

การปรับปรุงการสร้างแผนภาพตัดสินใจทวิภาคโดยเทคนิคการเรียนรู้ต้นไม้ตัดสินใจและขั้นตอนวิธี
ทางพันธุกรรม



นาย จิตติ เมตตาเมธา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-1487-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN IMPROVEMENT OF CONSTRUCTION OF BINARY DECISION DIAGRAMS BY THE
DECISION TREE LEARNING TECHNIQUE AND GENETIC ALGORITHM

Mr. Jitti Mettametha

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

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering


Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-1487-3

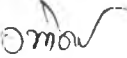
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงการสร้างแผนภาพตัดสินใจทวิภาคโดยเทคนิคการเรียนรู้ต้นไม้
ตัดสินใจและขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม
โดย นายจิตติ เมตตาเมธา
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.อาทิตย์ ทองทักษ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญเสริม กิจศิริกุล

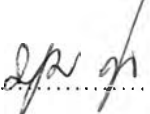
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับเป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



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

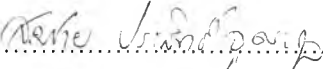
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาธิต วงศ์ประทีป)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.อาทิตย์ ทองทักษ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญเสริม กิจศิริกุล)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประภาส จงสิตยวัฒน์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ประสิทธิ์จตุระกุล)

จิตติ เมตตาคมธา : การปรับปรุงการสร้างแผนภาพตัดสินใจทวิภาคโดยเทคนิคการเรียนรู้ต้นไม้ตัดสินใจและขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม (AN IMPROVEMENT OF CONSTRUCTION OF BINARY DECISION DIAGRAMS BY THE DECISION TREE LEARNING TECHNIQUE AND GENETIC ALGORITHM) อ. ที่ปรึกษา : ดร.อาทิตย์ ทองทักษ์, อ. ที่ปรึกษาร่วม: ผศ. ดร.บุญเสริม กิจศิริกุล, 75 หน้า. ISBN 974-03-1487-3.

แผนภาพตัดสินใจทวิภาคเป็นโครงสร้างข้อมูลแบบกราฟที่มีประสิทธิภาพในการแทนฟังก์ชันบูลีน แต่เนื่องจากขนาดของแผนภาพตัดสินใจขึ้นอยู่กับลำดับของตัวแปรที่ใช้ในการสร้าง ดังนั้นจึงได้มีการนำเทคนิคการเรียนรู้ต้นไม้ตัดสินใจมาใช้สร้างแผนภาพตัดสินใจซึ่งมีลำดับตัวแปรเริ่มต้นที่ดี ต่อมาจึงใช้การพัฒนาที่ละขั้นแต่ละวิธีหาลำดับตัวแปรที่ทำให้แผนภาพตัดสินใจมีขนาดเล็กลง แต่แผนภาพดังกล่าวยังสามารถทำให้เล็กลงได้อีก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำขั้นตอนวิธีพันธุกรรมที่สามารถค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดจากปัญหาที่มีความซับซ้อนมากได้ มาใช้ในการหาลำดับของชุดวิธีการพัฒนาที่ละขั้นเพื่อใช้หาลำดับตัวแปรที่ดีที่ทำให้แผนภาพตัดสินใจมีขนาดเล็ก หลังจากใช้เทคนิคการเรียนรู้ต้นไม้ตัดสินใจสร้างแผนภาพแล้ว

จากการทดลองการใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมหาลำดับวิธีการพัฒนาที่ละขั้นพบว่า ต้องมีการตัดแปลงวิธีการพัฒนาที่ละขั้นที่อยู่ในสายโครโมโซมเพื่อให้สามารถลดขนาดแผนภาพตัดสินใจทวิภาคได้ดีกว่าวิธี SIFTING โดยการลดการทำงานของวิธีพัฒนาที่ละขั้นลงและยอมให้แผนภาพมีขนาดใหญ่ขึ้นได้ในบางช่วงของหาลำดับตัวแปร และใช้ตัวอย่างเรียนรู้ที่เหมาะสม

ภาควิชา.....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์.....
สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์.....
ปีการศึกษา.....2544.....

ลายมือชื่อนิติ.....จิตร.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....อ.อาทิตย์.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....อ.บุญเสริม.....




##4170252521 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEYWORD: BINARY DECISION DIAGRAM / VARIABLE ORDERING /
DECISION TREE LEARNING / GENETIC ALGORITHM

JITTI METTAMETHA : AN IMPROVEMENT OF CONSTRUCTION OF BINARY
DECISION DIAGRAMS BY THE DECISION TREE LEARNING TECHNIQUE
AND GENETIC ALGORITHM. THESIS ADVISOR : ARTHIT THONGTAK, Ph.D.
THESIS COADVISOR: ASST. PROF. BOONSERM KIJSIRIKUL, Ph.D. 75 pp.
ISBN 974-03-1487-3.

A Binary Decision Diagram (BDD) is an efficient graphical data structure for representing boolean functions. Since the size of the diagram depends on the variable ordering of the diagram, a decision tree learning technique has been used to construct a good initial binary decision diagram. Then, a gradual improvement technique has been used to reduce the size of the diagram. However, the diagram can be more reduced. Therefore, this research proposes to use a genetic algorithm, which can search for the optimal result of very complicated problems, to search for a sequence of the gradual improvement techniques for reducing the diagram. Then this sequence of techniques is applied to find the optimal variable ordering for compacting the diagram obtained by the decision tree learning technique.

Due to the experiment, the gradual improvement technique, which is in a chromosome, has to be modified so that it can be more reduce the size of the diagram than SIFTING method. The modification can be done by reducing the working steps or allowing the diagram to be larger in some period of finding the variable ordering. Moreover, the set of learning sample is also important to increase the effectiveness of the sequence of the gradual improvement techniques.

Department Computer Engineering Student's signature 
Field of study Computer Science Advisor's signature 
Academic year 2001 Co-Advisor's signature 

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นอกจากจะสำเร็จลุล่วงได้ด้วยตัวของผู้วิจัยเองแล้ว ก็ยังเป็นเพราะด้วยการสนับสนุนจากผู้อื่นอีกมากมาย ซึ่งก่อนอื่นต้องขอขอบคุณอาจารย์ ดร.อาทิตย์ ทองทักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญเสริม กิจศิริกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งได้ให้ความสนับสนุนและคำแนะนำต่างๆ ในการทำวิจัยมาด้วยดีตลอด รวมทั้งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาธิต วงศ์ประทีป รองศาสตราจารย์ ดร.ประภาส จงสถิตย์วัฒนา และรองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ประสิทธิ์จตุระกุล ที่กรุณาตรวจสอบวิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้อง

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการ Digital System Engineering Laboratory ที่เป็นสถานที่พักพิง และมีเครื่องมือให้ใช้งานในการทำวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ กำลังใจ และความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ซึ่งทำให้การทำงานวิจัยสามารถดำเนินการได้จนสำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่คอยเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัย และเชื่อมั่นในตัวผู้วิจัยเสมอมา อีกทั้งยังให้ความสนับสนุนในด้านต่างๆ อย่างเต็มที่โดยตลอด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฌ
สารบัญตาราง.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	3
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 แผนภาพตัดสินใจทวิภาค (Binary Decision Diagrams).....	4
2.2 การเรียนรู้ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree Learning).....	7
2.3 การสร้างแผนภาพตัดสินใจทวิภาคโดยเทคนิคการเรียนรู้ต้นไม้ตัดสินใจ.....	8
2.4 วิธีการพัฒนาทีละขั้น (Gradual Improvement).....	12
2.5 ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม(Genetic Algorithm).....	16
3. การสร้างการลำดับของวิธีการพัฒนาทีละขั้นจากขั้นตอนวิธีพันธุกรรม.....	22
3.1 แบบจำลองการเรียนรู้และการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม.....	22
3.2 การเข้ารหัสของคำตอบ (Representation).....	23
3.3 การประเมินค่าความเหมาะสม (fitness evaluation).....	24
3.4 ตัวดำเนินการพันธุกรรม (Genetic Operators).....	25

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.5 ขั้นตอนวิธี.....	26
4. การทดลองและผลการทดลอง.....	27
4.1 พารามิเตอร์สำหรับการทดลอง.....	27
4.2 การเตรียมชุดตัวอย่างการสอน.....	27
4.3 วิธีการทดลอง.....	29
4.4 ผลการทดลอง.....	30
4.5 สรุปผลการทดลอง.....	38
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	44
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	44
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	45
รายการอ้างอิง.....	46
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	49
ภาคผนวก ข.....	66
ภาคผนวก ค.....	67
ภาคผนวก ง.....	70
ประวัติผู้เขียน.....	75

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 แผนภาพตัดสินใจทวิภาค ของฟังก์ชัน $f(x_1, x_2, x_3) = (x_1 + x_2) \cdot x_3$	4
รูปที่ 2.2 ต้นไม้ที่มีลำดับตัวแปร (x_1, x_2, x_3) ของฟังก์ชัน $f(x_1, x_2, x_3) = (x_1 + x_2) \cdot x_3$	6
รูปที่ 2.3 การลดทอนส่วนที่ซ้ำของกราฟสำหรับฟังก์ชัน $f(x_1, x_2, x_3) = (x_1 + x_2) \cdot x_3$	6
รูปที่ 2.4 แผนภาพตัดสินใจทวิภาคของฟังก์ชัน $f(a, b, c, d, e, f) = a \cdot b + c \cdot d + e \cdot f$	7
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของการสร้างแผนภาพตัดสินใจทวิภาคโดยการเรียนรู้ต้นไม้ตัดสินใจ.....	8
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการคำนวณค่าฟังก์ชัน <i>Gain</i> และ ฟังก์ชัน <i>Modified Gain</i>	9
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้การเรียนรู้ต้นไม้ตัดสินใจ.....	11
รูปที่ 2.8 แผนภาพตัดสินใจทวิภาคที่ได้จากการสร้างด้วยการเรียนรู้ต้นไม้ตัดสินใจ.....	12
รูปที่ 2.9 การเรียงสับเปลี่ยนของขั้นตอนวิธี AD2 สำหรับตัวแปร x_2 และ x_3	13
รูปที่ 2.10 การเรียงสับเปลี่ยนของขั้นตอนวิธี AD3 สำหรับตัวแปร x_3 x_4 และ x_5	13
รูปที่ 2.11 การเรียงสับเปลี่ยนของขั้นตอนวิธี AD4 สำหรับตัวแปร x_1 x_2 x_3 และ x_4	14
รูปที่ 2.12 การเลื่อนตำแหน่งตัวแปรของขั้นตอนวิธี SIFTING สำหรับตัวแปร x_4	15
รูปที่ 2.13 ผังงานของลักษณะการทำงานของขั้นตอนวิธีพันธุกรรม.....	17
รูปที่ 2.14 ตัวอย่างโครโมโซมที่เป็นสายอักขระ.....	18
รูปที่ 2.15 (a) การไขว้เปลี่ยนแบบหนึ่งจุด (b) การไขว้เปลี่ยนแบบสองจุด.....	20
รูปที่ 2.16 การกลายพันธุ์.....	21
รูปที่ 3.1 การสร้างแผนภาพตัดสินใจทวิภาค.....	22
รูปที่ 3.2 การทำงานของหน่วยปรับปรุงพื้นฐาน (BOMs).....	23
รูปที่ 3.3 ตัวอย่างสายโครโมโซมแบบหลายค่า.....	24
รูปที่ 4.1 (ก) กราฟแสดงขนาดของแผนภาพตัดสินใจที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 (ตัวอย่างเรียนรู้) (ข) กราฟแสดงขนาดของแผนภาพตัดสินใจที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2 (ตัวอย่างเรียนรู้) (ค) กราฟแสดงขนาดของแผนภาพตัดสินใจที่ได้จากการทดลองตอนที่ 3 (ตัวอย่างเรียนรู้).....	38
รูปที่ 4.2 (ก) กราฟแสดงขนาดของแผนภาพตัดสินใจที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 (ตัวอย่างทดสอบ) (ข) กราฟแสดงขนาดของแผนภาพตัดสินใจที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2 (ตัวอย่างทดสอบ) (ค) กราฟแสดงขนาดของแผนภาพตัดสินใจที่ได้จากการทดลองตอนที่ 3 (ตัวอย่างทดสอบ).....	40

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.3 ผลรวมขนาดของแผนภาพตัดสั่นใจทวิภาคจากการทดลองทั้ง 3 ตอน.....	42
รูปที่ 4.4 ผลกระทบของความยาวโครโมโซมต่อขนาดของแผนภาพตัดสั่นใจทวิภาค.....	43
รูปที่ ก.1 (a) ผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสั่นใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 (ตัวอย่างเรียนรู้) (b) ผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสั่นใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 (ตัวอย่างทดสอบ) เมื่อความยาวโครโมโซม 20 อักขระ.....	50
รูปที่ ก.2 (a) ผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสั่นใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2 (ตัวอย่างเรียนรู้) (b) ผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสั่นใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2 (ตัวอย่างทดสอบ) เมื่อความยาวโครโมโซม 20 อักขระ.....	52
รูปที่ ก.3 (a) ผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสั่นใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 3 (ตัวอย่างเรียนรู้) (b) ผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสั่นใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 3 (ตัวอย่างทดสอบ) เมื่อความยาวโครโมโซม 20 อักขระ.....	54
รูปที่ ก.4 (a) ผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสั่นใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 (ตัวอย่างเรียนรู้) (b) ผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสั่นใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 (ตัวอย่างทดสอบ) เมื่อความยาวโครโมโซม 10 อักขระ.....	56
รูปที่ ก.5 (a) ผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสั่นใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2 (ตัวอย่างเรียนรู้) (b) ผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสั่นใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2 (ตัวอย่างทดสอบ) เมื่อความยาวโครโมโซม 10 อักขระ.....	58
รูปที่ ก.6 (a) ผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสั่นใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 3 (ตัวอย่างเรียนรู้) (b) ผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสั่นใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 3 (ตัวอย่างทดสอบ) เมื่อความยาวโครโมโซม 10 อักขระ.....	60
รูปที่ ก.7 (a) ผลรวมของค่าเฉลี่ยของขนาดแผนภาพตัดสั่นใจทวิภาค (ความยาวโครโมโซม 20 อักขระ) (b) ผลรวมของค่าเฉลี่ยของขนาดแผนภาพตัดสั่นใจทวิภาค (ความยาวโครโมโซม 10 อักขระ).....	64
รูปที่ ก.8 (a) เปรียบเทียบขนาดแผนภาพตัดสั่นใจทวิภาคจากการทดลองทั้ง 3 ตอน เมื่อใช้ความยาวโครโมโซม 20 อักขระ (b) เปรียบเทียบขนาดแผนภาพตัดสั่นใจทวิภาคจากการทดลองทั้ง 3 ตอน เมื่อใช้ความยาวโครโมโซม 10 อักขระ.....	65
รูปที่ ค.1 รูปแบบเพิ่มข้อมูลของวงจร adr2.....	67

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตารางค่าความจริงของฟังก์ชัน $f(x_1, x_2, x_3) = (x_1 + x_2) \cdot x_3$	5
ตารางที่ 2.2 ตารางค่าความจริงของฟังก์ชัน $f_1 = \overline{(B \oplus C)}$ $f_2 = (B \oplus C) + \overline{AB}$ และ $f_3 = \overline{C} + \overline{AB}$	10
ตารางที่ 4.1 ขนาดของแผนภาพตัดสัจใจทวิภาคเริ่มต้น.....	28
ตารางที่ 4.2 (ก) ขนาดแผนภาพตัดสัจใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 (ตัวอย่างเรียนรู้) (ข) ขนาดแผนภาพตัดสัจใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 (ตัวอย่างทดสอบ).....	31
ตารางที่ 4.3 (ก) ขนาดแผนภาพตัดสัจใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2 (ตัวอย่างเรียนรู้) (ข) ขนาดแผนภาพตัดสัจใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2 (ตัวอย่างทดสอบ).....	33
ตารางที่ 4.4 (ก) ขนาดแผนภาพตัดสัจใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 3 (ตัวอย่างเรียนรู้) (ข) ขนาดแผนภาพตัดสัจใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 3 (ตัวอย่างทดสอบ).....	35
ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยจำนวนบัพ เมื่อโครโมโซมความยาว 30 อักขระ.....	37
ตารางที่ 4.6 ผลรวมเวลาที่ใช้ในการประมวลผลวงจรทดสอบ 30 วงจร โดยใช้โครโมโซมความยาว 30 อักขระ.....	38
ตารางที่ ก.1 (a) ขนาดของแผนภาพตัดสัจใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 (ตัวอย่างเรียนรู้) (b) ขนาดของแผนภาพตัดสัจใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 (ตัวอย่างทดสอบ) เมื่อความยาวโครโมโซม 20 อักขระ.....	50
ตารางที่ ก.2 (a) ขนาดของแผนภาพตัดสัจใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2 (ตัวอย่างเรียนรู้) (b) ขนาดของแผนภาพตัดสัจใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2 (ตัวอย่างทดสอบ) เมื่อความยาวโครโมโซม 20 อักขระ.....	52
ตารางที่ ก.3 (a) ขนาดของแผนภาพตัดสัจใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 3 (ตัวอย่างเรียนรู้) (b) ขนาดของแผนภาพตัดสัจใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 3 (ตัวอย่างทดสอบ) เมื่อความยาวโครโมโซม 20 อักขระ.....	54
ตารางที่ ก.4 (a) ขนาดของแผนภาพตัดสัจใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 (ตัวอย่างเรียนรู้) (b) ขนาดของแผนภาพตัดสัจใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 (ตัวอย่างทดสอบ) เมื่อความยาวโครโมโซม 10 อักขระ.....	56

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ตารางที่ ก.5 (a) ขนาดของแผนภาพตัดสีนใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2 (ตัวอย่างเรียนรู้) (b) ขนาดของแผนภาพตัดสีนใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2 (ตัวอย่างทดสอบ) เมื่อความยาวโครโมโซม 10 อักขระ.....	58
ตารางที่ ก.6 (a) ขนาดของแผนภาพตัดสีนใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 3 (ตัวอย่างเรียนรู้) (b) ขนาดของแผนภาพตัดสีนใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 3 (ตัวอย่างทดสอบ) เมื่อความยาวโครโมโซม 10 อักขระ.....	60
ตารางที่ ก.7 ค่าเฉลี่ยของขนาดแผนภาพตัดสีนใจทวิภาคเมื่อใช้ความยาวโครโมโซม 20 อักขระ.....	62
ตารางที่ ก.8 ค่าเฉลี่ยของขนาดแผนภาพตัดสีนใจทวิภาคเมื่อใช้ความยาวโครโมโซม 10 อักขระ.....	63
ตารางที่ ข.1 ขนาดของแผนภาพตัดสีนใจทวิภาคที่ได้จากลำดับวิธีการพัฒนาที่ละชั้นเฉพาะวงจร.....	66
ตารางที่ ง.1 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยขนาดแผนภาพตัดสีนใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 ตอนโดยใช้วิธี GA3.....	71
ตารางที่ ง.2 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยขนาดแผนภาพตัดสีนใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 โดยใช้วิธี GA3.....	72
ตารางที่ ง.3 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยขนาดแผนภาพตัดสีนใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2 โดยใช้วิธี GA3.....	73
ตารางที่ ง.4 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยขนาดแผนภาพตัดสีนใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 3 โดยใช้วิธี GA3.....	74