การประยุกต์ใช้เจเนติกอัลกอริทึมในการจัดสมดุลของสายงานการประกอบแบบหลายวัตถุประสงค์

นางสาวกรรณิกา ศิลานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-334-054-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19250629

APPLICATION OF GENETIC ALGORITHMS IN MULTI-OBJECTIVES ASSEMBLY LINE BALANCING

Miss Kannika Silanon

A Thesis Submitted to Partial Fulfillment of Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 1999

ISBN 974-334-054-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้เจเนติกอัลกอริทึมในการจัดสมดุลของสายงานการประกอบแบบหลายวัตถุประสงค์
โดย	นางสาวกรรณิกา ศิลานนท์
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)

กรรณิกา ศิลานนท์ : การประยุกต์ใช้เจเนติกอัลกอริทึมในการจัดสมดุลของสายงานการประกอบแบบหลายวัตถุประสงค์ (APPLICATION OF GENETIC ALGORITHMS IN MULTI-OBJECTIVES ASSEMBLY LINE BALANCING) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. ปารเมศ ชุติมา, 320 หน้า. ISBN 974-334-054-8.

ปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบเป็นปัญหาที่สำคัญมากปัญหาหนึ่งในระบบการผลิต โดยทั่วไปแล้ว ปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบมักพิจารณาวัตถุประสงค์ในการจัดเพียงวัตถุประสงค์เดียว แต่เนื่องจากในระบบการผลิตจริงยังมีวัตถุประสงค์อื่นๆที่ควรนำมาพิจารณาประกอบด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เสนอ การนำเอาเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms) มาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบแบบหลายวัตถุประสงค์ ซึ่งหมายถึงการหารูปแบบของการจัดงานให้กับแต่ละสถานีทำงานเพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ 3 ประการพร้อมๆกัน คือเพื่อให้สายงานการประกอบมีจำนวนสถานีการทำงานน้อยที่สุด มีรอบเวลาการผลิตน้อยที่สุด และมีความแปรปรวนของภาระงานในแต่ละสถานีการทำงานน้อยที่สุด นอกจากนี้ยังได้ศึกษาและทดสอบพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการหาคำตอบของเจเนติกอัลกอริทึมซึ่งได้แก่ ขนาดของประชากร ประเภทของการครอสโอเวอร์ ความน่าจะเป็นในการ ครอสโอเวอร์และความน่าจะเป็นในการมิวเทชัน จากการทดลองพบว่าขนาดของประชากร วิธีการครอสโอเวอร์ และความน่าจะเป็นในการมิวเทชันเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการหาคำตอบโดยเจเนติกอัลกอริทึม ดังนั้นในการนำเจเนติกอัลกอริทึมไปใช้จริงควรมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยอาจใช้ค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในงานวิจัยนี้เป็นแนวทางเบื้องต้น

จากงานวิจัยนี้จะได้ว่าเจเนติกอัลกอริทึมแบบหลายวัตถุประสงค์เป็นวิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาที่มีหลายวัตถุประสงค์ที่มีประสิทธิภาพและสามารถให้คำตอบที่ดีภายในระยะเวลาที่กำหนดได้

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ	ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2542	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4170210121 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD :

GENETIC ALGORITHMS / ASSEMBLY LINE BALANCING

KANNIKA SILANON: APPLICATION OF GENETIC ALGORITHMS IN MULTI-OBJECTIVES ASSEMBLY LINE BALANCING. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. PARAMES CHUTIMA, Ph.D. 320 pp. ISBN 974-334-054-8

Assembly line balancing is one of the most critical problems in production system design. Most algorithms to this problem generally focus only on a single objective. In reality, production system designers have to consider several objectives concurrently so as to attain a good solution that can respond to the given design requirements.

Genetic algorithm (GAs), which is one of the most promising techniques for such problem, is applied in this research. Three important objectives of assembly line balancing problems are considered simultaneously including minimizing number of workstations, minimizing workload variance of each workstation, and minimizing line cycle time.

Experimental design is set up to test the significance of several parameters of GA including problem sizes, population sizes, crossover types, probability of cross-over, and probability of mutation. The results of the experiment show that population sizes, crossover type and probability of mutation have significant impact on the solution obtained from GAs . As a result, it is necessary to define appropriate parameters while using GAs. However, the suitable parameters obtained from the research are useful as a guideline in practice.

