที่ 1 และอาร์กิวเมนต์ที่ 2 ตามลำดับ
PROGN3	เป็นฟังก์ชันที่มี 3 อาร์กิวเมนต์ โดยจะปฏิบัติตามอาร์กิวเมนต์ที่ 1 อาร์กิวเมนต์ที่ 2 และอาร์กิวเมนต์ที่ 3 ตามลำดับ
MOVE	ทำหน้าที่ควบคุมให้มดประดิษฐ์เดินไปข้างหน้า 1 ช่อง และทำการเก็บอาหารหากในช่องนั้นมีอาหารอยู่
LEFT	ทำหน้าที่ควบคุมให้มดประดิษฐ์เลี้ยวซ้าย 90 องศาโดยไม่เปลี่ยนช่อง
RIGHT	ทำหน้าที่ควบคุมให้มดประดิษฐ์เลี้ยวขวา 90 องศาโดยไม่เปลี่ยนช่อง

3.2.2 <u>ฟังก์ชันความเหมาะสำหรับปัญหามดประดิษฐ์</u>

ค่าความเหมาะของผลเฉลยแต่ละตัวของโปรแกรมควบคุมมดประดิษฐ์ จะวัดจากจำนวนอาหารที่มดประดิษฐ์นั้นสามารถค้นหาได้จากการควบคุมของผลเฉลยตัวนั้น ๆ ภายในช่วงเวลาที่กำหนด คือ 400 ตัวดำเนินการ ผลเฉลยที่ประสบความสำเร็จจะเป็นผลเฉลยที่สามารถควบคุมให้มดประดิษฐ์สามารถค้นหาอาหารได้ทั้ง 89 ชิ้น

3.3 สรุปท้ายบท

ในการทดลองปรับปรุงวิธีการไขว้เปลี่ยนในกำหนดการพันธุกรรมนี้ ได้ทำการทดลองกับปัญหา 2 ปัญหา ได้แก่ ปัญหาแขนหุ่นยนต์ ของชัยวัฒน์ เจษฎาปกรณ์ (2540) ซึ่งเป็นการจำลองการสังเคราะห์โปรแกรมเพื่อควบคุมให้แขนหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปหาเป้าหมายได้โดยต้องหลบหลีกสิ่งกีดขวาง และปัญหามดประดิษฐ์ ของ Koza (1992) ซึ่งเป็นการจำลองการสังเคราะห์โปรแกรมเพื่อควบคุมมดประดิษฐ์ให้สามารถไปหาอาหารทั้งหมด 89 ชิ้น ในตาราง 32 x 32 ช่อง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

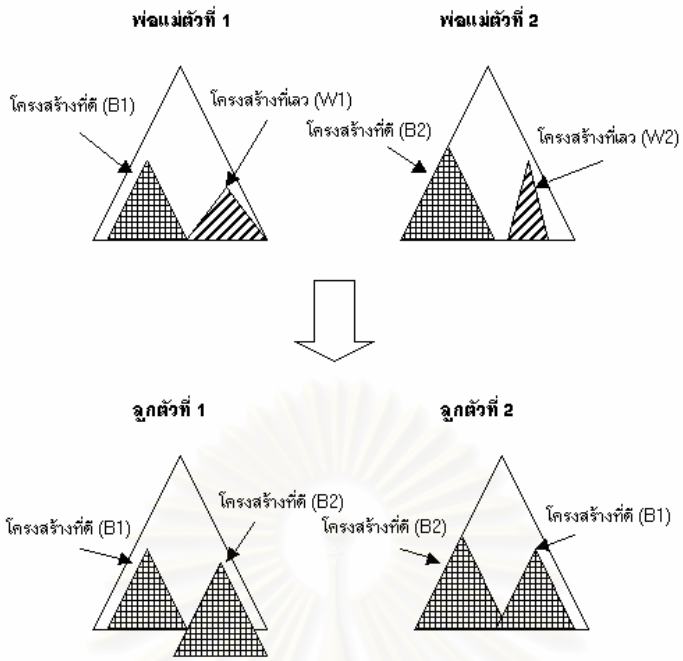
การทดลองและผลการทดลอง

บทนี้จะได้กล่าวถึงวิธีการในการทดลองเพื่อลดทอนความเพียรพยายามเชิงคำนวณโดยปรับปรุงวิธีการไขว้เปลี่ยนในกำหนดการพันธุกรรม ซึ่งในการปรับปรุงวิธีการไขว้เปลี่ยนนี้ จะได้ทำการทดลองกับปัญหาแขนหุ่นยนต์ของชัยวัฒน์ เจษฎาปกรณ์ (2540) ก่อน และเมื่อได้ผลการทดลองที่สามารถลดทอนความเพียรพยายามเชิงคำนวณลงได้จริง จึงจะได้นำวิธีการดังกล่าวมาทดลองกับปัญหามดประดิษฐ์ของ Koza (1992) เพื่อให้แน่ใจว่าวิธีการดังกล่าวสามารถลดทอนความเพียรพยายามเชิงคำนวณในกำหนดการพันธุกรรมสำหรับปัญหาหุ่นยนต์ได้จริง

4.1 แนวคิดในการทดลอง

การไขว้เปลี่ยนในกำหนดการพันธุกรรมแบบปกติ จะเป็นการสุ่มเลือกจุดไขว้เปลี่ยนและทำการสลับโครงสร้าง ณ จุดที่สุ่มได้ ซึ่งอาจก่อให้เกิดการทำลายโครงสร้างที่ดีของผลเฉลย ในงานวิจัยนี้จึงต้องการทำการทดลองเพื่อหาโครงสร้างที่ดี และโครงสร้างที่เลวของผลเฉลยเพื่อนำมาใช้ในการไขว้เปลี่ยน โดยหากผลเฉลยใดประกอบไปด้วยโครงสร้างที่ดี น่าจะทำให้ค่าความเหมาะของผลเฉลยนั้นดีไปด้วย นั่นหมายถึงจะทำให้โอกาสในการพบคำตอบมีมากขึ้น และผลเฉลยใดที่ประกอบไปด้วยโครงสร้างที่เลว ก็น่าจะทำให้ค่าความเหมาะของผลเฉลยนั้นแย่ลงไป ซึ่งในการทดลองหาโครงสร้างที่ดี และโครงสร้างที่เลวของผลเฉลยนั้น จะได้กล่าวในรายละเอียดในหัวข้อต่อ ๆ ไป

ลักษณะการไขว้เปลี่ยนในการทดลองนี้ จะมีลักษณะแตกต่างจากการไขว้เปลี่ยนแบบปกติกล่าวคือ ในการไขว้เปลี่ยนนี้ จะทำการรวมโครงสร้างที่ดีของพ่อแม่ทั้งสองเข้าด้วยกัน และตัดโครงสร้างที่เลวออก โดยการนำโครงสร้างที่ดีของผลเฉลยตัวหนึ่งไปแทนที่โครงสร้างที่เลวของผลเฉลยอีกตัวหนึ่ง ทำให้ผลเฉลยลูกที่ได้ประกอบไปด้วยโครงสร้างที่ดีของพ่อแม่ทั้งสอง ซึ่งวิธีการไขว้เปลี่ยน แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะการไขว้เปลี่ยนที่ใช้ในการทดลอง

นอกจากนี้ เพื่อให้แน่ใจว่าโครงสร้างที่ดีและโครงสร้างที่เลว มีผลกับประสิทธิภาพในการพบคำตอบจริง จึงจะทำการทดลองการไขว้เปลี่ยนอีก 2 แบบ คือ

1. นำโครงสร้างที่เลวของตนไปแทนที่โครงสร้างที่ดีของผลเฉลยอีกตัวหนึ่งหนึ่ง ทำให้ผลเฉลยลูกทั้งสองประกอบไปด้วยโครงสร้างที่เลวของพ่อแม่ทั้งสอง ซึ่งผลที่ได้น่าจะทำให้ค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณสูงขึ้นกว่าวิธีการไขว้เปลี่ยนแบบปกติ

2. นำโครงสร้างที่ดีของตนมาสลับกับโครงสร้างที่เลวของผลเฉลยอีกตัวหนึ่ง ทำให้ผลเฉลยลูกที่ได้ ตัวหนึ่งจะประกอบด้วยโครงสร้างที่ดีของพ่อแม่ทั้งสอง และอีกตัวหนึ่งประกอบด้วยโครงสร้างที่เลวของพ่อแม่ทั้งสอง ซึ่งผลที่ได้น่าจะทำให้ค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณมีค่าใกล้เคียงหรือสูงกว่าการไขว้เปลี่ยนแบบการนำโครงสร้างที่ดีมาแทนที่โครงสร้างที่เลวเล็กน้อย

4.2 การออกแบบการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองการไขว้เปลี่ยนนี้ หลังจากออกแบบวิธีการไขว้เปลี่ยน ซึ่งได้กล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อ 4.1 แล้ว จากนั้นจะทำการทดลองหาค่าจำนวนรอบของการทำซ้ำ (หัวข้อ 4.3) เพื่อเก็บค่าทางสถิติ และทำการทดลองหาโครงสร้างที่ดีและโครงสร้างที่เลวจากความถี่ที่ใช้ (หัวข้อ 4.4) แต่เนื่องจากวิธีการหาโครงสร้างจากความถี่ที่ใช้นั้น ไม่ส่งผลกระทบกับการเพิ่มประสิทธิภาพในกำหนดการพันธุกรรม จึงได้ทำการปรับปรุงวิธีการหาโครงสร้าง โดยการทดลองหาโครงสร้างที่ดีและโครงสร้างที่เลวด้วยวิธีการเล็มกิ่ง (Pruning) ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวใน

หัวข้อ 4.5 และสุดท้ายจะทำการทดลองเพื่อทวนสอบประสิทธิภาพของวิธีการไขว้เปลี่ยนแบบการนำโครงสร้างที่ดีมาแทนที่โครงสร้างที่เลวด้วยวิธีการเล็มกิ่ง โดยทดลองกับปัญหามดประดิษฐ์ (หัวข้อ 4.6)

4.3 การทดลองหาค่าจำนวนรอบของการทำซ้ำ

ในการทดลองเพื่อต้องการวัดค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณ ซึ่งเป็นค่าทางสถิติ จำเป็นจะต้องมีการทำซ้ำหลาย ๆ รอบ ซึ่งยิ่งทำซ้ำมาก ค่าสถิติก็จะยิ่งน่าเชื่อถือ (เพราะมีข้อมูลมาก) แต่จะเสียเวลาในการทดลองมากตามไปด้วย

การทดลองเพื่อหาจำนวนรอบของการทำซ้ำ จะใช้ปัญหาแขนหุ่นยนต์ สภาพแวดล้อมที่ 1 ด้วยอัตราการสืบพันธุ์ 10% อัตราการไขว้เปลี่ยน 70% และอัตราการกลาย 20% ซึ่งจะทำซ้ำ 5 แบบ คือ 100 รอบ 200 รอบ 500 รอบ 1000 รอบ และ 2000 รอบ ในแต่ละแบบจะทดลองซ้ำ 10 ครั้ง และวัดค่าการกระจายสัมพัทธ์ (Relative Dispersion) ของข้อมูล ซึ่งทำให้เห็นเปอร์เซนต์ของความเบี่ยงเบนที่ได้จากการทดลองโดยผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าการกระจายสัมพัทธ์ของข้อมูลและเวลาที่ใช้โดยประมาณของการทดลองรันในจำนวนรอบต่าง ๆ

จำนวนรอบการทดลอง	**100 รอบ**	**200 รอบ**	**500 รอบ**	**1000 รอบ**	**2000 รอบ**
ค่าการกระจายสัมพัทธ์	32.78%	21.62%	18.68%	13.21%	8.15%
เวลาที่ใช้โดยประมาณ	10 นาที	20 นาที	30 นาที	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง

จากผลการทดลองพบว่า หากเพิ่มจำนวนรอบของการทดลองมากขึ้น จะทำให้การกระจายของข้อมูลในแต่ละครั้งของการทดลองลดลง นั้นหมายถึงความเชื่อถือได้ที่จะนำข้อมูลตัวใดตัวหนึ่งมาเป็นตัวแทนของข้อมูลในกลุ่มนั้น แต่จากการทดลอง เมื่อเพิ่มจำนวนรอบมากขึ้น จะเพิ่มเวลาในการทดลองมากขึ้น ซึ่งจากตารางที่ 4.1 เวลาที่ใช้โดยประมาณนี้ จะเป็นเวลาที่เกิดจากการไขว้เปลี่ยนแบบปกติ ซึ่งหากเป็นการไขว้เปลี่ยนแบบการหาโครงสร้างโดยความถี่แล้ว เวลาที่ใช้จะเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่า และหากใช้การไขว้เปลี่ยนแบบการหาโครงสร้างด้วยวิธีการเล็มกิ่ง จะใช้เวลาเพิ่มขึ้นประมาณ 5 เท่า ดังนั้นในการทดลองสำหรับปัญหาแขนหุ่นยนต์นี้จึงเลือกจำนวนรอบเท่ากับ 1000 รอบ เนื่องจากจะได้ใช้เวลาไม่มากนักต่อการทดลอง 1 ครั้ง และการกระจายของข้อมูลก็อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

4.4 การทดลองหาโครงสร้างที่ดีและโครงสร้างที่เลวจากความถี่ที่ใช้

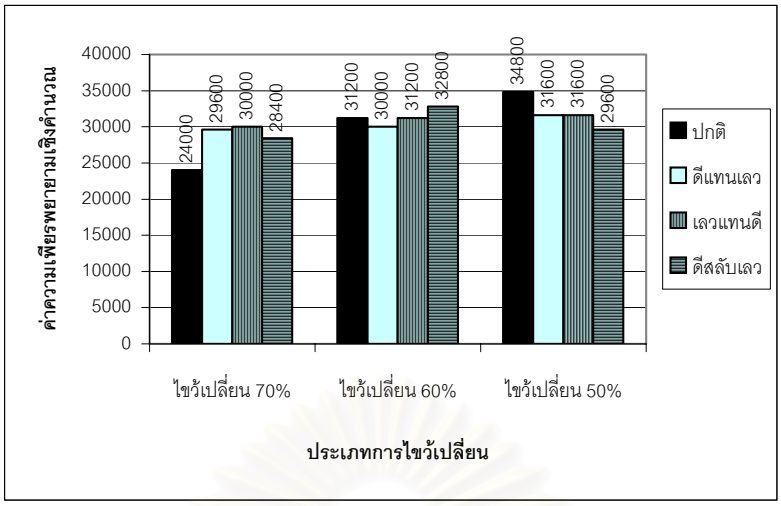
ในโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์สำหรับปัญหาแขนหุ่นยนต์ จะมีลักษณะการทำงานที่วนซ้ำจนกระทั่งครบตามเวลาที่กำหนด โครงสร้างที่ดีน่าจะเป็นส่วนของโปรแกรมที่ถูกเรียกใช้มากที่สุด ส่วนโครงสร้างที่เลวจะเป็นส่วนของโปรแกรมที่ถูกเรียกใช้น้อยที่สุด เพราะฉะนั้นในการหาโครงสร้างที่ดีและโครงสร้างที่เลวจะต้องทำการเก็บความถี่ของแต่ละโนดในโครงสร้างโปรแกรมที่ถูกเรียกใช้งาน

การหาความถี่ในโครงสร้างโปรแกรม จะนำโปรแกรมดังกล่าวไปควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ หากโนดใดถูกเรียกใช้งานในการควบคุม จะเพิ่มค่าความถี่ของโนดนั้นขึ้น 1 ซึ่งจะทำการวนซ้ำโปรแกรมควบคุมแขนหุ่นยนต์ตัวนี้จนกระทั่งครบตามเวลาที่กำหนด จะทำให้ได้ความถี่ของแต่ละโนดที่แตกต่างกันตามการถูกเรียกใช้งาน และหาค่าความดีของโครงสร้างจาก :

