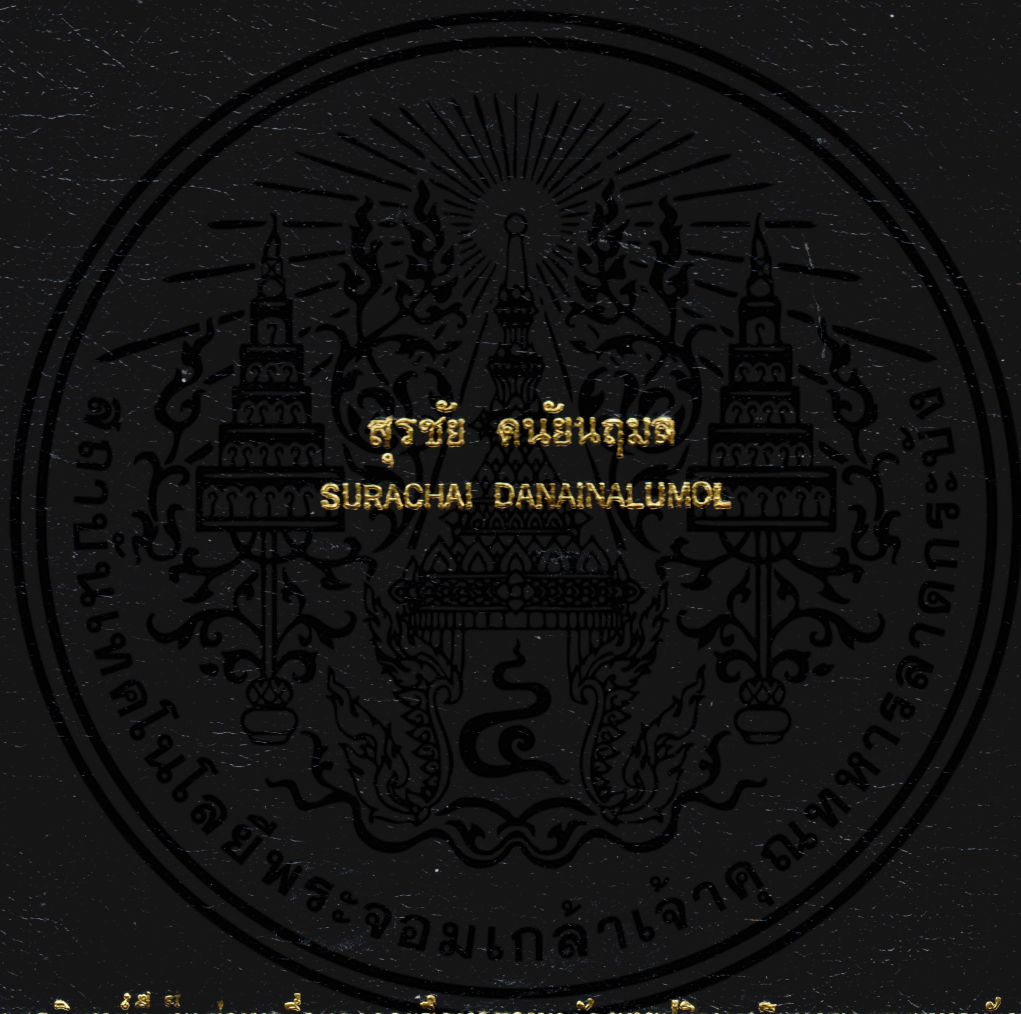


การประมาณค่า PSF สำหรับการปรับปรุงภาพโดยใช้ GA-CGM

A PSF ESTIMATION METHOD USING GA-CGM FOR
IMAGE RESTORATION



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของงานที่ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

ISBN 974-648-442-7

การประมาณค่า PSF สำหรับการปรับปรุงภาพโดยใช้ GA-CGM

A PSF ESTIMATION METHOD USING GA-CGM FOR
IMAGE RESTORATION



สุรชัย ดนัยนฤมิต

SURACHAI DANAINALUMOL

เลขหม.....
เลขทะเบียน..... 41253
วัน, เดือน, ปี..... 10 ส.ค. 2545

b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
บัณฑิตวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา แดพ.ศ.2544 ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ISBN 974-648-442-7

**A PSF ESTIMATION METHOD USING GA-CGM FOR
IMAGE RESTORATION**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN INFORMATION TECHNOLOGY
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและที่อยู่เบื้องหลังของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2001

ISBN 974-648-442-7



เออร์ **COPYRIGHT 2001** สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ประสงค์อื่นใดทั้งสิ้น ขอสงวนสิทธิ์ในเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประมาณค่า PSF สำหรับการปรับปรุงภาพ โดยใช้ GA-CGM
A PSF ESTIMATION METHOD USING GA-CGM FOR IMAGE
RESTORATION

ชื่อนักศึกษา นายสุรชัย ดนัยนฤมล

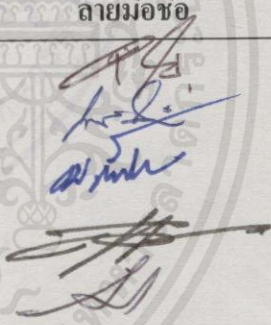
รหัสประจำตัว 41067030

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา เทคโนโลยีสารสนเทศ

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ อาจารย์สุรสิทธิ์ วรรณไกรโรจน์

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ดร.นพพร โชติกกำธร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
อาจารย์สุรสิทธิ์	วรรณไกรโรจน์	
ดร.นพพร	โชติกกำธร	
รศ.ดร.ชม	กัมปาน	
รศ.ดร.วิเชียร	เปรมชัยสวัสดิ์	
ผศ.ดร.อาริต	ธรรมโน	

วัน/เดือนปี ที่สอบ 3 ตุลาคม 2544 เวลา 18.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ ชินวัตร 3

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัคร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
วันที่.....1.....เดือน.....พฤษภาคม.....พ.ศ.....๒๕๔๔.....
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประมาณค่า PSF สำหรับการปรับปรุงภาพโดยใช้ GA-CGM
นักศึกษา	นายสุรชัย ดนัยนฤมล
รหัสประจำตัว	41067030
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสารสนเทศ
พ.ศ.	2544
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	อาจารย์สุรสิทธิ์ วรรณไกรโรจน์
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.นพพร โชติศักดิ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการเสนอแนวความคิดเกี่ยวกับการหาขนาดและรูปแบบของ PSF (point-spread function) ที่เหมาะสม เพราะขนาดที่เหมาะสมของ PSF จะทำให้กระบวนการปรับปรุงภาพทำได้รวดเร็วยิ่งขึ้น และ PSF ที่มีรูปแบบที่ถูกต้องจะทำให้ภาพที่ได้ภายหลังการปรับปรุงใกล้เคียงกับภาพต้นแบบมากที่สุด โดยมีการนำกระบวนการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) เข้ามาเพื่อเป็นตัวกำหนดรูปแบบและขนาดของ PSF-support และใช้กระบวนการเกรเดียนต์สังยุค (Conjugate Gradient Method : CGM) ในคำนวณหาค่าต่ำสุดของ cost function การทดลองแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีกว่าการใช้ CGM เพียงอย่างเดียว สำหรับการหา PSF-support ที่เหมาะสม นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังแสดงการเปรียบเทียบระหว่างการ crossover ที่มีรูปแบบ (structured crossover) กับการ crossover แบบธรรมดา (unstructured crossover) สำหรับภาพเบลล์ที่เกิดจากการสั่นของกล้อง ซึ่งจากผลการทดลองการ crossover ที่มีรูปแบบจะคำนวณหา PSF-support ที่เหมาะสมได้รวดเร็วกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A PSF estimation method using GA-CGM for image restoration
Student	Mr.Surachai Danainalumol
Student ID.	41067030
Degree	Master of Science
Programme	Information Technology
Year	2001
Thesis Advisor	Mr.Surasit Vannakrairojn
Thesis Coadvisor	Dr.Nopporn Chotikakomtron

ABSTRACT

This research offers the idea of finding the suitable size of PSF-support because it can get processing done faster and PSF format can restore an image to be nearly identical to the original, respectively. This approach brings GA to determine PSF-support size and CGM is computed to find the minimization process of the cost function. These results indicate that GA/CGM program has a superior performance to a CGM only search for PSF-support. It also shows the comparison of a structured crossover converge to a suitable PSF-support rather than an unstructured crossover for motion blur images.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

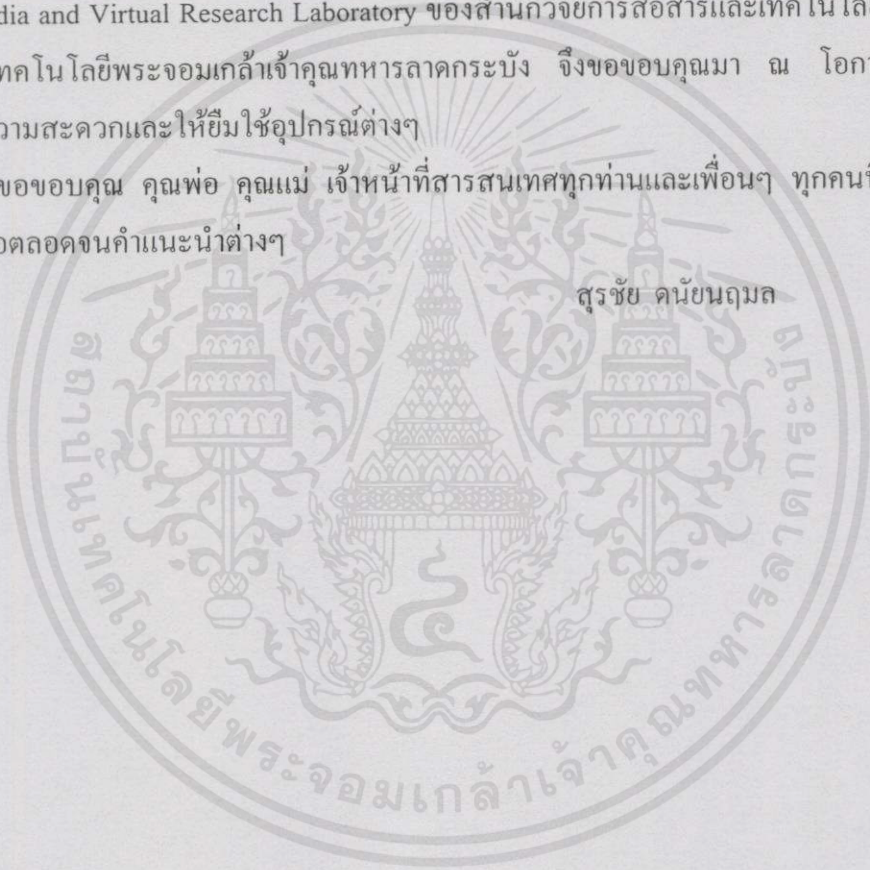
กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความเมตตากรุณาจาก ท่านอาจารย์ สุรสิทธิ์ วรรณไกรโรจน์ และอาจารย์ ดร.นพพร โชติกคำทร ซึ่งได้ให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยผู้วิจัยแก้ปัญหาลดอุปสรรคมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและ และกราบ ขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

อนึ่งงานวิจัยที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ ส่วนหนึ่งได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ Multimedia and Virtual Research Laboratory ของสำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ ที่ช่วย อำนวยความสะดวกและให้ยืมใช้อุปกรณ์ต่างๆ

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ เจ้าหน้าที่สารสนเทศทุกท่านและเพื่อนๆ ทุกคนที่ได้ให้ความ ช่วยเหลือตลอดจนคำแนะนำต่างๆ

สุรชัย คณันนฤมล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1) เรื่องย่อและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2) วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	5
1.3) ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	6
1.4) อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย.....	6
1.5) โครงสร้างวิทยานิพนธ์.....	6
บทที่ 2 Point-spread function และ กระบวนการเกรเดียนท์สังยุค.....	8
2.1) point-spread function และ คณิตศาสตร์พื้นฐาน.....	8
2.1.1) คณิตศาสตร์พื้นฐาน.....	8
2.1.2) PSF สำหรับภาพที่ไม่ชัดเจนที่แตกต่างกัน.....	9
2.2) กระบวนการเกรเดียนท์สังยุคในหลายมิติ.....	10
2.2.1) สังยุค.....	11
2.2.2) เกรเดียนท์สังยุค.....	13
บทที่ 3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับกระบวนการเชิงพันธุกรรม.....	17
3.1) กระบวนการเชิงพันธุกรรมเบื้องต้น.....	17
3.2) ฟังก์ชันเป้าหมายกับฟังก์ชันความเหมาะสม	18
3.3) รูปแบบโครโมโซม.....	19
3.4) วัฏจักรของกระบวนการเชิงพันธุกรรม.....	20
3.5) พันธุศาสตร์ทางชีววิทยา กับ กระบวนการเชิงพันธุกรรม.....	22
3.6) กระบวนการเชิงพันธุกรรมอย่างง่าย.....	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับภาควิชาชีววิทยาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.7) การประยุกต์กระบวนการเชิงพันธุกรรม.....	32
3.7.1) รีโพรดักชันแบบรักษาความเหมาะสมที่ดี.....	32
3.7.2) การครอสโอเวอร์แบบ 2 จุด.....	34
3.7.3) ไบนารีมิวเตชันแบบกำหนดค่าบิต.....	34
3.7.4) การอินเวอร์ชัน (Inversion).....	35
3.8) กระบวนการเชิงพันธุกรรมกับการปรับปรุงภาพ.....	36
3.8.1) การเข้ารหัสของภาพ.....	36
3.8.2) การเข้ารหัส PSF-support.....	37
3.8.3) ฟังก์ชันความเหมาะสม.....	37
3.9) สรุป.....	38
บทที่ 4 การประมาณค่า PSF ด้วยกระบวนการ GA-CGM.....	39
4.1) การประยุกต์กระบวนการเกรเดียนท์สังยุคสำหรับงานวิจัย.....	40
4.1.1) Input ที่จำเป็นสำหรับกระบวนการเกรเดียนท์สังยุค.....	41
4.2) การประยุกต์กระบวนการเชิงพันธุกรรมสำหรับงานวิจัย.....	42
4.2.1) การคัดเลือกโครโมโซม.....	42
4.2.2) ตัวดำเนินการเชิงพันธุกรรม.....	43
4.2.2.1) การครอสโอเวอร์ที่ไม่มีรูปแบบ.....	43
4.2.2.2) การผ่าเหล่าที่ไม่มีรูปแบบ.....	44
4.2.2.3) การครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบ.....	44
4.2.2.4) การผ่าเหล่าที่มีรูปแบบ.....	47
4.3) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบ สำหรับภาพเบลอกจากการเคลื่อนที่กับการครอสโอเวอร์ที่ไม่มีรูปแบบ สำหรับภาพเบลอกจากการโฟกัส.....	48
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	50
5.1) การหาค่า P_c และ P_m ที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง.....	50
5.2) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง CGM กับ GA-CGM.....	52
5.2.1) PSF-support ที่ได้จากการจำลองขึ้น.....	55

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2.2) PSF-support ที่ไม่ได้จำลองขึ้น.....	59
5.2.3) PSF-support ที่ไม่ได้จำลองขึ้นและมีปัจจัยภายนอกครอบคลุม.....	61
5.3) การเปรียบเทียบการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบกับ (Structured crossover) การครอสโอเวอร์ที่ไม่มีรูปแบบ (Unstructured crossover).....	62
5.4) การทดลองเพื่อเปรียบเทียบว่าขนาดของภาพ มีผลกับ PSF-support ที่เหมาะสม.....	64
5.4.1) PSF-support ขนาด 6×6.....	68
5.4.2) PSF-support ขนาด 8×8.....	69
5.4.3) PSF-support ขนาด 10×10.....	71
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและปัญหาที่พบ.....	74
6.1) สรุปผลการทดลอง.....	74
6.2) ปัญหาที่พบ.....	75
6.3) การพัฒนาในอนาคต.....	76
เอกสารอ้างอิง.....	78
ภาคผนวก.....	80
ภาคผนวก ก. แสดงกระบวนการ inverse filtering อย่างง่าย โดยใช้ Fast Fourier Transform.....	81
ภาคผนวก ข. พิสูจน์อนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของฟังก์ชันความเหมาะสม.....	82
ภาคผนวก ค. บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	83
ประวัติผู้เขียน.....	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงการเปรียบเทียบคำศัพท์ทางพันธุศาสตร์ กับ กระบวนการเชิงพันธุกรรม.....	23
3.2 แสดงการสมมติชุดโครโมโซมเริ่มต้น.....	26
3.3 แสดงตัวอย่างการถอดรหัสของแต่ละโครโมโซม.....	26
3.4 แสดงตัวอย่างการกำหนดค่าความน่าจะเป็น.....	28
3.5 แสดงตัวอย่างลำดับโครโมโซมที่ถูกเลือก.....	28
3.6 แสดงตัวอย่างการจับคู่โครโมโซมพ่อ-แม่ใน mating pool	30
3.7 แสดงตัวอย่างการมิวเตชัน.....	31
5.1 แสดงค่า pc และ pm ที่เหมาะสมที่สุด 3 อันดับแรก ของ PSF-support ที่เป็นตัวแทนการเบลอจากการโฟกัส.....	51
5.2 แสดงค่า pc และ pm ที่เหมาะสมที่สุด 3 อันดับแรก ของ PSF-support ที่เป็นตัวแทนการเบลอจากการสั่นของกล้อง.....	51
5.3 แสดงการเปรียบเทียบ MSE. ของ PSF-support ระหว่าง GA-CGM กับ CGM.....	55
5.4 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนรอบในการคำนวณของ GA-CGM กับ CGM.....	57
5.5 แสดงการเปรียบเทียบ MSE. ของ PSF-support ที่ได้จากการถ่ายจริง.....	60
5.6 แสดงการเปรียบเทียบ MSE. ของ PSF-support ขนาด 6×6 ที่เกิดจากขนาดภาพที่ต่างกัน.....	69
5.7 แสดงการเปรียบเทียบ MSE. ของ PSF-support ขนาด 8×8 ที่เกิดจากขนาดภาพที่ต่างกัน.....	71
5.8 แสดงการเปรียบเทียบ MSE. ของ PSF-support ขนาด 10×10 ที่เกิดจากขนาดภาพที่ต่างกัน.....	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงกระบวนการปรับปรุงภาพวิธีที่ 1.....	1
1.2 แสดง PSF-support ที่ได้จาก Gaussian function ไม่ควรจะมีรูปแบบเต็ม.....	3
1.3 ภาพตัวอย่างที่ได้จากการถ่ายด้วยกล้อง.....	4
1.4 แสดงลักษณะของ PSF-support ที่ได้จากภาพถ่ายจริง.....	4
2.1 แสดงการหาค่าต่ำสุดตามพิกัดในทิศทางตามยาว.....	10
2.2 แสดงการเปรียบเทียบกระบวนการค้นหาจุดต่ำสุด.....	16
3.1 แสดงหลักการเบื้องต้นของ GA	18
3.2 แสดงวัฏจักรของกระบวนการเชิงพันธุกรรม.....	20
3.3 แสดงอัลกอริทึมของกระบวนการ GA	21
3.4 แสดงรายละเอียดทางพันธุศาสตร์ กับ กระบวนการเชิงพันธุกรรม.....	22
3.5 แสดงแผนภาพการทำงานของกระบวนการเชิงพันธุกรรมอย่างง่าย.....	24
3.6 แสดงการครอสโอเวอร์แบบ 1 จุด.....	29
3.7 แสดงการ โปนารีมิวเตชัน.....	31
3.8 แสดงการรีโพรดักชันแบบรักษาค่าความเหมาะสมที่ดี.....	33
3.9 แสดงการครอสโอเวอร์แบบ 2 จุด.....	34
3.10 แสดงการอินเวอร์ชัน.....	35
3.11 แสดงการเปลี่ยนความเข้มของภาพให้กลายเป็นอารีย์ 2 มิติ.....	36
3.12 แสดง PSF-support ที่แทนด้วยโครโมโซมที่เป็น two dimensional array	37
4.1 แสดงขั้นตอนการทำงานทั้งหมดของโปรแกรม.....	39
4.2 แสดงตัวอย่าง PSF-support ขนาด 4x4 รุ่นแรกที่เกิดจากการสุ่ม.....	40
4.3 แสดงตัวอย่างของการเปลี่ยนแปลงค่า ณ ตำแหน่งที่จำเป็นสำหรับ PSF-support	41
4.4 แสดงตัวอย่างของ PSF-support	41
4.5 แสดงการครอสโอเวอร์แบบ 1 bit.....	44
4.6 แสดงการ mutation จากตำแหน่งที่สุ่มได้ของการมิวเตชันที่ไม่มีรูปแบบ.....	44
4.7 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ทั้งหมดที่เป็นไปได้ของการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบ.....	45
4.8 แสดงลักษณะของโครโมโซมตัวอย่างของการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบ.....	45
4.9 แสดงการครอสโอเวอร์ของโครโมโซมตัวอย่างของการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบ.....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเอาไปใช้ในเชิงพาณิชย์ด้านการค้า
 ไม่ควรพิมพ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 แสดงการแปลงโครโมโซมซึ่งค่าประจำบิตมีค่าเป็น 5 ในแบบ 1 มิติ ไปสู่ PSF-support แบบ 2 มิติ.....	46
4.11 แสดงการแปลงโครโมโซมซึ่งค่าประจำบิตมีค่าเป็น 1 ในแบบ 1 มิติ ไปสู่ PSF-support แบบ 2 มิติ.....	47
4.12 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์ของการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบ.....	47
4.13 แสดงการมิวเตชันที่มีรูปแบบ.....	48
4.14 เปรียบเทียบ PSF-support ของการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบ กับการครอสโอเวอร์ที่ไม่มีรูปแบบ.....	49
5.1 แสดงภาพตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดลองทั้ง 5 ภาพ.....	52-53
5.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ GA-CGM กับ CGM ของภาพทั้ง 5 ภาพ ด้วยการวัดเปอร์เซ็นต์ MSE. ของ PSF-support ที่เกิดจากการจำลอง.....	56
5.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ GA-CGM กับ CGM ของภาพทั้ง 5 ภาพ ด้วยการนับจำนวนรอบการประมวลผล.....	58
5.4 แสดงภาพจริงและภาพเบลอที่ได้จากการถ่ายจริงและ PSF-support ที่คำนวณได้.....	59
5.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ GA-CGM กับ CGM ของภาพทั้ง 5 ภาพ ด้วยการวัดเปอร์เซ็นต์ MSE. ของ PSF-support ที่เกิดจากภาพจริง.....	60
5.6 แสดงการเปรียบเทียบภาพตัวอย่างสำหรับการทดลองที่ 5.2.3.....	61
5.7 แสดงผลการทดลองตอน 5.2.3.....	61
5.8 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการ crossover ที่มีรูปแบบ และไม่มีรูปแบบ สำหรับปัญหาของภาพที่เป็น Motion blur	62
5.9 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบ และไม่มีรูปแบบ สำหรับปัญหาของภาพที่เป็น Gaussian blur	63
5.10 แสดงภาพตัวอย่างผลการทดลอง.....	64
5.11 แสดงภาพตัวอย่างทั้ง 3 ภาพที่ใช้ในการทดลอง 5.4.....	65
5.12 แสดงภาพตัวอย่างที่ตัดมาสำหรับการทดลอง 5.4.....	66
5.13 แสดง PSF-support ขนาดต่างๆ ที่ใช้สำหรับการทดลอง 5.4.....	67
5.14 แสดง PSF-support ที่ได้จากการทดลองกับภาพขนาด 60×60.....	68
5.15 แสดง PSF-support ขนาด 6×6 ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว.....	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม้ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.16 แสดง PSF-support ขนาด 8×8 ที่ได้จากการทดลองกับภาพขนาด 100×100.....	70
5.17 แสดง PSF-support ขนาด 8×8 ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว.....	70
5.18 แสดง PSF-support ขนาด 10×10 ที่ได้จากการทดลองกับภาพขนาด 150×150.....	72
5.19 แสดง PSF-support ขนาด 10×10 ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว.....	72



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

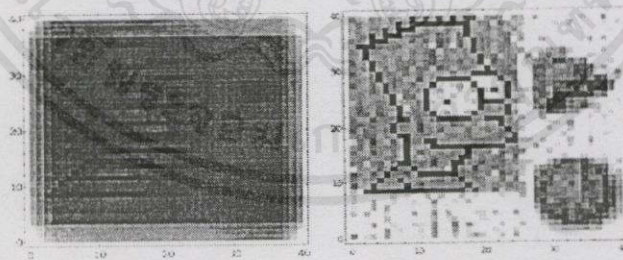
บทที่ 1

บทนำ

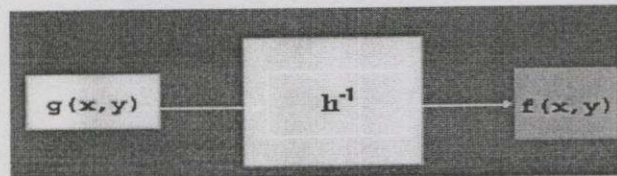
1.1 เรื่องย่อและที่มาของงานวิจัย

เนื่องจากในปัจจุบันนี้ เราให้ความสนใจกับภาพที่มีลักษณะใกล้เคียงกับภาพต้นแบบมากที่สุด เพื่อประโยชน์ต่างๆ ที่เราจะได้รับ แต่อุปกรณ์ต่างๆ ในการนำสัญญาณภาพเข้า (Input signal) ไม่ว่าจะเป็น scanner กล้องถ่ายรูป กล้องถ่ายภาพดิจิทัล หรือกล้องวิดีโอ มักจะทำให้ภาพที่ได้มีลักษณะผิดเพี้ยนไปจากเดิม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความคิดที่จะกำจัดความผิดเพี้ยนเหล่านั้น เพื่อให้ภาพที่ผิดเพี้ยนกลับมา มีลักษณะที่ใกล้เคียงของเดิมมากที่สุด ซึ่งกระบวนการปรับปรุงภาพโดยทั่วไปมีอยู่ 2 วิธีด้วยกัน คือ

- 1.) เมื่อเรามีเพียงภาพที่เบลอลงซึ่งแทนด้วย $g(x,y)$ และมีฟังก์ชันความผิดเพี้ยนซึ่งแทนด้วย $h(x,y)$ ซึ่ง $h(x,y)$ จะหาได้จากการจำลอง PSF-support ขึ้นมาให้เป็นรูปแบบที่ต้องการ เช่น ถ้าเป็นการเบลอลงจากการโฟกัส PSF-support ก็จะมีรูปแบบเป็นแบบเกาส์เซียน (Gaussian) หรือถ้าเป็นการเบลอลงจากการเคลื่อนที่ (Motion blur) PSF-support ก็จะมีรูปแบบเป็นแบบเชิงเส้น (Linear) หลังจากนั้นเราจะทำการหาภาพต้นแบบด้วยการ inverse filtering ภาพที่เบลอลงกลับมาให้เหมือนกับภาพต้นแบบซึ่งแทนด้วย $f(x,y)$ ดังรูป 1.1b)[17]



(a)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานที่ออก(b)บนเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1.1 แสดงกระบวนการปรับปรุงภาพวิธีที่ 1

แต่ในความเป็นจริงฟังก์ชันความผิดพลาดที่มีอาจไม่ใช่ตัวแทนความผิดพลาดที่เหมาะสม เพราะภาพเบลอที่เกิดขึ้นนั้นไม่ได้เกิดจากฟังก์ชันความผิดพลาดเพียงอย่างเดียว อาจมีการรบกวน (noise) จากปัจจัยภายนอกด้วย หรือบางครั้งเมื่อหาฟังก์ชันความผิดพลาดได้แล้วกลับไม่สามารถหา inverse ของฟังก์ชันความผิดพลาดเพื่อจะนำมาใช้ในกระบวนการ inverse filtering ได้

- 2.) วิธีที่สองนี้จะเป็นการปรับปรุงภาพโดยไม่ใช้วิธีการ inverse filtering แต่เป็นการจำลองฟังก์ชันความผิดพลาด $h(x,y)$ ขึ้นมาหนึ่งตัว และจำลองภาพต้นแบบขึ้นมาเพื่อทำการประสาน (Convolution) กับฟังก์ชันความผิดพลาด $h(x,y)$ ที่มีอยู่ โดยมี cost function [7][16] คือ

$$E = \| g(x,y) - (\hat{f}(x,y) * h(x,y)) \|^2 \quad (1.1)$$

เมื่อ $g(x,y)$ คือภาพเบลอที่ต้องการจะหาภาพต้นแบบ $\hat{f}(x,y)$ คือภาพต้นแบบที่ทำการจำลองขึ้น และ $h(x,y)$ คือฟังก์ชันความผิดพลาด โดยเราจะทำการจะลอง $\hat{f}(x,y)$ ขึ้นเรื่อยๆ ไปจนกว่าจะได้ $\hat{f}(x,y)$ ที่ทำให้ E เข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด เพราะ $\hat{f}(x,y)$ ที่ทำให้ E เข้าใกล้ศูนย์มากที่สุดก็คือภาพต้นแบบที่เราหาได้นั่นเอง

จากสมการความผิดพลาดของภาพที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปแสดงในสมการที่ (1.2)

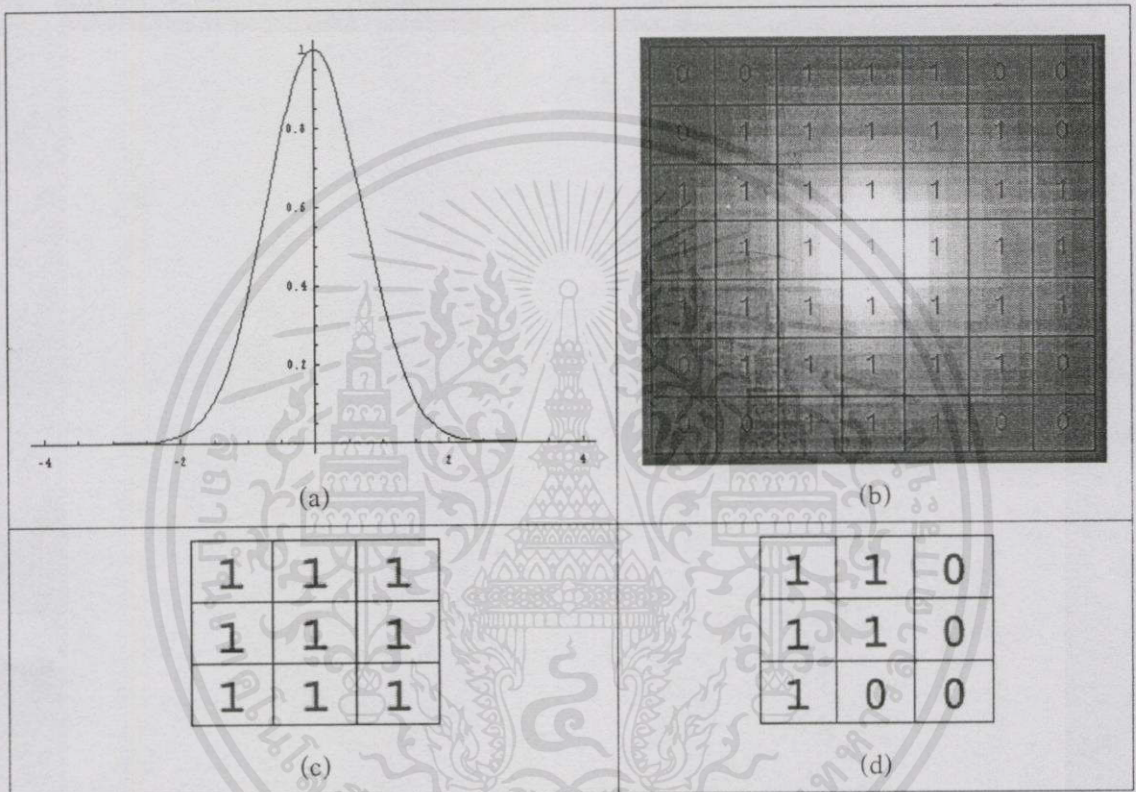
$$\begin{aligned} g(x,y) &\equiv \iint_D f(x',y') h(x-x',y-y') dx' dy' + n \\ &\equiv f(x,y) * h(x,y) + n \end{aligned} \quad (1.2)$$

เมื่อ * คือตัวดำเนินการผลประสาน (Convolution operator) [4] ดังนั้นถ้าเรามีภาพเบลอ $g(x,y)$ และ $h(x,y)$ ที่เหมาะสม ภาพต้นแบบ $f(x,y)$ ก็จะสามารถหาได้ โดยการใช้วิธีตัวกรองผกผัน (Inverse filtering) และ Wiener filter [5]

ซึ่งจากสมการที่ (1.2) ถ้าเรามีภาพต้นแบบ $f(x,y)$ ย่อมทำให้เราสามารถหาฟังก์ชันความผิดพลาดที่มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีที่หนึ่งซึ่งมีแต่เพียงภาพเบลออย่างเดียว แต่ปัญหาที่ตามมาคือเราจะทำอย่างไรจึงสามารถคำนวณหา PSF-support ที่เหมาะสมเพื่อเป็นตัวแทนความผิดพลาดของภาพได้ โดยทั่วไปอาจใช้วิธีกำลังสองค่าสุด (Method of least-square) โดยตรงในการคำนวณ ซึ่งมี cost function คือ

$$E = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{K-1} (fd_{ij} - (fo_{ij} * PSF_{ij}))^2 \quad (1.3)$$

หรืออาจนำกระบวนการเกรเดียนท์สังยุค (Conjugate Gradient Method : CGM) เข้ามาใช้ในการคำนวณเพื่อประสิทธิภาพที่ดีขึ้น



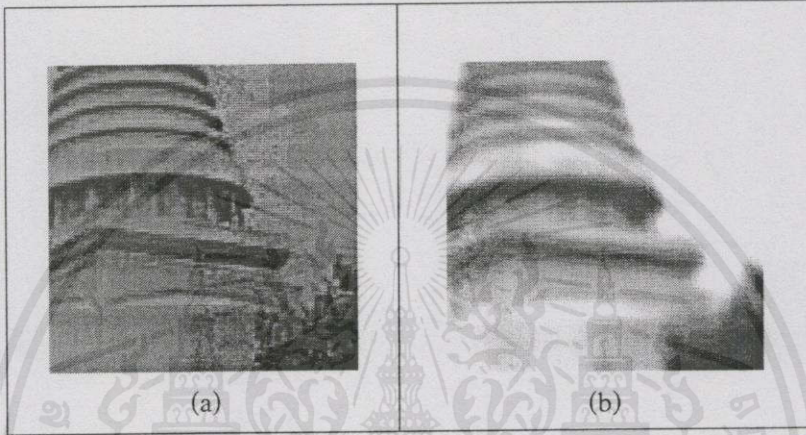
รูปที่ 1.2 แสดง PSF-support ที่ได้จาก Gaussian function ไม่ควรจะมีรูปแบบเต็ม โดยที่

- แสดงภาพตัดขวางของ Gaussian function
- เปรียบเทียบ Gaussian function ที่มองจากมุมสูงกับ PSF-support
- แสดงถึงรูปแบบเต็ม ซึ่งแสดงให้เห็นถึงทุกตำแหน่งมีความสำคัญกับ PSF-support
- แสดงถึงรูปแบบที่ไม่เต็ม

การจะทำให้ภาพเบลอสถกลับมาสู่ภาพที่ใกล้เคียงกับภาพต้นแบบมากที่สุดนั้น จำเป็นจะต้องมี PSF-support ที่มีความถูกต้อง โดยเรามีสมมุติฐานว่าถ้า PSF-support มีขนาดที่เหมาะสม นั้น รูปแบบของ PSF-support ไม่น่าจะเป็นรูปสี่เหลี่ยม (Rectangular) ดังแสดงในรูปที่ 1.2c ตัวอย่างเช่นภาพเบลอจากการโฟกัส รูปแบบของ PSF-support มักจะมีรูปแบบเป็นลักษณะของ

Gaussian function ซึ่งแสดงให้เห็นดังรูป 1.2a จากรูป 1.2 จะเห็นว่า ถ้า PSF-support มีขนาดที่เหมาะสม และรูปแบบของ PSF-support ถูกจัดวางอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง บริเวณมุมทั้งสี่ของ PSF-support ขอบจะไม่ใช้ตำแหน่งที่จำเป็นสำหรับ PSF-support (ในรูปตำแหน่งที่ไม่จำเป็นจะถูกแทนด้วย 0 และตำแหน่งที่จำเป็นสำหรับ PSF-support จะถูกแทนด้วย 1)

เพื่อทดสอบสมมุติฐานว่า PSF-support ที่เหมาะสมนั้นไม่จำเป็นต้องมีรูปแบบเต็ม เราจึงทำการคำนวณหา PSF-support จากภาพที่ทำการถ่ายจริง



รูปที่ 1.3 ภาพตัวอย่างที่ได้จากการถ่ายด้วยกล้อง โดยที่

- (a) ภาพต้นแบบ
- (b) ภาพเบลอ

และ PSF-support ที่ได้จากการทดลองโดยการใช้ภาพต้นแบบและภาพเบลอในรูปที่ 1.3 มีลักษณะดังรูปที่ 1.4

0.1210	0.0000	0.0000	0.1516	0.1263	0.0000	-0.000
0.4826	0.3256	0.0000	0.3626	0.2566	0.2543	0.0672
-0.076	0.2548	0.7416	0.2536	0.3121	0.0000	0.0000
0.3156	0.0231	0.1047	0.2146	0.1034	0.2145	-0.000
0.3514	0.1442	0.2149	0.2184	0.2605	0.2684	-0.052
0.0000	0.2110	0.0000	-0.000	0.1456	0.4152	0.0712
0.1510	0.0000	-0.011	0.1325	0.000	0.000	-0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ใช้งานภายใต้การสนับสนุนของโครงการวิจัยที่ดำเนินการโดยศูนย์วิจัยเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1.4 แสดงลักษณะของ PSF-support ที่ได้จากภาพถ่ายจริง

ดังนั้นเมื่อเรารู้ว่า PSF-support ที่เหมาะสมไม่จำเป็นต้องมีรูปแบบเป็นรูปสี่เหลี่ยม และตำแหน่งที่จำเป็นสำหรับ PSF-support ไม่มีลักษณะเฉพาะของรูปแบบที่แน่นอน จะอยู่บริเวณใดก็ได้ภายใต้ขนาดของ PSF-support ที่เหมาะสม จึงควรมีกระบวนการโคจรวนการหนึ่งเพื่อใช้ในการหารูปแบบที่แท้จริงของ PSF-support ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการศึกษากระบวนการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) คือ optimization algorithm ที่เลียนแบบการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ ซึ่งประยุกต์ใช้งานกับคอมพิวเตอร์ในการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบของปัญหาในลักษณะของการสุ่ม โดยอาศัยหลักการพิจารณาจากกลุ่มคำตอบที่สร้างขึ้น และปรับปรุงแก้ไขคำตอบให้ดีขึ้นด้วยตัวดำเนินการทางพันธุกรรม ไม่ว่าจะเป็นการครอสโอเวอร์ (Crossover) หรือการมิวเตชัน (Mutation) โดยกระบวนการเหล่านี้จะทำให้การค้นหาคำตอบมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ซึ่งจากการทดลองของนักวิจัยในอดีตที่ผ่านมา K.Takazu [6] ได้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ที่จะใช้ GA สำหรับแก้ปัญหาการปรับปรุงซ่อมแซมภาพ (Image restoration) ซึ่งเป็นปัญหาในการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization problem) ซึ่ง Yen-Wei Chen และคณะสามารถแก้ปัญหาได้ โดยการใช้ GA กับ simulated annealing (SA) [7] และผลงานวิจัยก่อนหน้าของนักวิจัยกลุ่มนี้ก็แสดงให้เห็นว่า GA เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสำหรับ Image restoration [15]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำ GA เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาเพื่อหาขนาดและรูปแบบของ PSF-support ที่เหมาะสม โดยจะนำ GA เข้ามาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและแก้ไขปัญหของ CGM ซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้ในการหาค่าต่ำสุด (Minimization) ของ PSF-support เพราะการที่เราารู้ว่า PSF-support ที่เหมาะสมนั้นไม่จำเป็นต้องมีรูปแบบเต็มหรือเป็นรูปสี่เหลี่ยม ดังนั้นการใช้ GA จะสามารถทำให้เราลดจำนวนตัวแปรที่ไม่ทราบค่าลงได้ ทำให้การคำนวณมีความรวดเร็วยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.) เพื่อตรวจสอบสมมุติฐานว่า PSF-support ที่เหมาะสมซึ่งพบในทางปฏิบัติภายใต้เงื่อนไขของการเบลอเนื่องจากการโฟกัสและการเบลอเนื่องจากการสั่นของกล้อง ไม่จำเป็นต้องมีรูปแบบเต็ม
- 2.) นำกระบวนการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) เข้ามาประยุกต์ใช้สำหรับการค้นหาขนาดและรูปแบบที่เหมาะสมของ PSF-support เพื่อเป็นตัวแทนของความผิดเพี้ยน ทั้งแบบที่เกิดจากการโฟกัสและแบบที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นของกล้อง การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด 3.) ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบ (Structured crossover) และการครอสโอเวอร์ที่ไม่มีรูปแบบ (Unstructured crossover) ว่าแต่ละแบบมีความเหมาะสมสำหรับการปรับปรุงภาพแบบใด

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาถึงการหารูปแบบและขนาดที่เหมาะสมของ PSF-support โดยใช้ GA-CGM เพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงภาพในระดับเทา (Gray level) ที่มีขนาด 128×128 pixels ถึง 256×256 pixels โดยใช้กระบวนการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบและไม่มีรูปแบบเพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของทั้งสองกระบวนการนี้ว่ามีความเหมาะสมกับความผิดเพี้ยนของภาพในลักษณะใด และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการปรับปรุงภาพที่ใช้ CGM เพียงอย่างเดียว กับกระบวนการที่มีการนำ GA เข้ามาประยุกต์ใช้

1.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

- 1.) เครื่อง Scanner ยี่ห้อ Hewlett Packard รุ่น ScanJet 5p โดยเลือกระดับความละเอียด (Resolution) ในการจัดเก็บภาพที่ 350 จุดต่อนิ้ว (dot per inch : dpi) ซึ่งภาพที่ทำการจัดเก็บนั้นเป็นภาพในระดับเทา 256 สี
- 2.) เครื่องคอมพิวเตอร์ (Computer) ที่ใช้หน่วยประมวลผลกลาง (Central processing unit : CPU) PentiumII processor 233 MHz หน่วยความจำ 96 MB
- 3.) ระบบปฏิบัติการ (Operating System) Window 98
- 4.) โปรแกรมสำเร็จรูป Borland C++ Builder, Matlab5.3, Adobe Photoshop5

1.5 โครงสร้างวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็นบทต่างๆ ได้ 6 บท ประกอบด้วย
บทที่ 1 เป็นบทนำที่กล่าวถึง

เรื่องย่อและที่มาของงานวิจัย

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

โครงสร้างวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึง Point-spread function และ กระบวนการเกรเดียนท์สังยุค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำออกไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ
point-spread function และ คณิตศาสตร์พื้นฐาน
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเป็นซ้ำ และต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
กระบวนการเกรเดียนท์สังยุคในหลายมิติ

- บทที่ 3 กล่าวถึงกระบวนการเชิงพันธุกรรมเบื้องต้น
 กระบวนการเชิงพันธุกรรมเบื้องต้น
 ฟังก์ชันเป้าหมายกับฟังก์ชันความเหมาะสม
 รูปแบบโครโมโซม
 วัฏจักรของกระบวนการเชิงพันธุกรรม
 พันธุศาสตร์ทางชีววิทยา กับ กระบวนการเชิงพันธุกรรม
 กระบวนการเชิงพันธุกรรมอย่างง่าย
 การประยุกต์กระบวนการเชิงพันธุกรรม
 กระบวนการเชิงพันธุกรรมกับการปรับปรุงภาพ
 สรูป
- บทที่ 4 กล่าวถึงการประมาณค่า PSF ด้วยกระบวนการ GA-CGM
 การประยุกต์กระบวนการเกรเดียนต์สังยุคสำหรับงานวิจัย
 การประยุกต์กระบวนการเชิงพันธุกรรมสำหรับงานวิจัย
 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบกับการครอสโอ
 เวอร์ที่ไม่มีรูปแบบ
- บทที่ 5 กล่าวถึงการทดลอง
 การหาค่า Pc และ Pm ที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง
 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง CGM กับ GA-CGM
 การเปรียบเทียบการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบกับการครอสโอเวอร์ที่ไม่มีรูปแบบ
 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบว่าขนาดของภาพมีผลกับ PSF-support ที่เหมาะสม
- บทที่ 6 กล่าวถึงการสรุปผลการทดลองและปัญหาที่พบ
 สรุปผลการทดลอง
 ปัญหาที่พบ
 การพัฒนาในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

Point-spread function และ กระบวนการเกรเดียนต์ที่ยุก

2.1 point-spread function และ คณิตศาสตร์พื้นฐาน

2.1.1 คณิตศาสตร์พื้นฐาน

พิจารณาโดเมนเชิงตั้งฉาก $D = [a,b] * [c,d]$ ให้ f_{ij} เป็นค่าของภาพที่มีจุดเริ่มต้นอยู่ที่ (x_i, y_j) เมื่อ $i = 1, \dots, N$ และ $j = 1, \dots, M$ การแก้ไขความเบลอ (Blur restoration) ถูกแสดงลักษณะโดยการลดผลกระทบซึ่งแทนด้วย PSF $h(x, y)$ แบบต่อเนื่องกล่าวคือ

$$g(x, y) \equiv \iint_D f(x', y') h(x - x', y - y') dx' dy' + n \quad (2.1)$$

เมื่อ $f \equiv f(x, y)$ แทนความต่อเนื่องของภาพเริ่มต้น

$g \equiv g(x, y)$ แทนความต่อเนื่องของข้อมูลนี้

$n \equiv n(x, y)$ แทนการรบกวนสุ่ม

แสดงการพิจารณาในแบบ 1 มิติของปัญหาให้ $n = 0$ จะได้

$$\begin{aligned} g(x) - \tilde{g}(x) &= 0, \\ \tilde{g}(x) &\equiv \int_a^b f(x') h(x - x') dx' + n \end{aligned} \quad (2.2)$$

ให้ $a = 0, b = N, x_i = i$ การประมาณค่าที่เหมาะสมของอินทิกรอลจะได้ ตัวดำเนินการผลประสานที่ทำให้เบลอแบบไม่ต่อเนื่อง

$$\tilde{g}_i \equiv \sum_{j=0}^N f_j h_{ij} + n_i \quad i = 1, \dots, N \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นใดไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการอินทิกรัลมีการแปลงไปสู่ระบบเชิงเส้นของ N สมการ N^2 ตัวไม่ทราบค่า บทสรุปในรูปแบบทั่วไปของตำแหน่งของ PSF-support จะยอมให้ลดจำนวนของตัวไม่ทราบค่าลงได้ กล่าวคือ

$$g(f) = \sum_{i-j \in \text{supp}(h)} f_j h_{i-j} + n_i \quad (2.4)$$

อย่างไรก็ตามปัญหาคือ ill-conditioned เช่น ความแปรปรวนเพียงเล็กน้อยของข้อมูลเริ่มต้นสามารถนำสู่คำตอบที่ห่างไกลจากความถูกต้อง ยิ่งไปกว่านั้นยังสามารถทำให้มีได้หลายคำตอบ

พื้นฐานเชิงตัวเลขจะนำเข้าสู่การแก้ปัญหาทั่ว ๆ ไปรวมถึงเทคนิค Least-square ที่รวมกับกฎเกณฑ์ที่เหมาะสม

$$\|\tilde{g}^1 - g^1\| + \lambda \|R(h)\|^2 \Rightarrow \min_h \quad (2.5)$$

เมื่อ R คือตัวที่ทำให้กฎเกณฑ์ถูกต้องซึ่งมีได้เพียงค่าเดียวของคำตอบ และ λ คือพารามิเตอร์ที่ทำให้กฎเกณฑ์ถูกต้อง

ปกติจะเลือกตำแหน่งที่สมนัยกับ Laplacian โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเก็บคุณสมบัติที่ต้องการของภาพใหม่สามารถทำให้สำเร็จได้โดยการถ่วงน้ำหนักค่าประจำ (Norm) ที่สมนัย

การแก้ไขด้วย Least-square จะนำไปสู่ค่าต่ำสุดของความคลาดเคลื่อนที่เป็นไปตามกฎเกณฑ์ ด้วยเหตุนี้ความแตกต่างระหว่างภาพเบลอและภาพผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจาก PSF-support จะถูกพิจารณาโดยมีข้อจำกัด เช่น

$$\|R(h)\| \Rightarrow \min_h \quad (2.6)$$

เมื่อให้ $\|\tilde{g} - g\| \Rightarrow \sigma$

และ σ มีค่าน้อย ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับคนที่สนใจในเรื่องนี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
2.1.2 PSF สำหรับภาพที่ไม่ชัดเจนที่แตกต่างกัน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะวิธีใดทั้งสิ้น อีกขั้นหนึ่งให้ตีความเงื่อนไขและต้องคำนึงถึงประเด็นนี้ เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ถ้าเราสมมุติว่ารูปแบบเชิงเส้นสำหรับระบบภาพได้ดังนี้

$$i_b(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(\alpha, \beta) i(x - \alpha, y - \beta) d\alpha d\beta \quad (2.7)$$

โดย $i_b(x, y)$ เป็นภาพที่เบลอ

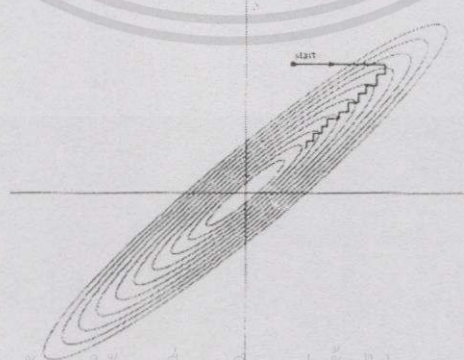
$h(x, y)$ เป็น PSF

$i(x, y)$ เป็นรูปภาพที่ไม่เกิดการบิดพลิ้ว

ดังนั้นถ้ามี $i_b(x, y)$ และต้องการให้กลับเป็น $i(x, y)$ จึงจำเป็นที่จะต้องประมาณค่า ถ้ารู้ $h(x, y)$ ก็จะทำให้การแก้ปัญหานั้นง่ายขึ้น โดยการใช้ Deconvolution term เพราะน้อยคนนักที่จะรู้ว่าเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการเกิดภาพเบลอเป็นปัญหาที่เรียกว่า Blind deconvolution ในบางกรณีที่เราไม่รู้ค่าของ h จะถูกจัดเป็นประเภทของ Priori method ถ้าไม่รู้ค่าของ h ปัญหาที่จะถูกจัดเป็น Posteriori method

2.2 กระบวนการเกรเดียนต์สังยุคในหลายมิติ (Conjugate Gradient Method in Multidimensions)

กระบวนการเกรเดียนต์สังยุคนั้นเป็นกระบวนการที่ได้รับการพัฒนามาจาก Newton's method ซึ่ง Newton's method นั้นมีคุณสมบัติที่เรียกว่า quadratic termination หมายถึงกระบวนการที่สามารถหาค่าต่ำสุดได้อย่างแน่นอนในจำนวนรอบที่จำกัด แต่ข้อเสียของ Newton's method ก็คือ ต้องมีการคำนวณอนุพันธ์อันดับที่สอง (second derivatives) ซึ่งถ้าจำนวนตัวแปรของพารามิเตอร์ n มีขนาดใหญ่ขึ้น บางทีการคำนวณอนุพันธ์อันดับที่สองก็ไม่สามารถทำได้ (ถ้าเกรเดียนต์มี n ตัวแปรแล้ว Hessian จะมี n^2 ตัวแปร)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1 แสดงการหาค่าต่ำสุดตามพิกัดในทิศทางตามยาว

ทิศทางการค้นหาที่กระทำซ้ำๆ อย่างต่อเนื่องในลักษณะเชิงตั้งฉาก ดังรูป 2.1 สำหรับ quadratic function จะมีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบซิกแซก (zig-zag trajectory) ซึ่งบางที่การค้นหาทิศทางแบบ quadratic อาจจะไม่ใช้ทางเลือกที่ดีที่สุด เพราะเราไม่อาจบอกได้ว่าจะมีเซตของทิศทางการค้นหาที่ยืนยันจุดสิ้นสุดของฟังก์ชันกำลังสอง (Quadratic function) หรือไม่ แต่ที่เป็นไปได้สิ่งหนึ่งคือทิศทางเชิงสังยุค (Conjugate directions)

สมมุติว่าเราต้องการเข้าสู่ค่าต่ำสุดของฟังก์ชันกำลังสอง

$$F(x) = \frac{1}{2} x^T A x + d^T x + c \quad (2.9)$$

2.2.1) สังยุค (Conjugate)

ให้เซตของเวกเตอร์ $\{p_k\}$ เป็น mutually conjugate ทางด้านบวกของเฮสเซียนเมตริกซ์ (Hessian Matrix) A ก็ต่อเมื่อ

$$p_k^T A p_j = 0 \quad k \neq j \quad (2.10)$$

ซึ่งมีจำนวนไม่จำกัดของเซต mutually conjugate ของเวกเตอร์ที่สเปน (Span) ในปริภูมิ n มิติ เหมือนกับเวกเตอร์เชิงตั้งฉาก (Orthogonal vector) โดยจะมีหนึ่งเซตของเวกเตอร์สังยุค (Conjugate vector) ที่ประกอบด้วยเวกเตอร์เจาะจง (Eigenvector) ของ A ถ้าให้ $\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\}$ และ $\{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ เป็นค่าเจาะจง (Eigenvalue) และเวกเตอร์เจาะจงของเฮสเซียนเมตริกซ์ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเวกเตอร์เจาะจง p_k ที่เป็นเวกเตอร์สังยุคในสมการ (2.10) จะถูกแทนที่ด้วย z_k

$$z_k^T A z_j = \lambda_j z_k^T z_j = 0 \quad k \neq j \quad (2.11)$$

จากสมการ (2.11) เพราะเวกเตอร์เจาะจงของเมตริกซ์สมมาตรคือ mutually orthogonal เพราะฉะนั้นเวกเตอร์เจาะจงจึงเป็นได้ทั้งเวกเตอร์สังยุคและเวกเตอร์เชิงตั้งฉาก

มันไม่น่าประหลาดใจที่เราสามารถหาค่าต่ำสุดของฟังก์ชันกำลังสองได้อย่างแน่นอน โดยการค้นหาจากเวกเตอร์เจาะจงของเฮสเซียนเมตริกซ์ เพราะรูปแบบของมันจะเป็นแกนหลักของคอนทัวร์ฟังก์ชัน (Contour function) แต่มันก็ไม่ค่อยจะมีประโยชน์มากนัก เนื่องจากการหาเวกเตอร์เจาะจงจะต้องมีการหาเฮสเซียนเมตริกซ์เป็นอันดับแรก ดังนั้นเราจึงต้องมีกระบวนการที่ทำการหาเฮสเซียนเมตริกซ์โดยไม่ต้องการหาอนุพันธ์อันดับสอง (second derivatives)

เราสามารถแสดงให้เห็นได้ว่า ถ้าเราสร้างลำดับของเส้นตรงไปตามเซตของทิศทางเชิงสังยุค $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ การเข้าถึงจุดต่ำสุดของฟังก์ชันกำลังสองที่มี n พารามิเตอร์ จะใช้การค้นหามากกว่า n ครั้ง จึงมีคำถามว่า “เราจะสร้างทิศทางเชิงสังยุคนี้ได้อย่างไร?” อันดับแรกเราต้องกลับไปสู่เงื่อนไขของการสังยุคในสมการ (2.10) ซึ่งปราศจากการใช้เฮสเซียนเมตริกซ์

$$\nabla F(x) = Ax + d \quad (2.12)$$

$$\nabla^2 F(x) = A \quad (2.13)$$

จากการรวมสมการการเปลี่ยนแปลงของเกรเดียนท์ในรอบที่ $k+1$ คือ

$$\Delta g_k = g_{k+1} - g_k = (Ax_{k+1} + d) - (Ax_k + d) = A\Delta x_k \quad (2.14)$$

เมื่อ

$$\Delta x_k = (x_{k+1} - x_k) = \alpha_k p_k \quad (2.15)$$

และ

$$\alpha_k = -\frac{g_k^T p_k}{p_k^T A p_k}$$

โดยที่ α_k เป็นค่าอัตราการเรียนรู้ที่ถูกเลือกให้เข้าสู่ค่าต่ำสุดของฟังก์ชัน $F(x)$ ในทิศทางของ p_k นำไปแทนค่าในสมการ (2.10) จะได้ว่า

$$\alpha_k p_k^T A p_j = \Delta x_k^T A p_j = \Delta g_k^T p_j = 0 \quad k \neq j \quad (2.16)$$

สังเกตว่าเราไม่จำเป็นต้องรู้เฮสเซียนเมตริกซ์ เมื่อเรามีเงื่อนไขเชิงสังยุค (Conjugate condition) ในรูปของการเปลี่ยนแปลงของเกรเดียนท์ในรอบสุดท้ายของอัลกอริทึม ถ้ามันเป็นเวกเตอร์เชิงตั้งฉากที่เปลี่ยนแปลงในเกรเดียนท์ทิศทางการค้นหามันก็เป็นเวกเตอร์สังยุค

อีกอย่างหนึ่งก็คือ ทิศทางการค้นหาในครั้งแรก p_0 คือค่าอะไรก็ได้และ p_1 คือเวกเตอร์ที่เป็นเวกเตอร์เชิงตั้งฉากกับ Δg_0 เพราะฉะนั้นจึงมีจำนวนไม่จำกัดของเซตของเวกเตอร์สังยุค ซึ่งโดยปกติจะเริ่มหาในทิศทางของ steepest descent

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$p_0 = -g_0 \quad (2.17)$$

ในแต่ละรอบเราต้องการสร้างเวกเตอร์ p_k ที่เป็นเวกเตอร์เชิงตั้งฉากไปสู่ $\{\Delta g_0, \Delta g_1, \dots, \Delta g_{k-1}\}$ ซึ่งเป็นกระบวนการที่คล้ายกับกระบวนการเชิงตั้งฉากของแกรม-ชมิทท์ (Gram-Schmidt orthogonalization) ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

$$p_k = -g_k + \beta_k p_{k-1} \quad (2.18)$$

ค่าสเกลาร์ β_k ถูกเลือกโดยกระบวนการทั่วไปซึ่งสร้างผลลัพธ์ที่สมมูลสำหรับสมการกำลังสอง โดยปกติแล้วจะมีรูปแบบดังนี้
รูปแบบของ Hestenes และ Steifel

$$\beta_k = \frac{\Delta g_{k-1}^T g_k}{\Delta g_{k-1}^T p_{k-1}} \quad (2.19)$$

หรือรูปแบบของ Fletcher และ Reeves

$$\beta_k = \frac{\Delta g_k^T g_k}{g_{k-1}^T g_{k-1}} \quad (2.20)$$

หรือรูปแบบของ Polak และ Ribiere

$$\beta_k = \frac{\Delta g_{k-1}^T g_k}{g_{k-1}^T g_{k-1}} \quad (2.21)$$

2.2.2) เกรเดียนท์สังยุค (Conjugate Gradient)

สรุปขั้นตอนของกระบวนการเกรเดียนท์สังยุค (Conjugate Gradient Method : CGM) ได้ดังนี้

- 1.) เลือกทิศทางการค้นหาที่หนึ่งที่มีค่าเป็นลบของเกรเดียนท์ตั้งสมการ (2.17)
- 2.) ทำตามขั้นตอนในสมการ (2.15) เลือกอัตราการเรียนรู้ α_k เพื่อเข้าสู่ค่าต่ำสุดของฟังก์ชันในทิศทางการค้นหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณี 3.) เลือกทิศทางการค้นหาต่อไปตามสมการ (2.18) และใช้สมการ (2.19), (2.20) หรือ

(2.21) คำนวณหาค่า β_k

- 4.) ถ้าอัลกอริทึมไม่ลู่เข้าสู่ค่าต่ำสุดให้ย้อนกลับไปขั้นที่ 2)

จากตัวอย่างต่อไปนี้จะใช้กระบวนการเกรเดียนต์ที่ संबุคกับการหาค่าต่ำสุดเชิงเส้น (linear minimization) ในการพิสูจน์ประสิทธิภาพของอัลกอริทึม

$$F(x) = \frac{1}{2} x^T \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} x \quad (2.22)$$

เริ่มต้นจากการเดาค่า x_0

$$x_0 = \begin{bmatrix} 0.8 \\ -0.25 \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

เกรเดียนต์ของฟังก์ชันคือ

$$\nabla F = \begin{bmatrix} 2x_1 + x_2 \\ x_1 + 2x_2 \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

เหมือนกับ steepest descent ทิศทางการค้นหาที่หนึ่ง (first search direction) คือค่าที่เป็นลบของเกรเดียนต์

$$p_0 = -g_0 = -\nabla F(x)^T \Big|_{x=x_0} = \begin{bmatrix} -1.35 \\ -0.3 \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

จากสมการ (2.15) อัตราการเรียนรู้สำหรับรอบที่หนึ่งจะได้

$$\alpha_0 = \frac{\begin{bmatrix} 1.35 & 0.3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1.35 \\ -0.3 \end{bmatrix}}{\begin{bmatrix} -1.35 & -0.3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1.35 \\ -0.3 \end{bmatrix}} = 0.413 \quad (2.26)$$

เพราะฉะนั้นขั้นที่หนึ่งของเกรเดียนต์ที่ संबุคคือ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x_1 = x_0 + \alpha_0 p_0 = \begin{bmatrix} 0.8 \\ -0.25 \end{bmatrix} + 0.413 \begin{bmatrix} -1.35 \\ -0.3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.24 \\ -0.37 \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

มันคือสมมูลที่เข้าสู่ขั้นที่หนึ่งของ steepest descent กับการค้นหาค่าต่ำสุดเชิงเส้น

ตอนนี้เราต้องการหาทิศทางการค้นหาที่สอง (second search direction) จากสมการ (2.18) ซึ่งต้องการเกรเดียนท์ที่ x_1

$$g_1 = \nabla F(x)|_{x=x_1} = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.24 \\ -0.37 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.11 \\ -0.5 \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

เราสามารถหา β_1 ได้ดังนี้

$$\beta_1 = \frac{g_1^T g_1}{g_0^T g_0} = \frac{\begin{bmatrix} 0.11 & -0.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.11 \\ -0.5 \end{bmatrix}}{\begin{bmatrix} 1.35 & 0.3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1.35 \\ 0.3 \end{bmatrix}} = \frac{0.2621}{1.9125} = 0.137 \quad (2.29)$$

ใช้กระบวนการของ Fletcher และ Reeves ในสมการ (2.20) ทิศทางการค้นหาที่สองคำนวณได้จากสมการ (2.18) คือ

$$p_1 = -g_1 + \beta_1 p_0 = \begin{bmatrix} -0.11 \\ 0.5 \end{bmatrix} + 0.317 \begin{bmatrix} -1.35 \\ -0.3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.295 \\ 0.459 \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

จากสมการ (2.15) อัตราการเรียนรู้สำหรับรอบที่สองจะได้

$$\alpha_1 = \frac{\begin{bmatrix} 0.11 & -0.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.295 \\ 0.495 \end{bmatrix}}{\begin{bmatrix} -0.295 & 0.495 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.295 \\ 0.495 \end{bmatrix}} = \frac{0.262}{0.325} = 0.807 \quad (2.31)$$

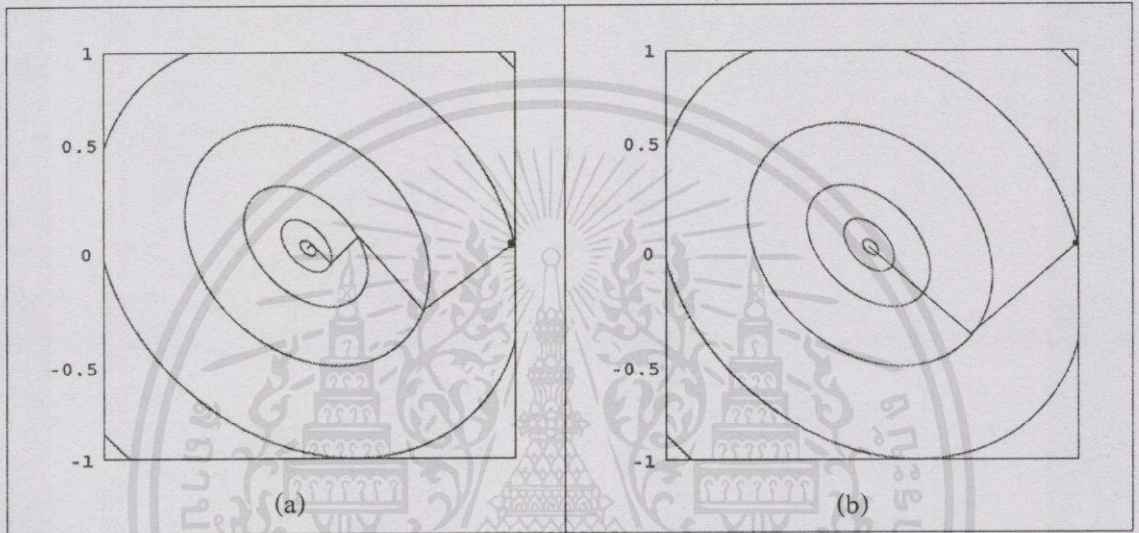
เพราะฉะนั้นขั้นที่สองของเกรเดียนท์สังยุคคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คิดแบ่งปันเอกสารนี้แก่บุคคลอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากศูนย์ฯ

$$x_2 = x_1 + \alpha_1 p_1 = \begin{bmatrix} 0.24 \\ -0.37 \end{bmatrix} + 0.807 \begin{bmatrix} -0.295 \\ 0.495 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{อีกครั้งที่มีการนำไปใช้} \quad (2.32)$$

ซึ่งสามารถบอกได้ว่ากระบวนการนั้นจะลู่เข้าสู่ค่าต่ำสุดอย่างแน่นอนในรอบที่ 2 (เพราะนี่คือ ฟังก์ชันกำลังสองแบบสองมิติ) แสดงให้เห็นดังรูป 2.2a เมื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จาก steepest descent ดังรูป 2.2b กระบวนการเกรเดียนต์ที่สังยุคมีการปรับปรุงทิศทางการค้นหาในขั้นตอนที่สอง ดังนั้นมันจึงเข้าสู่จุดต่ำสุดของฟังก์ชัน แทนที่จะใช้ทิศทางการค้นหาเชิงตั้งฉาก (Orthogonal search direction) เหมือนอย่างใน steepest descent



รูปที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบกระบวนการค้นหาจุดต่ำสุดของ (a) Steepest descent (b) Conjugate Gradient Method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับกระบวนการเชิงพันธุกรรม

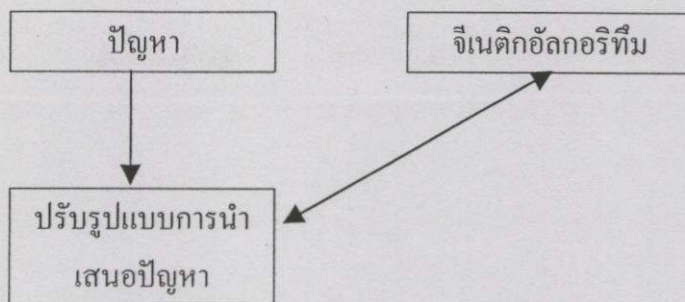
3.1 กระบวนการเชิงพันธุกรรมเบื้องต้น (Introduction of genetic algorithm)

ปี ค.ศ. 1975 John Holland [8] เริ่มสนใจศึกษาในทฤษฎีวิวัฒนาการทางธรรมชาติ (Natural Evolution) ในการกำเนิดประชากร (Population) สิ่งมีชีวิตในรุ่นต่อๆ ไป โดยกระบวนการธรรมชาติชีววิทยา ประกอบด้วยการคัดเลือกทางธรรมชาติ (Natural Selection) คือสิ่งมีชีวิตใดแข็งแรงกว่าย่อมมีโอกาสอยู่รอดได้มากกว่า นั่นหมายถึงการมีโครโมโซม (Chromosome) ซึ่งประกอบไปด้วยยีนต่างๆ ที่มีลักษณะที่ดีนั้นจะมียีนอยู่รอดได้มากกว่า โครโมโซมที่สามารถอยู่รอดได้ก็จะสามารถถ่ายทอดยีนที่ดีเหล่านั้นไปยังลูกหลานได้มากกว่าเช่นกัน และการดำเนินการทางพันธุศาสตร์ (Genetic Operation) คือการกำหนดโครโมโซมใหม่โดยการผสมพันธุ์เพื่อถ่ายทอดยีนจากการครอสโอเวอร์ (Crossover) หรือกลายพันธุ์จากการมิวเทชัน (Mutation)

จากความเชื่อในวิวัฒนาการทางธรรมชาติ ที่แสดงถึงคุณลักษณะที่เป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิต โดยการถ่ายทอดลักษณะต่างๆ บนโครโมโซมนั้นมีคุณสมบัติทั่วไปที่ยอมรับกันคือ [9][10]

- 1.) วิวัฒนาการเป็นผลที่เกิดขึ้นมาจากการเปลี่ยนแปลงทางโครโมโซมที่เป็นอยู่ ซึ่งแสดงลักษณะของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ
- 2.) ธรรมชาติทางการคัดเลือกมีความสัมพันธ์กับโครโมโซมที่แสดงถึงประสิทธิภาพของโครงสร้างที่ดีที่จะคัดเลือกเพื่อถ่ายทอดส่วนของโครงสร้างที่ดี
- 3.) การถ่ายทอดในลักษณะที่เกิดวิวัฒนาการนั้น โครโมโซมพ่อ-แม่ มีการแลกเปลี่ยนส่วนโครงสร้างกันเพื่อสร้างโครโมโซมลูก และเหตุผลที่ทำให้เกิดโครโมโซมลูกที่แตกต่างออกไปคือขบวนการผ่าเหล่า
- 4.) วิวัฒนาการทางธรรมชาติมิได้เป็นสิ่งที่เกิดจากการจดจำ แต่เป็นสิ่งที่เกิดจากโครงสร้างต่างๆ ในโครโมโซมที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นในขณะนั้น

Holland คิดว่าแนวความคิดจากคุณสมบัติเหล่านี้ น่าจะนำมาปรับใช้กับคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยแก้ปัญหาที่ยู่ยากต่างๆ ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงที่สุด เขาจึงได้ทำการวิจัยโดยการจำลองแบบเพื่อทดลองกับปัญหาแบบต่างๆ โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาระบบปรับปรุงการประมวลผลด้วยตัวเอง (Self adaptive process) และเพื่อสร้างโปรแกรมระบบโครงสร้างเทียม (Artificial system software) เพื่อแก้ปัญหา โดยอาศัยแนวความคิดของระบบทางธรรมชาติ และค้นพบวิธีการใหม่ซึ่งเรียกว่า กระบวนการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) [2][11][12]



รูปที่ 3.1 แสดงหลักการเบื้องต้นของ GA

รูปที่ 3.1 [13] แสดงหลักการเบื้องต้นในการใช้ GA แก้ปัญหา โดยจะต้องมีการปรับปรุงรูปแบบปัญหาในการนำเสนอ GA ในลักษณะที่เหมาะสม เพราะ GA เป็นวิธีการค้นหาคำตอบโดยอาศัยวิธีการเลียนแบบการคัดเลือกทางธรรมชาติ และธรรมชาติทางพันธุกรรมโดยการรวมกันหรือสลับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ อันเป็นองค์ประกอบโครงสร้างของปัญหาที่ให้คำตอบที่ต้องการ ซึ่งอาศัยหลักการสุ่ม เพื่อปรับปรุงความสามารถในการค้นหาคำตอบที่ดีขึ้น การค้นหาคำตอบจากรุ่นหนึ่งไปสู่อีกรุ่นหนึ่งซึ่งเป็นรุ่นถัดไปตามวิธีการทางธรรมชาตินั้น คำตอบในรุ่นใหม่เกิดขึ้นจากการสร้างความสัมพันธ์ของโครงสร้างต่างๆ ที่ประกอบด้วยค่าตัวแปรที่เหมาะสมดีในรุ่นก่อน ดังนั้นจึงทำให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น จะเห็นได้ว่าวิธีการพื้นฐานของ GA เป็นแบบสุ่ม แต่มีหลักการและประสิทธิภาพจากการคาดเดาคำตอบใหม่จากกระบวนการทางสถิติของคำตอบเดิมที่ดี ซึ่งแตกต่างจากวิธีการทั่วไปคือ

- 1.) GA ค้นหาคำตอบภายใต้โครงสร้างของปัญหาอันเกิดจากการกำหนดรหัส (coding) รูปแบบโครงสร้างจากกลุ่มตัวแปรต่างๆ ของปัญหานั้น ไม่ใช่ค้นหาคำตอบจากค่าของกลุ่มตัวแปรนั้น
- 2.) GA ค้นหาคำตอบโดยพิจารณาจากประชากรคำตอบ หรือกลุ่มคำตอบ ไม่ใช่พิจารณาจากคำตอบใดคำตอบหนึ่ง
- 3.) GA ค้นหาคำตอบจากผลลัพธ์ของกลุ่มค่าตัวแปรที่เป็นฟังก์ชันเป้าหมายของปัญหา
- 4.) GA ค้นหาคำตอบโดยอาศัยการถ่วงน้ำหนักความเหมาะสมของแต่ละคำตอบจากกลุ่มคำตอบนั้นๆ

3.2 ฟังก์ชันเป้าหมายกับฟังก์ชันความเหมาะสม

การหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาที่เกี่ยวข้องกับ GA มีพื้นฐานอยู่บนผลลัพธ์จากการหาคำตอบที่ผ่านมา วิธีการของ GA จะไม่พิจารณาจากขั้นตอนของการแก้ปัญหาแต่จะพิจารณาโดยตัดสินว่าคำตอบใหม่ที่ได้รับดีขึ้นหรือไม่ หรือเป็นคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ต้องการหรือไม่ จากฟังก์ชันเป้าหมาย (Object Function : f) เนื่องจากแต่ละปัญหาจะสามารถกำหนดฟังก์ชันเป้าหมาย

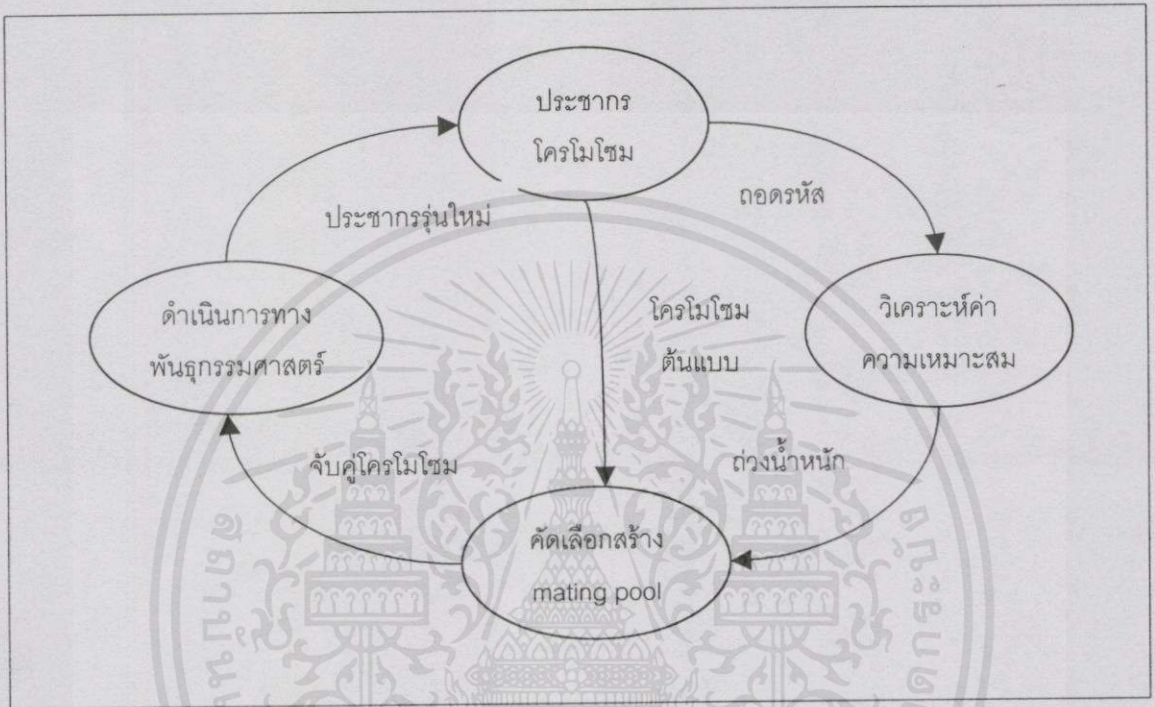
ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่แสดงความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปร พารามิเตอร์ เงื่อนไข หรือข้อกำหนดชุดดังกล่าว สำหรับฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function : F) เป็นฟังก์ชันที่กำหนดค่าความเหมาะสม (fitness) ของแต่ละโครโมโซม เปรียบเสมือนค่าความสามารถในความสามารถของแต่ละโครโมโซม และฟังก์ชันที่กำหนดโอกาส หรือสัดส่วนที่แต่ละโครโมโซมที่เหมาะสมจะถูกคัดเลือกมากขึ้นเพียงใด นั่นคือฟังก์ชันความเหมาะสมจะเป็นฟังก์ชันที่แสดงถึงค่าคำตอบที่เกิดขึ้นจากชุดตัวแปรของปัญหาของโครโมโซมนั้นดีเพียงใด โดยทั่วไปแล้วเรามักใช้ฟังก์ชันเป้าหมายเป็นฟังก์ชันความเหมาะสม หรืออาจใช้ฟังก์ชันเป้าหมายที่ถูกปรับให้เหมาะสมกับการนำเสนอ GA เป็นฟังก์ชันความเหมาะสมก็ได้

3.3 รูปแบบของโครโมโซม

เราทราบกันดีแล้วว่าวิวัฒนาการทางธรรมชาตินั้นเป็นความเปลี่ยนแปลงต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นในโครโมโซม ดังนั้นจุดเริ่มต้นของการจำลองแบบทางธรรมชาติของ GA เพื่อแก้ปัญหาจึงเริ่มจากการมองปัญหาเทียบเท่ากับโครโมโซมชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยยีนลักษณะต่างๆ ซึ่งหมายถึงลำดับข้อมูลต่างๆ ที่จะแปลความหมายแล้วให้คำตอบของปัญหาค่าหนึ่ง การมองภาพยีนของ GA ให้ถือเสมือนยีนทางพันธุกรรมที่แสดงความหมายหรือเป็นตัวแทนคำตอบใดคำตอบหนึ่งหรือลักษณะใดลักษณะหนึ่งทางกรรมพันธุ์ ในทางพันธุศาสตร์นั้นยีนเป็นตัวแสดงลักษณะที่อยู่รอดในสภาพแวดล้อมขณะนั้น สำหรับ GA นั้นยีนเป็นตัวแสดงคำตอบของปัญหาที่แปรผันไปตามการประยุกต์ใช้งาน ซึ่งโดยทั่วไปยีนหมายถึงตัวแปร พารามิเตอร์ เงื่อนไข หรือข้อกำหนดต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของปัญหา ดังนั้นการกำหนดรูปแบบของโครโมโซมของแต่ละปัญหาโดยการแปลงตัวแปร พารามิเตอร์ เงื่อนไข หรือข้อกำหนดต่างๆ ให้อยู่ในรูปลำดับของยีนบนโครโมโซมหรือเรียกว่าสตริง (String) อันประกอบไปด้วยบิต (Bit) หรือเรียกว่าอักขระ (Character) ซึ่งลักษณะต่างๆ รูปแบบของค่าของบิต (Bit value) หรือค่าตัวแปร พารามิเตอร์ต่างๆ ที่เป็นไปได้ และรูปแบบของค่าบิตที่จัดเรียงบนโครโมโซมเรียกว่า ยีนโนไทป์ (Genotype) ซึ่งจะแสดงถึงค่าของตัวแปรพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เป็นไปได้ชุดหนึ่งหรือฟีโนไทป์ (Phenotype) นั่นเอง การกำหนดรูปแบบโครโมโซมของปัญหาให้เป็นตามแบบธรรมชาติ โดยกำหนดรหัสในรูปแบบตัวเลขหรือตัวอักษรในช่วงที่จำกัดตามค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ และประกอบรวมกับในจำนวนยีนหรือเป็นความยาวของโครโมโซมที่คงที่ เช่น หากต้องการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชันคณิตศาสตร์ $y = x^2$ ที่ x เป็นจำนวนเต็มในช่วง $[0, 31]$ แล้ว วิธีการของ GA ในการแก้ปัญหาโดยกำหนดรูปแบบของโครโมโซมจากการกำหนดรหัสตัวแปร x เป็นตัวเลขไบนารี 0 หรือ 1 ในจำนวน 5 ตำแหน่ง ซึ่ง x จะมีค่าตั้งแต่ 00000 ถึง 11111 แทนค่า 0 ถึง 31 ตามต้องการ เป็นต้น

3.4 วัฏจักรของกระบวนการเชิงพันธุกรรม

เมื่อกำหนดรูปแบบโครโมโซมและฟังก์ชันความเหมาะสมของปัญหาแล้ว GA จะสามารถประมวลผลหาคำตอบของปัญหาได้ โดยสร้างวิวัฒนาการกลุ่มคำตอบในรุ่นต่อไปตามวัฏจักรการทำงานของ GA (Genetic Algorithm Cycle) ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งมี 4 ขั้นตอนคือ



รูปที่ 3.2 แสดงวัฏจักรของกระบวนการเชิงพันธุกรรม

- 1.) สร้างประชากรโครโมโซมรุ่นแรกตามรูปแบบโครโมโซมที่กำหนดไว้ โดยประชากรต้นกำเนิด (Initial Population) เกิดจากการสร้างชุดโครโมโซมต้นกำเนิด จากการสุ่มสร้างค่าแต่ละบิตของแต่ละโครโมโซม
- 2.) วิเคราะห์ความเหมาะสมแต่ละโครโมโซม โดยถอดรหัสค่าตัวแปร พารามิเตอร์ต่างๆ ของแต่ละบิตในโครโมโซม และคำนวณค่าความเหมาะสมจากฟังก์ชันความเหมาะสมที่กำหนดให้
- 3.) สร้าง mating pool ซึ่งเป็นชุดโครโมโซมต้นแบบหรือชุดโครโมโซมพ่อ-แม่ ที่สามารถอยู่รอดเป็นต้นแบบ ซึ่งอาศัยการจำลองการคัดเลือกทางธรรมชาติ โดยพิจารณาถ่วงน้ำหนักจากค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม หากโครโมโซมใดมีค่าความเหมาะสมมากที่สุดก็จะมีโอกาสถูกคัดเลือกเป็นต้นแบบมากที่สุดของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.) ดำเนินการทางพันธุศาสตร์โดยสุ่มจับคู่โครโมโซมต้นแบบใน mating pool เพื่อสร้างประชากรโครโมโซมรุ่นใหม่ ซึ่งมีตัวดำเนินการทางพันธุศาสตร์ประกอบด้วย การครอสโอเวอร์ โดยการแลกเปลี่ยนค่าบิตบางส่วนของโครโมโซมที่จับคู่กัน หรือ การมิวเตชัน โดยการสุ่มเปลี่ยนค่าบิตบางบิตของแต่ละโครโมโซมเป็นต้น

การค้นหาคำตอบของ GA จะประมวลผลซ้ำตามวัฏจักร GA จนกว่าจะได้คำตอบที่พอใจ ตามกฎเกณฑ์ที่ตั้งไว้ หรือระยะตามจำนวนรุ่นที่ดำเนินการที่ต้องการ ซึ่งแสดงอัลกอริทึมของ GA [13] ได้ดังนี้

```

BEGIN
  T := 0;
  //สร้างประชากรโครโมโซมต้นกำเนิดโดยการสุ่ม
  Initpopulation P(t);
  //วิเคราะห์ค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซมประชากรต้นกำเนิด
  Evaluate P(t);
  //ตรวจสอบเงื่อนไขความพอใจ (เช่น เวลา, ค่าความเหมาะสม เป็นต้น)
  While not terminate
  Begin
    T := t+1;
    //คัดเลือกโครโมโซมต้นแบบจากประชากรรุ่นก่อน
    P'(t) := Selectparents P(t-1);
    //แลกเปลี่ยนส่วนอื่นภายในโครโมโซมต้นแบบ
    Recombine P'(t);
    //มิวเตชันโครโมโซมต้นแบบ
    Mutate P'(t);
    //วิเคราะห์ค่าความเหมาะสมของประชากรรุ่นใหม่
    Evaluate P'(t);
    //ประชากรรุ่นใหม่กลายเป็นประชากรรุ่นถัดไป
    P(t) := P'(t);
  End;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 พันธุศาสตร์ทางชีววิทยา กับ กระบวนการเชิงพันธุกรรม

เพื่อเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างทางพันธุศาสตร์ กับ กระบวนการเชิงพันธุกรรม สามารถกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้คือ ในทางพันธุศาสตร์แต่ละโครโมโซมประกอบด้วยหน่วยเก็บลักษณะ หรือยีน ซึ่งเก็บค่าแสดงลักษณะหรือแอลลี (Allele) และแต่ละแบบของชุดยีนเรียกว่ายีนไทป์ ซึ่งแสดงลักษณะภายนอกให้ปรากฏเรียกว่า ฟีนไทป์ ดังรูปที่ 3.4a

ฟีนไทป์			ค่าพารามิเตอร์					
		ยีน	อักขระ			ปัญหา		
ลักษณะเมล็ด	ผิว	สี	โครโมโซม	สตริง	บิต 1	บิต 2	x	x^2
ผิวเรียบสีเหลือง	R	Y	แอลลี	ค่าอักขระ	0	0	0	0
ผิวเรียบสีเขียว	R	g	ยีนไทป์	โครงสร้าง	0	1	1	1
ผิวขรุขระสีเหลือง	W	Y			1	0	2	4
ผิวขรุขระสีเขียว	W	g			1	1	3	9
(a) ลักษณะทางพันธุศาสตร์ของโครโมโซมควบคุมลักษณะของเมล็ดถั่ว ซึ่งมียีนลักษณะผิวของเมล็ดคือ มีลักษณะเรียบ (R) หรือ ขรุขระ (W) และยีนมีลักษณะสีของเมล็ดคือ มีสีเหลือง (Y) หรือสีเขียว (g)				(b) ลักษณะทางคณิตศาสตร์ของปัญหาในการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชัน $f(x) = x^2$ ซึ่ง x มีค่าอยู่ในช่วง $[0,3]$ โดยพารามิเตอร์จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปโบนารีสตริง				

รูปที่ 3.4 แสดงรายละเอียดทางพันธุศาสตร์ กับ กระบวนการเชิงพันธุกรรม

ถ้าสำหรับในกระบวนการเชิงพันธุกรรม ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ของปัญหาจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของสตริง ซึ่งมักจะเรียกกันว่าโครโมโซม ที่ประกอบด้วยอักขระ หรือบิต แต่ละตำแหน่งของโครโมโซมจะเก็บค่าอักขระ หรือค่าของบิต ที่แสดงถึงโครงสร้างของแต่ละโครโมโซมที่มีค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ของปัญหาแตกต่างกัน และเป็นตัวกำหนดค่าความเหมาะสมตามฟังก์ชันความเหมาะสมของแต่ละปัญหา ดังรูปที่ 3.4b ซึ่งสรุปความหมายเปรียบเทียบคำศัพท์ที่ใช้ทางพันธุศาสตร์กับกระบวนการเชิงพันธุกรรมไว้ดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

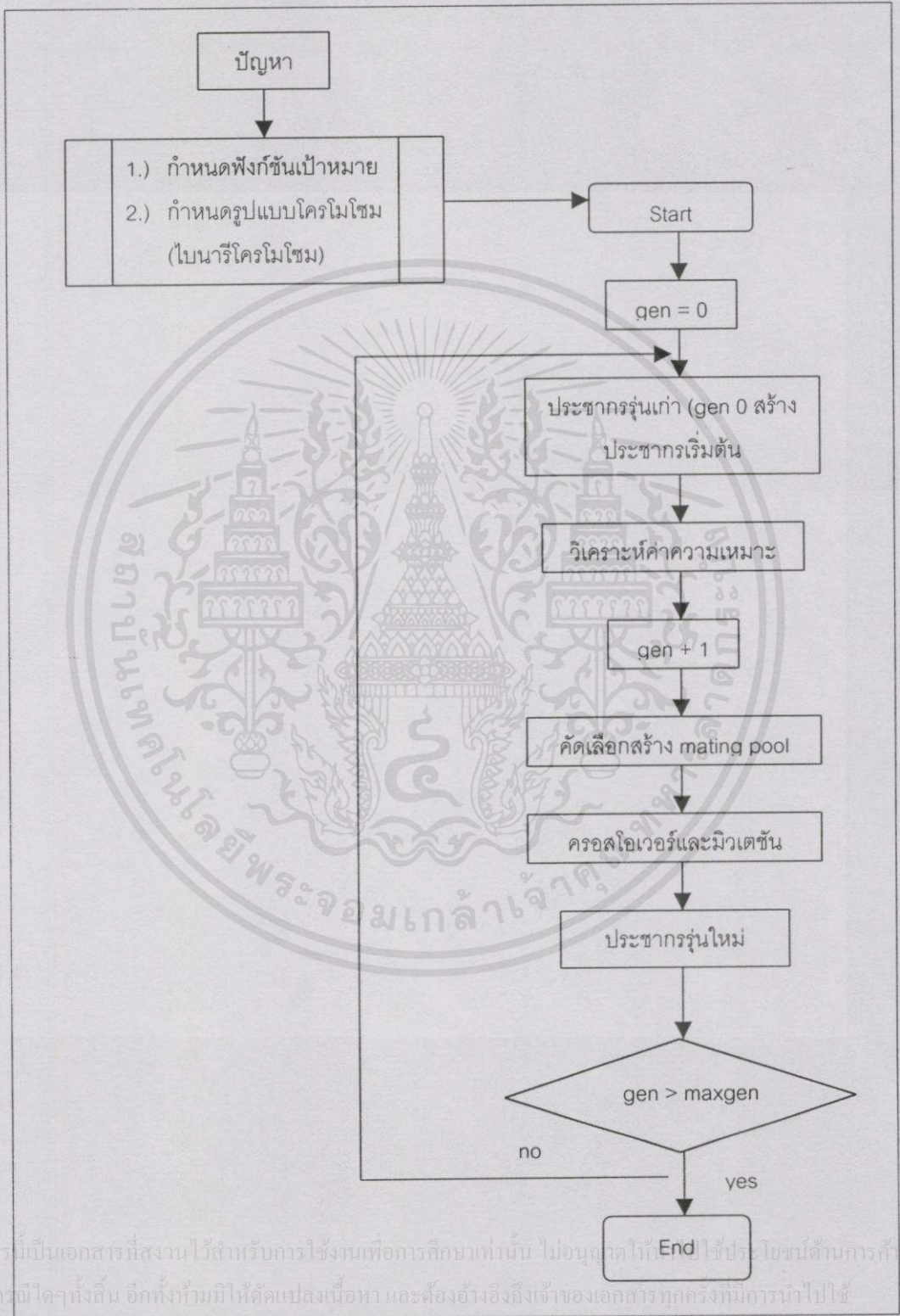
ตารางที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบคำศัพท์ทางพันธุศาสตร์ กับ กระบวนการเชิงพันธุกรรม

Natural Genetic	Genetic Algorithm
Chromosome	String
Gene	Character, Bit
Allele	Character value, Bit value
Locus	String position
Genotype	Structure
Phenotype	A decode structure



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 กระบวนการเชิงพันธุกรรมอย่างง่าย



รูปที่ 3.5 แสดงแผนภาพการทำงานของกระบวนการเชิงพันธุกรรมอย่างง่าย

GA ในยุคเริ่มแรกของ Holland นั้นคือกระบวนการเชิงพันธุกรรมอย่างง่าย (Simple Genetic Algorithm : SGA) [2] ซึ่งมีขั้นตอนพื้นฐานและกระบวนการไม่มากนักและง่ายในการศึกษาทำความเข้าใจในแต่ละขั้นตอนการทำงานของ GA เพื่อแก้ปัญหาในการหาคำตอบ ดังรูปที่ 3.5 แบ่งเป็นสองส่วนคือขั้นเตรียมการและขั้นตอนการทำงาน

สำหรับในส่วนของขั้นเตรียมการนั้นเป็นส่วนของการปรับรูปแบบของปัญหาให้เหมาะสมสำหรับการนำเสนอ GA เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆ ประกอบด้วย

3.6.1 กำหนดฟังก์ชันความเหมาะสม

เพื่อความสะดวกและง่ายต่อความเข้าใจในขั้นตอนการทำงานต่างๆ จะกำหนดตัวอย่างปัญหาสำหรับอธิบายรายละเอียดการหาคำตอบของ SGA คือการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชัน $y = x^2$ ที่ x มีค่าระหว่างจำนวนเต็ม $[0,31]$ ดังนี้

ฟังก์ชันเป้าหมาย คือ

$$f(x) = x^2$$

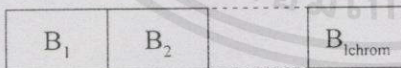
ฟังก์ชันความเหมาะสม คือ

$$F(x) = x^2$$

ซึ่งคำตอบที่ดีที่สุด คือ ค่า x ที่มีค่าความเหมาะสมสูงสุด (MAX(F))

3.6.2 กำหนดรูปแบบโครโมโซม

รูปแบบของโครโมโซม SGA นั้นเป็นไบนารี โดยค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ของปัญหาจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของไบนารีโครโมโซม ซึ่งประกอบด้วยบิตที่มีค่าเป็น 0 หรือ 1 ซึ่งเป็นค่าในเลขฐานสอง และมีความยาว (Chromosome Length : l_{chrom}) ตามแต่จะกำหนด ซึ่งแสดงด้วยสัญลักษณ์ได้ดังนี้



ซึ่ง $B_i \in I[0,1]$

ตัวอย่าง : วิธีการเข้ารหัสแบบไบนารีโดยแปลงค่าพารามิเตอร์ x ให้อยู่ในรูปไบนารีบิต 5 บิต ($l_{chrom} = 5$) ดังนั้นโครโมโซมของปัญหาจะมีค่าอยู่ในช่วง 00000 ถึง 11111 ซึ่งเมื่อถอดรหัสแล้วจะทำให้ x มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 31 ตามต้องการ

ในส่วนรายละเอียดขั้นตอนการทำงานของ SGA จะเป็นขั้นตอนพื้นฐานเบื้องต้นอย่างง่าย ซึ่งประกอบด้วยอีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2.1 ประชากรรุ่นเก่า (Old Population)

เป็นชุดโครโมโซมที่ถูกคัดเลือกไปเป็นต้นแบบสำหรับสร้างประชากรรุ่นใหม่ (New Population) ในวิวัฒนาการรุ่น (Generation : gen) ต่อไป โดยประชากรเริ่มต้นที่ $gen = 0$ จะถูกสร้าง ขึ้นโดยสุ่มตามจำนวนโครโมโซมในแต่ละรุ่น (Population Size : popsize) ที่กำหนด

ตารางที่ 3.2 แสดงการสมมติชุดโครโมโซมเริ่มต้น

ลำดับ	โครโมโซม
1	01110
2	11001
3	01000
4	10011

จากตัวอย่างในตารางที่ 3.2 ด้านบนเป็นการสมมติชุดโครโมโซมในรุ่นเริ่มต้นนี้เป็นชุดโครโมโซมที่กำหนดให้ในแต่ละรุ่นประกอบด้วย 4 โครโมโซม ซึ่งแต่ละโครโมโซมเกิดจากการสุ่มค่าไบนารี 0 หรือ 1 จำนวน 5 ครั้ง

3.6.2.2 วิเคราะห์ค่าความเหมาะสม

เป็นขั้นตอนของการถอดรหัสจากรูปแบบโครโมโซมที่กำหนดไว้ เพื่อคำนวณค่าความเหมาะสมตามฟังก์ชันเป้าหมายหรือฟังก์ชันความเหมาะสม คือ $F(x) = x^2$ ดังนั้นการวิเคราะห์ค่าความเหมาะสมของ SGA โดยการถอดรหัสเลขฐานสองของแต่ละโครโมโซมเป็นค่าของตัวแปร x และคำนวณค่าความเหมาะสมคือค่า x^2

ตารางที่ 3.3 แสดงตัวอย่างการถอดรหัสของแต่ละโครโมโซม

ลำดับ	โครโมโซม	x	ค่าความเหมาะสม
1	01110	14	196
2	11001	25	625
3	01000	8	64
4	10011	19	361

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนสำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างในตารางที่ 3.3 ด้านบนเป็นการแสดงการถอดรหัสจากโครโมโซมที่ได้แต่ละโครโมโซม แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าความเหมาะสมจากฟังก์ชันความเหมาะสม

3.6.2.3 การคัดเลือก (Selection)

เป็นขั้นตอนที่จำลองแบบการคัดเลือกทางธรรมชาติเพื่อสร้าง mating pool โดยคัดเลือกชุดโครโมโซมรุ่นเก่าให้เป็นโครโมโซมต้นแบบหรือโครโมโซมพ่อแม่ เพื่อใช้สร้างเป็นโครโมโซมลูกในรุ่นถัดไป สำหรับการคัดเลือกของ SGA เป็นแบบอ้างอิงค่าความเหมาะสม (Fitness-base Selection) โดยพิจารณาค่าความเหมาะสมเป็นตัวตัดสินว่า โครโมโซมรุ่นเก่ามีโอกาสถูกเลือกเป็นโครโมโซมพ่อแม่ของรุ่นถัดไปมากน้อยเพียงใด โดยโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีจะถูกกำหนดน้ำหนักค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกในแต่ละครั้งสูง การกำหนดค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกต่อการสุ่มแต่ละครั้ง (Probability of Selected Value : $pselect$) ของแต่ละโครโมโซม โดยกำหนดจากค่าความเหมาะสมเทียบกับผลรวมของค่าความเหมาะสมทั้งหมด ดังสมการที่ (3.1)

$$pselect_i = \frac{F_i}{\sum F_i} \quad (3.1)$$

ซึ่งสามารถคำนวณค่าที่คาดหวังว่าจะสุ่มได้ (Expected Value : E) ของแต่ละโครโมโซมในแต่ละรุ่นดังสมการที่ (3.2)

$$E_i = pselect_i * popsize = \frac{F_i}{F} \quad (3.2)$$

สำหรับวิธีการสุ่มโครโมโซมต้นแบบของ SGA เป็นแบบจำลองการหมุนวงล้อถ่วงน้ำหนัก (Roulette Wheel : RW) ซึ่งกำหนดขนาดของแต่ละช่องของวงล้อนั้นตามความน่าจะเป็นที่จะสุ่มได้ในแต่ละครั้งของแต่ละโครโมโซม ซึ่งมีวิธีการดังนี้

- 1.) หาค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม
- 2.) หาค่าความน่าจะเป็นที่จะสุ่มได้ในแต่ละครั้งของแต่ละโครโมโซม
- 3.) หาค่าความถี่สะสม (q) ของค่าความน่าจะเป็นของแต่ละโครโมโซมดังสมการที่ (3.3)

$$q_i = \sum_{j=1}^i pselect_j \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงและขอสงวนสิทธิ์ในเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.) สร้างเลขสุ่มจำนวนจริง (r) มีค่าอยู่ในช่วง $[0.0, 1.0]$
- 5.) เลือกโครโมโซมลำดับที่ r ซึ่ง r มีค่าอยู่ระหว่าง q_{i-1} และ q_i

ตารางที่ 3.4 แสดงตัวอย่างการกำหนดค่าความน่าจะเป็น

ลำดับ	โครโมโซม	x	ค่าความเหมาะสม (F)	ค่าความน่าจะเป็น (pselect _i)	จำนวนที่คาดหวัง (E _i)	จำนวนที่สุ่มได้จากRW
1	01110	14	196	0.157	0.628	1
2	11001	25	625	0.502	2.008	2
3	01000	8	64	0.051	0.204	0
4	10011	19	361	0.290	1.160	1
	รวม		1246	1.000	4.000	
	ค่าเฉลี่ย		312	0.250	1.000	
	ค่าสูงสุด		625	0.502	2.008	

จากตัวอย่างในตารางที่ 3.4 ด้านบนเป็นการกำหนดค่าความน่าจะเป็น โดยกำหนดจากค่าความเหมาะสม เทียบกับผลรวมของค่าความเหมาะสมทั้งหมด จะเห็นได้ว่าในการคัดเลือกโครโมโซมต้นแบบจาก 4 โครโมโซมนี้ มีโอกาสที่จะสุ่มได้โครโมโซมลำดับที่ 1 ต่อการสุ่มแต่ละครั้งเท่ากับ 0.157 และโอกาสที่จะสุ่มได้โครโมโซมลำดับที่ 2, 3 และ 4 เท่ากับ 0.502, 0.051 และ 0.290 ตามลำดับ และจำนวนโครโมโซมต้นแบบที่สุ่มได้จากการหมุนวงล้อเป็นดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แสดงตัวอย่างลำดับโครโมโซมที่ถูกเลือก

ลำดับโครโมโซม	1	2	3	4
ค่าความเหมาะสม (F)	196	625	64	361
ค่าความน่าจะเป็นที่สุ่มได้ในแต่ละครั้ง (pselect _i)	0.157	0.502	0.051	0.290
ความถี่สะสมค่าความน่าจะเป็น (q _i)	0.157	0.659	0.710	1.000
สร้างเลขสุ่มในการหมุนวงล้อแต่ละครั้ง (r)	0.333	0.844	0.456	0.128
ลำดับโครโมโซมที่ถูกเลือก (q _{i-1} ≤ r ≤ q _i)	2	4	2	1

ซึ่งจำนวนที่สุ่มได้เป็นโครโมโซมต้นแบบใน mating pool ของแต่ละโครโมโซมเป็น 1, 2, 0 และ 1 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าโครโมโซมลำดับที่ 2 มีค่าความเหมาะสมสูงที่สุดจึงได้รับโอกาสในการถูกเลือกสูงที่สุด ส่วนโครโมโซมลำดับที่ 3 มีค่าความน่าจะเป็นต่ำที่สุดก็ได้รับโอกาสในการถูกเลือกน้อยที่สุดเช่นกัน ซึ่งในที่นี้โครโมโซมลำดับที่ 3 ไม่ได้รับเลือกเลย

3.6.2.4 การดำเนินการทางพันธุศาสตร์

เป็นขั้นตอนที่จำลองแบบธรรมชาติทางพันธุกรรม ซึ่งตัวดำเนินการทางพันธุศาสตร์ของ SGA คือการครอสโอเวอร์และมิวเตชัน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1.) ครอสโอเวอร์ (Crossover)

เป็นตัวดำเนินการในการแลกเปลี่ยนค่าของแต่ละบิต ระหว่างโครโมโซมที่จับคู่กัน ตามการกำหนดอัตราความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์ (Probability of Crossover : P_c) โดยในการทดลองนี้เราแบ่งเป็น 2 แบบ แต่ละแบบมีขั้นตอนดังนี้

- 1.) สุ่มจับคู่โครโมโซมใน mating pool (ชุดโครโมโซมต้นแบบ) ที่ได้จากการคัดเลือก
- 2.) เลือกสร้างเลขสุ่มจำนวนจริง (r) มีค่าอยู่ในช่วง $[0.0, 1.0]$ โดยถ้า $r \leq P_c$ โครโมโซมคู่นั้นจะมีการครอสโอเวอร์กัน
- 3.) การครอสโอเวอร์เป็นการครอสโอเวอร์อย่างง่าย (Simple Genetic Algorithm : SGA) ซึ่งเป็นการครอสโอเวอร์แบบ 1 จุด (One-point Crossover) ตำแหน่งของการครอสโอเวอร์นั้นจะเกิดจากการสุ่ม แสดงดังรูปที่ 3.6
 - สุ่มเลือกตำแหน่ง pos เป็นตำแหน่งที่จะครอสโอเวอร์ ซึ่ง pos มีค่าอยู่ในช่วง $[1, lchrom-1]$
 - แลกเปลี่ยนค่าในแต่ละบิตของคู่โครโมโซมพ่อ-แม่ ตั้งแต่ตำแหน่งที่ $pos+1$ ถึง $lchrom$ ซึ่งจะทำให้เกิดโครโมโซมลูกใหม่ 2 โครโมโซม

โครโมโซมพ่อ-แม่	D_1	D_2	D_3		D_{pos}	D_{pos+1}		D_{lchrom}	
	M_1	M_2	M_3		M_{pos}	M_{pos+1}		M_{lchrom}	
โครโมโซมลูก	↓								
	D_1	D_2	D_3		M_{pos}	M_{pos+1}		M_{lchrom}	
	M_1	M_2	M_3		D_{pos}	D_{pos+1}		D_{lchrom}	
	(pos คือตำแหน่งที่สุ่มได้ ซึ่ง $pos \in [1, lchrom-1]$)								

รูปที่ 3.6 แสดงการครอสโอเวอร์แบบ 1 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น จำนวนการครอสโอเวอร์ในแต่ละรุ่นดำเนินการขึ้นอยู่กับการกำหนดค่า P_c ซึ่งแตกต่างกันในแต่ละปัญหา เช่น ถ้าจำนวนประชากรแต่ละรุ่น $popsize$ เท่ากับ 30 โครโมโซม และกำหนดให้ $P_c = 0.6$ แล้วจำนวนการครอสโอเวอร์ในแต่ละรุ่นเท่ากับ

$Pc*(popsize/2) = 0.6*(30/2) = 9$ ครั้ง (การครอสโอเวอร์ 1 ครั้ง เกิดจากโครโมโซม 2 โครโมโซม)

ตารางที่ 3.6 แสดงตัวอย่างการจับคู่โครโมโซมพ่อ-แม่ใน mating pool

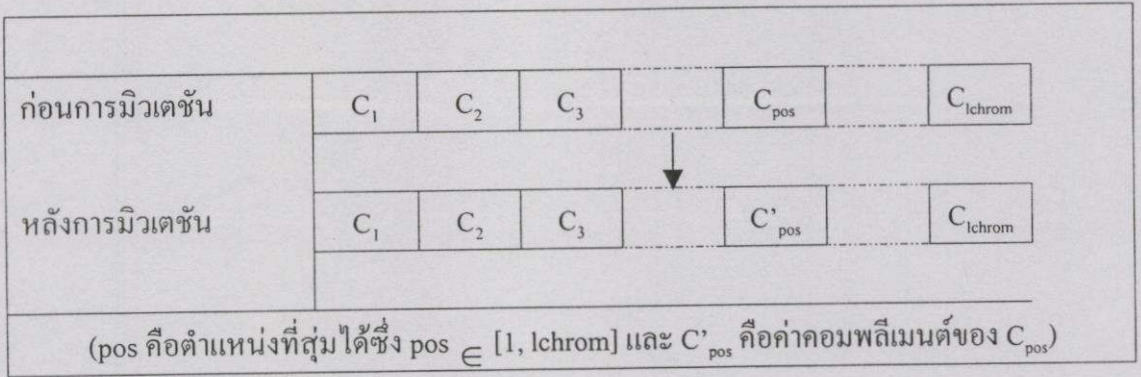
ลำดับที่คัดเลือก	Mating pool	คู่จับคู่พ่อ-แม่	เลขคู่ (r)	ก่อน crossover	คู่ตำแหน่ง (pos)	หลัง crossover	x	ค่าความเหมาะสม (F)	ลำดับโครโมโซมลูก	
2	11001	1, 2	0.321	01110	2	01001	9	81	1	
4	10011		≤ 0.5	11001	2	11110	30	900	2	
2	11001	2, 4	0.654	ไม่มีการ crossover		11001	25	625	3	
1	01110		> 0.5	crossover		10011	19	361	4	
รวมค่าเฉลี่ย								1967	492	
ค่าสูงสุด								900		

จากตารางข้างต้นการจับคู่โครโมโซมพ่อ-แม่ใน mating pool ได้โครโมโซมลำดับที่ 1 คู่ลำดับที่ 2 และลำดับที่ 2 คู่ลำดับที่ 4 แต่เฉพาะโครโมโซมคู่แรกเท่านั้นที่จะเกิดการครอสโอเวอร์เนื่องจากเลขคู่ $r \leq 0.5$ ตามอัตราการครอสโอเวอร์ที่กำหนด โดยตำแหน่งในการครอสโอเวอร์ที่คู่ได้คือ $pos = 2$ จะเห็นได้ว่าโครโมโซมลูกลำดับที่ 2 ที่เกิดขึ้นหลังจากการครอสโอเวอร์มีค่าความเหมาะสมที่ดีขึ้นกว่าโครโมโซมพ่อ-แม่ทั้งหมดในรุ่นก่อนเป็น 900 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการจำลองแบบกระบวนการการครอสโอเวอร์ตามธรรมชาติทางพันธุศาสตร์ของ SGA ซึ่งช่วยสร้างคำตอบที่ดีขึ้น

2.) มิวเตชัน (Mutation)

เป็นตัวดำเนินการผ่าเหล่าตัวหนึ่งที่สามารถช่วยปรับปรุงโครโมโซมให้มีค่าความเหมาะสมที่ดีขึ้นหลังการครอสโอเวอร์ โดยการกลับค่าบิตเป็นค่าใหม่ในตำแหน่งบิตที่สุ่มได้ ตามอัตราความน่าจะเป็นของการมิวเตชัน (Probability of Mutation : P_m) ในแต่ละบิตที่กำหนด สำหรับมิวเตชันของ SGA นั้นเป็นแบบไบนารีมิวเตชัน (Binary Mutation) โดยกลับค่าบิตเป็นค่าคอมพลิเมนต์คือจาก 0 เป็น 1 หรือจาก 1 เป็น 0 ดังรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงการไบนารีมิวเตชัน

จำนวนการมิวเตชันในแต่ละรุ่นขึ้นอยู่กับกำหนัดค่า P_m ซึ่งแต่ต่างกันไปในแต่ละปัญหา เช่น ถ้าจำนวน popsize ในแต่ละรุ่นเท่ากับ 30 แล้ว จำนวนการมิวเตชันในแต่ละรุ่นเท่ากับ $P_m * popsize * lchrom = 0.02 * 30 * 5 = 3$ บิต เป็นต้น

ตารางที่ 3.7 แสดงตัวอย่างการมิวเตชัน

ลำดับ	ก่อน mutation	เลขสุ่ม (r)					หลัง mutation	x	ค่าความเหมาะสม
1	01001	0.581	0.346	0.062	0.785	0.401	01101	13	169
2	11110	0.829	0.534	0.947	0.308	0.277	11110	30	900
3	11001	0.398	0.646	0.494	0.765	0.029	01000	24	576
4	10011	0.175	0.335	0.837	0.577	0.308	10011	19	361
	รวม								2006
	ค่าเฉลี่ย								502
	ค่าสูงสุด								900

จากการสุ่มตำแหน่งที่จะมิวเตชันโดยสร้างเลขสุ่ม r ของแต่ละตำแหน่งบิตในแต่ละโครโมโซมแล้ว ตำแหน่งบิตที่ 3 ของโครโมโซมลำดับที่ 1 และตำแหน่งบิตที่ 4 ของโครโมโซมลำดับที่ 3 เป็นตำแหน่งที่ $r \leq 0.1$ ตามอัตราที่กำหนดจึงเกิดการมิวเตชัน ทำให้โครโมโซมมีค่าความเหมาะสมจาก 81 และ 625 เป็น 169 และ 576 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามิวเตชันเป็นตัวดำเนินการที่อาจทำให้โครโมโซมมีค่าความเหมาะสมที่สูงขึ้นหรือลดลงได้ แต่อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยของค่าความเหมาะสมที่ดีขึ้นจาก 492 เป็น 502 แสดงให้เห็นว่าการหาคำตอบของ SGA โดยส่วนมากดีขึ้น และมีความสำคัญของการหาคำตอบของ GA นั้นเป็นความต้องการที่จะให้ได้คำตอบโดยพิจารณาจากคำตอบที่เหมาะสมที่เกิดขึ้น เพื่อเป็นโอกาสที่จะอยู่รอดเพื่อถ่ายทอดส่วนที่ดีในรุ่นต่อไป

3.6.2.5 ประชากรรุ่นใหม่

เป็นชุดโครโมโซมลูกที่เกิดจากขั้นตอนของการวิวัฒนาการต่างๆ ทั้งหมด ซึ่งประชากรรุ่นใหม่ทั้งหมดที่เกิดขึ้นได้รับการถ่ายทอดส่วนดีมาจากประชากรรุ่นเก่า และตัวมันเองก็จะกลายเป็นประชากรรุ่นเก่าเมื่อมีการถ่ายทอดส่วนดีให้กับประชากรรุ่นใหม่แล้ว ซึ่งเรียกวิวัฒนาการแบบนี้ว่าการถ่ายทอดแบบทั่วไป (General Reproduction) กระบวนการต่างๆ จะถูกทำซ้ำๆ จนกระทั่งถึงรุ่นที่มากที่สุด (max generation) ตามที่ต้องการ

3.7 การประยุกต์กระบวนการเชิงพันธุกรรม

3.7.1 รีโพรดักชันแบบรักษาค่าความเหมาะสมที่ดี

เนื่องจากการหาคำตอบของ SGA นั้นมีโอกาสที่จะสูญเสียโครโมโซมในรุ่นเก่าที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีไปได้ ซึ่งจะทำให้คำตอบในรุ่นถัดไปนั้นมีโอกาสที่จะได้ค่าที่แย่ลง ดังนั้นหากปรับปรุง SGA ให้ควบคุมการค้นหาคำตอบ โดยการรักษาโครโมโซมที่ดีไว้ ก็จะช่วยให้วิวัฒนาการในการค้นหาคำตอบในรุ่นถัดๆ ไปดีขึ้นเรื่อยๆ โดยมีวิธีการดังนี้ [11]

- กำหนดจำนวนโครโมโซมที่ดีที่สุดของรุ่นเก่าที่ต้องการรักษาเป็น 1, 2, 4, ...
- ถ้าจำนวนโครโมโซมที่กำหนดเป็น 1 ให้สร้างชุดโครโมโซมรุ่นใหม่ทั้งหมด แล้วจึงคัดลอก (copy) โครโมโซมที่ดีที่สุดของรุ่นเก่า มาแทนที่โครโมโซมรุ่นใหม่ที่มีค่าความเหมาะสมน้อยที่สุด
- ถ้าจำนวนโครโมโซมที่กำหนดเป็น 2, 4, ... ให้คัดลอกโครโมโซมที่ดีที่สุดในรุ่นเก่าตามจำนวนที่กำหนดมาเป็นโครโมโซมรุ่นใหม่ แล้วจึงสร้างโครโมโซมรุ่นใหม่ในส่วนที่เหลือต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.8 โดยรูปที่ 3.8a แสดงวิธีการรีโพรดักชันแบบรักษาค่าความเหมาะสมที่ดี 1 โครโมโซม ส่วนรูปที่ 3.8b แสดงวิธีการรีโพรดักชันแบบรักษาค่าความเหมาะสมที่ดี 2 โครโมโซม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.2 การครอสโอเวอร์แบบ 2 จุด

การแลกเปลี่ยนส่วนของโครโมโซมพ่อ-แม่ นั้น บางครั้งหากแลกเปลี่ยนค่าบิตเพียงบางช่วงของโครโมโซมแล้วจะสามารถสร้างโครโมโซมที่ดีกว่า เช่น การหาค่าสูงสุดของฟังก์ชัน $y = x^2$ ของคู่โครโมโซมพ่อ-แม่ 01110 และ 11001 ซึ่งมีค่าความเหมาะสมเป็น 196 และ 625 หากแลกเปลี่ยนค่าบิตที่ตำแหน่งที่ 3 และ 4 เท่านั้นก็จะทำให้เกิดโครโมโซมลูกเป็น 01000 และ 11111 มีค่าความเหมาะสมเป็น 64 และ 961 ซึ่งเป็นโครโมโซมที่ให้คำตอบค่าสูงสุดตามที่ต้องการ ดังนั้นการประยุกต์ SGA โดยพัฒนาตัวดำเนินการครอสโอเวอร์ให้เป็นแบบ 2 จุด (Two-point Crossover) จะทำให้ SGA หาคำตอบที่ดีขึ้นได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.9

- สุ่มเลือกตำแหน่ง pos1, pos2 คือตำแหน่งเริ่มต้นและตำแหน่งสุดท้ายที่จะครอสโอเวอร์ตามลำดับซึ่ง pos1 มีค่าอยู่ในช่วง $[1, lchrom-1]$ และ pos2 $[1, lchrom]$ โดยที่ pos1 มีค่าน้อยกว่า pos2
- แลกเปลี่ยนค่าในแต่ละบิตของคู่โครโมโซมพ่อ-แม่ตั้งแต่ตำแหน่งที่ pos1+1 ไปจนถึง pos2

โครโมโซมพ่อ-แม่	D_1	D_2	D_3	D_{pos1}	D_{pos1+1}	D_{pos2}	D_{pos2+1}	D_{lchrom}
	M_1	M_2	M_3	M_{pos1}	M_{pos1+1}	M_{pos2}	M_{pos2+1}	M_{lchrom}
โครโมโซมลูก	D_1	D_2	D_3	D_{pos1}	M_{pos1+1}	M_{pos2}	M_{pos2+1}	D_{lchrom}
	M_1	M_2	M_3	M_{pos1}	D_{pos1+1}	D_{pos2}	D_{pos2+1}	M_{lchrom}
	(pos1, pos2 คือตำแหน่งที่สุ่มได้ ซึ่ง pos1 และ pos2 $\in [1, lchrom]$ โดยที่ pos1 \neq pos2)							

รูปที่ 3.9 แสดงการครอสโอเวอร์แบบ 2 จุด

3.7.3 ใบนารีมิวเตชันแบบกำหนดค่าบิต

เนื่องจากการหาคำตอบของ SGA นั้น กระบวนการใบนารีมิวเตชันอาจทำให้โครโมโซมที่เปลี่ยนแปลงไปให้คำตอบที่ไม่ดีกว่าเดิมและทำให้สูญเสียโครโมโซมที่ดีไป เช่น โครโมโซม 11110 มีค่าความเหมาะสมเป็น 900 หากบิตตำแหน่งที่หนึ่งเกิดการมิวเตชัน โครโมโซมที่เกิดขึ้นจากการมิวเตชันคือ 01110 ทำให้มีค่าความเหมาะสมลดลงเป็น 196 แต่ในบางครั้งข้อดีหรือจุดเด่นของปัญหาอาจนำมาปรับให้เข้ากับการค้นหาคำตอบที่ดีขึ้นได้ สำหรับการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชัน $y = x^2$ ค่าบิตของโครโมโซมที่เป็น 1 จะทำให้ค่าความเหมาะสมสูงขึ้นเสมอ ดังนั้นหาปรับปรุงการใบนารีมิวเตชันให้เป็นแบบกำหนดค่าแน่นอนให้กับบิตที่เกิดการมิวเตชัน โดยกำหนดให้บิตที่เกิดการ

มิวเตชันมีค่าเป็น 1 เสมอจะช่วยปรับปรุงแนวทางการค้นหาคำตอบของ SGA ให้ดีขึ้นได้ เช่น หากประยุกต์การไขว้พันธุกรรมที่กำหนดค่าบิดให้เป็น 1 เสมอกับโครโมโซม 11110 ถ้าในตำแหน่งที่หนึ่งเกิดการมิวเตชัน โครโมโซมใหม่ที่เกิดขึ้นก็ยังสามารถรักษาความเหมาะสมเดิมไว้ได้แทนที่จะมีค่าลดลง

3.7.2 การอินเวอร์ชัน (Inversion)

เป็นตัวดำเนินการที่ประยุกต์เพิ่มเติมขึ้นใน SGA โดยจำลองแบบลักษณะของการอินเวอร์ชันในทางพันธุศาสตร์ที่เป็นลักษณะของการกลับหัวกลับหางส่วนของอินภายในโครโมโซม ที่อาจช่วยให้เกิดโครโมโซมที่ดีขึ้นได้ โดยการกลับส่วนค่าบิดภายในช่วงตำแหน่งของโครโมโซมที่สุ่มได้ตามอัตราค่าความน่าจะเป็นของการอินเวอร์ชันแต่ละโครโมโซม (Probability of Inversion : P_i) ที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ 3.10 [11]

- สุ่มเลือกตำแหน่ง $pos1$, $pos2$ คือตำแหน่งเริ่มต้นและตำแหน่งสุดท้ายที่จะทำการอินเวอร์ชันตามลำดับ ซึ่ง $pos1$, $pos2$ มีค่าอยู่ในช่วง $[1, lchrom]$ โดยที่ $pos1$ มีค่าน้อยกว่า $pos2$
- กลับค่าบิดในช่วงของตำแหน่งที่ $pos1$ และ $pos2$ ของโครโมโซม โดยสลับค่าบิด $pos1$ กับ $pos2$, $pos1+1$ กับ $pos2-1$, $pos1+2$ กับ $pos2-2$, ...

ก่อนการอินเวอร์ชัน	C_1	C_2	C_3	C_{pos1}	C_{pos+1}	C_{pos2-1}	C_{pos2}	C_{lchrom}
หลังการอินเวอร์ชัน	C_1	C_2	C_3	C_{pos2}	C_{pos2-1}	C_{pos+1}	C_{pos1}	C_{lchrom}
($pos1, pos2$ คือตำแหน่งที่สุ่มได้ซึ่ง $pos1$ และ $pos2 \in [1, lchrom]$ และ $pos1 \neq pos2$)								

รูปที่ 3.10 แสดงการอินเวอร์ชัน

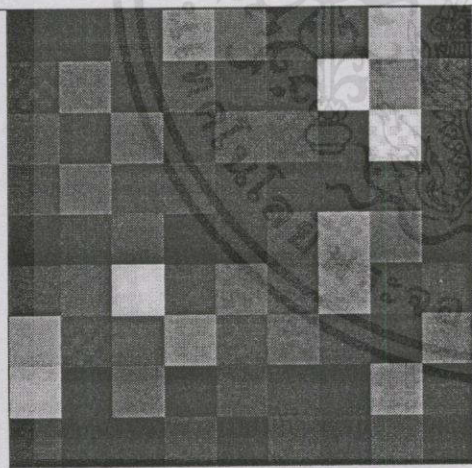
เช่น สุ่มโครโมโซมที่จะอินเวอร์ชันคือ 01010 มีค่าความเหมาะสมเป็น 100 โดยตำแหน่ง $pos1 = 1$ และ $pos2 = 4$ แล้ว จะเห็นว่าการอินเวอร์ชันทำให้เกิดโครโมโซม 10100 ซึ่งมีค่าความเหมาะสมดีขึ้นเป็น 400 เป็นต้น สำหรับจำนวนการอินเวอร์ชันในแต่ละรุ่นขึ้นอยู่กับข้อกำหนดค่า P_i ซึ่งแตกต่างกันในแต่ละปัญหา เช่น ถ้าจำนวนประชากรแต่ละรุ่นมี $popsize = 30$ โครโมโซม และกำหนดให้ $P_i = 0.1$ แล้ว จำนวนการอินเวอร์ชันในแต่ละรุ่นเท่ากับ $P_i * popsize = 0.1 * 30 = 3$ ครั้ง

3.8 กระบวนการเชิงพันธุกรรมกับการปรับปรุงภาพ

จากหัวข้อที่ 3.1 ถึง 3.7 ที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเป็นการอธิบายให้เข้าใจถึงรูปแบบและกระบวนการเชิงพันธุกรรม โดยมีการยกตัวอย่างปัญหาที่ไม่ซับซ้อนคือ การหาค่าสูงสุดของฟังก์ชัน $f(x) = x^2$ โดยที่ x มีค่าอยู่ในช่วงปิด $[0,31]$ แต่สำหรับปัญหาอื่นๆ ที่แตกต่างออกไป ก็ย่อมมีกระบวนการและวิธีการที่แตกต่างกันออกไปตามลักษณะของปัญหา ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์กระบวนการเชิงพันธุกรรมเข้ามาใช้ในการปรับปรุงภาพ (Image restoration) โดยมีการแทนขนาดและรูปแบบ PSF-support ด้วยโครโมโซมแบบ 2 มิติ และค่าความเข้มของภาพแต่ละ pixel ด้วยเลขจำนวนเต็มที่มีค่าอยู่ในช่วงปิด $[0,255]$ ซึ่งแสดงได้ดังนี้

3.8.1 การเข้ารหัสของภาพ (Image coding)

การจะนำภาพต้นแบบและภาพเบลอที่มีอยู่ขึ้นมาใช้ในการคำนวณหา PSF-support จำเป็นจะต้องมีการแทนภาพเหล่านั้นให้เป็นตัวเลขเสียก่อน โดยให้อาเรย์ 2 มิติ (Two dimensional array) แทนภาพต้นแบบ $fo(x,y)$ และภาพเบลอ $fd(x,y)$ ซึ่งขนาดของอาเรย์นั้นจะมีขนาดเท่ากับขนาดของภาพ และค่าที่เก็บในอาเรย์นั้นจะเป็นค่าความเข้มของสี (gray level) ซึ่งเป็นจำนวนเต็มตั้งแต่ 0-255 ของแต่ละ pixel ที่สมนัยกับตำแหน่งแต่ละตำแหน่งในอาเรย์

	20	30	80	180	130	45	90	230	8
	63	135	46	96	34	0	255	176	100
	85	48	131	43	98	84	35	243	46
	68	132	69	79	43	29	1	68	21
	13	57	94	10	50	100	200	140	30
	74	98	235	75	137	83	179	43	79
	198	61	96	167	83	128	65	15	156
	213	16	123	18	67	41	32	168	65
	68	0	13	68	21	65	46	98	41
	(a)	(b)							

รูปที่ 3.11 แสดงการเปลี่ยนความเข้มของภาพให้กลายเป็นอาเรย์ 2 มิติ โดยที่

(a) ภาพต้นแบบที่จำลองขึ้น

(b) อาเรย์ที่แทนค่าความเข้มออกมาเป็นตัวเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานวิจัยที่เอกสารชิ้นนี้นั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.11a เป็นภาพต้นแบบที่จำลองขึ้นให้มีความเข้มในระดับเทา (Gray level) แตกต่างกันจากรูป โดยระดับเทานั้นจะมีทั้งหมด 256 ระดับ หรือ 256 สีนั่นเอง ซึ่งเลข 0 จะแทนด้วยสีดำ และเลข 255 จะแทนด้วยสีขาว ส่วนเลขที่อยู่ระหว่าง 0-255 จะแทนด้วยสีที่ไล่เฉด (Shading) จากดำไปขาวตามลำดับ ส่วนรูปที่ 3.11b เป็นรูปที่เปลี่ยนความเข้มของภาพออกมาเป็นตัวเลขจำนวนเต็มเพื่อที่จะใช้ในการคำนวณ

3.8.2 การเข้ารหัส PSF-support (PSF-support coding)

การนำ GA เข้ามาประยุกต์ใช้สำหรับการหาขนาดและรูปแบบ PSF-support ที่เหมาะสม เพราะเรารู้ว่า PSF-support มีรูปแบบเป็นอิสระไม่แน่นอน ดังนั้นสิ่งสำคัญก็คือเราจะนำ GA เข้าไปสู่การหาขนาดและรูปแบบของ PSF-support ได้อย่างไร ใน GA โครโมโซมเป็นสิ่งซึ่งแทนรูปแบบของปัญหาต่างๆ ดังนั้นเพื่อให้ได้ PSF-support ที่มีรูปแบบแตกต่างกันไป เราจึงแทน PSF-support ด้วยโครโมโซมที่เป็น two dimensional array โดยแต่ละ allele จะมีค่าเป็น 0 หรือ 1 ซึ่ง allele ที่มีค่าเป็น 0 หมายถึง ตำแหน่งนั้นไม่จำเป็นสำหรับ PSF-support และในทางตรงกันข้าม ถ้า allele มีค่าเป็น 1 หมายถึงตำแหน่งนั้นมีความจำเป็นสำหรับ PSF-support ดังรูปที่ 3.12

0	1	1	0
1	0	0	1
0	0	1	0
1	0	1	1

รูปที่ 3.12 แสดง PSF-support ที่แทนด้วยโครโมโซมที่เป็น two dimensional array

3.8.3 ฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness measure)

จาก Image coding และ PSF-support coding เมื่อมีภาพต้นแบบ $fo(x,y)$ และภาพเบลอ $fd(x,y)$ แล้ว สามารถหา PSF-support จากกระบวนการ GA-CGM และเพื่อเป็นการตรวจสอบว่า PSF-support ที่ได้ั้นเหมาะสมหรือไม่ โดยใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์คือ method of least square [14] เป็น fitness function [2][3] ซึ่งมีรูปแบบคือ

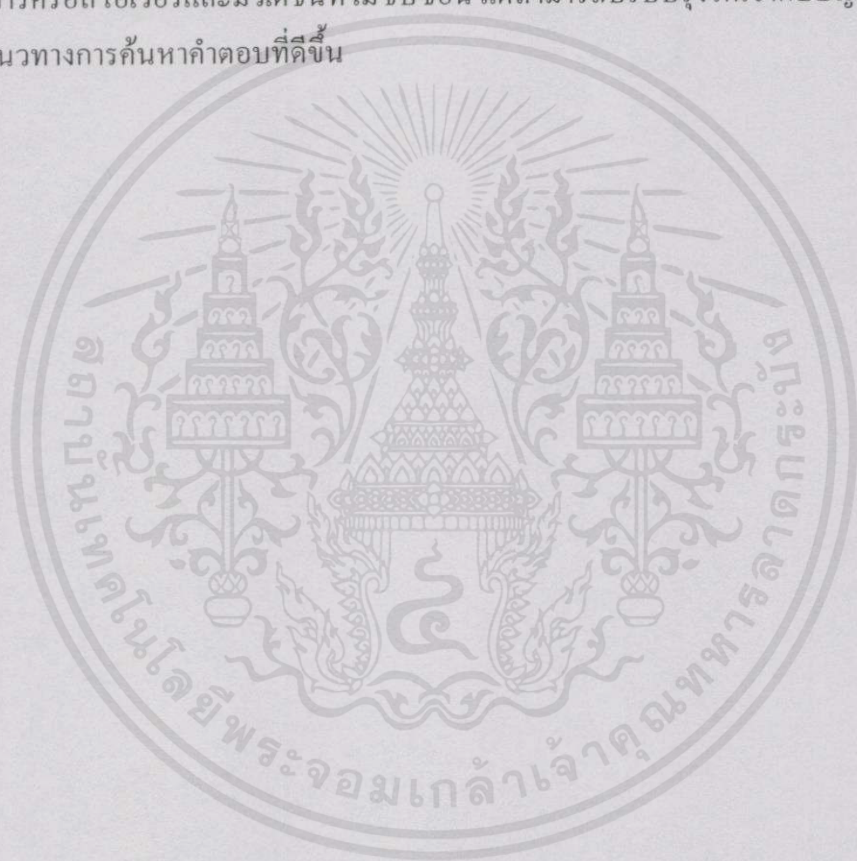
$$E = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N (fd_{ij} - (fo_{ij} * PSF_{ij}))^2 \text{ นำไปใช้ประโยชน์ด้าน (3.4)}$$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า PSF-support ที่ทำให้ fitness function มีค่าเข้าใกล้ 0 มากที่สุดก็จะเป็น PSF-support ที่เหมาะสมที่สุด

3.9 สรุป

GA เป็นทฤษฎีที่เลียนแบบกระบวนการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ ที่นำมาประยุกต์ใช้กับคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยแก้ปัญหาในการหาคำตอบต่างๆ ซึ่งมีพื้นฐานการทำงานเบื้องต้นเป็นกระบวนการเชิงพันธุกรรมอย่างง่าย โดยมีรูปแบบโครโมโซมเป็นไบนารี และตัวดำเนินการทางพันธุกรรมศาสตร์คือการครอสโอเวอร์และมิวเตชันที่ไม่ซับซ้อน แต่สามารถปรับปรุงให้เข้ากับปัญหา เพื่อช่วยให้ GA มีแนวทางการค้นหาคำตอบที่ดีขึ้น

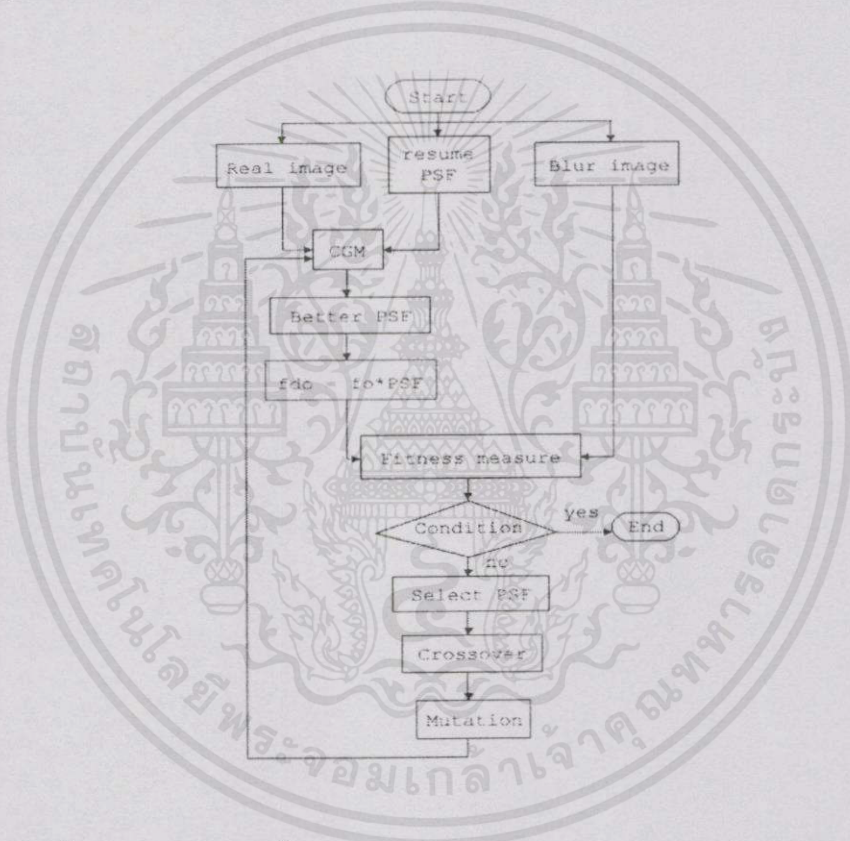


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การประมาณค่า PSF ด้วยกระบวนการ GA-CGM

ในบทที่ 2 และบทที่ 3 เราได้ทำการศึกษาพื้นฐานของกระบวนการเกรเดียนต์สังยุค (Conjugate Gradient Method : CGM) และกระบวนการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) กันมาพอสมควรแล้ว สำหรับในบทนี้จะทำการศึกษาถึงการนำ GA และ CGM มาประยุกต์ใช้กับการปรับปรุงภาพ (Image restoration) โดยแสดงเป็นแผนภาพดังนี้



รูปที่ 4.1 แสดงขั้นตอนการทำงานทั้งหมดของโปรแกรม

รูปที่ 4.1 แสดงถึงแผนภาพขั้นตอนการทำงานเพื่อใช้ในการคำนวณหาขนาดและรูปแบบของ PSF-support ที่เหมาะสม

เมื่อเริ่มโปรแกรมจะมีการนำข้อมูลเข้า (Input) ที่เป็นภาพจริงและภาพเบลอลงเข้าสู่โปรแกรม โดยเก็บข้อมูลที่เป็นความเข้มของภาพทั้งสองไว้ในอาร์เรย์ 2 มิติที่มีขนาดเท่ากับขนาดของภาพ ในขณะเดียวกันก็จะมีการกำหนดชุดของโครโมโซมเริ่มต้น (First generation of chromosome) โดยการสุ่ม เพื่อเป็นโครโมโซมพ่อแม่ที่จะใช้ในการคัดเลือกเข้าสู่รุ่นต่อไป ซึ่งโครโมโซมที่กำหนดขึ้นมานั้นจะเป็นตัวแทนของ PSF-support ที่มีขนาดตามที่เรากำลังต้องการและมีรูปแบบแตกต่าง

กันไปอันเกิดจากการสุ่ม เช่นถ้าเรากำหนดให้ PSF-support มีขนาด 4×4 รูปแบบที่เกิดจากการสุ่ม อาจมีลักษณะดังรูปที่ 4.2

0	1	1	0
1	0	0	1
0	0	1	0
1	0	1	1

รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่าง PSF-support ขนาด 4×4 รุ่นแรกที่เกิดจากการสุ่ม

หลังจากที่ได้ชุดโครโมโซมเริ่มต้นมาแล้ว จะทำการกำหนดค่าเริ่มต้นโดยการสุ่มให้กับชุดโครโมโซมนั้นอีกทีหนึ่ง ซึ่งค่าเริ่มต้นที่ทำการสุ่มให้ นั้นจะเป็นจำนวนจริงที่มีค่าอยู่ในช่วงเปิด $(0,1)$ โดยตำแหน่งที่จะมีการกำหนดค่าเริ่มต้นคือตำแหน่งที่มีค่าเป็น 1 ในโครโมโซมเท่านั้น เพราะเราถือว่าตำแหน่งเหล่านั้นเป็นตำแหน่งที่จำเป็นสำหรับ PSF-support ส่วนตำแหน่งที่มีค่าเป็น 0 ก็จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง เพราะเราถือตำแหน่งนั้นไม่มีความจำเป็นสำหรับ PSF-support

4.1 การประยุกต์กระบวนการเกรเดียนต์สังยุคสำหรับงานวิจัย

เมื่อเราได้ชุดของ PSF-support ที่มีการกำหนดค่าเริ่มต้นแล้ว เราจะนำ PSF-support ไปผ่านกระบวนการ CGM เพื่อทำการหาว่า จากรูปแบบที่มีการกำหนดดังกล่าว ค่า θ ตำแหน่งที่จำเป็นสำหรับ PSF-support ควรจะมีค่าเป็นเท่าใดจึงจะทำให้ fitness function ดังสมการที่ (4.1) มีค่าต่ำสุด

$$E = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{K-1} (fd_{ij} - (fo_{ij} * PSF_{ij}))^2 \quad (4.1)$$

เพราะถ้าได้ E ที่มีค่าต่ำสุด นั้นหมายความว่า เราจะได้ PSF-support ที่เป็นตัวแทนความผิดพลาดที่ทำให้ภาพเกิดความผิดเพี้ยนไป ตัวอย่างเช่น

ถ้าโครโมโซมที่กำหนดมีรูปแบบดังรูปที่ 4.2 PSF-support ที่เหมาะสมหลังจากผ่านกระบวนการ CGM อาจมีลักษณะดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0	1	1	0
1	0	0	1
0	0	1	0
1	0	1	1

→

0.000	0.125	0.567	0.000
0.569	0.000	0.000	0.498
0.000	0.000	0.965	0.000
0.741	0.000	0.284	0.785

(a)
(b)

รูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างของการเปลี่ยนแปลงค่า ณ ตำแหน่งที่จำเป็นสำหรับ PSF-support โดยเริ่มที่

- (a) การกำหนดรูปแบบ
(b) การสุ่มค่าเริ่มต้น

4.1.1 Input ที่จำเป็นสำหรับกระบวนการเกรเดียนต์สังยุค

1.) หลังจากที่มีการกำหนดค่าเริ่มต้นของ PSF-support ก็จะมีการกำหนดให้ค่าใน PSF-support เหล่านั้นเป็นจุดเริ่มต้นสำหรับกระบวนการ CGM ซึ่งภายหลังเสร็จสิ้นกระบวนการผลลัพธ์ที่ได้มาก็คือค่าซึ่งทำให้ PSF-support นั้นเป็น PSF-support ที่เหมาะสมตามรูปแบบที่กำหนด ดังแสดงรูปที่ 4.4 แต่การจะบอกว่า PSF-support ใดเป็นผลลัพธ์สุดท้ายของกระบวนการนั้นจะต้องทำการเปรียบเทียบกับ PSF-support อื่นเพื่อดูว่า PSF-support ใดให้ fitness function ในสมการ (4.1) ต่ำที่สุด โดย PSF-support ที่ให้ค่า fitness function ต่ำที่สุดก็จะเป็น PSF-support ที่เหมาะสมที่สุด

0.000	0.125	0.567	0.000
0.569	0.000	0.000	0.498
0.000	0.000	0.965	0.000
0.741	0.000	0.284	0.785

→

0.000	0.111	0.222	0.000
0.333	0.000	0.000	0.444
0.000	0.000	0.555	0.000
0.666	0.000	0.777	0.888

(a)
(b)

รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างของ PSF-support ที่

- (a) PSF-support ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้นซึ่งเป็นของมูลเข้าสำหรับกระบวนการ CGM
(b) PSF-support ภายหลังการผ่านกระบวนการ CGM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่จำกัด 2.) ข้อมูลที่จำเป็นอีกอย่างหนึ่งสำหรับกระบวนการ CGM คือ อนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง (First derivative) ของ fitness function เพื่อใช้สำหรับการเข้าสู่จุดต่ำสุดของกระบวนการ CGM ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (4.2) (วิธีการพิสูจน์แสดงในภาคผนวก ก.)

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial PSF_{ij}} &= 2 \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N (fd_{ij}) \left(\frac{\partial fd_{ij}}{\partial u_{ij}} \right) \left(\frac{\partial u_{ij}}{\partial PSF_{ij}} \right) \\ &+ 2 \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N (fdo_{ij}) \left(\frac{\partial fdo_{ij}}{\partial u_{ij}} \right) \left(\frac{\partial u_{ij}}{\partial PSF_{ij}} \right) = 0 \end{aligned} \quad (4.2)$$

โดยจะมีการกระทำเรื่อยไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของ PSF-support หรือก็คือโครโมโซมตัวใหม่นั่นเอง

ต่อมานำ PSF-support ที่ผ่านกระบวนการ CGM ซึ่งเราถือว่าเป็น PSF-support ที่ได้รับการปรับปรุง (Better PSF-support) ให้เหมาะสมตามรูปแบบที่ถูกกำหนดมาทำการประสาน (Convolution) กับภาพจริง $fo(x,y)$ ซึ่งจะได้เป็น $fdo(x,y)$ แล้วทำการเปรียบเทียบกับภาพเบลอ $fd(x,y)$ ตามสมการที่ (4.1) ซึ่งก็เป็นในส่วนของ fitness measurement นั้นเอง

หลังจากนั้นผลลัพธ์ได้จากส่วนของ fitness measurement นั้นจะถูกเก็บไว้เพื่อประโยชน์สำหรับการคัดเลือกโครโมโซมเข้าสู่รุ่นต่อไปอีกทีหนึ่งในกระบวนการเชิงพันธุกรรม

4.2 การประยุกต์กระบวนการเชิงพันธุกรรมสำหรับงานวิจัย

Genetic algorithm คือ optimization algorithm ที่นำมาประยุกต์ใช้สำหรับการหาขนาดและรูปแบบของ PSF-support ที่เหมาะสม โดยที่ chromosomes เริ่มต้นนั้นได้จากการสุ่ม ซึ่งแต่ละโครโมโซมก็จะแทนแต่ละ PSF-support เพราะเราคิดว่า chromosomes เหล่านั้นจะให้ PSF-support ที่ดีได้

4.2.1 การคัดเลือกโครโมโซม (Chromosome selection)

การคัดเลือกโครโมโซมแต่ละรุ่นนั้น โครโมโซมที่ให้ค่าต่ำที่สุดย่อมจะมีโอกาสถูกเลือกให้เป็นโครโมโซมพ่อแม่ของรุ่นต่อไปมากกว่าโครโมโซมอื่นในรุ่นเดียวกันที่ให้ค่าสูงกว่า ส่วนโครโมโซมที่ให้ค่าสูงสุดก็จะมีโอกาสถูกเลือกน้อยที่สุด โดยใช้กระบวนการในการเลือกดังตัวอย่างต่อไปนี้

สมมติโครโมโซมในแต่ละรุ่นมี 4 โครโมโซม โดยโครโมโซมทั้งสี่เมื่อถอดรหัสแล้วมีค่าเป็น 1, 2, 3, 4 ตามลำดับ

1.) นำค่าของโครโมโซมที่ให้ค่าสูงสุดเป็นตัวตั้งในที่นี้มีค่าเป็น 4 แล้วลบด้วยค่าของโครโมโซมอื่นๆ โดยค่าที่ได้ออกมาเป็นเพียงค่าที่จำลองขึ้นสำหรับการคัดเลือกโครโมโซมไปสู่รุ่นถัดไปเท่านั้น ส่วนค่าที่แท้จริงที่เกิดจากการถอดรหัสก็ยังคงเป็น

ค่าประจำของแต่ละโครโมโซมเหมือนเดิม ดังนั้นค่าจำลองของโครโมโซมที่ 1 ถึง 4 จะมีค่าเป็น $4 - 1 = 3, 4 - 2 = 2, 4 - 3 = 1, 4 - 4 = 0$ ตามลำดับ

- 2.) ทำการถ่วงน้ำหนักค่าจำลองของโครโมโซมแต่ละค่าด้วยผลรวมของค่าจำลองทั้งหมด ซึ่งในที่นี้มีค่าเป็น $0 + 1 + 2 + 3 = 6$ ก็จะได้เป็นอัตราการถูกเลือกของโครโมโซมแต่ละตัว ซึ่งโครโมโซมที่ 1 ถึง 4 ก็จะมีอัตราการถูกเลือกเป็นโครโมโซมพ่อแม่ ในรุ่นต่อไปเท่ากับ $\frac{3}{6} = 0.50, \frac{2}{6} = 0.33, \frac{1}{6} = 0.17, \frac{0}{6} = 0.00$ ตามลำดับ

4.2.2 ตัวดำเนินการเชิงพันธุกรรม (Genetic Operators)

เป็นขั้นตอนของการครอสโอเวอร์ (Crossover) และการมิวเตชัน (Mutation) มาใช้ในการคัดเลือกขนาดและรูปแบบที่เหมาะสม โดยจะมีการแบ่งการครอสโอเวอร์ออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบ (Structured crossover) กับการครอสโอเวอร์ที่ไม่มีรูปแบบ (Unstructured crossover) เพื่อเป็นการเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพและความเหมาะสมว่าการครอสโอเวอร์แบบใดจะเหมาะสมภาพที่คิดเขียนแบบใด

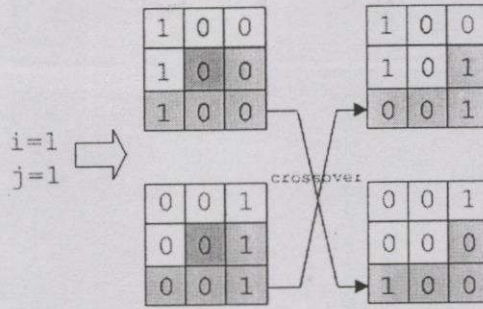
4.2.2.1 การครอสโอเวอร์ที่ไม่มีรูปแบบ (Unstructured crossover)

เป็นการครอสโอเวอร์ที่จำลองรูปแบบมาจากกระบวนการเชิงพันธุกรรมอย่างง่าย (Simple Genetic Algorithm : SGA) เพียงแค่ปรับเปลี่ยนแบบมาให้เป็นในลักษณะ 2 มิติเท่านั้น โดยการแลกเปลี่ยนค่าของแต่ละ bit ระหว่างโครโมโซมที่จับคู่กันนั้น จะนำไปตามกระบวนการทางสถิติและความน่าจะเป็นทั้งหมด ซึ่งมีสมมุติฐานว่าทุกๆ ตำแหน่งมีโอกาสที่จะเป็นตำแหน่งที่จำเป็นสำหรับ PSF-support และจะมีการครอสโอเวอร์หรือไม่ก็ขึ้นอยู่กับกำหนดอัตราความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์ (probability of Crossover : P_c)[2][3] โดยมีขั้นตอนดังนี้

กำหนดให้โครโมโซมมีขนาด $n \times n$

- 1.) สุ่มจับคู่โครโมโซมใน mating pool (ชุดโครโมโซมต้นแบบ) ที่ได้จากการคัดเลือก
- 2.) สร้างเลขสุ่มจำนวนจริง (r) มีค่าอยู่ในช่วง $[0.0, 1.0]$ โดยถ้า $r \leq P_c$ โครโมโซมคู่นั้นจะมีการครอสโอเวอร์กัน
- 3.) การครอสโอเวอร์เป็นการครอสโอเวอร์อย่างง่าย (simple genetic algorithm : SGA)[2]

[3] ซึ่งเป็นการครอสโอเวอร์แบบ 1 จุด ตำแหน่งของการครอสโอเวอร์นั้นจะเกิดจากการสุ่ม โดยจะสุ่ม i และ j ซึ่งอยู่ในช่วง $[1, n]$ แล้วทำการแลกเปลี่ยน bit ของคู่โครโมโซมที่ตำแหน่ง $(i, j+1)$ ไปจนถึงตำแหน่งสุดท้ายคือ (n, n) ดังแสดงในรูปที่ 4.5

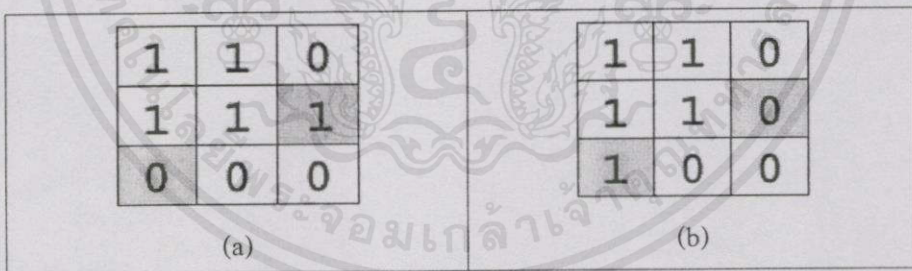


รูปที่ 4.5 แสดงการครอสโอเวอร์แบบ 1 bit

จากรูปที่ 4.5 สมมุติตำแหน่ง i และ j ที่สุ่มได้เป็นตำแหน่งที่ $i=1, j=1$ ดังนั้นตำแหน่งของการครอสโอเวอร์จะเริ่มตั้งแต่ตำแหน่ง (i, j) ที่ $(1, 2)$ ไปจนถึงตำแหน่งสุดท้ายของ PSF-support คือตำแหน่ง (i, j) ที่ $(2, 2)$ นั่นเอง

4.2.2.2 การผ่าเหล่าที่ไม่มีรูปแบบ (Unstructured mutation)

Mutation คือการกลับค่า bit ใหม่ในตำแหน่งที่สุ่มได้หลังจากที่มีการ crossover แล้ว ตามอัตราความน่าจะเป็นของการมิวเตชัน (probability of mutation : P_m)[2][3] ในแต่ละ bit ที่กำหนด โดยการกลับค่า bit นั้นจะกลับค่าจาก 0 เป็น 1 หรือจาก 1 เป็น 0 ดังรูปที่ 4.6




รูปที่ 4.6 แสดงการ mutation จากตำแหน่งที่สุ่มได้ของการมิวเตชันที่ไม่มีรูปแบบ โดยที่

(a) แทน PSF-support ก่อนการ mutation ส่วน

(b) แทน PSF-support หลังการ mutation

4.2.2.3 การครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบ (structured crossover)


เป็นการประยุกต์การครอสโอเวอร์เพื่อช่วยในการแก้ปัญหาการเบลอเนื่องจากการสั่นของกล้อง ด้วยสมมุติฐานที่ว่า ทิศทางการเคลื่อนที่ๆ เป็นไปได้ของกล้องในระนาบ 2 มิติ นั้นเป็นไปได้ทั้งหมด 8 ทิศทาง ซึ่งการครอสโอเวอร์แต่ละครั้งก็คือทิศทางการเคลื่อนที่ๆ เปลี่ยนไปของกล้อง

(0)	(1)	(2)
(3)		(4)
(5)	(6)	(7)

รูปที่ 4.7 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ทั้งหมดที่เป็นไปได้ของการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบ

ดังนั้นโครโมโซมที่ใช้ในกระบวนการนี้ จะแตกต่างไปจากการครอสโอเวอร์แบบธรรมดา คือจะใช้เป็นโครโมโซมแบบ 1 มิติแทน โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1.) เนื่องจากไม่อาจรู้ได้ว่า PSF-support ที่เหมาะสมนั้นจะมีตำแหน่งที่จำเป็นอยู่ที่ตำแหน่ง จึงมีการสุ่มจำนวนตำแหน่งที่เหมาะสมขึ้นให้ประจำแต่ละโครโมโซม ซึ่งขนาดของโครโมโซมจะเท่ากับขนาดของ PSF-support เช่นถ้า PSF-support มีขนาด 3×3 แต่ละโครโมโซมก็จะมีขนาด 9 bits หลังจากนั้นจะทำการสุ่มค่าจำนวนเต็มตั้งแต่ 0-7 ลงในแต่ละ bit โดยเริ่มต้นที่ bit แรกของโครโมโซมส่วน bits ที่เหลือนั้นจะให้มามีค่าเป็นเลข 8 เช่น สมมุติว่าในที่นี้มี 2 โครโมโซม แล้วจำนวนตำแหน่งที่เหมาะสมของแต่ละโครโมโซมเป็น 4 และ 6 ตามลำดับ ดังนั้นจากตัวอย่างข้างต้น ตั้งแต่ bit ที่ 1-4 ของโครโมโซมตัวที่หนึ่งจะมีค่าตั้งแต่เลข 0-7 ส่วน bit ที่ 5-9 จะมีค่าเป็น 8 และโครโมโซมตัวที่สองก็จะเป็นในลักษณะเดียวกันดังรูปที่ 4.8


5	1	1	4	8	8	8	8	8
								
2	6	6	3	3	1	8	8	8

รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะของโครโมโซมตัวอย่างของการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบ

- 2.) และ 3.) ทำเหมือนกันกับการครอสโอเวอร์ที่ไม่มีรูปแบบในขั้นตอนที่ 1 และ 2 ของการครอสโอเวอร์ที่ไม่มีรูปแบบ

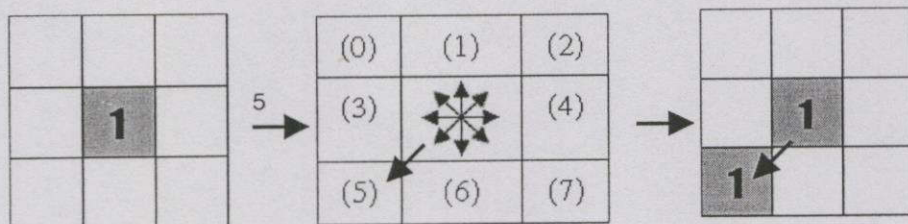
- 4.) ทำการครอสโอเวอร์ สมมุติตำแหน่งที่มีการครอสโอเวอร์คือตำแหน่งที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5	1	1	4	8	1	8	8	8
								
2	6	6	3	3	8	8	8	8

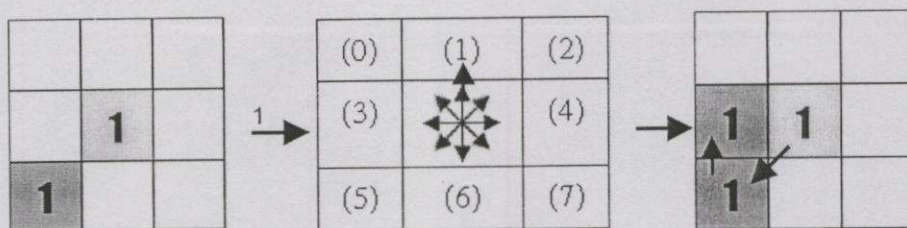
รูปที่ 4.9 แสดงการครอสโอเวอร์ของโครโมโซมตัวอย่างของการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบ

- 5.) หลังจากการครอสโอเวอร์แล้วเราจะนำโครโมโซมที่ได้มาเป็นตัวแทน PSF-support โดยมีขั้นตอนดังนี้
- จุดเริ่มต้นจุดแรกของ PSF-support จะอยู่ ณ ตำแหน่งตรงกลาง (เช่น ถ้า PSF-support มีขนาด 3×3 ตำแหน่งตรงกลางก็คือตำแหน่ง $i = 2$ และ $j = 2$) ของ PSF-support เสมอ เพราะเรามีสมมุติฐานว่า ขณะที่ทำการกด shutter จะเป็นตำแหน่งที่จุดเริ่มต้นของความผิดเพี้ยนเกิดขึ้น ณ ตรงกลางของ PSF-support พอดี (หมายเหตุ ในความเป็นจริงแล้วจุดเริ่มต้นของความผิดเพี้ยนจะอยู่ ณ บริเวณใดของ PSF-support ก็ได้ แต่สำหรับงานวิจัยนี้กำหนดเงื่อนไขให้จุดเริ่มต้นของความผิดเพี้ยนอยู่ตรงกลางของ PSF-support เสมอ)
 - ให้ค่าในตำแหน่งต่างๆ ของ PSF-support ตามโครโมโซมที่ได้จากการครอสโอเวอร์ ซึ่งจากสมมุติฐานข้างต้น ตำแหน่งตรงกลางของ PSF-support จะมีค่าเป็น 1 เสมอ ต่อจากนั้นทำการพิจารณาค่าแห่ง bit ที่ 1 ของโครโมโซมซึ่งจากรูปที่ 4.7 ตำแหน่งที่ 1 ของโครโมโซมแรกมีค่าเป็น 5 เมื่อเทียบกับรูปที่ 4.6 แล้วก็จะได้ว่าตำแหน่งมุมล่างซ้าย $i = 3$ และ $j = 1$ ก็จะเป็นตำแหน่งที่สำคัญของ PSF-support ต่อไป ดังรูป 4.10 แล้ว ณ ตำแหน่งที่ $i = 3$ และ $j = 1$ ก็จะเป็นจุดเริ่มต้นสำหรับการเทียบค่ากับ bit ที่ 2 ของโครโมโซมแรกซึ่งมีค่าเป็น 1 ต่อไป ดังรูป 4.11 จะทำเช่นนี้เรื่อยไปจนกว่าจะครบทุก bit ของโครโมโซมซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.12

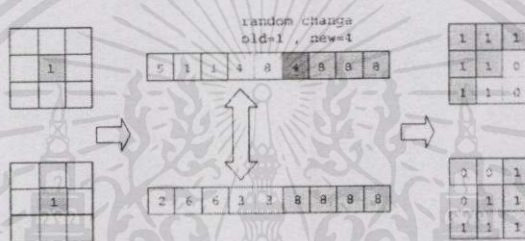


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 แสดงการแปลงโครโมโซมซึ่งค่าประจำบิตมีค่าเป็น 5 ในแบบ 1 มิติ ไปสู่ PSF-support แบบ 2 มิติ



รูปที่ 4.11 แสดงการแปลงโครโมโซมซึ่งค่าประจำบิตมีค่าเป็น 1 ในแบบ 1 มิติ ไปสู่ PSF-support แบบ 2 มิติ



รูปที่ 4.12 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์ของการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบ

ถ้า bit ใดเป็นเลข 8 ก็จะพิจารณาที่ bit ต่อไปจนกว่าจะพบ bit ที่ไม่ใช่เลข 8 แต่ถ้าทิศทางที่เคลื่อนไปนั้นออกนอก PSF-support จะมีการสุ่มค่าเลข 0-7 ใหม่แทนลงไปในตำแหน่ง bit นั้นของโครโมโซมจนกว่าจะได้ค่าที่ทำให้ทิศทางเคลื่อนที่ อยู่ใน PSF-support เช่น จากตัวอย่างถ้า bit ที่ 3 ของโครโมโซมมีค่าเป็น 0, 3, 5, 6 หรือ 7 จะทำให้เลยออกนอก PSF-support ไป ณ bit ที่ 3 จึงต้องมีการสุ่มค่าใหม่จนกว่าจะได้ค่า 1, 2 หรือ 4

โดยประโยชน์ของการมีเวกเตอร์นั้นก็เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของโครโมโซมให้มีลักษณะที่แตกต่างออกไปจากที่เป็นอยู่เพื่อทำให้เกิดรูปแบบที่ดีขึ้นหรือแย่ลงกว่ารูปแบบที่มีอยู่เดิม แต่รูปแบบที่แย่ลงนั้นก็จะถูกตัดออกไปโดยกระบวนการคัดเลือกโครโมโซมในรุ่นถัดไป

4.2.2.4 การผ่าเหล่าที่มีรูปแบบ (structured mutation)

การผ่าเหล่าที่มีรูปแบบนั้น เป็นการทำให้โครโมโซมที่ถูกคัดเลือกเข้ามานั้นมีรูปแบบที่หลากหลายมากขึ้น โดยหลังจากที่มีการคัดเลือกโครโมโซมจากรุ่นก่อน ถ้าโครโมโซมที่ถูกคัดเลือกมา มีรูปแบบเหมือนกัน การครอสโอเวอร์จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโครโมโซม ซึ่งถ้าไม่มี

การมิวเตชันกระบวนการคู่เข้านี้จะอยู่กับที่ ดังนั้นการมิวเตชันที่มีรูปแบบจะทำให้กระบวนการคู่เข้านั้นดำเนินต่อไปได้ ซึ่งวิธีการมิวเตชันที่มีรูปแบบมีขั้นตอนดังนี้

- 1.) หลังจากที่มีการครอสโอเวอร์แล้ว จะมีการสุ่มว่าโครโมโซมใดจะเกิดการมิวเตชัน
- 2.) เมื่อเลือกโครโมโซมที่จะมีการมิวเตชันได้แล้ว ก็จะเลือกตำแหน่งบิตภายในโครโมโซมเพื่อทำการกลับบิต โดยถ้าเลือกได้เป็นบิตที่เป็นตำแหน่งที่จำเป็นสำหรับ PSF-support ก็จะทำการกลับบิตนั้นให้เป็นตำแหน่งที่ไม่จำเป็นสำหรับ PSF-support คือกลับบิตนั้นให้เป็นเลข 8 แต่ถ้าสุ่มได้เป็นตำแหน่งที่ไม่จำเป็นสำหรับ PSF-support ก็จะทำการกลับบิตนั้นให้เป็นตำแหน่งที่จำเป็นสำหรับ PSF-support คือมีการสุ่มเลข 0-7 ลงไปในบิตนั้นนั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 4.13 โดยสมมุติว่าตำแหน่งที่เกิดการมิวเตชันของโครโมโซมที่ 1 คือตำแหน่งที่ 2 ซึ่งจากเดิม ณ ตำแหน่งที่ 2 ของโครโมโซมที่ 1 เป็นตำแหน่งที่จำเป็นสำหรับ PSF-support จึงทำการเปลี่ยนค่าในบิตนั้นให้เป็น 8 ส่วนโครโมโซมที่ 2 สมมุติว่าสุ่มตำแหน่งของการมิวเตชันได้ตำแหน่งที่ 7 ซึ่งเดิมเป็นตำแหน่งที่ไม่จำเป็นของ PSF-support ดังนั้น ณ บิตที่ 7 ของโครโมโซมที่สองจึงต้องมีการสุ่มค่าใหม่ ซึ่งในตัวอย่างนี้สมมุติว่าสุ่มได้เลข 4

5	1	1	4	8	1	8	8	8
---	---	---	---	---	---	---	---	---

2	6	6	3	3	8	8	8	8
---	---	---	---	---	---	---	---	---

(a)

5	8	1	4	8	1	8	8	8
---	---	---	---	---	---	---	---	---

2	6	6	3	3	8	8	4	8
---	---	---	---	---	---	---	---	---

(b)

รูปที่ 4.13 แสดงการมิวเตชันที่มีรูปแบบ (a) ก่อนการมิวเตชัน (b) หลังการมิวเตชัน

4.3 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบสำหรับภาพเบลออกจาก

การเคลื่อนที่กับการครอสโอเวอร์ที่ไม่มีรูปแบบสำหรับภาพเบลจากการโฟกัส

- 1.) จากที่กล่าวมาข้างต้นเราจะเห็นได้ว่าการครอสโอเวอร์ที่ไม่มีรูปแบบ (Unstructured crossover) นั้นมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งภายใน PSF-support เป็นไปอย่าง

อิสระตามกระบวนการทางสถิติและความน่าจะเป็น แต่สำหรับการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบ (Structured crossover) นั้น ตำแหน่งต่างๆ ถูกกำหนดให้เริ่มจากตำแหน่งตรงกลางของ PSF-support แล้วตำแหน่งต่อๆ ไปจะต้องเป็นตำแหน่งที่อยู่รอบตำแหน่งที่ถูกเลือกเท่านั้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าแต่ละตำแหน่งมีความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกไม่เท่ากัน โดยตำแหน่งที่อยู่ตรงกลางของ PSF-support จะเป็นตำแหน่งที่มีความจำเป็นเสมอสำหรับ PSF-support

- 2.) รูปแบบของการจัดวางตำแหน่งภายใน PSF-support การครอสโอเวอร์ที่ไม่มีรูปแบบ (Unstructured crossover) จะมีลักษณะการจัดวางอย่างอิสระไม่จำเป็นต้องต่อเนื่อง ซึ่งในความเป็นจริงแล้วไม่น่าจะมีโอกาสที่เกิดขึ้นได้ เพราะลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือของกล่องย่อมเคลื่อนที่ต่อเนื่องกันไปจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง แต่สำหรับการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบ (Structured crossover) การจัดวางจะต้องเป็นไปในลักษณะต่อเนื่องกันไป ห้ามมีตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งแยกออกมาลำพัง

1	1	0	1	1	0
0	0	0	1	1	0
1	0	1	1	0	0
(a)			(b)		

รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบ PSF-support ของการครอส โอเวอร์ที่มีรูปแบบกับการครอส โอเวอร์ที่ไม่มีรูปแบบ โดยที่
 (a) แสดงการครอสโอเวอร์ที่ไม่มีรูปแบบ
 (b) แสดงการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบ

จากรูปที่ 4.14a จะเห็นว่าตำแหน่งที่จำเป็นสำหรับ PSF-support มีลักษณะไม่ต่อเนื่องอยู่กันอย่างกระจัดกระจาย ทั้งนี้เพราะทุกตำแหน่งมีโอกาสที่จะเป็นตำแหน่งที่จำเป็นสำหรับ PSF-support เท่ากัน แต่รูปที่ 4.14b ตำแหน่งที่จำเป็นสำหรับ PSF-support นั้นจะมีลักษณะต่อเนื่องหรืออยู่รวมกันเป็นกลุ่ม เพราะมันเป็นตัวแทนของกล่องที่สั้นหรือวัตถุที่เคลื่อนที่ (ซึ่งจำลองการเคลื่อนที่ให้เห็นตามแนวลูกศร โดยมีจุดเริ่มต้นออกจากจุดศูนย์กลางของ PSF-support)

เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการวิวัฒนาการแล้วก็จะ ได้โคร โม โชมรุ่นใหม่ที่เป็นตัวแทนโคร โม โชมรุ่นเก่าอย่างสมบูรณ์ หลังจากนั้นก็นำโคร โม โชมเหล่านั้นไปกำหนดค่าเริ่มต้นเพื่อเข้าสู่กระบวนการ CGM ต่อไป จะทำอย่างนี้เรื่อยๆ ไปจนกว่าจะได้รูปแบบของ PSF-support ที่เหมาะสม

บทที่ 5

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะเป็นการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของ GA-CGM เทียบกับ CGM ว่ามีผลแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด โดยเริ่มจากการหาสภาวะที่เหมาะสมให้กับโปรแกรมในการทดลอง คือมีการทดสอบหาค่า P_c และ P_m ก่อน เพื่อจะได้อ่านค่า P_c และ P_m ใดที่ทำให้โปรแกรมทำงานได้ดีที่สุด หลังจากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ GA-CGM กับ CGM โดยในการเปรียบเทียบนั้นได้ทำการพิจารณาใน 2 ลักษณะคือ พิจารณาถึงจำนวนรอบในการคำนวณ และ พิจารณาถึงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error : MSE.) และยังทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบกับการครอสโอเวอร์ที่ไม่มีรูปแบบว่าให้ผลที่แตกต่างกันอย่างไร และสุดท้ายได้ทำการทดสอบว่าขนาดของภาพที่เป็นข้อมูลเข้าให้ผลอย่างไรต่อค่าของ PSF-support

5.1 การหาค่า P_c และ P_m ที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง

จากการศึกษาที่ผ่านมาในอดีตสามารถบอกได้ว่า โปรแกรมเชิงประยุกต์ (Application) แต่ละโปรแกรม ก็จะใช้ค่า p_c และ p_m แตกต่างกันไปตามความเหมาะสม ดังนั้นเราจึงต้องทำการหาค่า probability of crossover (p_c) และ probability of mutation (p_m) ที่เหมาะสมสำหรับงานโปรแกรมเชิงประยุกต์นี้ โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

- 1.) นำภาพตัวอย่างจำนวน 12 ภาพ โดยแต่ละภาพมีขนาด 60×60 pixels มาแบ่งเป็น 3 กลุ่มๆ ละ 4 ภาพ
- 2.) ทำการจำลอง PSF-support ด้วยวิธีการสุ่มขึ้นมา 3 ขนาด ตั้งแต่ 2×2 , 4×4 , 6×6 โดยแต่ละขนาดจะมี 4 รูปแบบที่แตกต่างกัน เพื่อใช้กับภาพทั้ง 12 ภาพในข้อ 1.) โดยภาพหนึ่งกลุ่มจะใช้กับ PSF-support หนึ่งแบบ
- 3.) นำภาพและ PSF-support ที่ได้มาทำการทดลองหาค่าความคลาดเคลื่อน ตาม p_c และ p_m ที่ต่างกัน โดยภาพ 1 ภาพ จะใช้ p_c และ p_m ที่ต่างกัน 121 ค่า คือค่า $p_c = 0.0, 0.1, \dots, 1.0$ และ ค่า $p_m = 0.0, 0.1, \dots, 1.0$
- 4.) เมื่อทำการทดลองครบทั้ง 12 ภาพแล้ว นำค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ตาม p_c และ p_m ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษามาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สมมุติว่าหากมีค่าเฉลี่ย โดยหลักการในการพิจารณาหาค่า p_c และ p_m ที่เหมาะสม
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งนั้น อีกทั้งห้ามมิให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
นั้นพิจารณาจาก

- ให้ค่า error ที่ต่ำ และ
- มีจำนวน chromosome ที่ใช้น้อย

โดยผลการทดลองที่ได้นั้นแสดงดังตารางที่ 5.1 และ 5.2 ซึ่งในตารางที่ 5.1 เป็นผลการทดลองที่ได้จาก PSF-support ที่จำลองขึ้นให้เป็นตัวแทนของการเบลอเนื่องจากการโฟกัส และตารางที่ 5.2 เป็นผลการทดลองที่ได้จาก PSF-support ที่จำลองขึ้นให้เป็นตัวแทนของการเบลอเนื่องจากการสั่นของกล้องหรือการเคลื่อนที่ของวัตถุ

ตารางที่ 5.1 แสดงค่า pc และ pm ที่เหมาะสมที่สุด 3 อันดับแรก ของ PSF-support ที่เป็นตัวแทนการเบลอจากการโฟกัส

pc	pm	Error ของแต่ละ PSF-support			จำนวน chromosome ที่ใช้ของแต่ละ PSF-support		
		2×2	4×4	6×6	2×2	4×4	6×6
0.7	0.05	49.7325	160.7618	178.9314	11	492	3621
0.7	0.10	55.3549	154.3647	196.4836	12	538	3741
0.7	0.15	52.3145	172.6214	206.7216	11	586	4031

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าค่า pc และ pm ที่ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของ PSF-support ต่ำที่สุดคือ ค่า pc = 0.7 และ pm = 0.05 แม้ว่าจะไม่ได้ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดในทุกๆ PSF-support ก็ตาม แต่โดยส่วนใหญ่แล้วค่า pc = 0.7 และ pm = 0.05 ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด และนอกจากจะให้ค่าความคลาดเคลื่อนของ PSF-support ต่ำแล้ว ยังมีจำนวนรอบในการคำนวณต่ำอีกด้วย

ตารางที่ 5.2 แสดงค่า pc และ pm ที่เหมาะสมที่สุด 3 อันดับแรก ของ PSF-support ที่เป็นตัวแทนการเบลอจากการสั่นของกล้อง

pc	pm	Error ของแต่ละ PSF-support			จำนวน chromosome ที่ใช้ของแต่ละ PSF-support		
		2×2	4×4	6×6	2×2	4×4	6×6
0.7	0.15	59.2468	78.2475	159.3268	12	578	3567
0.7	0.20	67.6315	81.2684	197.2365	10	627	3432
0.7	0.25	60.7128	96.7462	204.3981	12	611	3764

จากตารางที่ 5.2 จะเห็นได้ว่าค่า pc และ pm ที่ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของ PSF-support ต่ำที่สุดคือ ค่า $pc = 0.7$ และ $pm = 0.15$ เนื่องจากค่า pc และ pm ดังกล่าวให้ค่าความคลาดเคลื่อนของ PSF-support ต่ำที่สุด และโดยส่วนใหญ่แล้วยังมีจำนวนรอบในการคำนวณต่ำอีกด้วย






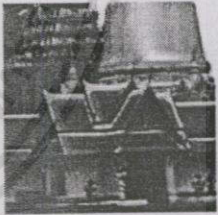
ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่า pc และ pm ที่เหมาะกับการเบลอเนื่องจากการโฟกัสคือ ค่า $pc = 0.7$ และ $pm = 0.05$ ส่วนค่า pc และ pm ที่เหมาะกับการเบลอเนื่องจากการเคลื่อนที่คือค่า $pc = 0.7$ และ $pm = 0.15$ ดังนั้นในการทดลองเราจะใช้ค่า pc และ pm สองค่านี้เป็นหลัก โดยถ้าเป็น PSF-support ที่มีรูปแบบเป็นการเบลอเนื่องจากการโฟกัสเราจะใช้ค่า $pc = 0.7$ และ $pm = 0.05$ แต่ถ้า PSF-support มีรูปแบบเป็นการเบลอเนื่องจากการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือการสั่นของกล้อง เราจะใช้ค่า $pc = 0.7$ และ $pm = 0.15$

5.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง CGM กับ GA-CGM

วัตถุประสงค์หนึ่งสำหรับงานวิจัยนี้ก็คือ การเปรียบเทียบการทำงานและประสิทธิภาพระหว่าง GA-CGM กับ CGM เพื่อดูว่าการนำ GA มาใช้ จะทำให้ประสิทธิภาพของการประมวลผลดีขึ้นหรือแย่ลงอย่างไร โดยจะทำการทดลองกับภาพ 5 ภาพ ดังรูปที่ 5.1 ที่มีลักษณะแตกต่างกันไป เพื่อดูว่า GA-CGM ใช้ได้กับภาพทุกประเภทหรือไม่ หรือเหมาะสมกับภาพชนิดใดเป็นพิเศษ

ภาพที่	ภาพจริง	ภาพที่ตัดมาเพียงบางส่วน
ภาพที่ 1		
ภาพที่ 2		

รูปที่ 5.1 แสดงภาพตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดลองทั้ง 5 ภาพ

<p>ภาพที่ 3</p>		
<p>ภาพที่ 4</p>		
<p>ภาพที่ 5</p>		

รูปที่ 5.1 (ต่อ)

ภาพที่ใช้ในการทดลองแต่ละภาพนั้นก็มียลักษณะและรายละเอียดของภาพที่ต่างกันไป ซึ่งเหตุผลในการเลือกภาพทั้ง 5 คือ

ภาพที่ 1 เป็นภาพที่มีลักษณะของพื้นหลัง (background) ชัดเจน โดยมีการไล่สีจากเข้มมาอ่อน (Shading) ซึ่งตัดกับตัวภาพที่เป็นรูปบอลดูอย่างเด่นชัด

- ภาพที่ 2 เป็นภาพที่มีลักษณะของพื้นหลังเบลอไม่ชัดเจนตัดกับภาพดอกไม้ เพื่อดูถึงประสิทธิภาพของโปรแกรมว่าสามารถแยกแยะส่วนของภาพเบลอเนื่องจากการโฟกัสกับส่วนของภาพที่คมชัดซึ่งรวมกันอยู่ในภาพเดียวกันได้หรือไม่
- ภาพที่ 3 เป็นภาพซึ่งมีรายละเอียดของภาพมาก โดยมีลักษณะเป็นเส้นๆ ไม่ว่าจะเป็บริเวณตัวลิง ต้นหญ้า หรือแม้กระทั่งพื้นหลัง ซึ่งคล้ายกับภาพที่เป็น texture
- ภาพที่ 4 เป็นภาพที่รวมลักษณะหลายๆ อย่างของภาพไว้ด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็ texture พื้นหลัง และ Shading
- ภาพที่ 5 เป็นภาพที่ได้จากการถ่ายจริง

โดยภาพตัวอย่างแต่ละภาพจะไม่นำมาทดลองทั้งภาพแต่จะตัดมาเพียงบางส่วนเท่านั้น เพื่อความรวดเร็วในการทดลองและประมวลผล

ภาพแต่ละภาพจะมีขนาด 100×100 pixels และใช้ PSF-support ทั้งหมด 10 ขนาด ซึ่งแต่ละขนาดจะมีรูปแบบแตกต่างกันไปในการทดสอบ โดยการวัดประสิทธิภาพในการทดลองนั้นจะใช้ค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Percentage of Mean Square Error : MSE.) และจำนวนรอบที่ใช้ในการประมวลผล เพื่อเป็นตัวบอถึงประสิทธิภาพของทั้ง GA-CGM และ CGM โดยผลการทดลองของภาพทั้ง 5 ภาพแสดงดังตารางที่ 5.3 ซึ่งการทดลองนั้นจะแบบออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ

5.2.1 PSF-support ที่ได้จากการจำลองขึ้น

ในการทดลองนี้เป็นการจำลอง PSF-support ขนาดต่างๆ ขึ้นมาเพื่อใช้ในการทดลอง โดย PSF-support ที่จำลองขึ้นมานั้นก็จะมีรูปแบบแตกต่างกันไปเพื่อทำให้เกิดความหลากหลายของรูปแบบ PSF-support โดยผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 5.3

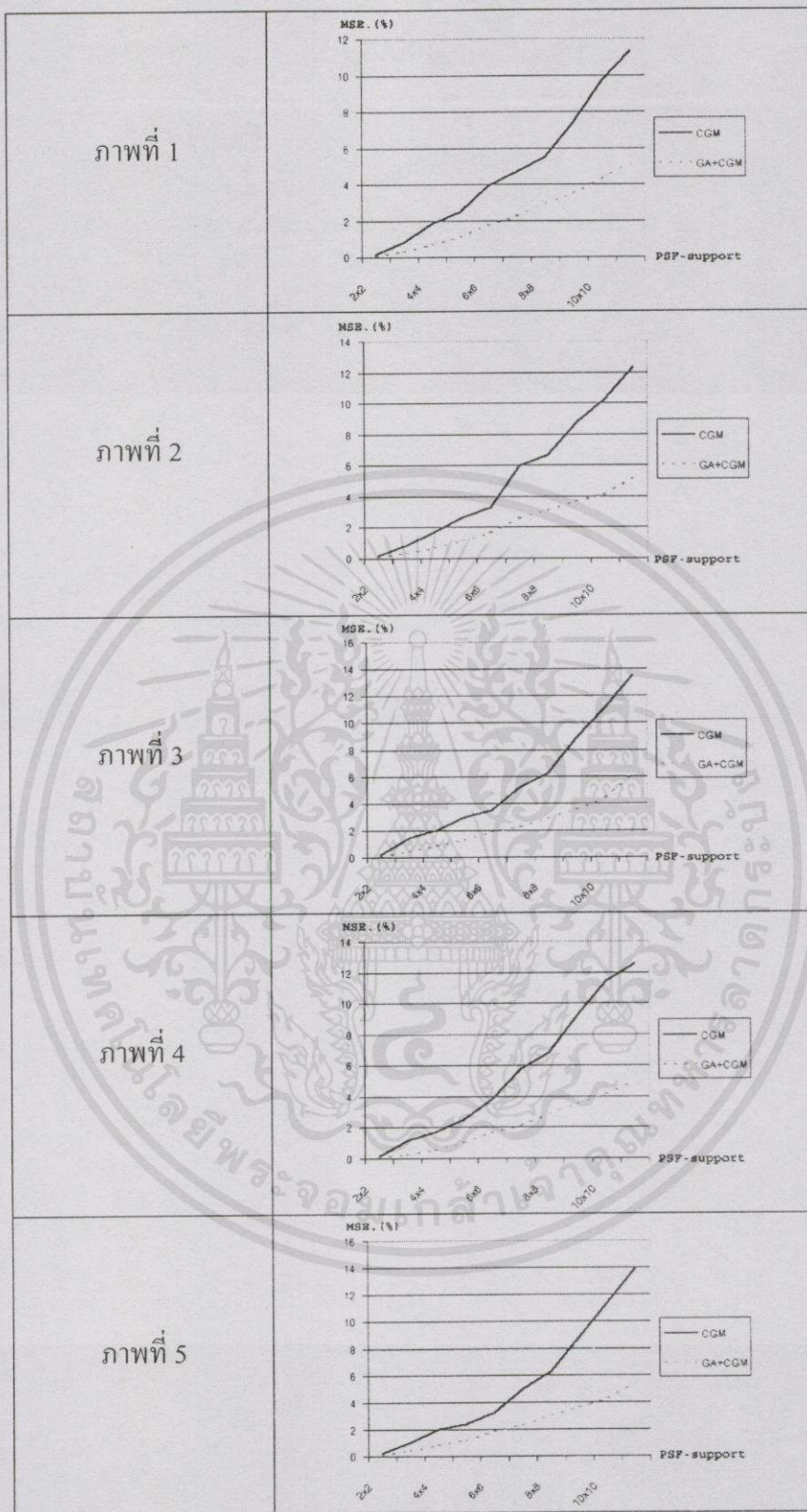
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบ MSE. ของ PSF-support ระหว่าง GA-CGM กับ CGM

ขนาดของ PSF-support	MSE. ของ PSF-support ของ ภาพที่ 1 (%)		MSE. ของ PSF-support ของ ภาพที่ 2 (%)		MSE. ของ PSF-support ของ ภาพที่ 3 (%)		MSE. ของ PSF-support ของ ภาพที่ 4 (%)		MSE. ของ PSF-support ของ ภาพที่ 5 (%)	
	CGM	GA+ CGM	CGM	GA+ CGM	CGM	GA+ CGM	CGM	GA+ CGM	CGM	GA+ CGM
2×2	0.167	0.064	0.192	0.072	0.203	0.087	0.114	0.07	0.183	0.081
3×3	0.834	0.283	0.862	0.315	1.423	0.47	1.102	0.197	1.008	0.355
4×4	1.814	0.671	1.671	0.682	2.018	0.847	1.684	0.516	1.966	0.81
5×5	2.448	1.126	2.617	1.138	2.934	1.284	2.472	0.994	2.364	1.166
6×6	3.881	1.747	3.236	1.613	3.449	1.887	3.776	1.641	3.226	1.845
7×7	4.682	2.236	5.984	2.561	5.23	2.261	5.741	2.103	4.937	2.338
8×8	5.476	2.941	6.632	3.108	6.214	2.917	6.776	2.847	6.229	2.994
9×9	7.414	3.475	8.69	3.652	8.847	3.541	9.235	3.511	8.816	3.601
10×10	9.67	4.281	10.24	4.087	11.03	4.317	11.44	4.114	11.39	4.227
12×12	11.34	5.138	12.33	5.235	13.47	6.193	12.54	4.976	13.95	5.384

เพื่อแสดงให้เห็นผลการทดลองอย่างชัดเจน จึงนำค่าที่ได้มาสร้างเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 5.2 โดยกราฟที่ได้เป็นการเปรียบเทียบระหว่าง CGM กับ GA-CGM ของทั้ง 5 ภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ GA-CGM กับ CGM ของภาพทั้ง 5 ภาพ ด้วยการวัดเปอร์เซ็นต์ MSE. ของ PSF-support ที่เกิดจากการจำลอง

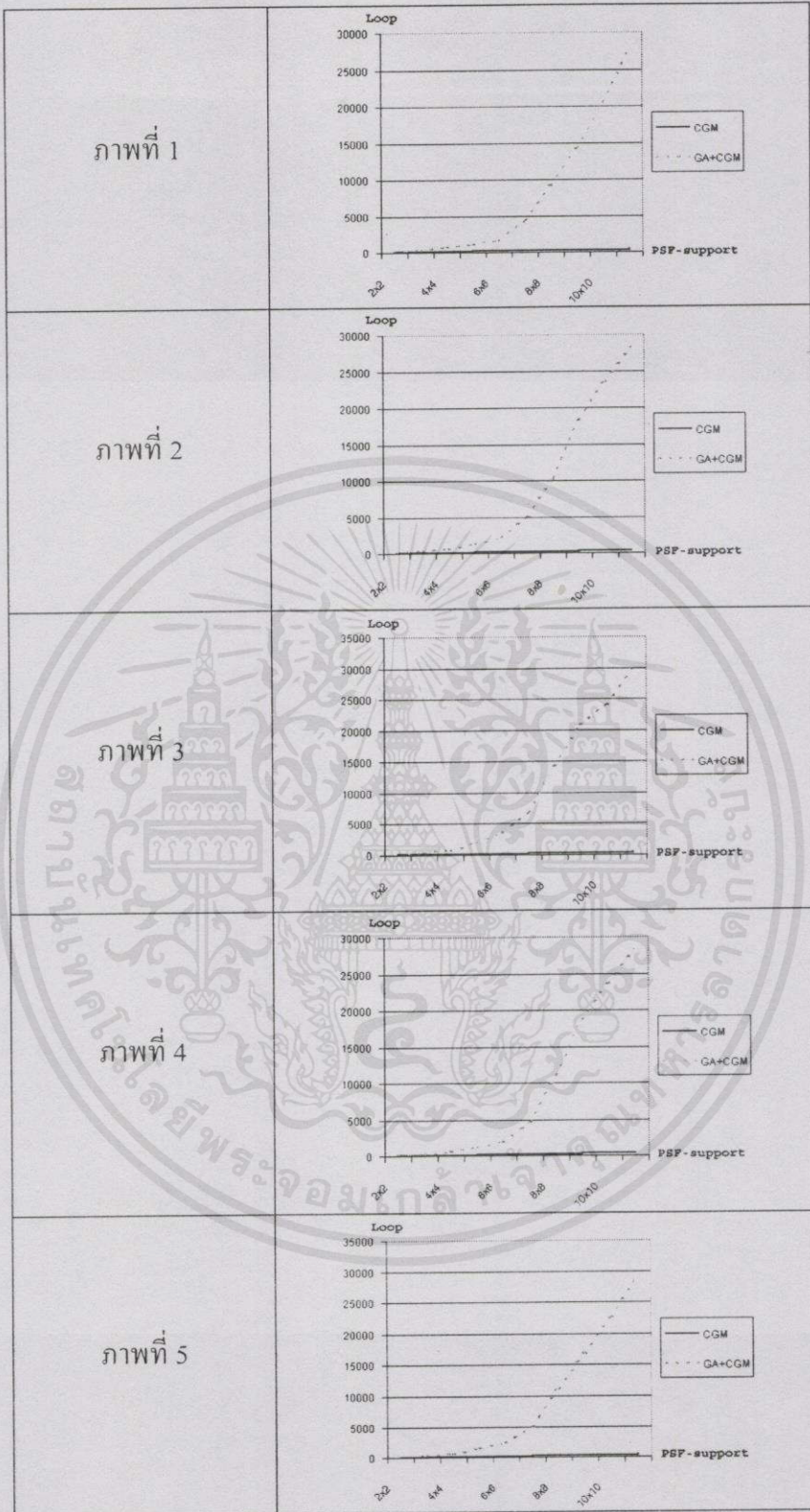
หลังจากนั้นได้ทำการทดลองด้วยการนับจำนวนรอบในการคำนวณ เพราะในการวัดประสิทธิภาพ จะต้องพิจารณาความถูกต้องและระยะเวลาในการคำนวณควบคู่กันไป ดังแสดงในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนรอบในการคำนวณของ GA-CGM กับ CGM

ขนาดของ PSF- support	จำนวนรอบการ คำนวณของภาพ ที่ 1		จำนวนรอบการ คำนวณของภาพ ที่ 2		จำนวนรอบการ คำนวณของภาพ ที่ 3		จำนวนรอบการ คำนวณของภาพ ที่ 4		จำนวนรอบการ คำนวณของภาพ ที่ 5	
	CGM	GA+ CGM	CGM	GA+ CGM	CGM	GA+ CGM	CGM	GA+ CGM	CGM	GA+ CGM
2×2	128	83	114	97	122	48	84	79	66	65
3×3	134	297	132	311	157	368	105	256	102	324
4×4	152	689	168	568	169	769	138	588	165	556
5×5	183	1026	188	1326	174	1948	197	1239	187	1369
6×6	197	1579	203	2007	187	3526	226	1958	194	2446
7×7	202	4489	251	5069	216	6954	257	4682	231	5236
8×8	241	9235	254	10287	221	14368	298	10954	269	11256
9×9	268	14367	312	18446	294	20687	304	18836	297	16824
10×10	301	20389	336	23634	344	24176	348	23682	344	22641
12×12	357	27536	377	28119	361	29478	366	28201	384	29058

แสดงกราฟการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยการนับจำนวนรอบได้ดังรูปที่ 5.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่สมควรให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ GA-CGM กับ CGM ของภาพทั้ง 5 ภาพ ด้วยการนับจำนวน
 ไม่กี่ครั้งใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้คลอเคลียงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 รอบการประมวลผล

5.2.2 PSF-support ที่ไม่ได้จำลองขึ้น

ในการทดลองที่ 5.2.1 เป็นการทดลองที่มีการจำลอง PSF-support ขึ้นมาให้มีขนาดแตกต่างกันไป แต่สำหรับการทดลองนี้เป็น PSF-support ที่เรามาได้จากภาพซึ่งเกิดจากการถ่ายด้วยกล้องจริงๆ โดยภาพแรกเป็นการถ่ายโดยมือในสภาวะแสงปกติแต่ปรับความเร็วชัตเตอร์ให้สูงเพื่อให้ภาพที่ได้แทนภาพนิ่ง แต่เมื่อความเร็วชัตเตอร์สูงแสงก็จะเข้ามาน้อยทำให้ภาพที่ได้เป็นภาพที่ค่อนข้างมืด ส่วนอีกภาพหนึ่งเป็นภาพเบลอที่ได้จากการถ่ายด้วยมือพร้อมกับปรับความเร็วชัตเตอร์ให้ช้าลงเพื่อให้รับแสงได้อย่างเต็มที่ ดังแสดงในรูปที่ 5.4

ภาพจริง ($f_o(x,y)$)							
ภาพเบลอ ($f_d(x,y)$)							
PSF-support ที่คำนวณได้	0.1210	0.0000	0.0000	0.1516	-0.1263	0.0000	-0.000
	0.4826	0.3256	0.0000	0.3626	0.2566	0.2543	0.0672
	-0.076	0.2548	0.7416	0.2536	0.3121	0.0000	0.0000
	0.3156	0.0231	0.1047	0.2146	0.1034	0.2145	-0.000
	0.3514	0.1442	0.2149	0.2184	0.2605	0.2684	-0.052
	0.0000	0.2110	0.0000	-0.000	0.1456	0.4152	0.0712
	0.1510	0.0000	-0.011	0.1325	0.000	0.000	-0.000

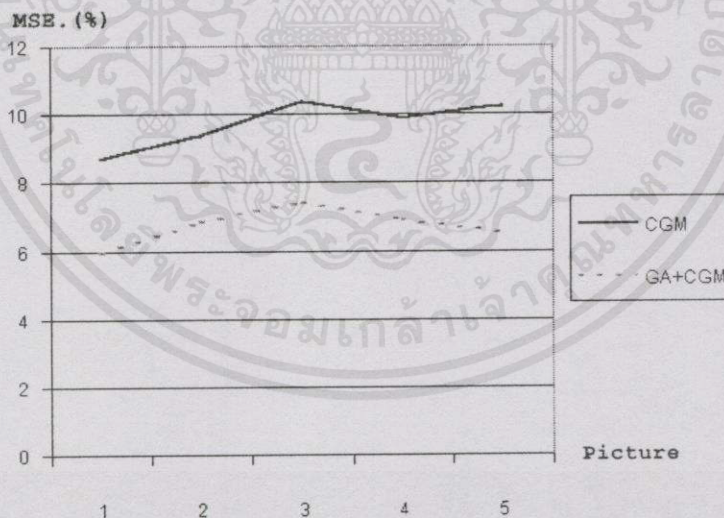
รูปที่ 5.4 แสดงภาพจริงและภาพเบลอที่ได้จากการถ่ายจริงและ PSF-support ที่คำนวณได้ด้านการคำนวณ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำ PSF-support ที่ได้จากการคำนวณมาทำการประสาน (Convolution) กับภาพทั้ง 5 ภาพ ในรูปที่ 5.1 ก็จะได้ภาพเบลอ $fd(x,y)$ แล้วนำภาพจริงและภาพเบลอที่ได้มาคำนวณหา PSF-support ด้วย GA-CGM กับ CGM เพื่อเปรียบเทียบกัน โดยดูจาก MSE. ของ PSF-support ที่เกิดขึ้น ดังตาราง ที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบ MSE. ของ PSF-support ที่ได้จากการถ่วงจริง

ภาพที่	MSE. ของ PSF-support (%)	
	CGM	GA+CGM
1	8.674	5.928
2	9.385	6.817
3	10.374	7.434
4	9.868	6.874
5	10.229	6.513

แสดงให้เห็นในรูปแบบของกราฟได้ดังรูปที่ 5.5



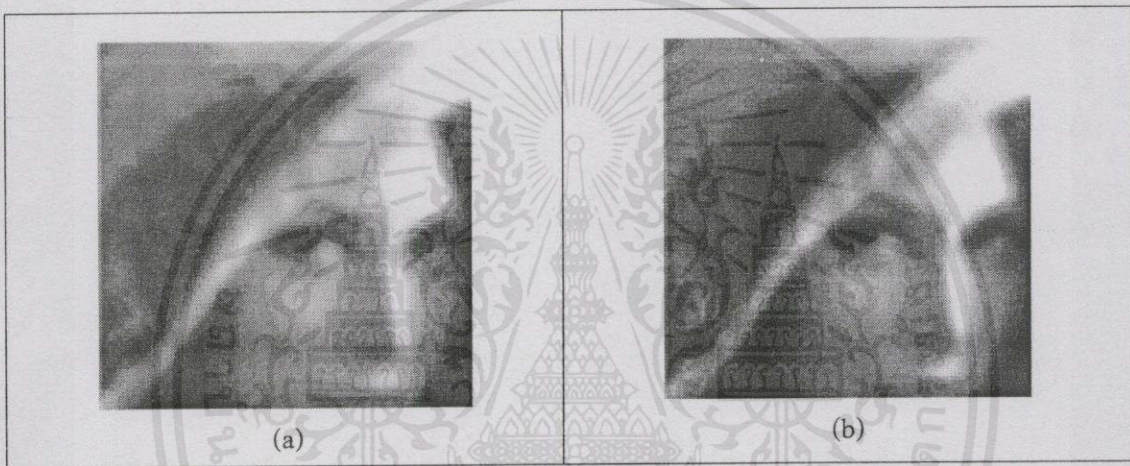
รูปที่ 5.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ GA-CGM กับ CGM ของภาพทั้ง 5 ภาพ ด้วยการวัดเปอร์เซ็นต์ MSE. ของ PSF-support ที่เกิดจากภาพจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 PSF-support ที่ไม่ได้จำลองขึ้นและมีปัจจัยภายนอกครอบงำ

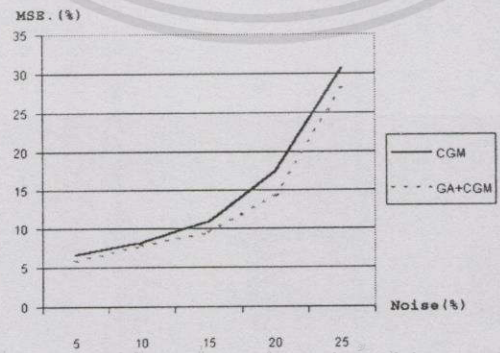
จากการทดลองในตอนที่แล้วเป็นการทดลองที่ไม่มีการรบกวนจากปัจจัยภายนอก แต่เพื่อเป็นการจำลองให้สภาวะให้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุดจึงทำการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปในภาพ ซึ่งการทดลองนี้จะมีการเพิ่มสัญญาณรบกวนทั้งหมด 5 ระดับ เริ่มตั้งแต่ 5%, 10%, 15%, 20% และ 25% ตามลำดับ เพื่อดูว่าอัตราสัญญาณรบกวนที่เพิ่มขึ้นมีผลกับค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ PSF-support อย่างไร

ซึ่งตัวอย่างของภาพที่ถูกสัญญาณรบกวนขนาด 20% แสดงดังรูปที่ 5.6 และผลการทดลองได้แสดงดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบภาพตัวอย่างสำหรับการทดลองที่ 5.2.3 โดยที่

- (a) ภาพเบลนที่ไม่ถูกสัญญาณรบกวน
- (b) ภาพเบลนที่ถูกสัญญาณรบกวน 20%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.7 แสดงผลการทดลองตอน 5.2.3

5.3 การเปรียบเทียบการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบ (Structured Crossover) กับการครอสโอเวอร์ที่ไม่มีรูปแบบ (Unstructured Crossover)

หลังจากที่เราได้ p_c และ p_m ที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยมาแล้ว ต่อมาเราจะทำการเปรียบเทียบว่าการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบควรจะใช้กับปัญหาแบบใด และการครอสโอเวอร์ที่ไม่มีรูปแบบควรจะใช้กับปัญหาแบบใด ซึ่งในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพนั้นเราจะใช้ปัญหา 2 แบบ คือปัญหาที่เป็นการเบลอเนื่องจากการโฟกัส และการเบลอเนื่องจากการสั่นของกล้อง โดยแต่ละการเปรียบเทียบนั้นจะทำการทดลองทั้งหมด 20 ครั้ง แล้วนำค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ในแต่ละครั้งมาทำการหาค่าเฉลี่ย โดยมีข้อกำหนดดังนี้

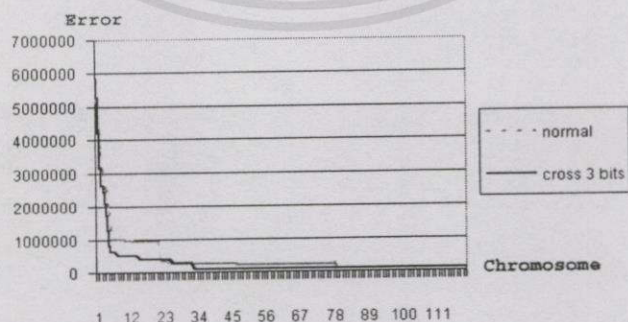
PSF ขนาด 6×6

Population size: 10

* Crossover rate: 0.7

* Mutation rate: 0.05, 0.15

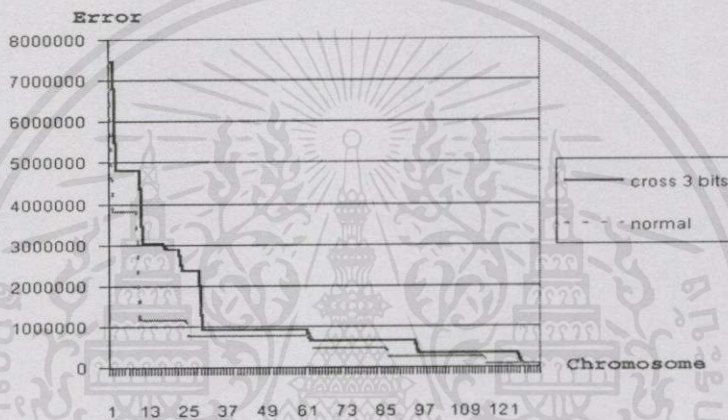
ซึ่ง * เป็นค่า p_c และ p_m ที่ใช้นั้นมาจากการทดลองตอนที่ 5.1 ซึ่งเราจะใช้ค่า $p_c = 0.7$ และ $p_m = 0.1$ กับการครอสโอเวอร์ที่ไม่มีรูปแบบ เพราะเราคิดว่าการครอสโอเวอร์ที่ไม่มีรูปแบบมีความเหมาะสมกับการเบลอเนื่องจากการโฟกัส และใช้ $p_c = 0.7$ และ $p_m = 0.2$ กับการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบ เพราะเราคิดว่าการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบมีความเหมาะสมกับความผิดเพี้ยนที่เกิดจากการสั่นของกล้อง โดยในการทดลองนั้นเราไม่รู้รูปแบบของ PSF -support มาก่อน เพราะเนื่องจากว่าภาพเบลอที่นำมาใช้นั้นถูกทำให้เบลอด้วยโปรแกรมเชิงประยุกต์ โดยการใช้ตัวกรอง (filter) Motion blur สำหรับการเบลอเนื่องจากการเคลื่อนที่ และ Gaussian blur สำหรับการเบลอเนื่องจากการโฟกัส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

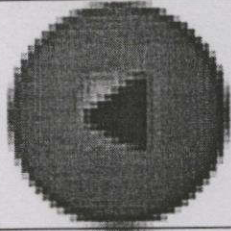
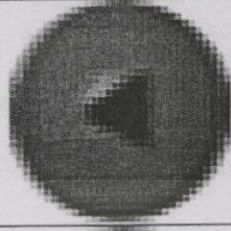
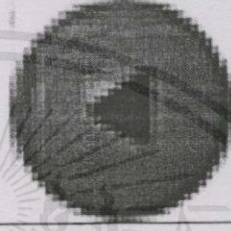
รูปที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการ crossover ที่มีรูปแบบ และ ไม่มีรูปแบบ สำหรับปัญหาของภาพที่เป็น Motion blur

จากรูปที่ 5.6 จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟของการ cross 3 bits ((เส้นทึบ) เป็นตัวแทนการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบ) สามารถวิ่งเข้าสู่ค่าต่ำสุดได้เร็วกว่า เส้นกราฟ normal ((เส้นปะ) เป็นตัวแทนการครอสโอเวอร์ที่ไม่มีรูปแบบ) และยังให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำกว่าอีกด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีกว่า โดยค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดที่สามารถคำนวณได้ของการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบคือ 67646.648 และของการครอสโอเวอร์ที่ไม่มีรูปแบบคือ 70647.751 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า การครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบเหมาะกับการแก้ปัญหาภาพผิดเพี้ยนที่เกิดจากการสั่นของกล้องมากกว่าการครอสโอเวอร์ที่ไม่มีรูปแบบ



รูปที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบ และไม่มีรูปแบบ สำหรับปัญหาของภาพที่เป็น Gaussian blur

จากรูปที่ 5.9 จะเห็นว่าเส้นกราฟของการ cross 3 bits ((เส้นทึบ) เป็นตัวแทนการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบ) สามารถวิ่งเข้าสู่ค่าต่ำสุดได้ช้ากว่า เส้นกราฟ normal ((เส้นปะ) เป็นตัวแทนการครอสโอเวอร์ที่ไม่มีรูปแบบ) และยังให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงกว่า โดยค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดที่สามารถคำนวณได้ของการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบคือ 75147.135 และของการครอสโอเวอร์ที่ไม่มีรูปแบบคือ 72187.013 จึงสรุปได้ว่าการครอสโอเวอร์ที่ไม่มีรูปแบบเหมาะกับการแก้ปัญหาภาพผิดเพี้ยนที่เกิดจากการโฟกัสมากกว่าการครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบ (หมายเหตุ จากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าสูงมาก เนื่องมาจากความผิดเพี้ยนของภาพนั้นเกิดจากตัว filter ในโปรแกรมเชิงประยุกต์ ซึ่งเราไม่รู้รูปแบบและขนาดที่แน่นอนของ PSF-support ดังนั้น PSF-support ที่กำหนดขึ้นในการทดลองอาจจะมีขนาดเล็กไปทำให้ไม่สามารถหารูปแบบของ PSF-support ที่ถูกต้องได้ จึงทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนออกมาสูงมาก ซึ่งแสดงตัวอย่างให้เห็นในรูปที่ 5.10)

ภาพต้นแบบ (fo)	
ภาพเบลอ (fd)	
ภาพจากการทดลอง (fdo = fo*PSF)	

รูปที่ 5.10 แสดงภาพตัวอย่างผลการทดลอง





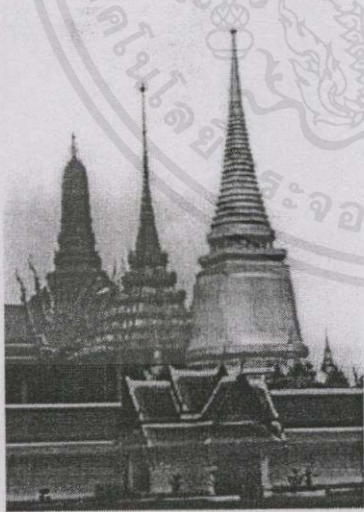

จากรูปที่ 5.10 เป็นภาพขนาด 32×32 pixels ที่ผ่าน filter รูปแบบ Motion blur แล้วทำการหา PSF-support โดยใช้การครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบ และกำหนดให้ PSF-support มีขนาด 6×6 ซึ่งจากผลที่ได้จะเห็นว่า fd และ fdo มีความแตกต่างกันพอสมควร อันเกิดจาก PSF-support ที่มีขนาดไม่เหมาะสมนั่นเอง

5.4 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบว่าขนาดของภาพมีผลกับ PSF-support ที่เหมาะสม

ในการทดลองนี้จะเป็นการค้นหาว่าขนาดของข้อมูลเข้ามีผลกับการหา PSF-support ที่เหมาะสมหรือไม่ โดยในการทดลองนี้จะใช้ภาพ Gray level จำนวน 3 ภาพ ซึ่งเป็นภาพที่เกิดจากการจำลองขึ้นให้มีความผิดเพี้ยนที่แตกต่างกันไป

โดยในการทดลองนี้ภาพแต่ละภาพจะถูกกำหนดขนาดของภาพที่เป็นข้อมูลเข้ามีค่าตั้งแต่ 30×30 pixels ขึ้นไปจนถึง 150×150 pixels โดยการเพิ่มขนาดขึ้นแต่ละครั้งจะเพิ่มด้านกว้าง 10 pixels ด้านยาว 10 pixels ซึ่งภาพตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 5.11 และภาพที่ทำการตัดมาเพียงบางส่วนแสดงดังรูปที่ 5.12 สำหรับ PSF-support ที่จำลองขึ้นเพื่อใช้สำหรับการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพต้นแบบ (fo)	ภาพเบลอ (fd)
 <p data-bbox="379 647 426 681">(a1)</p>	 <p data-bbox="922 641 969 675">(a2)</p>
 <p data-bbox="382 1070 430 1104">(b1)</p>	 <p data-bbox="926 1070 973 1104">(b2)</p>
 <p data-bbox="386 1661 434 1695">(c1)</p>	 <p data-bbox="930 1661 977 1695">(c2)</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5.11 แสดงภาพตัวอย่างทั้ง 3 ภาพที่ใช้ในการทดลอง 5.4

ภาพที่	30X30	40X40	50X50	60X60	70X70	80X80	90X90	100X100	110X110	120X120	130X130	140X140	150X150
1	fo												
	fd												
2	fo												
	fd												
3	fo												
	fd												

รูปที่ 5.12 แสดงภาพถ่ายอย่างทีละมิลลิเมตรสำหรับการทดลอง 5.4

0.1210	0.0000	0.1244	0.1516	0.1263	0.1356
0.4826	0.3256	0.2142	0.3626	0.2566	0.2543
0.0000	0.2548	0.7416	0.2536	0.3121	0.0000
0.0000	0.0231	0.1047	0.1034	0.0000	0.0000
0.3514	0.1442	0.2149	0.0000	0.2605	0.2684
0.1257	0.2110	0.0000	0.0000	0.0000	0.4152

(a)

0.0000	0.0000	0.0000	0.1324	0.1263	0.1021	0.0000	0.0000
0.0000	0.1126	0.1547	0.2516	0.2364	0.3298	0.1439	0.0000
0.1046	0.2614	0.3612	0.4230	0.3921	0.4632	0.2168	0.0000
0.1143	0.2103	0.2948	0.4986	0.6253	0.3945	0.2648	0.0000
0.0957	0.2431	0.3189	0.5146	0.7812	0.4268	0.3168	0.1236
0.0000	0.1168	0.3514	0.3248	0.2985	0.4167	0.3521	0.1842
0.0000	0.2568	0.1965	0.2635	0.2188	0.2536	0.1654	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.1674	0.1268	0.1298	0.0000	0.0000

(b)

0.0050	0.0100	0.0200	0.0500	0.0800	0.1000	0.2000	0.3000	0.4000	0.5000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.6500	0.6000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.4000	0.3500	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.7500	0.7000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.5000	0.4500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.4500	0.8000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.7000	0.7500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.3500	0.4000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.6000	0.6500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.5000	0.4000	0.3000	0.2000	0.1000	0.0800	0.0500	0.0200	0.0100	0.0050

(c)

รูปที่ 5.13 แสดง PSF-support ขนาดต่างๆ ที่ใช้สำหรับการทดลอง 5.4

โดยภาพที่ 1 จะใช้กับ PSF-support ขนาด 6x6 ภาพที่ 2 จะใช้กับ PSF-support ขนาด 8x8
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 และภาพที่ 3 จะใช้กับ PSF-support ขนาด 10x10
 ไม่วากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.1 PSF-support ขนาด 6×6

จากรูป 5.11(a1) เป็นภาพที่จำลองขึ้นให้มีลักษณะเหมือนกับการถ่ายภาพนิ่ง (แม้ว่าตัวกล้องหรือวัตถุจะอยู่ในลักษณะที่เคลื่อนที่) เพราะเป็นการถ่ายภาพโดยใช้ความเร็วชัตเตอร์ (Shutter) สูงในสภาวะแสงที่ปกติ (เมื่อความเร็วชัตเตอร์สูงภาพที่ได้ก็จะมีลักษณะเหมือนภาพนิ่ง แต่แสงที่ผ่านเข้ามากระทบฟิล์มจะน้อย) ส่วนรูปที่ 5.11(a2) เป็นภาพเบลอที่จำลองขึ้นให้มีลักษณะเหมือนกับการถ่ายภาพที่มีความเร็วชัตเตอร์ต่ำเพื่อให้กล้องสามารถรับแสงได้เต็มที่ โดยภาพเบลอที่ได้นั้นเกิดจาก PSF-support ขนาด 6×6 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.13a

ต่อมาทำการตัดบางส่วนของภาพในรูป 5.11(a1) เพื่อนำมาเป็นตัวแทนภาพจริง ($f(x,y)$) สำหรับการหา PSF-support ในการทดลอง สำหรับภาพในรูปที่ 5.11(a2) เลือกตรงตำแหน่งที่สมนัยกับบริเวณที่เลือกไว้ในรูป 5.11(a1) เพื่อเป็นตัวแทนของภาพเบลอ ($fd(x,y)$) โดยภาพที่ตัดมาเพื่อทำการทดลองนั้นมีทั้งหมด 4 ขนาด คือ 30×30, 40×40, 50×50 และ 60×60 ซึ่งแสดงดังรูป 5.12 ในภาพที่ 1

หลังจากที่ได้ภาพที่ต้องการจะทดลองแล้วก็นำภาพทั้งสองเป็นข้อมูลเข้าของโปรแกรมเพื่อทำการหาค่า PSF-support ซึ่ง PSF-support ที่ได้จากภาพตัวอย่างขนาด 60×60 แสดงดังรูปที่ 5.14

0.1103	-0.0103	0.1212	0.1508	0.1244	0.1298
0.4716	0.3312	0.2203	0.3610	0.2506	0.2571
0.0236	0.2522	0.7387	0.2502	0.3143	-0.0268
0.0000	0.0201	-0.1025	0.0841	0.1034	0.0000
0.3506	0.1406	0.2178	0.0000	0.2605	0.2649
0.1284	0.2135	0.0000	0.0045	0.0000	0.4131

รูปที่ 5.14 แสดง PSF-support ที่ได้จากการทดลองกับภาพขนาด 60×60

จาก PSF-support ที่ได้ในรูปที่ 5.14 เมื่อนำมาหาค่า MSE. ของ PSF-support จากภาพขนาด 60×60จะมีค่าเท่ากับ 1.641 % ซึ่งมีค่าไม่สูงมากนัก แต่เรามีสมมุติฐานว่า PSF-support ที่เหมาะสมนั้นไม่ควรจะมีตำแหน่งที่มีค่าเป็นลบ ซึ่งจากรูปที่ 5.14 มีอยู่ 3 ตำแหน่งที่มีค่าเป็นลบ ดังนั้นเราจึงทำการปรับค่า ณ ตำแหน่งที่มีค่าเป็นลบนั้นให้มีค่าเป็นศูนย์ ดังรูปที่ 5.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะตีพิมพ์หรือสิ่งอื่น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.1103	0.0000	0.1212	0.1508	0.1244	0.1298
0.4716	0.3312	0.2203	0.3610	0.2506	0.2571
0.0236	0.2522	0.7387	0.2502	0.3143	0.0000
0.0000	0.0201	0.0000	0.0841	0.1034	0.0000
0.3506	0.1406	0.2178	0.0000	0.2605	0.2649
0.1284	0.2135	0.0000	0.0045	0.0000	0.4131

รูปที่ 5.15 แสดง PSF-support ขนาด 6×6 ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว

แล้วทำการหาค่า MSE. ใหม่ผลปรากฏว่า MSE. ใหม่มีค่าเท่ากับ 1.362 % จะเห็นได้ว่าค่า MSE. ใหม่ที่ได้นี้ให้ค่าที่ดีกว่าเดิมมาก แสดงว่า PSF-support ที่ปรับปรุงใหม่มีความเหมาะสมกว่า PSF-support เดิมที่ได้ในตอนแรก โดยแสดงผลการเปรียบเทียบขนาดของภาพที่นำมาใช้เป็นข้อมูลเข้า สามารถทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยลดลงได้ดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบ MSE. ของ PSF-support ขนาด 6×6 ที่เกิดจากขนาดภาพที่ต่างกัน

ขนาดภาพ	MSE. ของ PSF-support (%)
30×30	5.371
40×40	3.298
50×50	1.873
60×60	1.641

5.4.2 PSF-support ขนาด 8×8

สำหรับภาพทิวทัศน์นี้เป็นการทดลองความผิดเพี้ยนในลักษณะที่เป็นการเบลอเนื่องจากการโฟกัส โดยการจำลอง PSF-support ขนาด 8×8 ให้มีลักษณะคล้าย Gaussian function และใช้ภาพทิวทัศน์ขนาด 216×170 pixels แสดงภาพจริงและภาพเบลอดังรูป 5.11(b1) และ (b2) ตามลำดับ ซึ่งภาพทั้งสองนั้นจำลองให้มีลักษณะเป็นการถ่ายภาพในสภาวะแสงและความเร็วชัดเตอร์ที่ปกติ โดยภาพเบลอนั้นเกิดขึ้นจาก PSF-support ขนาด 8×8 ซึ่งมีรูปแบบดังรูปที่ 5.13b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่แนะนำให้ไปใช้ประโยชน์จากเอกสารนี้
ต่อมาทำการตัดบางส่วนของภาพในรูป 5.11(b1) เพื่อนำมาเป็นตัวแทนภาพจริง ($f_0(x,y)$) ไม่จำกัดอายุการใช้งาน อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ สำหรับการหา PSF-support ในการทดลอง สำหรับภาพในรูปที่ 5.11(b2) เลือกตรงตำแหน่งที่สมนัยกับบริเวณที่เลือกไว้ในรูป 5.11(b1) เพื่อเป็นตัวแทนของภาพเบลอ ($f_d(x,y)$) โดยภาพที่ตัดมาเพื่อทำ

การทดลองนั้นมีทั้งหมด 8 ขนาด คือ 30×30 , 40×40 , 50×50 , ..., 100×100 ซึ่งแสดงดังรูป 5.12 ในภาพที่ 2

ซึ่งค่าในแต่ละตำแหน่งและรูปแบบของ PSF-support ที่ได้จากขนาด 100×100 ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.16

0.0000	-0.085	-0.051	0.1331	0.1221	0.0983	0.0000	0.0000
-0.000	0.1178	0.1486	0.2612	0.2413	0.3231	0.1415	-0.000
0.1136	0.2534	0.3564	0.4311	0.4021	0.4679	0.2045	0.0000
0.1094	0.2243	0.3056	0.4904	0.6203	0.3906	0.2602	-0.064
-0.000	0.2387	0.3241	0.5212	0.7785	0.4318	0.3232	0.1184
-0.000	0.1218	0.3443	0.3178	0.2906	0.4230	0.3595	0.1921
0.0000	0.2503	0.2067	0.2584	0.2114	0.2584	0.1643	0.0000
0.0000	-0.000	-0.042	0.1632	0.1294	0.1266	0.0000	-0.000

รูปที่ 5.16 แสดง PSF-support ขนาด 8×8 ที่ได้จากการทดลองกับภาพขนาด 100×100

จาก PSF-support ที่ได้จากการทดลอง เมื่อเราลองมาคำนวณหา MSE. ของ PSF-support จากภาพขนาด 100×100 จะมีค่าเท่ากับ 2.361 % ต่อมาเมื่อเราทำการปรับปรุง PSF-support โดยการปรับค่าในตำแหน่งที่มีค่าเป็นลบให้เป็นศูนย์ แล้วทำการคำนวณค่า MSE. ของ PSF-support หลังปรับปรุงจะมีค่าเท่ากับ 2.013 % ซึ่งค่า MSE. ที่น้อยลงนี้แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมที่มีมากขึ้นของ PSF-support โดย PSF-support ใหม่แสดงในรูปที่ 5.17

0.0000	0.0000	0.0000	0.1331	0.1221	0.0983	0.0000	0.0000
0.0000	0.1178	0.1486	0.2612	0.2413	0.3231	0.1415	0.0000
0.1136	0.2534	0.3564	0.4311	0.4021	0.4679	0.2045	0.0000
0.1094	0.2243	0.3056	0.4904	0.6203	0.3906	0.2602	0.0000
0.0000	0.2387	0.3241	0.5212	0.7785	0.4318	0.3232	0.1184
0.0000	0.1218	0.3443	0.3178	0.2906	0.4230	0.3595	0.1921
0.0000	0.0000	0.2067	0.2584	0.2114	0.2584	0.1643	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.1632	0.1294	0.1266	0.0000	0.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่าในรูปแบบใดทั้งสิ้น ลึกซึ้งห้ามมิให้คัดลอกเพื่อจะได้อ่านจึงหวังว่าเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.17 แสดง PSF-support ขนาด 8×8 ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว

โดยแสดงผลการเปรียบเทียบขนาดของภาพที่นำมาใช้เป็นข้อมูลเข้าสามารถทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยลดลงได้ดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 แสดงการเปรียบเทียบ MSE. ของ PSF-support ขนาด 8×8 ที่เกิดจากขนาดภาพที่ต่างกัน

ขนาดภาพ	MSE. ของ PSF-support (%)
30×30	11.864
40×40	7.431
50×50	4.387
60×60	3.314
70×70	2.957
80×80	2.773
90×90	2.549
100×100	2.361

5.4.3 PSF-support ขนาด 10×10

สำหรับการทดลองนี้เป็นการทดลองกับภาพที่มีลักษณะของภาพที่แตกต่างไปจากการทดลองสองแบบแรก ซึ่งจะทำการจำลอง PSF-support ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และมีรูปแบบที่แตกต่างออกไปจากสองแบบแรก โดยภาพตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 5.11(c1) และ (c2)

ต่อมาทำการตัดบางส่วนของภาพในรูป 5.11(c1) เพื่อนำมาเป็นตัวแทนภาพจริง ($f_0(x,y)$) สำหรับการหา PSF-support ในการทดลอง สำหรับภาพในรูปที่ 5.11(c2) เลือกตรงตำแหน่งที่สมนัยกับบริเวณที่เลือกไว้ในรูป 5.11(c1) เพื่อเป็นตัวแทนของภาพเบลอ ($f_d(x,y)$) โดยภาพที่ตัดมาเพื่อทำการทดลองนั้นมีทั้งหมด 13 ขนาด คือ 30×30 , 40×40 , 50×50 , ..., 150×150 ซึ่งแสดงดังรูป 5.12 ในภาพที่ 3

ซึ่งค่าในแต่ละตำแหน่งและรูปแบบของ PSF-support ที่ได้จากภาพตัวอย่างขนาด 150×150 ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-0.000	0.0164	0.0185	0.0486	0.0854	0.1032	0.2103	0.2984	0.4032	0.5047
-0.048	0.0042	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.6521	0.5961	0.0000
-0.089	-0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3896	0.3536	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0164	0.7536	0.7045	-0.067	0.0000	0.0000
0.0000	-0.000	0.0742	0.0000	0.5031	0.4467	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.4467	0.8109	0.0000	0.0000	-0.000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.7031	0.7481	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.000
0.0000	0.3522	0.3954	-0.035	0.0000	0.0000	-0.000	0.0000	0.0000	0.0000
0.6075	0.6481	0.0261	0.0000	-0.000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.051	-0.072
0.4864	0.4037	0.3046	0.1948	0.0953	0.0884	0.0513	0.0204	0.0123	0.0124

รูปที่ 5.18 แสดง PSF-support ขนาด 10×10 ที่ได้จากการทดลองกับภาพขนาด 150×150

หลังจากที่ได้ PSF-support จากการทดลองมาแล้วก็นำมา convolution กับภาพต้นแบบเพื่อทำการเปรียบเทียบกับภาพเบลอที่จำลองแล้วทำการคำนวณค่า MSE. ของ PSF-support ที่ได้จากภาพขนาด 150×150 มีค่าเท่ากับ 3.876 % ต่อมาเมื่อเราทำการปรับปรุง PSF-support โดยการปรับค่าในตำแหน่งที่มีค่าเป็นลบให้เป็นศูนย์ แล้วทำการคำนวณค่า MSE. ของ PSF-support หลังปรับปรุงจะมีค่าเท่ากับ 3.432 % ซึ่งค่า MSE. ที่น้อยลงนี้แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมที่มีมากขึ้นของ PSF-support โดย PSF-support ใหม่แสดงในรูปที่ 5.19

0.0000	0.0164	0.0185	0.0486	0.0854	0.1032	0.2103	0.2984	0.4032	0.5047
0.0000	0.0042	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.6521	0.5961	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3896	0.3536	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0164	0.7536	0.7045	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0742	0.0000	0.5031	0.4467	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.4467	0.8109	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.7031	0.7481	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.3522	0.3954	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.6075	0.6481	0.0261	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.4864	0.4037	0.3046	0.1948	0.0953	0.0884	0.0513	0.0204	0.0123	0.0124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5.19 แสดง PSF-support ขนาด 10×10 ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว

โดยแสดงผลการเปรียบเทียบขนาดของภาพที่นำมาใช้เป็นข้อมูลเข้าสามารถทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยลดลงได้ดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบ MSE. ของ PSF-support ขนาด 10×10 ที่เกิดจากขนาดภาพที่ต่างกัน

ขนาดภาพ	MSE. ของ PSF-support (%)
30×30	13.416
40×40	10.364
50×50	7.844
60×60	5.289
70×70	4.987
80×80	4.635
90×90	4.482
100×100	4.355
110×110	4.271
120×120	4.141
130×130	4.008
140×140	3.992
150×150	3.876

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและปัญหาที่พบ

จากบทที่ 5 การทดลองในช่วงแรกเป็นการทดสอบและเตรียมความพร้อมสำหรับสภาวะและค้นหาตัวแปรต่างๆ ที่ทำให้โปรแกรมทำงานได้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ไม่ว่าจะเป็นการหาค่า Pc และ Pm หรือความเหมาะสมของการครอสโอเวอร์ที่การครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบ (Structured crossover) เหมาะกับความผิดพลาดที่เกิดจากการสั่นของกล้องหรือการเคลื่อนที่ของวัตถุ (Motion blur) ส่วนการครอสโอเวอร์ที่ไม่มีรูปแบบ (Unstructured crossover) เหมาะกับความผิดพลาดที่เกิดจากการโฟกัส (Gaussian blur) เมื่อเราได้ทราบข้อมูลเหล่านี้แล้ว การทดลองสำหรับการหาขนาดและรูปแบบของ PSF-support ทำได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ซึ่งจากการทดลองตอนที่ 5.5 สามารถสรุปได้ดังนี้

6.1 สรุปผลการทดลอง

1.) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ GA-CGM กับ CGM ถ้าพิจารณาถึงเปอร์เซ็นต์ MSE. ของ PSF-support จะเห็นได้ว่า GA-CGM มีความถูกต้องมากกว่าอย่างเห็นได้ชัด แต่ถ้าพิจารณาถึงจำนวนรอบในการประมวลผลก็จะเห็นว่า CGM มีประสิทธิภาพในการคำนวณที่ดีกว่า เนื่องจากว่า GA-CGM มีการกำหนดรูปแบบของ PSF-support โดยการใช้ GA ดังนั้นเมื่อมีจำนวนโครโมโซมยิ่งมากก็ยิ่งต้องใช้เวลาอีกด้วย แม้ว่าในแต่ละโครโมโซมจะใช้จำนวนรอบของการเรียกใช้ CGM น้อย (จำนวนตัวที่ไม่ทราบค่ามีจำนวนน้อย) แต่เมื่อรวมจำนวนรอบที่ใช้ของทุกโครโมโซมแล้วจะมีค่าสูงกว่าการใช้ CGM เพียงอย่างเดียวมาก เมื่อ PSF-support มีขนาดใหญ่ขึ้นความแตกต่างของจำนวนรอบที่ใช้ก็ยิ่งเห็นได้ชัด

2.) ขนาดของภาพที่เป็นข้อมูลเข้าก็มีความสำคัญเช่นเดียวกัน เพราะจากการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มขนาดของภาพที่เป็นข้อมูลเข้าให้มีขนาดใหญ่ขึ้น PSF-support ที่ได้มีค่าเปอร์เซ็นต์ MSE. ของ PSF-support ต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด และเมื่อ PSF-support มีขนาดใหญ่ขึ้นก็จำเป็นต้องใช้ภาพที่มีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย เพื่อเป็นข้อมูลที่มากพอในการคำนวณหาค่า PSF-support ได้อย่างถูกต้องยิ่งขึ้น แต่เมื่อภาพมีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะต้องใช้เวลาในการคำนวณมากขึ้นด้วย

3.) GA-CGM เหมาะสมกับความหลากหลายในรูปแบบของ PSF-support ดังแสดงให้เห็นในการทดลองที่ใช้ PSF-support ที่มีขนาดและรูปแบบแตกต่างกันไป โดยมี GA เป็น

ตัวกำหนดรูปแบบของ PSF-support และใช้ CGM ในการคำนวณค่าในตำแหน่งต่างๆ ที่สำคัญเหล่านั้น

- 4.) การปรับปรุง PSF-support เป็นการเปลี่ยนแปลงค่าบางตำแหน่งซึ่งเราคิดว่าไม่น่าจะเป็นไปได้ เพราะจากการศึกษาที่ผ่านมาในอดีตบอกให้รู้ว่า ค่าในแต่ละตำแหน่งของ PSF-support ไม่ควรจะมีค่าเป็นลบ ดังนั้นเราจึงทำการเปลี่ยนค่าเหล่านั้นให้มีค่าเป็นศูนย์ ผลที่ได้ก็คือ PSF-support ที่ปรับปรุงใหม่มีความเหมาะสมมากกว่าเดิม

6.2 ปัญหาที่พบ

- 1.) GA เป็นกระบวนการที่อาศัยหลักการทางสถิติและความน่าจะเป็น ซึ่งโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ต่างๆ สามารถเป็นไปได้ทั้งดีขึ้น แย่ลง หรือคงที่ ดังนั้น GA-CGM ในบางครั้งก็ทำงานได้ช้ากว่า CGM เพียงอย่างเดียว เพราะ GA นั้นเป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยข้อมูลในอดีตมาเป็นตัวแทนข้อมูลในรุ่นต่อไป โดยมีหลักว่าถ้าโครโมโซมในรุ่นพ่อแม่เป็น โครโมโซมที่ดีแล้ว โครโมโซมในรุ่นต่อไปก็มีโอกาสสูงที่จะเป็นโครโมโซมที่ดี แต่ถ้าโครโมโซมในรุ่นพ่อแม่เป็นโครโมโซมที่ไม่ดีแล้วก็ย่อมจะมีการพัฒนาการที่ช้ากว่าจะถูกพัฒนามาเป็นโครโมโซมที่ดีได้ ดังนั้นถ้าโครโมโซมที่เป็นตัวแทน PSF-support มีรูปแบบที่ไม่ดีแล้วการลู่เข้าสู่รูปแบบที่เหมาะสมของ PSF-support ก็จะช้า แต่จากการทดลองโดยเฉลี่ยแล้ว GA-CGM สามารถทำงานได้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า CGM เพียงอย่างเดียวในด้านของความความคลาดเคลื่อน แต่ GA-CGM นั้นจะต้องใช้จำนวนรอบในการคำนวณที่มากกว่า จึงขึ้นอยู่กับว่าเราต้องการผลแบบใด ถ้าต้องการความถูกต้องมากๆ ก็ควรใช้กระบวนการ GA-CGM แต่ถ้าต้องการความรวดเร็วในการประมวลผลกับและยอมรับได้กับความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นก็ใช้กระบวนการ CGM
- 2.) การที่จะทำให้ได้รูปแบบของ PSF-support ที่ดีและเหมาะสมที่สุด จำเป็นจะต้องเลือกภาพที่มีลักษณะสมนัยกันพอดี ซึ่งในความเป็นจริงนั้นทำได้ยากมาก เพราะในการทดลองเรารู้ขนาดของ PSF-support ว่าเป็นเท่าไรจึงทำให้รู้ได้ว่า ภาพเบลอที่เกิดจากการ convolution จะมีตำแหน่งที่สมนัยกัน ณ ส่วนใดของภาพ แล้วก็ทำการเลือกเฉพาะส่วนนั้นมาทำการทดลอง ทำให้ได้ PSF-support ที่เหมาะสม แต่โดยทั่วไปในสถานการณ์จริงเราไม่อาจรู้ได้ว่าภาพเบลอที่เราเมื่อยุ่่นั้นเกิดจาก PSF-support ที่มีขนาดเท่าไร ทำให้เราไม่สามารถหาค่าตำแหน่งที่สมนัยของภาพได้ ซึ่งมันก็จะส่งผลทำให้ PSF-support ที่คำนวณได้มีความผิดพลาดสูง แต่เราสามารถแก้ปัญหาได้ด้วยการกำหนดขนาดของ PSF-support ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อรองรับความสมนัยที่ผิดพลาดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ไม่สามารถนำไปทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

- 3.) เราไม่รู้ว่าภาพที่จะใช้ในการทดลองควรจะมีขนาดใหญ่เท่าไรจึงจะเหมาะสมกับขนาดของ PSF-support ที่กำหนด เพราะถ้าเราใช้ภาพที่มีขนาดเล็กเกินไป ข้อมูลที่ใช้ในการหาค่าของ PSF-support ก็จะน้อยเกินไปทำให้อาจได้ PSF-support ที่ไม่ถูกต้อง แต่ถ้าใช้ภาพที่มีขนาดใหญ่เกินไปแม้จะทำให้ได้ PSF-support ที่ถูกต้องยิ่งขึ้น แต่ก็ต้องเสียเวลาในการประมวลผลมากยิ่งขึ้นด้วย ซึ่งจะทำให้เสียเวลาไปเปล่าๆ
- 4.) กระบวนการเรียนรู้ที่น้อยเกินไปของ GA เนื่องจากในการทดลองนี้เราใช้เป็นแบบกระบวนการเชิงพันธุกรรมอย่างง่าย ซึ่งมีเพียงแค่การครอสโอเวอร์แบบหนึ่งจุด และการมิวเตชันเท่านั้น มันอาจเหมาะสมกับ PSF-support ที่มีขนาดเล็ก แต่ถ้า PSF-support มีขนาดใหญ่ขึ้น มันจะทำให้การลู่เข้าสู่ค่าที่เหมาะสมเป็นไปได้ช้ามาก

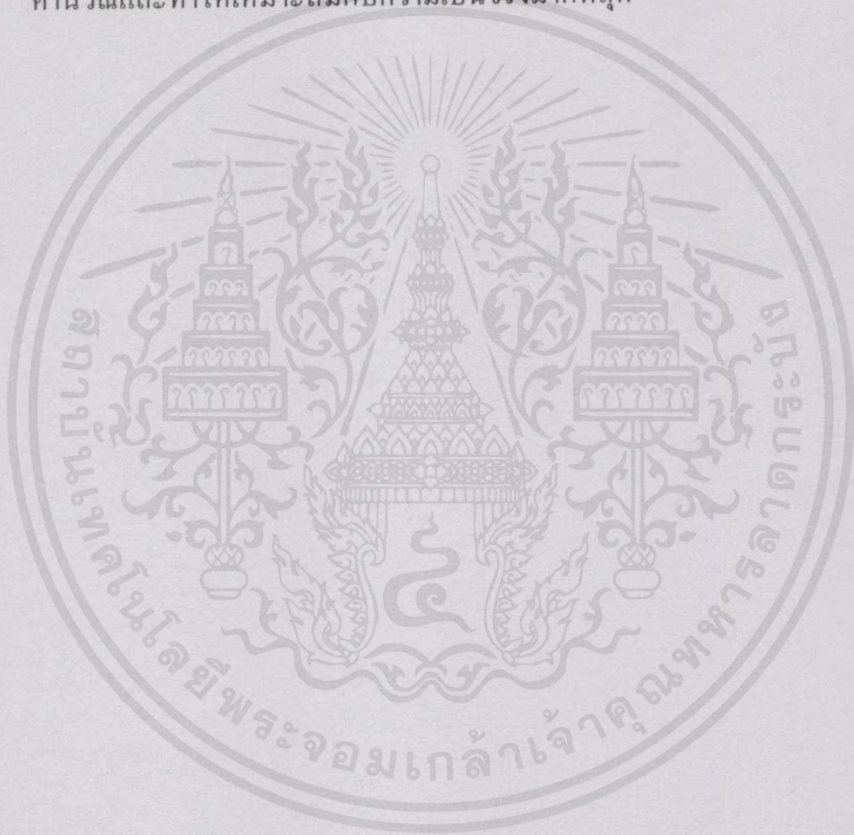
6.3 การพัฒนาในอนาคต

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่างานวิจัยนี้มีความสมบูรณ์ในระดับหนึ่ง ถ้าต้องการนำไปเพื่อให้สามารถใช้งานได้จริงจำเป็นต้องมีการพัฒนาบางสิ่งบางอย่างเพิ่มเติม ไม่ว่าจะเป็น

- 1.) การพัฒนาด้านกระบวนการเรียนรู้ของ GA ให้มีมากยิ่งขึ้น เพื่อความเหมาะสมกับ PSF-support ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เช่น ให้มีการครอสโอเวอร์มากกว่าหนึ่งจุด ให้มีการอินเวอร์ชัน และให้มีการรู้จำในแต่ละรุ่นของโครโมโซม (โดยดูว่าโครโมโซมในทุกๆ รุ่นที่เป็นโครโมโซมที่คืนนั้นจะต้องมีบิตนี้เสมอ สมมุติว่าเป็นบิตที่หนึ่ง ดังนั้นในรุ่นต่อไปบิตที่หนึ่งจะถูกเซตให้มีค่าเป็นหนึ่งเสมอ) การเพิ่มกระบวนการเหล่านี้จะทำให้สามารถลู่เข้าสู่ PSF-support ที่เหมาะสมได้เร็วยิ่งขึ้น
- 2.) เพิ่มกระบวนการกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise) เพราะในการทดลองนี้เป็นการทดลองที่เป็นการจำลองขึ้น โดยมีสมมุติฐานว่า ความผิดพลาดของภาพที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจาก PSF-support เพียงอย่างเดียว โดยไม่มีปัจจัยอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง เพื่อที่ว่า GA-CGM มีประสิทธิภาพที่ดีในการหารูปแบบ PSF-support ที่เหมาะสม แต่ในความเป็นจริงนั้น ความผิดพลาดของภาพไม่ได้เกิดขึ้นเพราะ PSF-support เพียงอย่างเดียว แต่ยังสามารถเกิดจากสัญญาณรบกวนอีกด้วย ดังนั้นเพื่อให้ได้ PSF-support ที่เหมาะสมที่สุด จำเป็นต้องมีวิธีการกำจัดสัญญาณรบกวนที่ดี
- 3.) งานวิจัยนี้สิ้นสุดที่การหาขนาดและรูปแบบ PSF-support เมื่อได้ PSF-support แล้วต้องนำ PSF-support นั้นมาผ่านกระบวนการกรองผกผัน (Inverse filtering) โดยกระบวนการที่เป็นที่นิยมในการทำ inverse filtering นั่นคือ Wiener filter ซึ่งถือเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพดีในระดับหนึ่ง ดังนั้นการพัฒนาต่อไปในอนาคต เพื่อให้กระบวนการ GA-CGM สามารถนำไปใช้งานได้จริงจึงต้องมีกระบวนการ inverse

filtering ที่ดีมีประสิทธิภาพ เพื่อให้โปรแกรมเชิงประยุกต์ (Application) เกิดประโยชน์สูงสุด

- 4.) สำหรับการค้นหาขนาดและรูปแบบของ PSF-support โดยใช้การครอสโอเวอร์ที่มีรูปแบบในงานวิจัยนี้มีข้อกำหนดคือว่า จุดกึ่งกลางของ PSF-support นั้นจะต้องเป็นจุดเริ่มต้นเสมอ นั่นหมายความว่าเรามีการกำหนดเงื่อนไขในการทดลอง แต่ในความเป็นจริงแล้ว ตำแหน่งจุดเริ่มต้นของ PSF-support อาจจะอยู่ที่ใดใน PSF-support ก็ได้ ขึ้นอยู่กับภาพที่ตัดมาทดลองว่ามีความสมนัยกันมากขนาดไหน ดังนั้นการพัฒนาต่อไปจึงอาจทำให้จุดเริ่มต้นอยู่ ณ ตำแหน่งใดของ PSF-support ก็ได้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการคำนวณและทำให้เหมาะสมกับความเป็นจริงมากที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] William H.Press , William T.Vetterling , Saul A.Tenkolsky and Brian P.Flannery; "Numerical recipes in C.", 2nd ed., Press Syndicate of University of Cambridge, chapter 10 and chapter 12, 1992.
- [2] David E. Goldberg ; " Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning." The University of Alabama, 1989.
- [3] กาญจน์ วงศ์วิภาพร ; "Automatic School Timetable Scheduling using Genetic Algorithm." สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 1998
- [4] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, "Digital Image Processing", University of Tennessee, 1993
- [5] A. Rosenfeld and A.C. Kak, Digital Picture Processing, 2nd Edition, Academic Press, New York, 1982.
- [6] K. Takazu, H. Sawai, S. Watanabe, and M. Yonayama, " Genetic algorithm applied to Bayesian image restoration," IEICT Trans., vol.J77-D-II, no.9, pp.1168-1776 (1994) in Japanese.
- [7] Tatturo Enokura, Yen-Wei Chen, and Zensho Nakao, "A Fast Image Algorithm for Image Restoration based on a Hybrid GA and SA," IEEE Press, pp. 891-894 (1999).
- [8] Holland, J. H., Genetic Algorithms, Scientific American, July 1992, pp. 44-50.
- [9] Stein, R. M., Real Artificial Life, BYTE, January 1991, pp. 289-298.
- [10] Wayner, P., Genetic Algorithms, BYTE, January 1991, pp. 361-368.
- [11] Davis, L., Handbook of Genetic Algorithms, Van Nostrand Reinhold, New York, 1991.
- [12] Davis, L., Steenstrup, M., Genetic Algorithms and Simulate Annealing : An Overview, Genetic Algorithms and Simulate Annealing, Morgan Kaufmann Publishers, Inc., Los Altos, CA, 1987, pp. 1-11.
- [13] Michalewicz, Z., Genetic Algorithms+Data Structures = Evolutionary Programs, Springer-Verlag, Berlin, 1992.
- [14] กัดคินี ยิมเรวัต, "การวิเคราะห์เชิงตัวเลข" , ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [15] Y.-W. Chen, Z. Nakao, K. Narakaki, X. Fang and S. Tamura : "Restoration of Gray images bases on a genetic algorithm with Laplacian constraint," Fuzzy Set and Systems, 103, pp.285-293 (1999).

เอกสารอ้างอิง

- [16] Yen-Wei Chen, and Zensho Nakao, and Xue Fang : "A Parallel Genetic Algorithm Based on the Island Model for Image Restoration," Neural Network for Signal Processing VI, Edited by S.Usui et al., IEEE Press, pp 109-118 (1996).
- [17] S. Vanakrairojn, S. Kondo, S.S. Makhanov : "A Hybrid Identification Scheme." The 1999 International Technical Conference on Circuits / Systems, Computers and Communications volume II.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

โดยขอบเขตของงานวิจัยนี้ได้สิ้นสุดที่การหาขนาดและรูปแบบ PSF-support ที่เหมาะสม แต่เพื่อเป็นการแสดงให้เห็นว่า PSF-support ที่ได้มานั้นสามารถนำไปใช้กับการปรับปรุงภาพได้ เรา จึงได้นำกระบวนการ inverse filtering อย่างง่ายมาทดสอบดู ซึ่งในที่นี้เลือกกระบวนการ Fast Fourier Transform เพราะเป็นกระบวนการที่ง่ายและไม่ยุ่งยาก โดยมีขั้นตอนดังนี้

จากสมการความผิดเพี้ยน

$$g(x, y) \equiv \iint_D f(x', y') h(x - x', y - y') dx' dy' + n$$

จะได้

$$G(u, v) = F(u, v)H(u, v)$$

เมื่อ $G(u, v)$ คือ การแปลงฟูเรียร์ของ $g(x, y)$

$F(u, v)$ คือ การแปลงฟูเรียร์ของ $f(x, y)$

$H(u, v)$ คือ การแปลงฟูเรียร์ของ $h(x, y)$

เพราะฉะนั้นจะได้

$$\hat{f}(u, v) = F^{-1}\left(\frac{G(u, v)}{H(u, v)}\right)$$



ภาพต้นแบบ



ภาพเบลอ



ภาพหลังการปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่กรมการโฆษณาเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

แสดงการพิสูจน์การหาอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของสมการฟังก์ชันความเหมาะสม (fitness function)

$$fdo_{ij} = fo_{ij} * PSF_{ij}$$

$$E = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{K-1} (fd_{ij} - fdo_{ij})^2$$

$$E = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N (fd_{ij}^2 - 2(fd_{ij})(fdo_{ij}) + (fdo_{ij})^2)$$

$$E = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N (fd_{ij})^2 - 2 \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N (fd_{ij})(fdo_{ij}) + \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N (fdo_{ij})^2$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial PSF_{ij}} = 0 & - 2 \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N (fd_{ij}) \left(\frac{\partial fdo_{ij}}{\partial u_{ij}} \right) \left(\frac{\partial u_{ij}}{\partial PSF_{ij}} \right) \\ & + 2 \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N (fdo_{ij}) \left(\frac{\partial fdo_{ij}}{\partial u_{ij}} \right) \left(\frac{\partial u_{ij}}{\partial PSF_{ij}} \right) = 0 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

สุรัชย์ คณินนฤมล, สุรสิทธิ์ วรรณไกรโรจน์, นพพร โชติกกำจร “การประมาณค่า PSF สำหรับการปรับปรุงภาพโดยใช้ GA-CGM”, วรสาร NECTEC ฉบับที่ 41 เดือนกรกฎาคม-สิงหาคม 2544.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน

นายสุรชัย คณันนฤมล

วัน เดือน ปีเกิด

วันอาทิตย์ที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2518

วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี

วิทยาศาสตร์บัณฑิตสาขาฟิสิกส์

วิทยาศาสตร์บัณฑิตสาขาสถิติประยุกต์

สถานที่สำเร็จการศึกษา

มหาวิทยาลัยรามคำแหง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

ปีที่สำเร็จการศึกษา

2540



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้