From the research, it is found that multi-objectives genetic algorithm is an efficient method that can search for a good solution within an acceptable time limit.

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2542 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผศ. ดร.ปารเมศ ชุติมา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งคอยให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในงานวิจัยมาด้วยดีโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ คุณชนะ เยี่ยงกมลสิงห์ คุณณพงศ์ ตันตนาตระกูล คุณก่อศักดิ์ อาชวากร ผู้คอยให้คำปรึกษาและเป็นแรงผลักดันที่สำคัญอย่างยิ่ง รวมทั้งขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจในการทำงานวิจัยนี้ด้วยดีเสมอมา และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้ความห่วงใยและกำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา ตลอดจนพี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจมาโดยตลอด

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญรูป ..... ฐ
สารบัญตาราง ..... ฑ

บทที่ 1 : บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 3
1.4 ลักษณะของปัญหา 4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6
1.6 ขั้นตอนการศึกษาและวิจัย 6
1.7 สรุปเนื้อหางานวิจัย 7

บทที่ 2 : การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการจัดสมดุลของสายงานการประกอบ 9
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการนำเจเนติกอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้ 11
2.2.1 การใช้เจเนติกอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาแบบวัตถุประสงค์เดียว 11
2.2.2 การใช้เจเนติกอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์ 13
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวกับเทคนิคและวิธีการต่างๆของเจเนติกอัลกอริทึม 14

บทที่ 3 : ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับเจเนติกอัลกอริทึม

3.1 เจเนติกอัลกอริทึม 17
3.1.1 พันธุศาสตร์กับเจเนติกอัลกอริทึม 17
3.1.2 ความหมายของเจเนติกอัลกอริทึม 19

สารบัญ (ต่อ)

3.2 เจเนติกอัลกอริทึมอย่างง่าย 20
3.2.1 การเข้ารหัสและสร้างประชากรอย่างสุ่ม 21
3.2.2 ประชากรรุ่นเก่า 21
3.2.3 การดำเนินการของ SGA 21
3.2.4 ประชากรรุ่นใหม่ 24
3.3 ตัวอย่างการใช้เจเนติกอัลกอริทึมในการหาคำตอบของฟังก์ชั่น 24
3.4 เจเนติกอัลกอริทึมแบบหลายวัตถุประสงค์ 27
3.5 สรุปท้ายบท 30

บทที่ 4 : ทฤษฎีเกี่ยวกับการจัดสมดุลของสายงานการประกอบ

4.1 สายงานการประกอบ 32
4.2 การจัดสมดุลของสายงานการประกอบ 33
4.2.1 คำจำกัดความ 24
4.2.2 ประเภทของปัญหาการจัดสมดุลของสายการผลิต 35
4.2.3 ข้อมูลพื้นฐานที่ต้องรู้ในการจัดสมดุลของสายงานการประกอบ 37
4.2.4 ขั้นตอนในการจัดสมดุลของสายงานการประกอบ 38
4.3 วิธีจัดสมดุลของสายงานการประกอบ 38
4.4 การประเมินประสิทธิภาพของสายงานการประกอบ 40
4.4.1 การประเมินประสิทธิภาพด้านเทคนิค 40
4.4.2 การประเมินประสิทธิภาพด้านค่าใช้จ่าย 41
4.4 สรุปท้ายบท 41

บทที่ 5 : เจเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบอย่างง่ายแบบวัตถุประสงค์เดียว

5.1 ลักษณะปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบอย่างง่าย 42
5.2 โครงสร้างของเจเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหา SALB 44
5.2.1 โครงสร้างหลัก 44
5.2.2 การทำงานของเจเนติกอัลกอริทึม 44
5.3 วิธีการของเจเนติกอัลกอริทึม 47
5.3.1 การใส่รหัสคำตอบ (Representation) 47

สารบัญ (ต่อ)

5.3.2 การสร้างประชากรเบื้องต้น (Initial Population Creating) 48
5.3.3 การถอดรหัสคำตอบ (Decoding) 51
5.3.4 การประเมินค่า Fitness ของคำตอบ (Evaluation) 52
5.3.5 การคัดเลือกสตริงคำตอบ (Selection) 54
5.3.6 การครอสโอเวอร์ (Crossover) 57
5.3.7 การมิวเตชั่น (Mutation) 63
5.3.8 เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด (Elite PreserveStrategy) 64
5.4 สรุปท้ายบท 66