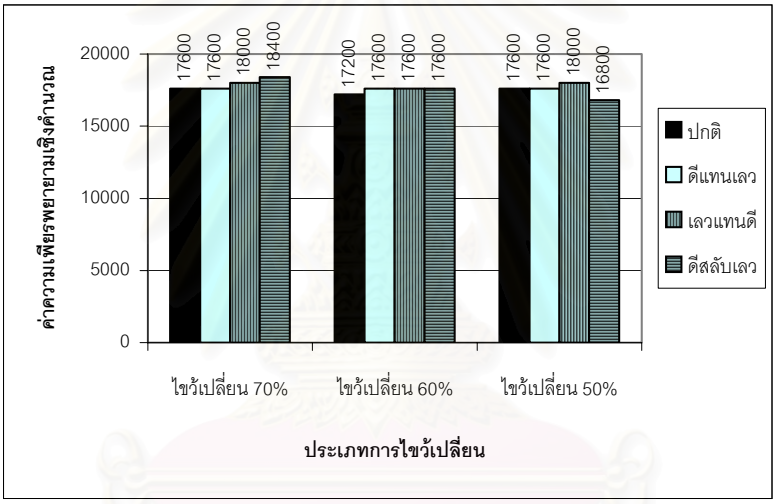
$$\text{ความดีของโครงสร้าง} = \frac{\text{ผลรวมของความถี่ของโนดในโครงสร้าง}}{\text{ขนาดของส่วนของโครงสร้าง}}$$

จากสูตรข้างต้น โครงสร้างที่มีค่ามาก จะหมายถึงโครงสร้างที่ดี และโครงสร้างที่มีค่าน้อยจะหมายถึงโครงสร้างที่เลว แต่เนื่องจากถ้าขนาดของส่วนของโครงสร้างเท่ากับ 1 ซึ่งหมายถึงโนดใบ จะทำให้ค่าความดีของโครงสร้างมีค่ามาก ซึ่งจะมีโอกาสในการถูกเลือกเพื่อใช้ในการไขว้เปลี่ยนมาก ทำให้การไขว้เปลี่ยนดังกล่าวมีลักษณะการกลายแบบจุดเป็นส่วนใหญ่ ดังที่ Koza (ค.ศ. 1992) ได้กล่าวไว้ ดังนั้นจึงกำหนดให้ขนาดของส่วนของโครงสร้างที่เป็นโนดใบมีค่ามาก ๆ (ในที่นี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1000) เพื่อไม่ให้โนดใบเป็นโครงสร้างที่ดี

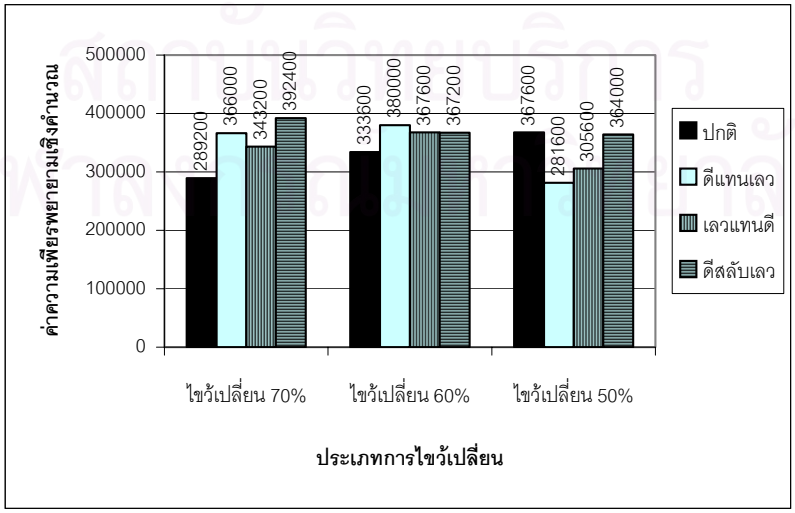
ในการเลือกจุดไขว้เปลี่ยน จะทำการสุ่มเลือกจุดไขว้เปลี่ยนโดยจะให้โอกาสในการเลือกจุดตามค่าความดีของโครงสร้าง ซึ่งจากการทดลอง โดยกำหนดให้พารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้คือ จำนวนประชากร เท่ากับ 400 ตัว ขนาดเริ่มต้นของประชากร เท่ากับ 80 โนด จำนวนรุ่นเท่ากับ 10 รุ่น จำนวนทำซ้ำเท่ากับ 1000 รอบ อัตราการกลายแบบต่อยอด 10% อัตราการกลายแบบต่อปลาย 10% ส่วนอัตราการสืบพันธุ์และอัตราการไขว้เปลี่ยนจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ 10% กับ 70% 20% กับ 60% และ 30% กับ 50% ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.2 ถึง รูปที่ 4.4 และได้นำผลการทดลองที่อัตรา 10% กับ 70% มาสร้างเป็นเส้นโค้งสมรรถนะ(Performance Curve) (Koza ค.ศ. 1992 หน้า 201 – หน้า 203) เพื่อดูประสิทธิภาพในการเรียนรู้ แสดงดังรูปที่ 4.5 ถึงรูปที่ 4.16



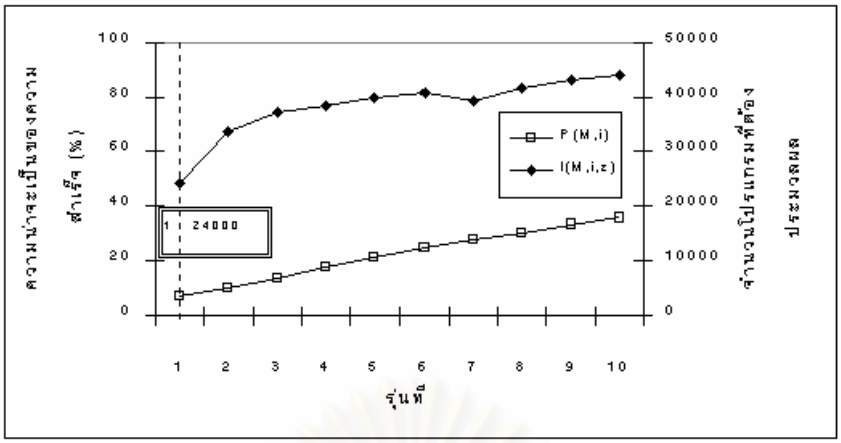
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของปัญหาแขนหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อมที่ 1



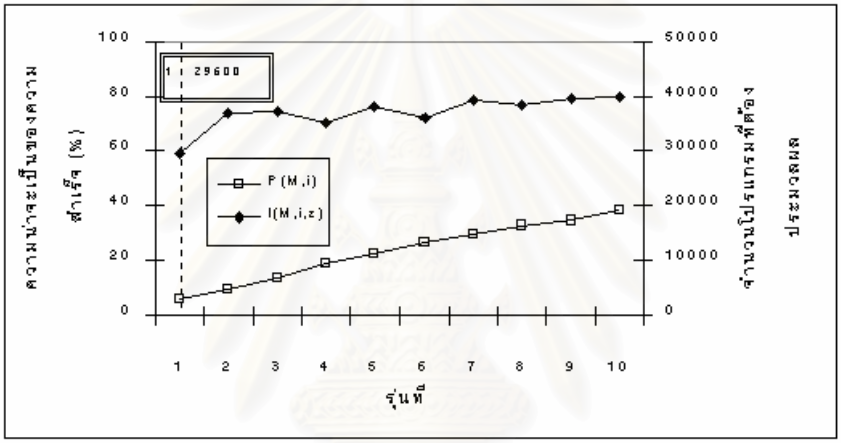
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของปัญหาแขนหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อมที่ 2



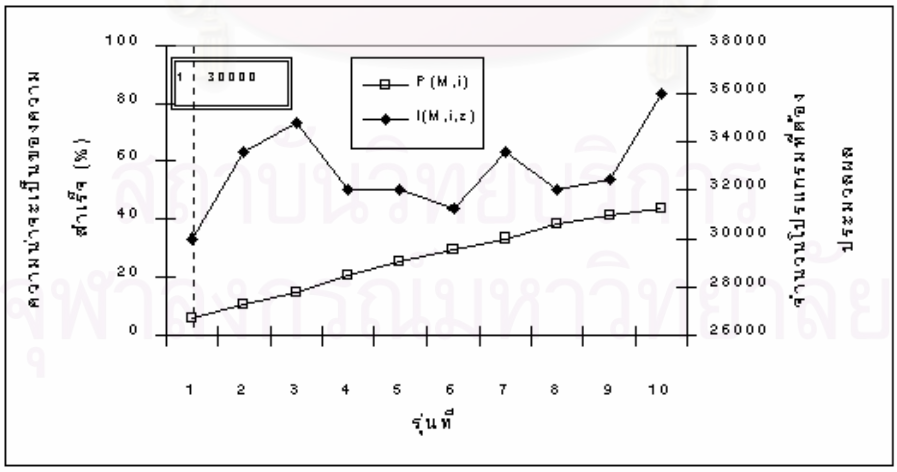
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของปัญหาแขนหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อมที่ 3



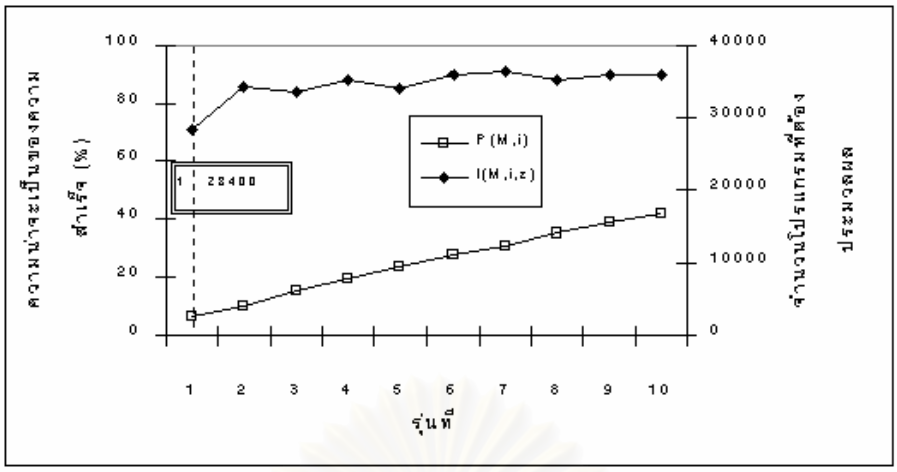
รูปที่ 4.5 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในสภาพแวดล้อมที่ 1



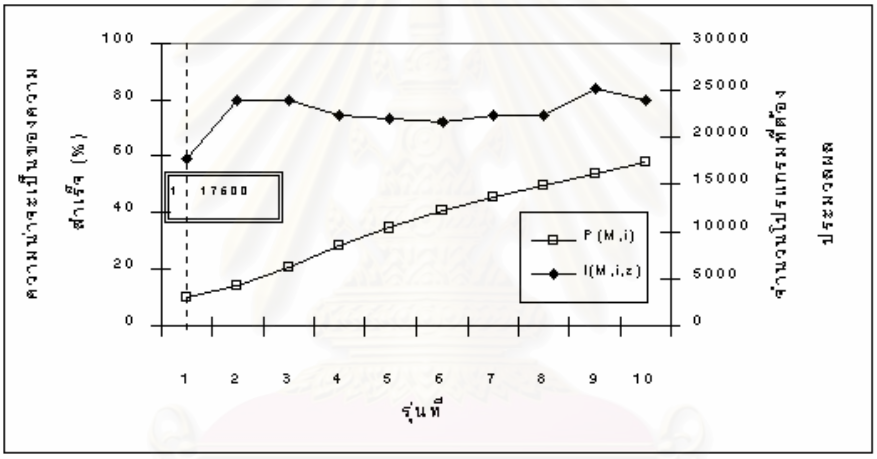
รูปที่ 4.6 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปแทนที่โครงสร้างที่เลวในสภาพแวดล้อมที่ 1



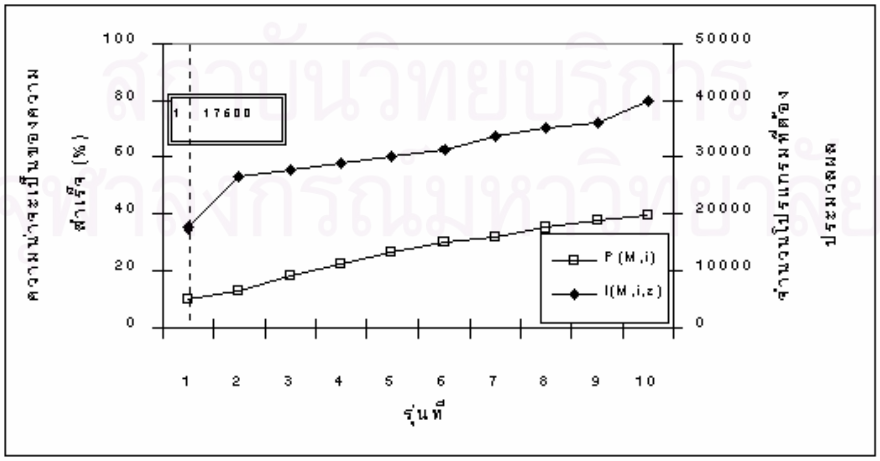
รูปที่ 4.7 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่เลวไปแทนที่โครงสร้างที่ดีในสภาพแวดล้อมที่ 1



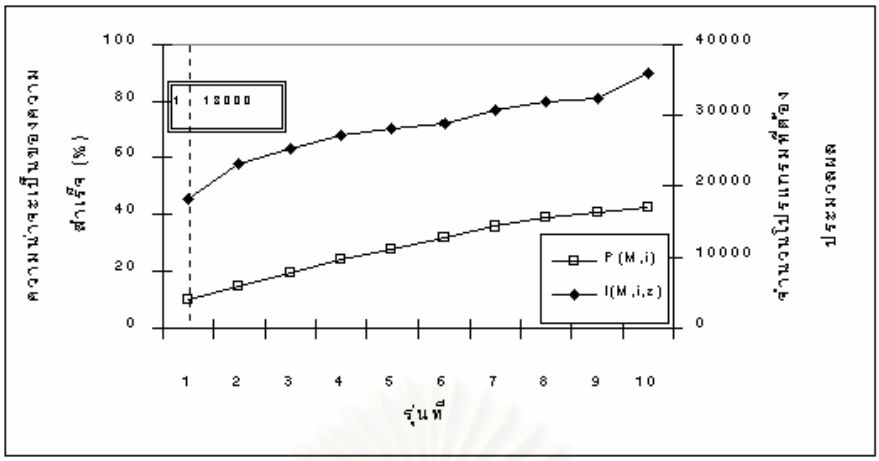
รูปที่ 4.8 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปสลับกับโครงสร้างที่เลวในสภาพแวดล้อมที่ 1



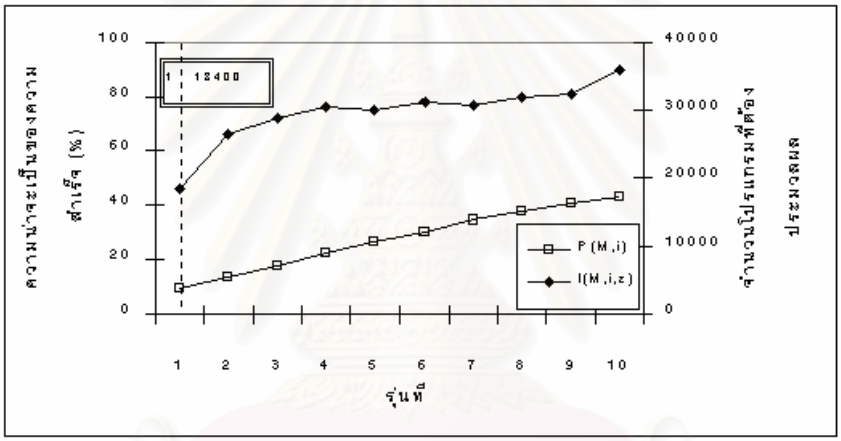
รูปที่ 4.9 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในสภาพแวดล้อมที่ 2



