

การซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัลโดยใช้การจำแนกแท็กต์เจอร์
และระบบอาณานิคมมด

DIGITAL IMAGE WATERMARKING USING
TEXTURE CLASSIFICATION AND ANT COLONY SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

KMITL-2013-EN-D-018-074

การซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัลโดยใช้การจำแนกเท็กซ์เจอร์
และระบบอาณานิคมมด

DIGITAL IMAGE WATERMARKING USING
TEXTURE CLASSIFICATION AND ANT COLONY SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

KMITL-2013-EN-D-018-074

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIGITAL IMAGE WATERMARKING USING
TEXTURE CLASSIFICATION AND ANT COLONY SYSTEM



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2013

KMITL-2013-EN-D-018-074

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2013

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัลโดยใช้การจำแนกเท็กซ์เจอร์และระบบอาณานิคมมด
Thesis Title Digital Image Watermarking using Texture Classification and Ant Colony System
นักศึกษา นางกัญจน์ณิชา โภคอุดม
รหัสประจำตัว 48060006
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสวี
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2013-EN-D-018-074

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์	
ดร.ตุลยา ลิ้มปิติ	
รศ.ดร.สุรพันธุ์ ยิ้มมัน	
รศ.ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์	
รศ.ดร.ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสวี	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2556 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(ศาสตราจารย์ ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การชอนลายน้ำในภาพดิจิทัลโดยใช้การจำแนกเท็กซ์เจอร์และระบบอานานิคมมต
นักศึกษา	นางกัญจน์ณิชา โภคอุดม
รหัสประจำตัว	48060006
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2556
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการชอนลายน้ำในภาพดิจิทัลโดยใช้การจำแนกเท็กซ์เจอร์และระบบอานานิคมมต สำหรับการชอนลายน้ำในภาพถ่ายโดยใช้การแปลงโคไซน์แบบดีสครีต สิ่งที่ดีที่สุดในการชอนลายน้ำลงไปในตัวสัมประสิทธิ์ที่เลือก ควรขึ้นอยู่กับฟังก์ชันประกอบของภาพและการปรับสมดุลระหว่างความสามารถด้านการมองเห็นและความคงทนของลายน้ำ เพื่อจัดการกับฟังก์ชันประกอบของภาพ การจำแนกประเภทของบล็อกถูกนำมาประยุกต์ใช้กับแต่ละบล็อก DCT ขนาด 8x8 พิกเซลสำหรับแต่ละประเภทของบล็อก อัลกอริธึมของระบบอานานิคมมตได้ถูกออกแบบและพัฒนาเพื่อค้นหาความเหมาะสมระหว่างความสามารถด้านการมองเห็นและความคงทนของลายน้ำ ผลลัพธ์ที่ได้คือตำแหน่งของค่าสัมประสิทธิ์ความถี่และค่าพลังงานในการชอนลายน้ำที่เหมาะสมสำหรับแต่ละประเภทของบล็อก ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถให้ลายน้ำที่ไม่สามารถมองเห็นได้และมีความคงทนต่อการประมวลผลภาพในหลากหลายรูปแบบ ประสิทธิภาพของอัลกอริธึมที่นำเสนอได้นำมาทดลองเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เคยมีก่อนหน้านี้

Thesis	Digital Image Watermarking using Texture Classification and Ant Colony System
Student	Mrs. Kannicha Pokudom
Student ID.	48060006
Degree	Doctor of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2013
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Yuttapong Rangsanseri

ABSTRACT

This thesis proposes a digital image watermarking using texture classification and ant colony system. In DCT-based image watermarking, the optimal embedding of the watermark into some of the selected coefficients should depend both on the image content and the trade-off between watermark imperceptibility and watermark robustness. To deal with the image content, an image block classification was applied on each 8x8 DCT block. For each region type, Ant Colony System Algorithms were designed and developed to search for the optimal trade-off between watermark imperceptibility and watermark robustness. The resulting optimal frequency bands and embedding strength for watermark embedding were therefore dependent on the region type. The experimental results show that the proposed scheme yielded a watermark that was invisible and robust against various image manipulations. The effectiveness of this algorithm was also compared with those of previous studies.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ ด้วยการให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางในการทำวิจัย ตลอดจนการตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาจากอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ยุทธพงษ์ ริงสรณ์เสรี ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ของท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คณะผู้บริหาร มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย เป็นอย่างสูงที่พิจารณาให้ทุนการศึกษาระดับปริญญาเอกแก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สุรัชย์ ลีขาบัณฑิต และ รศ.จันทน์ เพชรานนท์ ที่กรุณาลงนามรับรองการขอรับทุนการศึกษาระดับปริญญาเอก

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการผู้พิจารณาบทความวิจัยฉบับเต็มของ Journal of Signal Processing ที่ช่วยให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขจุดบกพร่องของบทความวิจัยฉบับเต็ม และขอขอบพระคุณ คุณปรารณา กังสตาลย์ ผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษที่กรุณาตรวจสอบความถูกต้องของไวยากรณ์ภาษาอังกฤษของบทความวิจัยฉบับเต็มก่อนลงตีพิมพ์เผยแพร่

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ คณะกรรมการสอบวัดคุณสมบัติและคณะกรรมการสอบวิชาสัมมนา ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยจนสามารถสำเร็จเป็นงานวิจัยฉบับนี้ในที่สุด

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สมบัติ ทิมทรัพย์ คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ อ.พิมลอร ดันหัน ตลอดจน พี่ เพื่อน น้อง ชาว EAU ทุกท่าน ที่คอยเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือแก่ผู้วิจัยตลอดระยะเวลาการศึกษา

คุณค่าของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ เป็นผลให้ผู้วิจัยสามารถประยุกต์ความรู้เพื่อสร้างสรรค์งานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

กัญจน์ณิชา โภคอุดม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา	4
1.6 โครงร่างของวิทยานิพนธ์	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย	7
2.1 การซ้อนลายน้ำในภาพดิจิทัล	7
2.1.1 คุณลักษณะที่สำคัญของลายน้ำ	7
2.1.2 เทคนิคการซ้อนลายน้ำ	8
2.1.3 ขั้นตอนของการซ้อนลายน้ำ	9
2.1.4 การโจมตีลายน้ำ	10
2.1.5 การวัดคุณภาพของภาพที่ผ่านการซ้อนลายน้ำ	12
2.1.6 การวัดความคงทนของลายน้ำ	15
2.2 การแปลงโคไซน์แบบดีสครีต	15
2.2.1 การซ้อนลายน้ำด้วยเทคนิคการแปลงโคไซน์แบบดีสครีต	15
2.2.2 การกู้คืนลายน้ำด้วยเทคนิคการแปลงโคไซน์แบบดีสครีต	17
2.3 ระบบอาณานิคมมด	17
2.3.1 ความฉลาดแบบกลุ่มหรือฝูง	17
2.3.2 ระบบมด	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ปัญหาการค้นหาเส้นทางเดินของพนักงานขาย	19
2.4 ระบบมดสำหรับปัญหา TSP	20
2.4.1 การปรับปรุงค่าฟีโรโมน	20
2.4.2 กระบวนการตัดสินใจเลือกตำแหน่งถัดไป	21
2.5 ระบบอาณานิคมมดสำหรับปัญหา TSP	22
2.5.1 การปรับปรุงค่าฟีโรโมนเฉพาะบริเวณ	22
2.5.2 การปรับปรุงค่าฟีโรโมนครอบคลุมทั้งระบบ	23
2.5.3 กระบวนการตัดสินใจเลือกตำแหน่งถัดไป	23
บทที่ 3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและแนวความคิดในการวิจัย	25
3.1 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
3.2 การซ่อนลายน้ำด้วยวิธีของ Shieh	26
3.2.1 การซ่อนลายน้ำ	26
3.2.2 การกู้คืนลายน้ำ	28
3.2.3 การค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำ	28
3.3 การซ่อนลายน้ำด้วยวิธีของ Wei	30
3.3.1 การซ่อนลายน้ำ	30
3.3.2 การกู้คืนลายน้ำ	31
3.3.3 การค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำ	31
3.4 แนวความคิดในการวิจัย	33
บทที่ 4 ขั้นตอนและวิธีการออกแบบ	35
4.1 การซ่อนลายน้ำ	36
4.2 การกู้คืนลายน้ำ	39
4.3 การค้นหาตำแหน่งและค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำด้วยระบบอาณานิคมมด	40
4.3.1 โครงสร้างของระบบอาณานิคมมด	41
4.3.2 ขั้นตอนการทำงานของระบบอาณานิคมมด	42
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	47
5.1 ขอบเขตของการทดลอง	47
5.1.1 ข้อมูลภาพที่นำมาทดสอบ	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2	โครงสร้างของระบบอาณานิคมมด	47
5.1.3	วิธีการที่นำมาเปรียบเทียบ	47
5.1.4	ค่าพารามิเตอร์ที่ทำการค้นหา	49
5.1.5	รูปแบบการโจมตีภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ	49
5.1.6	ดัชนีที่ใช้วัดประสิทธิภาพของวิธีการซ่อนลายน้ำ	49
5.2	การทดลองซ่อนลายน้ำด้วยวิธีการจำแนกเท็กซ์เจอร์และระบบอาณานิคมมด	50
5.2.1	ผลการจำแนกประเภทของบล็อก DCT	50
5.2.2	ผลการค้นหาตำแหน่งและค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำ	50
5.2.3	ผลการซ่อนและกู้คืนลายน้ำ	53
5.2.4	ผลการทดสอบการโจมตีภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ	53
5.3	ผลการทดลองซ่อนลายน้ำด้วยวิธีของ Shieh	63
5.3.1	ผลการค้นหาตำแหน่งในการซ่อนลายน้ำ	63
5.3.2	ผลการซ่อนและกู้คืนลายน้ำ	66
5.3.3	ผลการทดสอบการโจมตีภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ	68
5.4	ผลการทดลองซ่อนลายน้ำด้วยวิธีของ Wei	76
5.4.1	ผลการค้นหาตำแหน่งในการซ่อนลายน้ำ	76
5.4.2	ผลการซ่อนและกู้คืนลายน้ำ	79
5.4.3	ผลการทดสอบการโจมตีภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ	81
5.5	ผลการทดลองปรับเปลี่ยนจำนวนมดของวิธีที่นำเสนอ	88
5.6	การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองของวิธีต่างๆ	89
5.7	การวิเคราะห์ค่าพลังงานของภาพ	93
บทที่ 6 บทสรุป		96
เอกสารอ้างอิง		98
ภาคผนวก ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและได้รับการตีพิมพ์		101
ประวัติผู้เขียน		102

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.1 ตำแหน่งและค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำจากการค้นหาของระบบอาณานิคมมด	50
5.2 ค่า f , MSSIM, NC1 (LPF), NC2 (MF) และ NC3 (JPEG) ในรอบการทำงานที่ 1, 50, 100, 150 และ 200 ของระบบอาณานิคมมด	52
5.3 ตำแหน่งในการซ่อนลายน้ำจากการค้นหาของกระบวนการทางพันธุศาสตร์ (วิธีของ Shieh)	64
5.4 ค่า f , PSNR, NC1 (LPF), NC2 (MF) และ NC3 (JPEG) ในรอบการทำงานที่ 1, 50, 100, 150 และ 200 ของกระบวนการทางพันธุศาสตร์ตามวิธีของ Shieh	65
5.5 ตำแหน่งในการซ่อนลายน้ำจากการค้นหาของกระบวนการทางพันธุศาสตร์ (วิธีของ Wei)	77
5.6 ค่า f , PSNR, NC1 (LPF), NC2 (MF) และ NC3 (JPEG) ในรอบการทำงานที่ 1, 50, 100, 150 และ 200 ของกระบวนการทางพันธุศาสตร์ตามวิธีของ Wei	78
5.7 ผลการทำงานของระบบอาณานิคมมด จากการปรับเปลี่ยนจำนวนมด (ภาพ Lena)	88
5.8 การเปรียบเทียบคุณภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำของวิธีต่างๆ	89
5.9 การเปรียบเทียบคุณภาพความคงทนของลายน้ำของวิธีต่างๆ (ภาพ Lena)	90
5.10 การเปรียบเทียบคุณภาพความคงทนของลายน้ำของวิธีต่างๆ (ภาพ Peppers)	91
5.11 การเปรียบเทียบคุณภาพความคงทนของลายน้ำของวิธีต่างๆ (ภาพ Boat)	91
5.12 การเปรียบเทียบคุณภาพความคงทนของลายน้ำของวิธีต่างๆ (ภาพ Airplane)	91
5.13 การเปรียบเทียบคุณภาพความคงทนของลายน้ำของวิธีต่างๆ (ภาพ Mandrill)	92
5.14 การเปรียบเทียบเวลาในการค้นหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของวิธีต่างๆ	92

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความคงทน ความสามารถในการมองเห็นและความจุของลายน้ำ	8
2.2 ขั้นตอนของการซ่อนลายน้ำ	9
2.3 ขั้นตอนของการกู้คืนลายน้ำที่ใช้ภาพต้นฉบับในการกู้คืนลายน้ำ	10
2.4 การเรียงลำดับของสัมประสิทธิ์ DCT ในรูปแบบซิกแซกสแกน	16
2.5 การค้นหาเส้นทางของมด	19
2.6 กราฟของปัญหา TSP	19
2.7 กราฟของปัญหา TSP จำนวน 6 เมือง	22
2.8 อัลกอริธึมของระบบอาณานิคมมด	24
3.1 การจัดเรียงค่าสัมประสิทธิ์ DCT แบบซิกแซกสแกน	27
3.2 ขั้นตอนของการกู้คืนลายน้ำ	28
3.3 ขั้นตอนการทำงานของ GA	29
3.4 การค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำตามวิธีของ Shieh	30
3.5 การค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำตามวิธีของ Wei	32
4.1 ขั้นตอนของการซ่อนลายน้ำ	36
4.2 การจัดเรียงค่าสัมประสิทธิ์ DCT แบบซิกแซกสแกน	37
4.3 ขั้นตอนของการกู้คืนลายน้ำ	39
4.4 โครงสร้างของระบบอาณานิคมมด	41
4.5 ขั้นตอนการทำงานของระบบอาณานิคมมดสำหรับการหาตำแหน่งและค่าพลังงานที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำ	46
5.1 ภาพดิจิทัลต้นฉบับขนาด 256x256 พิกเซล	48
5.2 ภาพลายน้ำต้นฉบับ ขนาด 64x64 พิกเซล	48
5.3 ผลการจำแนกประเภทของบล็อก DCT	51
5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรอบการทำงานของระบบอาณานิคมมดกับค่าเป้าหมายของวิธีที่นำเสนอ	53
5.5 ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำของวิธีที่นำเสนอ ภาพ Lena	54
5.6 ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำของวิธีที่นำเสนอ ภาพ Peppers	54
5.7 ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำของวิธีที่นำเสนอ ภาพ Boat	55
5.8 ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำของวิธีที่นำเสนอ ภาพ Airplane	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ VIII เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.9 ภาพที่ผ่านการซ้อนลายน้ําของวิธีที่นําเสนอ ภาพ Mandrill	55
5.10 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 3x3 ของวิธีที่นําเสนอ	56
5.11 ลายน้ําที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 3x3 ของวิธีที่นําเสนอ	56
5.12 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มีพื้นฐานขนาด 3x3 ของวิธีที่นําเสนอ	57
5.13 ลายน้ําที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มีพื้นฐานขนาด 3x3 ของวิธีที่นําเสนอ	57
5.14 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 5x5 ของวิธีที่นําเสนอ	58
5.15 ลายน้ําที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 3x3 ของวิธีที่นําเสนอ	58
5.16 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มีพื้นฐานขนาด 5x5 ของวิธีที่นําเสนอ	59
5.17 ลายน้ําที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มีพื้นฐานขนาด 5x5 ของวิธีที่นําเสนอ	59
5.18 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยการตัดภาพ 25% ของวิธีที่นําเสนอ	60
5.19 ลายน้ําที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยการตัดภาพ 25% ของวิธีที่นําเสนอ	60
5.20 ภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการบีบอัด 70% ของวิธีที่นําเสนอ	61
5.21 ลายน้ําที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการบีบอัด 70% ของวิธีที่นําเสนอ	61
5.22 พัฒนาการของลายน้ําที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ของวิธีที่นําเสนอ (ภาพ Lena)	62
5.23 พัฒนาการของลายน้ําที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ของวิธีที่นําเสนอ (ภาพ Peppers)	62
5.24 พัฒนาการของลายน้ําที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ของวิธีที่นําเสนอ (ภาพ Boat)	62
5.25 พัฒนาการของลายน้ําที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ของวิธีที่นําเสนอ (ภาพ Airplane)	63
5.26 พัฒนาการของลายน้ําที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ของวิธีที่นําเสนอ (ภาพ Mandrill)	63
5.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรอบการทำงานของกระบวนการทางพันธุศาสตร์กับค่าความเหมาะสมตามวิธีของ Shieh	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.28 ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำตามวิธีของ Shieh ภาพ Lena	66
5.29 ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำตามวิธีของ Shieh ภาพ Peppers	66
5.30 ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำตามวิธีของ Shieh ภาพ Boat	67
5.31 ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำตามวิธีของ Shieh ภาพ Airplane	67
5.32 ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำตามวิธีของ Shieh ภาพ Mandrill	68
5.33 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 3x3 ตามวิธีของ Shieh	69
5.34 ลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 3x3 ตามวิธีของ Shieh	69
5.35 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มีพื้นฐานขนาด 3x3 ตามวิธีของ Shieh	70
5.36 ลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มีพื้นฐานขนาด 3x3 ตามวิธีของ Shieh	70
5.37 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 5x5 ตามวิธีของ Shieh	71
5.38 ลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 3x3 ตามวิธีของ Shieh	71
5.39 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มีพื้นฐานขนาด 5x5 ตามวิธีของ Shieh	72
5.40 ลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มีพื้นฐานขนาด 5x5 ตามวิธีของ Shieh	72
5.41 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยการตัดภาพ 25% ตามวิธีของ Shieh	73
5.42 ลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยการตัดภาพ 25% ตามวิธีของ Shieh	73
5.43 ภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการบีบอัด 70% ตามวิธีของ Shieh	74
5.44 ลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการ บีบอัด 70% ตามวิธีของ Shieh	74
5.45 พัฒนาการของลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้ คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ตามวิธีของ Shieh (ภาพ Lena)	75
5.46 พัฒนาการของลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้ คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ตามวิธีของ Shieh (ภาพ Peppers)	75
5.47 พัฒนาการของลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้ คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ตามวิธีของ Shieh (ภาพ Boat)	75
5.48 พัฒนาการของลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้ คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ตามวิธีของ Shieh (ภาพ Airplane)	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.49 พัฒนาการของลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้ คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ตามวิธีของ Shieh (ภาพ Mandrill)	76
5.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรอบการทำงานของกระบวนการทางพันธุศาสตร์กับ ค่าความเหมาะสมตามวิธีของ Wei	77
5.51 ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำตามวิธีของ Wei ภาพ Lena	79
5.52 ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำตามวิธีของ Wei ภาพ Peppers	79
5.53 ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำตามวิธีของ Wei ภาพ Boat	80
5.54 ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำตามวิธีของ Wei ภาพ Airplane	80
5.55 ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำตามวิธีของ Wei ภาพ Mandrill	80
5.56 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 3x3 ตามวิธีของ Wei	81
5.57 ลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 3x3 ตามวิธีของ Wei	82
5.58 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มัลติฐานขนาด 3x3 ตามวิธีของ Shieh	82
5.59 ลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มัลติฐานขนาด 3x3 ตามวิธีของ Wei	82
5.60 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 5x5 ตามวิธีของ Shieh	83
5.61 ลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 3x3 ตามวิธีของ Wei	83
5.62 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มัลติฐานขนาด 5x5 ตามวิธีของ Shieh	84
5.63 ลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มัลติฐานขนาด 5x5 ตามวิธีของ Wei	84
5.64 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยการตัดภาพ 25% ตามวิธีของ Shieh	85
5.65 ลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยการตัดภาพ 25% ตามวิธีของ Shieh	85
5.66 ภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการบีบอัด 70% ตามวิธีของ Wei	86
5.67 ลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการ บีบอัด 70% ตามวิธีของ Wei	86
5.68 พัฒนาการของลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้ คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ตามวิธีของ Wei (ภาพ Lena)	87
5.69 พัฒนาการของลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้ คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ตามวิธีของ Wei (ภาพ Peppers)	87

5.70 พัฒนาการของลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้ คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ตามวิธีของ Wei (ภาพ Boat)	87
5.71 พัฒนาการของลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้ คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ตามวิธีของ Wei (ภาพ Airplane)	88
5.72 พัฒนาการของลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้ คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ตามวิธีของ Wei (ภาพ Mandrill)	88
5.73 ฮีสโตแกรมแสดงความถี่ของค่า E และค่า T ของภาพ Lena	93
5.74 ฮีสโตแกรมแสดงความถี่ของค่า E และค่า T ของภาพ Peppers	94
5.75 ฮีสโตแกรมแสดงความถี่ของค่า E และค่า T ของภาพ Boat	94
5.76 ฮีสโตแกรมแสดงความถี่ของค่า E และค่า T ของภาพ Airplane	95
5.77 ฮีสโตแกรมแสดงความถี่ของค่า E และค่า T ของภาพ Mandrill	95



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และช่องทางในการติดต่อสื่อสารมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ข้อมูลข่าวสารได้ถูกพัฒนาให้อยู่ในรูปแบบดิจิทัล เพื่อให้สนองต่อการใช้งานผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์สื่อสารสมัยใหม่ ช่องทางหนึ่งที่คนทั่วโลกนิยมใช้เป็นช่องทางในการส่งข้อมูลข่าวสารถึงกัน คือ อินเทอร์เน็ต ปัจจุบันเราสามารถใช้อินเทอร์เน็ตส่งข้อมูลข่าวสารถึงกันได้อย่างง่ายดายและรวดเร็วแม้จะอยู่คนละซีกโลก นอกเหนือจากความรวดเร็ว สะดวกสบาย ในการส่งข้อมูลข่าวสารผ่านอินเทอร์เน็ต ในทางกลับกันการที่อินเทอร์เน็ตเป็นระบบเปิดที่มีผู้ใช้งานเป็นจำนวนมาก ข้อมูลข่าวสารที่ส่งและเผยแพร่ผ่านอินเทอร์เน็ตจึงมีโอกาสที่จะถูกเข้าถึงโดยบุคคลทั่วไป และถูกคัดลอก ดัดแปลงแก้ไข หรือถูกนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้เป็นเจ้าของได้โดยง่าย หลายๆ หน่วยงานในภาครัฐที่เกี่ยวข้องจึงได้พยายามคิดค้นวิธีป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาดังกล่าวขึ้น วิธีการหนึ่งก็คือการใช้ตัวบทกฎหมาย แต่ก็สามารถแก้ปัญหาได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น เนื่องจากยังมีช่องโหว่สำคัญหลายประการที่เอื้อต่อการกระทำผิดกฎหมายอย่างมาก จึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาวิธีการอื่นๆ เพื่อใช้ในการป้องกันและแก้ไขปัญหา

การซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัล (Digital Image Watermarking) เป็นอีกหนึ่งหนทางในการแก้ไขปัญหาการละเมิดลิขสิทธิ์ของข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัล โดยการซ่อนข้อมูลลับที่เรียกว่าสัญญาณลายน้ำ (Watermark) เข้าไปในตัวภาพถ่ายดิจิทัลก่อนที่จะทำการเผยแพร่ออกไป ลายน้ำนั้นสามารถทำการเปลี่ยนแปลงแก้ไขหรือกู้คืนได้โดยผู้ที่เป็นเจ้าของหรือผู้ที่ได้รับอนุญาตเท่านั้น กรณีที่พบว่ามีการเผยแพร่ภาพดังกล่าวบนอินเทอร์เน็ตหรือมีการดัดแปลงแก้ไขภาพโดยไม่ได้รับอนุญาต ผู้เป็นเจ้าของสามารถตรวจสอบเพื่อพิสูจน์ความเป็นเจ้าของภาพดังกล่าวได้ ทั้งนี้ข้อมูลลายน้ำที่นำไปซ่อนนั้นจะต้องไม่แปลคุณภาพด้านการมองเห็นของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ และลายน้ำในภาพจะต้องมีความคงทนต่อการถูกดัดแปลงแก้ไขภาพจากการโจมตีภาพในรูปแบบต่างๆ

เทคนิคที่ได้รับความนิยมในการซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัล คือ เทคนิคที่ทำในโดเมนความถี่ (Frequency Domain) เนื่องจากมีงานวิจัยที่พิสูจน์ให้เห็นว่าการซ่อนลายน้ำในโดเมนความถี่เป็นเทคนิคที่ให้ความคงทนต่อการโจมตีด้วยสัญญาณรบกวน การประมวลผลภาพ และการบีบอัดข้อมูลภาพได้ดี [1]-[3] ทั้งนี้เทคนิคของการซ่อนลายน้ำในโดเมนความถี่นั้นมีอยู่ด้วยกันหลายเทคนิค เช่น เทคนิคที่ใช้การแปลงแบบเคแอลที (Karhunen-Loeve Transform: KLT) เทคนิคที่ใช้การแปลงฟูเรียร์แบบดีสครีต (Discrete Fourier Transform: DFT) เทคนิคที่ใช้การแปลงโคไซน์แบบดีสครีต

(Discrete Cosine Transform: DCT) และเทคนิคที่ใช้การแปลงเวฟเล็ทแบบดีสครีต (Discrete

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wavelet Transform: DWT) [4] ซึ่งมีงานวิจัยที่พิสูจน์ให้เห็นว่า KLT มีการคำนวณที่ซับซ้อน [5] ในขณะที่ DFT ต้องการการเข้ารหัสทั้งขนาดของภาพและข้อมูลเฟส DWT ไม่นิยมนำมาใช้ในการบีบอัดข้อมูลภาพตามมาตรฐาน JPEG ในขณะที่ DCT ให้การบีบอัดพลังงานสำหรับภาพโดยทั่วไปได้ดีกว่า DFT และด้วยเหตุนี้มันจึงเป็นที่นิยมต่อการนำมาใช้เช่นเดียวกับที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการบีบอัดข้อมูลภาพด้วยมาตรฐาน JPEG [6]

การซ่อนลายน้ำบนการแปลงโคซายน์แบบดีสครีตมีข้อสำคัญที่ต้องคำนึงถึง คือ การซ่อนลายน้ำในค่าสัมประสิทธิ์ความถี่ต่ำจะให้ลายน้ำที่มีความคงทน แต่ก็จะไปลดคุณภาพด้านการมองเห็นของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ ในขณะที่การซ่อนลายน้ำในค่าสัมประสิทธิ์ความถี่สูงจะให้คุณภาพด้านการมองเห็นของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำในระดับที่น่าพอใจ แต่ลายน้ำที่ได้จะไม่คงทนต่อการถูกโจมตีในรูปแบบต่างๆ ในทำนองเดียวกัน การซ่อนลายน้ำด้วยค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำสูงจะไปลดคุณภาพด้านการมองเห็นของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ แต่ก็จะให้ลายน้ำที่มีความคงทน ในขณะที่ถ้าซ่อนลายน้ำด้วยค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำต่ำ จะได้คุณภาพด้านการมองเห็นของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำที่ดี แต่ลายน้ำที่ได้ไม่มีคงทนต่อการโจมตีในรูปแบบต่างๆ ด้วยเหตุนี้การพัฒนาวิธีการซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัลเพื่อให้ได้เทคนิคที่ให้ผลดีทั้งในด้านคุณภาพการมองเห็นของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำและความคงทนของลายน้ำที่จะถูกดัดแปลงแก้ไขจึงยังคงเป็นที่ต้องการ

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษาของงานวิจัยนี้ คือ ต้องการสร้างอัลกอริธึมสำหรับการซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัล ที่ให้คุณภาพด้านการมองเห็นของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำที่ดี และลายน้ำในภาพถ่ายต้องมีความคงทนต่อการดัดแปลงแก้ไขภาพ โดยอัลกอริธึมการซ่อนลายน้ำดังกล่าวเป็นเทคนิคที่ทำบนการแปลงโคซายน์แบบดีสครีตที่มีการนำระบบอาณาจักรคณิตศาสตร์มาทำการค้นหาตำแหน่งของค่าสัมประสิทธิ์ความถี่และค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำที่เหมาะสมกับแต่ละประเภทของบล็อก DCT ที่ผ่านการจำแนกเท็กซ์เจอร์ออกเป็น 2 ประเภท โดยผู้ใช้งานต้องสามารถควบคุมน้ำหนักของดัชนีคุณภาพทั้ง 2 อันได้แก่ คุณภาพด้านการมองเห็นของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำและคุณภาพความคงทนของลายน้ำได้โดยง่าย ผลการทดลองของอัลกอริธึมที่นำเสนอจะต้องถูกเปรียบเทียบกับผลการทดลองการซ่อนลายน้ำด้วยวิธีอื่นๆ ที่มีการนำอัลกอริธึมอื่นที่ไม่ใช่ระบบอาณาจักรคณิตศาสตร์มาทำการค้นหาตำแหน่งของค่าสัมประสิทธิ์ความถี่ในการซ่อนลายน้ำ โดยไม่มีการจำแนกเท็กซ์เจอร์ สุดท้ายจะต้องมีการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่ออธิบายถึงเหตุผลของปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการทดลอง

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เป็นที่ทราบกันดีว่าการค้นหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัล ถือเป็นปัญหาการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดปัญหาหนึ่ง ดังนั้นจึงสามารถนำเอาเทคนิคการหาคำตอบที่เหมาะสมด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) มาใช้ในการแก้ปัญหาได้ ที่ผ่านมามีงานวิจัยเพียงส่วนน้อยที่นำเอากระบวนการทางพันธุศาสตร์ (Genetic Algorithm: GA) มาใช้ค้นหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำ แต่กระบวนการทางพันธุศาสตร์มีข้อด้อยตรงที่ เมื่อรอบการทำงานเพิ่มมากขึ้นโอกาสที่จะได้คำตอบใหม่ๆ เป็นไปได้โดยยาก เนื่องจากกระบวนการทางพันธุศาสตร์มีหลักการในการพัฒนาคำตอบใหม่จากการแลกเปลี่ยนบางส่วนของคำตอบเก่าในรอบก่อนหน้า คำตอบในรอบถัดไปจึงมักจะซ้ำกับคำตอบในรอบก่อนหน้า

ในงานวิจัย [7] มีการพิสูจน์ให้เห็นว่าระบบอาณานิคมมด (Ant Colony System: ACS) เป็นเทคนิคด้านปัญญาประดิษฐ์ที่ให้ประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบได้ดีกว่ากระบวนการทางพันธุศาสตร์ เนื่องจากในแต่ละรอบการทำงานของระบบอาณานิคมมีการปรับปรุงค่าฟีโรโมนเฉพาะบริเวณ (Local Pheromone Update) เพื่อลดโอกาสของคำตอบที่เคยถูกเลือกแล้วให้มีความน่าสนใจน้อยลงในการที่จะถูกเลือกเป็นคำตอบใหม่ จึงทำให้มีโอกาสที่จะค้นพบคำตอบใหม่ที่แตกต่างกันออกไปได้ และมีความน่าจะเป็นที่จะพบคำตอบซึ่งถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นมากกว่าที่มีอยู่ ในขณะที่ก็ยังมีกลไกของการปรับปรุงค่าฟีโรโมนครอบคลุมทั้งระบบ (Global Pheromone Update) เพื่อรักษาคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละรอบการทำงานไว้ นอกจากนี้ในการนำเอากระบวนการทางพันธุศาสตร์มาทำการค้นหาตำแหน่งของการซ่อนลายน้ำ ในงานวิจัยที่ผ่านมา (ดูรายละเอียดในบทที่ 3 หัวข้อ 3.1) พบว่าไม่ได้คำนึงถึงการค้นหาค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำที่เหมาะสม ซึ่งเป็นหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำและความคงทนของลายน้ำ นอกจากนี้ตำแหน่งของการซ่อนลายน้ำที่กระบวนการทางพันธุศาสตร์ค้นหาก็เป็นตำแหน่งเดียวกันกับที่ใช้ในทุกบล็อก DCT ทั่วๆ ที่ตำแหน่งที่เหมาะสมควรมีความแตกต่างกันไปตามองค์ประกอบของภาพที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าดัชนีที่นำมาใช้ในการวัดคุณภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำเป็นดัชนี PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) ที่ไม่สามารถตอบสนองต่อระบบการมองเห็นของมนุษย์ (Human Visual System: HVS) ได้ดีเท่ากับดัชนี MSSIM (Mean Structural Similarity) ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใหม่ [8]

ด้วยเหตุนี้สมมติฐานของการศึกษาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือ การนำเอาการจำแนกเท็กซ์เจอร์มาใช้ในการจำแนกประเภทของบล็อก DCT ของภาพต้นฉบับ และนำระบบอาณานิคมมดมาทำการค้นหาตำแหน่งของค่าสัมประสิทธิ์ความถี่และค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำที่เหมาะสมกับแต่ละประเภทของบล็อก DCT โดยใช้ดัชนี MSSIM เป็นดัชนีในการวัดคุณภาพด้านการมองเห็นของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำแทนการใช้ดัชนี PSNR สามารถนำมาซึ่งผลของการซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัลที่ให้คุณภาพด้านการมองเห็นของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำที่ดี ในขณะที่สามารถรักษาความคงทนของ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

- ขอบเขตของการวิจัย สามารถอธิบายเป็นข้อๆ ได้ดังต่อไปนี้
- ก. สร้างอัลกอริธึมของการซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัลโดยใช้เทคนิคการแปลงโคไซน์แบบดิสครีต ที่นำเอาการจำแนกเท็กซ์เจอร์มาทำงานร่วมกับระบบอาณานิคม
 - ข. อัลกอริธึมที่นำเสนอจะต้องสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำและเพิ่มประสิทธิภาพด้านความคงทนของลายน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้า
 - ค. จำนวนของมดที่ใช้ในการทดลองมีจำนวน 10 ตัว
 - ง. จำนวนรอบสูงสุดของการทำงานของระบบอาณานิคมมด คือ 200 รอบ
 - จ. ภาพต้นฉบับที่ใช้ในการทดลองของวิธีที่นำเสนอและวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ เป็นภาพมาตรฐานที่นิยมใช้ในการทดลองด้านการประมวลผลภาพจำนวน 5 ภาพ ได้แก่ ภาพ Lena ภาพ Peppers ภาพ Boat ภาพ Airplane และภาพ Mandrill โดยมีขนาดของภาพที่ใช้ในการทดลอง 256x256 พิกเซล
 - ฉ. ลายน้ำที่ใช้ในการทดลองเป็นภาพไบนารีขนาด 64x64 พิกเซล และใช้เป็นภาพเดียวกันตลอดทุกการทดลอง
 - ช. ในขณะที่ระบบอาณานิคมมดและกระบวนการทางพันธุศาสตร์กำลังทำงาน รูปแบบของการโจมตีภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำที่ใช้เพื่อวัดหาดัชนีวัดความคงทนของลายน้ำ (Normalized Cross Correlation: NC) เพื่อนำมาประกอบการคำนวณค่าเป้าหมายของมดในระบบอาณานิคมมดและค่าความเหมาะสมของโครโมโซมในกระบวนการทางพันธุศาสตร์ มีจำนวน 3 รูปแบบ คือ ตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน ตัวกรองความถี่มัลติแบนด์ และการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการบีบอัด 70%
 - ซ. วิธีที่นำเสนอใช้ดัชนี MSSIM (Mean Structural Similarity) เป็นดัชนีวัดคุณภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ ส่วนวิธีที่นำมาเปรียบเทียบใช้ดัชนี PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) เป็นตัววัดในขณะที่กระบวนการทางพันธุศาสตร์กำลังทำงาน แต่เมื่อกระบวนการทางพันธุศาสตร์ทำงานเสร็จสิ้น ในการทดสอบผลการทดลองจะใช้ดัชนี MSSIM เป็นดัชนีวัดคุณภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

ขั้นตอนของการศึกษาของงานวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ สามารถอธิบายได้ดังนี้

ในเบื้องต้น จะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับหลักการและทฤษฎีพื้นฐานของการซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัล (Digital Image Watermarking) คุณสมบัติที่สำคัญของลายน้ำ เทคนิคและขั้นตอนของการซ่อนลายน้ำที่ไม่เปิดเผย รูปแบบต่างๆ ของการโจมตีลายน้ำ พัฒนาการของดัชนีต่างๆ ที่ใช้ในการวัดคุณภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ และดัชนีที่วัดความคงทนของลายน้ำ จากนั้นจะศึกษาในเรื่องของการซ่อนและการกู้คืนลายน้ำด้วยเทคนิคการแปลงโคไซน์แบบดิสครีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีของระบบอาณานิคมมด (Ant Colony System: ACS) จะเริ่มศึกษาในส่วนของระบบมด (Ant System: AS) ซึ่งเป็นทฤษฎีเริ่มต้นก่อนที่จะพัฒนาประสิทธิภาพในการปรับปรุงค่าฟีโรโมน อันได้แก่ การปรับปรุงค่าฟีโรโมนเฉพาะบริเวณ (Local Pheromone Update) และการปรับปรุงค่าฟีโรโมนครอบคลุมทั้งระบบ (Global Pheromone Update) จนกลายเป็นระบบอาณานิคมมดในที่สุด โดยจะศึกษาผ่านการจำลองการแก้ปัญหาการค้นหาเส้นทางเดินของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP)

จากนั้นจะเป็นการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีผู้นำเสนอมาแล้ว และลงลึกในรายละเอียดของงานวิจัยที่ต้องการนำมาใช้ในการเปรียบเทียบผลการทดลอง จากนั้นจึงทำการออกแบบแนวความคิดพื้นฐานของวิธีการซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัลที่ต้องการนำเสนอ พร้อมทั้งหาเหตุผลเพื่อสนับสนุนแนวความคิดดังกล่าวนี้ ขั้นตอนต่อไปจึงเริ่มออกแบบอัลกอริธึมโดยละเอียดของวิธีการที่ต้องการนำเสนอ อันได้แก่อัลกอริธึมในส่วนของ การซ่อนลายน้ำ การกู้คืนลายน้ำ ออกแบบโครงสร้าง และการทำงานของระบบอาณานิคมมดเพื่อใช้ในการค้นหาตำแหน่งและค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำ

ในภาคปฏิบัติ ผู้วิจัยได้ทำการสร้างโปรแกรมจำลองการทำงานของอัลกอริธึมที่ได้ออกแบบไว้ จากนั้นนำไปทดสอบการซ่อนลายน้ำในภาพมาตรฐานจำนวน 5 ภาพ อันได้แก่ ภาพ Lena ภาพ Peppers ภาพ Boat ภาพ Airplane และภาพ Mandrill จากผลการทดสอบที่ได้พบว่าวิธีการซ่อนลายน้ำที่นำเสนอให้ผลในด้านคุณภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำและความคงทนของลายน้ำดีกว่าผลการทดสอบที่ได้จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ โดยวิธีที่นำเสนอนี้ผู้ใช้งานสามารถควบคุมค่าน้ำหนักของดัชนีวัดคุณภาพทั้งสอง อันได้แก่ ดัชนีวัดคุณภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ MSSIM (Mean Structural Similarity) และดัชนีวัดความคงทนของลายน้ำ NC (Normalized Cross Correlation) ได้ตามความต้องการโดยง่าย