บทที่ 6 : การทดสอบพารามิเตอร์ของ GAs

6.1 การทดลองหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม 68
6.1.1 การระบุปัญหา 68
6.1.2 การเลือกตัวแปรตอบสนอง 69
6.1.3 การเลือกปัจจัยและระดับปัจจัย 70
6.1.4 การพิจารณาผลกระทบร่วมกันของระดับปัจจัย 74
6.2 การออกแบบการทดลอง 75
6.2.1 การกำหนดจำนวนข้อมูลที่ต้องการจากการทดลอง แต่ละระดับปัจจัย 75
6.2.2 การกำหนดรูปแบบการทดลอง 75
6.2.3 การเก็บและจัดระบบข้อมูล 77
6.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 77
6.3.1 ปัญหาตัวอย่างขนาด 11 งาน 78
6.3.2 ปัญหาตัวอย่างขนาด 31 งาน 80
6.3.3 ปัญหาตัวอย่างขนาด 39 งาน 83
6.3.4 ปัญหาตัวอย่างขนาด 54 งาน 86
6.4 สรุปผลการทดลอง 90
6.5 สรุปท้ายบท 91

บทที่ 7 : การเปรียบเทียบเจเนติกอัลกอริทึม กับวิธีฮิวริสติก

7.1 ปัญหาตัวอย่างขนาด 11 งาน 92
7.1.1 การหาคำตอบโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม 92

สารบัญ (ต่อ)

7.1.2 การหาคำตอบโดยวิธี COMSOAL 93
7.1.3 การเปรียบเทียบผล 94
7.2 ปัญหาตัวอย่างขนาด 31 งาน 94
7.2.1 การหาคำตอบโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม 94
7.2.2 การหาคำตอบโดยวิธี COMSOAL 96
7.2.3 การเปรียบเทียบผล 96
7.3 ปัญหาตัวอย่างขนาด 39 งาน 97
7.3.1 การหาคำตอบโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม 97
7.3.2 การหาคำตอบโดยวิธี COMSOAL 98
7.3.3 การเปรียบเทียบผล 99
7.4 ปัญหาตัวอย่างขนาด 54 งาน 99
7.4.1 การหาคำตอบโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม 99
7.4.2 การหาคำตอบโดยวิธี COMSOAL 101
7.4.3 การเปรียบเทียบผล 101
7.5 สรุปท้ายบท 102

บทที่ 8 : เจเนติกอัลกอริทึมสำหรับสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายงาน การประกอบอย่างง่ายแบบหลายวัตถุประสงค์

8.1 ปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบแบบหลายวัตถุประสงค์ 103
8.2 วิธีการของเจเนติกอัลกอริทึมแบบหลายวัตถุประสงค์ 103
8.2.1 การถอดรหัสคำตอบ (Decoding) 104
8.2.2 การประเมินค่า Fitness ของคำตอบ (Evaluation) 105
8.2.3 การคัดเลือกสตริงคำตอบ (Selection) 107
8.2.4 วิธีการเก็บค่าคำตอบที่ดีที่สุด (Elite Preserve Strategy) 113
8.3 สรุปท้ายบท 130

บทที่ 9 : การทดสอบพารามิเตอร์ของ MOGA

9.1 การทดลองหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม 114
9.1.1 การระบุปัญหา 114

สารบัญ (ต่อ)

9.1.2 การเลือกตัวแปรตอบสนอง 114
9.1.3 การเลือกปัจจัยและระดับปัจจัย 115
9.1.4 การพิจารณาผลกระทบร่วมกันของระดับปัจจัย 115
9.2 การออกแบบการทดลอง 115
9.2.1 การกำหนดจำนวนข้อมูลที่ต้องการจากการทดลอง แต่ละระดับปัจจัย 115
9.2.2 การกำหนดรูปแบบการทดลอง 115
9.2.3 การเก็บและจัดระบบข้อมูล 117
9.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 117
9.3.1 ปัญหาตัวอย่างขนาด 11 งาน 118
9.3.2 ปัญหาตัวอย่างขนาด 31 งาน 121
9.3.3 ปัญหาตัวอย่างขนาด 39 งาน 125
9.3.4 ปัญหาตัวอย่างขนาด 54 งาน 128
9.4 สรุปผลการทดลอง 131
9.5 สรุปท้ายบท 132