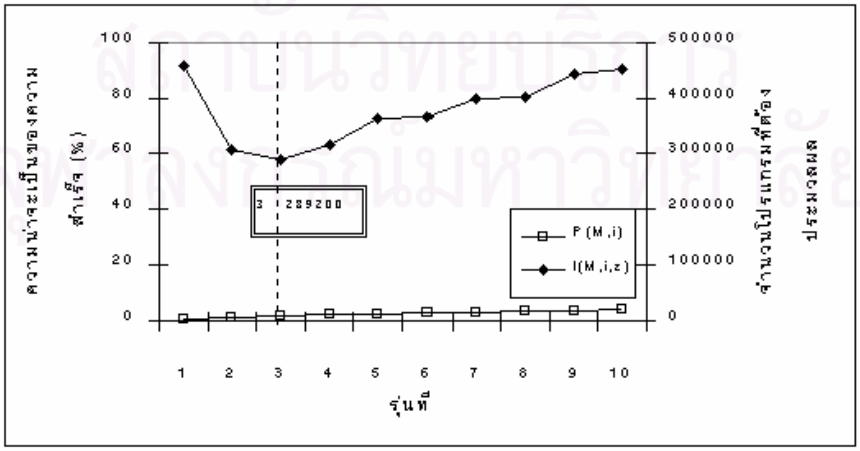
รูปที่ 4.10 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปแทนที่โครงสร้างที่เลวในสภาพแวดล้อมที่ 2



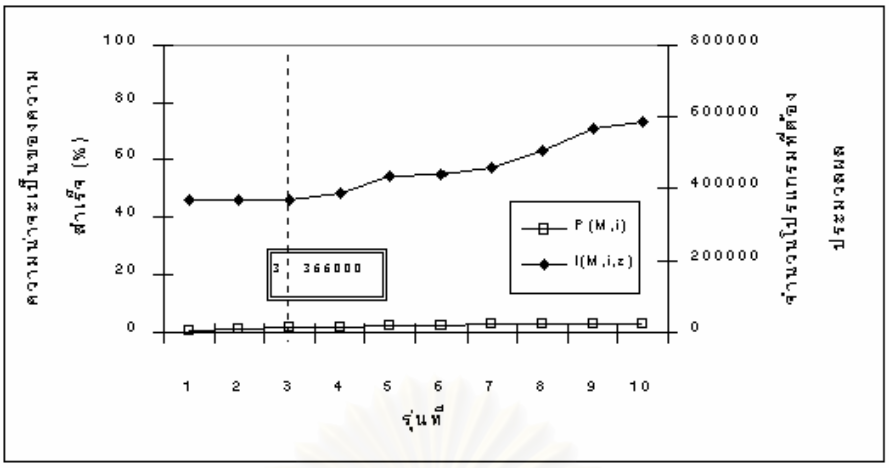
รูปที่ 4.11 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่เลวไปแทนที่โครงสร้างที่ดีในสภาพแวดล้อมที่ 2



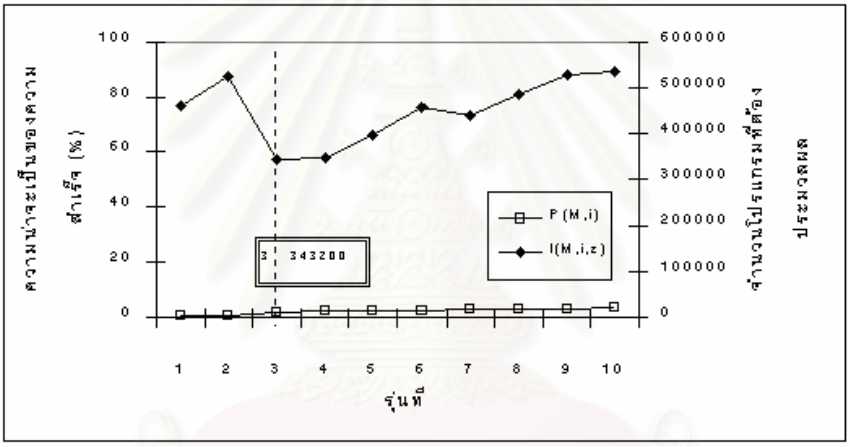
รูปที่ 4.12 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปสลับกับโครงสร้างที่เลวในสภาพแวดล้อมที่ 2



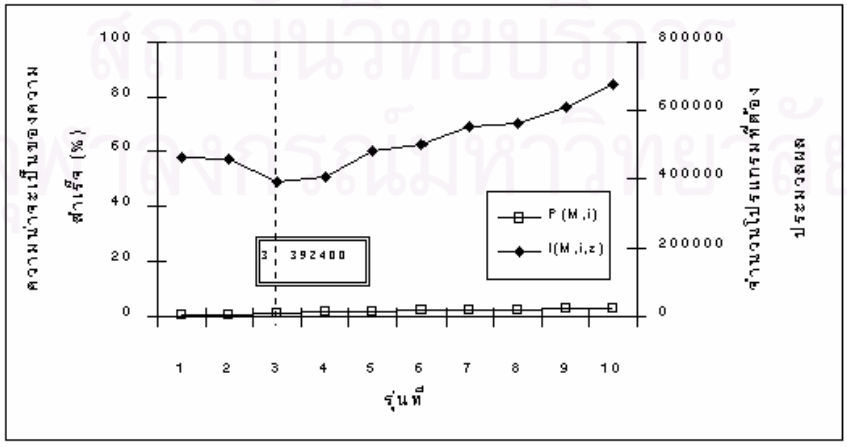
รูปที่ 4.13 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในสภาพแวดล้อมที่ 3



รูปที่ 4.14 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปแทนที่โครงสร้างที่เลวในสภาพแวดล้อมที่ 3



รูปที่ 4.15 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่เลวไปแทนที่โครงสร้างที่ดีในสภาพแวดล้อมที่ 3



รูปที่ 4.16 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปสลับกับโครงสร้างที่เลวในสภาพแวดล้อมที่ 3

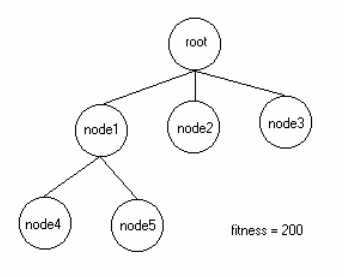
จากกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณและเส้นโค้งสมรรถนะ แสดงให้เห็นว่า การใช้การไขว้เปลี่ยนโดยเลือกจุดไขว้เปลี่ยนด้วยความถี่ที่ใช้ในโครงสร้างโปรแกรมไม่ส่งผลกับการเพิ่มประสิทธิภาพในกำหนดการพันธุกรรม

4.5 การทดลองหาโครงสร้างที่ดีและโครงสร้างที่เลวด้วยวิธีการเล็มกิ่ง (Pruning)

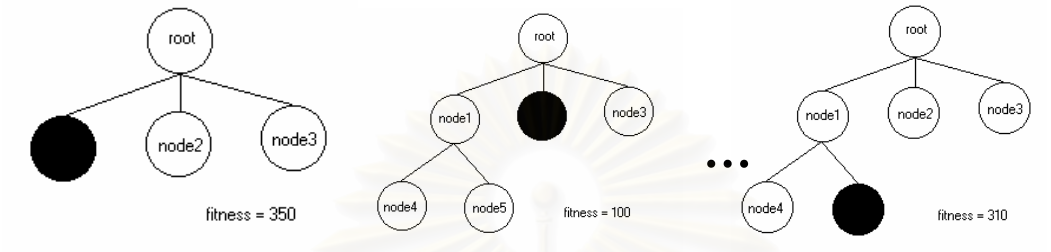
จากการทดลองหาโครงสร้างที่ดีและโครงสร้างที่เลวจากความถี่ที่ถูกเรียกใช้ในโครงสร้างโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ ซึ่งไม่สามารถลดความเพียรพยายามเชิงคำนวณลงได้ ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองหาโครงสร้างที่ดีและโครงสร้างที่เลวจากผลกระทบกับค่าความเหมาะของผลเฉลยนั้น ๆ โดยโครงสร้างที่ดีและโครงสร้างที่เลวของผลเฉลยนั้นน่าจะเป็นโครงสร้างที่มีผลกระทบต่อค่าความเหมาะของผลเฉลยนั้น ๆ มากที่สุดและน้อยที่สุดตามลำดับ

ในการหาโครงสร้างที่ดีและโครงสร้างที่เลว จะทำการหาโครงสร้างที่มีผลกระทบต่อค่าความเหมาะของผลเฉลยที่จะนำมาใช้ในการไขว้เปลี่ยน โดยผลเฉลยแต่ละตัวจะถูกนำมาหาโครงสร้าง 2 โครงสร้าง โดยโครงสร้างหนึ่ง เป็นโครงสร้างที่ดี ซึ่งได้แก่โครงสร้างที่มีความสำคัญต่อค่า ความเหมาะของผลเฉลยนั้นมากที่สุด คือถ้าขาดโครงสร้างนี้ไปแล้วจะทำให้ค่าความเหมาะของผลเฉลยนั้นแย่ลงไปมาก และอีกโครงสร้างหนึ่ง เป็นโครงสร้างที่เลว ซึ่งได้แก่โครงสร้างที่มีความสำคัญต่อค่าความเหมาะของผลเฉลยนั้นน้อยที่สุด คือ ถ้าขาดโครงสร้างนี้ไปแล้วจะไม่ทำให้ค่าความเหมาะเปลี่ยนแปลง หรืออาจทำให้ค่าความเหมาะของผลเฉลยนั้นดีขึ้น ซึ่งวิธีการหาโครงสร้างทั้งสองนี้ จะใช้วิธีการเล็มกิ่ง โดยจะทำการตัดกิ่งทีละโนดในโครงสร้างโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์จนครบทุกโนดยกเว้นโนดราก (root node) และในการเล็มกิ่งแต่ละโนดนั้น จะนำไปวัดค่าความเหมาะด้วยฟังก์ชันความเหมาะและดูว่ากิ่งใดที่ทำให้ค่า ความเหมาะแย่ลงไปมากที่สุด จะถือว่ากิ่งนั้นเป็นโครงสร้างที่ดี และกิ่งใดที่ทำให้ค่าความเหมาะแย่ลงไปน้อยที่สุด หรือดีขึ้นมากที่สุด เป็นโครงสร้างที่เลว แสดงดังรูปที่ 4.17

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

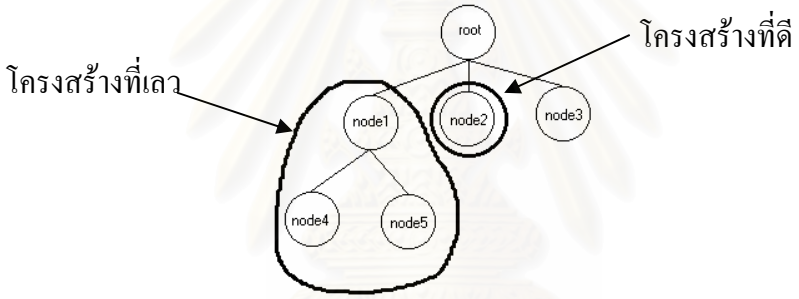


(ก) ก่อนการเล็มกิ่ง



เล็มโนดที่ 1 เล็มโนดที่ 2 เล็มโนดที่ 5

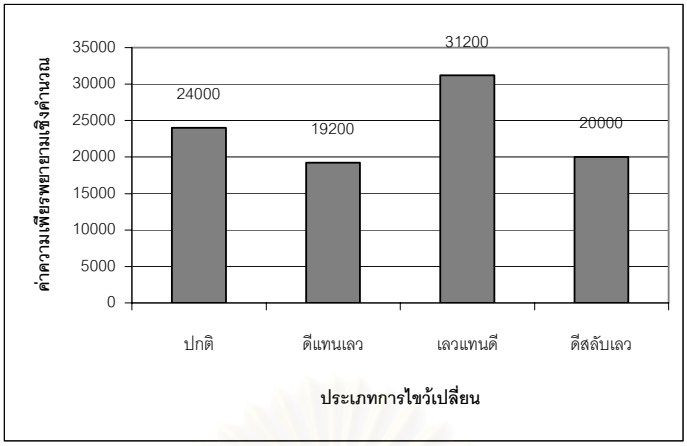
(ข) หลังการเล็มกิ่งแต่ละโนด



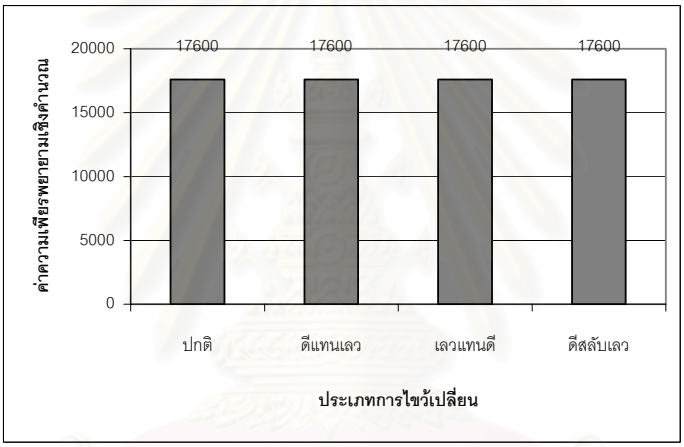
(ค) โครงสร้างที่ดีและโครงสร้างที่เลวที่หาได้

รูปที่ 4.17 แสดงการหาโครงสร้างที่ดีและโครงสร้างที่เลวด้วยวิธีการเล็มกิ่ง

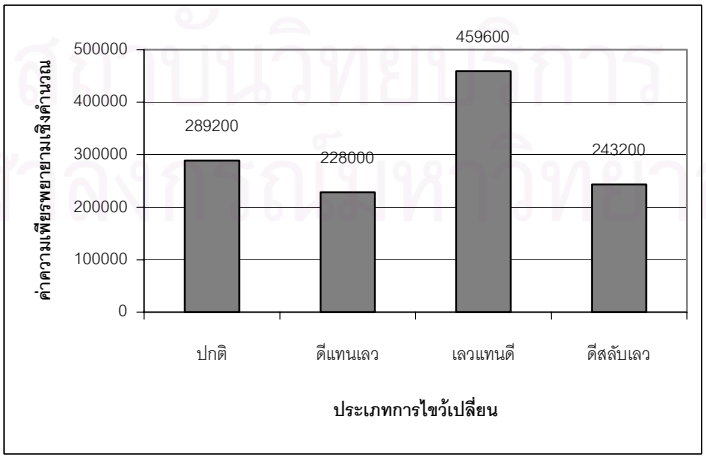
ในการเล็มกิ่งแต่ละครั้ง เพื่อไม่ให้โครงสร้างของผลเฉลยเสียไป จะทำการนำโนดใบพิเศษมาใส่แทน โดยโนดใบพิเศษนี้จะเป็นโนดที่ไม่มีการกระทำใด ๆ ในการทดลองนี้จะใช้โนดใบพิเศษที่ชื่อว่า NOP (No Operation) และมีการคืนค่าเป็นเท็จ จากการทดลองสุ่มเล็มกิ่ง 20 โนด เพื่อหาโครงสร้างที่ดีและโครงสร้างที่เลวเพื่อใช้ในการไขว้เปลี่ยน โดยได้ทำการทดลองที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 70% เพื่อให้เห็นว่าการไขว้เปลี่ยนโดยการหาโครงสร้างที่ดีและโครงสร้างที่เลวด้วยวิธีการเล็มกิ่ง จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของกำหนดการพันธุกรรม โดยใช้เวลาในการทดลองไม่มาก ซึ่งผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.18 ถึง รูปที่ 4.20



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของปัญหาแขนหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อมที่ 1 โดยวิธีการเล็มกิ่ง 20 โนด

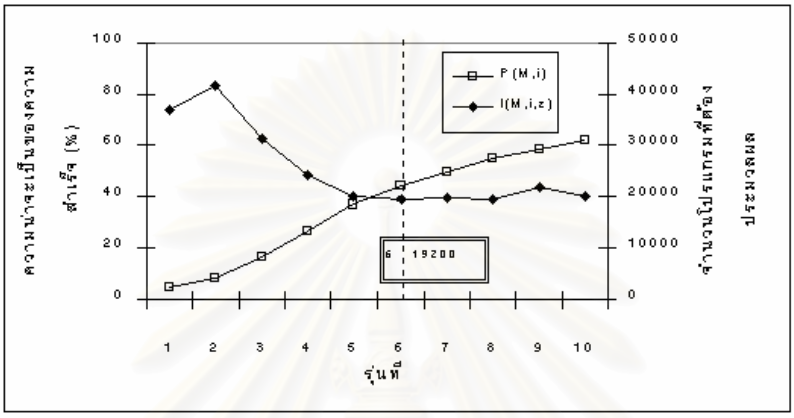


รูปที่ 4.19 กราฟแสดงค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของปัญหาแขนหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อมที่ 2 โดยวิธีการเล็มกิ่ง 20 โนด

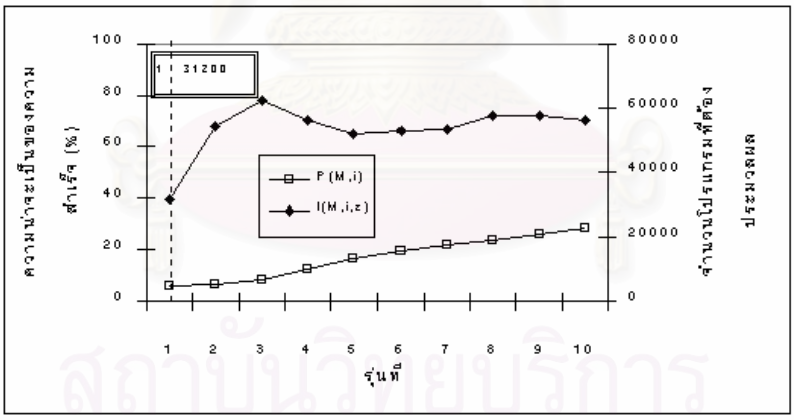


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของปัญหาแขนหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อมที่ 3 โดยวิธีการเล็มกิ่ง 20 โนด

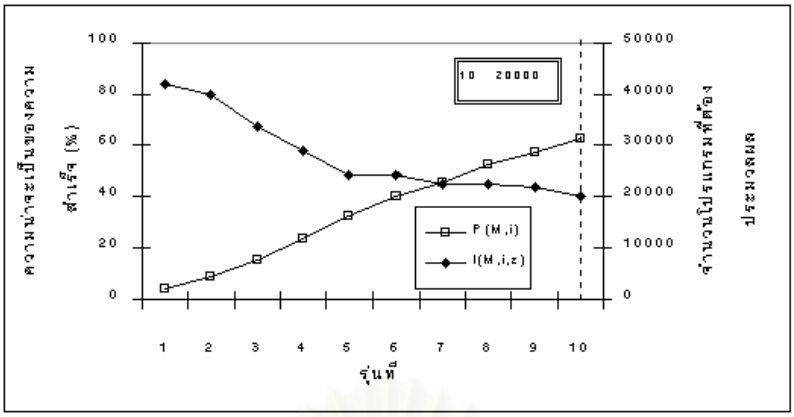
จากผลการทดลองจะเห็นว่าค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของวิธีการนำโครงสร้างที่เลวมาแทนที่โครงสร้างที่ดีด้วยวิธีการเล็มกิ่ง 20 โนด ในสภาพแวดล้อมที่ 1 และสภาพแวดล้อมที่ 3 มีค่าที่สูงขึ้นมากอย่างเห็นได้ชัด และการนำโครงสร้างที่ดีมาแทนที่โครงสร้างที่เลวมีค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณที่ลดลงจากวิธีการไขว้เปลี่ยนแบบปกติ จึงได้นำผลการทดลองมาสร้างเป็นเส้นโค้งสมรรถนะ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.21 ถึง รูปที่ 4.29



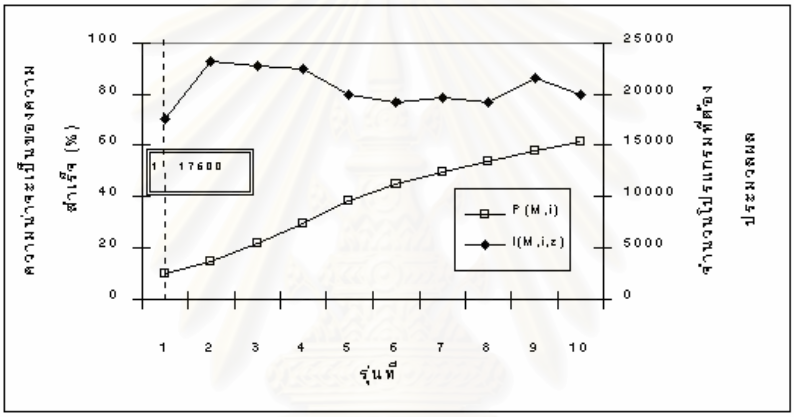
รูปที่ 4.21 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปแทนที่โครงสร้างที่เลวในสภาพแวดล้อมที่ 1 เมื่อใช้วิธีการเล็มกิ่ง 20 โนด



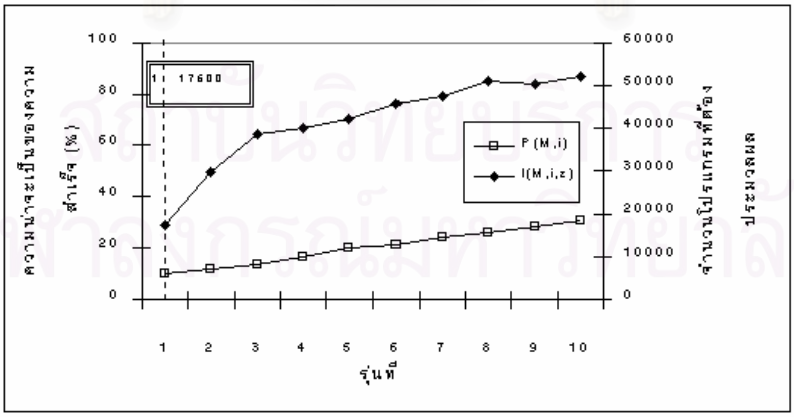
รูปที่ 4.22 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่เลวไปแทนที่โครงสร้างที่ดีในสภาพแวดล้อมที่ 1 เมื่อใช้วิธีการเล็มกิ่ง 20 โนด



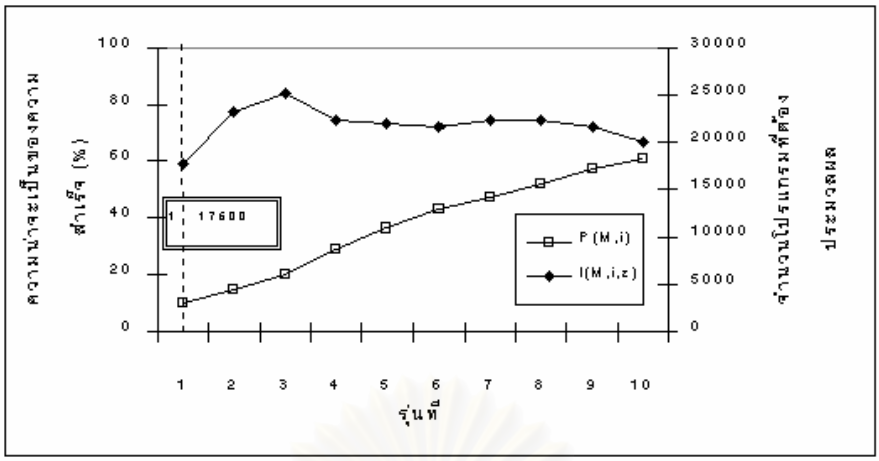
รูปที่ 4.23 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปสลับกับโครงสร้างที่เลวในสภาพแวดล้อมที่ 1 เมื่อใช้วิธีการเล็มกิ่ง 20 โนด



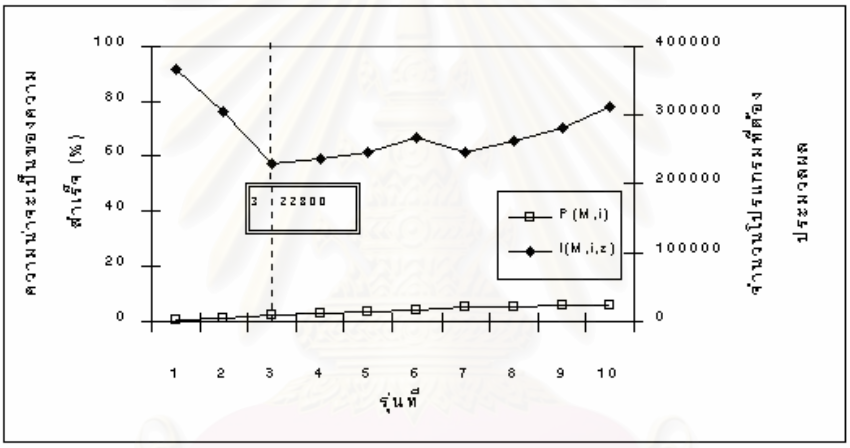
รูปที่ 4.24 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปแทนที่โครงสร้างที่เลวในสภาพแวดล้อมที่ 2 เมื่อใช้วิธีการเล็มกิ่ง 20 โนด



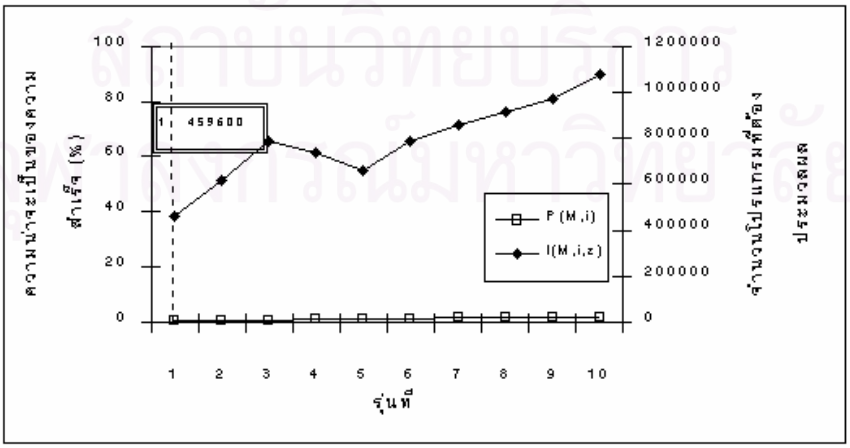
รูปที่ 4.25 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่เลวไปแทนที่โครงสร้างที่ดีในสภาพแวดล้อมที่ 2 เมื่อใช้วิธีการเล็มกิ่ง 20 โนด



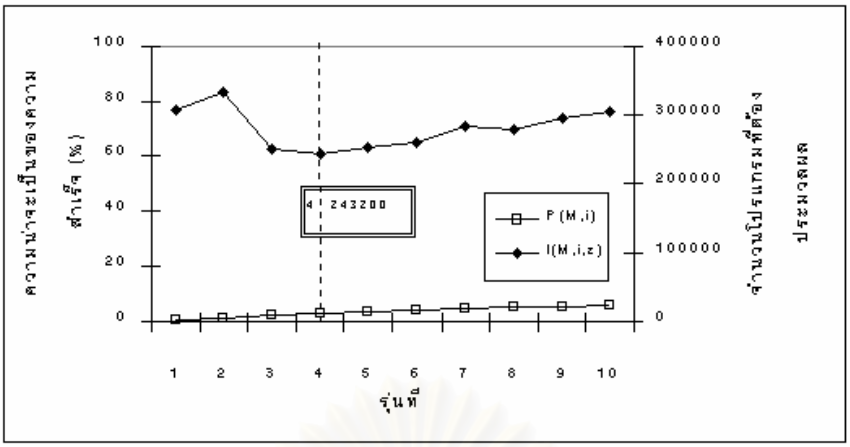
รูปที่ 4.26 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปสลับกับโครงสร้างที่เลวในสภาพแวดล้อมที่ 2 เมื่อใช้วิธีการเล็มกิ่ง 20 โนด



รูปที่ 4.27 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปแทนที่โครงสร้างที่เลวในสภาพแวดล้อมที่ 3 เมื่อใช้วิธีการเล็มกิ่ง 20 โนด

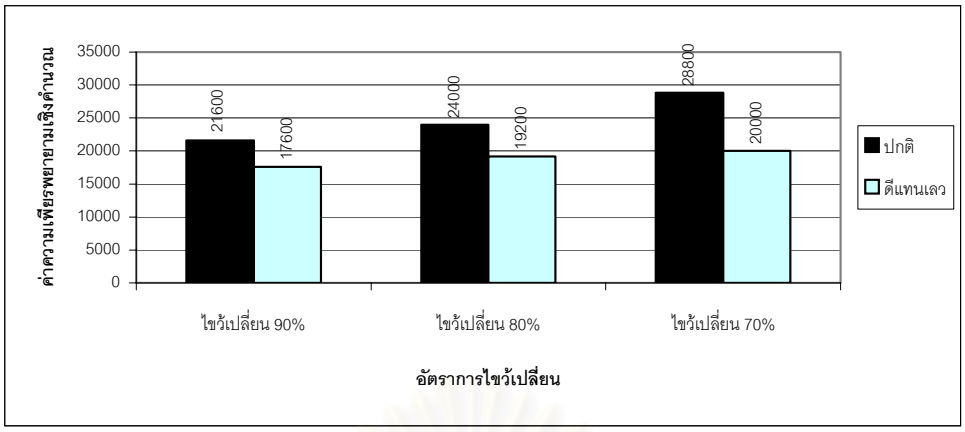


รูปที่ 4.28 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่เลวไปแทนที่โครงสร้างที่ดีในสภาพแวดล้อมที่ 3 เมื่อใช้วิธีการเล็มกิ่ง 20 โนด

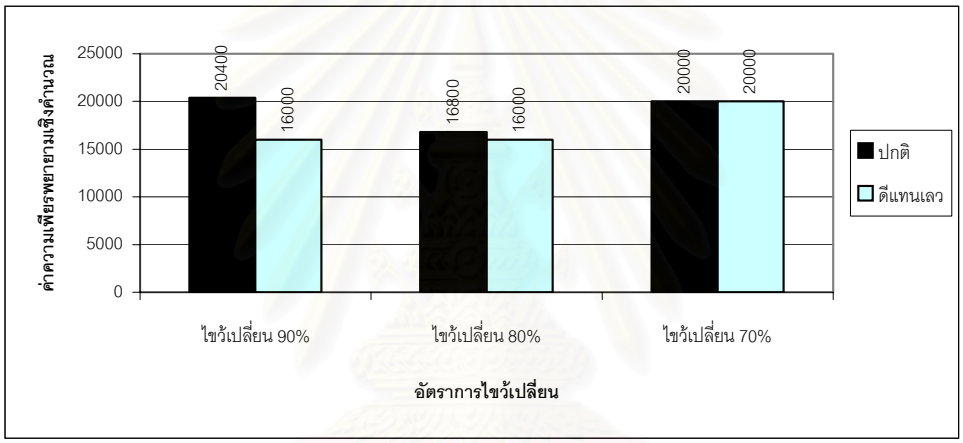


รูปที่ 4.29 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปสลับกับโครงสร้างที่เลวในสภาพแวดล้อมที่ 3 เมื่อใช้วิธีการเล็มกิ่ง 20 โนด

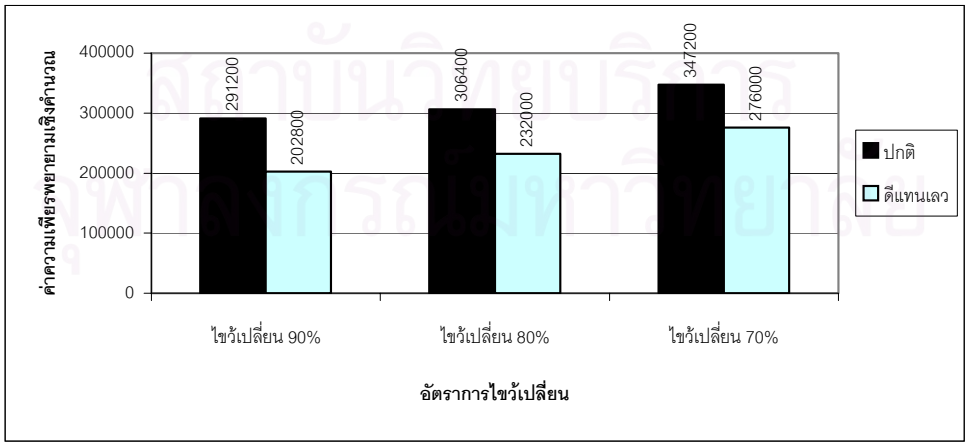
จากเส้นโค้งสมรรถนะแสดงให้เห็นว่าการไขว้เปลี่ยนโดยการนำโครงสร้างที่ดีมาแทนที่โครงสร้างที่เลวด้วยวิธีการเล็มกิ่งนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของกำหนดการพันธุกรรมได้ แต่เนื่องจากว่า ในการเล็มกิ่งที่ใช้ในการทดลอง คือ 20 โนด อาจน้อยเกินไป ซึ่งอาจส่งผลให้โครงสร้างที่หาได้ไม่ใช่โครงสร้างที่ดีหรือโครงสร้างที่เลวที่แท้จริง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองการเล็มกิ่ง โดยจะทำการเล็มกิ่งจนครบทุกโนดในโครงสร้างโปรแกรม (ยกเว้นโนดราก) เพื่อให้ได้โครงสร้างที่ดีหรือโครงสร้างที่เลวที่แท้จริง โดยจะทำการทดลองการไขว้เปลี่ยนแบบปกติเปรียบเทียบกับการไขว้เปลี่ยนแบบการนำโครงสร้างทีดีมาแทนที่โครงสร้างที่เลวเท่านั้น เนื่องจากวิธีนี้เป็นวิธีที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพที่ดีที่สุด (ดูจากรูปที่ 4.18 ถึง 4.20 การไขว้เปลี่ยนแบบการนำโครงสร้างที่ดีมาแทนที่โครงสร้างที่เลวมีค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณดีสุดทั้ง 3 สภาพแวดล้อม) และเพื่อให้เห็นความแตกต่างที่เกิดจากการไขว้เปลี่ยนจริง ๆ จึงไม่ใช้การกลายและใช้อัตราการไขว้เปลี่ยนที่ 90% 80% และ 70% ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.30 ถึงรูปที่ 4.32 ส่วนเส้นโค้งสมรรถนะซึ่งแสดงรายละเอียดของการทดลองแต่ละค่าสถิติแสดงใน รูปที่ 4.33 ถึงรูปที่ 4.50



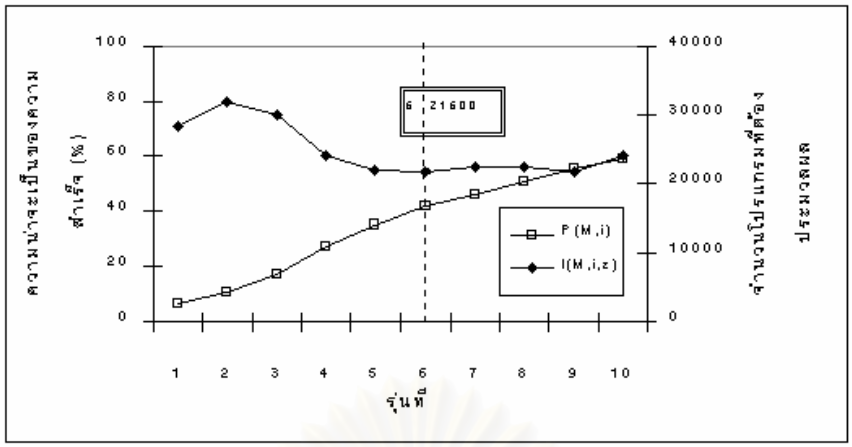
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของปัญหาแขนหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อมที่ 1 โดยวิธีการเล็มกิ่งทุกโนด



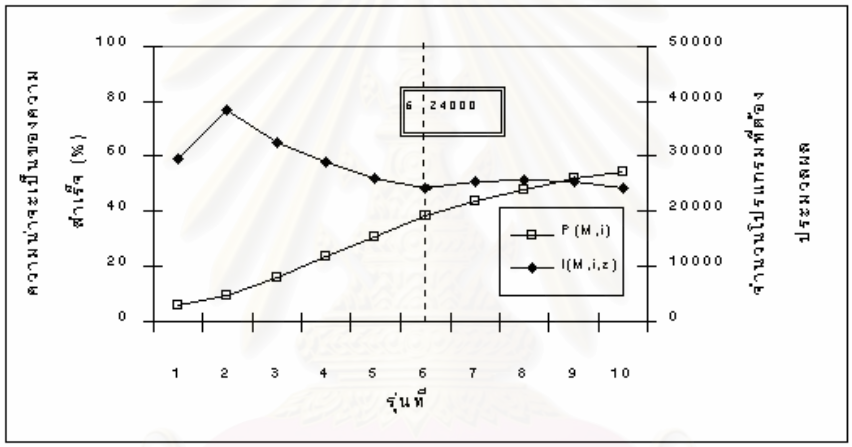
รูปที่ 4.31 กราฟแสดงค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของปัญหาแขนหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อมที่ 2 โดยวิธีการเล็มกิ่งทุกโนด



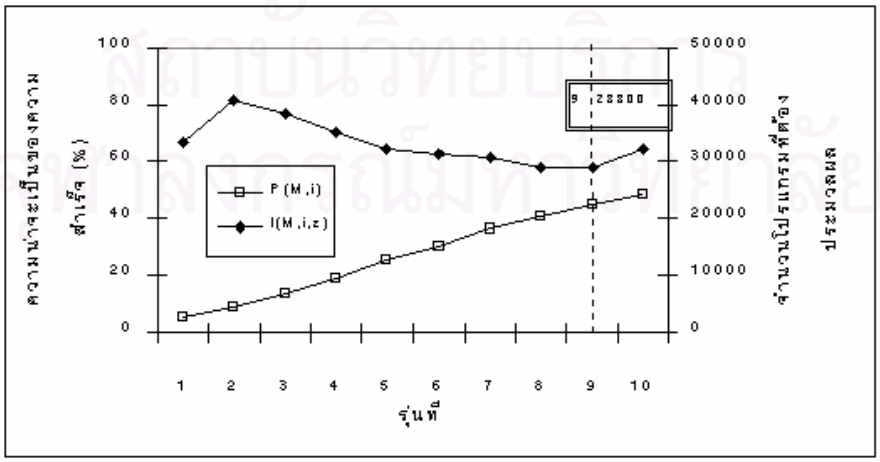
รูปที่ 4.32 กราฟแสดงค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของปัญหาแขนหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อมที่ 3 โดยวิธีการเล็มกิ่งทุกโนด



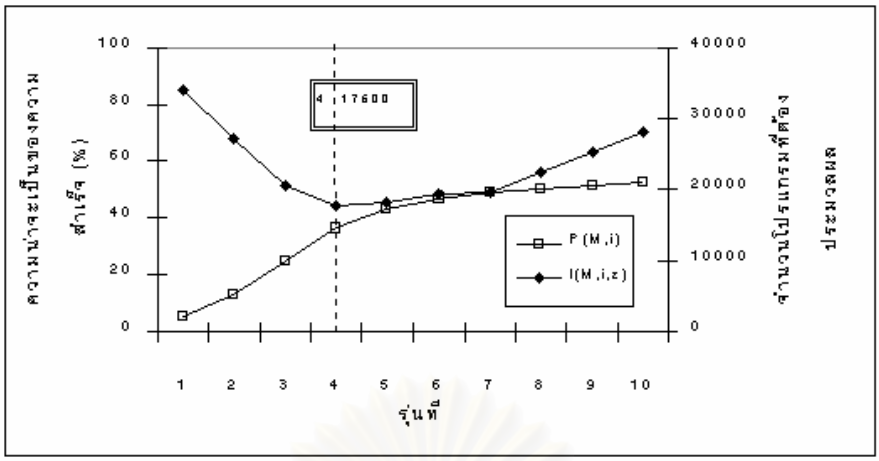
รูปที่ 4.33 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในสภาพแวดล้อมที่ 1 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 90%



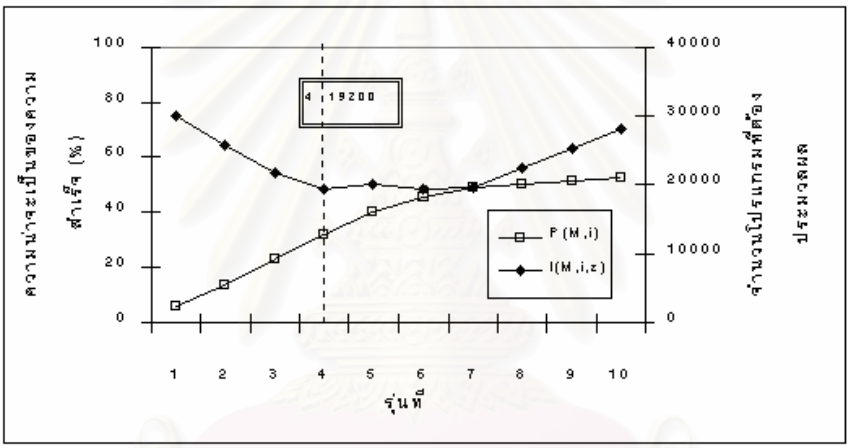
รูปที่ 4.34 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในสภาพแวดล้อมที่ 1 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 80%



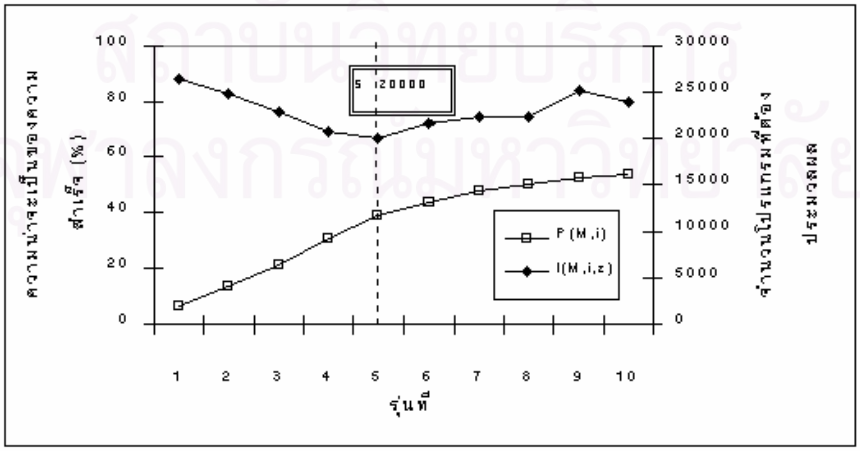
รูปที่ 4.35 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในสภาพแวดล้อมที่ 1 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 70%



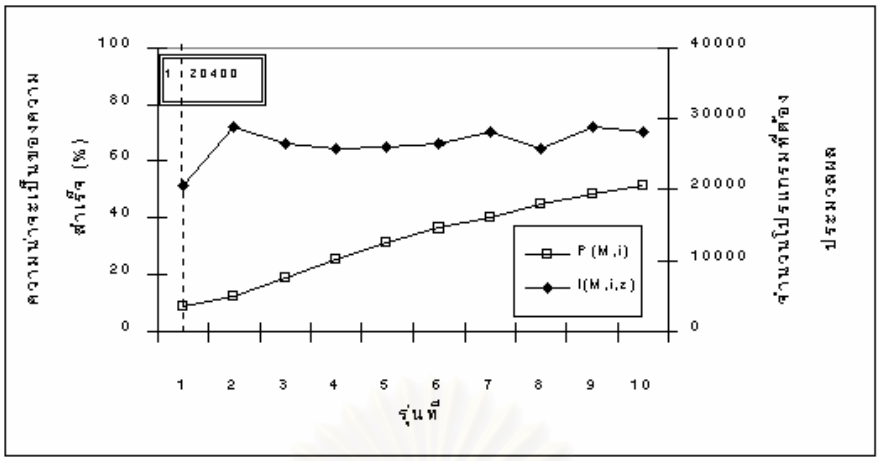
รูปที่ 4.36 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบการนำโครงสร้างที่ดีมาแทนที่โครงสร้างที่เลวในสภาพแวดล้อมที่ 1 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 90%



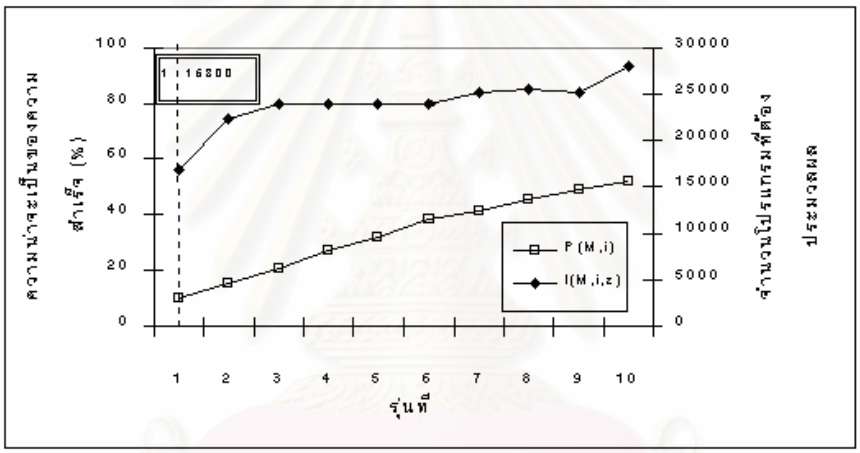
รูปที่ 4.37 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบการนำโครงสร้างที่ดีมาแทนที่โครงสร้างที่เลวในสภาพแวดล้อมที่ 1 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 80%



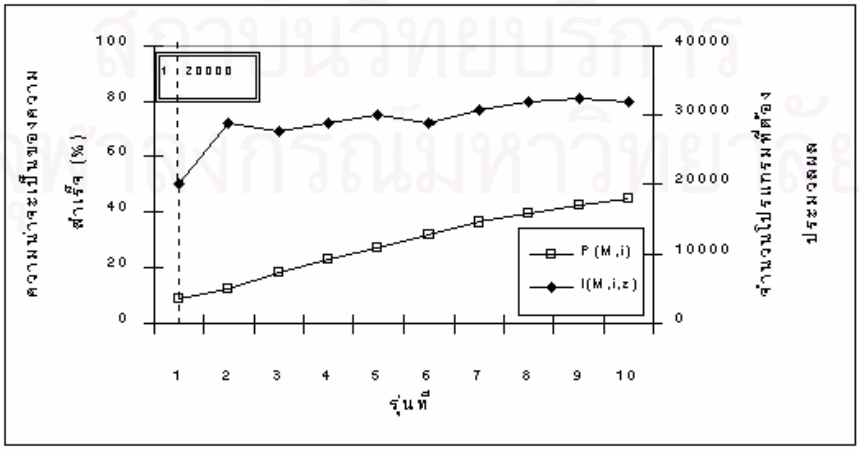
รูปที่ 4.38 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบการนำโครงสร้างที่ดีมาแทนที่โครงสร้างที่เลวในสภาพแวดล้อมที่ 1 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 70%



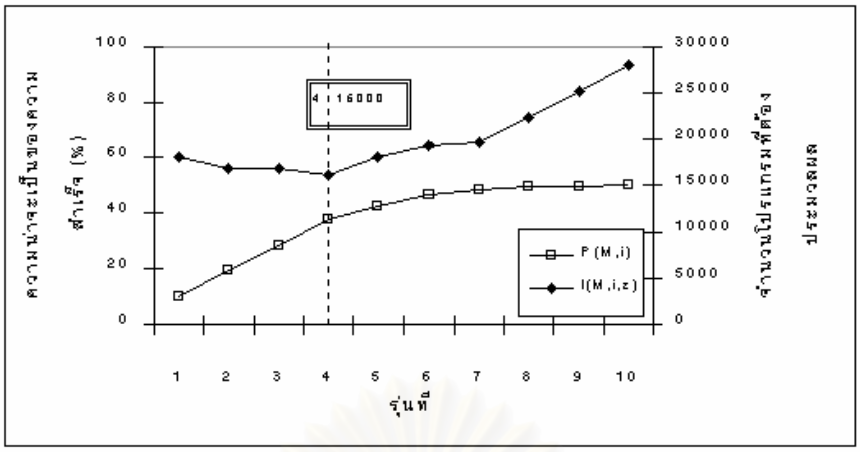
รูปที่ 4.39 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในสภาพแวดล้อมที่ 2 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 90%



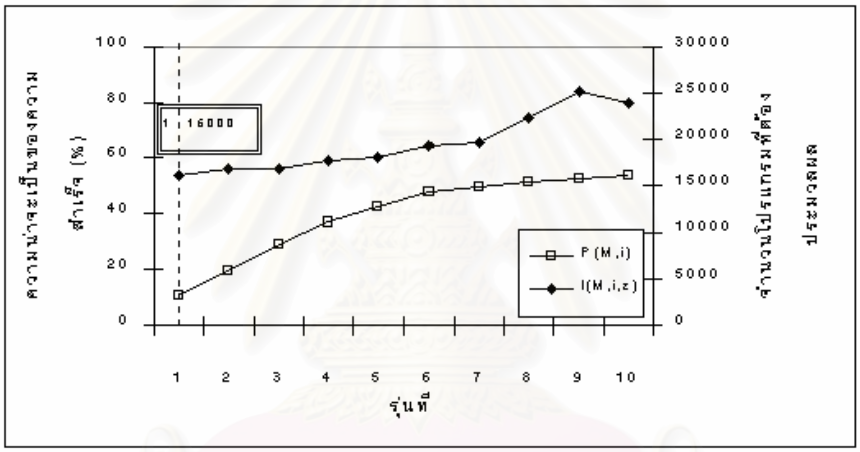
รูปที่ 4.40 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในสภาพแวดล้อมที่ 2 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 80%



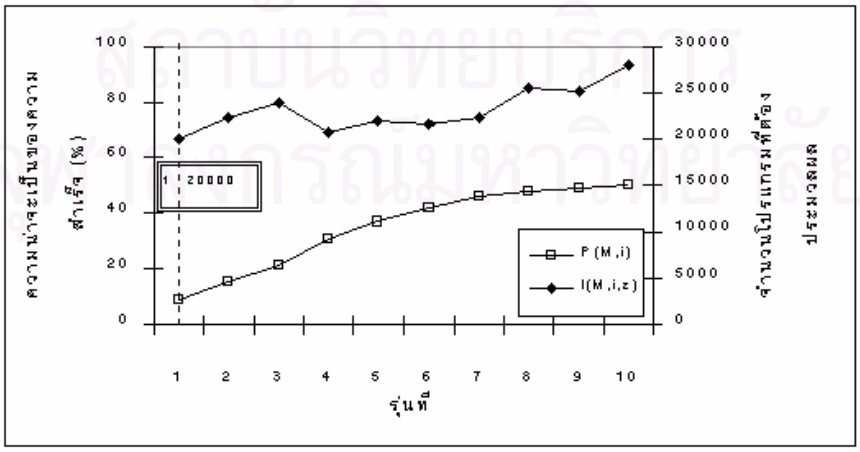
รูปที่ 4.41 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในสภาพแวดล้อมที่ 2 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 70%



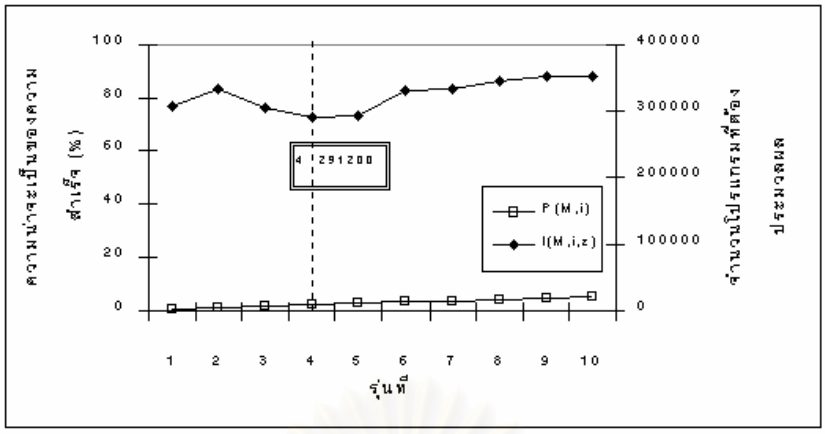
รูปที่ 4.42 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบการนำโครงสร้างที่ดีมาแทนที่โครงสร้างที่เลว ในสภาพแวดล้อมที่ 2 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 90%



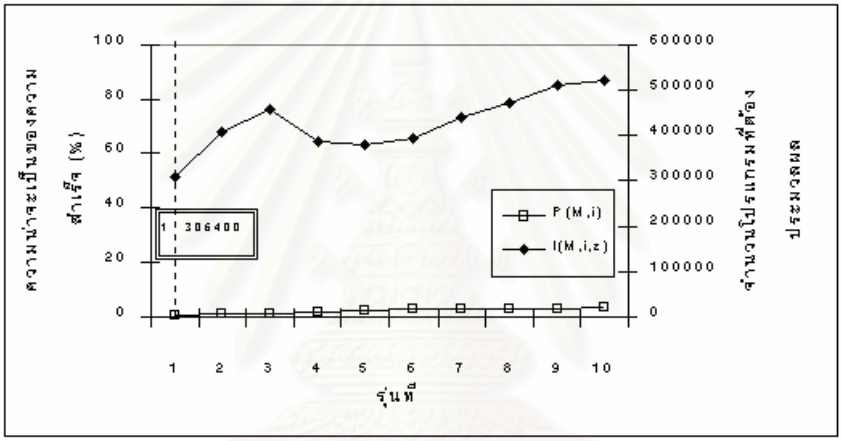
รูปที่ 4.43 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบการนำโครงสร้างที่ดีมาแทนที่โครงสร้างที่เลว ในสภาพแวดล้อมที่ 2 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 80%



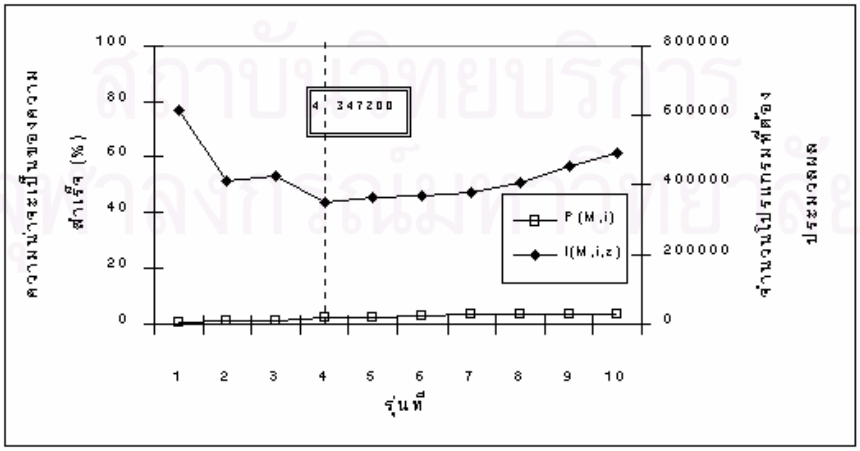
รูปที่ 4.44 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบการนำโครงสร้างที่ดีมาแทนที่โครงสร้างที่เลว ในสภาพแวดล้อมที่ 2 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 70%



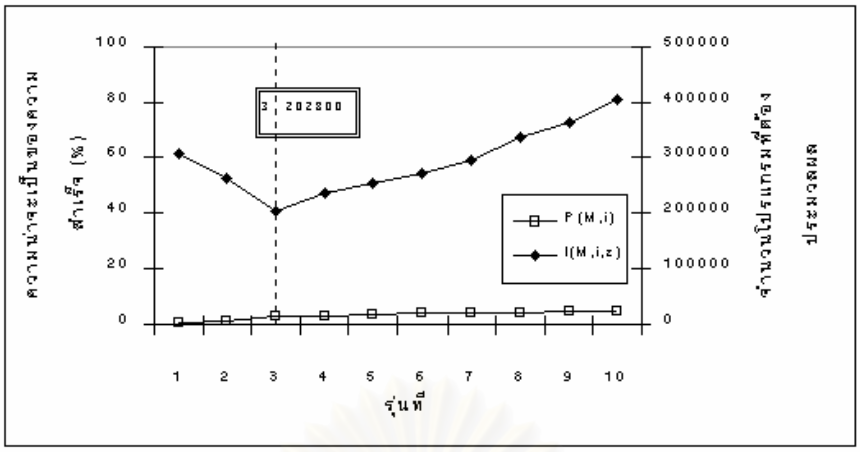
รูปที่ 4.45 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในสภาพแวดล้อมที่ 3 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 90%



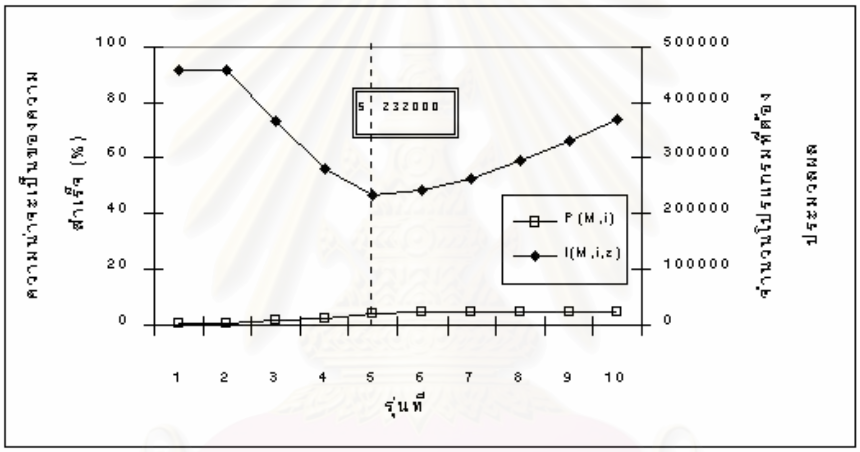
รูปที่ 4.46 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในสภาพแวดล้อมที่ 3 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 80%



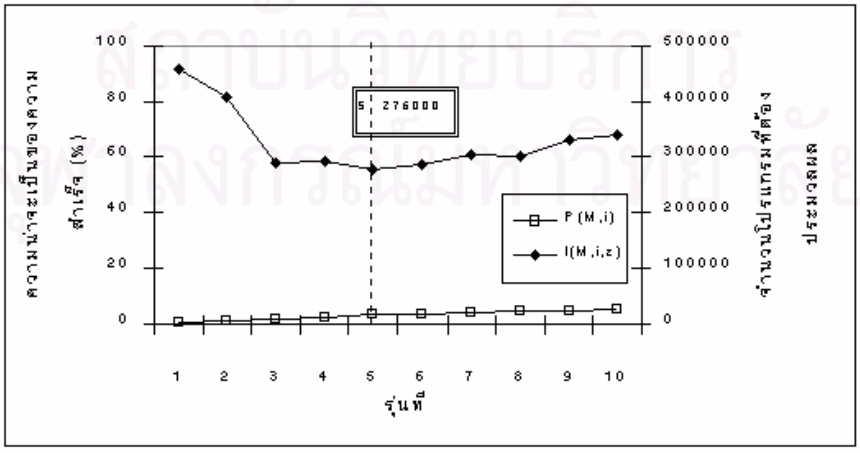
รูปที่ 4.47 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในสภาพแวดล้อมที่ 3 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 70%



รูปที่ 4.48 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบการนำโครงสร้างที่ดีมาแทนที่โครงสร้างที่เลวในสภาพแวดล้อมที่ 3 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 90%



รูปที่ 4.49 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบการนำโครงสร้างที่ดีมาแทนที่โครงสร้างที่เลวในสภาพแวดล้อมที่ 3 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 80%



รูปที่ 4.50 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบการนำโครงสร้างที่ดีมาแทนที่โครงสร้างที่เลวในสภาพแวดล้อมที่ 3 ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 70%

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในการไขว้เปลี่ยนโดยการนำโครงสร้างที่ดีมาแทนที่โครงสร้างที่เลว โดยที่โครงสร้างดังกล่าวจะเป็นโครงสร้างที่มีความสำคัญต่อค่าความเหมาะมากที่สุด และน้อยที่สุดตามลำดับ จะช่วยให้สามารถลดความเพียรพยายามเชิงคำนวณลงได้ โดยทั้ง 3 สภาพแวดล้อม และ 3 อัตราการไขว้เปลี่ยน ไม่พบว่าที่สภาพแวดล้อมและอัตราการไขว้เปลี่ยนใด ที่เมื่อใช้วิธีการไขว้เปลี่ยนแบบการนำโครงสร้างที่ดีมาแทนที่โครงสร้างที่เลวแล้ว ทำให้ค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณสูงขึ้น

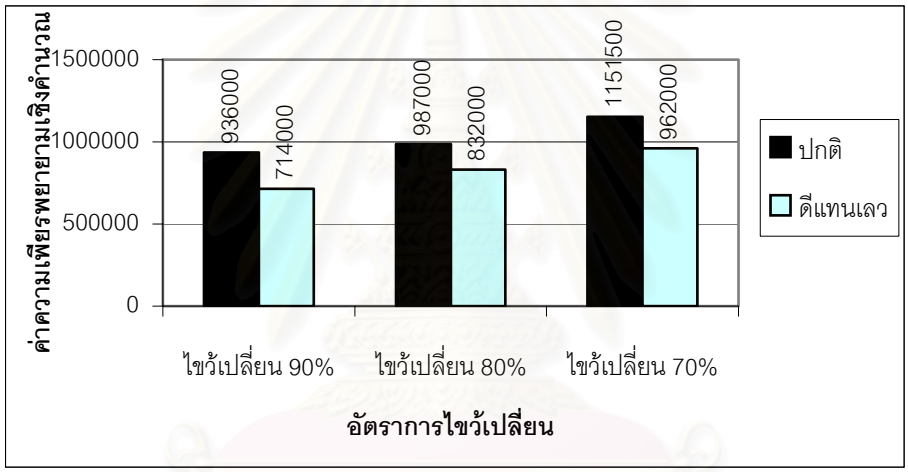
4.6 การทวนสอบประสิทธิภาพของวิธีการไขว้เปลี่ยนแบบการนำโครงสร้างที่ดีมาแทนที่โครงสร้างที่เลวด้วยวิธีการเล็มกิ่ง