1.6 โครงร่างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ประกอบไปด้วยบทต่างๆ มีรายละเอียดดังนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึง ความเป็นมาของวิทยานิพนธ์ วัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนของการศึกษา

บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย กล่าวถึง ทฤษฎีพื้นฐานของการซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัลอันประกอบไปด้วย คุณลักษณะที่สำคัญของลายน้ำ เทคนิคตลอดจนขั้นตอนของการซ่อนลายน้ำที่ไม่เปิดเผย การโจมตีลายน้ำ การวัดคุณภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ การวัดความคงทนของลายน้ำ ทฤษฎีของการซ่อนและการกู้คืนลายน้ำด้วยเทคนิคการแปลงโคไซน์แบบดิสครีต ทฤษฎีพื้นฐานของระบบอาณานิคมมด ซึ่งประกอบไปด้วย ความฉลาดแบบกลุ่มหรือฝูง ระบบมด ระบบอาณานิคมมด ปัญหาการค้นหาเส้นทางเดินของพนักงานขาย ระบบมดสำหรับปัญหาการค้นหาเส้นทางเดินของพนักงานขาย และระบบอาณานิคมมดสำหรับปัญหาการค้นหาเส้นทางเดินของพนักงานขาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึง การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วิธีการชอนลายน้ำที่นำมาเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองที่ได้จากวิธีที่นำเสนอจำนวน 2 วิธี โดยกล่าวถึงรายละเอียดของวิธีการชอนลายน้ำ การกู้คืนลายน้ำ และการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการชอนลายน้ำด้วยกระบวนการทางพันธุศาสตร์ จากนั้นเป็นการนำเสนอแนวความคิดของวิธีการชอนลายน้ำที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้

บทที่ 4 ขั้นตอนและวิธีการออกแบบ กล่าวถึง รายละเอียดของอัลกอริธึมที่นำเสนอ ได้แก่ วิธีการชอนลายน้ำ การกู้คืนลายน้ำ และการค้นหาตำแหน่งและค่าพลังงานในการชอนลายน้ำด้วยระบบอานานิคมมด โดยกล่าวถึงการออกแบบโครงสร้างของระบบอานานิคมมด และขั้นตอนการทำงานของระบบอานานิคมมด

บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง กล่าวถึง การทดลองและทดสอบการชอนลายน้ำในภาพดิจิทัลตามวิธีที่นำเสนอโดยละเอียด รวมถึงผลการทดลองของวิธีการชอนลายน้ำวิธีอื่นที่นำมาเปรียบเทียบ ซึ่งการทดลองทำโดยเขียนโปรแกรมจำลองการทำงาน และนำไปทดสอบการชอนและกู้คืนลายน้ำกับภาพมาตรฐานจำนวน 5 ภาพ ผลที่ได้จากการทดลองและทดสอบจัดแสดงอยู่ในรูปของกราฟ ตารางและภาพ โดยในหัวข้อสุดท้ายเป็นการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองทั้งหมด

บทที่ 6 บทสรุป เป็นการสรุปผลที่ได้จากการทดลองและทดสอบการชอนลายน้ำในภาพดิจิทัลโดยใช้การจำแนกเท็กซ์เจอร์และการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

บทที่ 2

ทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ต้องการนำเสนอวิธีการซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัลโดยใช้การจำแนกเท็กซ์เจอร์และระบบอาณานิคมมด ซึ่งเป็นวิธีการซ่อนลายน้ำบนการแปลงโคซายน์แบบดิสครีตที่นำระบบอาณานิคมมดมาทำการค้นหาค่าเหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการซ่อนลายน้ำ รายละเอียดที่จะกล่าวถึงในบทนี้เป็นการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของการซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัล การแปลงแบบดิสครีต และระบบอาณานิคมมด เพื่อนำไปสู่การอธิบายหลักการทํางานของวิธีการซ่อนลายน้ำที่จะนำเสนอต่อไป

2.1 การซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัล

การซ่อนลายน้ำดิจิทัลเป็นวิธีการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ของข้อมูลภาพดิจิทัล ซึ่งกระทำโดยการซ่อนหรือแทรกข้อมูลลายน้ำเข้าไปในตัวข้อมูลภาพก่อนที่จะทำการเผยแพร่ภาพดังกล่าวออกไป โดยการเปลี่ยนแปลงแก้ไขหรือกู้คืนลายน้ำสามารถทำได้โดยผู้ที่เป็นเจ้าของหรือผู้ที่ได้รับอนุญาตเท่านั้น

2.1.1 คุณลักษณะที่สำคัญของลายน้ำ

การซ่อนลายน้ำลงในภาพต้นฉบับต้องคำนึงถึงคุณลักษณะที่สำคัญ 3 ประการ ได้แก่ ความคงทน (Robustness) ความสามารถด้านการมองเห็น (Visibility) และความจุของลายน้ำ (Capacity) แสดงดังรูปที่ 2. 1

1. ความคงทน (Robustness)

ความคงทน หมายถึง ลายน้ำที่แทรกเข้าไปต้องยากต่อการถูกกำจัดหรือทำลาย และต้องมีความคงทนต่อการถูกโจมตีหรือถูกดัดแปลงแก้ไข ทั้งนี้รวมถึงการบีบอัดข้อมูลเพื่อให้ไฟล์ภาพมีขนาดเล็กลง และถึงแม้ว่าจะถูกกระทำจนส่งผลให้ลายน้ำบางส่วนสูญหายไปแต่ลายน้ำส่วนที่คงอยู่จะต้องมีจำนวนที่มากและชัดเจนพอที่จะยืนยันถึงความเป็นเจ้าของที่แน่นอนได้

2. ความสามารถด้านการมองเห็น (Visibility)

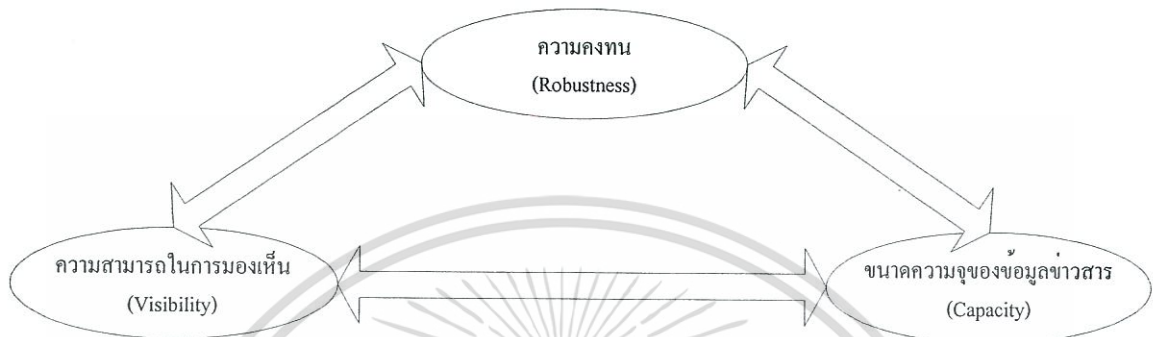
ความสามารถด้านการมองเห็น หมายถึง ลายน้ำที่แทรกเข้าไปต้องไม่ไปลดคุณภาพของภาพต้นฉบับที่ถูกแทรกลายน้ำ กล่าวคือ เมื่อนำภาพภายหลังการแทรกลายน้ำมาเปรียบเทียบกับภาพก่อนแทรกลายน้ำ ต้องไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างระหว่างกันได้

3. ความจุของลายน้ำ (Capacity)

ความจุของลายน้ำ หมายถึง ปริมาณของลายน้ำที่ถูกแทรกเข้าไปในภาพถ่าย ต้องมีปริมาณมากพอต่อความเสี่ยงของลายน้ำที่จะเสียหายอันเนื่องมาจากการถูกโจมตี ปริมาณลายน้ำที่ใส่เข้าไปถ้า

น้อยเกินไปจะส่งผลให้เกิดความเสี่ยงที่ลายน้ำจะถูกทำลายจนไม่สามารถกู้คืนกลับมาได้ ซึ่งด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะของลายน้ำทั้ง 3 ประการต่างมีความสัมพันธ์ระหว่างกัน กล่าวคือ ถ้าต้องการลายน้ำที่มีความคงทนต่อการถูกโจมตี ก็อาจจะต้องเพิ่มปริมาณของลายน้ำ ซึ่งส่งผลให้ไปลดคุณภาพด้านการมองเห็นของภาพที่ผ่านการแทรกลายน้ำ ในการออกแบบอัลกอริทึมของการซ่อนลายน้ำเพื่อนำมาใช้งานได้อย่างเหมาะสม จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะที่สำคัญทั้ง 3 ส่วนนี้



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความคงทน ความสามารถในการมองเห็นและความจุของลายน้ำ

2.1.2 เทคนิคการซ่อนลายน้ำ

การซ่อนลายน้ำที่ไม่เปิดเผยมีอยู่ด้วยกันหลากหลายวิธี แต่เราสามารถจำแนกประเภทของการซ่อนลายน้ำที่ไม่เปิดเผย ออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ เทคนิคที่ทำในโดเมนสเปเชียล (Spatial Domain) และ เทคนิคที่ทำในโดเมนความถี่ (Frequency Domain)

การซ่อนลายน้ำในโดเมนสเปเชียล เป็นเทคนิคที่ค่าพิกเซลของภาพถ่ายจะถูกดัดแปลงแก้ไขโดยตรงตามข้อมูลลายน้ำที่ใส่เข้าไป ข้อมูลลายน้ำที่ถูกฝังด้วยวิธีนี้จะคงทนต่อการโจมตีเชิงเรขาคณิต เช่น การหมุนภาพ การตัดภาพ แต่จะไม่คงทนต่อการโจมตีเชิงสัญญาณ เช่น การกรองสัญญาณ และการบีบอัดข้อมูลภาพ ซึ่งถือเป็นจุดบอดที่สำคัญ เนื่องจากเป็นที่ทราบกันดีว่าการบีบอัดข้อมูลภาพเป็นกระบวนการที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในการนำมาใช้เพื่อลดขนาดของข้อมูลภาพที่ต้องการเผยแพร่หรือส่งต่อบนสื่อออนไลน์

การซ่อนลายน้ำในโดเมนความถี่ เป็นเทคนิคที่ค่าพิกเซลของภาพจะต้องถูกแปลงด้วยสมการการแปลงทางคณิตศาสตร์ เช่น DCT (Discrete Cosine Transform) DWT (Discrete Wavelet Transform) DMT (Discrete Multi-wavelet Transform) ให้เป็นค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ก่อนที่จะทำการแทรกลายน้ำลงไป โดยภายหลังการแทรกลายน้ำจะต้องทำการแปลงกลับจึงจะได้ภาพที่ผ่านการแทรกลายน้ำออกมา วิธีการนี้ผ่านการพิสูจน์ในงานวิจัยหลายชิ้นว่าให้ลายน้ำที่มีความคงทนต่อการโจมตีเชิงสัญญาณ เช่น การกรองสัญญาณความถี่สูง การกรองสัญญาณความถี่ต่ำ และคงทนต่อการบีบอัดข้อมูลภาพมากกว่าวิธีการแทรกลายน้ำบนโดเมนสเปเชียล

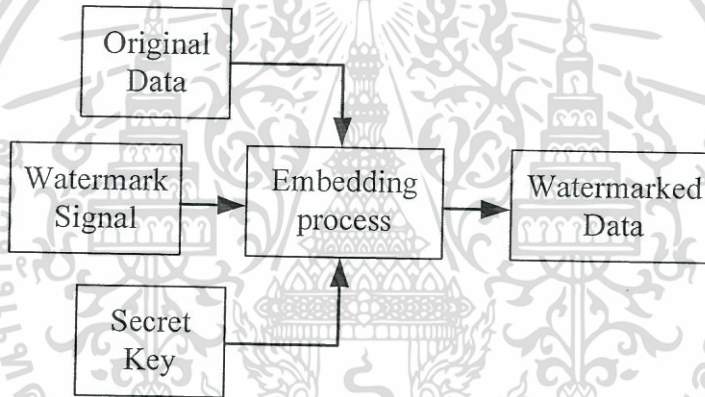
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ขั้นตอนของการซ่อนลายน้ำ

การซ่อนลายน้ำไม่ว่าจะเป็นวิธีที่ทำบนโดเมนสเปเชียลหรือบนโดเมนความถี่ล้วนประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ไป ที่เหมือนกัน 2 ขั้นตอน คือ การแทรกลายน้ำ (Watermark Embedding) และการกู้คืนลายน้ำ (Watermark Extraction)

1. การซ่อนลายน้ำ (Watermark Embedding)

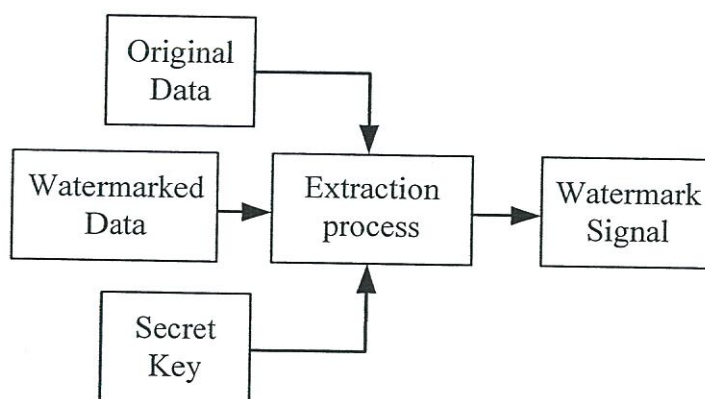
การซ่อนลายน้ำ เป็นขั้นตอนของการใส่สัญญาณลายน้ำลงไปบนภาพต้นฉบับ โดยอาจมีการเข้ารหัสสัญญาณลายน้ำที่ใส่เข้าไป ซึ่งจะมีกุญแจลับ (Secret key) ที่ใช้ในการเข้ารหัส โดยมีเพียงผู้ที่ถือกุญแจลับนี้เท่านั้นที่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขสัญญาณลายน้ำดังกล่าวได้ ข้อมูลเข้าของขั้นตอนการแทรกลายน้ำดิจิทัล ประกอบไปด้วย ข้อมูลหรือภาพต้นฉบับ (Original Data) สัญญาณลายน้ำ (Watermark Signal) และรหัสลับ (Secret Key) ส่วนข้อมูลออกที่ได้ คือ ข้อมูลหรือภาพดิจิทัลที่ผ่านการแทรกลายน้ำ (Watermarked Data) รูปที่ 2.2 แสดงขั้นตอนของการซ่อนลายน้ำ



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนของการซ่อนลายน้ำ

2. การกู้คืนลายน้ำ (Watermark Extraction)

การกู้คืนลายน้ำ สามารถจำแนกออกเป็น 2 วิธี คือ วิธีที่ต้องใช้ภาพต้นฉบับในการกู้คืนลายน้ำ (Blind Method) และวิธีที่ไม่ต้องใช้ข้อมูลภาพต้นฉบับในการกู้คืนลายน้ำ (Non-Blind Method) ข้อมูลเข้าของขั้นตอนการกู้คืนลายน้ำประกอบไปด้วย ภาพดิจิทัลที่ผ่านการแทรกลายน้ำ (Watermarked Data) ข้อมูลหรือภาพต้นฉบับ (Original Data) และรหัสลับ (Secret Key) ส่วนข้อมูลออกที่ได้ คือ สัญญาณลายน้ำ (Watermark Signal) รูปที่ 2.3 แสดงขั้นตอนของการกู้คืนลายน้ำที่ต้องใช้ภาพต้นฉบับในการกู้คืนลาย



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนของการกู้คืนลายน้ำที่ใช้ภาพต้นฉบับในการกู้คืนลายน้ำ

2.1.4 การโจมตีลายน้ำ

การโจมตีลายน้ำ คือ การทำให้ข้อมูลลายน้ำซึ่งถูกซ่อนในภาพเกิดความเสียหาย โดยอาจเป็นการกระทำโดยตั้งใจหรือไม่ได้ตั้งใจ รวมไปถึงการประมวลผลสัญญาณภาพ ซึ่งทำให้ข้อมูลลายน้ำสูญหายไปบางส่วน การโจมตีลายน้ำที่พบเห็นได้บ่อย มีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบใหญ่ๆ ดังนี้

1. การบีบอัดแบบ JPEG

อัลกอริธึม JPEG จะทำการกำจัดส่วนที่มองเห็นได้ที่ไม่สัมพันธ์ในภาพเพื่อลดขนาดของไฟล์ภาพให้เล็กลง จัดเป็นอัลกอริธึมการบีบอัดที่นิยมใช้กับภาพมากที่สุด เป็นการโจมตีที่นิยมใช้ในการส่งข้อมูลภาพบนสื่อออนไลน์ การโจมตีนี้จึงเป็นตัวทดสอบที่ดีในการทดสอบความคงทนของลายน้ำลายน้ำที่ถูกซ่อนควรมีความยืดหยุ่นกับระดับการบีบอัด ซึ่งระดับการบีบอัดจะถูกควบคุมโดยแฟกเตอร์คุณภาพ เช่น 100, 90, 80, 70, ..., 10% ยิ่งแฟกเตอร์คุณภาพน้อยภาพจะถูกบีบอัดมากส่งผลให้ขนาดของไฟล์ของภาพน้อยลงตามไปด้วย ลายน้ำจึงมีโอกาสถูกทำลายมากขึ้น

2. การโจมตีเชิงเรขาคณิต

การโจมตีเชิงเรขาคณิต เป็นการโจมตีภาพที่ต้องการเปลี่ยนลักษณะของภาพ ได้แก่

- การลด/เพิ่มขนาดของภาพ (Resizing)

การลด/เพิ่มขนาดภาพ เป็นการลดหรือเพิ่มจำนวนพิกเซลของภาพ ซึ่งส่งผลกระทบต่ออัลกอริธึมการซ่อนลายน้ำในตำแหน่งที่ตายตัว ทำให้ตำแหน่งที่ เคยระบุไว้คลาดเคลื่อนจนไม่สามารถตรวจหาลายน้ำได้

- การตัดบางส่วนของภาพ (Cropping)

การตัดบางส่วนของภาพ จะส่งผลโดยตรงกับอัลกอริธึมการแทรกลายน้ำที่มีการกระจายลายน้ำใส่ลงไปทั่วทั้งภาพ การตัดบางส่วนของภาพออกไปจะทำให้ลายน้ำบางส่วนขาดหายไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การคุ้มครองของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (Translatation) เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าหากมีการเคลื่อนย้ายบางส่วนของภาพไปไว้ยังตำแหน่งอื่น การใช้อัลกอริธึมการแทรกกลายน้ำลงในตำแหน่งที่ตายตัวเมื่อถูกโจมตีจะส่งผลให้ลายน้ำที่ตรวจหามาได้วางสลับตำแหน่ง

- การหมุนภาพ (Rotation)

การหมุนภาพส่งผลกระทบต่อ การแทรกกลายน้ำคล้ายกับกรณีของการลด/เพิ่มขนาดของภาพ

- การกลับด้านของภาพ (Flipping)

การสลับด้านซ้ายขวาของภาพ จะมีผลกระทบกับอัลกอริธึมที่แทรกกลายน้ำลงในตำแหน่งที่ตายตัว เช่นเดียวกับการเคลื่อนย้ายภาพ

3. การโจมตีเชิงสัญญาณ

การโจมตีเชิงสัญญาณมีหลายประเภท ได้แก่

- การปรับความสว่างและความแตกต่างระหว่างความสว่างและความมืดของภาพ (Brightness and Contrast Enhancement)

โดยทั่วไปแล้วการโจมตีประเภทนี้ไม่ส่งผลกระทบต่อ การตรวจหาลายน้ำในทางตรงกลับกันมักนิยมนำมาใช้ก่อนการตรวจหาลายน้ำเพื่อให้ภาพที่ต้องการตรวจหาลายน้ำมีความสว่างและความแตกต่างระหว่างความสว่างและความมืดของภาพใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ในการตรวจหาลายน้ำที่ดีกว่า

- การปรับความคมชัด การทำให้เลือน การกรองแบบเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น (Sharpening, Blurring, Linear and Non Linear Filtering)

การโจมตีประเภทนี้ เมื่อกระทำแล้วจะไปลดคุณภาพด้านการมองเห็นของภาพเป็นอย่างมาก และเมื่อกระทำซ้ำๆ อาจส่งผลให้ลายน้ำที่ใส่มีค่าเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ลายน้ำที่กู้คืนมามีความผิดพลาด

- การเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบคอรีเลทและแบบไม่เป็นคอรีเลท (Addition of Correlated or Uncorrelated Noise)

เป็นการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปในภาพ ซึ่งส่งผลกระทบต่อลายน้ำและภาพในลักษณะที่คล้ายคลึงกับการปรับความคมชัด การทำให้เลือน การกรองแบบเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น

- การแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัลและจากดิจิทัลเป็นอนาล็อก

เช่น การพิมพ์ภาพ การสแกนภาพ เป็นการแปลงสัญญาณระหว่างดิจิทัลและอนาล็อก ซึ่งแม้จะทำการแปลงกลับค่าพิกเซลของภาพก็จะต้องผิดเพี้ยนไป และส่งผลกระทบต่อลายน้ำที่ซ่อนอยู่ในภาพ

2.1.5 การวัดคุณภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ

การวัดคุณภาพด้านการมองเห็นของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ เป็นการตรวจสอบความเหมือนกันระหว่างภาพดิจิทัลต้นฉบับและภาพที่ถูกซ่อนลายน้ำ โดยมีวิธีการวัดหรือดัชนีที่นิยมใช้วัดคุณภาพด้านการมองเห็นของภาพที่ผ่านการแทรกลายน้ำ ดังนี้

1. การวัดด้วยสายตา

การวัดคุณภาพด้านการมองเห็นของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ โดยใช้สายตาของผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องมาทำการตัดสินคุณภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ จัดเป็นวิธีการพื้นฐานแต่ให้ผลที่น่าเชื่อถือมาก นอกจากการใช้สายตาของผู้ใช้ธรรมดาเป็นผู้วัดแล้วยังสามารถใช้สายตาของผู้เชี่ยวชาญที่มีความสามารถในการสังเกตข้อบกพร่องเล็กๆ น้อยๆ ที่บุคคลทั่วไปอาจมองข้าม วิธีการวัดสามารถใช้กฎเกณฑ์ต่างๆ เช่น ให้ผู้ทดสอบมองภาพแล้วระบุระดับคุณภาพ โดยอาจมีชุดภาพมาตรฐานที่มีระดับคะแนนระบุไว้เพื่ออ้างอิง ระดับคุณภาพสามารถแสดงได้ทั้งระดับความเหมือนและระดับความแตกต่าง อีกวิธีหนึ่งคือการใช้ผู้ทดสอบเรียงลำดับคุณภาพของภาพ โดยให้เรียงลำดับของภาพทดสอบตามคุณภาพที่เห็น ผู้ทดสอบจะตัดสินใจในลักษณะเปรียบเทียบว่าดีกว่าหรือแย่กว่า

2. การวัดด้วยค่า PSNR

ในการหาค่าความผิดพลาด นิยมใช้ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error, MSE) ถ้ามีค่าน้อยแสดงว่าภาพมีความผิดเพี้ยนจากภาพต้นฉบับน้อย เราสามารถหาค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยของข้อมูลภาพขนาด $M \times N$ ได้ดังนี้

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [x(i, j) - x'(i, j)]^2 \quad (2.1)$$

โดยที่

M	คือ	จำนวนพิกเซลตามความกว้างของภาพ
N	คือ	จำนวนพิกเซลตามความสูงของภาพ
$x(i, j)$	คือ	ค่าของพิกเซลที่ตำแหน่ง (i, j) ของภาพต้นแบบ
$x'(i, j)$	คือ	ค่าของพิกเซลที่ตำแหน่ง (i, j) ของภาพที่ซ่อนลายน้ำ

ตัววัดที่แสดงถึงคุณภาพของสัญญาณที่ได้ภายหลังการประมวลผลที่สำคัญ ได้แก่ PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) ซึ่งเป็นตัววัดที่นิยมใช้กันมาช้านาน และนักวิจัยจำนวนมากยังคงเลือกใช้จนถึงปัจจุบัน แม้จะทราบกันดีว่า บ่อยครั้งค่าที่คำนวณได้จาก PSNR จะไม่สะท้อนคุณภาพที่แท้จริงของภาพที่เรามองเห็น ถ้า PSNR ที่มีค่ามากจะแสดงถึงคุณภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำว่ามีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมาก โดยทั่วไปแล้วค่า PSNR ที่ยอมรับได้สำหรับการนำภาพไปใช้อยู่ที่ 30 dB ขึ้นไป [9] PSNR สามารถคำนวณได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$PSNR = 10 \log \frac{peak^2}{MSE} \quad (dB) \quad (2.2)$$

โดยที่ $peak$ คือค่าสูงสุดของขอบเขตข้อมูล สำหรับภาพที่มีพิกเซลแทนด้วยขนาดข้อมูล n บิต จะมีจำนวนระดับความเข้มของสีเทา (Gray Scale) เท่ากับ 2^n จะได้ว่า

$$PSNR = 10 \log \frac{(2^n - 1)^2}{MSE} \quad (dB) \quad (2.3)$$

ดังนั้นภาพขนาด 8 บิต หรือมีระดับความเข้มเท่ากับ 256 ระดับ จะได้ว่า

$$PSNR = 10 \log \frac{255^2}{MSE} \quad (dB) \quad (2.4)$$

3. การวัดด้วยค่า UQI

UQI (Universal Quality Index) เป็นดัชนีที่ใช้วัดคุณภาพการมองเห็นของภาพที่นำเสนอในปี 2002 [10] โดยในงานวิจัย [10] ได้แสดงให้เห็นว่ามีหลายกรณีที่ PSNR ไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างภาพ 2 ภาพได้ แต่ UQI สามารถทำได้ นอกจากนั้น UQI ถูกพัฒนาให้สามารถตอบสนองต่อระบบการมองเห็นของมนุษย์ (Human Visual System) สมการของ UQI เป็นดังสมการที่ (2.5) และ (2.6) โดยสมการที่ (2.6) จะประกอบไปด้วย 3 พจน์ พจน์แรกแสดงการสูญเสียความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกเซลของภาพทั้ง 2 ภาพ (Loss of Correlation) พจน์ที่สองแสดงการบิดเบือนของแสงเงา (Luminance Distortion) และพจน์สุดท้ายแสดงการบิดเบือนความแตกต่างระหว่างความสว่างและความมืด (Contrast Distortion) ทั้งนี้ค่า UQI ที่คำนวณได้จะมีค่าอยู่ในช่วง [-1, 1] โดยค่าที่ดีที่สุดที่แสดงความเหมือนกันมากของภาพทั้งสองภาพมีค่าเท่ากับ 1

$$UQI = \frac{1}{S} \sum_{j=1}^S Q_j \quad (2.5)$$

เมื่อ

$$Q = \frac{\sigma_{xx'}}{\sigma_x \sigma_{x'}} \cdot \frac{2\bar{xx}'}{(\bar{x})^2 + (\bar{x}')^2} \cdot \frac{2\sigma_x \sigma_{x'}}{\sigma_x^2 + \sigma_{x'}^2} \quad (2.6)$$

โดยที่

$$\bar{x} = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R x_i, \quad \bar{x}' = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R x'_i$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{R-1} \sum_{i=1}^R (x_i - \bar{x})^2, \quad \sigma_{x'}^2 = \frac{1}{R-1} \sum_{i=1}^R (x'_i - \bar{x}')^2$$

$$\sigma_{xx'} = \frac{1}{R-1} \sum_{i=1}^R (x_i - \bar{x})(x'_i - \bar{x}')$$

$x = \{x_i | i=1, 2, \dots, R\}$ เป็นค่าพิกเซลในกรอบ ขนาด 8×8 ของภาพต้นฉบับ

$x' = \{x'_i | i=1, 2, \dots, R\}$ เป็นค่าพิกเซลในกรอบ ขนาด 8×8 ของภาพที่ซ่อนลายน้ำ

S คือ จำนวนครั้งของการเลื่อนกรอบขนาด 8×8 โดยเลื่อนครั้งละ 1 พิกเซล จากด้านซ้ายไปขวาและจากบนลงล่างจนครบทั้งภาพ

R มีค่าเท่ากับ 64

4. การวัดด้วยค่า MSSIM

MSSIM (Mean Structural Similarity) เป็นดัชนีที่ใช้วัดคุณภาพการมองเห็นของภาพที่นำเสนอโดย [8] ในปี 2004 MSSIM เป็นดัชนีวัดคุณภาพการมองเห็นของภาพที่พัฒนาต่อยอดจาก UQI โดยพบข้อบกพร่องของสมการที่ (2.6) ของ UQI ว่า ในกรณีที่ส่วนเข้าใกล้ 0 ค่า UQI จะให้ค่าที่ไม่เสถียร สมการของ MSSIM เป็นดังสมการที่ (2.7) และ (2.8) โดยค่าที่ดีที่สุดที่แสดงความเหมือนกันมากของภาพทั้งสองภาพมีค่าเท่ากับ 1

$$\text{MSSIM}(X, X') = \frac{1}{S} \sum_{j=1}^S \text{SSIM}(x_j, x'_j) \quad (2.7)$$

โดย

$$\text{SSIM}(x, x') = \frac{(2\mu_x \mu_{x'} + C_1)(2\sigma_{xx'} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_{x'}^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_{x'}^2 + C_2)} \quad (2.8)$$

เมื่อ

$$\mu_x = \sum_{i=1}^R w_i x_i, \quad \mu_{x'} = \sum_{i=1}^R w_i x'_i$$

$$\sigma_x^2 = \sum_{i=1}^R w_i (x_i - \mu_x)^2, \quad \sigma_{x'}^2 = \sum_{i=1}^R w_i (x'_i - \mu_{x'})^2$$

$$\sigma_{xx'} = \sum_{i=1}^R w_i (x_i - \mu_x)(x'_i - \mu_{x'})$$

$$C_1 = (K_1 L)^2, \quad C_2 = (K_2 L)^2.$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$x = \{x_i | i = 1, 2, \dots, R\}$ เป็นค่าพิกเซลในกรอบ ขนาด 11×11 ของภาพต้นฉบับ

$x' = \{x'_i | i = 1, 2, \dots, R\}$ เป็นค่าพิกเซลในกรอบ ขนาด 11×11 ของภาพที่ซ่อนลายน้ำ

$w = \{w_i | i = 1, 2, \dots, R\}$ เป็นฟังก์ชันค่าน้ำหนักที่สมมาตรเป็นวงกลมของเกาส์เซียน

ด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.5 ที่มีผลรวมเท่ากับ 1 ($\sum_{i=1}^R w_i = 1$).

โดยที่ $K_1 = 0.01$ และ $K_2 = 0.03$ และ L เป็นช่วงของค่าพิกเซลมีค่าเท่ากับ 255

2.1.6 การวัดความคงทนของลายน้ำ

การวัดคุณภาพด้านความคงทนของลายน้ำที่ถูกกู้คืนมาภายหลังการถูกโจมตีด้วยรูปแบบต่างๆ นิยมวัดจากค่า Normalized Cross Correlation: NC โดยค่า NC ที่คำนวณได้จะมีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$ ถ้าค่า $NC = 1$ จะแสดงถึงคุณภาพความคงทนของลายน้ำมากที่สุด การคำนวณหาค่า NC แสดงดังสมการที่ (2.9)

$$NC = \frac{\left(\sum_{i=1}^{M_W} \sum_{j=1}^{N_W} [W_{(i,j)} \cdot W'_{(i,j)}] \right)}{\left(\sum_{i=1}^{M_W} \sum_{j=1}^{N_W} [W_{(i,j)}]^2 \right)} \quad (2.9)$$

เมื่อ

W_{ij} คือ ค่าพิกเซลที่ตำแหน่ง (i, j) ของลายน้ำต้นฉบับ

W'_{ij} คือ ค่าพิกเซลที่ตำแหน่ง (i, j) ของลายน้ำที่ถูกคืนมาได้

M_W คือ จำนวนพิกเซลตามความกว้างของลายน้ำ

N_W คือ จำนวนพิกเซลตามความสูงของลายน้ำ

2.2 การแปลงโคซายน์แบบดิสครีต

การแปลงโคซายน์แบบดิสครีต (Discrete Cosine Transform: DCT) ที่จะกล่าวถึง เป็น การแปลงที่นิยมใช้ในการซ่อนลายน้ำดิจิทัลของภาพลายน้ำชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ ซึ่งเป็นเทคนิค หนึ่งในโดเมนความถี่ (Frequency Domain) กระบวนการซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัลด้วยเทคนิค การแปลงโคซายน์แบบดิสครีต ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย [11] ประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนของการซ่อนลายน้ำ และขั้นตอนของการกู้คืนลายน้ำดิจิทัล

2.2.1 การซ่อนลายน้ำด้วยเทคนิคการแปลงโคซายน์แบบดิสครีต

ในขั้นตอนนี้ เป็นการนำภาพต้นฉบับที่ต้องการซ่อนลายน้ำมาทำการแปลง DCT 2 มิติ ถ้า ภาพมีขนาด $N \times N$ จะมีสมการในการแปลงดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

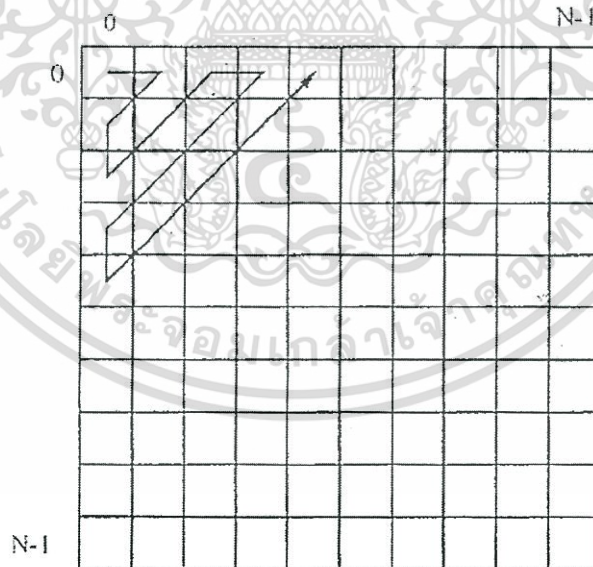
$$c(u, v) = \frac{1}{\sqrt{2N}} \alpha(u)\alpha(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cos\left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N}\right] \cos\left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N}\right] \quad (2.10)$$

เมื่อ $c(u, v)$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ DCT
 $f(x, y)$ เป็นค่าระดับสีในพิกเซล
 $\alpha(i) = 1/\sqrt{2}$ เมื่อ $i = 0$ และ $\alpha(i) = 1$ เมื่อ $i > 0$

เมื่อผ่านการแปลง DCT แล้ว ค่าสัมประสิทธิ์ DCT จะถูกนำมาจัดเป็นลำดับ 1 มิติ โดยเรียงลำดับจากค่าต่ำไปยังค่าสูงด้วยรูปแบบซิกแซกสแกน (เช่นเดียวกับอัลกอริธึมการบีบอัดข้อมูลของ JPEG [12]) ดังแสดงในรูปที่ 2.4

จากนั้นจะนำค่าสัมประสิทธิ์ DCT ในตำแหน่งที่เลือกไว้มาทำการซ่อนลายน้ำ โดยผ่านสมการการซ่อนลายน้ำแบบต่างๆ ภายหลังจากซ่อนลายน้ำจะทำการแปลงกลับ DCT เพื่อให้ได้ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ โดยมีสมการการแปลงกลับ DCT แสดงดังสมการที่ (2.11)

$$f(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2N}} \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} \alpha(u)\alpha(v)c(u, v) \cos\left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N}\right] \cos\left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N}\right] \quad (2.11)$$



รูปที่ 2.4 การเรียงลำดับของสัมประสิทธิ์ DCT ในรูปแบบซิกแซกสแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การกู้คืนลายน้ำจากการซ่อนลายน้ำด้วยเทคนิคการแปลงโคซายน์แบบดีสครีต

ในการกู้คืนลายน้ำแบบง่าย จะนำภาพต้นฉบับและภาพที่ต้องการตรวจหาลายน้ำมาทำการแปลง DCT จากนั้นจะนำค่าสัมประสิทธิ์ DCT ในตำแหน่งที่มีการซ่อนลายน้ำ มาทำการคำนวณเพื่อหาลายน้ำ ซึ่งหาโดยการย้อนกลับของสมการการซ่อนลายน้ำ ลายน้ำที่กู้ได้จะถูกนำมาวัดคุณภาพด้านความคงทนของลายน้ำจากการคำนวณค่า Normalized Cross Correlation: NC (หัวข้อ 2.1.6)

นอกเหนือจากการซ่อนลายน้ำด้วยเทคนิคดีสครีตโคซายน์ทรานสฟอร์มที่ทำการแปลงภาพแบบเต็มเฟรมดังที่ได้กล่าวมา พบว่ามีการนำภาพมาทำการแบ่งเป็นบล็อกๆ เช่น แบ่งเป็นบล็อกขนาดบล็อกละ 8×8 พิกเซล [13]-[15] จากนั้นจึงค่อยนำมาทำการแปลง DCT ก่อนที่จะเลือกตำแหน่งของค่า สัมประสิทธิ์ DCT ในการซ่อนลายน้ำ ซึ่งพบว่าสามารถลดระยะเวลาในการประมวลผลลงได้

2.3 ระบบอาณานิคมมด

การที่จะศึกษาถึงขั้นตอนวิธีของระบบอาณานิคมมด (Ant Colony System: ACS) นั้น จำเป็นที่จะต้องทราบกระบวนการพื้นฐานเกี่ยวกับเรื่องความฉลาดแบบกลุ่มหรือฝูง (Swarm Intelligence) และปัญหาเกี่ยวกับการหาเส้นทางเดินของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) ซึ่งเป็นปัญหาพื้นฐานที่มีการนำวิธีระบบมด (Ant System: AS) มาใช้ค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุด จากนั้นจึงพัฒนาเป็นขั้นตอนวิธีระบบอาณานิคมมด โดยเพิ่มประสิทธิภาพจากระบบมดให้สามารถแก้ไขปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้ภายในเวลาที่เร็วขึ้น

2.3.1 ความฉลาดแบบกลุ่มหรือฝูง

ความฉลาดแบบกลุ่มหรือฝูง (Swarm Intelligence) [16] เป็นการจำลองพฤติกรรมของสัตว์ในธรรมชาติที่อยู่รวมกันเป็นกลุ่มหรือฝูง โดยเป็นศาสตร์แขนงหนึ่งที่ได้ถูกนำไปรวมไว้ในปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) เป็นเทคนิคหนึ่งในสาขาเกี่ยวกับการคำนวณที่ได้จากการนำหลักการทางด้านชีววิทยา (Biologically-Inspired Computing) มาใช้ เช่นเดียวกับกับเทคนิคการเลียนแบบการทำงานของระบบสมองมนุษย์ของโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANN) และกระบวนการวิวัฒนาการทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต (Genetic Algorithm: GA) เป็นต้น

วิธีการทำงานของความฉลาดแบบกลุ่มถูกนิยมนำมาใช้ในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการคำนวณหรือการหาคำตอบที่เหมาะสม (Optimization) โดยวิธีที่นิยมใช้ เช่น การหาคำตอบที่เหมาะสมด้วยระบบอาณานิคมมด (Ant Colony System: ACS) ซึ่งเป็นการจำลองพฤติกรรมการหาเส้นทางที่สั้นสำหรับการหาอาหารของฝูงมด และการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) ซึ่งเป็นการจำลองพฤติกรรมการหาอาหารของฝูงนกหรือฝูงปลา วิธีการเหล่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะประกอบไปด้วยสมาชิกภายในฝูงที่ร่วมมือกันทำงานและมีวิธีการสื่อสารกันภายในกลุ่มเพื่อที่จะทำให้สมาชิกภายในฝูงทราบถึงเส้นทางของแหล่งอาหารได้

สำหรับ ACS นั้นได้แนวคิดมาจากพื้นฐานของการค้นหาแหล่งอาหารของฝูงมดในธรรมชาติ [7], [17]-[18] โดยมดทุกตัวในฝูงจะร่วมมือกันค้นหาแหล่งอาหารและพยายามค้นหาเส้นทางจากรังของมันไปยังแหล่งอาหารเพื่อให้ได้ระยะทางที่สั้นที่สุด

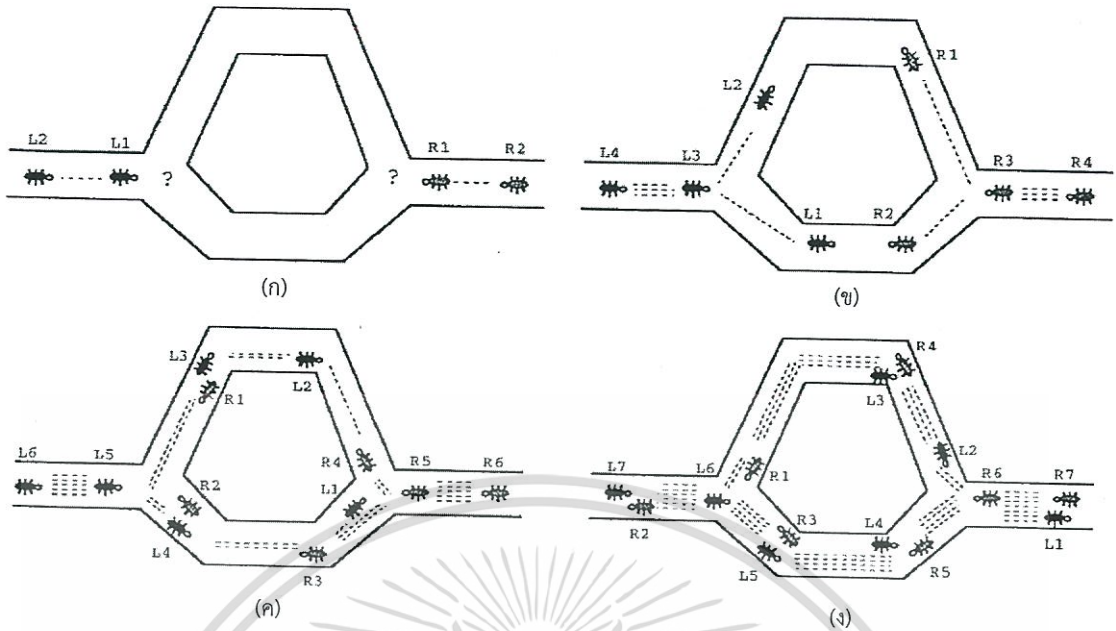
2.3.2 ระบบมด

แนวคิดของระบบมด (Ant System) มีที่มาจากลักษณะทางธรรมชาติของมดที่อาศัยอยู่ร่วมกันในอาณานิคม โดยมดเหล่านี้สามารถค้นหาเส้นทางการเดินทางที่สั้นที่สุดระหว่างแหล่งอาหารกับรังของมัน โดยไม่มีการทิ้งร่องรอยของการหาเส้นทางให้เห็น หากแต่อาศัยฟีโรโมน โดยในระหว่างการเดินทางค้นหาเส้นทางมดแต่ละตัวจะทิ้งฟีโรโมนบนพื้น และในการเลือกเส้นทางจะเลือกเส้นทางที่มีสารฟีโรโมนที่ถูกทิ้งไว้มากกว่า ซึ่งเราสามารถอธิบายการใช้ฟีโรโมนในการหาระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างจุดสองจุดได้ดังนี้

พิจารณาจากสถานการณ์ที่กลุ่มมดจำเป็นจะต้องตัดสินใจว่าจะเดินไปตามเส้นทางใดระหว่างเส้นทางสองเส้นทางที่เป็นไปได้ในการเดินไปหาเป้าหมายและเดินย้อนกลับมา เนื่องจากว่าไม่มีร่องรอยใดหรือไม่เคยมีมดตัวใดเดินผ่านทั้งสองเส้นทางมาก่อน จึงไม่มีสิ่งใดแสดงให้เห็นว่าเส้นทางไหนดีกว่ากัน ในกรณีนี้พวกมดจำเป็นจะต้องสุ่มเลือกเส้นทางใดเส้นทางหนึ่ง หรือแบ่งกลุ่มเดินไปทั้งสองเส้นทาง ซึ่งสามารถสันนิษฐานได้ว่าครึ่งหนึ่งของมดจะเลือกไปเส้นทางหนึ่ง ส่วนอีกครึ่งหนึ่งจะเดินไปในเส้นทางที่สอง สมมติว่ามดทุกตัวเดินด้วยความเร็วที่ใกล้เคียงกัน มดที่เลือกเดินในเส้นทางที่สั้นกว่าจะถึงจุดหมายเร็วกว่า และเดินย้อนกลับมาเร็วกว่า (ระหว่างเดินมดทุกตัวจะปล่อยฟีโรโมนออกมา) ในเส้นทางที่สั้นกว่าจึงมีฟีโรโมนที่ถูกปล่อยสะสมมากกว่าและเร็วกว่า เมื่อเวลาผ่านไปความแตกต่างระหว่างปริมาณฟีโรโมนบนเส้นทางทั้งสองจะมีมากพอที่จะส่งผลต่อการตัดสินใจของมดตัวอื่นที่เดินมาถึงจุดที่ต้องทำการตัดสินใจนี้ ดังนั้นมดที่เดินตามหลังมาจะเลือกเส้นทางที่สั้นกว่า จากการที่มันสามารถรับรู้ได้ถึงปริมาณฟีโรโมนที่มีมากกว่า และในท้ายที่สุดมดทุกตัวจะหันมาใช้เส้นทางที่สั้นกว่า รูปที่ 2.5 แสดงการค้นหาเส้นทางของมด [7]

จะเห็นได้ว่าฟีโรโมนเป็นสิ่งสำคัญต่อการค้นหาเส้นทางของมด การปล่อยฟีโรโมนออกมาเป็นกลไกที่เกี่ยวกับผลสะท้อนกลับในทางบวก (Positive Feedback) ซึ่งสนับสนุนการแก้ปัญหาที่ดี โดยให้ได้คำตอบที่ดีเก็บอยู่ในความทรงจำของมด แต่ควรมีวิธีป้องกันการลู่เข้าสู่คำตอบเร็วกว่าที่ควรจะเป็นโดยละเอียดคำตอบที่ดีบางคำตอบไป จึงมีการสร้างระบบอาณานิคมมด ที่มีการอาศัยการนำผลสะท้อนกลับในทางลบ (Negative Feedback) มาใช้ โดยจำลองให้ฟีโรโมนนั้นมีกลไกการระเหย (Evaporation) หรือลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มมากขึ้น โดยจะแสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบมด มาเป็นระบบอาณานิคมมด ผ่านกระบวนการทำงานเพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับการหาเส้นทางเดินของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem; TSP)

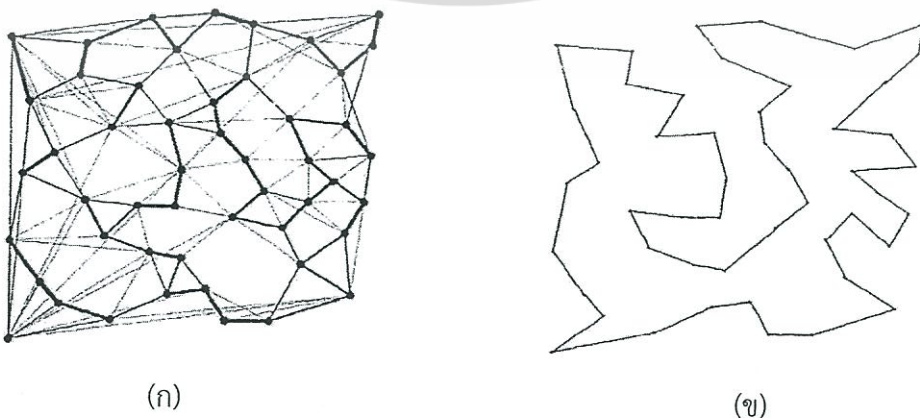
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การค้นหาเส้นทางของมด (ก) กลุ่มมดเดินมาถึงจุดที่ต้องตัดสินใจเลือกเส้นทาง (ข) มดตัดสินใจเลือกเส้นทาง (ค) ถ้ามดเดินด้วยความเร็วเท่าๆ กัน มดที่เลือกเส้นทางที่สั้นกว่าจะไปถึงจุดหมายเร็วกว่า และเดินกลับมาเร็วกว่า (ง) เส้นทางที่สั้นจะมีความหนาแน่นของฟีโรโมนมากกว่า ทำให้มดตัวอื่นตัดสินใจเลือกเดินตามเส้นทางนี้

2.3.3 ปัญหาการค้นหาเส้นทางเดินของพนักงานขาย

ปัญหาเกี่ยวกับการหาเส้นทางเดินของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) มีวัตถุประสงค์เพื่อหาเส้นทางการเดินทางไปยังเมืองต่างๆของพนักงานขาย เพื่อให้ได้ระยะทางที่สั้นที่สุด โดยมีเงื่อนไขว่าจะต้องเดินทางให้ครบทุกเมือง และแต่ละเมืองจะถูกเดินทางผ่านได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น เมื่อพนักงานขายเดินทางมาจนครบทุกเมืองแล้วจะต้องเดินทางกลับมายังเมืองแรกที่เริ่มเดิน (จุดเริ่มต้น) เพื่อให้ครบรอบการเดินทาง การนำเสนอปัญหานี้ที่นิยมแสดงให้อยู่ในรูปของกราฟที่แสดงระยะห่างระหว่างเมือง ตัวอย่างของปัญหา TSP [16] แสดงดังรูปที่ 2.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 2.6 กราฟของปัญหา TSP (ก) เส้นทางทั้งหมด (ข) เส้นทางที่สั้นที่สุด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ระบบมดสำหรับปัญหา TSP

ระบบมด (Ant System) นั้นมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาเส้นทางที่สั้นที่สุดได้ดีในกรณีที่พื้นที่ของคำตอบ (Solution Space) หรือจำนวนของเมืองมีไม่มากนัก แต่ไม่เหมาะกับปัญหาที่มีจำนวนของเมืองมาก หรือปัญหาที่มีพื้นที่ของคำตอบมาก ระบบมดที่นำมาแก้ปัญหา TSP ถูกเสนอโดย [18]

2.4.1 การปรับปรุงค่าฟีโรโมน (Pheromone Update)

สิ่งที่สำคัญในแต่ละรอบการทำงานของระบบมด คือ มดทุกตัวเมื่อทำการเลือกเส้นทางเดินจากตำแหน่ง (เมือง) i ไป j แล้วจะต้องทำการปรับปรุงค่าฟีโรโมน τ_{ij} บนเส้นทางระหว่างเมืองแต่ละเมืองที่เดินผ่านด้วยสมการที่ (2.12)

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \quad (2.12)$$

เมื่อ

ρ คือ สัมประสิทธิ์ของอัตราการระเหยของฟีโรโมน $\in (0, 1]$
 m คือ จำนวนของมดทั้งหมด
 $\Delta\tau_{ij}^k$ คือ ปริมาณของฟีโรโมนของมดตัวที่ k ที่วางไว้บนเส้นทางเชื่อมเมือง (i, j) ซึ่ง

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} Q/L^k, & \text{ถ้ามดตัวที่ } k \text{ เดินทางผ่านบนด้าน } (i, j), \\ 0, & \text{อื่นๆ} \end{cases} \quad (2.13)$$

Q คือ ค่าคงที่

L^k คือ ระยะทางของการเดินทางครบรอบของมดตัวที่ k

จากสมการที่ (2.12) ในเทอมแรก $(1 - \rho) \cdot \tau_{ij}$ เป็นกระบวนการปรับลดฟีโรโมนบนเส้นทาง (i, j) อันเนื่องจากการระเหยของฟีโรโมน ส่วนในเทอมที่สอง $\sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k$ จะเป็นการเพิ่มฟีโรโมนทับลงไปบนเส้นทางที่มดได้เดินผ่าน ด้วยเหตุนี้การกำหนดจำนวนมดทั้งหมด m ตัวสำหรับการทำงานในระบบจึงมีความสำคัญมาก เนื่องจากถ้ามีจำนวนมดมากเกินไปจะทำให้ค่าของฟีโรโมนบนเส้นทางมีค่าที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้มีการลู่เข้าหาคำตอบที่เร็วและอาจจะได้คำตอบที่ไม่ดี แต่ถ้าหากมีจำนวนของมดน้อยเกินไปผลการทำงานนั้นจะไม่ได้ผลลัพธ์ที่ดีเนื่องจากการระเหยของฟีโรโมนจะมีมากกว่าการเพิ่มฟีโรโมน จะสังเกตเห็นว่าเส้นทาง (i, j) ใด มีจำนวนมดผ่านเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากจะมีค่าของฟีโรโมนเพิ่มขึ้นมากแต่ถ้าเส้นทาง (i, j) ใดมีจำนวนมผ่านน้อยก็จะมีค่าฟีโรโมนเพิ่มขึ้นน้อยกว่า

2.4.2 กระบวนการตัดสินใจเลือกตำแหน่งถัดไป

การสร้างคำตอบหรือการเลือกลำดับของเส้นทางเดินทางนั้น ในขณะที่มดตัวที่ k อยู่ในตำแหน่งเมืองปัจจุบันที่ i ในการที่จะเลือกไปยังตำแหน่งเมือง j ถัดไปนั้น จะพิจารณาจากเซต S^p ซึ่งเป็นกลุ่มของเมืองทั้งหมดที่มดตัวที่ k ยังไม่เคยเลือกเดินไป โดยการเลือกเดินนั้นจะอาศัยความน่าจะเป็นของแต่ละเมืองมาเป็นข้อมูลในการเลือกและค่าความน่าจะเป็นที่แต่ละเมืองจะถูกเลือกนั้นจะคำนวณจากค่าความน่าจะเป็น P_{ij}^k ดังสมการที่ (2.14)

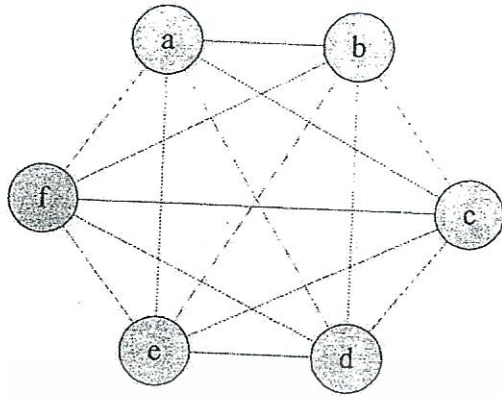
$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha \cdot \eta_{ij}^\beta}{\sum_{C_{ii} \in N(S^p)} \tau_{ij}^\alpha \cdot \eta_{ij}^\beta}, & \text{ถ้า } C_{ii} \text{ เป็นสมาชิกของ } N(S^p) \\ 0, & \text{อื่นๆ} \end{cases} \quad (2.14)$$

ซึ่ง $N(S^p)$ คือ เซตของเส้นทางจากเมือง i ไปยังเมืองอื่น ซึ่งมดตัวที่ k ยังไม่ได้เลือกเดิน
 C_{ii} คือ เส้นทางใดๆ ที่มดตัวที่ k สามารถเลือกเดินได้
 l คือ เส้นทางใดๆ ที่มดตัวที่ k ยังไม่ได้เลือกเดิน

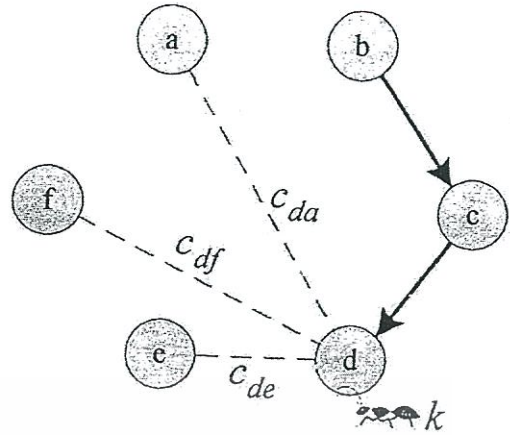
α และ β เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งใช้สำหรับควบคุมความสำคัญของความสัมพันธ์กันระหว่างค่าฟีโรโมน τ_{ij} กับข้อมูลของปัญหาที่สนใจ η_{ij} (Heuristic Information) ว่าในการทำงานนั้นจะให้ความสำคัญกับสิ่งใดมากกว่ากัน เช่นถ้าให้ $\alpha = 0$ แสดงว่าตำแหน่งที่ใกล้ที่สุดก็จะมีความน่าจะเป็นที่ถูกเลือกมากกว่า ในทางตรงข้ามถ้า $\beta = 0$ แสดงว่าจะมีเพียงค่าฟีโรโมนเท่านั้นที่มีผลต่อการเลือก สำหรับปัญหา TSP นั้นค่า $\eta_{ij} = 1/d_{ij}$ ซึ่ง d_{ij} คือระยะทางระหว่างเมือง i และเมือง j ตัวอย่างการใช้สมการในหัวข้อนี้ยกตัวอย่างปัญหา TPS ดังรูปที่ 2.7

จากรูปที่ 2.8 แสดงจำนวนเมืองทั้งหมด 6 เมืองคือ $\{a, b, c, d, e, f\}$ รูปที่ 2.7 (ก) แสดงถึงเส้นทางระหว่างเมืองทั้งหมดในระบบ ส่วนรูปที่ 2.7 (ข) แสดงว่ามดตัวที่ k ได้เลือกเดินไปยังเมือง b, c และ d แล้วตามลำดับและเมืองปัจจุบัน (i) คือเมือง d ดังนั้นในการพิจารณาว่ามดตัวที่ k จะเลือกเดินต่อไปยังเมืองใด (j) จะพบว่าเซตของเมืองที่ยังไม่ได้เดินผ่านคือ $S^p = \{a, e, f\}$ และเซตเส้นทางจากเมือง d ไปเมืองที่ยังไม่ได้เดินผ่านคือ $N(S^p) = \{c_{da}, c_{de}, c_{df}\}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.7 กราฟของปัญหา TSP จำนวน 6 เมือง (ก) เส้นทางระหว่างเมืองทั้งหมด (ข) เส้นทางที่มดสามารถเลือกเดินได้ขณะอยู่ที่เมือง d

2.5 ระบบอาณานิคมมดสำหรับปัญหา TSP

ระบบอาณานิคมมด (Ant Colony System: ACS) ถูกนำเสนอโดย [7] และ [17] ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพจากระบบมดให้สามารถแก้ไขปัญหามีขนาดใหญ่ได้ภายในเวลาที่เหมาะสม โดยได้เพิ่มการทำงานดังนี้

2.5.1 การปรับปรุงค่าฟีโรโมนเฉพาะบริเวณ (Local Pheromone Update)

การปรับปรุงค่าฟีโรโมนในระดับเฉพาะบริเวณจะกระทำโดยมดทุกตัวในระบบ โดยจะปรับปรุงในทุกเส้นทางที่มดแต่ละตัวได้เลือกตำแหน่งเมือง j ถัดไปในขณะที่ปัจจุบันมดอยู่ที่ตำแหน่ง i โดยปริมาณฟีโรโมนบนด้านที่เชื่อมต่อระหว่างเมือง (i, j) จะถูกปรับปรุงด้วยสมการที่ (2.15)

$$\tau_{ij} = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \phi \cdot \tau_0 \tag{2.15}$$

τ_0 คือ ค่าเริ่มต้นของฟีโรโมน

ϕ คือ ค่าประสิทธิภาพของการเสื่อมสลายของฟีโรโมนในระดับเฉพาะบริเวณ ซึ่ง $\phi \in (0, 1]$

หลักสำคัญของการปรับปรุงฟีโรโมนในระดับเฉพาะที่ คือเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดเส้นทางที่มีจำนวนมดผ่านมากมีค่าของฟีโรโมนในเส้นทางนั้นมากเกินไป จนทำให้เส้นทางอื่นมีโอกาสถูกเลือกน้อย ดังนั้นเมื่อมีมดผ่านมายังด้านใดๆ การปรับปรุงค่าฟีโรโมนเฉพาะบริเวณนี้จะทำให้ระดับฟีโรโมนบนด้านนี้มีความน่าสนใจลดน้อยลง จึงทำให้มดตัวอื่นในฝูงมีโอกาสที่จะสำรวจเส้นทางใหม่ๆ หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค้นพบเส้นทางที่แตกต่างกันออกไปได้ และก็มีความน่าจะเป็นที่มดตัวใดตัวหนึ่งจะพบคำตอบซึ่งถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นมากกว่าที่มีอยู่ก็เป็นได้

2.5.2 การปรับปรุงค่าฟีโรโมนครอบคลุมทั้งระบบ (Global Pheromone Update)

การปรับปรุงค่าฟีโรโมนในระดับครอบคลุมทั้งระบบ จะกระทำเมื่อเสร็จสิ้นการทำงานในแต่ละรอบ (มดได้เดินทางจนครบทุกตัวแล้ว) การปรับปรุงค่าฟีโรโมนนี้ จะกระทำเฉพาะในเส้นทางของมดตัวที่มีคำตอบที่ดีที่สุด (เส้นทางที่สั้นที่สุด) เท่านั้น การปรับปรุงค่าฟีโรโมนระดับครอบคลุมทั้งระบบแสดงดังสมการที่ (2.16)

$$\tau_{ij} \leftarrow \begin{cases} (1-\rho)\tau_{ij} + \rho\Delta\tau_{ij}, & \text{ถ้า } (i, j) \text{ เป็นเส้นทางที่สั้นที่สุด,} \\ \tau_{ij}, & \text{อื่นๆ} \end{cases} \quad (2.16)$$

ซึ่ง $\Delta\tau_{ij}(t) = 1/L_{best}$ และ L_{best} คือระยะทางที่สั้นที่สุดพิจารณาจากการเดินทางของมดทุกตัว ดังนั้นสำหรับปัญหา TSP กระบวนการนี้จะปรับปรุงค่าฟีโรโมนบนเส้นทาง (i, j) ซึ่งเป็นเส้นทางที่มีระยะทางในการเดินทางที่สั้นที่สุดเท่านั้น

2.5.3 กระบวนการตัดสินใจเลือกตำแหน่งถัดไป (State Transition Rule)

ข้อแตกต่างที่สำคัญระบบอาณานิคมมด (ACS) และระบบมด (AS) อีกประการหนึ่งคือ กระบวนการตัดสินใจเลือกตำแหน่งเมือง j ถัดไปขณะที่ปัจจุบันอยู่ที่ตำแหน่งเมือง i ในการเลือกตำแหน่งเมืองถัดไปนั้นระบบอาณานิคมมดจะพิจารณาสมการที่ (2.17)

$$j = \begin{cases} \arg[\text{Max}_{C_{ij} \in N(s^p)} \{\tau_{ij}^\alpha \cdot \eta_{ij}^\beta\}], & \text{ถ้า } q \leq q_0, \\ n, & \text{อื่นๆ} \end{cases} \quad (2.17)$$

ค่า q_0 เป็นค่าคงที่มีค่าอยู่ระหว่าง $[0, 1]$ และตัวแปร q ก็เป็นค่าที่ได้จากการสุ่มที่มีค่าอยู่ระหว่าง $[0, 1]$ มดแต่ละตัวจะต้องสุ่มกำหนดค่า q ใหม่ทุกครั้ง เพื่อใช้สำหรับการเลือกเดินไปยังตำแหน่งเมืองถัดไป

หาก $q \leq q_0$ จะเลือกเส้นทางที่มีค่าฟีโรโมนมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าวิธีระบบอาณานิคมมดนั้นจะพยายามรักษาเส้นทางที่ค่าฟีโรโมนมากที่สุดที่ระบบการทำงานในขณะนั้นสามารถหาได้จึงแสดงว่าเส้นทางนั้นมีแนวโน้มว่าจะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด แต่ถ้าหาก $q > q_0$ มดก็จะทำการเลือกตำแหน่งเมือง n ซึ่งเป็นเมืองถัดไป โดยเลือกจากค่าความน่าจะเป็นของแต่ละเส้นทางที่เป็นไปได้ด้วยสมการที่ (2.14) ในกรณีนี้แสดงว่ามดจะได้ทำการสำรวจเส้นทางใหม่ๆ ซึ่งอาจได้คำตอบที่ดีกว่าเดิมก็เป็นไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดค่าของ q_0 นิยมกำหนดให้มีค่าเข้าใกล้ 1 เพื่อให้วิธีระบบอาณานิคมมดได้พยายามรักษาคำตอบที่ดีในขณะนั้นไว้ ถ้ากำหนดให้ค่า q_0 มีค่าเข้าใกล้ 0 แล้ววิธีระบบอาณานิคมมดจะมีโอกาสน้อยมากที่จะรักษาคำตอบที่ดีไว้แต่จะอาศัยความน่าจะเป็นของแต่ละเมืองแทนทำให้คำตอบที่ได้มานั้นมีทิศทางที่จะไม่ลู่ไปในทิศทางเดียวกัน อัลกอริทึมของระบบอาณานิคมมดแสดงดังรูปที่ 2.8

Procedure Ant Colony System

Initialize /*Set pheromone trails to small numbers*/

Loop /*At this level, each loop is called an iteration*/

Each ant is positioned on a starting node

Loop /*At this level, each loop is called a step*/

Apply State Transition Rule (pseudorandom proportional)

Apply Local Update pheromone

Until End condition

Apply Global Update pheromone

Until End condition

End Ant Colony System

รูปที่ 2.8 อัลกอริทึมของระบบอาณานิคมมด

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและแนวความคิดในการวิจัย

3.1 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัล สามารถจำแนกออกเป็น 2 แนวทาง ได้แก่ เทคนิคที่ทำในโดเมนสเปเชียล (Spatial Domain) และเทคนิคที่ทำในโดเมนความถี่ (Frequency Domain) ที่ผ่านมามีงานวิจัยที่พิสูจน์ให้เห็นว่าการซ่อนลายน้ำในโดเมนความถี่เป็นเทคนิคที่ให้ความคงทนต่อสัญญาณรบกวน การประมวลผลภาพ และการบีบอัดข้อมูลภาพ ได้ดีกว่าเทคนิคที่ทำในโดเมนสเปเชียล [1]-[3] เทคนิคของการซ่อนลายน้ำที่ทำในโดเมนความถี่นั้นมียู่ด้วยกันหลายเทคนิค เช่น เทคนิคที่ใช้การแปลง Karhunen-Loeve (Karhunen-Loeve Transform: KLT) เทคนิคที่ใช้การแปลงฟูเรียร์แบบดิสครีต (Discrete Fourier Transform) เทคนิคที่ใช้การแปลงโคไซน์แบบดิสครีต (Discrete Cosine Transform: DCT) และเทคนิคที่ใช้การแปลงเวฟเลตแบบดิสครีต (Discrete Wavelet Transform: DWT) [4] จากการศึกษาพบว่าเทคนิค KLT มีการคำนวณที่ซับซ้อน [5] ในขณะที่ DFT ต้องการการเข้ารหัสทั้งขนาดของภาพและข้อมูลเฟส DWT ไม่นิยมนำมาใช้ในการบีบอัดข้อมูลภาพตามมาตรฐาน JPEG ในขณะที่ DCT ให้การบีบอัดพลังงานสำหรับภาพโดยทั่วไปได้ดีกว่า DFT และด้วยเหตุนี้มันจึงเป็นที่นิยมต่อการนำมาใช้เช่นเดียวกับที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการบีบอัดข้อมูลภาพด้วยมาตรฐาน JPEG [6] ด้วยเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะพัฒนาวิธีการซ่อนลายน้ำดิจิทัลโดยใช้เทคนิคที่ทำบนการแปลงโคไซน์แบบดิสครีต ที่ผ่านมามีงานวิจัยที่นำเสนอวิธีการซ่อนลายน้ำบนการแปลงโคไซน์แบบดิสครีตที่น่าสนใจดังนี้

Cox และคณะ [11] ได้นำเสนอเทคนิคของการซ่อนลายน้ำดิจิทัลแบบการกระจายแถบความถี่ (Spread Spectrum Communication) ลงในค่าสัมประสิทธิ์ของโดเมนความถี่ที่ได้จากการแปลงโคไซน์แบบดิสครีต (Discrete Cosine Transform : DCT) จากการศึกษาพวกเขาพบว่าลายน้ำจะมีความคงทนถ้าทำการซ่อนลายน้ำลงในค่าสัมประสิทธิ์ DCT ส่วนที่เป็นความถี่ต่ำของสัญญาณภาพ Piva และคณะ [19] ได้นำเสนออัลกอริธึมในการซ่อนลายน้ำบนการแปลงโคไซน์แบบดิสครีตที่คล้ายคลึงกับวิธีการของ Cox และคณะ โดยอัลกอริธึมดังกล่าวไม่จำเป็นต้องใช้ภาพดิจิทัลต้นฉบับในการกู้คืนลายน้ำ Hsu และคณะ [20] ได้นำเสนออัลกอริธึมของการซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัลบนการแปลงโคไซน์แบบดิสครีต โดยเลือกที่จะทำการซ่อนลายน้ำเข้ากับค่าสัมประสิทธิ์ DCT ส่วนที่เป็นความถี่กลาง เพื่อรักษาคุณภาพด้านการมองเห็นของภาพภายหลังการใส่ลายน้ำและคุณภาพด้านความคงทนของลายน้ำในคราวเดียวกัน Huang และคณะ [21], [22] ได้นำเสนอวิธีการซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัลที่อาศัยการแปลงโคไซน์แบบดิสครีตร่วมกับกระบวนการทางพันธุศาสตร์ (Genetic Algorithm : GA) พวกเขาทำการใส่ลายน้ำเข้ากับค่าสัมประสิทธิ์ DCT ส่วนที่เป็นความถี่กลาง และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำ GA มาค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการใส่ลายน้ำจนได้ภาพภายหลังการใส่ลายน้ำที่มีคุณภาพ Shieh และคณะ [23] ได้นำเสนอเทคนิคในการใส่ลายน้ำที่ใช้ GA มาช่วยในการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการใส่ลายน้ำเข้ากับค่าสัมประสิทธิ์ของบล็อก DCT ขนาด 8×8 พิกเซล ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทั้งในด้านความคงทนของลายน้ำและด้านคุณภาพการมองเห็นของภาพภายหลังการใส่ลายน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองการซ่อนลายน้ำตามวิธีของ Hsu และคณะ Wei และคณะ [24] ได้ปรับปรุงวิธีการซ่อนและกู้คืนลายน้ำของ Shieh และคณะ ให้กระชับขึ้น พร้อมทั้งนำเสนอสมการในการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Probability of Crossover: Pc) และค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (Probability of Mutation: Pc) ให้สามารถปรับเปลี่ยนค่าไปตามจำนวนรอบการทำงานที่เพิ่มขึ้นของ GA และแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่ปรับปรุงขึ้นนี้ให้ผลลัพธ์ของการซ่อนลายน้ำที่ดีกว่าทั้งในด้านความคงทนของลายน้ำและด้านคุณภาพการมองเห็นของภาพภายหลังการซ่อนลายน้ำ

สำหรับวิธีการซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัลที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ เป็นเทคนิคที่ทำบนการแปลง DCT โดยนำการจำแนกประเภทของบล็อก DCT มาทำงานร่วมกับการค้นหาค่าพารามิเตอร์ในการซ่อนลายน้ำด้วยระบบอาณานิคมมด (Ant Colony System: ACS) ซึ่งที่ผ่านมาปรากฏงานวิจัยที่นำเอาอัลกอริธึมของระบบอาณานิคมมดมาใช้ในการซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัลอยู่บ้าง อาทิ วิธีของ Hameed และคณะ [25] ที่ทำบนการแปลง FRFT (Discrete Fractional Fourier Transform) วิธีของ Khaled และคณะ [26] ที่ทำบนการแปลง LWT (Lifting Wavelet Transform) แต่เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้สนใจเทคนิคที่ทำบนการแปลง DCT ด้วยเหตุผลที่ได้กล่าวไปแล้วในข้างต้นถึงข้อดีของ DCT ด้วยเหตุนี้ในการทดลองเปรียบเทียบผลลัพธ์กับงานวิจัยอื่นจึงเลือกใช้วิธีของ Shieh และคณะ [23] และวิธีของ Wei และคณะ [24] มาทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวิธีการที่นำเสนอ และเพื่อความสะดวกในการอ้างอิงซึ่งงานวิจัยที่นำมาเปรียบเทียบ ในวิทยานิพนธ์นี้จึงขอใช้คำว่างานวิจัยของ Shieh แทนงานวิจัยของ Shieh และคณะ [23] และขอใช้คำว่างานวิจัยของ Wei แทนงานวิจัยของ Wei และคณะ [24] และในหัวข้อถัดไปจะเป็นการอธิบายวิธีการซ่อนลายน้ำของ Shieh และ Wei มาพอสังเขปดังนี้

3.2 การซ่อนลายน้ำด้วยวิธีของ Shieh

รายละเอียดของการซ่อนลายน้ำด้วยวิธีของ Shieh ในที่นี้จะขออธิบายโดยสังเขปในส่วนของการซ่อนลายน้ำ การกู้คืนลายน้ำ และการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำ ดังต่อไปนี้

3.2.1 การซ่อนลายน้ำ

Shieh เริ่มกระบวนการซ่อนลายน้ำด้วยการแบ่งภาพต้นฉบับออกเป็นบล็อกเล็กๆ ขนาด 8×8 พิกเซล แล้วทำการแปลงข้อมูลแต่ละบล็อกด้วยเทคนิคการแปลงโคซายน์แบบดีสครีต ผลที่ได้ยังคงอยู่

ในรูปเมทริกซ์ขนาด 8×8 จะถูกนำมาจัดเรียงเป็นข้อมูลมิติเดียวในลักษณะซิกแซกสแกน (แสดงดังรูป

ที่ 3.1) ในส่วนของลายน้ำที่นำมาใช้เป็นภาพไบนารีที่มีขนาดเล็กกว่าภาพดิจิทัลต้นฉบับ โดยก่อนที่จะนำลายน้ำมาฝังลงบนภาพดิจิทัล จะทำการสลับตำแหน่งพิกเซลของลายน้ำเพื่อเพิ่มความซับซ้อนในการกู้คืนลายน้ำและลดความสัมพันธ์ของพิกเซลที่อยู่ใกล้เคียงกัน โดยมีสมการที่ใช้ในการฝังลายน้ำดังต่อไปนี้

$Y_{(m,n)}(0)$	$Y_{(m,n)}(1)$	$Y_{(m,n)}(5)$	$Y_{(m,n)}(6)$	$Y_{(m,n)}(14)$	$Y_{(m,n)}(15)$	$Y_{(m,n)}(27)$	$Y_{(m,n)}(28)$
$Y_{(m,n)}(2)$	$Y_{(m,n)}(4)$	$Y_{(m,n)}(7)$	$Y_{(m,n)}(13)$	$Y_{(m,n)}(16)$	$Y_{(m,n)}(26)$	$Y_{(m,n)}(29)$	$Y_{(m,n)}(42)$
$Y_{(m,n)}(3)$	$Y_{(m,n)}(8)$	$Y_{(m,n)}(12)$	$Y_{(m,n)}(17)$	$Y_{(m,n)}(25)$	$Y_{(m,n)}(30)$	$Y_{(m,n)}(41)$	$Y_{(m,n)}(43)$
$Y_{(m,n)}(9)$	$Y_{(m,n)}(11)$	$Y_{(m,n)}(18)$	$Y_{(m,n)}(24)$	$Y_{(m,n)}(31)$	$Y_{(m,n)}(40)$	$Y_{(m,n)}(44)$	$Y_{(m,n)}(53)$
$Y_{(m,n)}(10)$	$Y_{(m,n)}(19)$	$Y_{(m,n)}(23)$	$Y_{(m,n)}(32)$	$Y_{(m,n)}(39)$	$Y_{(m,n)}(45)$	$Y_{(m,n)}(52)$	$Y_{(m,n)}(54)$
$Y_{(m,n)}(20)$	$Y_{(m,n)}(22)$	$Y_{(m,n)}(33)$	$Y_{(m,n)}(38)$	$Y_{(m,n)}(46)$	$Y_{(m,n)}(51)$	$Y_{(m,n)}(55)$	$Y_{(m,n)}(60)$
$Y_{(m,n)}(21)$	$Y_{(m,n)}(34)$	$Y_{(m,n)}(37)$	$Y_{(m,n)}(47)$	$Y_{(m,n)}(50)$	$Y_{(m,n)}(56)$	$Y_{(m,n)}(59)$	$Y_{(m,n)}(61)$
$Y_{(m,n)}(35)$	$Y_{(m,n)}(36)$	$Y_{(m,n)}(48)$	$Y_{(m,n)}(49)$	$Y_{(m,n)}(57)$	$Y_{(m,n)}(58)$	$Y_{(m,n)}(62)$	$Y_{(m,n)}(63)$

รูปที่ 3.1 การจัดเรียงค่าสัมประสิทธิ์ DCT แบบซิกแซกสแกน (พื้นที่แรเงาแสดงตำแหน่งที่สุ่มมาเพื่อใช้เป็นตำแหน่งของการฝังลายน้ำ)

$$R(i) = \sum_{m=1}^{M/8} \sum_{n=1}^{N/8} \left(\frac{Y_{(m,n)}(0)}{Y_{(m,n)}(i)} \right), \quad i \in [1, 63] \quad (3.1)$$

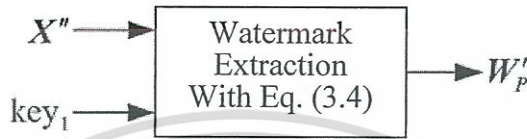
$$P_{(m,n)}(i) = \begin{cases} 1, & \text{ถ้า } Y_{(m,n)}(i) \cdot R(i) \geq Y_{(m,n)}(0) \\ 0, & \text{อื่นๆ} \end{cases} \quad (3.2)$$

$$Y'_{(m,n)}(i) = \begin{cases} Y_{(m,n)}(i), & \text{ถ้า } p_{(m,n)}(i) = W_{p(m,n)}(i) = 0 \\ Y_{(m,n)}(i) + 1, & \text{ถ้า } p_{(m,n)}(i) = 0 \text{ และ } W_{p(m,n)}(i) = 1 \\ Y_{(m,n)}(i), & \text{ถ้า } p_{(m,n)}(i) = W_{p(m,n)}(i) = 1 \\ Y_{(m,n)}(i) - 1, & \text{อื่นๆ} \end{cases} \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Y' เป็นค่าสัมประสิทธิ์ DCT ในตำแหน่งบล็อกแถวที่ m หลักที่ n ส่วน i เป็นตำแหน่งของค่าสัมประสิทธิ์ DCT ที่จะทำการซ่อนลายน้ำและ W_p เป็นค่าพิกเซลของลายน้ำซึ่งมีค่าเป็น 0 หรือ 1 เมื่อทำการฝังลายน้ำลงในสัมประสิทธิ์ DCT เรียบร้อยแล้ว จะต้องทำการแปลงกลับ DCT เพื่อให้ได้ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ

3.2.2 การกู้คืนลายน้ำ



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนของการกู้คืนลายน้ำ

ในการกู้คืนลายน้ำตามวิธีของ Shieh ภาพที่ต้องสงสัยจะถูกนำมาแปลงดีสครีตแบบบล็อกขนาด 8×8 พิกเซล จากนั้นลายน้ำจะถูกกู้คืนจากสมการที่ (3.4) ดังนี้

$$W'_{p(m,n)}(i) = \begin{cases} 1, & \text{ถ้า } Y''_{(m,n)}(i) \cdot R'(i) \geq Y''_{(m,n)}(0) \\ 0, & \text{อื่นๆ} \end{cases} \quad (3.4)$$

เมื่อ Y'' เป็นค่าสัมประสิทธิ์ DCT ที่ถูกซ่อนลายน้ำ ส่วน i เป็นตำแหน่งของค่าสัมประสิทธิ์ DCT ที่ทำการซ่อนลายน้ำ

3.2.3 การค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำ

Shieh นำกระบวนการทางพันธุศาสตร์ (Genetic Algorithm: GA) ซึ่งมาทำการค้นหาตำแหน่งของค่าสัมประสิทธิ์ DCT ที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำ โดยจะทำการฝังที่ตำแหน่งเดียวกันในทุกๆ บล็อก โดยกำหนดฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function) ในแต่ละรอบการทำงาน c ของ GA ดังสมการที่ (3.5)

$$f_c = \text{PSNR}_c + \sum_{h=1}^p (\text{NC}_{c,h} \cdot \lambda) \quad (3.5)$$

เมื่อ p เป็น จำนวนของรูปแบบการโจมตี

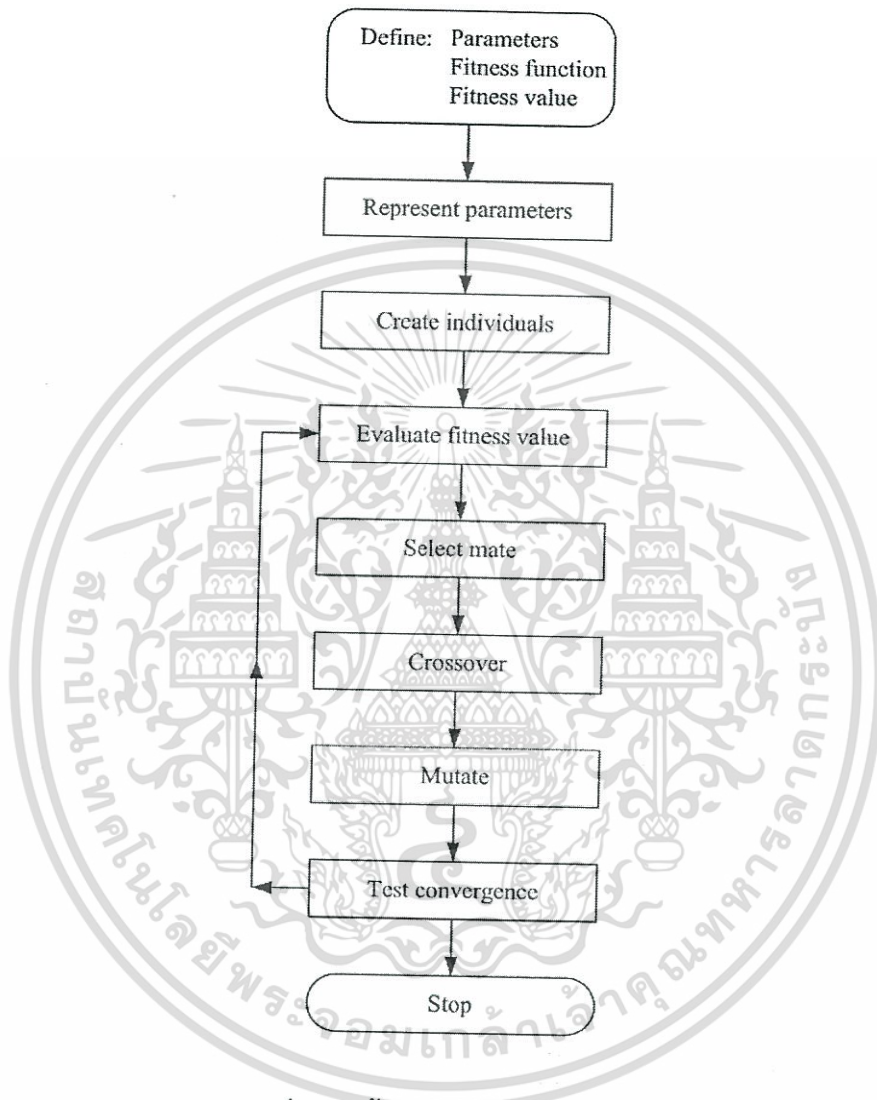
λ เป็น ตัวประกอบน้ำหนักของดัชนี NC กำหนดให้ = 10

โดยวิธีการหาค่า PSNR และค่า NC ได้อธิบายโดยละเอียดไว้ในบทที่ 2 สำหรับรูปแบบของ

การโจมตีภาพ Shieh และคณะฯ เลือกใช้รูปแบบการโจมตีภาพจำนวน 3 รูปแบบ ได้แก่ ตัวกรอง

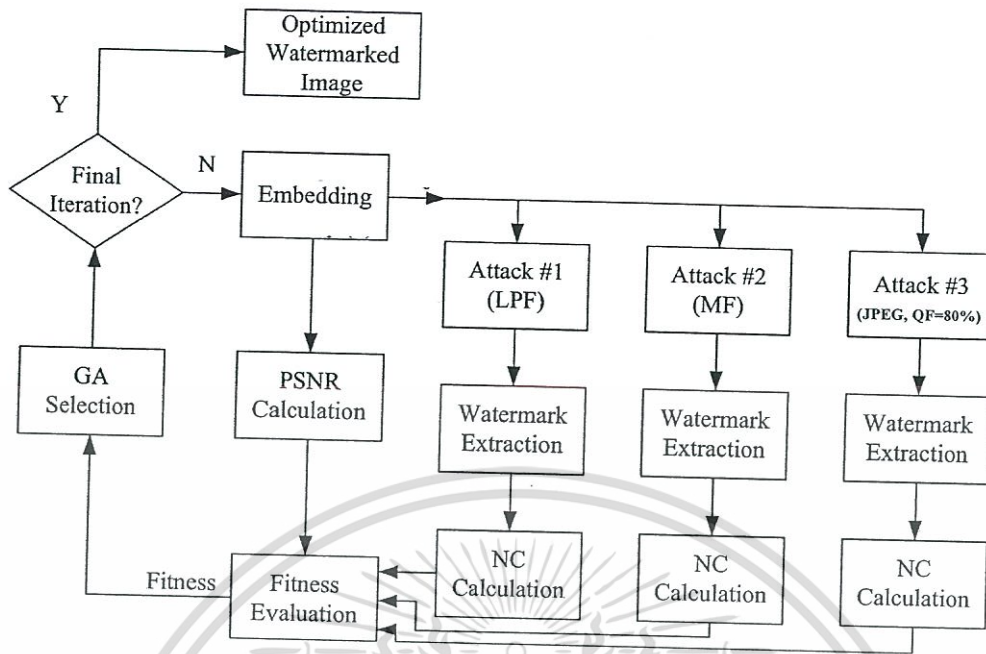
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยู่ได้เห็นฉบับนี้ขอสงวนสิทธิ์ในการคัดลอกหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ต่ำผ่าน ตัวกรองความถี่มีมาตรฐาน และการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการบีบอัด 80% รูปที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการทำงานของ GA ส่วนรูปที่ 3.4 แสดงการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการซ้อนลายน้ำตามวิธีของ Shieh



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทำงานของ GA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำตามวิธีของ Shieh

3.3 การซ่อนลายน้ำด้วยวิธีของ Wei

สำหรับรายละเอียดของการซ่อนลายน้ำด้วยวิธีของ Wei ปรากฏอยู่ใน [24] โดยมีความแตกต่างจากงานวิจัยของ Shieh ในส่วนของสมการที่ใช้ในการซ่อนและกู้คืนลายน้ำ นอกจากนั้นในการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำด้วย GA Wei ได้ทำการปรับปรุงกระบวนการของ GA โดยเพิ่มสมการการปรับค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ และค่าความน่าจะเป็นในการมิวเทชัน เพื่อให้ GA สามารถหาค่าความเหมาะสมที่แปลกใหม่เมื่อจำนวนรอบการทำงานเพิ่มขึ้น

3.3.1 การซ่อนลายน้ำ

กระบวนการซ่อนลายน้ำของ Wei เริ่มด้วยการนำภาพดิจิทัลต้นฉบับมาทำการแปลงสีสกริตแบบบล็อกขนาด 8×8 พิกเซล เช่นเดียวกับวิธีของ Shieh โดยมีความแตกต่างในส่วนของสมการการซ่อนลายน้ำ ซึ่งแสดงดังสมการที่ (3.6) - (3.7)

$$P_{(m,n)}(i) = \begin{cases} 1, & \text{ถ้า } Y_{(m,n)}(i) \geq 0 \\ 0, & \text{อื่นๆ} \end{cases} \quad (3.6)$$

$$Y'_{(m,n)}(i) = \begin{cases} Y_{(m,n)}(i), & \text{ถ้า } p_{(m,n)}(i) = W_{p(m,n)}(i) = 0 \text{ หรือ } p_{(m,n)}(i) = W_{p(m,n)}(i) = 1 \\ (-\lambda)Y_{(m,n)}(i), & \text{ถ้า } p_{(m,n)}(i) = 0 \text{ และ } W_{p(m,n)}(i) = 1 \\ (-\lambda)Y_{(m,n)}(i), & \text{ถ้า } p_{(m,n)}(i) = 1 \text{ และ } W_{p(m,n)}(i) = 0 \end{cases} \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Y' เป็นค่าสัมประสิทธิ์ DCT ในตำแหน่งบล็อกแถวที่ m หลักที่ n ส่วน i เป็นตำแหน่งของค่าสัมประสิทธิ์ DCT ที่จะทำการซ่อนลายน้ำและ W_p เป็นค่าพิกเซลของลายน้ำซึ่งมีค่าเป็น 0 หรือ 1

3.3.2 การกู้คืนลายน้ำ

ในการกู้คืนลายน้ำตามวิธีของ Wei หลังจากนำภาพที่ต้องสงสัยมาทำการแปลงดีสครีตแบบบล็อกขนาด 8×8 พิกเซล ลายน้ำจะถูกกู้คืนจากสมการที่ (3.8) ดังนี้

$$W'_{p(m,n)}(i) = \begin{cases} 1, & \text{ถ้า } Y''_{(m,n)}(i) \geq 0 \\ 0, & \text{อื่นๆ} \end{cases} \quad (3.8)$$

เมื่อ Y'' เป็นค่าสัมประสิทธิ์ DCT ที่ถูกซ่อนลายน้ำ ส่วน i เป็นตำแหน่งของค่าสัมประสิทธิ์ DCT ที่ทำการซ่อนลายน้ำ

3.3.3 การค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำ

Wei ค้นหาตำแหน่งของค่าสัมประสิทธิ์ DCT ที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำ โดยมีการปรับปรุงสมการในการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (P_c) และค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (P_m) สำหรับแต่ละรอบการทำงานของ GA ดังสมการที่ (3.9) และ (3.10)

$$P_c = P_{cInitial} - \frac{P_{cInitial} - P_{cFinal}}{GenMax} \times g \quad (3.9)$$

$$P_m = P_{mInitial} + \frac{P_{mInitial} - P_{mFinal}}{GenMax} \times g \quad (3.10)$$

เมื่อ	$P_{cInitial}$	เป็นค่าเริ่มต้นของค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ เท่ากับ 0.4
	P_{cFinal}	เป็นค่าสุดท้ายของค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ เท่ากับ 0.2
	$P_{mInitial}$	เป็นค่าเริ่มต้นของค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน เท่ากับ 0.05
	P_{mFinal}	เป็นค่าสุดท้ายของค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน เท่ากับ 0.1
	g	คือ จำนวนรอบการทำงานในปัจจุบันของ GA
	$GenMax$	คือ จำนวนรอบการทำงานสูงสุดของ GA

จากสมการที่ (3.9) และ (3.10) จะสังเกตเห็นว่าค่า P_c จะลดลง เมื่อรอบการทำงานของ GA เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ค่า P_m จะเพิ่มมากขึ้น เมื่อรอบการทำงานของ GA เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้ในรอบท้ายๆ ของ GA มีความน่าจะเป็นในการมิวเตชันสูงขึ้น เพื่อเพิ่มโอกาสในการสร้างโครโมโซม

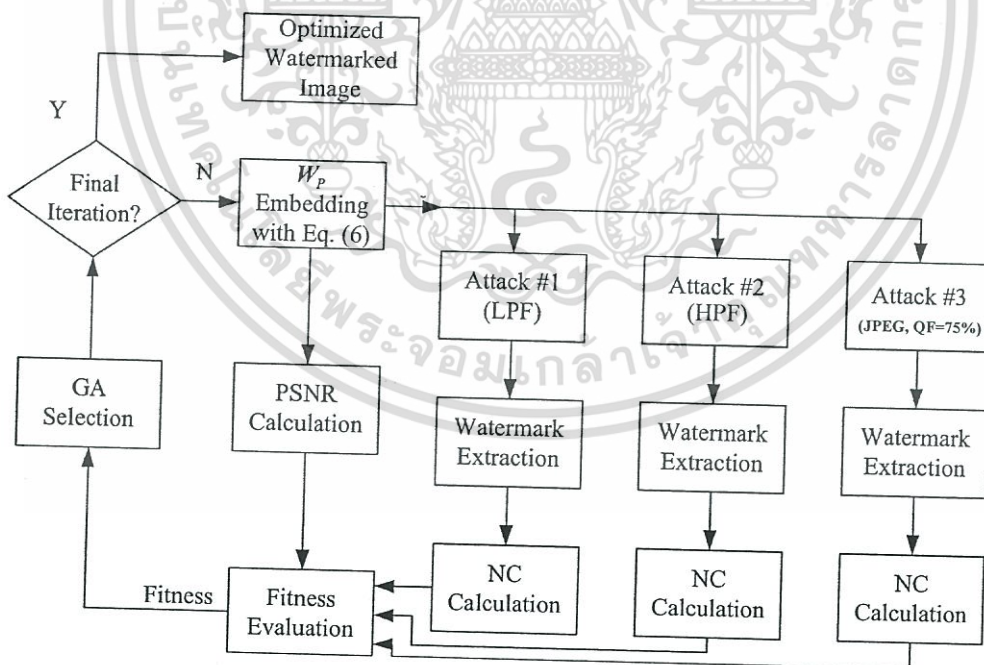
เอกสารที่เปลี่ยนแปลงอันเนื่องจากการมิวเตชันศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการฝังลายน้ำตามวิธีของ Wei ลายน้ำจะถูกฝังที่ตำแหน่งเดียวกันในทุกๆ บล็อก เช่นเดียวกับวิธีของ Shieh โดย Wei กำหนดฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function) ในแต่ละรอบการทำงาน c ของ GA ดังสมการที่ (3.11)

$$f_c = \text{PSNR}_c + \gamma \sum_{i=1}^p (\text{NC}_{c,i}) \quad (3.11)$$

เมื่อ γ เป็นตัวประกอบน้ำหนักของดัชนี NC กำหนดให้ = 25
 PSNR คือ อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด
 NC คือ ค่า Normalized Cross Correlation
 p เป็นจำนวนของรูปแบบการโจมตี

Wei เลือกใช้รูปแบบการโจมตีภาพจำนวน 3 รูปแบบ ได้แก่ ตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน ตัวกรองความถี่สูง และการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการบีบอัด 75% รูปที่ 3.5 แสดงการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำตามวิธีของ Wei



รูปที่ 3.5 การค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำตามวิธีของ Wei

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 แนวความคิดในการวิจัย

อัลกอริธึมของการซ่อนลายน้ำที่จะนำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีแนวความคิดในประเด็นที่แตกต่างออกไปจากวิธีของ Shieh และ Wei ดังนี้

1. ตำแหน่งในการซ่อนลายน้ำ

ตำแหน่งทางความถี่ (Frequency Location) หรือ ตำแหน่งของสัมประสิทธิ์ DCT ที่ถูกเลือกใช้ในการซ่อนลายน้ำมีความสำคัญอย่างมากกับประสิทธิภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำและความคงทนของลายน้ำ กล่าวคือ การซ่อนลายน้ำลงในย่านความถี่ต่ำจะให้ลายน้ำที่มีความคงทนแต่ในขณะเดียวกันก็จะไปลดคุณภาพด้านการมองเห็นของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ ในขณะที่การซ่อนลายน้ำลงในย่านความถี่สูงจะให้คุณภาพการมองเห็นของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำที่ดีแต่ลายน้ำที่ได้จะไม่คงทนต่อการถูกโจมตีด้วยรูปแบบต่างๆ และแม้ว่าจะเลือกซ่อนลายน้ำลงในย่านความถี่กลางในกรณีของบล็อกขนาด 8×8 พิกเซล ก็ปรากฏตำแหน่งในย่านความถี่กลางให้เลือกทำการซ่อนลายน้ำถึง 22 ตำแหน่ง

อัลกอริธึมของ Shieh และ Wei มุ่งใช้ GA ทำการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมของค่าสัมประสิทธิ์ DCT ที่ใช้ในการซ่อนลายน้ำ โดยลายน้ำจะถูกซ่อนลงในตำแหน่งเดียวกันของทุกๆ บล็อก

ในขณะที่อัลกอริธึมที่จะนำเสนอ มีแนวคิดว่าในภาพแต่ละภาพนั้นสามารถจำแนกออกเป็นส่วนประกอบหลักและส่วนประกอบรองที่เป็นพื้นหลังของภาพ เราจึงนำเสนอการจำแนกประเภทของบล็อก DCT ออกเป็น 2 ประเภท โดยใช้ค่าพลังงานเฉลี่ยของทุกบล็อกเป็นเกณฑ์ในการจำแนกประเภทของบล็อก จากนั้นจึงค่อยทำการค้นหาตำแหน่งในการซ่อนลายน้ำที่แตกต่างกันไปตามประเภทของบล็อก เพื่อให้ได้ตำแหน่งในการซ่อนลายน้ำที่เหมาะสมมากยิ่งขึ้นสำหรับบล็อกที่มีลักษณะที่แตกต่างกัน

2. ค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำ

ค่าพลังงานในการฝังหรือซ่อนลายน้ำ เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำและความคงทนของลายน้ำ กล่าวคือ การฝังลายน้ำด้วยค่าพลังงานที่สูงให้ลายน้ำที่มีความคงทน แต่ไปลดคุณภาพด้านการมองเห็นของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ ในขณะที่การฝังลายน้ำด้วยค่าพลังงานที่ต่ำจะให้คุณภาพการมองเห็นของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำที่ดีแต่ลายน้ำที่ได้จะไม่คงทน การค้นหาค่าพลังงานในการฝังหรือซ่อนลายน้ำที่เหมาะสมจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในงานวิจัยของ Shieh และ Wei กำหนดค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำเป็นค่าคงที่ค่าเดียวนำมาใช้กับภาพทุกภาพ โดย ใน Shieh กำหนดค่าพลังงานในการฝังลายน้ำเป็น 1 กล่าวคือในการซ่อนลายน้ำทำการเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ DCT โดยการนำค่าสัมประสิทธิ์ DCT เดิม มาทำการบวกหรือลบด้วย 1 ในขณะที่ Wei กำหนดค่าพลังงานในการฝังลายน้ำเป็น 0.5 โดยทำการเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ DCT ด้วยการนำค่าสัมประสิทธิ์ DCT เดิม มาทำการคูณด้วย -0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับอัลกอริธึมที่นำเสนอ มีแนวคิดที่ว่าภาพแต่ละภาพที่นำมาทำการซ่อนลายน้ำมีลักษณะที่แตกต่างกันไป ค่าพลังงานในการฝังลายน้ำของแต่ละภาพจึงไม่ควรใช้ค่าที่เหมือนกันในทุกภาพ หากแต่ควรค้นหาค่าที่เหมาะสมสำหรับแต่ละภาพ ด้วยเหตุนี้นอกเหนือจากการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำตามข้อ 1 แล้ว เราจึงทำการค้นหาค่าพลังงานที่เหมาะสมในการฝังลายน้ำที่แตกต่างกันไปตามภาพที่นำมาทำการซ่อนลายน้ำ โดยในแต่ละภาพก็มีการค้นหาค่าพลังงานในการฝังลายน้ำที่แตกต่างกันตามประเภทของบล็อก

3. อัลกอริธึมสำหรับการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

สำหรับอัลกอริธึมการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำ ในงานวิจัยของ Shieh และ Wei เลือกใช้กระบวนการทางพันธุศาสตร์ (Genetic Algorithm: GA) ในการค้นหา แต่จากการศึกษาพบว่าอัลกอริธึมที่มีประสิทธิภาพเหนือกว่า GA ได้แก่ ระบบอาณานิคมมด (Ant Colony System: ACS) โดยมีงานวิจัย [7] ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบให้เห็นถึงประสิทธิภาพดังกล่าว ด้วยเหตุนี้ในอัลกอริธึมที่นำเสนอ จึงมีการออกแบบและพัฒนา ACS สำหรับการค้นหาพารามิเตอร์อันได้แก่ตำแหน่งและค่าพลังงานที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำ

4. ดัชนีในการวัดประสิทธิภาพด้านการมองเห็นของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ

ในงานวิจัยของ [8] และ [10] ได้มีการอ้างถึงดัชนี PSNR ว่ามีหลายกรณีที่ PSNR ไม่สามารถบ่งชี้คุณภาพของภาพที่เรามองเห็นได้ถูกต้อง ในงานวิจัย [8] และ [10] จึงได้ทำการพัฒนาดัชนีในการวัดคุณภาพการมองเห็นของภาพออกมาใหม่ โดย [10] ได้พัฒนาเป็นดัชนี UQI [Universal Quality Index] และในงานวิจัย [8] ได้พัฒนาต่อมาเป็นดัชนี MSSIM (Mean Structural Similarity) ในที่สุด ซึ่งจากงานวิจัย [8] พบว่า MSSIM ถูกพัฒนาให้สามารถตอบสนองต่อระบบการมองเห็นของมนุษย์ (Human Visual System) ได้ดียิ่งขึ้น ในงานวิจัยของ Shieh และ Wei ได้ใช้ PSNR เป็นดัชนีในการวัดคุณภาพการมองเห็นของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ ซึ่ง PSNR ที่นำมาใช้นี้ เป็นพารามิเตอร์ที่มีบทบาทต่อการประเมินความเหมาะสมของคำตอบในการทำงานแต่ละรอบของ GA แต่ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น อัลกอริธึมที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำดัชนี MSSIM มาใช้เป็นดัชนีวัดคุณภาพด้านการมองเห็นของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ

หลังจากที่ได้บททวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและนำเสนอแนวความคิด และประเด็นความแตกต่างของงานวิจัยที่นำเสนอกับงานวิจัยที่นำมาเปรียบเทียบแล้ว ในบทต่อไปจะเป็นการกล่าวถึงการออกแบบและขั้นตอนวิธีของอัลกอริธึมการซ่อนลายน้ำที่นำเสนอ

บทที่ 4

ขั้นตอนและวิธีการออกแบบ

ปัญหาของงานวิจัยนี้ คือทำอย่างไรจึงจะสามารถฝังลายน้ำจำนวน n บิต ลงในค่าสัมประสิทธิ์ดีซีทีซึ่งมีตำแหน่งให้เลือกฝัง 63 ตำแหน่ง (ตำแหน่งที่ 1 ถึง 63) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดสำหรับการนำไปใช้งาน โดยจะต้องปรับสมดุลระหว่างคุณภาพของภาพผลลัพธ์ที่ได้ และความคงทนต่อการถูกโจมตีของลายน้ำ ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงมีหลายด้าน ได้แก่

1) การเลือกตำแหน่งทางความถี่ (Frequency Location) หรือตำแหน่งของค่าสัมประสิทธิ์ DCT ที่จะฝังลายน้ำ เป็นที่ทราบกันดีว่าการฝังลายน้ำในตำแหน่งความถี่ต่ำจะรบกวนคุณภาพในการมองเห็นอย่างมาก แต่ลายน้ำมักมีความคงทนต่อการถูกโจมตีได้ดี ในทางตรงกันข้าม การฝังลายน้ำในตำแหน่งความถี่สูง จะได้ภาพที่มีคุณภาพสูงกว่า แต่ลายน้ำที่ได้จะไม่คงทนต่อการถูกโจมตี วิธีการที่นิยมทั่วไปจึงเลือกใส่ลายน้ำลงในย่านความถี่กลาง เพื่อประนีประนอมผลที่ต้องการได้ทั้งสองด้าน อย่างไรก็ตาม “ความถี่กลาง” เป็นเพียงแนวคิดกว้างๆ ไม่สามารถระบุตำแหน่งที่แน่นอนได้

2) ความแรงของสัญญาณลายน้ำที่จะฝัง หรือที่เรียกว่า ค่าพลังงานในการฝังลายน้ำ ω ในสมการที่ (4.10) ถ้ามีค่าสูงจะทำให้ภาพที่ได้มีคุณภาพต่ำ แต่มีความคงทนต่อการถูกโจมตีได้ดี ในทางตรงกันข้าม ถ้าเราเน้นเรื่องคุณภาพในการมองเห็นจะต้องให้ ω มีค่าต่ำ แต่ต้องแลกกับการถูกโจมตีลายน้ำที่ทำได้ง่ายขึ้น

3) ค่าที่ดีที่สุดสำหรับการฝังลายน้ำในสองประเด็นแรกยังขึ้นอยู่กับเนื้อหาของภาพ (Image Content) อีกด้วย กล่าวคือ ค่าที่ดีที่สุดสำหรับภาพประเภทเท็กซ์เจอร์ซึ่งมีองค์ประกอบความถี่สูงเป็นหลัก มักแตกต่างจากค่าที่ดีที่สุดสำหรับภาพที่มีค่าพิกเซลใกล้เคียงกันซึ่งมีองค์ประกอบความถี่ต่ำเป็นหลัก หมายความว่า เราควรใช้ค่าพารามิเตอร์ในการฝังลายน้ำ (ตำแหน่งทางความถี่ และพลังงานในการฝัง) แยกเป็นอิสระต่อกันระหว่างบล็อกของภาพที่มีเนื้อหาต่างกัน (แยกพิจารณาเพียง 2 ประเภทคือ เท็กซ์เจอร์หรือไม่ใช่)

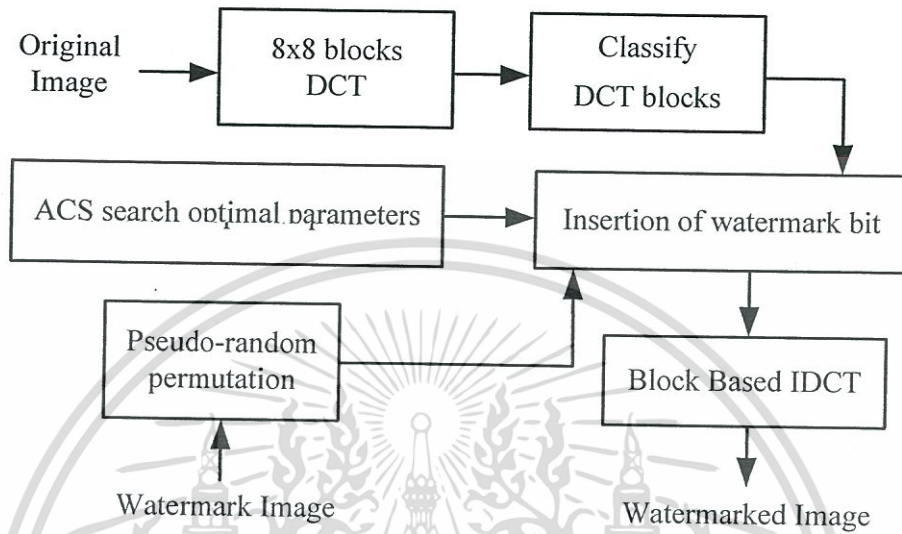
ด้วยเหตุนี้ อัลกอริธึมของวิธีที่นำเสนอ จึงทำการวิเคราะห์เท็กซ์เจอร์เพื่อจำแนกบล็อกของภาพออกเป็น 2 ประเภท แล้วจึงคำนวณหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับการฝังลายน้ำแยกเป็นอิสระ 2 ชุดสำหรับบล็อกของภาพแต่ละประเภท โดยค่าที่ต้องคำนวณหาประกอบด้วย ตำแหน่งทางความถี่ที่จะฝัง (n ตำแหน่ง) และค่าพลังงานในการฝังลายน้ำอีกหนึ่งค่า

เนื้อหาในบทนี้ เป็นการนำเสนอวิธีการซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัลโดยใช้การจำแนกเท็กซ์เจอร์และการหาค่าเหมาะสมที่สุด เนื้อหาในบทนี้ประกอบไปด้วยกระบวนการซ่อนลายน้ำ กระบวนการกู้คืนลายน้ำ และการค้นหาตำแหน่งของค่าสัมประสิทธิ์ DCT และค่าพลังงานที่เหมาะสมต่อการซ่อนลายน้ำด้วยระบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การซ่อนลายน้ำ (Watermark Encoding)

ในการซ่อนลายน้ำจะใช้การแปลงโคซายน์แบบดีสครีต (DCT) แบบบล็อก โดยมีขั้นตอนของการซ่อนลายน้ำดังต่อไปนี้ (แสดงดังรูปที่ 4.1)



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนของการซ่อนลายน้ำ

ขั้นตอนที่ 1: การแปลง DCT แบบบล็อก

ให้ X เป็นภาพดิจิทัลต้นฉบับ ขนาด $M \times N$ พิกเซล แสดงโดย

$$X = \{x(i, j), 0 \leq i < M \text{ and } 0 \leq j < N\} \quad (4.1)$$

เมื่อ $\{x(i, j) \in \{0, \dots, 2^L - 1\}$ เป็นระดับความเข้มของพิกเซล $x(i, j)$ และ L เป็นขนาดของบิต ภาพต้นฉบับ X จะมีจำนวนของบล็อกขนาด 8×8 พิกเซล รวมทั้งสิ้น $(M/8) \times (N/8)$ บล็อก

ภาพต้นฉบับ X จะถูกแบ่งออกเป็นบล็อกขนาด 8×8 จากนั้นแต่ละบล็อกจะถูกนำมาแปลง DCT โดยอิสระต่อกัน ดังนี้

$$Y = DCT(X) \quad (4.2)$$

และ

$$Y = \bigcup_{m=1}^{M/8} \bigcup_{n=1}^{N/8} Y_{(m,n)} \quad (4.3)$$

สำหรับแต่ละบล็อก (m, n) ใน X จะประกอบไปด้วยค่าสัมประสิทธิ์ DCT $(Y_{(m,n)})$ จำนวน 64 ค่า ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y_{(m,n)} = \bigcup_{k=0}^{63} \{Y_{(m,n)}(k)\}, \quad 1 \leq m \leq \frac{M}{8}, 1 \leq n \leq \frac{N}{8} \quad (4.4)$$

เมื่อ $Y_{(m,n)}(k)$ เป็นการจัดเรียงค่าสัมประสิทธิ์ DCT แบบซิกแซกสแกน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 โดยสัมประสิทธิ์ตัวแรก $Y_{(m,n)}(0)$ เรียกว่าสัมประสิทธิ์ดีซี (DC coefficient) และที่เหลืออีก 63 ตัว เรียกว่า สัมประสิทธิ์เอซี (AC coefficients)

$Y_{(m,n)}(0)$	$Y_{(m,n)}(1)$	$Y_{(m,n)}(5)$	$Y_{(m,n)}(6)$	$Y_{(m,n)}(14)$	$Y_{(m,n)}(15)$	$Y_{(m,n)}(27)$	$Y_{(m,n)}(28)$
Flow							
$Y_{(m,n)}(2)$	$Y_{(m,n)}(4)$	$Y_{(m,n)}(7)$	$Y_{(m,n)}(13)$	$Y_{(m,n)}(16)$	$Y_{(m,n)}(26)$	$Y_{(m,n)}(29)$	$Y_{(m,n)}(42)$
$Y_{(m,n)}(3)$	$Y_{(m,n)}(8)$	$Y_{(m,n)}(12)$	$Y_{(m,n)}(17)$	$Y_{(m,n)}(25)$	$Y_{(m,n)}(30)$	$Y_{(m,n)}(41)$	$Y_{(m,n)}(43)$
		Mid					
$Y_{(m,n)}(9)$	$Y_{(m,n)}(11)$	$Y_{(m,n)}(18)$	$Y_{(m,n)}(24)$	$Y_{(m,n)}(31)$	$Y_{(m,n)}(40)$	$Y_{(m,n)}(44)$	$Y_{(m,n)}(53)$
$Y_{(m,n)}(10)$	$Y_{(m,n)}(19)$	$Y_{(m,n)}(23)$	$Y_{(m,n)}(32)$	$Y_{(m,n)}(39)$	$Y_{(m,n)}(45)$	$Y_{(m,n)}(52)$	$Y_{(m,n)}(54)$
					High		
$Y_{(m,n)}(20)$	$Y_{(m,n)}(22)$	$Y_{(m,n)}(33)$	$Y_{(m,n)}(38)$	$Y_{(m,n)}(46)$	$Y_{(m,n)}(51)$	$Y_{(m,n)}(55)$	$Y_{(m,n)}(60)$
$Y_{(m,n)}(21)$	$Y_{(m,n)}(34)$	$Y_{(m,n)}(37)$	$Y_{(m,n)}(47)$	$Y_{(m,n)}(50)$	$Y_{(m,n)}(56)$	$Y_{(m,n)}(59)$	$Y_{(m,n)}(61)$
$Y_{(m,n)}(35)$	$Y_{(m,n)}(36)$	$Y_{(m,n)}(48)$	$Y_{(m,n)}(49)$	$Y_{(m,n)}(57)$	$Y_{(m,n)}(58)$	$Y_{(m,n)}(62)$	$Y_{(m,n)}(63)$

รูปที่ 4.2 การจัดเรียงค่าสัมประสิทธิ์ DCT แบบซิกแซกสแกน

ขั้นตอนที่ 2: การเตรียมลายน้ำ

ลายน้ำ W เป็นลายน้ำแบบไบนารีขนาด $M_W \times N_W$ พิกเซล ที่มีค่าในแต่ละพิกเซลเป็น 1 หรือ 0 ขนาดของลายน้ำต้องมีขนาดเล็กกว่าขนาดของภาพต้นฉบับ โดยในแต่ละบล็อกขนาด 8×8 จะมีตำแหน่งที่ใช้ในการซ่อนลายน้ำทั้งหมด $64 \times (M_W \times N_W) / (M \times N)$ ตำแหน่ง

$$W = \{w(i, j), 0 \leq i < M_W \text{ and } 0 \leq j < N_W\} \quad (4.5)$$

เมื่อ $w(i, j) \in \{0, 1\}$

ขั้นตอนที่ 3: การสลับตำแหน่งของลายน้ำ

ตำแหน่งของลายน้ำจะถูกทำการสลับไปมา โดยการสุ่มลำดับแบบอิสระเพื่อให้ยากต่อการกู้

คืนลายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$W_p = \text{permute}(W) \quad (4.6)$$

เมื่อ พิกเซล (i', j') ถูกสลับที่กับพิกเซล (i, j) โดยการสุมค่าแบบอิสระ

ขั้นตอนที่ 4: การจำแนกประเภทของบล็อก DCT

ในขั้นตอนนี้ เราต้องการจำแนกบล็อกข้อมูลภาพออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ บล็อกที่มีลักษณะเป็นภาพเท็กซ์เจอร์ (Texture) และบล็อกที่มีลักษณะภาพเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) โดยที่ ภาพเท็กซ์เจอร์จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าของพิกเซลที่อยู่ใกล้เคียงกันค่อนข้างมาก จึงมีองค์ประกอบของข้อมูลที่เป็นความถี่สูง ในขณะที่ภาพที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน พิกเซลส่วนใหญ่ภายในบล็อกจะมีค่าใกล้เคียงกัน อันหมายถึงองค์ประกอบของข้อมูลส่วนใหญ่มีความถี่ต่ำนั่นเอง ด้วยเหตุนี้การจำแนกภาพเท็กซ์เจอร์ในงานวิจัยนี้ จึงเลือกใช้วิธีพิจารณาค่าพลังงานเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์เอซีภายในบล็อก $(E_{(m,n)})$ ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (4.7) โดยใช้หลักการที่ว่า ถ้า $E_{(m,n)}$ ของบล็อกนั้นๆ มีค่ามากกว่าค่าเทรโซลด์ T (Threshold) บล็อกดังกล่าวจะถูกจำแนกเป็นบล็อกประเภทที่ 1 (region1) ในกรณีอื่นที่ $E_{(m,n)}$ มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าเทรโซลด์ T บล็อกนั้นจะถูกจำแนกเป็นบล็อกประเภทที่ 2 (region2) ทั้งนี้ region1 เปรียบเสมือนบล็อกที่เป็นภาพเท็กซ์เจอร์ (Texture) ในขณะที่ region2 เปรียบเสมือนบริเวณที่ภาพเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) โดยที่ค่าเทรโซลด์ T เป็นค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์เอซี ทั้งหมดของภาพ ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (4.8)

$$E_{(m,n)} = \left(\sum_{k=1}^{63} |Y_{(m,n)}(k)| \right) / 63 \quad (4.7)$$

$$T = \left(\sum_{m=1}^{M/8} \sum_{n=1}^{N/8} \sum_{k=1}^{63} |Y_{(m,n)}(k)| \right) / (63 \cdot (M/8) \cdot (N/8)) \quad (4.8)$$

ขั้นตอนที่ 5: การค้นหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำ

การปรับค่าพารามิเตอร์ในการซ่อนลายน้ำให้เหมาะสมเป็นหนทางหนึ่งในการที่จะพัฒนาประสิทธิภาพของอัลกอริธึมการซ่อนลายน้ำให้ดียิ่งขึ้น ในงานวิจัยนี้ตำแหน่งของสัมประสิทธิ์ DCT และค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำจะถูกทำการค้นหาโดยวิธีระบบอนุมานิคมมต เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมสำหรับแต่ละประเภทของบล็อก DCT ที่ได้ทำการจำแนกไว้ในขั้นตอนที่ 4 รายละเอียดของโครงสร้างและการทำงานของระบบอนุมานิคมมตปรากฏในหัวข้อที่ 4.3

ขั้นตอนที่ 6: การซ่อนลายน้ำ

ในการซ่อนลายน้ำ (W_p) ลงในค่าสัมประสิทธิ์ DCT จำเป็นต้องใช้ค่า P ซึ่งอธิบายตามสมการที่ (4.9) โดยมีเพียงตำแหน่ง i ของสัมประสิทธิ์ DCT ที่ถูกค้นหาโดย ACS ในขั้นตอนที่ 5 เท่านั้น ที่ถูกใช้ในการซ่อนลายน้ำตามสมการการซ่อนลายน้ำที่ (4.10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานวิจัยที่ดำเนินการโดยบุคลากรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัยได้ หากท่านใดต้องการนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{(m,n)}(i) = \begin{cases} 1, & \text{ถ้า } Y_{(m,n)}(i) \geq 0 \\ 0, & \text{อื่นๆ} \end{cases} \quad (4.9)$$

$$Y'_{(m,n)}(i) = \begin{cases} Y_{(m,n)}(i), & \text{ถ้า } P_{(m,n)}(i) = W_{p(m,n)} \\ (-\omega)Y_{(m,n)}(i), & \text{ถ้า } P_{(m,n)}(i) \neq W_{p(m,n)} \end{cases} \quad (4.10)$$

เมื่อ Y' เป็นค่าสัมประสิทธิ์ DCT ส่วน $\omega \in (0,1]$ เป็นค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำ ซึ่งถูกค้นหาค่าที่เหมาะสมจาก ACS ในขั้นตอนที่ 5

$$Y' = \bigcup_{m=1}^{M/8} \bigcup_{n=1}^{N/8} \bigcup_{k=0}^{63} \{Y'_{(m,n)}(k)\} \quad (4.11)$$

ขั้นตอนที่ 7: การแปลงกลับ DCT

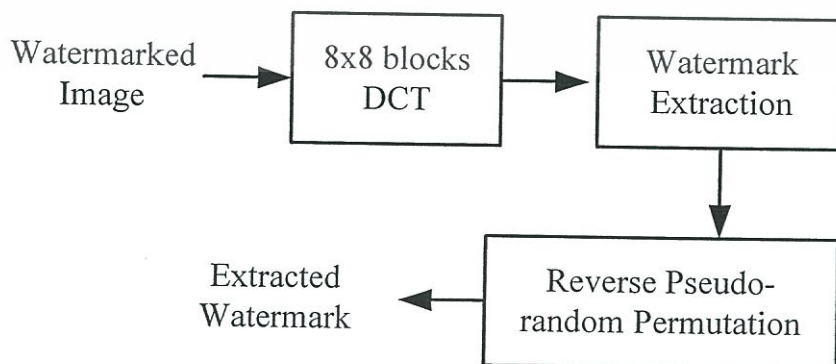
เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์ DCT ที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ Y' จากขั้นตอนที่ 6 การจะได้มาซึ่งภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ X' จะต้องทำการแปลงกลับ DCT (Inverse DCT: IDCT) ดังนี้

$$X' = IDCT(Y') \quad (4.12)$$

ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำจะถูกนำมาตรวจสอบประสิทธิภาพด้านการมองเห็น โดยใช้ดัชนี MSSIM (Mean Structural Similarity) ซึ่งได้อธิบายโดยละเอียดไว้ในบทที่ 2 หัวข้อ 2.1.5

4.2 การกู้คืนลายน้ำ (Watermark Extraction)

การกู้คืนลายน้ำเพื่อพิสูจน์ความเป็นเจ้าของในภาพที่ต้องสงสัย มีขั้นตอนการกู้คืนลายน้ำในภาพ (แสดงดังรูปที่ 4.3) ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.3 ขั้นตอนของการกู้คืนลายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1: การแปลง DCT แบบบล็อก

ภาพที่ต้องส่งสัย X'' จะถูกนำมาแปลง DCT แบบบล็อกขนาด 8×8 พิกเซล

$$Y'' = DCT(X'') \quad (4.13)$$

ขั้นตอนที่ 2: การกู้คืนลายน้ำที่ถูกสลับที่

จากนั้นทำการกู้คืนลายน้ำ W'_p จากค่าสัมประสิทธิ์ DCT Y''

$$W'_{p(m,n)}(i) = \begin{cases} 1, & \text{ถ้า } Y''_{(m,n)}(i) \geq 0 \\ 0, & \text{อื่นๆ} \end{cases} \quad (4.14)$$

$$W'_p = \bigcup_{m=1}^{M/M_w} \bigcup_{n=0}^{N/N_w} W'_{b(m,n)}(i) \quad (4.15)$$

เมื่อ Y'' เป็นค่าสัมประสิทธิ์ DCT ที่ถูกซ่อนลายน้ำ ส่วน i เป็นตำแหน่งของค่าสัมประสิทธิ์ DCT ที่ทำการซ่อนลายน้ำที่ได้จากการค้นหาของ ACS

ขั้นตอนที่ 3: การสลับตำแหน่งของลายน้ำ

ลายน้ำ W'_p จากขั้นตอนที่ 2 จะถูกนำมาสลับคืนตำแหน่ง จากที่เคยสลับตำแหน่งไว้ตามสมการที่ (4.6) เพื่อให้ได้เป็นลายน้ำที่กู้คืนมา W''

$$W'' = \text{inverse permute}(W'_p) \quad (4.16)$$

ลายน้ำที่ได้จะถูกนำมาทดสอบความคงทนของลายน้ำ โดยการเปรียบเทียบความเหมือนกับลายน้ำต้นฉบับโดยใช้ค่า NC (Normalized Cross Correlation) เป็นตัวทดสอบ ซึ่งได้อธิบายโดยละเอียดไว้ในบทที่ 2 หัวข้อ 2.1.6

4.3 การค้นหาตำแหน่งและค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำด้วยระบบอาณานิคมมด

ในขั้นตอนของการซ่อนลายน้ำ เมื่อผ่านการแปลง DCT แบบบล็อก (ขั้นตอนที่ 1) ในแต่ละบล็อก DCT ขนาด 8×8 จะประกอบไปด้วยค่าสัมประสิทธิ์จำนวน 64 ค่า ที่ถูกจัดเรียงแบบซิกแซกสแกน ซึ่งประกอบไปด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความถี่ต่ำจำนวน 6 ค่า ค่าสัมประสิทธิ์ความถี่กลางจำนวน 22 ค่า และค่าสัมประสิทธิ์ความถี่สูงจำนวน 36 ค่า ซึ่งแทนด้วย F_{low} , F_{mid} และ F_{high} ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 โดยมี $Y_{(m,n)}(0)$ เพียงตำแหน่งเดียวที่เป็นสัมประสิทธิ์ดีซีที่เหลืออีก 63 ตำแหน่ง ล้วนเป็นค่าสัมประสิทธิ์เอซีซึ่งสามารถนำมาใช้ในการซ่อนลายน้ำได้ โดยที่การซ่อนลายน้ำในแต่ละบล็อกจะต้องทำการเลือกซ่อนลายน้ำลงไปเป็นสัมประสิทธิ์เอซีเพียง n ตำแหน่ง (เช่น $n=5$)

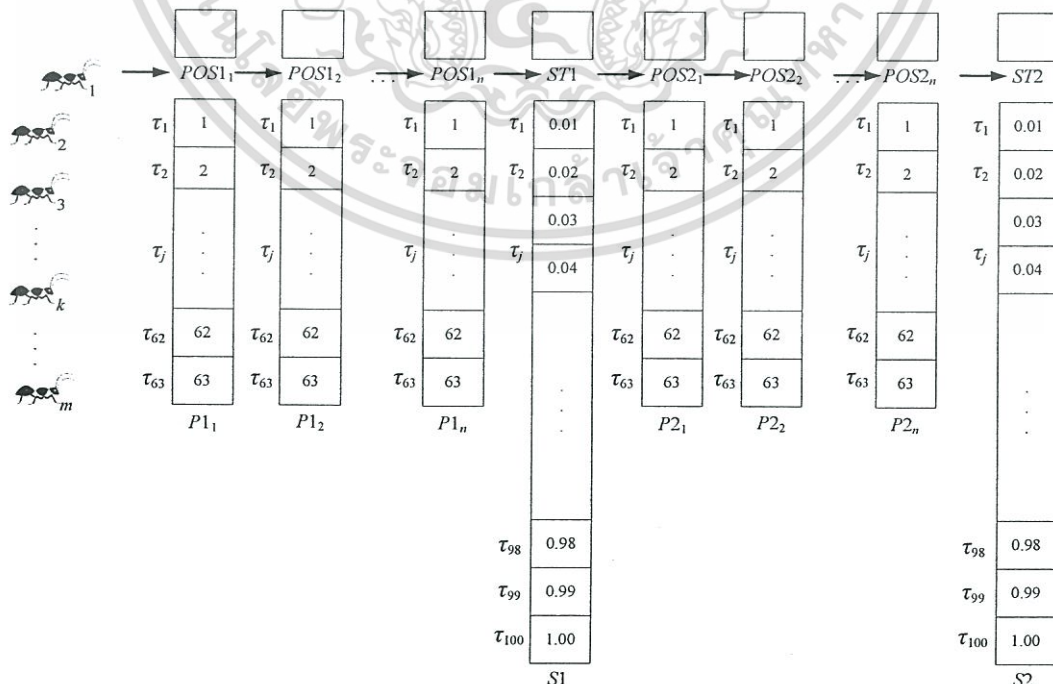
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่ควรเอาไปทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากทั้งหมด 63 ตำแหน่ง และในการซ่อนลายน้ำสามารถปรับค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำให้มากขึ้นน้อยได้ด้วยค่า ω ในสมการที่ (4.10) นอกจากนี้ค่าที่ดีที่สุดของพารามิเตอร์ทั้งหมดนี้ (ตำแหน่งของสัมประสิทธิ์เอซีและค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำ) ยังขึ้นอยู่กับ องค์ประกอบภายในภาพ ที่เราทำการแยกพิจารณาบล็อกภาพเป็น 2 ประเภทคือ texture (*region1*) กับ homogeneous (*region2*) เราจึงต้องค้นหาพารามิเตอร์เหล่านี้โดยแยกอิสระจากกันเป็น 2 ชุดด้วย

เป็นที่ทราบกันดีว่า การซ่อนลายน้ำในตำแหน่งที่เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความถี่ต่ำจะให้ลายน้ำที่มีความคงทน แต่คุณภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำจะไม่ดีเท่าที่ควร ในขณะที่การซ่อนลายน้ำในตำแหน่งที่เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความถี่สูง จะให้คุณภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำในระดับที่น่าพอใจ แต่ลายน้ำที่ได้จะไม่คงทนต่อการถูกโจมตี และในทำนองเดียวกันการซ่อนลายน้ำด้วยค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำสูง จะส่งผลให้คุณภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำลดลง แต่จะเพิ่มคุณภาพด้านความคงทนของลายน้ำ ในขณะที่ถ้าซ่อนลายน้ำด้วยค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำต่ำ จะให้คุณภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำดี แต่ลายน้ำก็จะไม่คงทนต่อการโจมตีภาพในรูปแบบต่างๆ ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบและพัฒนาระบบอาณานิคมมดสำหรับค้นหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อการซ่อนลายน้ำ อันได้แก่ ตำแหน่งของค่าสัมประสิทธิ์เอซีและค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำที่มีความเหมาะสมสำหรับบล็อกแต่ละประเภทแบบแยกอิสระจากกันเป็น 2 ชุด

4.3.1 โครงสร้างของระบบอาณานิคมมด

โครงสร้างของระบบอาณานิคมมดสำหรับการหาตำแหน่งและค่าพลังงานที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำแสดงดังรูปที่ 4.4 ซึ่งประกอบไปด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.4 โครงสร้างของระบบอาณานิคมมดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ตำแหน่งของค่าสัมประสิทธิ์เอซี ที่มดเลือกใช้ในการซ่อนลายน้ำของแต่ละประเภทของบล็อกจะถูกจัดเรียงเป็นอาร์เรย์ขนาด $1 \times n$ มิติ ภายใต้ตัวแปร $POS1_i$ และ $POS2_i$ ตามลำดับ เมื่อ n แทนจำนวนตำแหน่งที่ใช้ในการซ่อนลายน้ำของแต่ละบล็อก DCT และ $i = 1, 2, 3, \dots, n$
2. เซตของค่าสัมประสิทธิ์เอซี ทั้งหมด จำนวน 63 ค่า ของแต่ละตัวแปร $POS1_i$ และ $POS2_i$ จะถูกแสดงโดยอาร์เรย์ $P1_i$ และ $P2_i$ ซึ่งมีขนาด 63×1 มิติ โดยที่ $P1_i$ และ $P2_i = \{1, \dots, 63\}$
3. ค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำ (ω ในสมการที่ (4.10)) ที่มดเลือกสำหรับซ่อนลายน้ำในแต่ละประเภทของบล็อก DCT ถูกแทนด้วยตัวแปร $ST1$ และ $ST2$ ตามลำดับ
4. เซตของค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำทั้งหมดของแต่ละตัวแปร $ST1$ และ $ST2$ จะถูกแสดงโดยอาร์เรย์ $S1$ และ $S2$ ซึ่งมีขนาด 100×1 มิติ โดยที่ $S1$ และ $S2 = \{0.01, 0.02, 0.03, \dots, 1\}$
5. τ_j เป็นค่าพีโรโมนประจำตำแหน่ง j ในอาร์เรย์ $P1_i, P2_i, S1$ และ $S2$

4.3.2 ขั้นตอนการทำงานของระบบอาณานิคมมด

การทำงานของระบบอาณานิคมมดสำหรับการหาตำแหน่งและค่าพลังงานที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1: การสุ่มค่าให้กับตัวแปรทั้งหมด

เป็นขั้นตอนของการสุ่มค่าให้กับตัวแปรทุกตัว ($POS1_i, POS2_i, ST1$ และ $ST2$) ที่ต้องการให้ระบบอาณานิคมมดดำเนินการค้นหาค่าให้ โดยจะสุ่มค่าตัวแปรเหล่านี้ให้กับมดทุกตัวในระบบ

ขั้นตอนที่ 2: การซ่อนลายน้ำ

ค่าของตัวแปร $POS1_i, POS2_i, ST1$ และ $ST2$ ที่ได้จากการสุ่มในขั้นตอนที่ 1 ของมดแต่ละตัว จะถูกนำมาใช้ในการซ่อนลายน้ำในภาพตามกระบวนการซ่อนลายน้ำในหัวข้อที่ 4.1 ผลลัพธ์จากขั้นตอนนี้คือภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ ซึ่งจะมีจำนวนของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำทั้งหมดเท่ากับจำนวนของมดที่มีอยู่ในระบบอาณานิคมมด

ขั้นตอนที่ 3: การวัดคุณภาพด้านการมองเห็นของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ

ในขั้นตอนนี้ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำทั้งหมดจะถูกนำมาทดสอบคุณภาพด้านการมองเห็นโดยใช้ดัชนี MSSIM (Mean Structural Similarity) ซึ่งได้อธิบายโดยละเอียดไว้ในบทที่ 2 หัวข้อ

2.1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 4: การโจมตี

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการโจมตีภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ X' ด้วยรูปแบบต่างๆ จำนวน h รูปแบบ ผลลัพธ์ที่ได้คือภาพที่ผ่านการโจมตี X''

ขั้นตอนที่ 5: การกู้คืนลายน้ำ

ภาพที่ผ่านการโจมตี X'' จากขั้นตอนที่ 4 จะถูกนำมากู้คืนลายน้ำ ตามกระบวนการกู้คืนลายน้ำในหัวข้อที่ 4.2 โดยผลลัพธ์ที่ได้คือภาพลายน้ำ W'

ขั้นตอนที่ 6: การวัดความคงทนของลายน้ำ

ภาพลายน้ำ W' ทุกภาพจะถูกนำมาทดสอบความคงทน โดยทำการวัดค่าดัชนี NC (Normalized Cross Correlation) ซึ่งได้อธิบายโดยละเอียดไว้ในบทที่ 2 หัวข้อ 2.1.6

ขั้นตอนที่ 7: การคำนวณค่าเป้าหมาย

ค่า MSSIM ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 และค่า NC จากขั้นตอนที่ 6 จะถูกนำมาคำนวณค่าเป้าหมาย f ดังสมการที่ (4.17) และ (4.18)

$$f = \lambda_{\text{MSSIM}} (1 - \text{MSSIM}) + \lambda_{\text{NC}} (1 - \text{NC}_{\text{avg}}) \quad (4.17)$$

$$\text{NC}_{\text{avg}} = \left(\sum_{a=1}^h \text{NC}_a \right) / h \quad (4.18)$$

เมื่อ h เป็นจำนวนของรูปแบบการโจมตีทั้งหมดที่ทำในขั้นตอนที่ 4
 λ_{MSSIM} เป็นตัวประกอบน้ำหนักของดัชนี MSSIM
 λ_{NC} เป็นตัวประกอบน้ำหนักของดัชนี NC

ค่าตัวประกอบน้ำหนักแต่ละตัวแสดงถึงการให้ความสำคัญของแต่ละตัวในระหว่างการดำเนินการค้นหาที่เหมาะสมของระบบอาณานิคม ในกรณีที่ต้องการให้ความสำคัญของทั้งสองดัชนี (MSSIM และ NC) เท่าๆ กัน ควรกำหนดให้ค่าตัวประกอบน้ำหนักทั้งคู่ (λ_{MSSIM} และ λ_{NC}) มีค่าเท่ากับ 0.5

ขั้นตอนที่ 8: การค้นหาที่ดีที่สุด

มดตัวที่ดีที่สุดในแต่ละรอบที่ c ในระบบอาณานิคม คือ มดที่ให้ค่าเป้าหมาย f ที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 7 เป็นค่าที่ต่ำที่สุด (f_c)

$$f_c = \text{Min}(f) \quad (4.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 9: การปรับปรุงค่าฟีโรโมนครอบคลุมทั้งระบบ (Global Pheromone Update)

เมื่อสิ้นสุดการทำงานในแต่ละรอบการทำงานของระบบอาณานิคมมด จนได้มดที่ดีที่สุดของรอบการทำงานนั้นแล้ว ค่าฟีโรโมนประจำตำแหน่งในอาร์เรย์ $P1_i$, $P2_i$, $S1$ และ $S2$ เฉพาะตำแหน่งที่มดตัวที่ดีที่สุดในรอบนั้นเลือกนำไปใช้จะถูกปรับปรุงค่าเพิ่มขึ้น ด้วยสมการที่ (4.20)

$$\tau_j \leftarrow \begin{cases} (1-\rho)\cdot\tau_j + \rho\cdot\Delta\tau_j, & \text{ถ้า } j \text{ เป็นตำแหน่งของ} \\ & \text{ค่าพารามิเตอร์ที่มดตัวที่ดีที่สุด} \\ & \text{เลือกใช้,} \\ \tau_j, & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (4.20)$$

เมื่อ $\rho \in (0,1]$ เป็นอัตราการระเหยของฟีโรโมน และ $\Delta\tau_j = 1/f_c$

รอบการทำงานที่ $n; n > 0$

ขั้นตอนที่ 10: การเลือกพารามิเตอร์ใหม่ของมด

มดตัวที่ k จะทำการเลือกค่าพารามิเตอร์ใหม่สำหรับแต่ละตัวแปร $POS1_i$, $POS2_i$, $ST1$ และ $ST2$ โดยเงื่อนไขของการพิจารณาเลือกค่าพารามิเตอร์ใหม่จะเป็นไปตามสมการที่ (4.21) - (4.23) ดังนี้

$$j = \begin{cases} \arg[\text{Max}_{j \in N^k} \{\tau_j\}], & \text{ถ้า } q \leq q_0 \\ m, & \text{ถ้า } q > q_0 \end{cases} \quad (4.21)$$

$$p_j^k = \frac{\tau_j}{\sum_{l \in N^k} \tau_l} \quad (4.22)$$

$$s_j^k = \sum_{i=1}^j p_i^k \quad (4.23)$$

- เมื่อ j เป็นตำแหน่งของพารามิเตอร์ที่ถูกเลือก
 N^k เป็นตำแหน่งของ $POS1_i$, $POS2_i$, $ST1$ และ $ST2$ ที่ยังไม่เคยถูกเลือกจากมดตัวก่อนหน้าในรอบการทำงานเดียวกัน
 τ_j เป็นค่าฟีโรโมนประจำตำแหน่งที่ j ของอาร์เรย์ $P1_i$, $P2_i$, $S1$ และ $S2$
 q เป็นค่าที่ได้จากการสุ่มค่าจำนวนจริงระหว่าง $[0, 1]$
 q_0 เป็นจำนวนจริงระหว่าง $[0, 1]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- P_j^k เป็นค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกของตำแหน่ง j สำหรับมดตัวที่ k
 S_j^k เป็นค่าความถี่สะสมของค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกสำหรับตำแหน่ง j
 m เป็นตำแหน่งของพารามิเตอร์ที่ถูกเลือก ซึ่งพิจารณาจากค่าสุ่ม r กับค่าความถี่สะสม S โดยตำแหน่ง m ที่ถูกเลือก คือตำแหน่งที่ $S_{m-1}^k < r \leq S_m^k$

ขั้นตอนที่ 11: การปรับปรุงค่าฟีโรโมนเฉพาะบริเวณ (Local Pheromone Update)

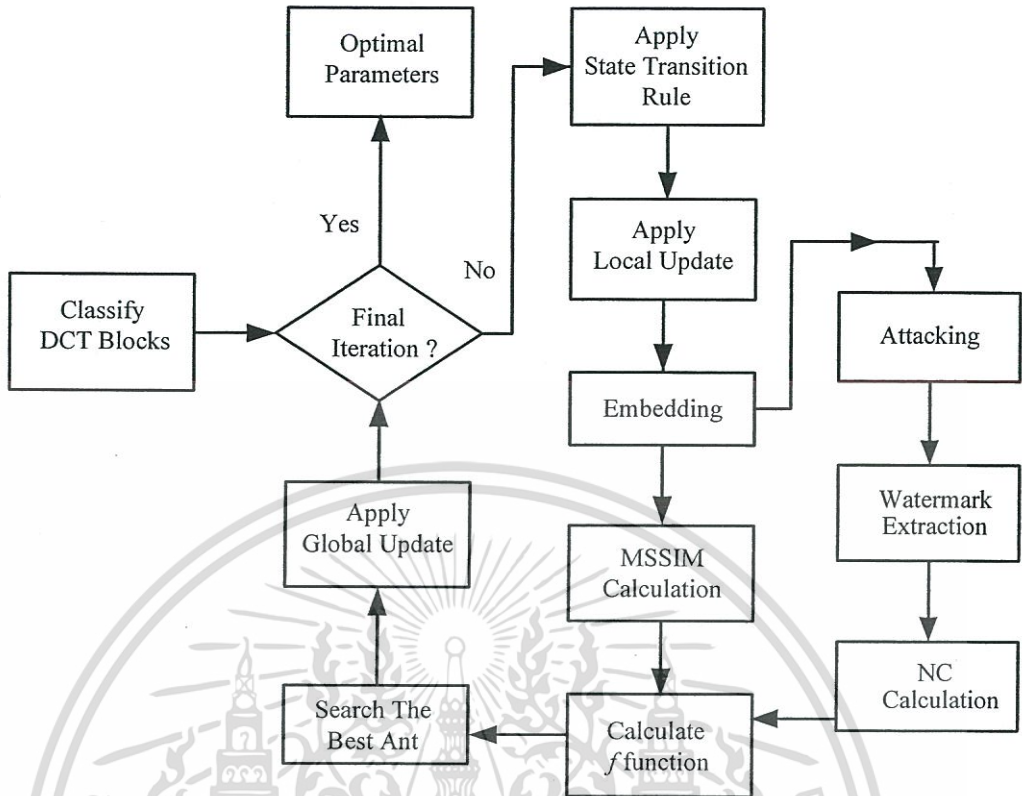
ในรอบการทำงานหนึ่งๆ เมื่อมดแต่ละตัวเลือกค่าพารามิเตอร์ใหม่แต่ละค่า ค่าฟีโรโมนของตำแหน่งที่ถูกเลือกจะถูกทำให้ลดลงเพื่อเพิ่มโอกาสให้ตำแหน่งอื่นๆ ที่ไม่เคยถูกเลือกได้มีโอกาสถูกเลือกโดยมดตัวอื่นๆ ที่เหลือ ซึ่งการปรับลดค่าฟีโรโมนปรับปรุงค่าฟีโรโมนนี้เป็นไปตามสมการที่ (4.24) ดังนี้

$$\tau_j = (1 - \varphi) \cdot \tau_j + \varphi \cdot \tau_0 \quad (4.24)$$

เมื่อ τ_0 คือ ค่าเริ่มต้นของฟีโรโมน
 φ คือ ค่าประสิทธิภาพของการเสื่อมสลายของฟีโรโมนในระดับเฉพาะบริเวณ โดยที่ $\varphi \in (0, 1]$

เมื่อมดทุกตัวเลือกค่าพารามิเตอร์ครบทุกค่าแล้ว ขั้นตอนถัดไปคือการนำค่าพารามิเตอร์ที่เลือกไว้มาใช้ในการช้อนลายน้ำ ซึ่งก็คือการย้อนกลับไปทำงานตามขั้นตอนที่ 2 ลงมาตามลำดับจนถึงขั้นตอนที่ 9 จึงจะถือว่าเสร็จสิ้นการทำงานในแต่ละรอบ ก่อนจะขึ้นการทำงานรอบใหม่ในขั้นตอนที่ 10 ต่อไป ระบบอานานิคมมดจะทำงานเช่นนี้ไปจนกว่าจะครบจำนวนรอบการทำงานสูงสุดที่ตั้งไว้ เมื่อครบจำนวนรอบสูงสุดที่ตั้งไว้ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดที่ถูกเลือกโดยมดที่ดีที่สุดในรอบสุดท้าย จะเป็นคำตอบของปัญหาที่ระบบอานานิคมมดค้นหามาได้ ซึ่งในที่นี้คำตอบที่ได้ก็คือตำแหน่งในการช้อนลายน้ำและค่าพลังงานในการช้อนลายน้ำของแต่ละประเภทของบล็อก DCT

ขั้นตอนการทำงานของระบบอานานิคมมดสำหรับการหาตำแหน่งและค่าพลังงานที่เหมาะสมในการช้อนลายน้ำ แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ขั้นตอนการทำงานของระบบอาณานิคมมดสำหรับการหาตำแหน่งและค่าพลังงานที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

หลังจากที่ได้อธิบายถึงวิธีการซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัลโดยใช้การจำแนกเท็กซ์เจอร์และระบบอาณานิคมมดในบทที่แล้ว เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองที่ได้จากการเขียนโปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน 2006 จำลองการทำงาน และใช้คอมพิวเตอร์ ซีพียู Intel Core2 Duo E7300 2.66 GHz เมนบอร์ด ASUS P5N73-AM แรม DDR2 ขนาด 2 GBytes ในการประมวลผล

5.1 ขอบเขตของการทดลอง

ขอบเขตของการทดลองซ่อนและกู้คืนลายน้ำในภาพดิจิทัล มีดังต่อไปนี้

5.1.1 ข้อมูลภาพที่นำมาทดสอบ

ภาพดิจิทัลต้นฉบับ (Original Digital Image) ที่นำมาทดสอบเป็นภาพระดับเทา (Grayscale Image) ที่นิยมนำมาใช้ในด้านการประมวลผลภาพ จำนวน 5 ภาพ ได้แก่ภาพ Lena ภาพ Peppers ภาพ Boat ภาพ Airplane และภาพ Mandrill โดยมีขนาดของภาพ 256x256 พิกเซล ดังแสดงในรูปที่ 5.1 (ก) ถึง (จ) ตามลำดับ ส่วนภาพลายน้ำ (Watermark Image) ที่ใช้ในการทดลอง เป็นภาพไบนารีที่มีขนาดของภาพ 64x64 พิกเซล ดังแสดงในรูปที่ 5.2

5.1.2 โครงสร้างของระบบอาณานิคมมด

โครงสร้างของระบบอาณานิคมมดที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ มีโครงสร้างเป็นไปตามที่ได้อธิบายรายละเอียดไว้ในหัวข้อ 4.3.1 ทุกประการ โดยมีมดที่ใช้ตลอดการทดลองจำนวน 10 ตัว จำนวนรอบการทำงานสูงสุดของระบบอาณานิคมมดกำหนดไว้ที่ 200 รอบ ค่า λ_{MSSIM} และค่า λ_{NC} ในสมการที่ (4.17) กำหนดให้เท่ากับ 0.5 ค่า p ในสมการที่ (4.20) กำหนดให้เท่ากับ 0.1 ค่า ϕ ในสมการที่ (4.20) กำหนดให้เท่ากับ 0.1 และค่า q_0 ในสมการที่ (4.21) กำหนดให้เท่ากับ 0.9

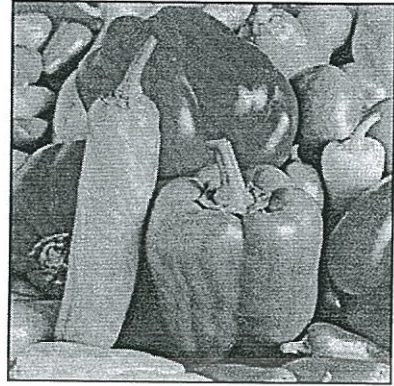
5.1.3 วิธีการที่นำมาเปรียบเทียบ

เพื่อชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการซ่อนและกู้คืนลายน้ำของวิธีที่นำเสนอ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเปรียบเทียบผลการซ่อนและกู้คืนลายน้ำกับวิธีอื่นอีก 2 วิธี คือ วิธีของ Shieh [23] (ดูรายละเอียดในหัวข้อ 3.2) และวิธีของ Wei [24] (ดูรายละเอียดในหัวข้อ 3.3) โดยมีจำนวนโครโมโซมที่ใช้ตลอดการทดลอง 10 โครโมโซม จำนวนรอบการทำงานสูงสุดของกระบวนการทางพันธุศาสตร์กำหนดให้เท่ากับจำนวนรอบการทำงานสูงสุดของระบบอาณานิคมมดในวิธีที่นำเสนอคือ 200 รอบ ทั้งนี้ ข้อมูลภาพที่ใช้ในการทดลองเป็นข้อมูลภาพชุดเดียวกับที่ใช้ในวิธีที่นำเสนอ สำหรับพารามิเตอร์อื่นๆ

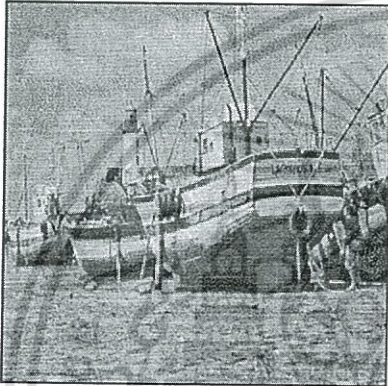
นอกจากนี้เอกสารที่กล่าวถึงเป็นไปตามที่กำหนดใน [23] และ [24] ทุกประการ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



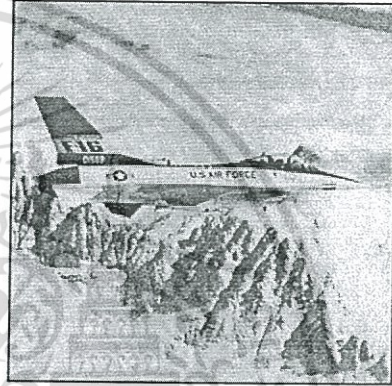
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 5.1 ภาพดิจิทัลต้นฉบับขนาด 256x256 พิกเซล (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill

K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 5.2 ภาพลายน้ำต้นฉบับ ขนาด 64x64 พิกเซล
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4 ค่าพารามิเตอร์ที่ทำการค้นหา

1. ในวิธีที่นำเสนอ ค่าพารามิเตอร์ที่ระบบอณานิคมมดทำการค้นหา ได้แก่ ค่าของตัวแปร $POS1$, และ $POS2$, $ST1$ และ $ST2$ โดยที่
 - $POS1$, และ $POS2$, เป็นตำแหน่งที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำสำหรับบล็อกภาพประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2 ตามลำดับ และเนื่องมาจากภาพต้นฉบับที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 256x256 พิกเซล และภาพลายน้ำมีขนาด 64x64 พิกเซล ส่งผลให้ตำแหน่งที่ต้องค้นหา มี 4 ตำแหน่ง โดย $i = 1, 2, \dots, 4$
 - $ST1$ และ $ST2$ เป็นค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำสำหรับบล็อกภาพประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2 ตามลำดับ (ω ในสมการที่ (4.10))
2. ในวิธีที่นำมาเปรียบเทียบทั้งสองวิธี ค่าพารามิเตอร์ที่กระบวนการทางพันธุศาสตร์ทำการค้นหา ได้แก่ ตำแหน่งที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำสำหรับทุกบล็อก DCT โดยทำการค้นหาจำนวน 4 ตำแหน่ง

5.1.5 รูปแบบการโจมตีภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ

1. รูปแบบการโจมตีที่ใช้ระหว่างการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของระบบอณานิคมมดและกระบวนการทางพันธุศาสตร์

ในช่วงที่อยู่ระหว่างการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำในภาพไม่ จะจะเป็นการทำงานของระบบอณานิคมมดหรือกระบวนการทางพันธุศาสตร์จะใช้รูปแบบการโจมตีภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำที่เหมือนกัน จำนวน 3 รูปแบบ คือ ตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (low-pass filtering) ขนาด 3x3 ตัวกรองความถี่มีชัยฐาน (median filtering) ขนาด 3x3 และการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการบีบอัด 70%

2. รูปแบบการโจมตีเพื่อทดสอบความคงทนของลายน้ำ หลังเสร็จสิ้นการค้นหา ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำ

เมื่อได้ผลการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำแล้ว การทดสอบความคงทนของลายน้ำจะใช้รูปแบบการโจมตีคือ ตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (low-pass filtering) ขนาด 3x3 และขนาด 5x5 ตัวกรองความถี่มีชัยฐาน (median filtering) ขนาด 3x3 และขนาด 5x5 และการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการบีบอัด 10%, 20%, ..., 100% และการตัดภาพ 25%

5.1.6 ดัชนีที่ใช้วัดประสิทธิภาพของวิธีการซ่อนลายน้ำ

1. ดัชนีวัดคุณภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำในงานวิจัยนี้ใช้ดัชนี MSSIM ในการวัด แต่เนื่องจากวิธีที่นำมาเปรียบเทียบมีการใช้ดัชนี PSNR ในการกำหนดฟังก์ชันความ

เหมาะสมของกระบวนการทางพันธุศาสตร์ ผู้วิจัยจึงคำนวณค่าดัชนี PSNR แสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ประกอบผลการทดลองด้วย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ดัชนีวัดความคงทนของลายน้ำ ในการทดลองใช้ดัชนี NC (Normalized Cross Correlation) เป็นตัววัดความคงทนของลายน้ำที่กู้คืนมาได้จากภาพที่ผ่านการโจมตี

5.2 ผลการทดลองซ่อนลายน้ำด้วยวิธีการจำแนกเท็กซ์เจอร์และระบบอาณานิคมมด

ผลการทดลองที่ได้ในขั้นตอนต่างๆ มีดังต่อไปนี้

5.2.1 ผลการจำแนกประเภทของบล็อก DCT

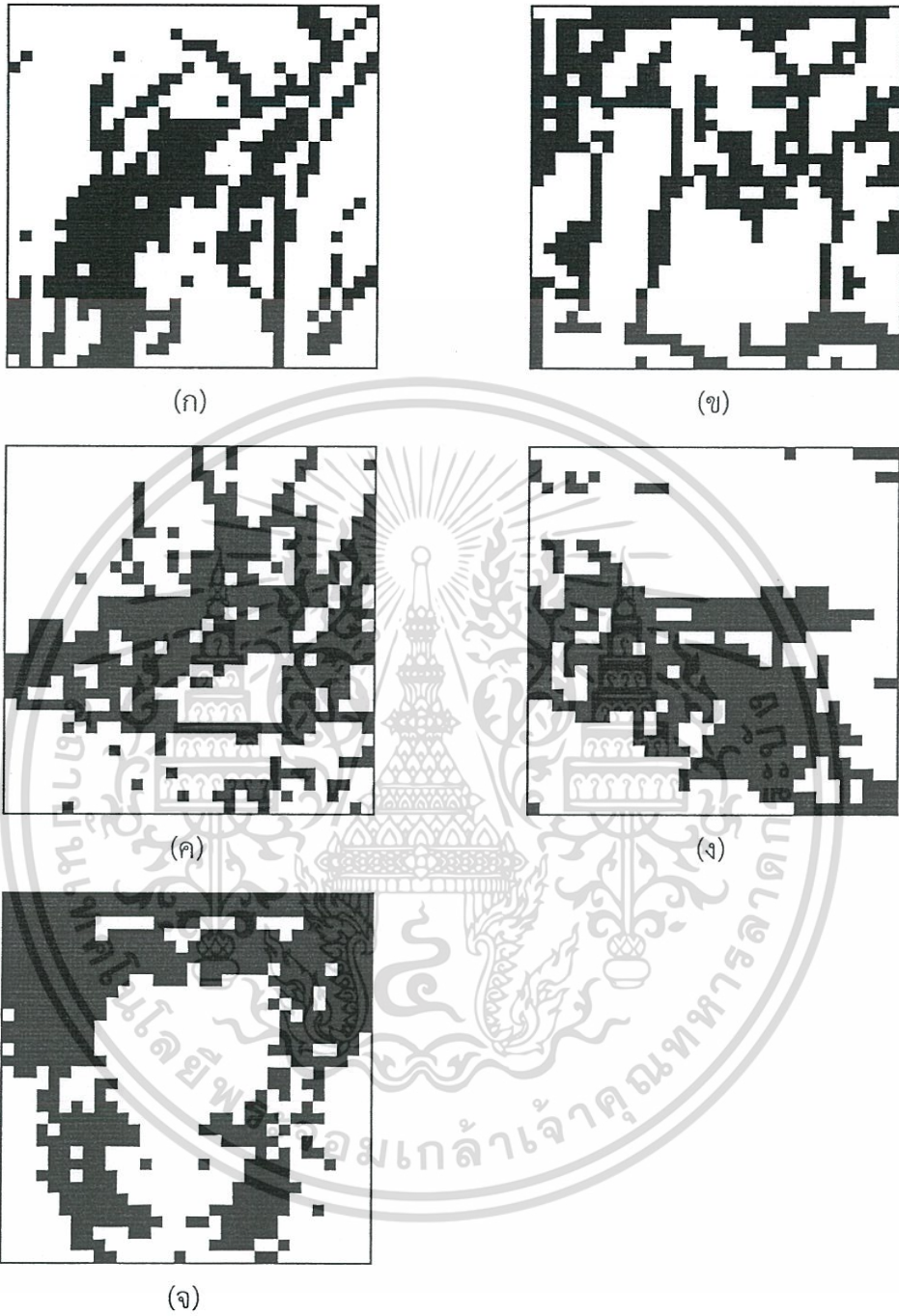
เมื่อภาพต้นฉบับถูกนำมาแปลงให้เป็นบล็อก DCT โดยแต่ละบล็อกมีขนาด 8×8 พิกเซล แล้วนั้น ในขั้นตอนที่ 4 หัวข้อ 4.1 ในบทที่ 4 จะทำการจำแนกประเภทของบล็อกออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 (*region1*) และประเภทที่ 2 (*region2*) ตามสมการที่ 4.7 และ 4.8 ผลการจำแนกประเภทของบล็อก DCT ของภาพ Lena, Peppers, Boat, Airplane และภาพ Mandrill แสดงดังรูปที่ 5.3 (ก) ถึง (จ) ตามลำดับ โดยสีดำแทนบล็อกประเภทที่ 1 และสีขาวแทนบล็อกประเภทที่ 2

5.2.2 ผลการค้นหาตำแหน่งและค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำ

เมื่อภาพต้นฉบับได้ถูกจำแนกออกเป็น 2 บริเวณตามผลที่ปรากฏในหัวข้อ 5.1.2 แล้วนั้น ระบบอาณานิคมมดจะทำการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อการซ่อนลายน้ำในแต่ละบริเวณ อันได้แก่ ตำแหน่งที่เหมาะสมต่อการซ่อนลายน้ำ และค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำ (ตามที่กล่าวในหัวข้อ 5.1.4) เมื่อระบบอาณานิคมมดทำงานครบ 200 รอบ ผลของการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของภาพมาตรฐานทั้ง 5 ภาพแสดงดังตารางที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรอบการทำงานกับค่าเป้าหมาย (f ตามสมการที่ (4.17)) ของระบบอาณานิคมมด แสดงดังรูปที่ 5.4 และตารางที่ 5.2 แสดงค่า f , MSSIM, NC1 (LPF), NC2 (MF) และ NC3 (JPEG) ของรอบการทำงานที่ 1, 50, 100, 150 และ 200 ของระบบอาณานิคมมดของภาพทั้ง 5 ภาพตามลำดับ จากตารางที่ 5.1 จะสังเกตเห็นได้ว่าในบริเวณที่เป็น Texture นั้น วิธีที่นำเสนอพยายามรักษาคุณภาพด้านการมองเห็นของภาพไว้ โดยการฝังลายน้ำด้วยค่าพลังงานในการฝังที่น้อยกว่าบริเวณที่เป็น Homogeneous

ตารางที่ 5.1 ตำแหน่งและค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำจากการค้นหาของระบบอาณานิคมมด

ภาพ	บล็อกประเภทที่ 1 (Texture)					บล็อกประเภทที่ 2 (Homogeneous)				
	ตำแหน่ง				ค่าพลังงาน	ตำแหน่ง				ค่าพลังงาน
Lena	11	24	20	10	0.95	18	13	19	11	0.98
Peppers	24	25	26	19	0.93	10	9	13	12	0.96
Boat	13	24	19	18	0.58	9	8	13	6	0.72
Airplane	26	17	24	20	0.76	9	8	13	6	0.86
Mandrill	24	13	12	14	0.45	13	18	11	19	0.76



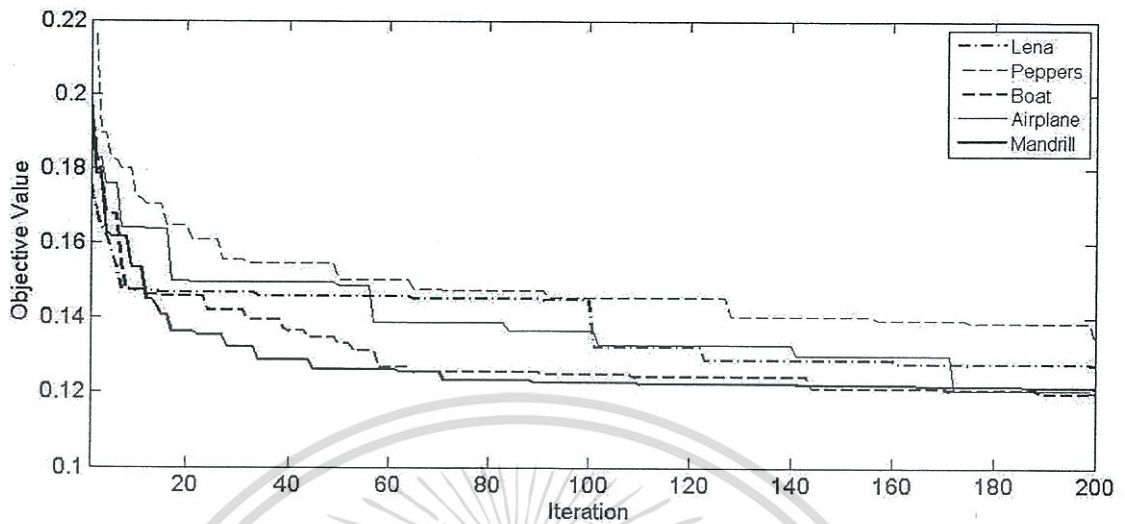
รูปที่ 5.3 ผลการจำแนกประเภทของบล็อก DCT (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill (สีดำ: ประเภทที่ 1, สีขาว: ประเภทที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 ค่า f , MSSIM, NC1 (LPF), NC2 (MF) และ NC3 (JPEG) ในรอบการทำงานที่ 1, 50, 100, 150 และ 200 ของระบบอานานิคมมด

ภาพ	Iteration	f	MSSIM	NC1 (LPF)	NC2 (MF)	NC3 (JPEG)
Lena	1	0.1760	0.9609	0.6855	0.6708	0.7048
	50	0.1458	0.9669	0.7301	0.7499	0.7444
	100	0.1447	0.9632	0.7251	0.7567	0.7604
	150	0.1286	0.9877	0.7469	0.7616	0.7567
	200	0.1274	0.9699	0.7637	0.7800	0.7821
Peppers	1	0.2159	0.9957	0.5496	0.6214	0.5468
	50	0.1503	0.9695	0.7334	0.7683	0.6882
	100	0.1455	0.9754	0.7370	0.7619	0.7017
	150	0.1403	0.9731	0.7527	0.7705	0.7155
	200	0.1338	0.9703	0.7542	0.7920	0.7401
Boat	1	0.1982	0.9963	0.5759	0.6281	0.6180
	50	0.1330	0.9726	0.7536	0.7604	0.7705
	100	0.1247	0.9776	0.7674	0.7551	0.7965
	150	0.1210	0.9636	0.7782	0.7920	0.8131
	200	0.1200	0.9725	0.7834	0.7748	0.8042
Airplane	1	0.2001	0.9996	0.5600	0.6171	0.6236
	50	0.1487	0.9951	0.7048	0.7137	0.7043
	100	0.1366	0.9937	0.7407	0.7245	0.7340
	150	0.1299	0.9873	0.7515	0.7475	0.7595
	200	0.1194	0.9784	0.7717	0.7760	0.8009
Mandrill	1	0.1950	0.9736	0.6072	0.6036	0.6983
	50	0.1262	0.9497	0.7858	0.7683	0.8395
	100	0.1227	0.9474	0.7910	0.7751	0.8557
	150	0.1221	0.9565	0.7867	0.7662	0.8453
	200	0.1213	0.9575	0.7831	0.7680	0.8484

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรอบการทำงานของระบบอานานิคมกับค่าเป้าหมายของวิธีที่นำเสนอ

5.2.3 ผลการซ่อนและกู้คืนลายน้ำ

เมื่อนำภาพดิจิทัลต้นฉบับมาทำการซ่อนลายน้ำด้วยค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำลงในตำแหน่งที่ระบบอานานิคมทำการค้นหาได้ตามหัวข้อที่ 5.2.2 ผลลัพธ์ซึ่งก็คือภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำและลายน้ำที่กู้คืนมาได้ของภาพ Lena, Peppers, Boat, Airplane และภาพ Mandrill แสดงดังรูปที่ 5.5 ถึง 5.9 ตามลำดับ

5.2.4 ผลการทดสอบการโจมตีภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ

เมื่อนำภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำจากหัวข้อ 5.2.3 มาผ่านการโจมตีด้วยรูปแบบต่างภาพๆ รูปที่ 5.10 แสดงภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 3×3 รูปที่ 5.11 แสดงลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 3×3 รูปที่ 5.12 แสดงภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มีสัญญาณขนาด 3×3 รูปที่ 5.13 แสดงลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มีสัญญาณขนาด 3×3 รูปที่ 5.14 แสดงภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 3×3 รูปที่ 5.15 แสดงลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 3×3 รูปที่ 5.16 แสดงภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มีสัญญาณขนาด 5×5 รูปที่ 5.17 แสดงลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มีสัญญาณขนาด 5×5 รูปที่ 5.18 แสดงภาพที่ผ่านการตัดภาพ 25% และรูปที่ 5.19 แสดงลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการตัดภาพ 25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.20 แสดงภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการบีบอัด 70% รูปที่ 5.21 แสดงลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการบีบอัด 70% ส่วนรูปที่ 5.22 ถึง 5.30 แสดงพัฒนาการของลายน้ำที่กู้คืนมาจากการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการบีบอัด 10%, 20%, ..., 100% ตามลำดับ

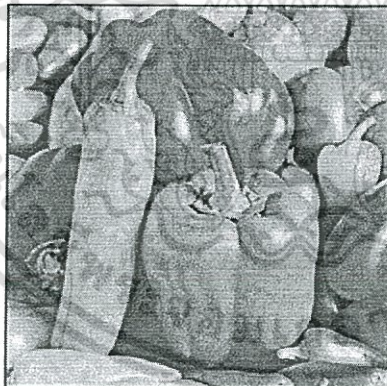


(ก)



(ข)

รูปที่ 5.5 ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำของวิธีที่นำเสนอ (ก) ภาพ Lena MSSIM = 0.9699
(ข) ลายน้ำที่กู้คืนมาได้ NC = 0.9632



(ก)



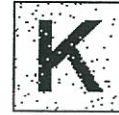
(ข)

รูปที่ 5.6 ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำของวิธีที่นำเสนอ (ก) ภาพ Peppers MSSIM = 0.9703
(ข) ลายน้ำที่กู้คืนมาได้ NC = 0.9730

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

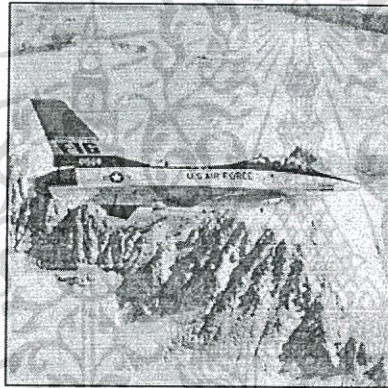


(ก)



(ข)

รูปที่ 5.7 ภาพที่ผ่านการซ้อนลายน้ำของวิธีที่นำเสนอ (ก) ภาพ Boat MSSIM = 0.9725
 (ข) ลายน้ำที่กู้คืนมาได้ NC = 0.9745

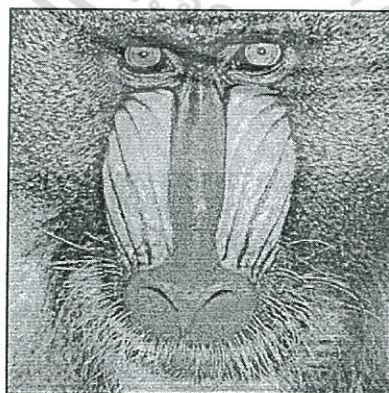


(ก)



(ข)

รูปที่ 5.8 ภาพที่ผ่านการซ้อนลายน้ำของวิธีที่นำเสนอ (ก) ภาพ Airplane MSSIM = 0.9784
 (ข) ลายน้ำที่กู้คืนมาได้ NC = 0.9705



(ก)



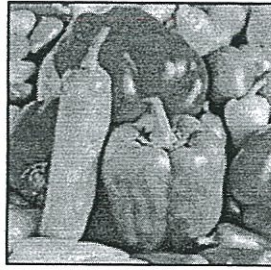
(ข)

รูปที่ 5.9 ภาพที่ผ่านการซ้อนลายน้ำของวิธีที่นำเสนอ (ก) ภาพ Mandrill MSSIM = 0.9575
 (ข) ลายน้ำที่กู้คืนมาได้ NC = 0.9868

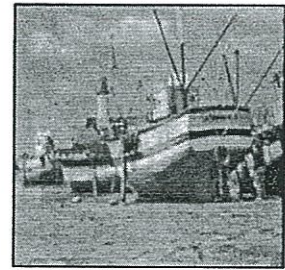
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



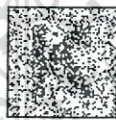
(จ)

รูปที่ 5.10 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 3×3 ของวิธีที่นำเสนอ (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill



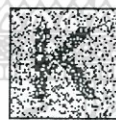
(ก)

NC=0.7637



(ข)

NC=0.7542



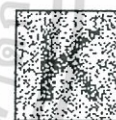
(ค)

NC=0.7834



(ง)

NC=0.7717



(จ)

NC=0.7831

รูปที่ 5.11 ลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 3×3 ของวิธีที่นำเสนอ (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



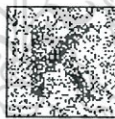
(จ)

รูปที่ 5.12 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มีฐานขนาด 3×3 ของวิธีที่นำเสนอ (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill



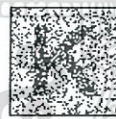
(ก)

NC=0.7800



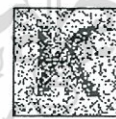
(ข)

NC=0.7920



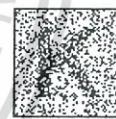
(ค)

NC=0.7748



(ง)

NC=0.7760



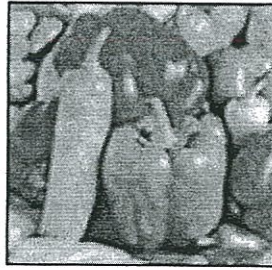
(จ)

NC=0.7680

รูปที่ 5.13 ลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มีฐานขนาด 3×3 ของวิธีที่นำเสนอ (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 5.14 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 5×5 ของวิธีที่นำเสนอ (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill



(ก)

NC=0.7561



(ข)

NC=0.7272



(ค)

NC=0.7653



(ง)

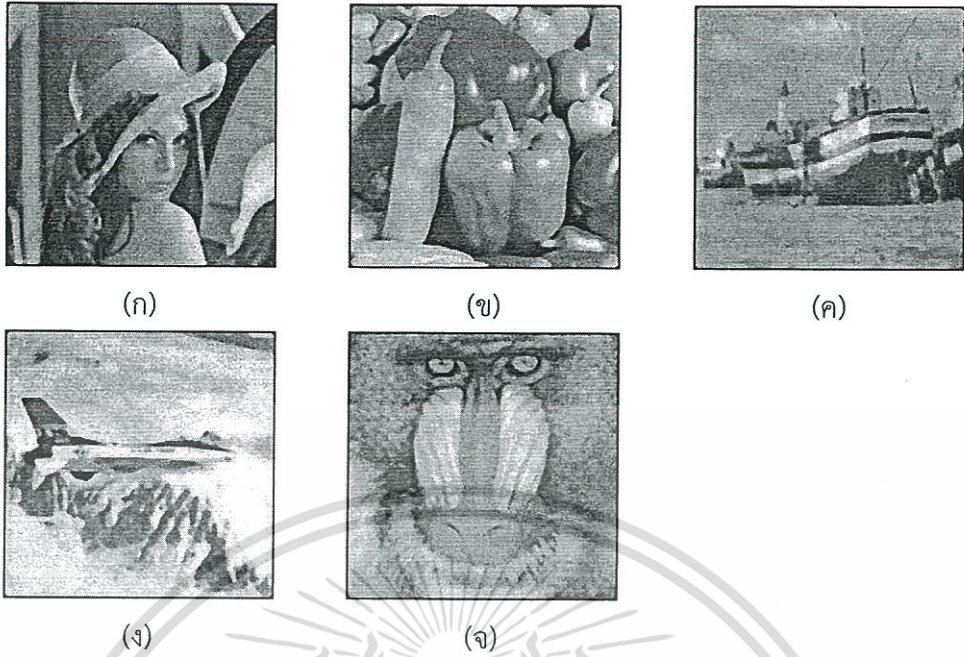
NC=0.7367



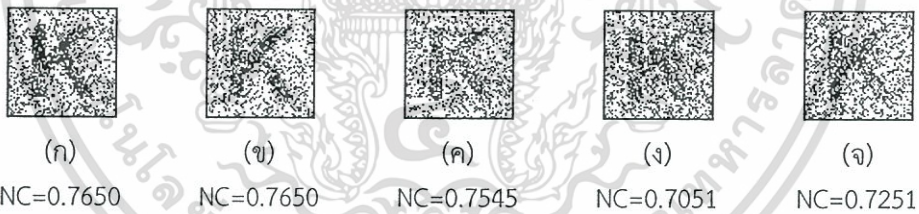
(จ)

NC=0.7484

รูปที่ 5.15 ลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 5×5 ของวิธีที่นำเสนอ (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill

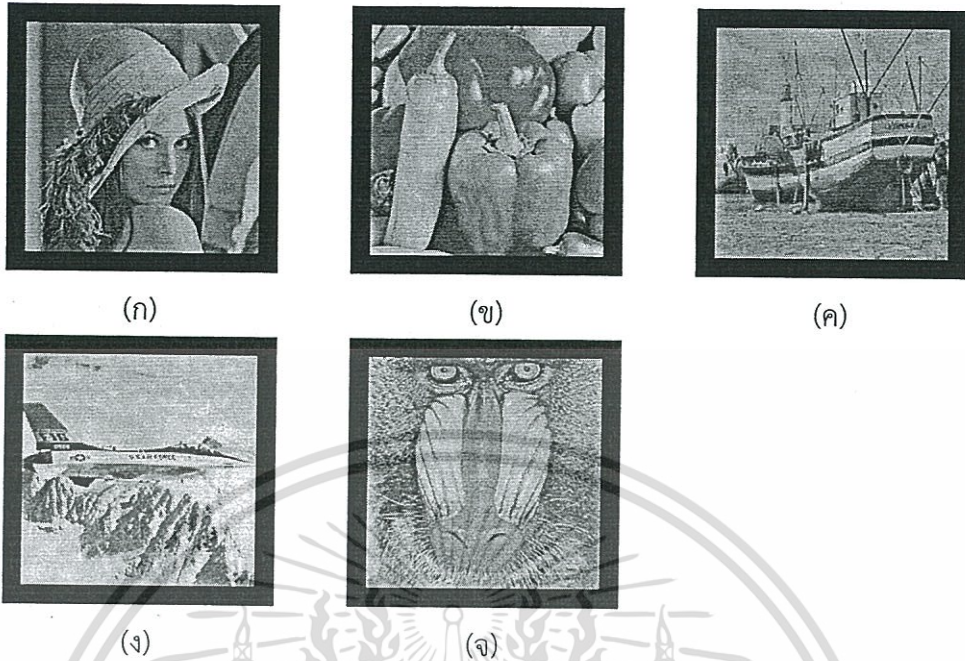


รูปที่ 5.16 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มีฐานขนาด 5x5 ของวิธีที่นำเสนอ (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill

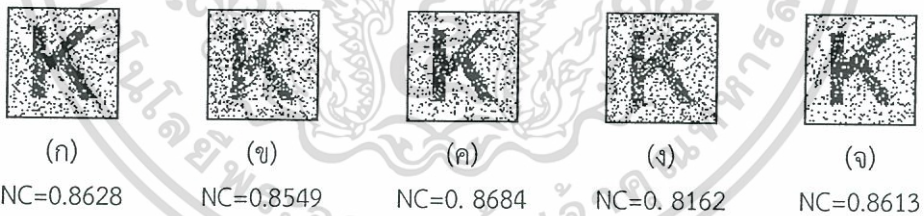


รูปที่ 5.17 ลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มีฐานขนาด 5x5 ของวิธีที่นำเสนอ (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

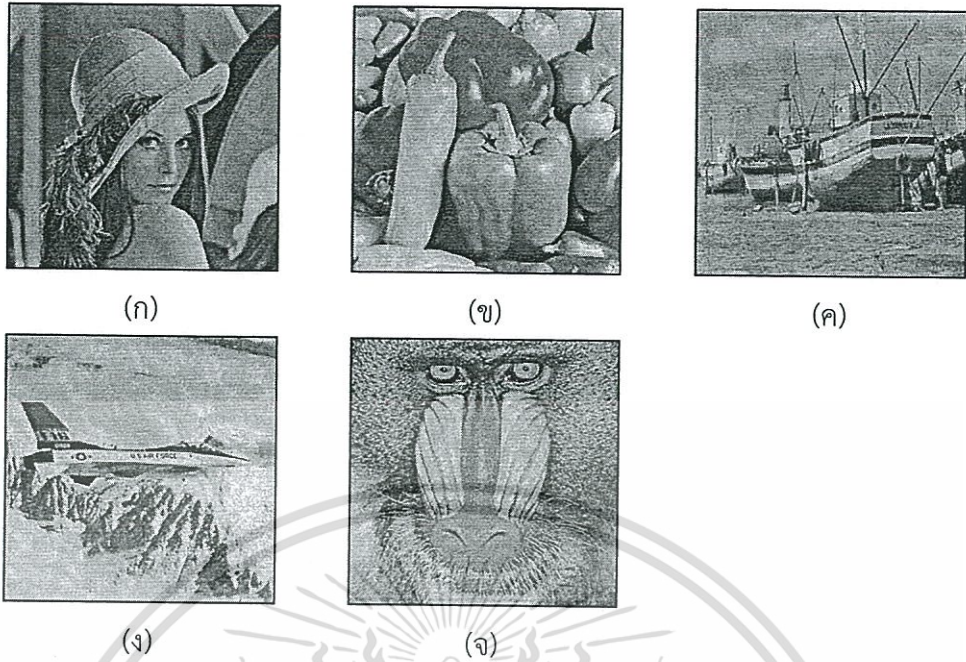


รูปที่ 5.18 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยการตัดภาพ 25% ของวิธีที่นำเสนอ (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill

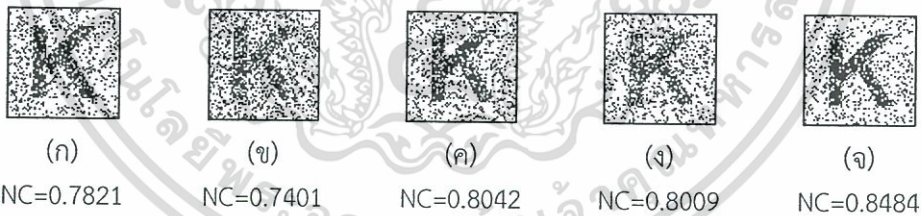


รูปที่ 5.19 ลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยการตัดภาพ 25% ของวิธีที่นำเสนอ (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

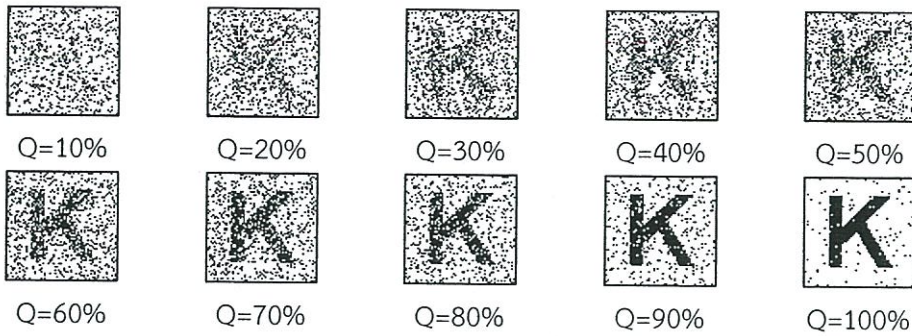


รูปที่ 5.20 ภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการบีบอัด 70% ของวิธีที่นำเสนอ (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill

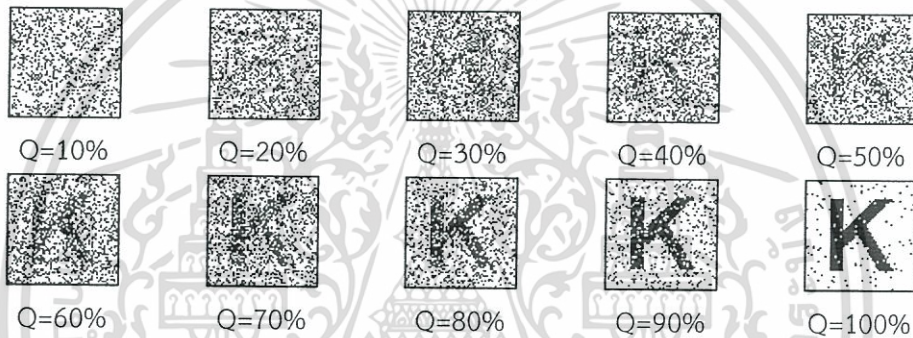


รูปที่ 5.21 ลายน้ำที่คู่กันมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการบีบอัด 70% ของวิธีที่นำเสนอ (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill

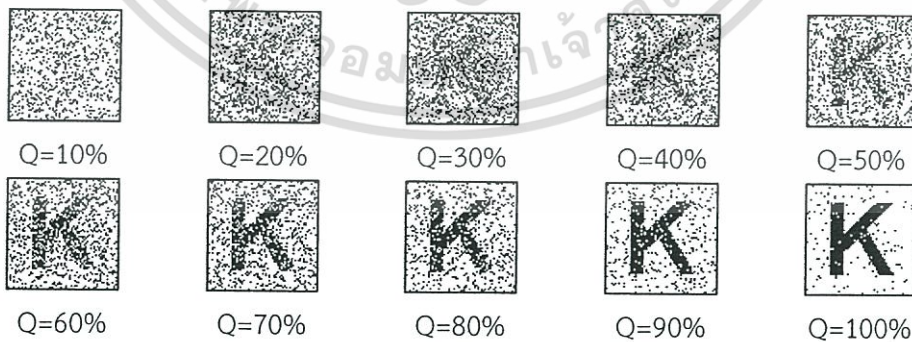
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.22 พัฒนาการของลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้ คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ของวิธีที่นำเสนอ (ภาพ Lena)

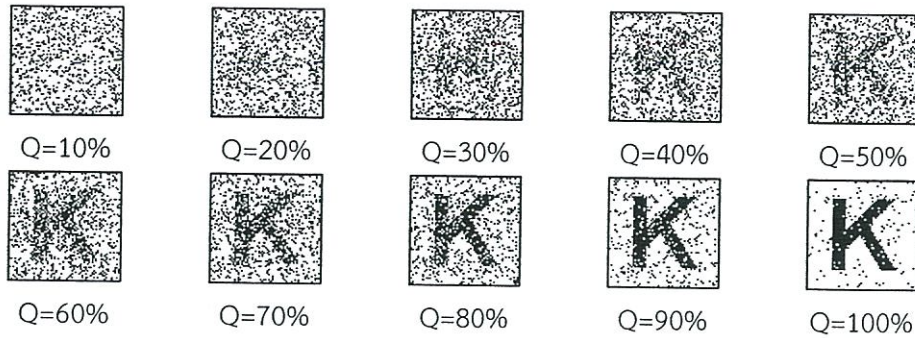


รูปที่ 5.23 พัฒนาการของลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้ คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ของวิธีที่นำเสนอ (ภาพ Peppers)

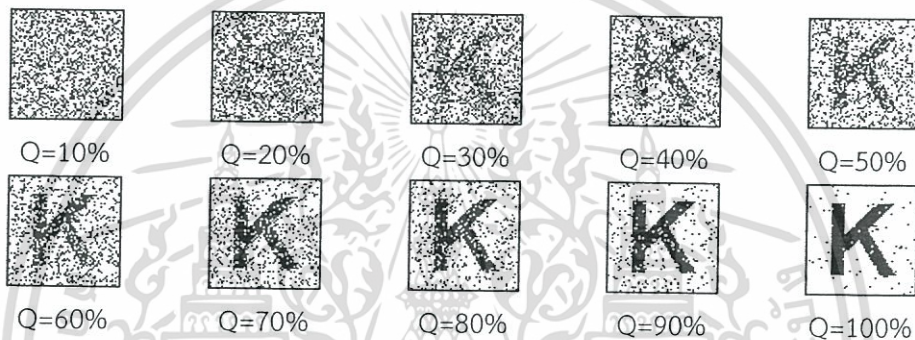


รูปที่ 5.24 พัฒนาการของลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้ คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ของวิธีที่นำเสนอ (ภาพ Boat)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.25 พัฒนาการของลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ของวิธีที่นำเสนอ (ภาพ Airplane)



รูปที่ 5.26 พัฒนาการของลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ของวิธีที่นำเสนอ (ภาพ Mandrill)

5.3 ผลการทดลองซ่อนลายน้ำด้วยวิธีของ Shieh

ผลการทดลองที่ได้มีดังต่อไปนี้

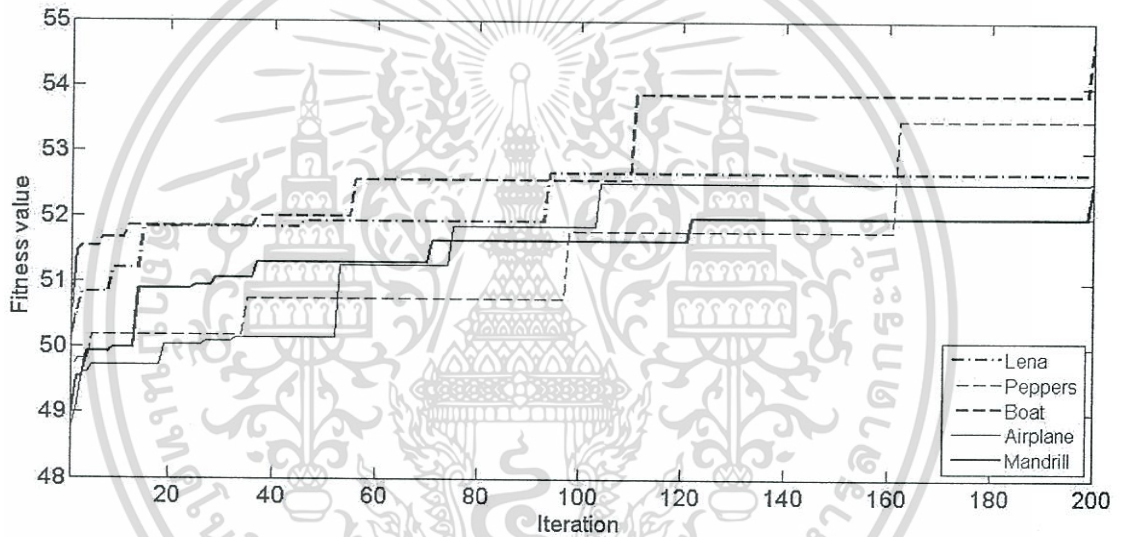
5.3.1 ผลการค้นหาค่าแห่งในการซ่อนลายน้ำ

เมื่อภาพต้นฉบับถูกนำมาแปลงให้เป็นบล็อก DCT โดยแต่ละบล็อกมีขนาด 8×8 พิกเซลแล้วนั้น กระบวนการทางพันธุศาสตร์จะถูกนำมาใช้ในการค้นหาค่าแห่งที่เหมาะสมต่อการซ่อนลายน้ำ เมื่อกระบวนการทางพันธุศาสตร์ทำงานครบ 200 รอบ ผลของการค้นหาค่าแห่งแสดงดังตารางที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรอบการทำงานกับค่าความเหมาะสม (f ในสมการที่ (3.5)) ของกระบวนการทางพันธุศาสตร์ของภาพ Lena, Peppers, Boat, Airplane และภาพ Mandrill แสดงดังรูปที่ 5.27 และตารางที่ 5.4 แสดงค่า f , PSNR, NC1 (LPF), NC2 (MF) และ NC3 (JPEG) ของรอบการทำงานที่ 1, 50, 100, 150 และ 200 ของกระบวนการทางพันธุศาสตร์ของภาพทั้ง 5 ภาพตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 ตำแหน่งในการซ่อนลายน้ำจากการค้นหาของกระบวนการทางพันธุศาสตร์ (วิธีของ Shieh)

ภาพ	ตำแหน่ง			
Lena	12	11	4	13
Peppers	10	26	15	19
Boat	20	26	31	8
Airplane	9	15	23	20
Mandrill	15	12	11	27



รูปที่ 5.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรอบการทำงานของกระบวนการทางพันธุศาสตร์ กับค่าความเหมาะสมตามวิธีของ Shieh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 ค่า f , PSNR, NC1 (LPF), NC2 (MF) และ NC3 (JPEG) ในรอบการทำงานที่ 1, 50, 100, 150 และ 200 ของกระบวนการทางพันธุศาสตร์ตามวิธีของ Shieh

ภาพ	Iteration	f	PSNR	NC1 (LPF)	NC2 (MF)	NC3 (JPEG)
Lena	1	50.1995	32.2155	0.5330	0.6026	0.6628
	50	51.9238	32.0538	0.6577	0.6631	0.6662
	100	52.6717	34.0247	0.5965	0.6303	0.6379
	150	52.6724	32.0164	0.6755	0.6898	0.7003
	200	52.7168	32.1058	0.6944	0.7024	0.6643
Peppers	1	49.6468	30.7358	0.5858	0.6253	0.6800
	50	50.7432	33.9522	0.5201	0.5735	0.5855
	100	51.7786	32.1376	0.6115	0.6769	0.6757
	150	51.7786	32.1376	0.6115	0.6769	0.6757
	200	53.4770	32.9100	0.7002	0.7103	0.6462
Boat	1	50.5139	30.9579	0.6085	0.6355	0.7116
	50	52.0033	31.6593	0.6410	0.6530	0.7404
	100	52.5482	32.5792	0.6226	0.6388	0.7355
	150	53.8610	32.5970	0.6959	0.6895	0.7410
	200	54.6860	33.2290	0.7137	0.7100	0.7220
Airplane	1	48.7726	27.8176	0.6616	0.6867	0.7472
	50	50.1432	30.4812	0.6189	0.6342	0.7131
	100	51.8550	33.3370	0.5882	0.6103	0.6533
	150	52.5088	32.5798	0.6425	0.6634	0.6870
	200	52.5261	32.3361	0.6603	0.6263	0.7324
Mandrill	1	49.0158	28.7918	0.6198	0.6392	0.7634
	50	51.2880	30.6680	0.6232	0.6471	0.7917
	100	51.6248	30.6618	0.6622	0.6520	0.7821
	150	51.9840	29.9220	0.7008	0.6886	0.8168
	200	52.4858	30.5618	0.7131	0.7070	0.7723

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2 ผลการชอนและกู้คืนลายน้ำ

เมื่อนำภาพดิจิทัลต้นฉบับมาทำการชอนลายน้ำลงในตำแหน่งที่กระบวนการทางพันธุศาสตร์ทำการค้นหาได้ตามหัวข้อที่ 5.3.1 ผลลัพธ์ซึ่งก็คือภาพที่ผ่านการชอนลายน้ำและลายน้ำที่กู้คืนมาได้ของภาพแสดงดังรูปที่ 5.28 ถึง 5.32 ตามลำดับ

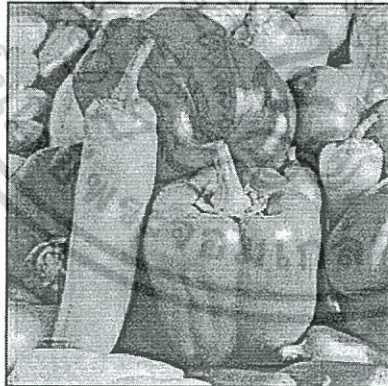


(ก)



(ข)

รูปที่ 5.28 ภาพที่ผ่านการชอนลายน้ำตามวิธีของ Shieh (ก) ภาพ Lena MSSIM = 0.9399
(ข) ลายน้ำที่กู้คืนมาได้ NC = 0.9015



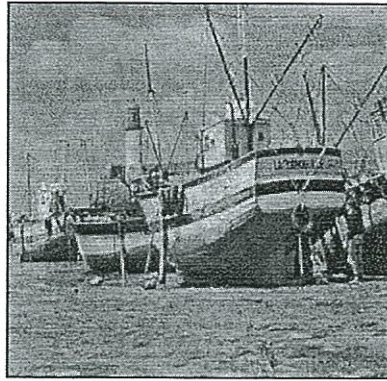
(ก)



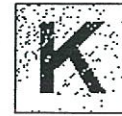
(ข)

รูปที่ 5.29 ภาพที่ผ่านการชอนลายน้ำตามวิธีของ Shieh (ก) ภาพ Peppers MSSIM = 0.9442
(ข) ลายน้ำที่กู้คืนมาได้ NC = 0.9343

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

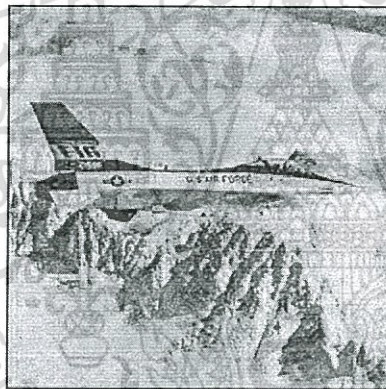


(ก)



(ข)

รูปที่ 5.30 ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำตามวิธีของ Shieh (ก) ภาพ Boat MSSIM = 0.9495
 (ข) ลายน้ำที่กู้คืนมาได้ NC = 0.9224



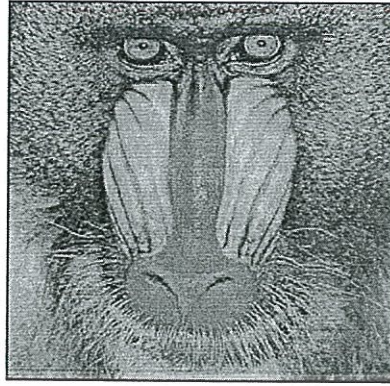
(ก)



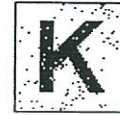
(ข)

รูปที่ 5.31 ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำตามวิธีของ Shieh (ก) ภาพ Airplane MSSIM = 0.9442
 (ข) ลายน้ำที่กู้คืนมาได้ NC = 0.9040

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.32 ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำตามวิธีของ Shieh (ก) ภาพ Mandrill MSSIM = 0.9378
(ข) ลายน้ำที่กู้คืนมาได้ NC = 0.9555

5.3.3 ผลทดสอบการโจมตีภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ

เมื่อนำภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำจากหัวข้อ 5.3.2 มาผ่านการโจมตีด้วยรูปแบบต่างภาพๆ รูปที่ 5.33 แสดงภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 3×3 รูปที่ 5.34 แสดงลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 3×3 รูปที่ 5.35 แสดงภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มีชัยฐานขนาด 3×3 รูปที่ 5.36 แสดงลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มีชัยฐานขนาด 3×3 รูปที่ 5.37 แสดงภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 3×3 รูปที่ 5.38 แสดงลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 3×3 รูปที่ 5.39 แสดงภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มีชัยฐานขนาด 5×5 รูปที่ 5.40 แสดงลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มีชัยฐานขนาด 5×5 รูปที่ 5.41 แสดงภาพที่ผ่านการตัดภาพ 25% และรูปที่ 5.42 แสดงลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการตัดภาพ 25%

รูปที่ 5.43 แสดงภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการบีบอัด 70% รูปที่ 5.44 แสดงลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการบีบอัด 70% ส่วนรูปที่ 5.45 ถึง 5.49 แสดงพัฒนาการของลายน้ำที่กู้คืนมาจากการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการบีบอัด 10%, 20%, ..., 100% ตามลำดับ



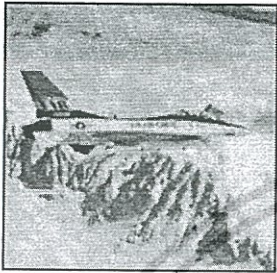
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 5.33 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 3×3 ตามวิธีของ Shieh (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill



(ก)

NC=0.6944



(ข)

NC=0.7002



(ค)

NC=0.7137



(ง)

NC=0.6603



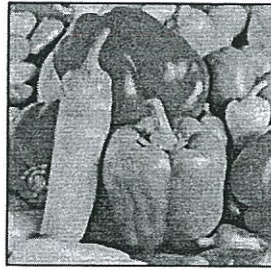
(จ)

NC=0.7131

รูปที่ 5.34 ลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 3×3 ตามวิธีของ Shieh (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 5.35 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มีฐานขนาด 3×3 ตามวิธีของ Shieh (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill



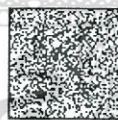
(ก)

NC=0.7024



(ข)

NC=0.7103



(ค)

NC=0.7100



(ง)

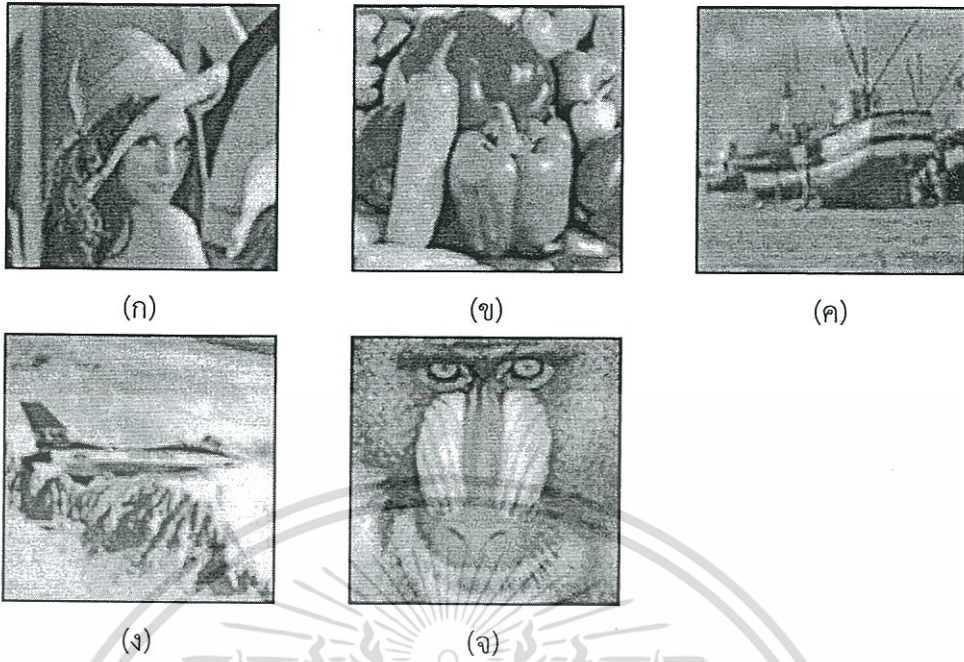
NC=0.6263



(จ)

NC=0.7070

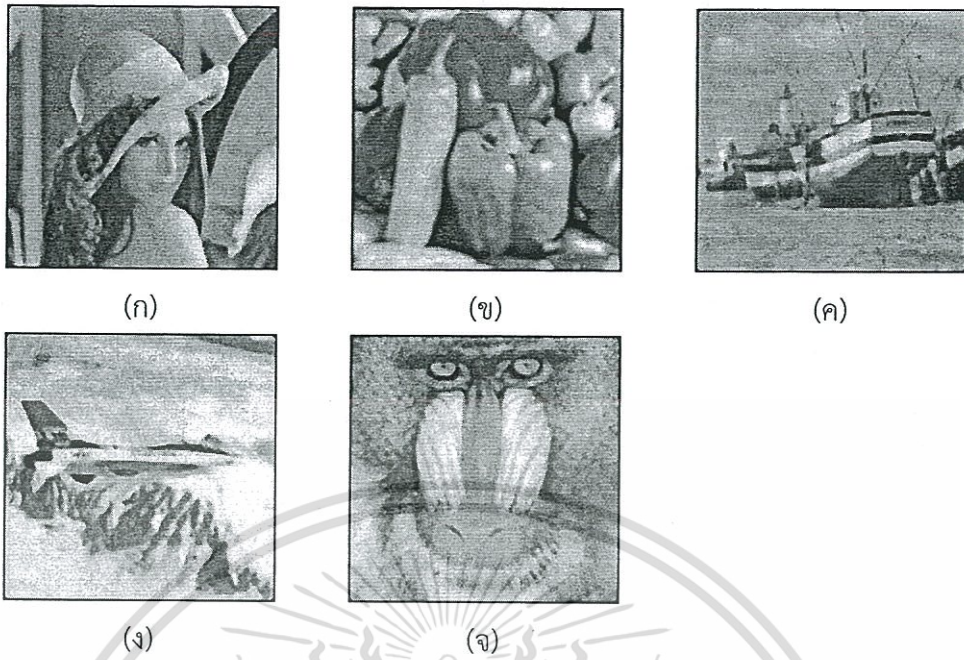
รูปที่ 5.36 สายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มีฐานขนาด 3×3 ตามวิธีของ Shieh (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill



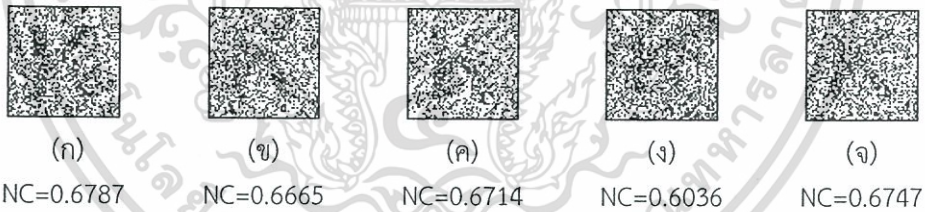
รูปที่ 5.37 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 5×5 ตามวิธีของ Shieh (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill



รูปที่ 5.38 ลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 5×5 ตามวิธีของ Shieh (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill



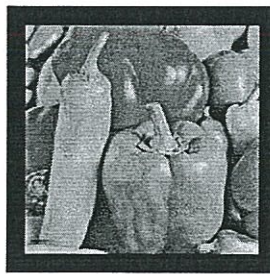
รูปที่ 5.39 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มีฐานขนาด 5×5 ตามวิธีของ Shieh (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill



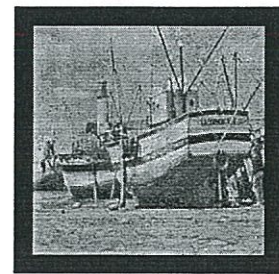
รูปที่ 5.40 ลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มีฐานขนาด 5×5 ตามวิธีของ Shieh (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill



(ก)



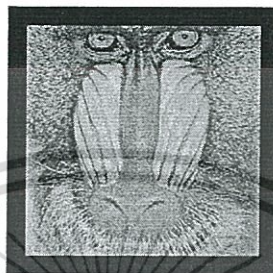
(ข)



(ค)

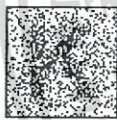


(ง)



(จ)

รูปที่ 5.41 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยการตัดภาพ 25% ตามวิธีของ Shieh (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill



(ก)

NC=0.7564



(ข)

NC=0.7128



(ค)

NC=0.7125



(ง)

NC=0.7103



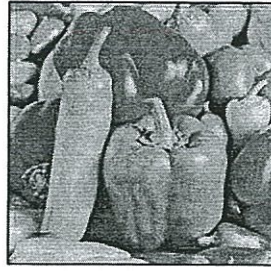
(จ)

NC=0.7714

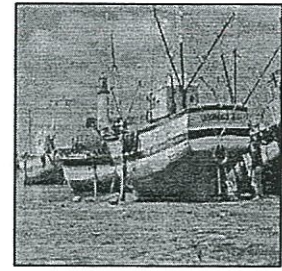
รูปที่ 5.42 ลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยการตัดภาพ 25% ตามวิธีของ Shieh (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill



(ก)



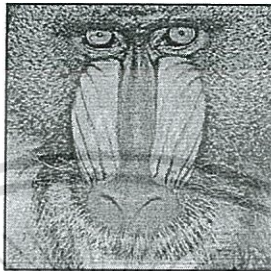
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 5.43 ภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการบีบอัด 70% ตามวิธีของ Shieh (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill



(ก)

NC=0.6643



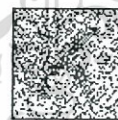
(ข)

NC=0.6462



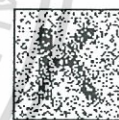
(ค)

NC=0.7220



(ง)

NC=0.7324

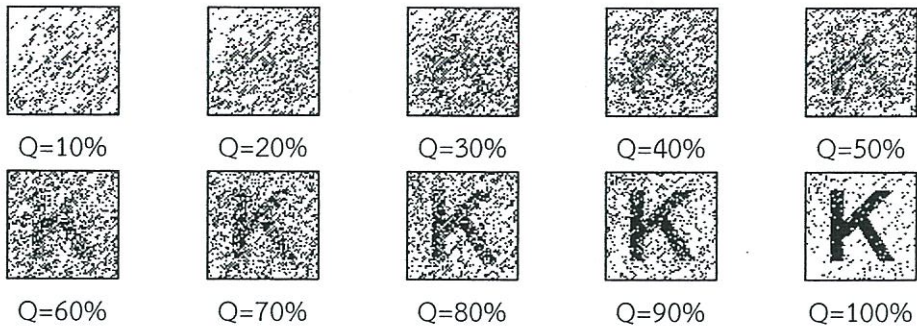


(จ)

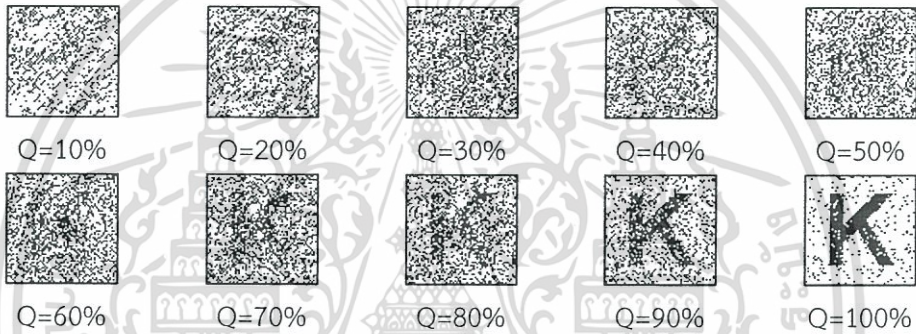
NC=0.7723

รูปที่ 5.44 ลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการบีบอัด 70% ตามวิธีของ Shieh (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill

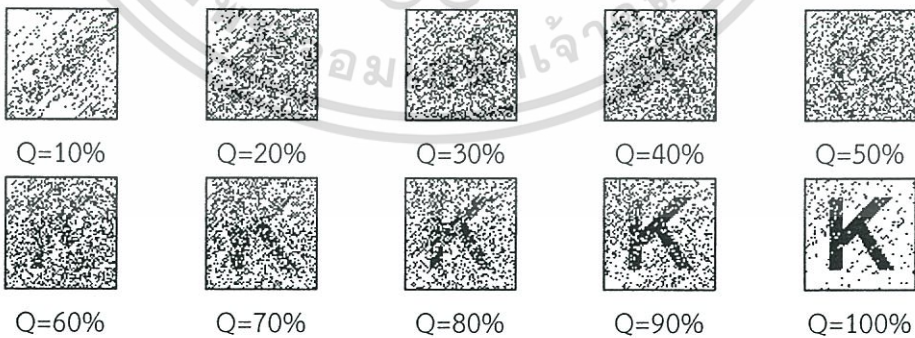
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.45 พัฒนาการของลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ตามวิธีของ Shieh (ภาพ Lena)

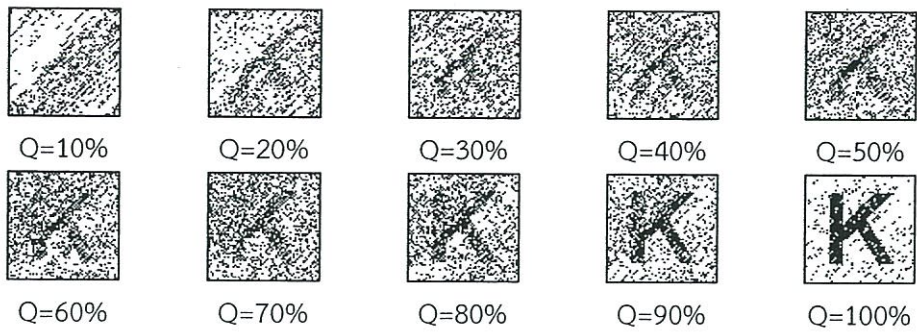


รูปที่ 5.46 พัฒนาการของลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ตามวิธีของ Shieh (ภาพ Peppers)

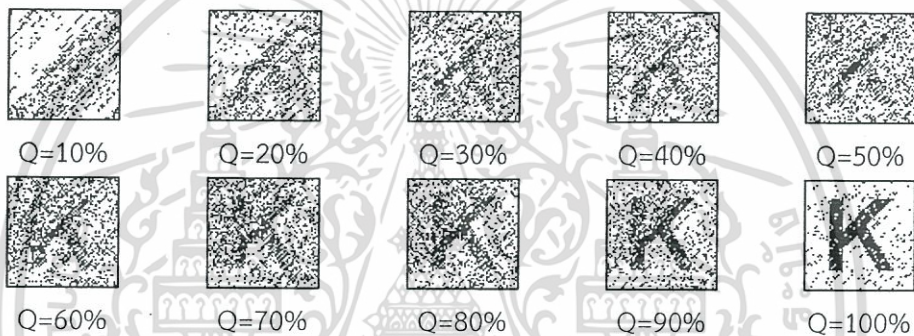


รูปที่ 5.47 พัฒนาการของลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ตามวิธีของ Shieh (ภาพ Boat)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.48 พัฒนาการของลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ตามวิธีของ Shieh (ภาพ Airplane)



รูปที่ 5.49 พัฒนาการของลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ตามวิธีของ Shieh (ภาพ Mandrill)

5.4 ผลการทดลองซ่อนลายน้ำด้วยวิธีของ Wei

ผลการทดลองที่ได้มีดังต่อไปนี้

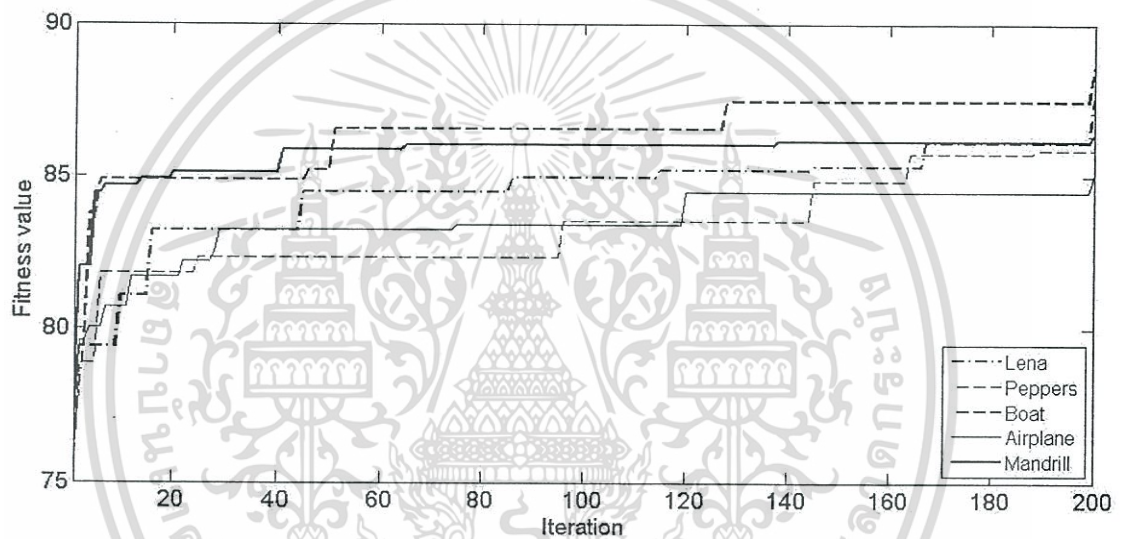
5.4.1 ผลการค้นหาค่าตำแหน่งในการซ่อนลายน้ำ

เมื่อภาพต้นฉบับถูกนำมาแปลงให้เป็นบล็อก DCT โดยแต่ละบล็อกมีขนาด 8×8 พิกเซลแล้วนั้น กระบวนการทางพันธุศาสตร์จะถูกนำมาใช้ในการค้นหาค่าตำแหน่งที่เหมาะสมต่อการซ่อนลายน้ำ เมื่อกระบวนการทางพันธุศาสตร์ทำงานครบ 200 รอบ ผลของการค้นหาค่าตำแหน่งแสดงดังตารางที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรอบการทำงานกับค่าความเหมาะสม (f ตามสมการที่ (3.11)) ของกระบวนการทางพันธุศาสตร์ของภาพ Lena, Peppers, Boat, Airplane และภาพ Mandrill แสดงดังรูปที่ 5.50 และตารางที่ 5.6 แสดงค่า f , PSNR, NC1 (LPF), NC2 (MF) และ NC3 (JPEG) ของรอบการทำงานที่ 1, 50, 100, 150 และ 200 ของกระบวนการทางพันธุศาสตร์ของภาพทั้ง 5 ภาพตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 ตำแหน่งในการซ่อนลายน้ำจากการค้นหาของกระบวนการทางพันธุศาสตร์ (วิธีของ Wei)

ภาพ	ตำแหน่ง			
Lena	26	9	10	13
Peppers	18	11	19	12
Boat	20	25	19	8
Airplane	15	26	18	24
Mandrill	26	15	16	13



รูปที่ 5.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรอบการทำงานของกระบวนการทางพันธุศาสตร์ กับค่าความเหมาะสมตามวิธีของ Wei

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 ค่า f , PSNR, NC1 (LPF), NC2 (MF) และ NC3 (JPEG) ในรอบการทำงานที่ 1, 50, 100, 150 และ 200 ของกระบวนการทางพันธุศาสตร์ตามวิธีของ Wei

ภาพ	Iteration	f	PSNR	NC1 (LPF)	NC2 (MF)	NC3 (JPEG)
Lena	1	75.8444	22.5619	0.6312	0.7100	0.7901
	50	84.4770	33.0820	0.6784	0.6812	0.6962
	100	84.9399	32.9624	0.6907	0.6873	0.7011
	150	85.3112	33.1712	0.6793	0.6947	0.7116
	200	87.5497	32.5397	0.7395	0.7389	0.7220
Peppers	1	75.6871	33.1196	0.5041	0.5818	0.6168
	50	82.3411	33.5236	0.6284	0.6468	0.6775
	100	83.5095	32.6570	0.6530	0.6864	0.6947
	150	85.7541	33.7966	0.6938	0.7128	0.6717
	200	85.8837	33.7287	0.7048	0.7171	0.6643
Boat	1	77.0674	33.0674	0.5357	0.5845	0.6398
	50	85.1878	35.1478	0.6453	0.6585	0.6978
	100	86.5288	34.8563	0.6809	0.6793	0.7067
	150	87.4562	34.7987	0.6972	0.6840	0.7251
	200	88.6014	34.5289	0.7140	0.7134	0.7355
Airplane	1	78.1524	32.1324	0.5443	0.5901	0.7064
	50	83.2372	33.0147	0.6453	0.6634	0.7002
	100	83.4133	25.5058	0.7407	0.7588	0.8168
	150	84.4938	32.6238	0.6916	0.6827	0.7005
	200	85.0962	32.4787	0.6975	0.6508	0.7564
Mandrill	1	77.8727	30.2827	0.5707	0.6051	0.7278
	50	85.8573	28.6698	0.7389	0.7220	0.8266
	100	86.0050	27.5275	0.7312	0.7211	0.8868
	150	86.1566	30.2741	0.7347	0.7121	0.7885
	200	86.3675	30.7525	0.7229	0.7094	0.7923

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2 ผลการช้อนและกู้คืนลายน้ำ

เมื่อนำภาพดิจิทัลต้นฉบับมาทำการช้อนลายน้ำลงในตำแหน่งที่กระบวนการทางพันธุศาสตร์ทำการค้นหาได้ตามหัวข้อที่ 5.4.1 ผลลัพธ์ซึ่งก็คือภาพที่ผ่านการช้อนลายน้ำและลายน้ำที่กู้คืนมาได้ของภาพ Lena, Peppers, Boat, Airplane และภาพ Mandrill แสดงดังรูปที่ 5.51 ถึง 5.55 ตามลำดับ



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.51 ภาพที่ผ่านการช้อนลายน้ำตามวิธีของ Wei (ก) ภาพ Lena MSSIM = 0.9509
(ข) ลายน้ำที่กู้คืนมาได้ NC = 0.9353



(ก)



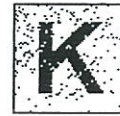
(ข)

รูปที่ 5.52 ภาพที่ผ่านการช้อนลายน้ำตามวิธีของ Wei (ก) ภาพ Peppers MSSIM = 0.9622
(ข) ลายน้ำที่กู้คืนมาได้ NC = 0.9429

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

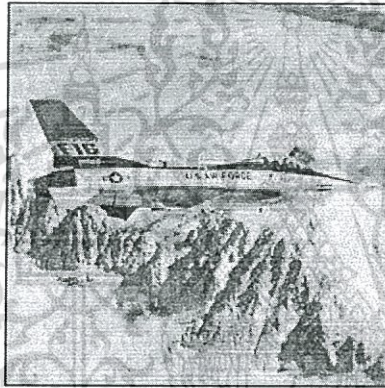


(ก)



(ข)

รูปที่ 5.53 ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำตามวิธีของ Wei (ก) ภาพ Boat MSSIM = 0.9643
 (ข) ลายน้ำที่กู้คืนมาได้ NC = 0.9469

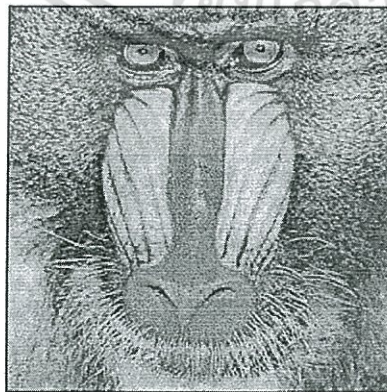


(ก)



(ข)

รูปที่ 5.54 ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำตามวิธีของ Wei (ก) ภาพ Airplane MSSIM = 0.9592
 (ข) ลายน้ำที่กู้คืนมาได้ NC = 0.9491



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.55 ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำตามวิธีของ Wei (ก) ภาพ Mandrill MSSIM = 0.9502

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.3 ผลทดสอบการโจมตีภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ

เมื่อนำภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำจากหัวข้อ 5.4.2 มาผ่านการโจมตีด้วยรูปแบบต่างๆ รูปที่ 5.56 แสดงภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 3×3 รูปที่ 5.57 แสดงลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 3×3 รูปที่ 5.58 แสดงภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มัลติฐานขนาด 3×3 รูปที่ 5.59 แสดงลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มัลติฐานขนาด 3×3 รูปที่ 5.60 แสดงภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 3×3 รูปที่ 5.61 แสดงลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 3×3 รูปที่ 5.62 แสดงภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มัลติฐานขนาด 5×5 รูปที่ 5.63 แสดงลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มัลติฐานขนาด 5×5 รูปที่ 5.64 แสดงภาพที่ผ่านการตัดภาพ 25% และรูปที่ 5.65 แสดงลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการตัดภาพ 25%

รูปที่ 5.66 แสดงภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการบีบอัด 70% รูปที่ 5.67 แสดงลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการบีบอัด 70% ส่วนรูปที่ 5.68 ถึง 5.72 แสดงพัฒนาการของลายน้ำที่กู้คืนมาจากการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการบีบอัด 10%, 20%, ..., 100% ตามลำดับ



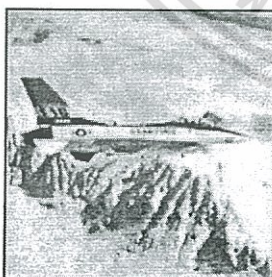
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

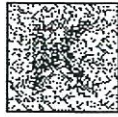


(จ)

รูปที่ 5.56 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 3×3 ตามวิธีของ Wei (ก) ภาพ

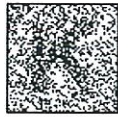
Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



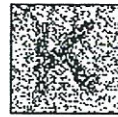
(ก)

NC=0.7395



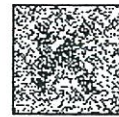
(ข)

NC=0.7048



(ค)

NC=0.7140



(ง)

NC=0.6975



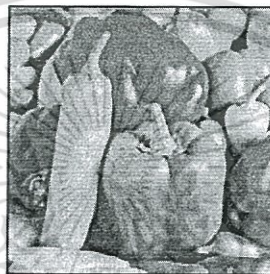
(จ)

NC=0.7229

รูปที่ 5.57 ลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 3×3 ตามวิธีของ Wei (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 5.58 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มัลติฐานขนาด 3×3 ตามวิธีของ Wei (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill



(ก)

NC=0.7389



(ข)

NC=0.7171



(ค)

NC=0.7134



(ง)

NC=0.6508

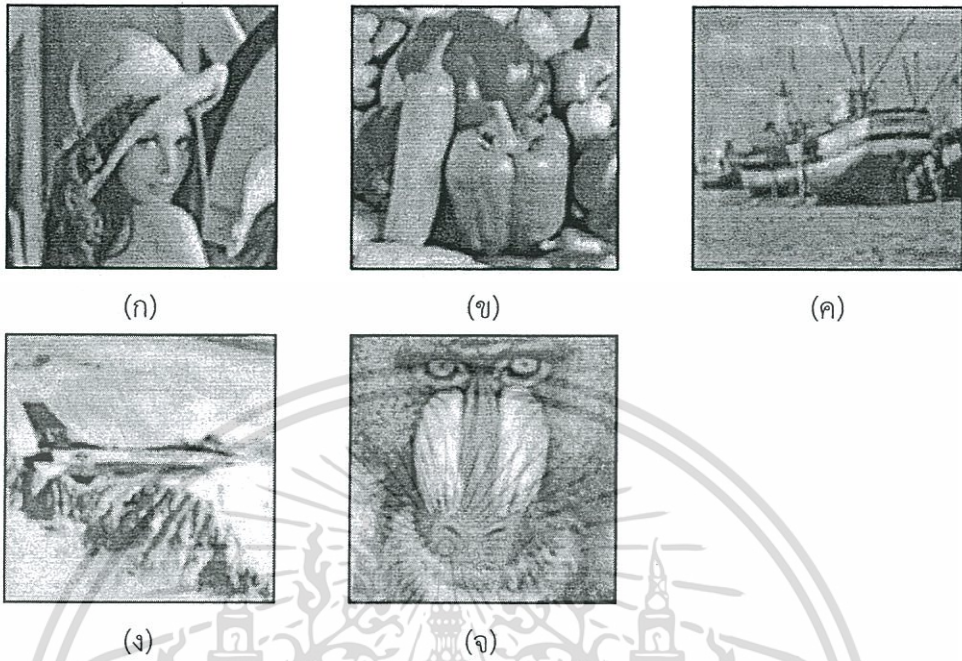


(จ)

NC=0.7094

รูปที่ 5.59 ลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มัลติฐานขนาด 3×3 ตามวิธีของ Wei (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

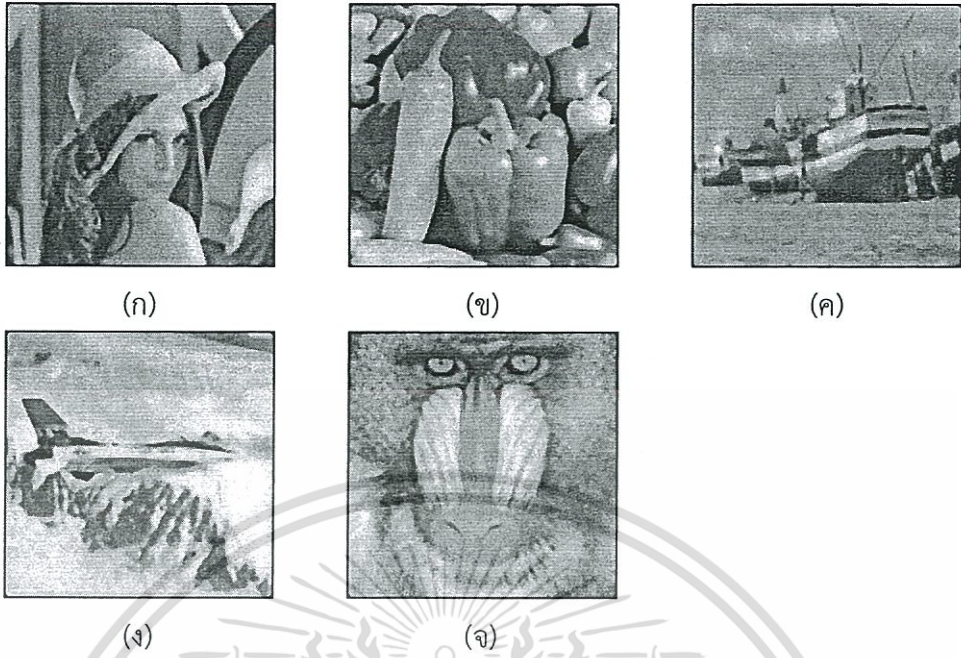


รูปที่ 5.60 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 5×5 ตามวิธีของ Wei (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill

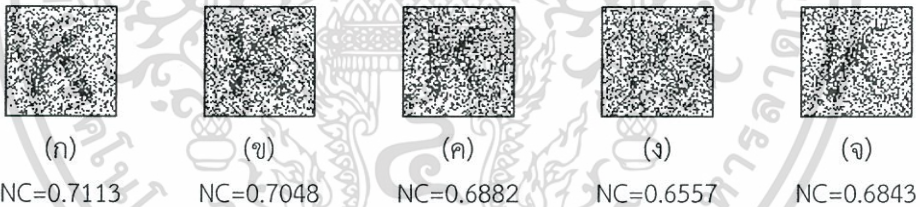


รูปที่ 5.61 ลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านขนาด 5×5 ตามวิธีของ Wei (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill

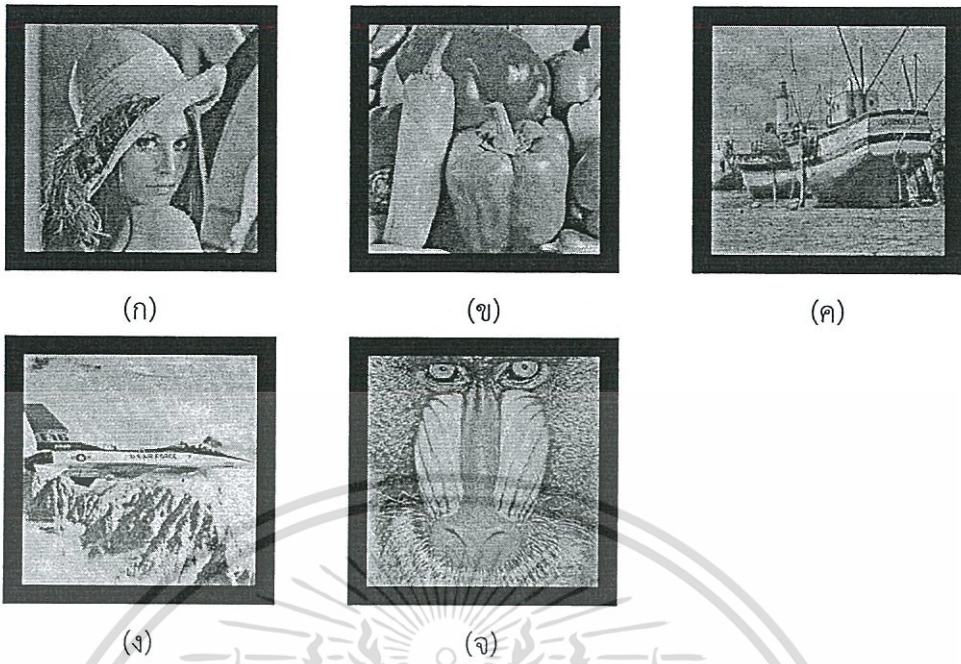
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



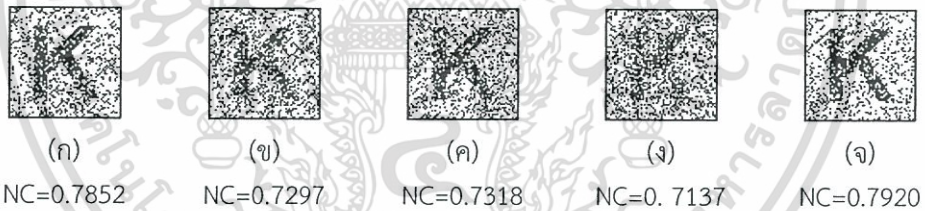
รูปที่ 5.62 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มีฐานขนาด 5×5 ตามวิธีของ Wei (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill



รูปที่ 5.63 ลายน้ำที่คู่กันมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองความถี่มีฐานขนาด 5×5 ตามวิธีของ Wei (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill



รูปที่ 5.64 ภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยการตัดภาพ 25% ตามวิธีของ Wei (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill



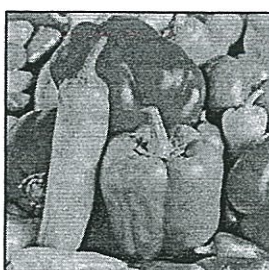
(ก) NC=0.7852 (ข) NC=0.7297 (ค) NC=0.7318 (ง) NC=0.7137 (จ) NC=0.7920

รูปที่ 5.65 ลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการโจมตีด้วยการตัดภาพ 25% ตามวิธีของ Wei (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 5.66 ภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการบีบอัด 70% ตามวิธีของ Wei (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill



(ก)

NC=0.7220



(ข)

NC=0.6643



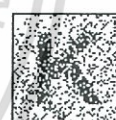
(ค)

NC=0.7355



(ง)

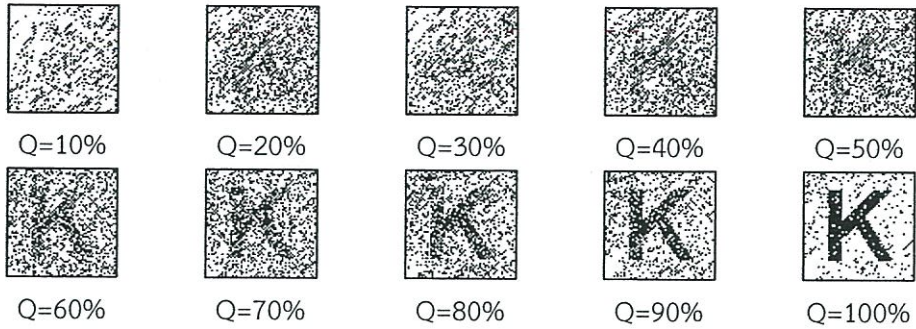
NC=0.7564



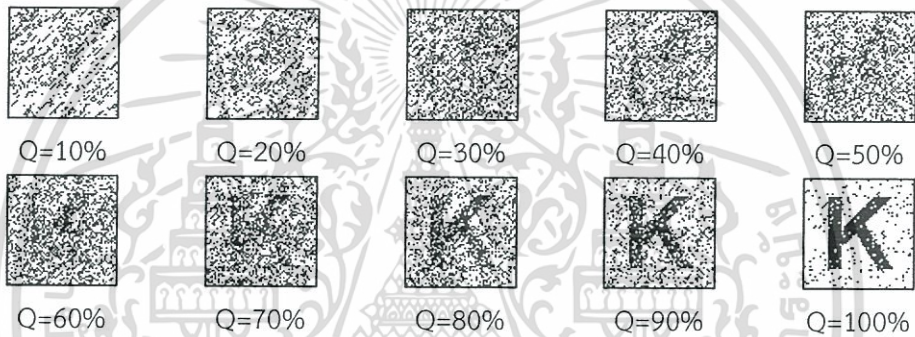
(จ)

NC=0.7923

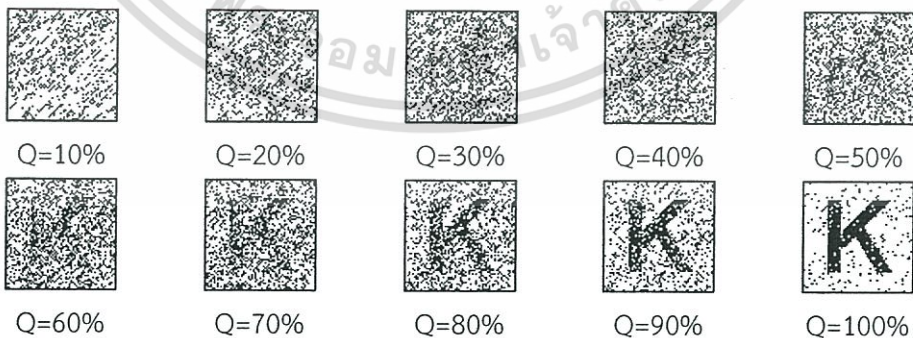
รูปที่ 5.67 ลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการบีบอัด 70% ตามวิธีของ Wei (ก) ภาพ Lena (ข) ภาพ Peppers (ค) ภาพ Boat (ง) ภาพ Airplane และ (จ) ภาพ Mandrill



รูปที่ 5.68 พัฒนาการของลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ตามวิธีของ Wei (ภาพ Lena)

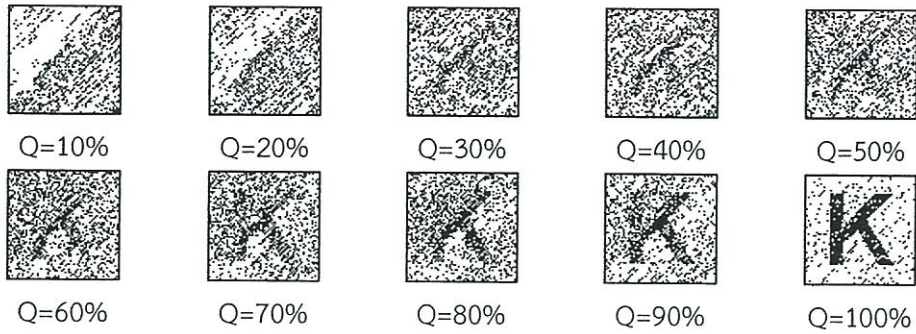


รูปที่ 5.69 พัฒนาการของลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ตามวิธีของ Wei (ภาพ Peppers)

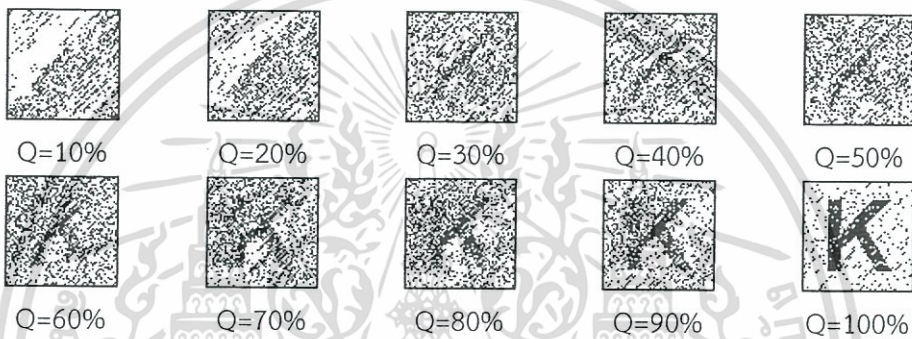


รูปที่ 5.70 พัฒนาการของลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ตามวิธีของ Wei (ภาพ Boat)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.71 พัฒนาการของลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ตามวิธีของ Wei (ภาพ Airplane)



รูปที่ 5.72 พัฒนาการของลายน้ำที่กู้คืนมาจากภาพที่ผ่านการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG ที่ใช้คุณภาพการบีบอัด 10% ถึง 100% ตามวิธีของ Wei (ภาพ Mandrill)

5.5 ผลการทดลองปรับเปลี่ยนจำนวนมดของวิธีที่นำเสนอ

ตารางที่ 5.7 ผลการทำงานของระบบอาณานิคมมด จากการปรับเปลี่ยนจำนวนมด (ภาพ Lena)

จำนวนมด (ตัว)	f	MSSIM	NC			
			LPF 3x3	MF 3x3	JPEG 70%	No attack
10	0.1274	0.9699	0.7637	0.7800	0.7821	0.9632
15	0.1271	0.9786	0.7665	0.7527	0.7825	0.9672
20	0.1251	0.9709	0.7616	0.7699	0.8055	0.9758
25	0.1221	0.9682	0.7693	0.7846	0.8089	0.9789
30	0.1219	0.9736	0.7663	0.7825	0.7988	0.9782

เมื่อทำการทดลองปรับเปลี่ยนจำนวนมดที่ใช้ในระบบอาณานิคมมดให้มีจำนวนมด 10, 15, 20, 25 และ 30 ตัวตามลำดับ โดยทดลองกับภาพ Lena ผลลัพธ์ที่ได้เมื่อเสร็จสิ้นการทำงาน 200 รอบแสดงดังตารางที่ 5.7 จากการทดลองพบว่า การเพิ่มจำนวนมด ส่งผลให้ค่าเป้าหมาย (f) ที่ได้มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ดีขึ้น (ค่าน้อยลง) อันเนื่องมาจากจำนวนมดที่มากขึ้นทำให้มีจำนวนของคำตอบที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการทำงานมากขึ้น ระบบอาณานิคมมดจึงมีคำตอบให้เลือกหลากหลายมากขึ้น โอกาสที่จะค้นพบคำตอบที่ดีกว่าเดิมจึงมีมากขึ้นตามไปด้วย

5.6 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองของวิธีต่างๆ

เมื่อพิจารณารูปภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรอบการทำงานกับค่าเป้าหมายของระบบอาณานิคมมดของวิธีที่นำเสนอ (รูปที่ 5.4) ตั้งแต่การทำงานรอบที่ 1 ถึง 200 พบว่าในทั้ง 5 ภาพที่นำมาทดสอบ วิธีที่นำเสนอมีการเปลี่ยนแปลงของการหาคำตอบที่ดีขึ้น (ค่าเป้าหมายยิ่งน้อยยิ่งดี) อย่างบ่อยครั้ง และเมื่อพิจารณาการทำงานในรอบท้ายๆ จะเห็นถึงประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่ยังคงมีเกิดขึ้น ในขณะที่เมื่อพิจารณารูปภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรอบการทำงานของกระบวนการทางพันธุศาสตร์กับค่าความเหมาะสมตามวิธีของ Shieh (รูปที่ 5.27) และวิธีของ Wei (รูปที่ 5.50) จะพบว่าพัฒนาการของการหาคำตอบ (ค่าความเหมาะสมยิ่งมากยิ่งขึ้น) ในรอบท้ายๆ จะเริ่มน้อยลงซึ่งแสดงให้เห็นว่าการค้นหาคำตอบใหม่ๆ ของระบบอาณานิคมมดในวิธีที่นำเสนอมีประสิทธิภาพดีกว่าการค้นหาคำตอบของกระบวนการทางพันธุศาสตร์ที่มีการใช้ใน 2 วิธีที่นำมาเปรียบเทียบ ซึ่งสอดคล้องกับที่กล่าวไว้ในงานวิจัย [7] ทั้งนี้เป็นผลสืบเนื่องมาจากกระบวนการปรับปรุงค่าฟิโตรีโมนของระบบอาณานิคมมดนั่นเอง (รายละเอียดอยู่ในหัวข้อ 2.5.1 และ 2.5.2)

และเมื่อพิจารณาพัฒนาการในการหาคำตอบของกระบวนการทางพันธุศาสตร์ระหว่างวิธีของ Shieh และวิธีของ Wei พบว่าวิธีของ Wei มีพัฒนาการในการค้นหาคำตอบในรอบท้ายๆ เกิดขึ้นบ่อยครั้งกว่าวิธีของ Shieh ซึ่งเป็นการยืนยันความสำเร็จของวิธีของ Wei ที่ได้ทำการพัฒนาสมการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ของกระบวนการทางพันธุศาสตร์ให้มีค่าลดลงเมื่อรอบการทำงานเพิ่มขึ้น ในขณะที่กำหนดค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชันให้มากขึ้นเมื่อรอบการทำงานเพิ่มขึ้น เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบของกระบวนการทางพันธุศาสตร์ของวิธีของ Shieh ให้ดียิ่งขึ้น (รายละเอียดอยู่ในหัวข้อ 3.3.3)

ตารางที่ 5.8 การเปรียบเทียบคุณภาพของภาพที่ผ่านการช้อนลายน้ำด้วยวิธีต่างๆ

ภาพ	MSSIM			PSNR		
	วิธีที่นำเสนอ	วิธีของ Wei	วิธีของ Shieh	วิธีที่นำเสนอ	วิธีของ Wei	วิธีของ Shieh
Lena	0.9699	0.9509	0.9399	36.3316	32.5379	32.1058
Peppers	0.9703	0.9622	0.9442	36.3312	33.7287	32.9100
Boat	0.9725	0.9643	0.9495	36.8619	34.5289	33.2290
Airplane	0.9784	0.9592	0.9442	37.3708	32.4787	32.3361
Mandrill	0.9575	0.9502	0.9378	34.0679	30.7525	30.5618

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับคุณภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำของทั้ง 5 ภาพที่นำมาทดสอบ จากการพิจารณาตารางที่ 5.8 ที่แสดงการเปรียบเทียบคุณภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำของวิธีต่างๆ ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบให้เห็นทั้ง 2 ค่าดัชนี คือ ดัชนี MSSIM (Mean Structural Similarity) และ PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) (รายละเอียดอยู่ในหัวข้อ 2.1.5 บทที่ 2) พบว่าวิธีที่นำเสนอให้ผลค่า MSSIM และ PSNR สูงกว่าอีก 2 วิธีที่นำมาเปรียบเทียบในทุกภาพการทดลอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอให้ผลทางด้านคุณภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำดีกว่าวิธีของ Wei และ Shieh ทั้งนี้เมื่อพิจารณาผลของวิธีที่นำมาเปรียบเทียบทั้ง 2 วิธีพบว่า วิธีของ Wei ให้ผลด้านคุณภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำดีกว่าวิธีของ Shieh เล็กน้อย โดยเฉพาะในภาพ Lena, Airplane และภาพ Mandrill ให้ผลค่า PSNR ที่แตกต่างกันในระดับจุดทศนิยมเท่านั้น

ในส่วนของคุณภาพความคงทนของลายน้ำ พิจารณาตารางที่ 5.9 ถึง 5.13 ที่แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของทั้ง 3 วิธีในเรื่องความคงทนของลายน้ำหลังจากถูกโจมตีด้วยรูปแบบต่างๆ ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบคุณภาพด้วยค่าดัชนี NC (Normalized Cross Correlation: NC) จากผลการทดสอบพบว่าวิธีการซ่อนลายน้ำที่นำเสนอสามารถพัฒนาประสิทธิภาพความคงทนของลายน้ำเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีของ Wei และ Shieh ในทุกภาพที่นำมาทดสอบ และเช่นเดียวกันกับคุณภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำคือ วิธีของ Wei ให้คุณภาพด้านความคงทนของลายน้ำดีกว่าวิธีของ Shieh ในทุกภาพที่นำมาทดสอบเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 5.9 การเปรียบเทียบคุณภาพความคงทนของลายน้ำของวิธีต่างๆ (ภาพ Lena)

รูปแบบการโจมตี	NC		
	วิธีที่นำเสนอ	วิธีของ Wei	วิธีของ Shieh
No attack	0.9632	0.9353	0.9015
Low pass filter 3x3	0.7637	0.7395	0.6944
Low pass filter 5x5	0.7561	0.7156	0.6462
Median filter 3x3	0.7800	0.7389	0.7024
Median filter 5x5	0.7650	0.7113	0.6787
JPEG_70%	0.7821	0.7220	0.6643
Cropping_25%	0.8653	0.7410	0.6907

ตารางที่ 5.10 การเปรียบเทียบคุณภาพความคงทนของลายน้ำของวิธีต่างๆ (ภาพ Peppers)

รูปแบบการโจมตี	NC		
	วิธีที่นำเสนอ	วิธีของ Wei	วิธีของ Shieh
No attack	0.9730	0.9429	0.9343
Low pass filter 3x3	0.7542	0.7048	0.7002
Low pass filter 5x5	0.7272	0.6959	0.6738
Median filter 3x3	0.7920	0.7171	0.7103
Median filter 5x5	0.7650	0.7048	0.6665
JPEG_70%	0.7401	0.6643	0.6462
Cropping_25%	0.7720	0.6907	0.6787

ตารางที่ 5.11 การเปรียบเทียบคุณภาพความคงทนของลายน้ำของวิธีต่างๆ (ภาพ Boat)

รูปแบบการโจมตี	NC		
	วิธีที่นำเสนอ	วิธีของ Wei	วิธีของ Shieh
No attack	0.9745	0.9469	0.9224
Low pass filter 3x3	0.7834	0.7140	0.7137
Low pass filter 5x5	0.7653	0.6935	0.6916
Median filter 3x3	0.7748	0.7134	0.7100
Median filter 5x5	0.7545	0.6882	0.6714
JPEG_70%	0.8042	0.7355	0.7220
Cropping_25%	0.8435	0.7484	0.7392

ตารางที่ 5.12 การเปรียบเทียบคุณภาพความคงทนของลายน้ำของวิธีต่างๆ (ภาพ Airplane)

รูปแบบการโจมตี	NC		
	วิธีที่นำเสนอ	วิธีของ Wei	วิธีของ Shieh
No attack	0.9705	0.9491	0.9040
Low pass filter 3x3	0.7717	0.6975	0.6603
Low pass filter 5x5	0.7367	0.6772	0.6487
Median filter 3x3	0.7760	0.6508	0.6263
Median filter 5x5	0.7051	0.6557	0.6036
JPEG_70%	0.8009	0.7564	0.7324
Cropping_25%	0.8401	0.7573	0.7441

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.13 การเปรียบเทียบคุณภาพความคงทนของลายน้ำของวิธีต่างๆ (ภาพ Mandrill)

รูปแบบการโจมตี	NC		
	วิธีที่นำเสนอ	วิธีของ Wei	วิธีของ Shieh
No attack	0.9868	0.9610	0.9555
Low pass filter 3x3	0.7831	0.7229	0.7131
Low pass filter 5x5	0.7484	0.7088	0.6993
Median filter 3x3	0.7680	0.7094	0.7070
Median filter 5x5	0.7251	0.6843	0.6747
JPEG_70%	0.8484	0.7923	0.7723
Cropping_25%	0.8914	0.8417	0.8098

สำหรับการเปรียบเทียบในเรื่องเวลาในการค้นหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของวิธีต่างๆ พิจารณาตารางที่ 5.14 พบว่า วิธีที่นำเสนอซึ่งใช้ ACS ในการค้นหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะใช้เวลาในการค้นหาพารามิเตอร์ต่อ 1 รอบการทำงานน้อยกว่าวิธีของ Shieh แต่มากกว่าวิธีของ Wei ที่ใช้ GA ในการค้นหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากสมการในการซ่อนและกู้คืนลายน้ำของวิธีที่นำเสนอและวิธีของ Wei มีขั้นตอนในการคำนวณน้อยกว่าสมการในการซ่อนและกู้คืนลายน้ำของวิธีของ Shieh ทำให้วิธีที่นำเสนอและวิธีของ Wei สามารถประมวลผลได้เร็วกว่าวิธีของ Shieh

ตารางที่ 5.14 การเปรียบเทียบเวลาในการค้นหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของวิธีต่างๆ

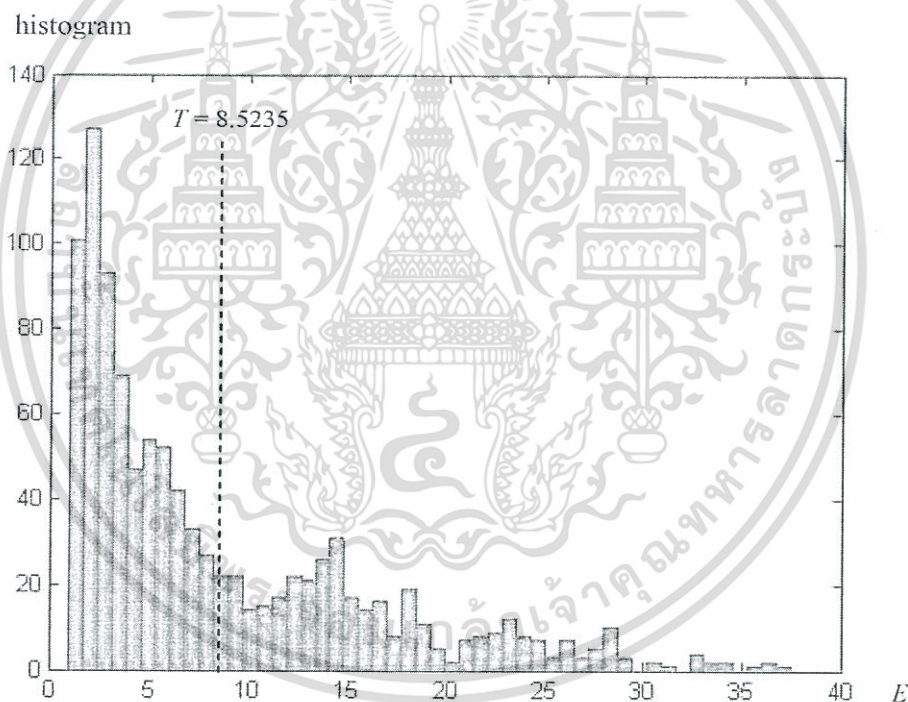
วิธี	อัลกอริทึมที่ใช้ค้นหา	เวลา (วินาที/รอบการทำงาน)
วิธีที่นำเสนอ	ACS	9.22
วิธีของ Shieh	GA	13.02
วิธีของ Wei	GA	7.77

และเนื่องจากวิธีที่นำเสนอใช้ ACS ทำการค้นหาพารามิเตอร์ที่มีจำนวนที่ต้องค้นหา มากกว่า (ค้นหา 10 ตัว คือ ตำแหน่งของสัมประสิทธิ์เอชี่ 8 ตำแหน่ง และค่าพลังงานในการฝังลายน้ำ 2 ค่า) ในขณะที่วิธีของ Wei ใช้ GA ทำการค้นหาพารามิเตอร์เพียง 4 ตัว (ตำแหน่งของสัมประสิทธิ์เอชี่จำนวน 4 ตำแหน่ง) จึงทำให้วิธีที่นำเสนอใช้เวลาในการค้นหาพารามิเตอร์ต่อ 1 รอบการทำงาน มากกว่าวิธีของ Wei แต่เมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการค้นหาพารามิเตอร์ทั้งหมด 200 รอบ พบว่าวิธีที่นำเสนอใช้เวลามากกว่าวิธีของ Wei ไม่เกิน 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.8 การวิเคราะห์ค่าพลังงานของภาพ

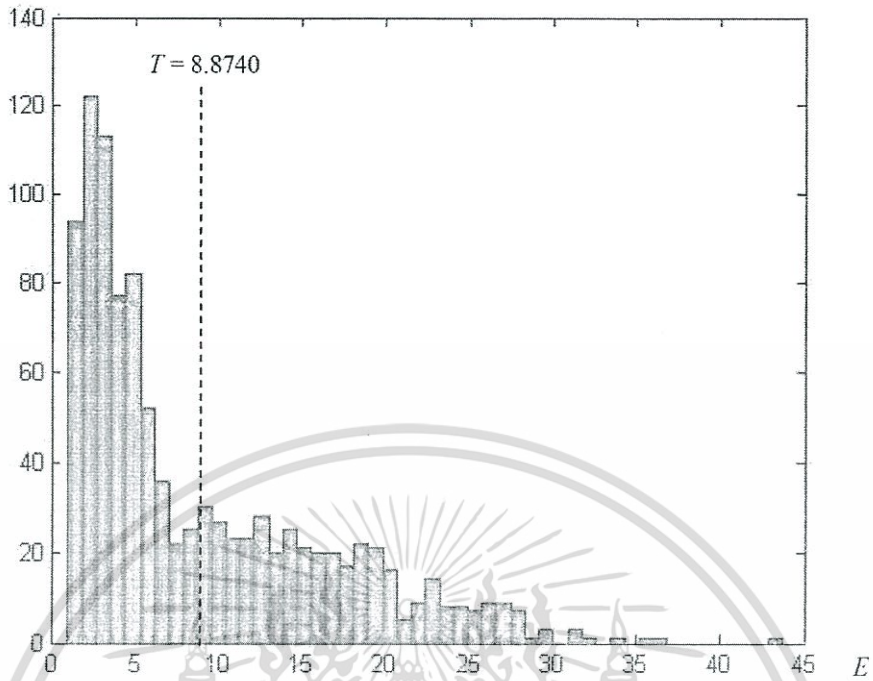
ในบทที่ 4 หัวข้อ 4.1 ขั้นตอนที่ 4 ที่กล่าวถึง การจำแนกประเภทของบล็อกดีซีที่ออกเป็น 2 ประเภท อันได้แก่ Texture และ Homogeneous โดยใช้การพิจารณาเปรียบเทียบค่าพลังงานเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์เอซี (E) ของแต่ละบล็อกกับค่าเทรโซลด์ (T) ซึ่งคำนวณจากค่าพลังงานเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์เอซีของทั้งภาพ ซึ่งปรากฏผลการจำแนกประเภทของบล็อกดังแสดงในบทที่ 5 หัวข้อ 5.2.1 แล้วนั้น ฮิสโตแกรมแสดงความถี่ของค่า E (จำนวน 50 แห่ง) และค่า T ของภาพที่นำมาทดลองทั้ง 5 ภาพ แสดงดังรูปที่ 5.73 ถึง 5.77 จากฮิสโตแกรม แสดงให้เห็นว่าวิธีการจำแนกประเภทของบล็อกที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ สามารถแสดงให้เห็นความแตกต่างระหว่างบล็อกดีซีที่ทั้ง 2 ประเภทที่ถูกจำแนกด้วยค่า T ได้อย่างถูกต้อง และจะเห็นได้ว่าภาพที่มีค่าพลังงานเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์เอซีของทั้งภาพต่ำที่สุดคือภาพ Lena และภาพ Mandrill มีค่าพลังงานเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์เอซีของทั้งภาพสูงที่สุด



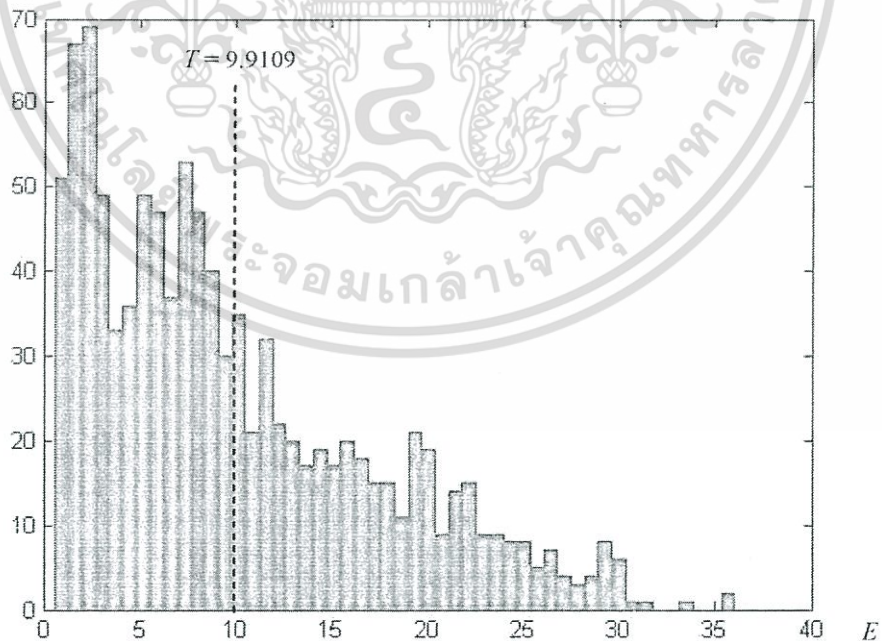
รูปที่ 5.73 ฮิสโตแกรมแสดงความถี่ของค่า E และค่า T ของภาพ Lena

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

histogram

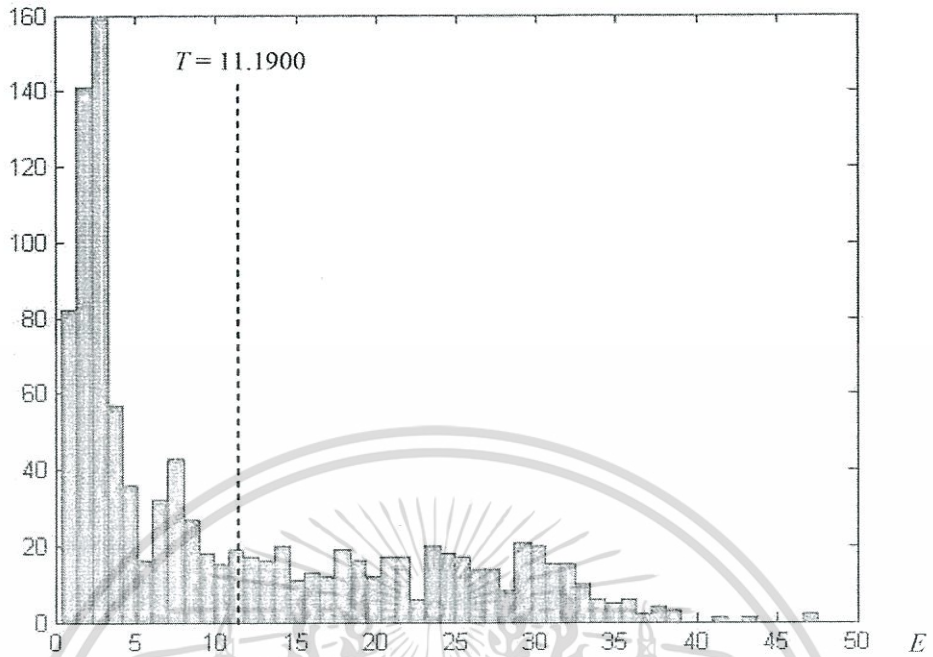
รูปที่ 5.74 ฮิสโตแกรมแสดงความถี่ของค่า E และค่า T ของภาพ Peppers

histogram

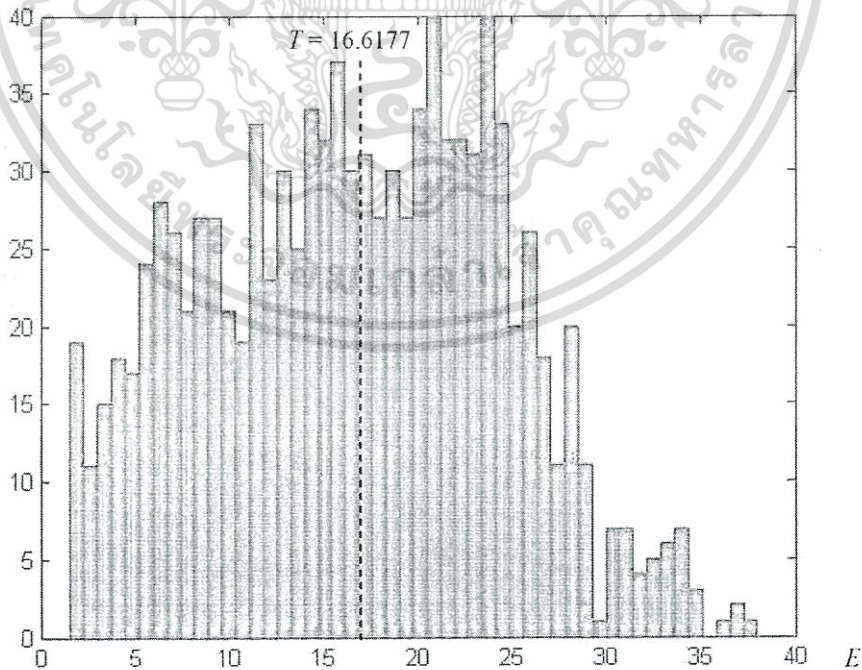
รูปที่ 5.75 ฮิสโตแกรมแสดงความถี่ของค่า E และค่า T ของภาพ Boat

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

histogram

รูปที่ 5.76 ฮิสโตแกรมแสดงความถี่ของค่า E และค่า T ของภาพ Airplane

histogram

รูปที่ 5.77 ฮิสโตแกรมแสดงความถี่ของค่า E และค่า T ของภาพ Mandrill

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัลโดยใช้การจำแนกเท็กซ์เจอร์และระบบอาณานิคมมด ซึ่งเป็นวิธีใหม่ที่มีการนำเอาหลักการของระบบอาณานิคมมดมาทำการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อการซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัลที่ทำภายใต้การแปลงโคซายน์แบบดิสคริต โดยผู้วิจัยจึงได้นำเอาการจำแนกเท็กซ์เจอร์มาทำการจำแนกประเภทของบล็อก DCT ทั้งหมดออกเป็น 2 ประเภทก่อนที่จะนำระบบอาณานิคมมดมาทำการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ซึ่งพารามิเตอร์ที่ว่าได้แก่ ชุดตำแหน่งของค่าสัมประสิทธิ์ความถี่และค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำที่เหมาะสมกับบล็อก DCT แต่ละประเภทสำหรับในบทที่ผ่านมาเป็นการทดลองและทดสอบประสิทธิภาพของวิธีที่นำเสนอ โดยได้ทำการทดลองเปรียบเทียบกับอีก 2 วิธี คือ วิธีของ Shieh และคณะ [23] และวิธีของ Wei และคณะ [24] ซึ่งทั้ง 2 วิธีที่นำมาเปรียบเทียบทำการซ่อนลายน้ำภายใต้เทคนิคการแปลงโคซายน์แบบดิสคริตเช่นเดียวกัน แต่ 2 วิธีนี้ไม่มีการจำแนกประเภทของบล็อก DCT และมีการใช้กระบวนการทางพันธุศาสตร์มาทำการค้นหาชุดตำแหน่งที่เหมาะสมต่อการซ่อนลายน้ำ ซึ่งตำแหน่งที่ค้นหาเป็นชุดเดียวกันที่ใช้สำหรับทุกบล็อก

จากผลที่ได้จะเห็นว่าวิธีที่นำเสนอให้ผลทางด้านคุณภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำและคุณภาพความคงทนของลายน้ำภายใต้การโจมตีด้วยรูปแบบต่างๆ ดีที่สุด โดยผู้วิจัยใช้จำนวนรอบในการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของระบบอาณานิคมมดเพียง 200 รอบ ก็สามารถให้ผลของคุณภาพทั้งสองด้านที่ดีกว่าวิธีที่นำมาเปรียบเทียบทั้ง 2 วิธี ถ้าวิเคราะห์ลงไปถึงประสิทธิภาพที่มีมากกว่าของวิธีที่นำเสนอจะพบว่า วิธีที่นำเสนอสามารถหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับองค์ประกอบของภาพที่แตกต่างกันไปตามประเภทของบล็อก จึงให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าการใช้ชุดพารามิเตอร์เดียวกันสำหรับทุกบล็อกที่อาจมีองค์ประกอบของภาพที่แตกต่างกัน และด้วยประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบของระบบอาณานิคมมดที่มีการปรับปรุงการค้นหาคำตอบให้สามารถค้นหาคำตอบที่แปลกใหม่ได้ดีกว่ากระบวนการทางพันธุศาสตร์ จึงทำให้การค้นหาคำตอบภายหลักรอบการทำงานที่ 150 ระบบอาณานิคมมดสามารถหาคำตอบที่ดีขึ้นได้ในจำนวนครั้งของการเกิดคำตอบที่ดีขึ้นดีกว่าการค้นหาด้วยกระบวนการทางพันธุศาสตร์ของทั้ง 2 วิธีที่นำมาเปรียบเทียบ ซึ่งปัญหาที่พบในเรื่องของการพัฒนาคำตอบใหม่ๆ ที่มักจะซ้ำเดิมกับคำตอบในรอบที่ผ่านมาของกระบวนการทางพันธุศาสตร์นั้น ในวิธีที่นำมาเปรียบเทียบคือวิธีของ Wei ก็พยายามหาวิธีในการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยได้ทำการสร้างสมการในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้งานของกระบวนการทางพันธุศาสตร์ขึ้นมาเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของกระบวนการทางพันธุศาสตร์ให้ดียิ่งขึ้น จึง

เห็นได้ว่าวิธีของ Wei ให้ผลของการซ่อนและกู้คืนลายน้ำที่ดีกว่าวิธีของ Shieh ในทุกภาพการทดลอง เช่นเดียวกัน

นอกจากนี้ประสิทธิภาพของการค้นหาคำตอบของทั้งระบบอานานิคมมดและกระบวนการทางพันธุศาสตร์ยังขึ้นอยู่กับข้อกำหนดฟังก์ชันเป้าหมายหรือฟังก์ชันความเหมาะสมที่ใช้เป็นตัวชี้วัด ประสิทธิภาพของคำตอบที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงานในแต่ละรอบ ซึ่งพบว่าในวิธีที่นำมาเปรียบเทียบทั้ง 2 วิธี ฟังก์ชันความเหมาะสมถูกกำหนดโดยดัชนี PSNR และ NC โดยดัชนี PSNR เป็นดัชนีวัดประสิทธิภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ ในขณะที่ดัชนี NC เป็นดัชนีวัดความคงทนของลายน้ำ ด้วยลักษณะของค่าดัชนีทั้งสองที่มีความแตกต่างกันมาก กล่าวคือ ค่า PSNR ที่วัดได้มักจะอยู่ในช่วง 20 ถึง 30 กว่าๆ ในขณะที่ค่า NC อยู่ในช่วง 0.5 ขึ้นไปจนถึง 1 ทำให้การควบคุมค่าน้ำหนักของทั้ง 2 ดัชนีในสมการเดียวกันทำได้โดยยาก จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบด้อยลงไป ในขณะที่วิธีที่นำเสนอได้มีการเปลี่ยนการใช้ดัชนีวัดคุณภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำจากดัชนี PSNR มาเป็นดัชนี MSSIM ตามคำแนะนำของผู้พิจารณาบทความฉบับเต็มของวารสาร Journal of Signal Processing ซึ่งดัชนี MSSIM ที่ใช้นั้นให้ค่าโดยประมาณอยู่ที่ 0.9 กว่าๆ ซึ่งมีช่วงของค่าที่ใกล้เคียงกับดัชนี NC ที่ใช้วัดคุณภาพความคงทนของลายน้ำ ทำให้วิธีที่นำเสนอสามารถควบคุมค่าน้ำหนักของดัชนีทั้ง 2 ได้ง่ายกว่า ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบทำได้ดียิ่งขึ้น

สรุปโดยรวมจะเห็นว่า การซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัลด้วยวิธีการจำแนกเท็กซ์เจอร์และระบบอานานิคมมด สามารถให้ประสิทธิภาพโดยรวมทั้ง 2 ด้านที่ดีขึ้นในคราวเดียวกัน คือ ด้านคุณภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ และด้านคุณภาพความคงทนของลายน้ำเมื่อทดสอบโจมตีภาพด้วยการบีบอัดแบบ JPEG การโจมตีเชิงเรขาคณิตด้วยการตัดบางส่วนของภาพ และการโจมตีเชิงสัญญาณด้วยตัวกรองความถี่ โดยใช้จำนวนรอบในการค้นหาค่าที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำของระบบอานานิคมมดเพียงจำนวนน้อยก็สามารถให้ผลลัพธ์อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ แต่อย่างไรก็ตามวิธีที่นำเสนอและวิธีที่นำมาเปรียบเทียบทั้ง 2 วิธี ไม่สามารถนำมาใช้กับการหมุนภาพได้ เนื่องจากการหมุนภาพทำให้ตำแหน่งที่อ้างอิงในการกู้คืนลายน้ำเปลี่ยนแปลงไป อันทำให้ลายน้ำไม่สามารถถูกกู้คืนมาได้อย่างถูกต้อง นอกจากนี้ในกรณีที่ภาพดิจิทัลมีรายละเอียดของภาพมาก อาจต้องเปลี่ยนวิธีการจำแนกประเภทของข้อมูลภาพให้สามารถจำแนกประเภทได้หลากหลายและซับซ้อนมากกว่าวิธีที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Hartun F. and Kutter M. "Multimedia Watermarking Techniques." *Proc. IEEE*, vol. 87, Jul. 1999. pp. 1079–1107.
- [2] Petitcolas F. A. P., Anderson R. J. and Kuhn M. G. "Information Hiding—A Survey." *Proc. IEEE*, vol. 87, no. 7, Jul. 1999. pp. 1062–1078.
- [3] Song Y. J. and Tan T. N. "Comparison of Four Different Digital Watermarking Techniques." *Proc. Int. Conf. on Signal Processing (ICSP2000)*, Beijing, China, vol. 2, Aug. 2000. pp. 946–950.
- [4] Hsieh M. S., Tseng D. C. and Huang Y. H. "Hiding Digital Watermarks using Multi Resolution Wavelet Transform." *IEEE Trans. on Ind. Electron.*, vol. 48, Oct. 2001. pp. 875–882.
- [5] Bhama S., Singh H. and Phadte N. D. "Parallelism for Faster Implementation of the K-L Transform for Image Compression." *Pattern Recognit. Lett.*, Aug. 1993. pp. 651-659.
- [6] Guan Y. L. and Jin J. "An Objective Comparison Between Spatial and DCT Watermarking Schemes for MPEG." *Proc. Int. Conf. on Information Technology: Coding and Computing*, Las Vegas, USA., Apr. 2001. pp. 207-211.
- [7] Dorigo M. and Gambardella L. M. "Ant Colony System: a Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem." *IEEE Trans. on Evolut. Comput.*, vol. 1, no. 1, Apr. 1997. pp. 53-66.
- [8] Wang Z., Bovik A. C., Sheikh H. R. and Simoncelli E. P. "Image Quality Assessment: from Error Visibility to Structural Similarity." *IEEE Trans. on Image Process.*, vol. 13, no. 4, Apr. 2004. pp. 1–14.
- [9] Chen T. S., Chang C.C., and Hwang M. S., "A Virtual Image Cryptosystem based upon Vector Quantization." *IEEE Trans. on Image Process.*, vol. 7, no. 10, Oct. 1998.
- [10] Wang Z. and Bovik A. C., "A Universal Image Quality Index." *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 9, no. 3, Mar. 2002. pp. 81–84.
- [11] Cox I. J., Kilian J., Leighton F. T. and Shamoon T., "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia." *IEEE Trans. on Image Process.*, vol. 6, no. 12,

- Dec. 1997. pp. 1673–1687.
- [12] Wallace G., “The JPEG Still Picture Compression Standard.” *Communication of the ACM Mag.*, vol. 34, no. 4, Apr. 1991, pp. 30–40.
- [13] Bors A. and Pitas I., “Embedding Parametric Digital Signatures in Images.” *Proc. EUSIPCO-96, Trieste, Italy, Sep. 1996.* pp. 10–13.
- [14] Bors A. and Pitas I., “Image Watermarking using DCT Domain Constrains.” *Proc. Int. Conf. on Image Processing (ICIP1996)*, vol. 3, Lausanne, Switzerland, Sept. 1996. pp. 231–234.
- [15] Zhao J. and Koch E., “Embedding Robust Labels into Images for Copyright Protection.” *Proc. Congress on Intellectual Property Rights for Specialized Information, Knowledge and New Technologies*, Aug. 1995. pp. 242-251.
- [16] Bonabeau E., Dorigo M., and Theraulaz G., *Swarm Intelligent: From Natural to Artificial Systems Swarm Intelligence*. Oxford University Press, 1999.
- [17] Dorigo M., Birattari M., and Stutzle T., “Ant Colony Optimization.” *IEEE Computational Intelligence Mag.*, Nov. 2006. pp. 28-39.
- [18] Dorigo M., Maniezzo V., and Colorni A., “The Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents.” *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics – Part B*, vol. 26, no. 2, 1996. pp. 29-41.
- [19] Piva A., Barni M., Bartolini F., and Cappellini V., “DCT-Based Watermark Recovering without Resorting to The Uncorrupted Original Image.” *Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing (ICIP 1997)*, vol. 1, Oct. 1997. pp. 520–523.
- [20] Hsu C. T. and Wu J. L., “Hidden Digital Watermarks in Images.” *IEEE Trans. on Image Process.*, vol. 8, no. 1, Jan. 1999. pp. 58–68.
- [21] Huang C. H. and Wu J. L., “A Watermark Optimization Technique based on Genetic Algorithms.” *Proc. Int. Conf. SPIE—Visual Communications Image Processing*, vol. 3971, Feb. 2000. pp. 516–523.
- [22] Huang C. H. and Wu J. L., “Using Genetic Algorithms as Watermarking Performance Optimizers.” [Online]. Available : <http://www.cmlab.csie.ntu.edu.Tw/~bh/oldpage/>. 2004.
- [23] Shieh C. S., Huang H. C., Wang F. H. and Pan J. S., “Genetic Watermarking based on Transform Domain Techniques.” *Pattern Recognit.*, vol. 37, no. 3, 2004.

- [24] Wei Z., Dai J. and Li J., “Genetic Watermarking based on DCT Domain Techniques.” *Proc. Int. Conf. on Electrical and Computer Engineering (CCECE/CCGEI)*, May 2006. pp. 2365–2368.
- [25] Hameed A. Q., Abhijit M. and Soumya B., “Digital Watermarking using Ant Colony Optimization in Fractional Fourier Domain.” *Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, vol. 1, no. 3, Jul. 2010. pp. 179–189.
- [26] Khaled L., Jean Y. C. and Mohamed H. T., “Optimal Image Watermarking Algorithm based on LWT-SVD via Multi-objective Ant Colony Optimization.” *Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, vol. 2, no. 4, Oct. 2011. pp. 303–319.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและได้รับการตีพิมพ์

Short Papers

1. Somying Promcharoen and Yuttapong Rangsanseri “Genetic Watermarking Based on Texture Analysis in DCT Domain.” Proceeding of the Society of the Instrument and Control Engineers (SICE) Annual Conference 2008. Tokyo, Japan, August 20-22, 2008. pp. 25-28.
2. Somying Promcharoen and Yuttapong Rangsanseri “Genetic Watermarking with Block-Based DCT Clustering.” Proceeding of the International Symposium on Communication and Information Technology (ISCIT) 2008. Vientiane, Lao PDR, October 21-23, 2008. pp. 346-351

Full Paper

1. Kannicha Pokudom and Yuttapong Rangsanseri “Design & Development of Ant Colony System Algorithms for Block-Based DCT Watermarking.” Journal of Signal Processing (Japan). Vol. 17, No. 3, May 2013.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางกัญจน์ณิชา โภคอุดม
วัน เดือน ปีเกิด	2 มิถุนายน 2515 ที่ จ.ชลบุรี
ที่อยู่	87/42 หมู่บ้านวิสตาวิลล์ ม.7 ต.ลำลูกกา อ.ลำลูกกา จ.ปทุมธานี 12150 โทร. 085-905-1145
ประวัติการศึกษา	2536 วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ. คณิตศาสตร์) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตบางแสน (มหาวิทยาลัยบูรพา) 2544 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1) กระบวนการทางพันธุศาสตร์ 2) ระบบอาณานิคมมด 3) โครงข่ายประสาทเทียม
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ. 2538-2541	โปรแกรมเมอร์ บ.เวลดิจัลอิเล็กทรอนิกส์ ประเทศไทย จำกัด
พ.ศ. 2541-2544	เจ้าหน้าที่ระบบงานคอมพิวเตอร์ ภาควิชาสถาปัตยกรรมภายใน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2545-ปัจจุบัน	อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้