

การลดทอนความเพียรพยายามเชิงคำนวณของวิธีการเรียนรู้
แบบกำหนดการเชิงพันธุกรรม

นาย ชัยวัฒน์ เจษฎาปกรณ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-638-539-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

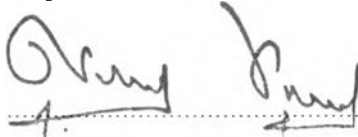
REDUCTION OF COMPUTATIONAL EFFORT IN GENETIC PROGRAMMING
LEARNING METHOD

Mr. Chaiwat Jassadapakorn

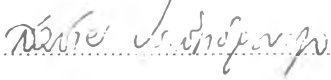
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Computer Science
Department of Computer Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1997
ISBN 974-638-539-9

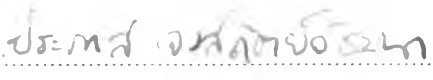
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การลดทอนความเพียรพยายามเชิงคำนวณของวิธีการเรียนรู้
แบบกำหนดการเชิงพันธุกรรม
โดย นาย ชัยวัฒน์ เจษฎาปกรณ์
ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประภาส จงสฤษดิ์วัฒนา

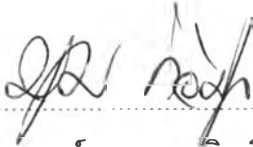
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

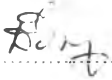

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย ประสิทธิ์จตุระกุล)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประภาส จงสฤษดิ์วัฒนา)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. บุญเสริม กิจศิริกุล)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สืบสกุล พิภพมงคล)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ชัชววัฒน์ เจษฎาปกรณ์ : การลดทอนความเพียรพยายามเชิงคำนวณของวิธีการเรียนรู้แบบกำหนดการเชิงพันธุกรรม (REDUCTION OF COMPUTATIONAL EFFORT IN GENETIC PROGRAMMING LEARNING METHOD) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. ประภาส จงสภิตยวัฒน์, 81 หน้า. ISBN 974-638-539-9.

จุดประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อลดทอนความเพียรพยายามเชิงคำนวณของวิธีการเรียนรู้แบบกำหนดการเชิงพันธุกรรม โดยกรณีศึกษาที่ใช้ตลอดการวิจัยนี้คือปัญหาแขนหุ่นยนต์ วิธีที่เสนอในการวิจัยนี้คือฟังก์ชันซึ่งถูกนิยามโดยอัตโนมัติซึ่งกำหนดจำนวนฟังก์ชันเป็นช่วง ซึ่งวิธีนี้จะกำหนดให้ผลเฉลยมีโครงสร้างของโปรแกรมที่ประกอบไปด้วยฟังก์ชันหลักและฟังก์ชันย่อย ฟังก์ชันหลักสามารถเรียกใช้ฟังก์ชันย่อย และฟังก์ชันย่อยสามารถเรียกใช้ฟังก์ชันย่อยอื่นได้เป็นลำดับชั้น โดยปรับปรุงมาจากวิธีฟังก์ชันซึ่งถูกนิยามโดยอัตโนมัติของ Koza (1994) ผลการวิจัยพบว่าการทดลองทั้งสิ้น 125 กรณีของปัญหาแขนหุ่นยนต์ วิธีที่เสนอสามารถลดทอนความเพียรพยายามเชิงคำนวณได้จริง

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2540

ลายมือชื่อนิสิต ชัชววัฒน์ เจษฎาปกรณ์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ประภาส จงสภิตยวัฒน์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

C818283 : MAJOR COMPUTER SCIENCE

KEY WORD: GENETIC PROGRAMMING / COMPUTATIONAL EFFORT / AUTOMATICALLY DEFINED FUNCTIONS

CHAIWAT JASSADAPAKORN : REDUCTION OF COMPUTATIONAL EFFORT IN GENETIC PROGRAMMING LEARNING METHOD. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. PRABHAS CHONGSTITVATANA, Ph.D. 81 pp. ISBN 974-638-539-9.

The objective of this research is to reduce computational effort of a genetic programming learning method. The robot manipulator problems are used as the case study in this research. The proposed method is the method of automatically defined functions with the number of function specified as a range. The solution has a program structure consisted of a main function and sub-functions. The main function can call sub-functions and a sub-function can call other sub-functions hierarchically. This method is the improvement of the method of automatically defined functions proposed by Koza (1994). The result of this research shows that in the experiments totally 125 cases of the robot manipulator problems, the proposed method does reduce the computational effort.