บทที่ 10 : การเปรียบเทียบระหว่างวิธีเจเนติกอัลกอริทึมแบบหลายวัตถุประสงค์ กับวิธีเจเนติกอัลกอริทึมแบบวัตถุประสงค์ เดียว

10.1 ปัญหาตัวอย่างขนาด 11 งาน 133
10.1.1 การหาคำตอบโดยใช้ MOGA 133
10.1.2 การเปรียบเทียบผล 135
10.2 ปัญหาตัวอย่างขนาด 31 งาน 135
10.2.1 การหาคำตอบโดยใช้ MOGA 135
10.2.2 การเปรียบเทียบผล 137
10.3 ปัญหาตัวอย่างขนาด 39 งาน 137
10.3.1 การหาคำตอบโดยใช้ MOGA 137
10.3.2 การเปรียบเทียบผล 139
10.4 ปัญหาตัวอย่างขนาด 54 งาน 139
10.4.1 การหาคำตอบโดยใช้ MOGA 139
10.4.2 การเปรียบเทียบผล 141
10.5 สรุปท้ายบท 142

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 11 : สรุป

11.1 สรุปงานวิจัย 144

11.1.1 เจเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบแบบวัตถุประสงค์เดียว 144

11.1.2 การทดสอบพารามิเตอร์ของ GAs 146

11.1.3 ผลการใช้ GAs แก้ปัญหา 146

11.1.4 เจเนติกอัลกอริทึมแบบหลายวัตถุประสงค์สำหรับปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบที่พิจารณาหลายวัตถุประสงค์ 146

11.1.5 การทดสอบพารามิเตอร์ของ MOGA 147

11.1.6 ผลการใช้ MOGA แก้ปัญหา 148

11.2 ข้อเสนอแนะ 148

รายการอ้างอิง 150

ภาคผนวก 153

ภาคผนวก ก ปัญหา NP-hard 154

ภาคผนวก ข รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง 156

ภาคผนวก ค การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม

ค-1 การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมและตัวอย่างการแก้ปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบโดยเจเนติกอัลกอริทึม 161

ค-2 การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมและตัวอย่างการแก้ปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบแบบหลายวัตถุประสงค์โดยเจเนติกอัลกอริทึม 175

ภาคผนวก ง ข้อมูลที่ได้จากการรันโปรแกรม

ง-1 Single Objective GAs 194

ง-2 Multi-objective GAs 218

ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ Duncan's Multiple Range Test

จ-1 Single Objective GAs 266

จ-2 Multi-objective GAs 276

ภาคผนวก ฉ โปรแกรม MATLAB 285

ประวัติผู้ทำการวิจัย 320

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1.1	ตัวอย่างไดอะแกรมแสดงงาน เวลาทำงานและความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน.	5
รูปที่ 3.1	การเปรียบเทียบลักษณะระหว่างเจเนติกอัลกอริทึมกับลักษณะทางพันธุศาสตร์	18
รูปที่ 3.2	ขั้นตอนของ GAs อย่างง่าย	20
รูปที่ 3.3	การรีโปรดักชั่นอย่างง่ายด้วยวิธีการใช้วงล้อรูลเล็ทที่มีขนาดของแต่ละช่องเป็นสัดส่วนกับค่าความเหมาะสม	22
รูปที่ 3.4	การครอสโอเวอร์อย่างง่ายเพื่อให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงสตริงและการแลกเปลี่ยนข่าวสารโดยเลือกตำแหน่งไขว้แบบสุ่ม	23
รูปที่ 3.5	ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ $f(x) = x^2$	25
รูปที่ 3.6	ทิศทางการหาคำตอบโดยเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับการรวมฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์แบบกำหนดน้ำหนักเฉพาะ	29
รูปที่ 3.7	ทิศทางการหาคำตอบโดยเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับการรวมฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์แบบกำหนดน้ำหนักหลายค่า	30
รูปที่ 4.1	สายงานการประกอบ	33
รูปที่ 4.2	แผนผังแสดงการจำแนกประเภทปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ	35
รูปที่ 4.3	ไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน	37
รูปที่ 5.1	แผนผังแสดงโครงสร้างและวิธีการของเจเนติกอัลกอริทึม	47
รูปที่ 5.2	ตัวอย่างเมตริกซ์แสดงความสัมพันธ์ตามลำดับก่อนหลังของงาน	50
รูปที่ 5.3	วงล้อรูเล็ด	56
รูปที่ 6.1	ผลที่ได้จากการทำ Pilot Run สำหรับปัญหาขนาด 11 งาน	71
รูปที่ 6.2	ผลที่ได้จากการทำ Pilot Run สำหรับปัญหาขนาด 31 งาน	71
รูปที่ 6.3	ผลที่ได้จากการทำ Pilot Run สำหรับปัญหาขนาด 39 งาน	72
รูปที่ 6.4	ผลที่ได้จากการทำ Pilot Run สำหรับปัญหาขนาด 54 งาน	72
รูปที่ 7.1	ผลการหาคำตอบโดย GAs สำหรับปัญหาตัวอย่างขนาด 11 งาน	93
รูปที่ 7.2	ผลการหาคำตอบโดย GAs สำหรับปัญหาตัวอย่างขนาด 31 งาน	95
รูปที่ 7.3	ผลการหาคำตอบโดย GAs สำหรับปัญหาตัวอย่างขนาด 39 งาน	97
รูปที่ 7.4	ผลการหาคำตอบโดย GAs สำหรับปัญหาตัวอย่างขนาด 54 งาน	100
รูปที่ 8.1	ตัวอย่างการจัดลำดับ Priority ของเกณฑ์ในการเลือกเก็บคำตอบ	109
รูปที่ 10.1	ผลการหาคำตอบโดย MOGA สำหรับปัญหาตัวอย่างขนาด 11 งาน	134
รูปที่ 10.2	ผลการหาคำตอบโดย MOGA สำหรับปัญหาตัวอย่างขนาด 31 งาน	136
รูปที่ 10.3	ผลการหาคำตอบโดย MOGA สำหรับปัญหาตัวอย่างขนาด 39 งาน	138
รูปที่ 10.4	ผลการหาคำตอบโดย MOGA สำหรับปัญหาตัวอย่างขนาด 54 งาน	140

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 รายละเอียดของปัญหาตัวอย่างที่ใช้ในการวัดผล..... 4
ตารางที่ 1.2 ผลการจัดสมดุลของสายงานการประกอบของปัญหาตัวอย่าง..... 6
ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบคำศัพท์ระหว่างพันธุศาสตร์และเจเนติกอัลกอริทึม..... 18
ตารางที่ 3.2 กลุ่มประชากรตัวอย่างและค่าความเหมาะสม..... 22
ตารางที่ 3.3 การคำนวณหาคำตอบของ SGA กับฟังก์ชั่น $f(x) = x^2$..... 25
ตารางที่ 5.1 สตริงคำตอบตัวอย่าง 2 ตัวที่มีการจัดเรียงลำดับงานต่างกันแต่ให้ผลการจัดเหมือนกัน..... 53
ตารางที่ 5.2 ตัวอย่างตารางแสดงการสร้างวงล้อรูเล็ด..... 56
ตารางที่ 5.3 ตัวอย่างการคัดเลือกด้วยวิธี Tournament Selection..... 57
ตารางที่ 6.1 รายละเอียดและข้อกำหนดเบื้องต้นของปัญหาตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง..... 69
ตารางที่ 6.2 รายละเอียดของปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณา..... 76
ตารางที่ 6.3 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 11 งาน โดยโปรแกรม JMPเมื่อใช้ค่า Workload Variance เป็นค่าตอบสนอง..... 78
ตารางที่ 6.4 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 11 งาน โดยโปรแกรม JMP เมื่อใช้ลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบเป็นค่าตอบสนอง..... 79
ตารางที่ 6.5 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 31 งาน โดยโปรแกรม JMPเมื่อใช้ค่า Workload Variance เป็นค่าตอบสนอง..... 80
ตารางที่ 6.6 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 31 งาน โดยโปรแกรม JMP เมื่อใช้ลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบเป็นค่าตอบสนอง..... 83
ตารางที่ 6.7 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 39 งาน โดยโปรแกรม JMPเมื่อใช้ค่า Workload Variance เป็นค่าตอบสนอง..... 84
ตารางที่ 6.8 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 39 งาน โดยโปรแกรม JMP เมื่อใช้ลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบเป็นค่าตอบสนอง..... 86
ตารางที่ 6.9 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 54 งาน โดยโปรแกรม JMPเมื่อใช้ค่า Workload Variance เป็นค่าตอบสนอง..... 87
ตารางที่ 6.10 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 54 งาน โดยโปรแกรม JMP เมื่อใช้ลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบเป็นค่าตอบสนอง..... 89
ตารางที่ 6.11 ผลการทดสอบพารามิเตอร์ของ GAs..... 90
ตารางที่ 7.1 ผลการจัดสมดุลสายงานการประกอบโดย GAs สำหรับปัญหาขนาด 11 งาน.. 93
ตารางที่ 7.2 ค่า Measure of Performance ต่างๆของปัญหาขนาด 11 งานที่ได้จาก GAs.. 93
ตารางที่ 7.3 ผลการจัดสมดุลสายงานการประกอบโดย COMSOAL สำหรับปัญหาขนาด 11 งาน..... 94

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ 7.4	ค่า Measure of Performance ต่างๆของปัญหา11 งานที่ได้จาก COMSOAL.	94
ตารางที่ 7.5	ผลการจัดสมดุลสายงานการประกอบโดย GAs สำหรับปัญหาขนาด 31 งาน..	95
ตารางที่ 7.6	ค่า Measure of Performance ต่างๆของปัญหาขนาด 31 งานที่ได้จาก GAs..	96
ตารางที่ 7.7	ผลการจัดสมดุลสายงานการประกอบโดย COMSOAL สำหรับปัญหาขนาด 31 งาน.....	96
ตารางที่ 7.8	ค่า Measure of Performance ต่างๆของปัญหา 31 งานที่ได้จาก COMSOAL	96
ตารางที่ 7.9	ผลการจัดสมดุลสายงานการประกอบโดย GAs สำหรับปัญหาขนาด 39 งาน..	98
ตารางที่ 7.10	ค่า Measure of Performance ต่างๆของปัญหาขนาด 39 งานที่ได้จาก GAs..	98
ตารางที่ 7.11	ผลการจัดสมดุลสายงานการประกอบโดย COMSOAL สำหรับปัญหาขนาด 39 งาน.....	98
ตารางที่ 7.12	ค่า Measure of Performance ต่างๆของปัญหา 39 งานที่ได้จาก COMSOAL	99
ตารางที่ 7.13	ผลการจัดสมดุลสายงานการประกอบโดย GAs สำหรับปัญหาขนาด 54 งาน..	100
ตารางที่ 7.14	ค่า Measure of Performance ต่างๆของปัญหาขนาด 54 งานที่ได้จาก GAs..	101
ตารางที่ 7.15	ผลการจัดสมดุลสายงานการประกอบโดย COMSOAL สำหรับปัญหาขนาด 54 งาน.....	101
ตารางที่ 7.16	ค่าMeasure of Performance ต่างๆของปัญหา 54 งานจาก COMSOAL.....	116
ตารางที่ 9.1	ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลองของ MOGA.....	118
ตารางที่ 9.2	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 11 งานโดยโปรแกรม JMP เมื่อใช้ค่าวัตถุประสงค์เป็นค่าตอบสนอง (MOGA).....	119
ตารางที่ 9.3	ผลการวิเคราะห์ Duncan's Multiple Range Test ของปัญหา 11 งาน (MOGA) เมื่อใช้ค่าวัตถุประสงค์รวมเป็นค่าตอบสนอง.....	120
ตารางที่ 9.4	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 11 งานโดยโปรแกรม JMP เมื่อใช้ลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบเป็นค่าตอบสนอง (MOGA).....	121
ตารางที่ 9.5	ผลการวิเคราะห์ Duncan's Multiple Range Test ของปัญหา 11 งาน (MOGA) เมื่อใช้ลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบเป็นค่าตอบสนอง.....	122
ตารางที่ 9.6	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 31 งานโดยโปรแกรม JMP เมื่อใช้ค่าวัตถุประสงค์เป็นค่าตอบสนอง (MOGA).....	122
ตารางที่ 9.7	ผลการวิเคราะห์ Duncan's Multiple Range Test ของปัญหา 31 งาน (MOGA) เมื่อใช้ค่าวัตถุประสงค์รวมเป็นค่าตอบสนอง.....	122
ตารางที่ 9.8	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 31 งานโดยโปรแกรม JMP เมื่อใช้ลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบเป็นค่าตอบสนอง (MOGA).....	124

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ 9.9	ผลการวิเคราะห์ Duncan's Multiple Range Test ของปัญหา 31 งาน (MOGA) เมื่อใช้ลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบเป็นค่าตอบสนอง.....	124
ตารางที่ 9.10	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 39 งานโดยโปรแกรม JMP เมื่อใช้ค่าวัตถุประสงค์เป็นค่าตอบสนอง (MOGA).....	125
ตารางที่ 9.11	ผลการวิเคราะห์ Duncan's Multiple Range Test ของปัญหา 39 งาน (MOGA) เมื่อใช้ค่าวัตถุประสงค์รวมเป็นค่าตอบสนอง.....	126
ตารางที่ 9.12	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 39 งานโดยโปรแกรม JMP เมื่อใช้ลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบเป็นค่าตอบสนอง (MOGA).....	127
ตารางที่ 9.13	ผลการวิเคราะห์ Duncan's Multiple Range Test ของปัญหา 39 งาน (MOGA) เมื่อใช้ลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบเป็นค่าตอบสนอง.....	127
ตารางที่ 9.14	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 54 งานโดยโปรแกรม JMP เมื่อใช้ค่าวัตถุประสงค์เป็นค่าตอบสนอง (MOGA).....	128
ตารางที่ 9.15	ผลการวิเคราะห์ Duncan's Multiple Range Test ของปัญหา 54 งาน (MOGA) เมื่อใช้ค่าวัตถุประสงค์รวมเป็นค่าตอบสนอง.....	129
ตารางที่ 9.16	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 54 งานโดยโปรแกรม JMP เมื่อใช้ลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบเป็นค่าตอบสนอง (MOGA).....	130
ตารางที่ 9.17	ผลการวิเคราะห์ Duncan's Multiple Range Test ของปัญหา 54 งาน (MOGA) เมื่อใช้ลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบเป็นค่าตอบสนอง.....	130
ตารางที่ 9.18	ผลการทดสอบพารามิเตอร์ของ MOGA	131
ตารางที่ 10.1	ผลการจัดสมดุลสายงานการประกอบของปัญหา 11 งานโดย MOGA.....	134
ตารางที่ 10.2	ค่า Measure of Performance ต่างๆของปัญหา 11 งานที่ได้จากMOGA.....	134
ตารางที่ 10.3	การเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จาก MOGA กับ SGA สำหรับปัญหา 11 งาน....	135
ตารางที่ 10.4	ผลการจัดสมดุลสายงานการประกอบของปัญหา 31 งานโดย MOGA.....	136
ตารางที่ 10.5	ค่า Measure of Performance ต่างๆของปัญหา 31 งานที่ได้จากMOGA.....	136
ตารางที่ 10.6	การเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จาก MOGA กับ SGA สำหรับปัญหา 31 งาน....	137
ตารางที่ 10.7	ผลการจัดสมดุลสายงานการประกอบของปัญหา39 งานโดย MOGA.....	138
ตารางที่ 10.8	ค่า Measure of Performance ต่างๆของปัญหา 39 งานที่ได้จากMOGA.....	138
ตารางที่ 10.9	การเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จาก MOGA กับ SGA สำหรับปัญหา 39 งาน....	139
ตารางที่ 10.10	ผลการจัดสมดุลสายงานการประกอบของปัญหา 54 งานโดย MOGA.....	140
ตารางที่ 10.11	ค่า Measure of Performance ต่างๆของปัญหา 54 งานที่ได้จากMOGA.....	141
ตารางที่ 10.12	การเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จาก MOGA กับ SGA สำหรับปัญหา 54 งาน....	141
ตารางที่ 10.13	การเปรียบเทียบคำตอบของปัญหา 54 งานที่ได้จาก MOGA กับ COMSOAL	142