การสร้างแผนภาพตัดสินใจทวิภาคโดยเทคนิคการเรียนรู้ต้นไม้ตัดสินใจ

นางสาวศิริพรรณ วิญญูนันทกุล

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-051-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19323153

CONSTRUCTION OF BINARY DECISION DIAGRAMS BY THE DECISION TREE LEARNING TECHNIQUE

MISS SIRIPHAN VINYOONUNTAKUL

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 1999

ISBN 974-333-051-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างแผนภาพตัดสินใจทวิภาคโดยเทคนิคการเรียนรู้ต้นไม้ตัดสินใจ
โดย	นางสาวศิริพรรณ วิญญูนันทกุล
ภาควิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.อาทิตย์ ทองทักษ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร.บุญเสริม กิจศิริกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธัชชัย สุมิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นงลักษณ์ โควาวิสารัช)

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

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร.บุญเสริม กิจศิริกุล)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ฐิต ศิริบูรณ์)

ศิริพรรณ วิญญูนันทกุล : การสร้างแผนภาพตัดสินใจทวิภาคโดยเทคนิคการเรียนรู้ต้นไม้ตัดสินใจ (CONSTRUCTION OF BINARY DECISION DIAGRAMS BY THE DECISION TREE LEARNING TECHNIQUE) อ. ที่ปรึกษา : อ. ดร.อาทิตย์ ทองทักษ์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : อ. ดร.บุญเสริม กิจศิริกุล, 64 หน้า. ISBN 974-333-051-8.

เนื่องจากแผนภาพตัดสินใจทวิภาคเป็นโครงสร้างข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสำหรับการแทนฟังก์ชันบูลีน จึงทำให้แผนภาพตัดสินใจทวิภาคถูกใช้อย่างกว้างขวางกับงานต่างๆของการออกแบบใช้คอมพิวเตอร์ช่วย แต่ปัญหาหนึ่งที่มักพบในภาพตัดสินใจทวิภาคก็คือ ขนาดของแผนภาพจะขึ้นอยู่กับการเลือกลำดับของตัวแปร ดังนั้นวิธีการหาลำดับของตัวแปรที่ดีจึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการสร้างแผนภาพตัดสินใจทวิภาคที่มีขนาดเล็ก

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการสร้างแผนภาพตัดสินใจทวิภาค โดยวิธีการที่เสนอจะใช้การเรียนรู้ต้นไม้ตัดสินใจ ซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ สำหรับการหาลำดับตัวแปรเริ่มต้นของแผนภาพตัดสินใจทวิภาค จากนั้นจะลดขนาดแผนภาพตัดสินใจทวิภาคเริ่มต้น ด้วยขั้นตอนวิธีการพัฒนาทีละขั้นที่มีอยู่เดิม เช่น AD2 AD3 AD4 AR ARSA และ SIFTING นอกจากนี้วิทยานิพนธ์ยังได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงการเลือกตัวแปรและแผนภาพตัดสินใจทวิภาคที่ใช้ในขั้นตอนวิธีเหล่านี้ด้วย

ผลการทดลองกับวงจรวัดเปรียบเทียบสมรรถนะของ MCNC แสดงให้เห็นว่าการสร้างแผนภาพตัดสินใจทวิภาคด้วยวิธีการที่นำเสนอ สามารถให้ขนาดแผนภาพที่เล็กกว่าวิธีการใช้ขั้นตอนวิธีการพัฒนาทีละขั้นเพียงอย่างเดียว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสร้างแผนภาพตัดสินใจทวิภาคด้วยวิธีการที่นำเสนอร่วมกับขั้นตอนวิธี SIFTING จะให้ผลดีที่สุดเมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีการพัฒนาทีละขั้นทุกแบบที่กล่าวข้างต้น

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	**ลายมือชื่อนิสิต** ศิริพรรณ วิญญูนันทกุล
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา** อาทิตย์ ทองทักษ์
ปีการศึกษา 2542	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม**

4070441721 : MAJOR COMPUTER SCIENCE
KEY WORD: BINARY DECISION DIAGRAM / VARIABLE ORDERING / DECISION TREE LEARNING / ARTIFICIAL INTELLIGENCE / GRADUAL IMPROVEMENT
SIRIPHAN VINYOONUNTAKUL : CONSTRUCTION BINARY DECISION DIAGRAMS BY THE DECISION TREE LEARNING TECHNIQUE. THESIS ADVISOR : ARTHIT THONGTAK, Ph.D. THESIS COADVISOR : BOONSERM KIJSIRIKUL, Ph.D. 64 pp. ISBN 974-333-051-8.

Since the Binary Decision Diagram is an efficient data structure for representing Boolean functions, it has been widely used in computer-aided design applications. One problem of the Binary Decision Diagram is that its size largely depends on the choice of an ordering of variables. Thus a method of finding good variable ordering is needed for small Binary Decision Diagram construction.

This thesis presents a method for the Binary Decision Diagram construction. The method is based on the Decision Tree Learning technique appeared in artificial intelligence. Decision Tree Learning is employed to find an initial variable ordering for the Binary Decision Diagram. Then the initial Binary Decision Diagram is minimized by the gradual improvement algorithms known in the literature such as AD2, AD3, AD4, AR, ARSA and SIFTING. The thesis also presents a method for improving variables and the Binary Decision Diagram selection used in these algorithms.

Experiments on the MCNC (Microelectronics Center of North Carolina) benchmark circuits show that the Binary Decision Diagram constructed by the proposed method is smaller than those by the only gradual improvement algorithms. Moreover, the Binary Decision Diagram produced by the proposed method with SIFTING algorithm yields the best of all gradual improvement algorithms above.

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	**ลายมือชื่อนิสิต** ศิริพรรณ วิญญูนันทกุล
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา** อาทิตย์ ทองทักษ์
ปีการศึกษา 2542	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม**

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ ดร.อาทิตย์ ทองทักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.บุญเสริม กิจศิริกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้การดูแล คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ สำหรับการทำวิทยานิพนธ์มาด้วยดีตลอด รวมทั้งผู้ช่วยศาสตราจารย์นงลักษณ์ โควาวิสารัช และอาจารย์ ดร.จิต ศิริบูรณ์ ที่กรุณาตรวจสอบวิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้อง

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ที่ได้ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 ขั้นตอนการวิจัย 2

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 3

1.6 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ 3

1.7 ผลงานทางวิชาการ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 แผนภาพตัดสินใจทวิภาค 4

2.2 การพัฒนาทีละขั้น 7

(1) ขั้นตอนวิธี ADm 7

(2) ขั้นตอนวิธี AR และ ARSA 9

(3) ขั้นตอนวิธี SIFTING 11

2.3 การเรียนรู้ต้นไม้ตัดสินใจ 12

บทที่ 3 การสร้างแผนภาพตัดสินใจทวิภาคโดยการเรียนรู้ต้นไม้ตัดสินใจและการปรับปรุงวิธีการพัฒนาทีละขั้น 19

3.1 การประยุกต์ใช้การเรียนรู้ต้นไม้ตัดสินใจ 19

3.2 การปรับปรุงวิธีพัฒนาทีละขั้น 25

หน้า

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 27
4.1 วิธีการทดลอง 27
4.2 การคำนวณค่าทางสถิติ 28
4.3 การคำนวณค่าผลการทดลอง 28
4.4 ผลการทดลอง 29
4.5 สรุปผลการทดลอง 31
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 32
5.1 สรุปผลการวิจัย 32
5.2 ข้อเสนอแนะ 33
รายการอ้างอิง 34
ภาคผนวก 36
ภาคผนวก ก วงจรวัดเปรียบเทียบสมรรถนะของ MCNC 37
ภาคผนวก ข ขนาดของแผนภาพตัดสินใจทวิภาคที่ได้จากการทดลอง 40
ภาคผนวก ค การจัดลำดับของขนาดแผนภาพตัดสินใจทวิภาค 45
ภาคผนวก ง การคำนวณอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยการลดขนาดแผนภาพตัดสินใจทวิภาคที่ได้จาก
การทดลอง 52
ภาคผนวก จ การจัดลำดับของขนาดแผนภาพตัดสินใจทวิภาคที่ได้จากการทดลอง 58
ประวัติผู้เขียน 64

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ตารางค่าความจริงของฟังก์ชัน $f(x_1,x_2,x_3) = (x_1 + x_2) \cdot x_3$	5
ตารางที่ 2.2	ความซับซ้อนของขั้นตอนวิธีการพัฒนาทีละขั้น	12
ตารางที่ 2.3	ข้อมูลสอนของปัจจัยที่ทำให้ผิวหนังไหม้	13
ตารางที่ 3.1	ตารางค่าความจริงของฟังก์ชัน $f_1 = (\overline{B \oplus C})$ $f_2 = (B \oplus C) + \overline{A}B$ และ $f_3 = \overline{C} + \overline{A}B$ ...	22
ตารางที่ 4.1	อัตราส่วนของค่าเฉลี่ยการลดขนาดสำหรับการทดลองตอนที่ 1	29
ตารางที่ 4.2	อัตราส่วนของค่าเฉลี่ยการลดขนาดสำหรับการทดลองตอนที่ 2	29
ตารางที่ 4.3	อัตราส่วนของค่าเฉลี่ยการลดขนาดสำหรับการทดลองตอนที่ 3	30
ตารางที่ 4.4	อัตราส่วนของค่าเฉลี่ยการลดขนาดสำหรับการทดลองตอนที่ 4	30
ตารางที่ ก.1	รายละเอียดของวงจรวัดเปรียบเทียบสมรรถนะของ MCNC	37
ตารางที่ ข.1	ขนาดของแผนภาพตัดสินใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1	41
ตารางที่ ข.2	ขนาดของแผนภาพตัดสินใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2	42
ตารางที่ ข.3	ขนาดของแผนภาพตัดสินใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 3	43
ตารางที่ ข.4	ขนาดของแผนภาพตัดสินใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 4	44
ตารางที่ ง.1	การคำนวณอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยการลดขนาดสำหรับการทดลองตอนที่ 1	54
ตารางที่ ง.2	การคำนวณอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยการลดขนาดสำหรับการทดลองตอนที่ 2	55
ตารางที่ ง.3	การคำนวณอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยการลดขนาดสำหรับการทดลองตอนที่ 3	56
ตารางที่ ง.4	การคำนวณอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยการลดขนาดสำหรับการทดลองตอนที่ 4	57
ตารางที่ จ.1	การจัดลำดับขนาดแผนภาพตัดสินใจทวิภาคสำหรับการทดลองตอนที่ 1	60
ตารางที่ จ.2	การจัดลำดับขนาดแผนภาพตัดสินใจทวิภาคสำหรับการทดลองตอนที่ 2	61
ตารางที่ จ.3	การจัดลำดับขนาดแผนภาพตัดสินใจทวิภาคสำหรับการทดลองตอนที่ 3	62
ตารางที่ จ.4	การจัดลำดับขนาดแผนภาพตัดสินใจทวิภาคสำหรับการทดลองตอนที่ 4	63

สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	แผนภาพตัดสินใจทวิภาค	4
รูปที่ 2.2	กราฟที่มีลำดับตัวแปร (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	การเรียงสับเปลี่ยนของขั้นตอนวิธี AD2 สำหรับตัวแปร x_3 และ x_4	8
รูปที่ 2.6	การเรียงสับเปลี่ยนของขั้นตอนวิธี AD3 สำหรับตัวแปร x_2 x_3 และ x_4	8
รูปที่ 2.7	การเรียงสับเปลี่ยนของขั้นตอนวิธี AD4 กับตัวแปร x_1 x_2 x_3 และ x_4	8
รูปที่ 2.8	การเลือกแผนภาพตัดสินใจในการพัฒนาสำหรับวิธี AR	10
รูปที่ 2.9	การเลือกแผนภาพตัดสินใจในการพัฒนาสำหรับวิธี ARSA	10
รูปที่ 2.10	การเลื่อนตำแหน่งตัวแปรของขั้นตอนวิธี SIFTING สำหรับตัวแปร x_4	11
รูปที่ 2.11	ต้นไม้ตัดสินใจของปัจจัยที่ทำให้ผิวหนังไหม้	13
รูปที่ 2.12	การแบ่งตัวอย่างของปัจจัยที่ทำให้ผิวหนังไหม้	15
รูปที่ 2.13	การแบ่งตัวอย่างของปัจจัยที่ทำให้ผิวไหม้สำหรับแต่ละคุณลักษณะไม่แบ่งพวก (ระดับที่1)	16
รูปที่ 2.14	การแบ่งตัวอย่างของปัจจัยที่ทำให้ผิวไหม้สำหรับแต่ละคุณลักษณะไม่แบ่งพวก (ระดับที่2)	17
รูปที่ 3.1	การสร้างแผนภาพตัดสินใจทวิภาค	19
รูปที่ 3.2	โครงสร้างของการเรียนรู้ต้นไม้ตัดสินใจ	20
รูปที่ 3.3	โครงสร้างของการสร้างแผนภาพตัดสินใจทวิภาคโดยการเรียนรู้ต้นไม้ตัดสินใจ ...	20
รูปที่ 3.4	การคำนวณค่าความสามารถในการแยกตัวอย่างของ *Gain* และ *Modify_Gain*	21
รูปที่ 3.5	การสร้างแผนภาพตัดสินใจทวิภาคโดยการเรียนรู้ต้นไม้ตัดสินใจ (ระดับที่ 1)	22
รูปที่ 3.6	การสร้างแผนภาพตัดสินใจทวิภาคโดยการเรียนรู้ต้นไม้ตัดสินใจ (ระดับที่ 2)	24
รูปที่ 3.7	แผนภาพตัดสินใจทวิภาคทั้งหมดของฟังก์ชัน $f_1 = (\overline{B \oplus C})$ $f_2 = (B \oplus C) + \overline{A}B$ และ $f_3 = \overline{C} + \overline{A}B$	24
รูปที่ 3.8	การคำนวณอัตราส่วนบัพต่อกิ่งเข้าและผลรวม	26

หน้า

รูปที่ 4.1 สรุปความสามารถของการลดขนาดสำหรับแต่ละวิธีการสร้างแผนภาพตัดสินใจทวิภาค 31

รูปที่ 4.2 สรุปความสามารถของการลดขนาดสำหรับแต่ละวิธีการปรับปรุงการพัฒนาทีละขั้น 31

รูปที่ ก.1 รูปแบบแฟ้มข้อมูลของวงจร adr2 38

รูปที่ ก.2 การรวมพจน์ย่อยของวงจรวัดเปรียบเทียบสมรรถนะ MCNC ไปเป็นตารางค่าความจริง 39

รูปที่ ข.1 ผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสินใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 41

รูปที่ ข.2 ผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสินใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2 42

รูปที่ ข.3 ผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสินใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 3 43

รูปที่ ข.4 ผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสินใจทวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 4 44

รูปที่ ง.1 สรุปอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยการลดขนาดสำหรับการทดลองตอนที่ 1 54

รูปที่ ง.2 สรุปอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยการลดขนาดสำหรับการทดลองตอนที่ 2 55

รูปที่ ง.3 สรุปอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยการลดขนาดสำหรับการทดลองตอนที่ 3 56

รูปที่ ง.4 สรุปอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยการลดขนาดสำหรับการทดลองตอนที่ 4 57

รูปที่ จ.1 สรุปการจัดลำดับขนาดแผนภาพตัดสินใจทวิภาคสำหรับการทดลองตอนที่ 1 60

รูปที่ จ.2 สรุปการจัดลำดับขนาดแผนภาพตัดสินใจทวิภาคสำหรับการทดลองตอนที่ 2 61

รูปที่ จ.3 สรุปการจัดลำดับขนาดแผนภาพตัดสินใจทวิภาคสำหรับการทดลองตอนที่ 3 62

รูปที่ จ.4 สรุปการจัดลำดับขนาดแผนภาพตัดสินใจทวิภาคสำหรับการทดลองตอนที่ 4 63

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีการแปลศัพท์จากภาษาอังกฤษอยู่หลายคำด้วยกัน ซึ่งไม่ถือว่าเป็นคำแปลมาตรฐาน แต่ได้แปลไว้เพื่อความสะดวกและความเข้าใจในการอ่าน โดยได้รวบรวมคำศัพท์ที่ได้แปลไว้เพื่อใช้เฉพาะในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เทียบกับศัพท์เดิม

คำศัพท์ภาษาอังกฤษ	คำศัพท์ภาษาไทย
Binary Decision Diagram (BDD)	แผนภาพตัดสินใจทวิภาค
Decision Tree Learning (DTL)	การเรียนรู้ต้นไม้ตัดสินใจ
exhaustive method	วิธีการแจงกรณี
gradual improvement method	วิธีการพัฒนาทีละขั้น
heuristic method	วิธีการศึกษาสำนึก
reduction rule	กฎการลดทอน
remove duplicate terminals	การกำจัดใบที่ซ้ำกัน
remove duplicate non-terminals	การกำจัดบัพที่ซ้ำกัน
remove redundant tests	การกำจัดส่วนที่ซ้ำซ้อน
simulated annealing	การจำลองการหลอม