ภาควิชา.....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา.....2540

ลายมือชื่อนิสิต.....ชัยวัฒน์ เกษฏาเปารัตน์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....ประภัส จรัสคัตถ์ธำมา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....-

กิตติกรรมประกาศ



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประภาส จงสฤษดิ์วัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้การดูแล แนะนำ สั่งสอน และให้ข้อคิดเห็นต่างๆในการวิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณ นายวีรเดช เพ็งกระจ่าง เพื่อนที่แสนดี ซึ่งคอยให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจมาโดยตลอด

ทำยนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนด้านการเงิน และคอยให้กำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 การวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.5.1 การวิจัยปัญหาแขนงหุ่นยนต์	2
1.5.2 การวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพวิธีการเรียนรู้แบบกำหนดการ เชิงพันธุกรรม	3
1.6 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
1.6.1 กำหนดการเชิงพันธุกรรม	4
1.6.2 ความเพียรพยายามเชิงคำนวณ	10
1.6.3 ฟังก์ชันซึ่งถูกนิยามโดยอัตโนมัติ	13
2 กำหนดการเชิงพันธุกรรมสำหรับปัญหาแขนงหุ่นยนต์	19
2.1 ลักษณะของปัญหาแขนงหุ่นยนต์	19
2.2 พารามิเตอร์ของแขนงหุ่นยนต์และพื้นที่ในการจำลองแบบ	20
2.3 โครงสร้างของโปรแกรมหุ่นยนต์	21
2.4 การวัดประสิทธิภาพของโปรแกรมหุ่นยนต์	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 ตัวสร้างประชากรเริ่มต้น	23
2.6 การปฏิบัติการเชิงพันธุกรรม	28
2.7 พารามิเตอร์ของกำหนดการเชิงพันธุกรรม	28
2.8 สภาพแวดล้อมในการทดลอง	29
3 การทดลอง	31
3.1 การวัดความเพียรพยายามเชิงค่านิยมของสภาพแวดล้อม	31
3.2 การหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของโปรแกรมหุ่นยนต์เริ่มต้น และค่าความเพียรพยายามเชิงค่านิยม	32
3.3 การลดทอนความเพียรพยายามเชิงค่านิยมโดยใช้วิธีเอดีเอฟ	34
3.4 ผลการทดลองการลดทอนความเพียรพยายามเชิงค่านิยม โดยใช้วิธีเอดีเอฟ	35
3.5 การปรับปรุงวิธีเอดีเอฟ	38
3.6 ผลการทดลองการลดทอนความเพียรพยายามเชิงค่านิยม โดยใช้วิธีเอดีเอฟเอ็กซ์	40
3.7 การทวนสอบประสิทธิภาพของวิธีเอดีเอฟและวิธีเอดีเอฟเอ็กซ์	42
3.8 ผลการทวนสอบประสิทธิภาพของวิธีเอดีเอฟและวิธีเอดีเอฟเอ็กซ์	42
4 สรุปผลการวิจัย ข้อสังเกตและข้อเสนอแนะ	44
4.1 สรุปผลการวิจัย	44
4.2 ข้อสังเกตและข้อเสนอแนะ	44
รายการอ้างอิง	46
ภาคผนวก	47
ภาคผนวก ก สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง	48
ภาคผนวก ข ศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย	77
ประวัติผู้เขียน	81

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ค่าของตัวแปรต่างๆในการหาค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณ ของตัวอย่างปัญหา	12
1.2 ตารางความจริงของปัญหาภาวะคู่ 3 ตัวแปร	14
1.3 ความเพียรพยายามเชิงคำนวณของปัญหาภาวะคู่	17
2.1 พารามิเตอร์ของกำหนดการเชิงพันธุกรรม	28
3.1 ค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของแต่ละสภาพแวดล้อม ในการวิจัยของ จุมพล พลวิชัย (2539) และในการวิจัยนี้	32
3.2 ผลการทดลองของสภาพแวดล้อมใหม่	43
ก.1 รายละเอียดของสภาพแวดล้อมที่ 1	49
ก.2 รายละเอียดของสภาพแวดล้อมที่ 2	51
ก.3 รายละเอียดของสภาพแวดล้อมที่ 3	53
ก.4 รายละเอียดของสภาพแวดล้อมที่ 4	55
ก.5 รายละเอียดของสภาพแวดล้อมที่ 5	57
ก.6 รายละเอียดของสภาพแวดล้อมที่ 6	59
ก.7 รายละเอียดของสภาพแวดล้อมที่ 7	61
ก.8 รายละเอียดของสภาพแวดล้อมที่ 8	63
ก.9 รายละเอียดของสภาพแวดล้อมที่ 9	65
ก.10 รายละเอียดของสภาพแวดล้อมที่ 10	67
ก.11 รายละเอียดของสภาพแวดล้อมที่ 11	69
ก.12 รายละเอียดของสภาพแวดล้อมที่ 12	71
ก.13 รายละเอียดของสภาพแวดล้อมที่ 13	73
ก.14 รายละเอียดของสภาพแวดล้อมที่ 14	75
ข.1 แสดงรายการศัพท์ภาษาอังกฤษ ศัพท์ภาษาไทยที่ใช้แทน และที่มาของศัพท์ภาษาไทยที่ใช้แทน	77

สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงตัวอย่างการไขว้เปลี่ยนจากผลเฉลยรุ่นเดิม 2 ผลเฉลย (ก) เป็นผลเฉลยรุ่นใหม่ 2 ผลเฉลย (ข)	7
1.2 แสดงตัวอย่างการกลาย (ก) ผลเฉลยรุ่นเดิมที่ถูกเลือก (ข) ผลเฉลย รุ่นใหม่ซึ่งเกิดการกลายโดยการเปลี่ยนเทอมีนอล (ค) ผลเฉลยรุ่นใหม่ ซึ่งเกิดการกลายโดยการเปลี่ยนต้นไม้ส่วนย่อย(subtree)	8
1.3 ผังงานของกำหนดการเชิงพันธุกรรม	9
1.4 เส้นโค้งสมรรถนะของตัวอย่างปัญหา	12
1.5 กราฟแสดงความเพียรพยายามเชิงคำนวณของปัญหาภาวะคู่	17
2.1 ตัวอย่างโปรแกรมหุ่นยนต์	22
2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของโปรแกรมหุ่นยนต์เริ่มต้น และจำนวนโปรแกรมหุ่นยนต์ที่สร้างโดยตัวสร้างประชากรเริ่มต้น ในการวิจัยของ จุมพล พลวิชัย (2539)	24
2.3 กราฟแสดงจำนวนโปรแกรมหุ่นยนต์ในแต่ละความสูงของโครงสร้าง ต้นไม้ของโปรแกรมหุ่นยนต์เริ่มต้นที่สร้างโดยตัวสร้างประชากรเริ่มต้น ในการวิจัยของ จุมพล พลวิชัย (2539)	24
2.4 กราฟแสดงจำนวนโปรแกรมหุ่นยนต์ในแต่ละขนาดของโปรแกรมหุ่นยนต์ เริ่มต้นที่สร้างโดยตัวสร้างประชากรเริ่มต้นใหม่เมื่อไม่ได้ใช้วิธีเอดีเอฟ	26
2.5 กราฟแสดงจำนวนโปรแกรมหุ่นยนต์ในแต่ละความสูงของโครงสร้าง ต้นไม้ของโปรแกรมหุ่นยนต์เริ่มต้นที่สร้างโดยตัวสร้างประชากรเริ่มต้น ใหม่เมื่อไม่ได้ใช้วิธีเอดีเอฟ	26
2.6 กราฟแสดงจำนวนโปรแกรมหุ่นยนต์ในแต่ละช่วงขนาดของโปรแกรม หุ่นยนต์เริ่มต้นที่สร้างโดยตัวสร้างประชากรเริ่มต้นใหม่เมื่อใช้วิธีเอดีเอฟ กำหนดจำนวนฟังก์ชันเอดีเอฟเท่ากับ 3 ฟังก์ชัน	27

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.7 กราฟแสดงจำนวนโปรแกรมหุ่นยนต์ในแต่ละขนาดของความสูงของโครงสร้าง ต้นไม้ของโปรแกรมหุ่นยนต์เริ่มต้นที่สร้างโดยตัวสร้างประชากรเริ่มต้นใหม่ เมื่อใช้วิธีเอดีเอฟ กำหนดจำนวนฟังก์ชันเอดีเอฟเท่ากับ 3 ฟังก์ชัน	27
2.8 แสดงตัวอย่างการกลายแบบต่อยอดและต่อปลาย (ก) โปรแกรม หุ่นยนต์ก่อนเกิดการกลาย (ข) โปรแกรมหุ่นยนต์ซึ่งเกิดการกลาย แบบต่อยอด (ค) โปรแกรมหุ่นยนต์ซึ่งเกิดการกลายแบบต่อปลาย	29
2.9 สภาพแวดล้อมทั้ง 3 ที่ใช้ในการทดลอง	30
3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของโปรแกรมหุ่นยนต์เริ่มต้น และค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของสภาพแวดล้อมที่ 1	32
3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของโปรแกรมหุ่นยนต์เริ่มต้น และค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของสภาพแวดล้อมที่ 2	33
3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของโปรแกรมหุ่นยนต์เริ่มต้น และค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของสภาพแวดล้อมที่ 3	33
3.4 กราฟแสดงความเพียรพยายามเชิงคำนวณของกรณีที่ไม่ใช้เอดีเอฟ และกรณีที่ใช้เอดีเอฟซึ่งกำหนดจำนวนฟังก์ชันเอดีเอฟต่างๆกัน ของสภาพแวดล้อมที่ 1	36
3.5 กราฟแสดงความเพียรพยายามเชิงคำนวณของกรณีที่ไม่ใช้เอดีเอฟ และกรณีที่ใช้เอดีเอฟซึ่งกำหนดจำนวนฟังก์ชันเอดีเอฟต่างๆกัน ของสภาพแวดล้อมที่ 2	36
3.6 กราฟแสดงความเพียรพยายามเชิงคำนวณของกรณีที่ไม่ใช้เอดีเอฟ และกรณีที่ใช้เอดีเอฟซึ่งกำหนดจำนวนฟังก์ชันเอดีเอฟต่างๆกัน ของสภาพแวดล้อมที่ 3	37
3.7 กราฟแสดงความเพียรพยายามเชิงคำนวณของกรณีที่ไม่ใช้เอดีเอฟ กรณีที่ใช้เอดีเอฟซึ่งกำหนดจำนวนฟังก์ชันเอดีเอฟต่างๆกัน และกรณี ที่ใช้เอดีเอฟเอกซ์ของสภาพแวดล้อมที่ 1	40

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 กราฟแสดงความเพียรพยายามเชิงคำนวณของกรณีที่ไม่ใช้เอดีเอฟ กรณีที่ใช้เอดีเอฟซึ่งกำหนดจำนวนฟังก์ชันเอดีเอฟต่างกัน และกรณีที่ใช้เอดีเอฟเอกซ์ของสภาพแวดล้อมที่ 2	41
3.9 กราฟแสดงความเพียรพยายามเชิงคำนวณของกรณีที่ไม่ใช้เอดีเอฟ กรณีที่ใช้เอดีเอฟซึ่งกำหนดจำนวนฟังก์ชันเอดีเอฟต่างกัน และกรณีที่ใช้เอดีเอฟเอกซ์ของสภาพแวดล้อมที่ 3	41
ก.1 แสดงสภาพแวดล้อมที่ 1	49
ก.2 ค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของวิธีการต่างๆของสภาพแวดล้อมที่ 1	49
ก.3 เส้นโค้งสมรรถนะของสภาพแวดล้อมที่ 1 เมื่อไม่ใช้วิธีเอดีเอฟ	50
ก.4 เส้นโค้งสมรรถนะของสภาพแวดล้อมที่ 1 เมื่อใช้วิธีเอดีเอฟกรณีที่ดีที่สุด	50
ก.5 เส้นโค้งสมรรถนะของสภาพแวดล้อมที่ 1 เมื่อใช้วิธีเอดีเอฟเอกซ์	50
ก.6 แสดงสภาพแวดล้อมที่ 2	51
ก.7 ค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของวิธีการต่างๆของสภาพแวดล้อมที่ 2	51
ก.8 เส้นโค้งสมรรถนะของสภาพแวดล้อมที่ 2 เมื่อไม่ใช้วิธีเอดีเอฟ	52
ก.9 เส้นโค้งสมรรถนะของสภาพแวดล้อมที่ 2 เมื่อใช้วิธีเอดีเอฟกรณีที่ดีที่สุด	52
ก.10 เส้นโค้งสมรรถนะของสภาพแวดล้อมที่ 2 เมื่อใช้วิธีเอดีเอฟเอกซ์	52
ก.11 แสดงสภาพแวดล้อมที่ 3	53
ก.12 ค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของวิธีการต่างๆของสภาพแวดล้อมที่ 3	53
ก.13 เส้นโค้งสมรรถนะของสภาพแวดล้อมที่ 3 เมื่อไม่ใช้วิธีเอดีเอฟ	54
ก.14 เส้นโค้งสมรรถนะของสภาพแวดล้อมที่ 3 เมื่อใช้วิธีเอดีเอฟกรณีที่ดีที่สุด	54
ก.15 เส้นโค้งสมรรถนะของสภาพแวดล้อมที่ 3 เมื่อใช้วิธีเอดีเอฟเอกซ์	54
ก.16 แสดงสภาพแวดล้อมที่ 4	55
ก.17 ค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของวิธีการต่างๆของสภาพแวดล้อมที่ 4	55
ก.18 เส้นโค้งสมรรถนะของสภาพแวดล้อมที่ 4 เมื่อไม่ใช้วิธีเอดีเอฟ	56
ก.19 เส้นโค้งสมรรถนะของสภาพแวดล้อมที่ 4 เมื่อใช้วิธีเอดีเอฟกรณีที่ดีที่สุด	56

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.20 เส้นโค้งสมรรถนะของสภาพแวดล้อมที่ 4 เมื่อใช้วิธีเอดีเอฟเอกซ์	56
ก.21 แสดงสภาพแวดล้อมที่ 5	57
ก.22 ค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของวิธีการต่างๆของสภาพแวดล้อมที่ 5	57
ก.23 เส้นโค้งสมรรถนะของสภาพแวดล้อมที่ 5 เมื่อไม่ใช้วิธีเอดีเอฟ	58
ก.24 เส้นโค้งสมรรถนะของสภาพแวดล้อมที่ 5 เมื่อใช้วิธีเอดีเอฟกรณีที่ดีที่สุด	58
ก.25 เส้นโค้งสมรรถนะของสภาพแวดล้อมที่ 5 เมื่อใช้วิธีเอดีเอฟเอกซ์	58
ก.26 แสดงสภาพแวดล้อมที่ 6	59
ก.27 ค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของวิธีการต่างๆของสภาพแวดล้อมที่ 6	59
ก.28 เส้นโค้งสมรรถนะของสภาพแวดล้อมที่ 6 เมื่อไม่ใช้วิธีเอดีเอฟ	60
ก.29 เส้นโค้งสมรรถนะของสภาพแวดล้อมที่ 6 เมื่อใช้วิธีเอดีเอฟกรณีที่ดีที่สุด	60
ก.30 เส้นโค้งสมรรถนะของสภาพแวดล้อมที่ 6 เมื่อใช้วิธีเอดีเอฟเอกซ์	60
ก.31 แสดงสภาพแวดล้อมที่ 7	61
ก.32 ค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของวิธีการต่างๆของสภาพแวดล้อมที่ 7	61
ก.33 เส้นโค้งสมรรถนะของสภาพแวดล้อมที่ 7 เมื่อไม่ใช้วิธีเอดีเอฟ	62
ก.34 เส้นโค้งสมรรถนะของสภาพแวดล้อมที่ 7 เมื่อใช้วิธีเอดีเอฟกรณีที่ดีที่สุด	62
ก.35 เส้นโค้งสมรรถนะของสภาพแวดล้อมที่ 7 เมื่อใช้วิธีเอดีเอฟเอกซ์	62
ก.36 แสดงสภาพแวดล้อมที่ 8	63
ก.37 ค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของวิธีการต่างๆของสภาพแวดล้อมที่ 8	63
ก.38 เส้นโค้งสมรรถนะของสภาพแวดล้อมที่ 8 เมื่อไม่ใช้วิธีเอดีเอฟ	64
ก.39 เส้นโค้งสมรรถนะของสภาพแวดล้อมที่ 8 เมื่อใช้วิธีเอดีเอฟกรณีที่ดีที่สุด	64
ก.40 เส้นโค้งสมรรถนะของสภาพแวดล้อมที่ 8 เมื่อใช้วิธีเอดีเอฟเอกซ์	64
ก.41 แสดงสภาพแวดล้อมที่ 9	65
ก.42 ค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของวิธีการต่างๆของสภาพแวดล้อมที่ 9	65
ก.43 เส้นโค้งสมรรถนะของสภาพแวดล้อมที่ 9 เมื่อไม่ใช้วิธีเอดีเอฟ	66
ก.44 เส้นโค้งสมรรถนะของสภาพแวดล้อมที่ 9 เมื่อใช้วิธีเอดีเอฟกรณีที่ดีที่สุด	66