การทดลองในส่วนนี้ มีจุดประสงค์เพื่อทวนสอบประสิทธิภาพของวิธีการไขว้เปลี่ยนแบบการนำโครงสร้างที่ดีมาแทนที่โครงสร้างที่แลวด้วยวิธีการเล็มกิ่ง โดยจะทำการทดลองกับปัญหามดประดิษฐ์ ของ Koza (1992) (รายละเอียดของปัญหาอยู่ในบทที่ 3)

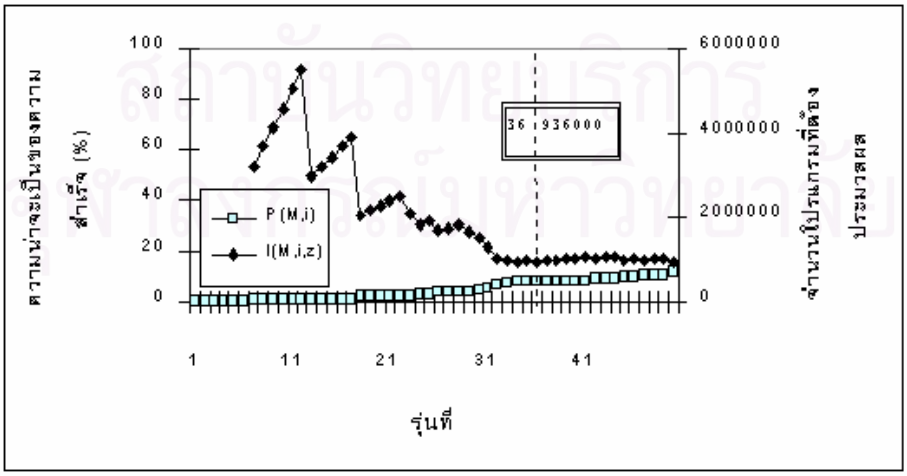
ในการทดลอง จะทำซ้ำ 200 รอบโดยใช้อัตราไขว้เปลี่ยน 90% ผลการทดลองโดยการใช้วิธีการไขว้เปลี่ยนแบบการนำโครงสร้างที่ดีมาแทนที่โครงสร้างที่เลวด้วยวิธีการเล็มกิ่งนี้ ไม่พบผลเฉลยที่เป็นคำตอบเลย จึงได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุพบว่า เนื่องจากโครงสร้างและลักษณะการทำงานของโปรแกรมมดประดิษฐ์ มีลักษณะแตกต่างจากโปรแกรมแขนหุ่นยนต์ กล่าวคือ การทำงานในโปรแกรมมดประดิษฐ์ ในส่วนเงื่อนไข คำสั่งต่าง ๆ จะมีการทำงานที่แยกส่วนที่แน่นอนระหว่างเงื่อนไขที่เป็นจริงกับเงื่อนไขที่เป็นเท็จ ประกอบกับตัวตรวจรู้ที่ใช้ในโปรแกรมมดประดิษฐ์จะใช้ตัวตรวจรู้เพียงตัวเดียว ส่วนโปรแกรมแขนหุ่นยนต์ ในส่วนเงื่อนไข จะมีส่วนของโปรแกรมในเงื่อนไขด้วย ทำให้มีการทำงานของหุ่นยนต์ตอนทำเงื่อนไข (ซึ่งปัญหามดประดิษฐ์จะไม่มี) จึงมีการทำงานของหุ่นยนต์ ทำให้เปลี่ยนสถานะไปเสมอ ไม่ว่าเงื่อนไขจะเป็นจริงหรือเท็จ ประกอบกับตัวตรวจรู้ที่ใช้ในโปรแกรมมีมากกว่า ส่งผลให้การทำงานของโปรแกรมแขนหุ่นยนต์ในแต่ละรอบคำสั่งส่วนใหญ่ (ประมาณ 3 ใน 4) ในโปรแกรมจะถูกเรียกใช้งาน ในขณะที่โปรแกรมมดประดิษฐ์การทำงานในแต่ละรอบ จะมีคำสั่งประมาณครึ่งหนึ่งที่ถูกเรียกใช้งาน ดังนั้นในการหาโครงสร้างที่ดีและโครงสร้างที่เลวด้วยวิธีการเล็มกิ่ง โดยการนำโนด NOP มาแทนที่โนดที่ถูกเล็มนั้น ทำให้โปรแกรมมดประดิษฐ์อาจติดลูป โดยไม่มีการทำงานของหุ่นยนต์ (หรือเปลี่ยนสถานะของหุ่นยนต์) เกิดขึ้น เท่ากับโปรแกรมหยุดทำงาน ทำให้การประเมินค่าโครงสร้างนั้นดีเกินความเป็นจริง (คือห้ามตัดโครงสร้างนั้น) ในขณะที่โปรแกรมแขนหุ่นยนต์ เมื่อโปรแกรมทำงานมาถึงโนด NOP แล้วโปรแกรมจะไม่หยุดเพียงเท่านี้ แต่โปรแกรมจะทำการคืนค่า (ในการทดลองนี้จะทำการคืนค่าเท็จ) และย้อนรอยกลับไปทำคำสั่งในส่วนอื่น ๆ ต่อไป ทำให้การประเมินค่าความดีและค่าความเลวจะเป็นโครงสร้างที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างส่วนใหญ่ของโปรแกรมจริง ๆ ส่วนในโปรแกรมมด

ประดิษฐ์ โครงสร้างที่ประเมินได้ ซึ่งจากการสังเกตการทดลองพบว่า โครงสร้างที่ดีส่วนใหญ่จะเป็นโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่และอยู่ใกล้กับโนดราก และโครงสร้างที่เลว จะเป็นโครงสร้างที่เมื่อวิวัฒนาการมาระยะเวลาหนึ่งแล้ว (ประมาณ 5 ถึง 10 รุ่น) โครงสร้างนี้จะเป็นโครงสร้างที่ไม่มีโอกาสถูกเรียกใช้งานเลย (เนื่องจากข้อกำหนดของโครงสร้างโปรแกรม) ทำให้โปรแกรมดังกล่าวไม่สามารถที่จะทำการวิวัฒนาการต่อจนพบคำตอบได้

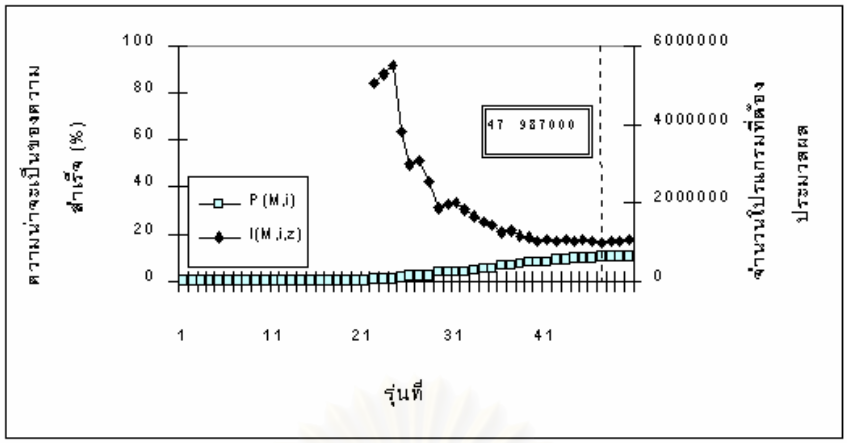
ดังนั้นเพื่อให้การเล็มกิ่งสามารถประเมินค่าความดีและค่าความเลวของโครงสร้างได้ดีมากขึ้น จึงได้ทำการทดลองสุ่มเลือกเทอร์มินอลจากเซตของเทอร์มินอลมาใส่แทน NOP ณ ตำแหน่งกิ่งที่ถูกเล็ม ซึ่งในการทดลอง จะทำซ้ำ 200 รอบ และใช้อัตราการไขว้เปลี่ยน 3 อัตรา คือ 90% 80% และ 70% (ไม่ใช้การกลาย) ซึ่งผลการทดลองการเปรียบเทียบค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณแสดงดังรูปที่ 4.51 ส่วนเส้นโค้งสมรรถนะ แสดงในรูปที่ 4.52 ถึงรูปที่ 4.57



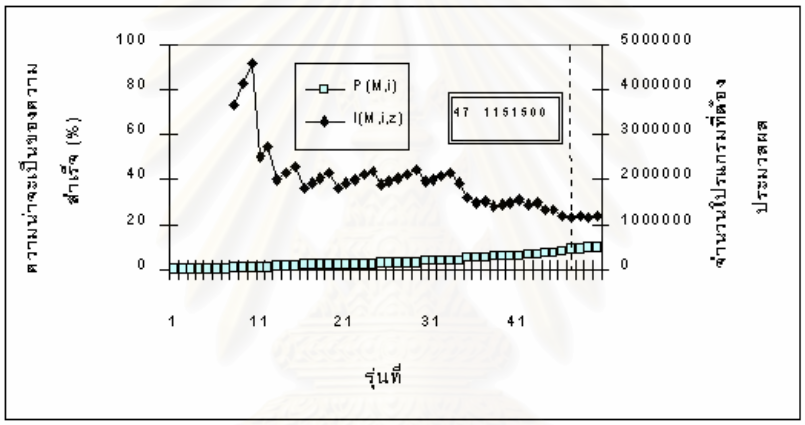
รูปที่ 4.51 กราฟแสดงค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของปัญหามดประดิษฐ์



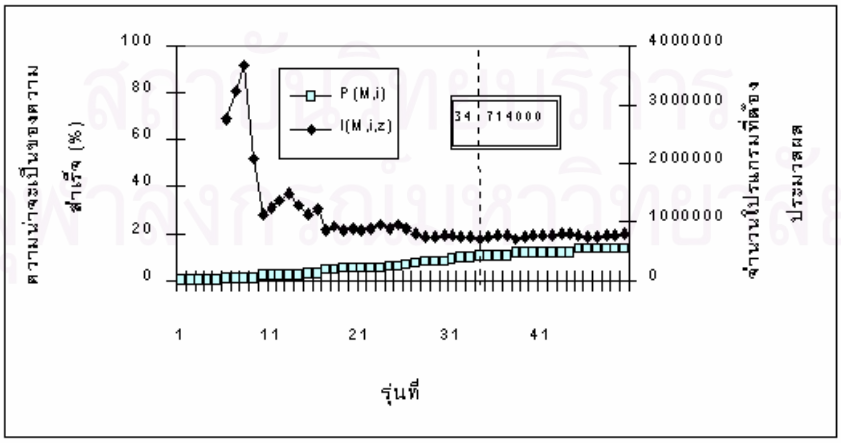
รูปที่ 4.52 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในปัญหามดประดิษฐ์ ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 90%



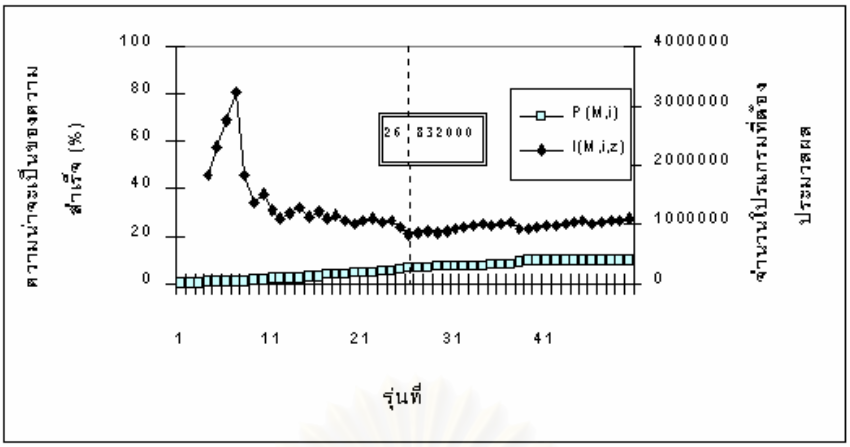
รูปที่ 4.53 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในปัญหามดประดิษฐ์ ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 80%



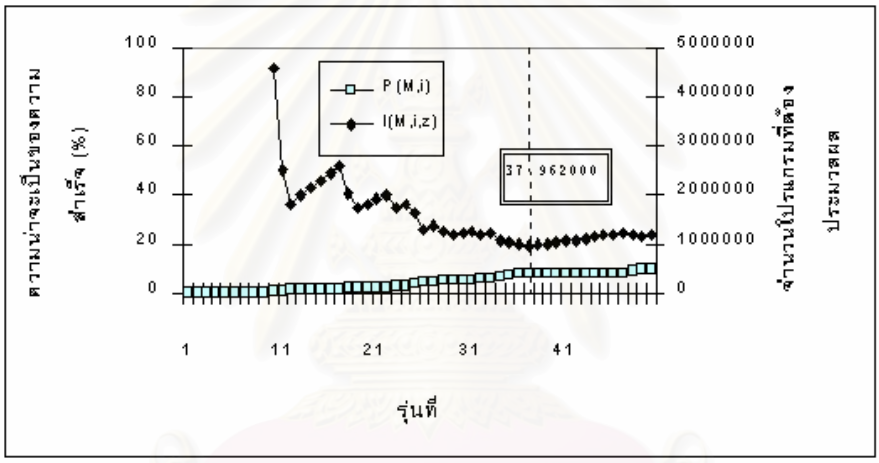
รูปที่ 4.54 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนแบบปกติในปัญหามดประดิษฐ์ ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 70%



รูปที่ 4.55 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปแทนที่โครงสร้างที่เลวในปัญหามดประดิษฐ์ ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 90%

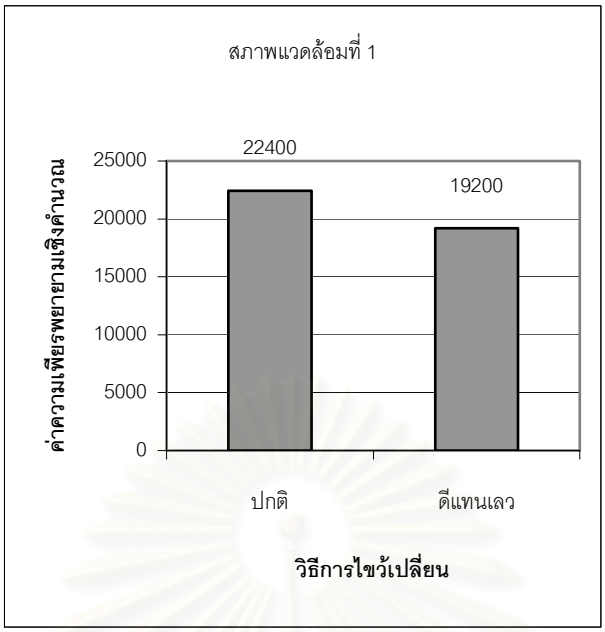


รูปที่ 4.56 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปแทนที่โครงสร้างที่เลวในปัญหามดประดิษฐ์ ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 80%

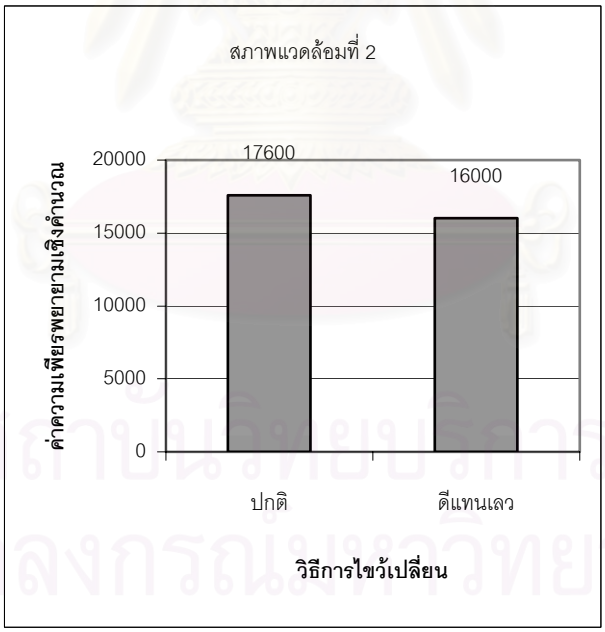


รูปที่ 4.57 เส้นโค้งสมรรถนะของการไขว้เปลี่ยนโดยนำโครงสร้างที่ดีไปแทนที่โครงสร้างที่เลวในปัญหามดประดิษฐ์ ที่อัตราการไขว้เปลี่ยน 70%

ผลการทดลองยังคงสอดคล้องกับการทดลองเดิม คือวิธีการไขว้เปลี่ยนแบบการนำโครงสร้างที่ดีมาแทนที่โครงสร้างที่เลวด้วยวิธีการเล็มกิ่ง สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของกำหนดการพันธุกรรมได้ แต่เนื่องจากในการเล็มกิ่งที่ใช้ในโปรแกรมมดประดิษฐ์มดประดิษฐ์นั้น การนำโนดที่มาแทนที่โนดที่ถูกเล็มจะใช้การสุ่มจากเซตของเทอร์มินอลแทนที่จะใช้โนด NOP ดังนั้น จึงได้ทำการทดลองการไขว้เปลี่ยนโดยการนำโครงสร้างที่ดีแทนที่โครงสร้างที่เลวด้วยวิธีการเล็มกิ่งโดยการนำโนดที่ได้จากการสุ่มจากเซตของเทอร์มินอลมาใส่แทนโนด NOP สำหรับปัญหาแขนหุ่นยนต์ ซึ่งจะได้ทำการทดลองที่อัตราไขว้เปลี่ยน 90% ของทั้ง 3 สภาพแวดล้อม และเพื่อให้เห็นความแตกต่างระหว่างวิธีการไขว้เปลี่ยนที่ชัดเจน จึงได้ทำการทดลองกับประชากรของโปรแกรมเริ่มต้นชุดเดียวกัน แต่ใช้วิธีการไขว้เปลี่ยนที่แตกต่างกัน ซึ่งจากผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.58 ถึงรูปที่ 4.60

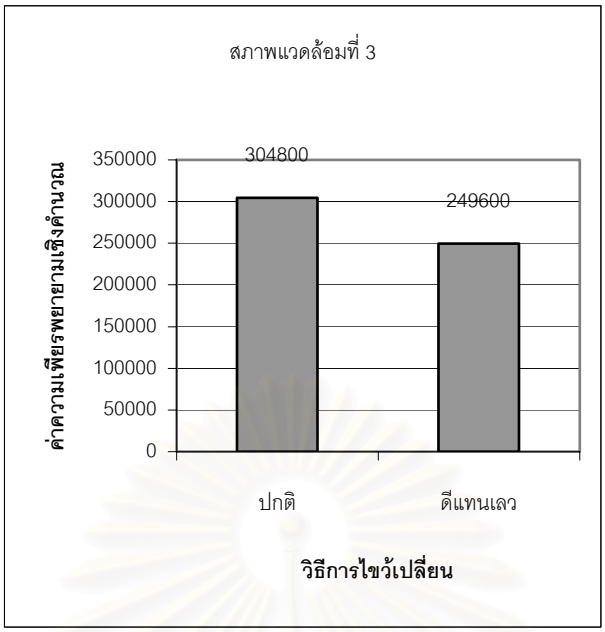


รูปที่ 4.58 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของปัญหาแขนหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อมที่ 1 โดยวิธีการไขว้เปลี่ยนแบบปกติกับการไขว้เปลี่ยนแบบการนำโครงสร้างที่ดีแทนที่โครงสร้างที่เลวด้วยวิธีการเล็มกิ่งแบบการสุ่มโนดจากเซตของเทอร์มินอลมาใส่แทน



รูปที่ 4.59 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของปัญหาแขนหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อมที่ 2 โดยวิธีการไขว้เปลี่ยนแบบปกติกับการไขว้เปลี่ยนแบบการนำโครงสร้างที่ดีแทนที่โครงสร้างที่เลวด้วยวิธีการเล็มกิ่งแบบการสุ่มโนดจากเซตของเทอร์มินอลมาใส่แทน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.60 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของปัญหาแขนหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อมที่ 3 โดยวิธีการไขว้เปลี่ยนแบบปกติกับการไขว้เปลี่ยนแบบการนำโครงสร้างที่ดีแทนที่โครงสร้างที่เลวด้วยวิธีการเล็มกิ่งแบบการสุ่มโนดจากเซตของเทอร์มินอลมาใส่แทน

จากผลการทดลอง จะพบว่าถึงแม้จะนำโนดที่สุ่มเลือกมาจากเซตของเทอร์มินอลมาใส่แทนโครงสร้างที่ถูกเล็มก็สามารถลดทอนความเพียรพยายามเชิงคำนวณในปัญหาแขนหุ่นยนต์ลงได้เช่นกัน

4.7 สรุปท้ายบท

การวัดประสิทธิภาพของกำหนดการพันธุกรรมโดยการวัดค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณซึ่งเป็นค่าทางสถิตินั้น หากใช้จำนวนรอบการทดลองมากจะทำให้ความน่าเชื่อถือของข้อมูลมีมาก แต่ก็จะใช้เวลาในการทดลองมากขึ้นตามไปด้วย

การเพิ่มประสิทธิภาพของกำหนดการพันธุกรรม โดยการปรับปรุงการไขว้เปลี่ยน หากสามารถนำโครงสร้างที่ดีของผลเฉลยมารวมกันและตัดโครงสร้างที่เลวได้แล้ว จะทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของกำหนดการพันธุกรรมได้

การหาโครงสร้างโดยการใช้ความถี่ที่ใช้ในโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ ไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของกำหนดการพันธุกรรมได้ นั่นหมายถึง เราไม่สามารถนำความถี่ที่ใช้ในโปรแกรมมาหาโครงสร้างที่ดีและโครงสร้างที่เลวได้ ส่วนการหาโครงสร้างที่ดีและโครงสร้างที่เลวด้วยวิธีการเล็มกิ่ง ซึ่งเป็นการหาโครงสร้างที่มีผลกระทบต่อค่าความเหมาะของผลเฉลยนั้น ๆ โดยการนำโครงสร้างที่มีความสำคัญต่อค่าความเหมาะมากที่สุดของผลเฉลยตัวหนึ่ง (โครงสร้างที่ดี) ไป

แทนที่โครงสร้างที่มีความสำคัญต่อค่าความเหมาะน้อยที่สุดของผลเฉลยอีกตัวหนึ่ง (โครงสร้างที่เลว) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของกำหนดการพันธุกรรมได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อเสนอแนวทางในการลดทอนความเพียรพยายามเชิงคำนวณของวิธีกำหนดการพันธุกรรมสำหรับปัญหาการเรียนรู้ของหุ่นยนต์ โดยการปรับปรุงกระบวนการไขว้เปลี่ยน ซึ่งปัญหาที่ใช้ในการวิจัยนี้ คือ ปัญหาแขนหุ่นยนต์ จะเป็นปัญหาที่ใช้ในการทดลองการปรับปรุงกระบวนการไขว้เปลี่ยน และปัญหามดประดิษฐ์ จะเป็นปัญหาที่ใช้ในการทวนสอบประสิทธิภาพของวิธีการไขว้เปลี่ยนดังกล่าว

ในกระบวนการไขว้เปลี่ยน หากสามารถรวมโครงสร้างที่ดีของผลเฉลยที่ใช้ในการไขว้เปลี่ยนเข้าด้วยกัน และตัดโครงสร้างที่เลวของผลเฉลยแต่ละตัวได้แล้ว จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพกำหนดการพันธุกรรม โดยสามารถลดทอนความเพียรพยายามเชิงคำนวณลงได้ ซึ่งโครงสร้างที่ดีและโครงสร้างที่เลว จะเป็นโครงสร้างที่มีผลกระทบต่อค่าความเหมาะของผลเฉลย กล่าวคือ โครงสร้างที่ดีจะเป็นโครงสร้างที่มีความสำคัญต่อค่าความเหมาะของผลเฉลยมาก หากผลเฉลยดังกล่าวขาดโครงสร้างนี้แล้วจะทำให้ค่าความเหมาะของผลเฉลยนั้นแย่ลงไปมาก และโครงสร้างที่เลวจะเป็นโครงสร้างที่มีความสำคัญต่อความความเหมาะของผลเฉลยนั้นน้อย คือ หากผลเฉลยดังกล่าวขาดโครงสร้างนี้ไปแล้วจะส่งผลกระทบกับค่าความเหมาะน้อย

จากการทดลองใช้การไขว้เปลี่ยนโดยการรวมโครงสร้างที่ดีของผลเฉลยพ่อแม่ทั้งสองเข้าด้วยกันและตัดโครงสร้างที่เลวออกนี้ ทั้งสองปัญหาที่ใช้ในการทดลอง สามารถลดทอนความเพียรพยายามเชิงคำนวณลงได้จริง โดยสามารถลดความเพียรพยายามเชิงคำนวณได้โดยเฉลี่ย 13.8% สำหรับปัญหาแขนหุ่นยนต์ และ 18.6% สำหรับปัญหามดประดิษฐ์ ซึ่งนั่นก็หมายความว่าวิธีการไขว้เปลี่ยนดังกล่าว สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีกำหนดการพันธุกรรมสำหรับปัญหาหุ่นยนต์ได้จริง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดลองพบว่าค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณมีความแปรปรวนสูงมากหากทำซ้ำน้อย และความแปรปรวนจะลดลงหากเพิ่มจำนวนทำซ้ำมากขึ้น แต่เนื่องจากกำหนดการพันธุกรรม

เป็นวิธีที่ต้องใช้การคำนวณมาก ดังนั้นในการทดลองจึงควรทำการทดลองกับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพทางด้านความเร็วในการประมวลผลที่สูง และทำการทดลองซ้ำมาก ๆ

2. จากการสังเกตคำตอบที่ได้จากการไขว้เปลี่ยนแบบปกติและการไขว้เปลี่ยนแบบการนำโครงสร้างที่ดีมาแทนที่โครงสร้างที่เลวนั้น พบว่าคำตอบที่ได้จากการไขว้เปลี่ยนแบบการนำโครงสร้างที่ดีมาแทนที่โครงสร้างที่เลวจะมีขนาดใหญ่กว่าการไขว้เปลี่ยนแบบปกติมาก (โดยเฉพาะปัญหามดประดิษฐ์ ซึ่งใช้จำนวนรุ่นที่มาก) ซึ่งหมายความว่า โครงสร้างที่เลวที่หาได้ส่วนใหญ่จะมีขนาดเล็กกว่าโครงสร้างที่ดีซึ่งจุดนี้น่าจะมีการศึกษาเพื่อหาวิธีการหาโครงสร้างที่เลวให้มีประสิทธิภาพที่มากกว่านี้

3. นอกจากการทดลองในการใช้วิธีการไขว้เปลี่ยนดังกล่าวกับปัญหาหุ่นยนต์ ซึ่งสามารถลดทอนค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณลงได้ น่าจะมีการทดลองกับปัญหาในลักษณะอื่น ๆ เช่น ปัญหาสมการถดถอย (Symbolic Regression) ปัญหาการควบคุม ปัญหาการวางแผน เป็นต้น

4. ในการหาโครงสร้างโดยการเล็มนี้ จะใช้เวลาในการประมวลผลที่ค่อนข้างสูงมาก เนื่องจากจะต้องทำการวัดค่าความเหมาะโดยใช้ฟังก์ชันความเหมาะตามขนาดของผลเฉลยแต่ละตัว ดังนั้นจึงน่าจะหาวิธีการในการหาโครงสร้างที่ลดเวลาในการประมวลผล เพื่อทำให้เวลาการทำงานโดยรวมเร็วขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

จุมพล พลวิชัย. การเรียนรู้ของแขนหุ่นยนต์โดยการใช้โปรแกรมพันธุการ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539

ชัยวัฒน์ เจษฎากปรณ์. การลดทอนความเพียรพยายามเชิงคำนวณของวิธีการเรียนรู้แบบกำหนดการเชิงพันธุกรรม. วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540

ยอดธง รอดแก้ว. การจินตทัศน์ข้อมูลในระหว่างการวิวัฒนาการของคำตอบที่ได้จากกำหนดการเชิงพันธุกรรม. วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542

ภาษาอังกฤษ

Banzhaf, W., Nordin, P., Keller, R. and Francone, F. Genetic Programming : An Introduction On the Automatic Evolution of Computer Programs and Its Applications. USA : Morgan Kaufmann Publishers. 1997

Iba, H and de Garis, H. Extending genetic programming with recombinative guidance. In Angeline, P. J. and Kinnear, Jr., K. E., editors, Advances in Genetic Programming 2, chapter 4, page 69 – 88. Cambridge, MA, USA : MIT Press. 1996

Koza, J.R. Genetic Programming : On the Programming of Computer by Means of Natural Selection. Cambridge, MA, USA : MIT Press. 1992

Koza, J.R. Genetic Programming II : Automatic Discovery of Reuseable Program. USA : MIT Press. 1994

Tackett, W. A. Recombination, Selection, and the Genetic Construction of Computer Programs. PhD thesis, University of Southern Californai, Department of Electrical Engineering Systems. 1994

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

บัญชีคำศัพท์

ในส่วนนี้จะแสดงรายการศัพท์ภาษาอังกฤษ และภาษาไทยที่ใช้แทนในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ดังตาราง ก.1

ตาราง ก.1 รายการศัพท์ภาษาอังกฤษทางกำหนดการพันธุกรรม และภาษาไทยที่ใช้แทนในวิทยานิพนธ์

คำศัพท์ภาษาอังกฤษ	คำศัพท์ภาษาไทยที่ใช้แทน
Argument	อาร์กิวเมนต์
Artificial Ant	มดประดิษฐ์
Artificial Intelligence	ปัญญาประดิษฐ์
Computational Effort	ความเพียรพยายามเชิงคำนวณ
Crossover	การไขว้เปลี่ยน
Evolve	วิวัฒนาการ
Fitness Function	ฟังก์ชันความเหมาะ
Fitness Value	ค่าความเหมาะ
Flowchart	ผังงาน
Function	ฟังก์ชัน
Function Set	เซตของฟังก์ชัน
Generation	รุ่น
Genetic Algorithm	ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม
Genetic Operator	ตัวดำเนินการทางพันธุกรรม
Genetic Programming	กำหนดการพันธุกรรม
Individual	ผลเฉลย
Knowledge	ความรู้
Leaf Node	โนดใบ
Learning	การเรียนรู้
Mutation	การกลาย
Node	โนด
Offspring	ลูก

ตาราง ก.1 (ต่อ)รายการศัพท์ภาษาอังกฤษทางกำหนดการพันธุกรรม และภาษาไทยที่ใช้แทนในวิทยานิพนธ์

คำศัพท์ภาษาอังกฤษ	คำศัพท์ภาษาไทยที่ใช้แทน
Parent	พ่อแม่
Performance Curve	เส้นโค้งสมรรถนะ
Population	ประชากร
Pruning	การเล็มกิ่ง
Rate	อัตรา
Reproduction	การสืบพันธุ์
Robot Learning	การเรียนรู้ของหุ่นยนต์
Root Node	โนดราก
Sensing	การตรวจรู้
Solution	คำตอบ
String	สายอักขระ
Structure	โครงสร้าง
Subtree	ต้นไม้ย่อย
Symbolic Expression	นิพจน์เชิงสัญลักษณ์
Symbolic Regression	สมการถดถอย
Terminal	เทอร์มินอล
Terminal Set	เซตของเทอร์มินอล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นายสุพจน์ เฮงพระพรหม เกิดวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2520 ที่จังหวัดกาญจนบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต เกียรตินิยมอันดับ 2 สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏนครปฐม ในปีการศึกษา 2541 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2542

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย