การควบคุมความหลากหลายของประชากรในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมโดยการจับคู่แบบโอนเอียง

นาย ชัยวัฒน์ เจษฎาปกรณ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-53-1907-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19404140

DIVERSITY CONTROL IN GENETIC ALGORITHMS BY PREFERENCE MATING

Mr. Chaiwat Jassadapakorn

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Doctor of Philosophy in Computer Engineering

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic year 2004

ISBN 974-53-1907-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การควบคุมความหลากหลายของประชากรในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยการจับคู่แบบโอนเอียง
โดย	นาย ชัยวัฒน์ เจษฎาปกรณ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. ประภาส จงสถิตย์วัฒนา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาดุษฎีบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สาธิต วงศ์ประทีป)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. ประภาส จงสถิตย์วัฒนา)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญเสริม กิจศิริกุล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณชล ไชยรัตนะ)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. เศรษฐา ปานงาม)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชัยวัฒน์ เจษฎาปกรณ์ : การควบคุมความหลากหลายของประชากรในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมโดยการจับคู่แบบโอนเอียง. (DIVERSITY CONTROL IN GENETIC ALGORITHMS BY PREFERENCE MATING) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. ประภาส จงสถิตย์วัฒนา, 132 หน้า. ISBN 974-53-1907-4.

ปัญหาที่สำคัญประการหนึ่งของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมคือการลู่เข้าก่อนกำหนดในระหว่างการวิวัฒนาการ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมปกติไม่มีส่วนของการควบคุมความหลากหลายของประชากรซึ่งส่งผลให้กระบวนการหาคำตอบไม่ประสบความสำเร็จเมื่อความหลากหลายของประชากรมีไม่เพียงพอ

งานวิจัยจำนวนมากได้เสนอวิธีการรักษาความหลากหลายของประชากร แต่วิธีเหล่านั้นจำเป็นต้องกำหนดพารามิเตอร์ก่อนการทดลองซึ่งจำเป็นต้องมีความรู้ก่อนหน้าว่า ในการแก้ปัญหาต้องอาศัยความหลากหลายเท่าไรจึงจะสามารถกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆได้อย่างเหมาะสม

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการคิดค้นระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรที่มีความสามารถปรับตัวให้เหมาะสมกับปัญหาได้ ระบบควบคุมความหลากหลายที่นำเสนอมีพื้นฐานมาจากการคัดเลือกแบบโอนเอียงซึ่งเป็นวิธีที่เพิ่มขยายมาจากการจับคู่แบบมีข้อกำหนด วิธีที่นำเสนอได้ถูกทดสอบกับปัญหาที่นิยมใช้ในการทดสอบอ้างอิงของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งพบว่าระบบที่นำเสนอมีการปรับตัวเข้ากับปัญหาส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาที่ดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อนิสิต ชัยวัฒน์ เจษฎาปกรณ์
สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ประภาส จงสถิตย์วัฒนา
ปีการศึกษา 2547

4371806621 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEY WORD: GENETIC ALGORITHMS / POPULATION DIVERSITY / DIVERSITY CONTROL / ADAPTIVE SYSTEM

CHAIWAT JASSADAPAKORN : DIVERSITY CONTROL IN GENETIC ALGORITHMS BY PREFERENCE MATING. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PRABHAS CHONGSTITVATANA, 132 pp. ISBN 974-53-1907-4.

An important problem in genetic algorithms is a premature convergence during the evolutionary process. A normal genetic algorithm does not contain a control of diversity in the population. This fact usually leads to a failure to find solutions when there is not enough diversity in the population.

Many researches had proposed methods to retain diversity in the population but to use those methods the control parameters must be properly set. The setting of these parameters requires a priori knowledge about the diversity in the population to successfully solve the problem.

The objective of this research is to invent a diversity control system that is adaptive to problems. The proposed diversity control system is based on the preference mating which is an extension of a restricted mating. The proposed system has been tested with the popular reference tests, which are widely used in genetic algorithms literature. The results show that the proposed system can adapt the diversity in the population to suit problems well. This leads to a good efficiency in solving the problem.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Computer Engineering Student's signature ชัยวัฒน์ เจษฎาปกรณ์

Field of study Computer Engineering Advisor's signature P. Chongstitvatana

Academic year 2004

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร. ประภาส จงสถิตย์วัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้การดูแล แนะนำ สั่งสอน และให้ข้อคิดเห็นต่างๆในการวิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณ นายวีรเดช เพ็งกระจ่าง เพื่อนที่แสนดี ซึ่งคอยให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจมาโดยตลอด

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนด้านการเงิน และคอยให้กำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฏ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 2

1.2.1 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม 2

1.2.2 ความหลากหลายของประชากร 6

1.2.3 ความเพียรพยายามเชิงคำนวณ 7

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 10

1.4 ขอบเขตของการวิจัย 10

1.5 งานที่นำเสนอในการวิจัย 11

2 ปริทรรศน์วรรณกรรม 12

2.1 วิธีกลุ่มเฉพาะ 12

2.2 แรงค์สเปซ 14

2.3 การจับคู่แบบมีข้อกำหนด 16

2.4 DCGA 17

2.5 CSGA 20

2.6 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบ multiploid 22

2.7 งานวิจัยอื่นๆ 24

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

2.8 สรุป 26
3 การออกแบบระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมโดยการจับคู่แบบโอนเอียง 28
3.1 การจับคู่แบบโอนเอียง 28
3.2 ระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรโดยใช้บิตต่อ 31
3.3 การทดลองระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรโดยใช้บิตต่อ 32
3.3.1 ปัญหาที่ใช้ในการทดลอง 32
3.3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง 35
3.3.3 ผลการทดลอง 36
3.4 ระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรแบบหลายกลุ่มประชากรย่อย 40
3.5 การทดลองระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรแบบหลายกลุ่มประชากรย่อย 41
3.5.1 ปัญหาที่ใช้ในการทดลอง 41
3.5.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง 41
3.5.3 ผลการทดลอง 42
3.6 ระบบแบ่งส่วนความหลากหลายของประชากรแบบเท่ากัน 48
3.7 การทดลองระบบแบ่งส่วนความหลากหลายของประชากรแบบเท่ากัน 49
3.7.1 ปัญหาที่ใช้ในการทดลอง 49
3.7.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง 49
3.7.3 ผลการทดลอง 50
3.8 การสร้างประโยชน์ 57
3.9 ระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรโดยใช้การสร้างประโยชน์ 58
4 การทดลอง 60
4.1 สหสัมพันธ์ความเหมาะและระยะทาง 60

หน้า

4.2 ปัญหาที่ใช้ในการทดลอง 68
4.2.1 ปัญหา one-max 68
4.2.2 ปัญหาฟังก์ชัน deceptive 69
4.2.3 ปัญหาฟังก์ชัน multimodal 69
4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง 70
4.4 ผลการทดลอง 71
4.4.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแก้ปัญหา 71
4.4.2 ผลการทดลองพฤติกรรมในการปรับตัว 73
4.5 การทดลองเพิ่มเติมกับปัญหาฟังก์ชัน deceptive 77
4.6 การทดลองเพิ่มเติมกับปัญหา royal road 80
4.7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับงานวิจัยอื่น 83
4.7.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับการแบ่ง 85
4.7.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับการจับคู่แบบมีข้อกำหนด 93
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 104
5.1 สรุปผลการวิจัย 104
5.2 ปัญหาและอุปสรรค 105
5.3 ข้อเสนอแนะ 107
รายการอ้างอิง 110
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 115

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ค่าของตัวแปรต่างๆในการหาค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของตัวอย่างปัญหา 9

3.1 สตริงของเลขฐาน 2 และค่าความเหมาะของปัญหาฟังก์ชัน deceptive 34

3.2 พารามิเตอร์ทั่วไป 35

3.3 พารามิเตอร์เพิ่มเติมเฉพาะระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรโดยใช้บิตต่อ 36

3.4 เปอร์เซ็นต์ของความสำเร็จ 37

3.5 จำนวนรุ่นเฉลี่ยที่ใช้ในการหาคำตอบ 37

3.6 ความเพียรพยายามเชิงคำนวณ 37

3.7 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง 41

3.8 ความเพียรพยายามเชิงคำนวณของแต่ละกลุ่มประชากรย่อย 43

3.9 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง 50

3.10 เปอร์เซ็นต์ของความสำเร็จ 50

3.11 จำนวนรุ่นเฉลี่ยที่ใช้ในการหาคำตอบ 51

3.12 ความเพียรพยายามเชิงคำนวณ 51

4.1 สหสัมพันธ์ความเหมาะและระยะทางของปัญหาที่ใช้ในการทดลอง 62

4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง 71

4.3 ประสิทธิภาพการแก้ปัญหาของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมระบบต่างๆ สำหรับปัญหา one-max 72

4.4 ประสิทธิภาพการแก้ปัญหาของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมระบบต่างๆ สำหรับปัญหาฟังก์ชัน deceptive 72

4.5 ประสิทธิภาพการแก้ปัญหาของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมระบบต่างๆ สำหรับปัญหาฟังก์ชัน multimodal 73

4.6 ประสิทธิภาพการแก้ปัญหาของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมระบบต่างๆ สำหรับปัญหาฟังก์ชัน 3bit-deceptive 78

ตารางที่ หน้า

4.7 ประสิทธิภาพการแก้ปัญหาของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมระบบต่างๆ สำหรับปัญหาฟังก์ชัน 5bit-deceptive 78
4.8 ประสิทธิภาพการแก้ปัญหาของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมระบบต่างๆ สำหรับปัญหาฟังก์ชัน 9bit-deceptive 79
4.9 ตารางคำนวณค่าความเหมาะสำหรับปัญหา royal road 81
4.10 ประสิทธิภาพการแก้ปัญหาของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมระบบต่างๆ สำหรับปัญหา royal road R1 82
4.11 ประสิทธิภาพการแก้ปัญหาของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมระบบต่างๆ สำหรับปัญหา royal road R2 82
4.12 หน่วยชีวิตตัวอย่างสำหรับการคัดเลือกแบบ sus 84
4.13 ความเพียรพยายามเชิงคำนวณของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมระบบต่างๆ สำหรับปัญหา one-max 86
4.14 ความเพียรพยายามเชิงคำนวณของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมระบบต่างๆ สำหรับปัญหาฟังก์ชัน deceptive 87
4.15 ความเพียรพยายามเชิงคำนวณของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมระบบต่างๆ สำหรับปัญหาฟังก์ชัน multimodal 87
4.16 ความเพียรพยายามเชิงคำนวณของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมระบบต่างๆ สำหรับปัญหา one-max 94
4.17 ความเพียรพยายามเชิงคำนวณของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมระบบต่างๆ สำหรับปัญหาฟังก์ชัน deceptive 95
4.18 ความเพียรพยายามเชิงคำนวณของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมระบบต่างๆ สำหรับปัญหาฟังก์ชัน multimodal 95

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	ตัวอย่างหน่วยชีวิตในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม	3
1.2	ตัวอย่างการไขว้เปลี่ยนระหว่างหน่วยชีวิตรุ่นเดิม 2 หน่วย (ก) ซึ่งได้ผลลัพธ์เป็นหน่วยชีวิตใหม่ 2 หน่วย (ข)	3
1.3	ตัวอย่างการกลายจากหน่วยชีวิตเริ่มต้น (ก) และได้ผลลัพธ์เป็นหน่วยชีวิตใหม่ (ข)	4
1.4	ผังงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม	5
1.5	เส้นโค้งสมรรถนะของตัวอย่างปัญหา	9
2.1	ขั้นตอนการทำงานของ DCGA	18
2.2	ตัวอย่างหน่วยชีวิตของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบ multiploid	23
2.3	ตัวอย่างหน่วยชีวิตของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบ multiploid ซึ่งความยาวของ mask น้อยกว่าความยาวโครโมโซม	23
3.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่าง d และค่าจากฟังก์ชันความแตกต่าง D	30
3.2	ขั้นตอนการทำงานของการจับคู่แบบโอนเอียง	31
3.3	ตัวอย่างโครโมโซมของหน่วยชีวิตซึ่งใช้บิตต่อ	31
3.4	ขั้นตอนการทำงานของระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรโดยใช้บิตต่อ	32
3.5	กราฟแสดงลักษณะของฟังก์ชัน multimodal	34
3.6	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่าง d และค่าจากฟังก์ชันความแตกต่าง D	36
3.7	การวิวัฒนาการของระดับโอนเอียงของปัญหา one-max	38
3.8	การวิวัฒนาการของระดับโอนเอียงของปัญหาฟังก์ชัน multimodal	38
3.9	การวิวัฒนาการของระดับโอนเอียงของปัญหาฟังก์ชัน deceptive	39
3.10	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่าง d และค่าจากฟังก์ชันความแตกต่าง D	42
3.11	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความเหมาะสำหรับปัญหา one-max	43
3.12	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าดีที่สุดของค่าความเหมาะสำหรับปัญหา one-max	44

รูปที่ หน้า

3.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความเหมาะสำหรับ
ปัญหาฟังก์ชัน multimodal 44
3.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าดีที่สุดของค่าความเหมาะสำหรับ
ปัญหาฟังก์ชัน multimodal 45
3.15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความเหมาะสำหรับ
ปัญหาฟังก์ชัน deceptive 45
3.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าดีที่สุดของค่าความเหมาะสำหรับ
ปัญหาฟังก์ชัน deceptive 46
3.17 การวิวัฒนาการของระดับโอนเอียงของปัญหา one-max 52
3.18 การวิวัฒนาการของระดับโอนเอียงของปัญหาฟังก์ชัน multimodal 52
3.19 การวิวัฒนาการของระดับโอนเอียงของปัญหาฟังก์ชัน deceptive 53
3.20 การวิวัฒนาการของจำนวนครั้งของการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จ
ของปัญหา one-max 54
3.21 การวิวัฒนาการของอัตราของการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จ
ของปัญหา one-max 54
3.22 การวิวัฒนาการของจำนวนครั้งของการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จ
ของปัญหาฟังก์ชัน multimodal 55
3.23 การวิวัฒนาการของอัตราของการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จ
ของปัญหาฟังก์ชัน multimodal 55
3.24 การวิวัฒนาการของจำนวนครั้งของการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จ
ของปัญหาฟังก์ชัน deceptive 56
3.25 การวิวัฒนาการของอัตราของการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จ
ของปัญหาฟังก์ชัน deceptive 56
3.26 ขั้นตอนการทำงานของระบบควบคุมความหลากหลายของประชากร
โดยใช้การสร้างประโยชน์ 59

รูปที่ หน้า

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะและระยะทางจากจุดที่ดีที่สุด สำหรับปัญหา one-max 64
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะและระยะทางจากจุดที่ดีที่สุด สำหรับปัญหาฟังก์ชัน deceptive 65
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะและระยะทางจากจุดที่ดีที่สุด สำหรับปัญหาฟังก์ชัน multimodal 65
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะและระยะทางจากจุดที่ดีที่สุด สำหรับปัญหาฟังก์ชัน 3bit-deceptive 66
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะและระยะทางจากจุดที่ดีที่สุด สำหรับปัญหาฟังก์ชัน 5bit-deceptive 66
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะและระยะทางจากจุดที่ดีที่สุด สำหรับปัญหาฟังก์ชัน 9bit-deceptive 67
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะและระยะทางจากจุดที่ดีที่สุด สำหรับปัญหา royal road R1 67
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะและระยะทางจากจุดที่ดีที่สุด สำหรับปัญหา royal road R2 68
4.9 กราฟแสดงลักษณะของฟังก์ชัน multimodal 70
4.10 จำนวนครั้งที่ถูกเลือกของแต่ละระดับโอนเอียงสำหรับปัญหา one-max 71
4.11 จำนวนครั้งที่ถูกเลือกของแต่ละระดับโอนเอียงสำหรับปัญหาฟังก์ชัน deceptive 71
4.12 จำนวนครั้งที่ถูกเลือกของแต่ละระดับโอนเอียงสำหรับปัญหาฟังก์ชัน multimodal 72
4.13 ความหลากหลายของประชากรระหว่างขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบไม่ปรับตัว และระบบที่ออกแบบสำหรับปัญหา one-max 72
4.14 ความหลากหลายของประชากรระหว่างขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบไม่ปรับตัว และระบบที่ออกแบบสำหรับปัญหาฟังก์ชัน deceptive 73

รูปที่ หน้า

4.15 ความหลากหลายของประชากรระหว่างขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบไม่ปรับตัวและระบบที่ออกแบบสำหรับปัญหาฟังก์ชัน multimodal 73
4.16 จำนวนครั้งที่ถูกเลือกของแต่ละระดับโอนเอียงสำหรับปัญหาฟังก์ชัน 3bit-deceptive 79
4.17 จำนวนครั้งที่ถูกเลือกของแต่ละระดับโอนเอียงสำหรับปัญหาฟังก์ชัน 5bit-deceptive 80
4.18 จำนวนครั้งที่ถูกเลือกของแต่ละระดับโอนเอียงสำหรับปัญหาฟังก์ชัน 9bit-deceptive 80
4.19 จำนวนครั้งที่ถูกเลือกของแต่ละระดับโอนเอียงสำหรับปัญหา royal road R1 83
4.20 จำนวนครั้งที่ถูกเลือกของแต่ละระดับโอนเอียงสำหรับปัญหา royal road R2 83
4.21 ขนาดของส่วนของเส้นตรงของแต่ละหน่วยชีวิต 85
4.22 ตัวอย่างการคัดเลือกหน่วยชีวิตโดยใช้การคัดเลือกแบบ sus 85
4.23 ความหลากหลายของประชากรของการใช้การคัดเลือกแบบสัดส่วนในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งใช้การแบ่งสำหรับปัญหา one-max 88
4.24 ความหลากหลายของประชากรของการใช้การคัดเลือกแบบสัดส่วนในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งใช้การแบ่งสำหรับปัญหาฟังก์ชัน deceptive 88
4.25 ความหลากหลายของประชากรของการใช้การคัดเลือกแบบสัดส่วนในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งใช้การแบ่งสำหรับปัญหาฟังก์ชัน multimodal 89
4.26 ความหลากหลายของประชากรของการใช้การคัดเลือกแบบ sus ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งใช้การแบ่งสำหรับปัญหา one-max 89
4.27 ความหลากหลายของประชากรของการใช้การคัดเลือกแบบ sus ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งใช้การแบ่งสำหรับปัญหาฟังก์ชัน deceptive 90
4.28 ความหลากหลายของประชากรของการใช้การคัดเลือกแบบ sus ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งใช้การแบ่งสำหรับปัญหาฟังก์ชัน multimodal 90
4.29 ความหลากหลายของประชากรของการใช้การคัดเลือกแบบทัวร์นาเมนต์ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งใช้การแบ่งสำหรับปัญหา one-max 91

รูปที่ หน้า

4.30 ความหลากหลายของประชากรของการใช้การคัดเลือกแบบทัวร์นาเมนต์ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งใช้การแบ่งสำหรับปัญหาฟังก์ชัน deceptive 91
4.31 ความหลากหลายของประชากรของการใช้การคัดเลือกแบบทัวร์นาเมนต์ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งใช้การแบ่งสำหรับปัญหาฟังก์ชัน multimodal 92
4.32 ความหลากหลายของประชากรของการใช้การคัดเลือกแบบสัดส่วนในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งใช้การจับคู่แบบมีข้อกำหนดสำหรับปัญหา one-max 96
4.33 ความหลากหลายของประชากรของการใช้การคัดเลือกแบบสัดส่วนในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งใช้การจับคู่แบบมีข้อกำหนดสำหรับปัญหาฟังก์ชัน deceptive 96
4.34 ความหลากหลายของประชากรของการใช้การคัดเลือกแบบสัดส่วนในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งใช้การจับคู่แบบมีข้อกำหนดสำหรับปัญหาฟังก์ชัน multimodal 97
4.35 ความหลากหลายของประชากรของการใช้การคัดเลือกแบบ sus ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งใช้การจับคู่แบบมีข้อกำหนดสำหรับปัญหา one-max 97
4.36 ความหลากหลายของประชากรของการใช้การคัดเลือกแบบ sus ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งใช้การจับคู่แบบมีข้อกำหนดสำหรับปัญหาฟังก์ชัน deceptive 98
4.37 ความหลากหลายของประชากรของการใช้การคัดเลือกแบบ sus ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งใช้การจับคู่แบบมีข้อกำหนดสำหรับปัญหาฟังก์ชัน multimodal 98
4.38 ความหลากหลายของประชากรของการใช้การคัดเลือกแบบทัวร์นาเมนต์ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งใช้การจับคู่แบบมีข้อกำหนดสำหรับปัญหา one-max 99
4.39 ความหลากหลายของประชากรของการใช้การคัดเลือกแบบทัวร์นาเมนต์ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งใช้การจับคู่แบบมีข้อกำหนดสำหรับปัญหาฟังก์ชัน deceptive 99
4.40 ความหลากหลายของประชากรของการใช้การคัดเลือกแบบทัวร์นาเมนต์ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งใช้การจับคู่แบบมีข้อกำหนดสำหรับปัญหาฟังก์ชัน multimodal 100
4.41 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบที่ออกแบบกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบไม่ปรับตัวระบบอื่นสำหรับปัญหา one-max 102
4.42 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบที่ออกแบบกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบไม่ปรับตัวระบบอื่นสำหรับปัญหาฟังก์ชัน deceptive 102

รูปที่ หน้า

4.43 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบที่ออกแบบกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบไม่ปรับตัวระบบอื่นสำหรับปัญหาฟังก์ชัน multimodal 103

5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่าง d และค่าจากฟังก์ชันความแตกต่าง D ของฟังก์ชันเชิงกำลัง 107

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย