

การฝังลายน้ำอเนกประสงค์บนรูปภาพดิจิทัลเพื่อตรวจสอบรับรองความเป็นต้นฉบับ
และพิสูจน์ความเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์

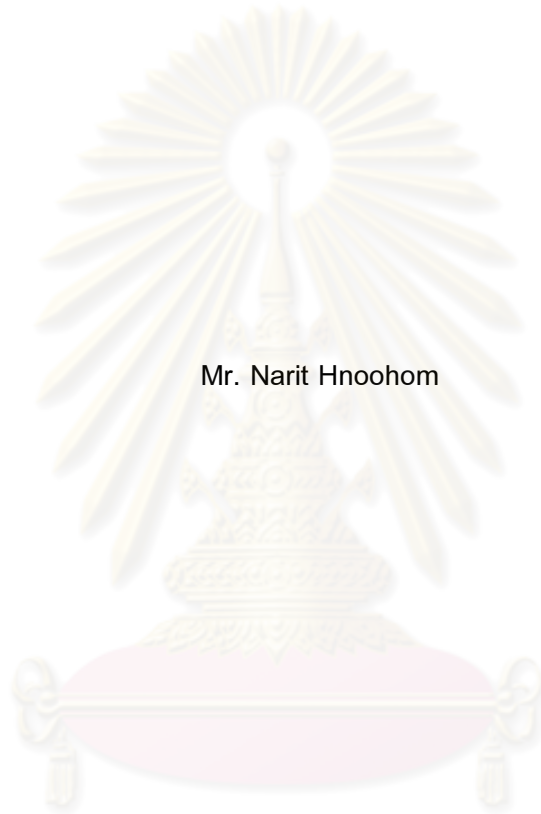


นายนริศ หนูหอม

ศูนย์วิทยพัทธยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DIGITAL IMAGE MULTIPURPOSE WATERMARKING SCHEME FOR CONTENT
AUTHENTICATION AND COPYRIGHT PROTECTION



Mr. Narit Hnoohom

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Computer Engineering

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การฝังลายน้ำอเนกประสงค์บนรูปภาพดิจิทัลเพื่อตรวจสอบ
รับรองความเป็นต้นฉบับและพิสูจน์ความเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์

โดย

นายนริศ หนูหอม


สาขาวิชา

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์


อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

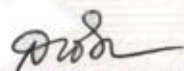
รองศาสตราจารย์ ดร.สาธิต วงศ์ประทีป

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีบัณฑิต

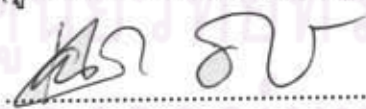

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ประภาส จงสถิตย์วัฒนา)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.สาธิต วงศ์ประทีป)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ทองทักษ์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมเอก อินทนกรวิวัฒน์)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนต์พงษ์ วรรณปัญญา)

นริศ หนูหอม : การฝังลายน้ำอเนกประสงค์บนรูปภาพดิจิทัลเพื่อตรวจสอบรับรอง
ความเป็นต้นฉบับและพิสูจน์ความเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์. (DIGITAL IMAGE
MULTIPURPOSE WATERMARKING SCHEME FOR CONTENT
AUTHENTICATION AND COPYRIGHT PROTECTION) อ.ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร.สาธิต วงศ์ประทีป, 96 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอวิธีการฝังลายน้ำอเนกประสงค์แบบใหม่
บนรูปภาพดิจิทัล โดยกระทำบนแอสวีตี ซึ่งสามารถนำมาใช้ตรวจสอบรับรองความเป็นต้นฉบับ
และพิสูจน์ความเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์ได้ ในวิธีการที่นำเสนอนี้ลายน้ำสองแบบถูกฝังลงบน
ค่าเอกฐาน (Singular value) ที่แตกต่างกันของโดเมนแอสวีตี ลายน้ำแบบคงทนถูกฝังลงรูปภาพ
ก่อนและลายน้ำแบบเปราะบางถูกฝังในลำดับถัดมา โดยใช้หลักการควอนไทซ์เซชัน
(Quantization) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอนี้สามารถต้านทานการแก้ไข
ปลอมแปลงรูปภาพ, การตัดภาพเป็นบางส่วน, การบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG, การแทรก
สัญญาณรบกวน, การปรับคุณภาพของรูปภาพโดยใช้ฟิลเตอร์, การปรับขนาดภาพ และการ
หมุนภาพ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา2553.....

[Handwritten signature]

4871810521 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEYWORDS : MULTIPURPOSE WATERMARKING / CONTENT AUTHENTICATION /
COPYRIGHT PROTECTION

NARIT HNOOHOM : DIGITAL IMAGE MULTIPURPOSE WATERMARKING
SCHEME FOR CONTENT AUTHENTICATION AND COPYRIGHT
PROTECTION. ADVISOR : ASSOC. PROF. SARTID VONGPRADHIP,
Ph.D., 96 pp.

In this dissertation, a novel multipurpose digital watermarking scheme based on single value decomposition (SVD) is proposed. Such a scheme can be applied to both content authentication and copyright protection. In the proposed scheme, two watermarks are embedded in different single values of the SVD domain. A robust watermark is embedded in the first stage, where as a fragile watermark is embedded to the image using a quantization technique in the second stage. Experimental results demonstrate that the proposed scheme is resistant to image faking, image cropping, JPEG compression, noise adding, image filtering, image scaling, and image rotation.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department: Computer Engineering

Field of Study: Computer Engineering

Academic Year: 2010

Student's Signature.....

Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความเมตตาและคำแนะนำจาก รองศาสตราจารย์ ดร. สาธิต วงศ์ประทีป อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณที่ท่านได้กรุณาสละเวลาในการตรวจ ให้คำแนะนำ และชี้แนะการแก้ไขปัญหาต่างๆ ในการทำวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านเป็นอย่างสูง ได้แก่ ศาสตราจารย์ ดร. ประภาส จงสถิตย์วัฒนา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาทิตย์ ทองทักษ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมเอก อินทนากรวิวัฒน์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กันต์พงษ์ วรรณปัญญา ในการตรวจแก้ไขข้อคิดและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่องานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กันต์พงษ์ วรรณปัญญา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ นิตยสุวัฒน์ อาจารย์ประจำมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ในระดับปริญญาโทที่เคยกรุณาสละเวลาให้ความรู้ความเข้าใจ และช่วยชี้แนะการแก้ไขปัญหาต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์มาจนถึงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านเป็นอย่างสูงที่ให้ข้อคิดและแนวทางในการวิจัย นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ทุกท่าน รวมถึงเพื่อนๆและพี่น้องนักศึกษาทุกคนในห้องวิจัย โดยเฉพาะในห้องวิจัย Digital System Engineering Laboratory (DSEL) ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และให้กำลังใจต่อผู้วิจัยอย่างใกล้ชิดตลอดมา

ผู้วิจัยขอขอบคุณโปรแกรม 2008 National Institute of Informatics (NII) International Internship ที่ให้โอกาสในการศึกษาวิจัยที่ประเทศญี่ปุ่น อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยในครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาทุนพัฒนาอาจารย์สาขาขาดแคลน (มหาวิทยาลัยมหิดล) ที่ให้ความช่วยเหลือด้านเงินทุนศึกษา รวมถึงวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับการศึกษา จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา พี่สาว ภรรยาซึ่งให้การสนับสนุนคอยเป็นห่วงเป็นใย และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อยลงได้ด้วยดีทุกประการ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	3
1.6 เนื้อหาในวิทยานิพนธ์	3
1.7 งานตีพิมพ์	4
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับภาพดิจิทัล	6
2.1.1 ภาพเชิงกายภาพ	6
2.1.2 ภาพเชิงดิจิทัล	6
2.1.3 การแปลงภาพอนาลอกให้เป็นภาพเชิงดิจิทัล	7
2.1.4 การกระทำในระดับจุดภาพ	10
2.1.5 การประมวลผลภาพ	14
2.1.6 รูปแบบไฟล์ภาพดิจิทัล	17
2.2 ประวัติสเตกานอการฟีและการฝังลายน้ำ	18
2.2.1 ประวัติสเตกานอการฟี	18
2.2.2 ประวัติลายน้ำ	19
2.2.3 ความแตกต่างระหว่างสเตกานอการฟีและการฝังลายน้ำ	19

บทที่	หน้า
2.3	ลายน้ำดิจิตอล..... 20
2.3.1	ประเภทของลายน้ำดิจิตอล..... 20
2.3.2	คุณสมบัติที่ต้องการของลายน้ำดิจิตอล 23
2.3.3	การฝังลายน้ำดิจิตอล 24
2.3.4	การตรวจหาลายน้ำดิจิตอล..... 24
2.3.5	การถอดลายน้ำดิจิตอล 25
2.3.6	เทคนิคการฝังลายน้ำดิจิตอล 25
2.3.7	เกณฑ์การวัดประสิทธิภาพ..... 28
2.3.8	การประยุกต์ใช้ลายน้ำดิจิตอล 31
2.4	การแปลงเอสวีดี..... 32
2.5	ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 35
3	วิธีดำเนินการวิจัย 41
3.1	วิธีการฝังลายน้ำอเนกประสงค์..... 41
3.1.1	ลายน้ำอเนกประสงค์..... 42
3.1.2	การแบ่งบริเวณภาพต้นฉบับ 44
3.1.3	การแบ่งบริเวณลายน้ำอเนกประสงค์ 46
3.1.4	การแปลงเอสวีดี 48
3.1.5	วิธีการฝังลายน้ำอเนกประสงค์ลงในบริเวณของภาพต้นฉบับ 48
3.1.6	การแปลงเอสวีดีกลับ 53
3.1.7	การถอดชุดสัญญาณรบกวนแบบสุ่มเทียมจากบริเวณของภาพต้นฉบับ..... 54
3.1.8	การรวมแต่ละบริเวณของภาพต้นฉบับกลับคืน 54
3.2	วิธีการถอดลายน้ำอเนกประสงค์..... 54
3.2.1	การแบ่งบริเวณภาพที่ต้องการทดสอบ..... 55
3.2.2	การแปลงเอสวีดี 55
3.2.3	วิธีการถอดลายน้ำอเนกประสงค์จากภาพที่ต้องการทดสอบ..... 55
3.2.4	การรวมแต่ละบริเวณของลายน้ำอเนกประสงค์กลับคืน 56
3.2.5	การถอดชุดสัญญาณรบกวนแบบสุ่มเทียม 57
3.3	การวัดค่าประสิทธิภาพ..... 57

บทที่	หน้า
4 การทดลองและผลการทดลอง.....	59
4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	59
4.1.1 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	59
4.1.2 ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการทดลอง	59
4.1.3 รูปภาพที่ใช้ในการทดลอง	59
4.2 ผลการทดลอง.....	59
4.2.1 วิธีการฝังและถอดลายน้ำอเนกประสงค์	59
4.2.2 การทดสอบความคงทนและเปราะบางของลายน้ำอเนกประสงค์	62
4.3 การทดสอบประสิทธิภาพด้วย <i>PSNR</i>	81
4.4 การทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม	82
5 สรุปผลการวิจัย.....	87
5.1 บทสรุป.....	87
5.2 ข้อเสนอแนะ	88
รายการอ้างอิง	90
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	96

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1	รูปภาพต้นฉบับลายน้ำแบบคงทนและลายน้ำแบบเปราะบางที่ถอดได้.....60
4.2	ผลการทดลองของการแก้ไขปลอมแปลงรูปภาพ63
4.3	ผลการทดลองของการตัดภาพเป็นบางส่วน65
4.4	ผลการทดลองของการบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG68
4.5	ผลการทดลองของการแทรกสัญญาณรบกวนแบบ Salt & Pepper.....71
4.6	ผลการทดลองของการปรับปรุงคุณภาพของรูปภาพโดยใช้ฟิลเตอร์73
4.7	ผลการทดลองของการปรับขนาดภาพ75
4.8	ผลการทดลองของการหมุนภาพ.....80
4.9	เปรียบเทียบค่า NC ที่ถอดได้หลังผ่านการโจมตีต่างๆ.....83

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพในความหมายของฟังก์ชัน 2 มิติ $g(x,y)$ ของค่าความเข้ม ณ ตำแหน่ง (x,y)	7
2.2 การสุ่มเลือกทางจุดตำแหน่งของภาพ	8
2.3 โทนสีของภาพระดับสีเทาที่ค่าสีตั้งแต่ระดับ 0 ถึง 255	9
2.4 ภาพระดับสีเทา	9
2.5 ภาพขาวดำ	9
2.6 การเลื่อนจุดพิกัดของภาพ.....	11
2.7 การหมุนภาพ.....	11
2.8 การเปลี่ยนจุดจากตำแหน่ง (x,y) ไปเป็น (x',y') โดยเป็นการหมุนรอบจุดกำเนิด	12
2.9 การเปลี่ยนขนาดของภาพ	13
2.10 การปรับปรุงคุณภาพของภาพ	15
2.11 การเรียกคืนภาพ.....	15
2.12 การบีบอัดภาพ	16
2.13 การหาขอบภาพ.....	17
2.14 การฝังลายน้ำดิจิทัลลงในภาพต้นฉบับ	24
2.15 การตรวจหาลายน้ำดิจิทัลที่อาจฝังอยู่ในภาพต้นฉบับ	25
2.16 การถอดลายน้ำดิจิทัลออกจากภาพผลลัพธ์ที่ลายน้ำดิจิทัลฝังอยู่.....	25
3.1 วิธีการฝังลายน้ำอเนกประสงค์	41
3.2 ลายน้ำแบบคงทนที่น่าเสนอ	42
3.3 ลายน้ำแบบเปราะบางที่น่าเสนอ.....	42
3.4 การกระจายตำแหน่งจุดภาพของลายน้ำแบบคงทนแบบสุ่มเทียม.....	43
3.5 การแบ่งภาพต้นฉบับออกเป็นบริเวณที่ไม่ซ้อนทับกันขนาด 8×8 จุดภาพ	45
3.6 การแบ่งภาพต้นฉบับออกเป็นบริเวณที่ไม่ซ้อนทับกันขนาด 4×4 จุดภาพ	46
3.7 การแบ่งลายน้ำแบบคงทนออกเป็นบริเวณขนาด 1 จุดภาพ.....	47
3.8 การแบ่งลายน้ำแบบเปราะบางออกเป็นบริเวณขนาด 1 จุดภาพ	47
3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ $PSNR$ กับการปรับค่า T	51
3.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งค่าเอกฐานกับความคงทน.....	52
3.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งค่าเอกฐานกับการปรับค่า T	53
3.12 การรวมแต่ละบริเวณของภาพต้นฉบับกลับคืน	54
3.13 วิธีการถอดลายน้ำอเนกประสงค์.....	55
3.14 การรวมภาพลายน้ำอเนกประสงค์แต่ละบริเวณกลับคืน 64×64 จุดภาพ.....	56

รูปที่	หน้า
3.15	ลายน้ำแบบคงทนที่ถอดได้จากภาพที่ต้องการทดสอบ57
4.1	กราฟผลการทดลองของการตัดภาพเป็นบางส่วน67
4.2	กราฟผลการทดลองของการบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG70
4.3	กราฟผลการทดลองของการแทรกสัญญาณรบกวนแบบ Salt & Pepper72
4.4	กราฟผลการทดลองของการปรับปรุงคุณภาพของรูปภาพโดยใช้ฟิลเตอร์75
4.5	กราฟผลการทดลองของการปรับขนาดภาพ79
4.6	กราฟผลการทดลองของการหมุนภาพ81
4.7	กราฟผลการทดลองประสิทธิภาพของ <i>PSNR</i> กับการปรับค่า <i>T</i>82



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันในหลายๆ ประเทศ รวมทั้งประเทศไทยเองต่างกำลังเผชิญหน้ากับปัญหาการละเมิดลิขสิทธิ์ทางปัญญาเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะในสื่อข้อมูลดิจิทัล เช่น รูปภาพ (Image) เสียง (Audio) วิดีทัศน์ (Video) และเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ (Document) เป็นต้น เนื่องจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีมีผลดีมีเสียร่วมกับการพัฒนาและการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีการสื่อสารที่เรียกว่าอินเทอร์เน็ต (Internet) ทำให้การคัดลอกข้อมูลดิจิทัลจากแหล่งหนึ่งสามารถแพร่กระจายไปทั่วโลกได้อย่างง่ายดาย และในขณะเดียวกันความง่ายในการคัดลอกข้อมูลดิจิทัลนั้นๆ ได้ก่อให้เกิดปัญหาการละเมิดลิขสิทธิ์ขึ้นอย่างกว้างขวางตามมา โดยผู้ละเมิดลิขสิทธิ์ตั้งใจทำการคัดลอกข้อมูลดิจิทัล แล้วนำไปขายเพื่อผลประโยชน์ทางการค้า ทำให้เจ้าของผลงานต้องสูญเสียผลประโยชน์ที่พึงจะได้รับมากมายมหาศาล เป็นเหตุให้ในปัจจุบันได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาละเมิดลิขสิทธิ์ที่สามารถนำมาใช้คุ้มครองลิขสิทธิ์ (Copyright protection) ตลอดจนตรวจสอบความสมบูรณ์เนื้อหา (Content authentication) ขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง วิธีการดังกล่าวคือการฝังลายน้ำดิจิทัล (Digital watermark) โดยฝังข่าวสารที่เรียกว่าลายน้ำดิจิทัลลงในสื่อข้อมูลดิจิทัลเหล่านั้นเพื่อสามารถชี้หรือแสดงให้เห็นได้ว่าใครคือผู้ที่เป็นเจ้าของผลงาน เมื่อมีการทำซ้ำตัวลายน้ำดิจิทัลที่ติดไปกับข้อมูล จะถูกนำมาใช้เป็นหลักฐานในการชี้ตัวผู้กระทำผิดได้ จากหนังสือของ Seitz (2005) และ Pan et al. (2007) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงกรณีของรูปภาพเป็นหลัก โดยทั่วไปสามารถจำแนกตามวัตถุประสงค์การใช้ลายน้ำดิจิทัลได้เป็น 2 ประเภท คือ ลายน้ำแบบเปราะบาง (Fragile watermark) และลายน้ำแบบคงทน (Robust watermark) ลายน้ำแบบเปราะบางถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการตรวจสอบรับรองความเป็นต้นฉบับ (Content authentication) ซึ่งลายน้ำดิจิทัลที่ถูกฝังไว้ในข้อมูลจะมีความไวต่อการเสียหาย และสามารถตรวจสอบบริเวณที่ถูกเปลี่ยนแปลงได้ (Taheri และ Ghaemmaghami, 2005; Ping และ Zhi, 2006) ในทางตรงกันข้าม ลายน้ำแบบคงทนถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการพิสูจน์ความเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์ (Copyright protection) ซึ่งลายน้ำดิจิทัลที่ฝังอยู่จะมีความทนทานต่อการโจมตีใดๆ ที่เกิดขึ้นกับสื่อต้นฉบับ (Calagna et al., 2006; Chandra et al., 2008)

วิธีการฝังลายน้ำดิจิทัลที่มีอยู่ในปัจจุบันจำนวนมาก ถูกออกแบบมาเพื่อตอบสนองการใช้งานลายน้ำดิจิทัลเพียงวัตถุประสงค์เดียวกันคือ การใช้ลายน้ำแบบเปราะบางในการตรวจสอบเพื่อรับรองความเป็นต้นฉบับ หรือการใช้ลายน้ำแบบคงทนในการพิสูจน์ความเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์ ซึ่งทำให้ผู้ที่เป็นเจ้าของจะต้องเลือกใช้ประโยชน์จากวิธีการฝังลายน้ำดิจิทัล

เพื่อป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์บนผลงานได้เพียงอย่างหนึ่งอย่างใดเท่านั้น ทั้งที่ปัญหาการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ในโลกแห่งความเป็นจริง มักจะเป็นปัญหาการละเมิดลิขสิทธิ์หลายรูปแบบวัตถุประสงค์ จึงเป็นการยากหากจะยับยั้งการละเมิดลิขสิทธิ์บนผลงานด้วยการฝังลายน้ำเพียงวัตถุประสงค์เดียวในสภาพของการใช้งานจริง

จึงทำให้ในปัจจุบันมีการคิดค้นวิธีการฝังลายน้ำดิจิทัลอเนกประสงค์ขึ้นหลายวิธี เช่น Fridrich (1999) ได้นำเสนอวิธีการฝังลายน้ำไฮบริด (Hybrid watermark) บนโดเมนโคไซน์โดเมน โดยใช้เทคนิคการกระจายแถบความถี่ (Spread spectrum) ร่วมกับเทคนิคการแทนบิตที่มีความสำคัญน้อยที่สุด (Least significant bit replacement, LSB) ในการฝังลายน้ำแบบคงทนและลายน้ำแบบเปราะบางบนรูปภาพเดียวกัน ต่อมา Lu, Liao และ Sze (2000, 2001) ได้นำเสนอวิธีการฝังลายน้ำรวมกัน (Combined watermark) บนเวฟเล็ตโดเมน โดยใช้เทคนิค Cocktail watermarking Deguillaume, Voloshynovskiy และ Pun (2002, 2003) นำเสนอวิธีการฝังลายน้ำไฮบริดโดยใช้เทคนิค Auto correlation function ร่วมกับเทคนิคการแทนบิตที่มีความสำคัญน้อยที่สุด Lu, Xu และ Sun (2005) ได้ใช้เทคนิค Multistage vector quantization ในการฝังลายน้ำอเนกประสงค์ (Multipurpose watermark) ในปี 2006 Wang และคณะ (2006) ได้เสนอวิธีการฝังลายน้ำอเนกประสงค์ โดยใช้เทคนิค Square deviation modulation ร่วมกับเทคนิคการแทนบิตที่มีความสำคัญน้อยที่สุด Lu และคณะ (2006) เสนอวิธีการฝังลายน้ำอเนกประสงค์ใช้เทคนิค Mean-removed vector quantization เป็นต้น โดยแต่ละวิธีที่กล่าวมาได้ทำการรวมคุณสมบัติเด่นของลายน้ำดิจิทัลทั้ง 2 ประเภทเข้าด้วยกัน ส่งผลให้วิธีการดังกล่าวมีความสามารถในการคุ้มครองลิขสิทธิ์ได้ครอบคลุมเพิ่มมากยิ่งขึ้น เพราะมีความสามารถในการตรวจสอบเพื่อรับรองความเป็นต้นฉบับและการพิสูจน์ความเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์ได้ในคราวเดียวกัน นับได้ว่าเป็นการเพิ่มทางเลือกใหม่ให้กับผู้ที่เป็นเจ้าของผลงานสามารถเลือกใช้ลายน้ำอเนกประสงค์เพื่อป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์บนผลงานได้อีกตัวเลือกหนึ่ง

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำการวิจัยและพัฒนาขั้นตอนวิธีการฝังลายน้ำอเนกประสงค์บนรูปภาพดิจิทัล ให้สามารถนำมาใช้ตรวจสอบเพื่อรับรองความเป็นต้นฉบับและพิสูจน์ความเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์ได้ในคราวเดียวกัน โดยวิธีการฝังลายน้ำอเนกประสงค์ดังกล่าวจะกระทำบนเอสวีดี (Single value decomposition, SVD)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาออกแบบและพัฒนาวิธีการฝังลายน้ำอเนกประสงค์บนรูปภาพดิจิทัล ซึ่งสามารถนำมาใช้ตรวจสอบเพื่อรับรองความเป็นต้นฉบับและพิสูจน์ความเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์ได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยนี้ มีดังต่อไปนี้

1. การฝังลายน้ำอเนกประสงค์ในงานวิจัยนี้กระทำในโดเมนเอสวีดี (SVD domain)
2. วิธีการฝังลายน้ำอเนกประสงค์ในงานวิจัยนี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นที่กระทำด้วยวัตถุประสงค์เดียวกัน

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย มีดังต่อไปนี้

1. กำหนดหัวข้อ จุดประสงค์ และขอบเขตของการทำวิจัย
2. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
3. ออกแบบและพัฒนาวิธีการฝังลายน้ำอเนกประสงค์
4. ทำการทดลอง ปรับปรุง และสรุปผลการวิจัย
5. จัดทำเอกสารประกอบวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย มีดังต่อไปนี้

1. ทำให้ได้วิธีการฝังลายน้ำอเนกประสงค์บนรูปภาพดิจิทัลแบบใหม่ ที่กระทำในโดเมนเอสวีดี ซึ่งสามารถนำมาใช้ตรวจสอบเพื่อรับรองความเป็นต้นฉบับ (Content authentication) และพิสูจน์ความเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์ได้ (Copyright protection)
2. สามารถนำขั้นตอนวิธีการฝังลายน้ำอเนกประสงค์ในงานวิจัยนี้ ไปพัฒนาใช้งานจริงในการป้องกันการละเมิดสิทธิ์ทางปัญญาบนรูปภาพได้

1.6 เนื้อหาในวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์นี้จะแบ่งเนื้อหาออกในลักษณะเป็นบท ซึ่งแต่ละบทประกอบด้วยเนื้อหาดังนี้

บทที่ 1 จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ซึ่งเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัย ขอบเขตของการวิจัย ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

บทที่ 2 เป็นทฤษฎี เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จะอธิบายถึงทฤษฎีเกี่ยวกับภาพดิจิทัล ตั้งแต่ความรู้พื้นฐาน ความหมาย ไปจนถึงสมการของการประมวลผลรูปภาพ ประวัติสเตกาโนการฟี ประวัติลายน้ำ ลายน้ำดิจิทัล ถัดมาเป็นการอธิบายถึงหลักการของการแปลงเอสดีดี สุดท้ายอธิบายถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการออกแบบและพัฒนาการฝังลายน้ำอเนกประสงค์บนรูปภาพดิจิทัล

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย เป็นการนำเสนอเกี่ยวกับวิธีการและขั้นตอนการทำงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วย วิธีการฝังลายน้ำอเนกประสงค์ วิธีการถอดลายน้ำอเนกประสงค์ เพื่อแสดงให้เห็นขั้นตอนของวิธีการวิจัย

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล เป็นการแสดงผลการทดลองของวิธีการที่นำเสนอนี้ว่าสามารถต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงแก้ไขรูปภาพแบบต่างๆ ได้แก่ การแก้ไขปลอมแปลงรูปภาพ, การตัดภาพเป็นบางส่วน, การบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG, การแทรกสัญญาณรบกวนแบบ Salt & Pepper, การปรับคุณภาพของรูปภาพโดยใช้ฟิลเตอร์, การปรับขนาดภาพ และการหมุนภาพ

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ เป็นการนำเสนอความรู้ที่ได้รับจากผลการทดสอบความทนทานของลายน้ำอเนกประสงค์ต่อการถูกเปลี่ยนแปลงแก้ไขรูปภาพแบบต่างๆ ตลอดจนบทวิเคราะห์ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการฝังลายน้ำอเนกประสงค์ให้ได้ผลลัพธ์ดียิ่งขึ้นไปในอนาคต

1.7 งานตีพิมพ์

ในระหว่างการศึกษาได้มีการตีพิมพ์ผลงานวิจัยดังนี้

Hnoohom N., and Vongpradhip S., "Robust Digital Watermarking based on Quantization Based Embedding", 2nd International Conference on Advances in Information Technology (IAIT2007), Thailand, November 1-2, 2007, pp. 45-50.

Hnoohom N., and Vongpradhip S., "Fragile Watermarking based on Look-up Table", 1st Joint International Conference on Information Communication

Technology (JICT), Vientiane, Lao PDR, December 19-22, 2007, pp. 274-278.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับภาพดิจิทัล ประวัติศาสตร์การถ่ายภาพ (Steganography) และการฝังลายน้ำ ลายน้ำดิจิทัล การแปลงเอสวีดี (Single value decomposition, SVD) และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตามลำดับดังต่อไปนี้

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับภาพดิจิทัล

ภาพถูกนำมาใช้ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างมนุษย์มาเป็นเวลาช้านานแล้ว ทั้งนี้ด้วยเหตุผลที่ว่าภาพเพียงหนึ่งภาพสามารถใช้แทนความหมายของสิ่งที่ไม่อาจเขียนออกมาเป็นข้อความได้อย่างจับสั่น ในชีวิตประจำวันมนุษย์ได้เห็นภาพในลักษณะต่างๆ มากมาย ทั้งภาพในธรรมชาติทั่วไป ภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพหรือภาพที่ได้จากจอภาพคอมพิวเตอร์ โดยในที่นี้จะเน้นที่การแสดงผลภาพของคอมพิวเตอร์ เมื่อวิทยาการทางด้านคอมพิวเตอร์ก้าวหน้าขึ้นมนุษย์สามารถนำคอมพิวเตอร์มาใช้งานได้มากกว่าการแสดงผลภาพอย่างเดียว จึงจำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของภาพและใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการประมวลผลภาพ

2.1.1 ภาพเชิงกายภาพ (Physical image)

เป็นกระบวนการทางแสง (Optical process) ซึ่งเกิดจากพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic spectrum) ที่มีช่วงความถี่แตกต่างกันไป เช่น แสงขาว (White light) แสงรังสีอินฟราเรด (Infrared) แสงรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) และแสงรังสีเอกซเรย์ (X-ray) เป็นต้น ตกกระทบลงบนวัตถุแล้วสะท้อนมาสู่ระบบประสาททางด้านการมองเห็นของมนุษย์ แต่เนื่องจากข้อจำกัดของระบบประสาททางด้านการมองเห็นของมนุษย์ทำให้ไม่สามารถรับรู้พลังงานบางช่วงความถี่ได้ เช่น แสงรังสีเอกซเรย์ เป็นต้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) ที่เหมาะสม เพื่อแปลงพลังงานดังกล่าวให้อยู่ในรูปของแสงที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ประมวลผลภาพ

2.1.2 ภาพเชิงดิจิทัล (Digital image)

คือฟังก์ชัน 2 มิติ $g(x,y)$ ของค่าความเข้ม (Intensity) โดยที่ x และ y คือ ค่าแสดง

ตำแหน่งในระบบพิกัดฉากและค่าของ g ณ ตำแหน่ง (x,y) ใดๆ จะเป็นสัดส่วนกับความสว่างของแสง ณ ตำแหน่งนั้น (Castleman, 2001; Baxes, 2002) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ภาพในความหมายของฟังก์ชัน 2 มิติ $g(x,y)$
ของค่าความเข้ม ณ ตำแหน่ง (x,y)

2.1.3 การแปลงภาพอนาลอกให้เป็นภาพเชิงดิจิทัล (Image digitization)

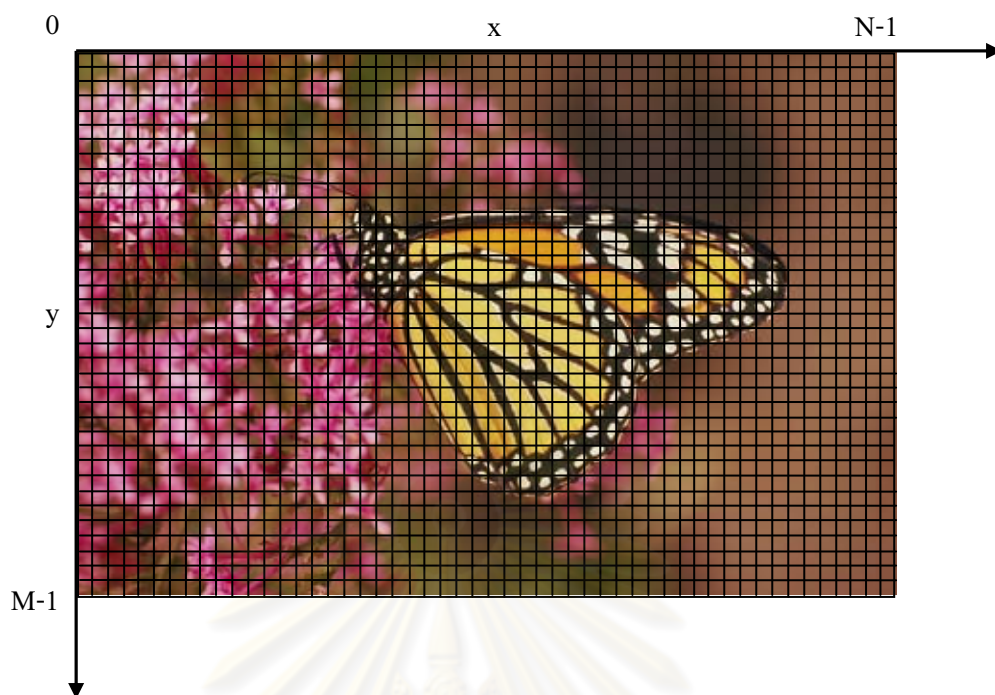
เมื่อต้องการนำภาพในธรรมชาติมาประมวลผลโดยใช้คอมพิวเตอร์ จำเป็นที่จะต้องดำเนินการแปลงภาพเชิงกายภาพให้เป็นภาพเชิงดิจิทัล ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ

ก. การบันทึกภาพ (Image acquisition)

การบันทึกภาพด้วยอุปกรณ์เชิงแสง (Optical device) นี้ เป็นการแปลงภาพเชิงต่อเนื่อง (Continuous image) 3 มิติ ซึ่งเป็นภาพที่สามารถเห็นในธรรมชาติรอบตัวเรา ให้เป็นภาพเชิงต่อเนื่อง 2 มิติ เช่น ภาพบนจอภาพของคอมพิวเตอร์

ข. การสุ่มเลือกทางจุดภาพ (Image sampling)

เป็นกระบวนการแปลงภาพ 2 มิติที่ได้ ให้เป็นภาพเชิงดิจิทัล โดยการสุ่มเลือกทางจุดตำแหน่ง (Spatially sampling) โดยจะสุ่มเลือกเฉพาะบางจุดบนภาพทางแนวแกน x และ y ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การสุ่มเลือกทางจุดตำแหน่งของภาพ ซึ่งขณะปฏิบัติจริง การสุ่มทั้งสองแกนจะมีความถี่มากกว่าในภาพที่แสดงนี้

ผลที่ได้นี้สามารถแทนด้วยเมตริกซ์ (Matrix) ของปริมาณเชิงจำนวนเต็มขนาด $M \times N$ ดังนี้

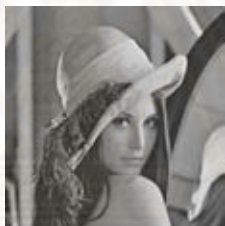
$$G = \begin{bmatrix} g(0,0) & g(0,1) & g(0,2) & \dots & g(0,N-1) \\ g(1,0) & g(1,1) & g(1,2) & \dots & g(1,N-1) \\ g(2,0) & g(2,1) & g(2,2) & \dots & g(2,N-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ g(M-1,0) & g(M-1,1) & g(M-1,2) & \dots & g(M-1,N-1) \end{bmatrix}$$

หน่วยเล็กๆ ของภาพที่ถูกแบ่งด้วยเส้นแบ่งทั้งสองแนวเรียกว่าจุดภาพ ดังนั้น $g(2,8)$ แทนจุดภาพ ณ ตำแหน่งแถวที่ 2 สดมภ์ที่ 8 และ $g(M-1,N-1)$ แทนจุดภาพ ณ ตำแหน่งแถวสุดท้ายคือ $M-1$ สดมภ์สุดท้ายคือ $N-1$ ในทางปฏิบัติค่า M และ N นิยมให้เป็นค่าจำนวนเต็มที่เป็นกำลังของสอง เช่น $M = 2^k$, $N = 2^n$ โดยที่ k และ n เป็นค่าคงที่ใดๆ เช่น $2^{10} = 1024$, $2^9 = 512$, $2^8 = 256$ เป็นต้น

ค. การประมาณค่าความเข้มในแต่ละจุดภาพ (Quantization)

ในกรณีที่เป็นภาพระดับสีเทา สีดำถูกแทนด้วยค่า 0 และสีขาวถูกแทนด้วยค่า 255 โทนสีจะไล่ระดับจากเข้มมาอ่อน และถูกแทนด้วยจำนวนเต็มที่มีค่าระหว่างค่าทั้งสอง โดยภาพระดับสีเทาถูกแทนที่ด้วย 256 ระดับสี หรือ 2^8 โดย 8 คือจำนวนบิตในหน่วยความจำที่ใช้เพื่อเก็บค่าหนึ่งค่า ดังนั้นสีดำมีค่าความเข้มเป็น 0 หรือเขียนแทนด้วย 00000000_2 และสีขาวมีค่าความเข้มเป็น 255 ถูกแทนด้วย 11111111_2 ดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยภาพระดับสีเทาจะมีฟังก์ชันของค่าความเข้มเป็นปริมาณสเกลาร์ ภาพระดับสีเทาบางครั้งอาจเรียกว่า “ภาพสีเดียว” (Monochrome image) ภาพนี้เกิดจากการผสมสีของแม่สีทั้ง 3 สี (ระบบสี RGB) ในอัตราส่วนที่เท่า ๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 2.4

รูปที่ 2.3 โทนสีของภาพระดับสีเทาที่ค่าสีตั้งแต่ระดับ 0 ถึง 255



รูปที่ 2.4 ภาพระดับสีเทา

ในกรณีที่เป็นภาพขาวดำ ค่าความเข้ม ณ จุดภาพใด ๆ จะถูกแทนด้วยสีขาวหรือสีดำเท่านั้น โดยสีขาวมีค่าความเข้มเป็น 1 และสีดำมีค่าความเข้มเป็น 0 ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยใช้เนื้อที่เพื่อจัดเก็บข้อมูลสีเพียง 1 บิตเท่านั้น



รูปที่ 2.5 ภาพขาวดำ

2.1.4 การกระทำในระดับจุดภาพ (Pixel-based operations)

ก. การกระทำเชิงพีชคณิต (Arithmetical operations)

เป็นการบวก ลบ คูณ หาร ค่าความเข้มของจุดภาพ การกระทำเชิงพีชคณิตสามารถแบ่งออกเป็นการกระทำระหว่างค่าคงที่กับภาพ (Monadic arithmetical operations) และการกระทำระหว่างภาพ 2 ภาพหรือมากกว่า 2 ภาพ (Dynamic arithmetical operations) โดยภาพที่จะนำมากระทำทางพีชคณิตนั้น ต้องมีข้อมูลบนแต่ละจุดภาพเป็นข้อมูลประเภทเดียวกัน และมีจำนวนองค์ประกอบที่เท่ากัน แต่ขนาดของภาพอาจไม่จำเป็นต้องมีค่าเท่ากัน

ข. การกระทำทางตรรกศาสตร์ต่อภาพ (Logical operations)

การกระทำทางตรรกศาสตร์ต่อภาพแบ่งออกเป็น Uninary operation และ Binary operation เช่น AND/NAND OR/XOR และ NOT เป็นต้น

ค. การกระทำเชิงเรขาคณิต (Geometric Operations)

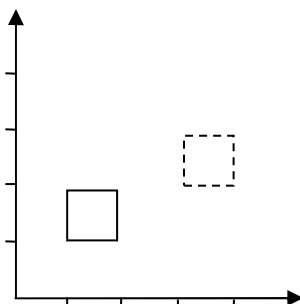
การกระทำเชิงเรขาคณิตเป็นการนำภาพมาเปลี่ยนแปลงแก้ไขตำแหน่งหรือขนาดของภาพ ประกอบด้วย การเลื่อน การหมุน และการย่อ/ขยาย

1) การเลื่อนจุดพิกัด (Translation)

จุดใดๆ ก็ตามในระบบพิกัดสามารถถูกเลื่อนจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งได้ โดยการเปลี่ยนค่าพิกัด (x,y) ของภาพไปเป็นค่าพิกัด (x',y') ด้วยระยะทางที่เลื่อนไป T_x และ T_y ตามแนวแกน x และ y ตามลำดับ ค่าโคออดิเนตของตำแหน่งใหม่ได้จากการบวกค่าระยะทาง (T_x, T_y) ที่เลื่อนไปกับค่าโคออดิเนตที่ตำแหน่งเดิม ทำให้ได้ตำแหน่งใหม่ตามต้องการเรียก (T_x, T_y) ว่า "Translation Vector" ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และสามารถเขียนแทนด้วยสูตรทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$x' = x + T_x \quad (2.1)$$

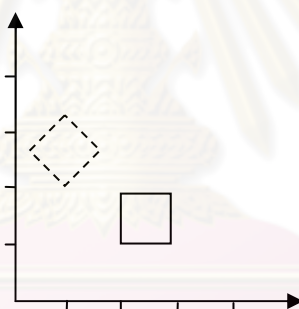
$$y' = y + T_y \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.6 การเลื่อนจุดพิกัดของภาพ โดยเส้นทึบ (——) แทนจุดพิกัดใด ๆ
และเส้นประ (-----) แทนจุดพิกัดใหม่ที่เลื่อนตำแหน่ง

2) การหมุน (Rotation)

เป็นการแปลงภาพอีกแบบหนึ่ง การหมุนภาพต้องกำหนดว่าจุดใดเป็นจุดหมุนเสมอ หลังจากที่ภาพถูกหมุนไปแล้วระยะห่างระหว่างจุดหมุนกับภาพจะยังคงมีค่าเท่าเดิม รูปร่างลักษณะของภาพยังคงเดิม แต่ภาพจะมีการจัดวางที่ต่างไปจากเดิม อันเนื่องมาจากการหมุนนั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การหมุนภาพ โดยเส้นทึบ (——) แทนภาพต้นฉบับ
และเส้นประ (-----) แทนภาพที่ถูกหมุนไปจากเดิม

โดยระยะทางที่เปลี่ยนไปนี้ ถูกกำหนดโดยขนาดมุมในการหมุน ดังแสดงในรูปที่ 2.8 อธิบายถึงการเปลี่ยนจุดจากตำแหน่ง (x,y) ไปเป็น (x',y') โดยขนาดมุมที่หมุนไปเป็นมุม β และมีจุดหมุนอยู่ที่จุดกำเนิดมุม θ เป็นขนาดมุมที่วัดจากแกนนอนจนถึงแนวเส้นที่ผ่านจุดเริ่มต้น (x,y) ทำให้สามารถหาสมการสำหรับการหมุนจากความสัมพันธ์ของมุมและระยะทาง มีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$x' = r \cos \theta \cos \beta - r \sin \theta \sin \beta \quad (2.3)$$

$$y' = r \sin \theta \cos \beta + r \cos \theta \sin \beta \quad (2.4)$$

โดย r คือ ระยะทางจากจุดกำเนิดถึงจุดที่พิจารณา นอกจากนี้ยังได้ว่า

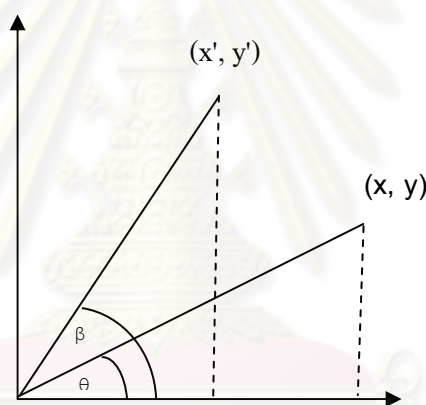
$$x = r \cos \theta \quad (2.5)$$

$$y = r \sin \theta \quad (2.6)$$

ทำให้สามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$x' = x \cos(\beta) - y \sin(\beta) \quad (2.7)$$

$$y' = x \sin(\beta) + y \cos(\beta) \quad (2.8)$$



รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนจุดจากตำแหน่ง (x, y) ไปเป็น (x', y')

โดยเป็นการหมุนรอบจุดกำเนิด

3) การย่อหรือขยายภาพ (Scaling)

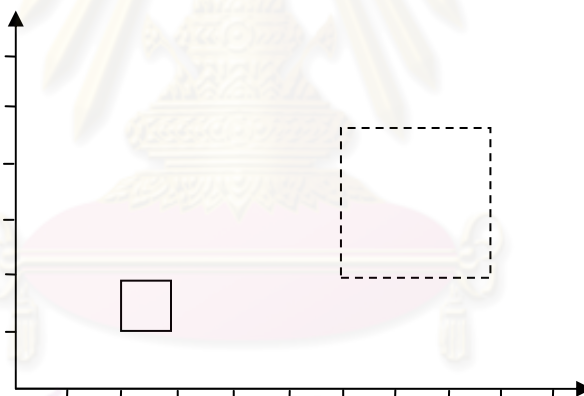
สามารถเปลี่ยนแปลงขนาดของภาพได้โดยการเปลี่ยนขนาดหน้าต่างแสดงภาพ หรือเปลี่ยนแปลงขนาดของช่องแสดงภาพ ภาพวัตถุสามารถเปลี่ยนแปลงขนาดได้โดยการเปลี่ยนระยะห่างระหว่างจุด ซึ่งสามารถเปลี่ยนขนาดของวัตถุได้โดยการคูณระยะห่างระหว่างจุด หรือค่าโคออดิเนตเดิม (x, y) ด้วยค่าซึ่งทำระยะห่างมากขึ้นหรือทำให้ระยะห่างลดลง ค่านี้เรียกว่า สเกลลิงแฟกเตอร์ (Scaling factor) คือ S_x และ S_y ซึ่งเป็นการขยายขนาดวัตถุตามแนวแกน x และแกน y ตามลำดับ ถ้าสเกลลิงแฟกเตอร์มากกว่า 1 ก็จะได้ภาพขยาย ถ้าค่าน้อยกว่า 1 ก็จะได้ภาพย่อ แต่ถ้าค่าเท่ากับ 1 ก็หมายถึงไม่มีผลต่อขนาดของภาพวัตถุทำให้ได้ค่าโคออดิเนตใหม่ของวัตถุที่ถูกขยายเป็น (x', y') ดังแสดงในรูปที่ 2.9

เมื่อใดก็ตามที่มีการย่อหรือขยายภาพมีจุดๆหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า “จุดประจำที่” (Fixed point) ของการย่อหรือขยายภาพซึ่งใช้สำหรับเป็นจุดอ้างอิง ถ้าให้จุด (x,y) เป็นจุดใดๆ ของภาพก็จะสามารถย่อหรือขยายได้โดยการคูณด้วยแฟกเตอร์ S_x สำหรับทิศทางในแกน x และแฟกเตอร์ S_y สำหรับทิศทางในแกน y ก็จะได้จุดใหม่ (x',y') ดังนี้

$$p = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (2.9)$$

เมื่อ p คือจุดใด ๆ ในภาพ

$$p' = \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} \quad (2.10)$$



รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนขนาดของภาพ โดยเส้นทึบ (—) แทนภาพต้นฉบับ

และเส้นประ (-----) แทนภาพที่ถูกขยายขนาด

เมื่อ p' คือจุดใหม่ที่ภาพย้ายไป

$$S = \begin{pmatrix} S_x & 0 \\ 0 & S_y \end{pmatrix} \quad (2.11)$$

เมื่อ S คือสเกลลิงแฟกเตอร์ จะได้ว่าจุดใหม่ที่ภาพย้ายไปคือ

$$\begin{aligned}
 p' &= Sp \\
 &= \begin{pmatrix} S_x & 0 \\ 0 & S_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} S_x x \\ S_y y \end{pmatrix} \\
 \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} S_x x \\ S_y y \end{pmatrix} \tag{2.12}
 \end{aligned}$$

เมื่อ S_x คือสเกลลิ่งแฟกเตอร์ในแนวนอน
 S_y คือสเกลลิ่งแฟกเตอร์ในแนวตั้ง

ถ้า S_x ไม่เท่ากับ S_y ผลก็คือภาพที่ได้จากย่อหรือขยายจะเกิดการบิดเพี้ยนไปจากภาพเดิม ถ้าสเกลลิ่งแฟกเตอร์มากกว่า 1 ภาพที่ถูกขยายแล้วจะถูกเคลื่อนย้ายห่างออกไปจากจุดประจำที่ ถ้าสเกลลิ่งแฟกเตอร์น้อยกว่า 1 ภาพที่ถูกย่อแล้วจะถูกเคลื่อนย้ายเข้ามาใกล้จุดประจำที่มากขึ้น

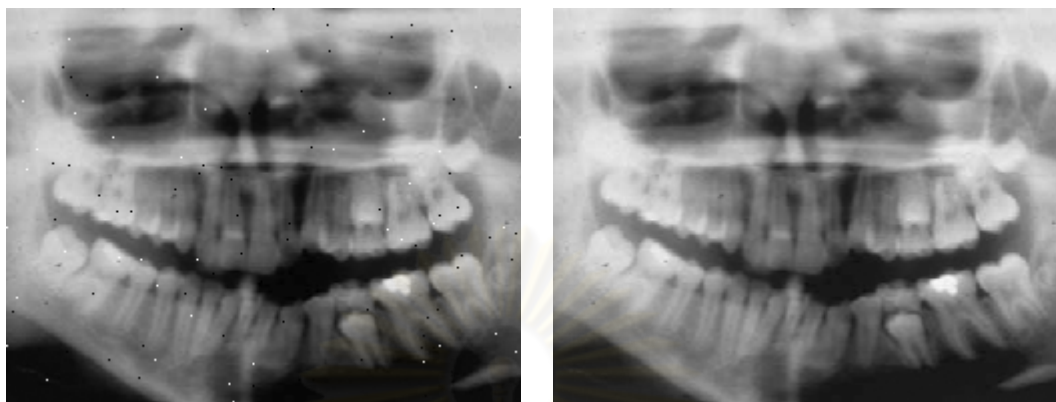
2.1.5 การประมวลผลภาพ

การใช้คอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพมีลักษณะการประมวลผลที่แตกต่างกันออกไป ดังนี้ การปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Image enhancement) การเรียกคืนภาพ (Image restoration) การแบ่งตัดภาพ (Image segmentation) การบีบอัดและขยายกลับคืนภาพ (Image compression and decompression) การบรรยายและนำเสนอความหมายของภาพ (Image description and representation) และการแปลความหมายและรู้จำภาพ (Image interpretation and recognition)

ก. การปรับปรุงคุณภาพของภาพ

เป็นการดำเนินการเพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพ ทั้งในด้านความคมชัด ความสว่าง และการกำจัดสิ่งรบกวนที่ไม่ต้องการ (Noise) หรือการทำให้มีความคมชัดมากขึ้น โดยที่การประมวลผลมี 2 ลักษณะคือแบบ Subjective enhancement และแบบ Objective enhancement โดยที่ Subjective enhancement เป็นการทำให้คุณภาพของภาพดีขึ้นโดยใช้วิธีการใดๆ จนกว่าจะได้ผลเป็นที่พอใจ ส่วน Objective enhancement นั้น เป็นการทำให้คุณภาพดีขึ้น ซึ่งมีวิธีการที่แน่นอนเพื่อให้ได้ภาพตามเป้าหมายที่ถูกกำหนดไว้ก่อนแล้ว

(Castleman, 2001) ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ภาพก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพของภาพที่ทำให้สิ่งรบกวนที่ไม่ต้องการถูกกำจัดออกไป จนสามารถนำไปใช้งานได้โดยมีประสิทธิภาพกว่าเมื่อใช้ภาพต้นฉบับรายละเอียดของภาพที่ต้องการจะปรากฏขึ้น



ก)

ข)

รูปที่ 2.10 การปรับปรุงคุณภาพของภาพ ก) จากภาพที่มีสิ่งรบกวนที่ไม่ต้องการ จนทำให้สิ่งรบกวนนั้นถูกกำจัดออกไปดังในภาพ ข)

ข. การเรียกคืนภาพ

เป็นการดำเนินการที่คล้ายกับการปรับปรุงคุณภาพของภาพ แต่การเรียกคืนภาพจะเป็นการประมวลผลโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เช่น การแก้ความบิดเบือนของภาพที่เกิดขึ้นขณะบันทึกภาพ ในกรณีเกิดการสั่นสะเทือนของอุปกรณ์บันทึกภาพความผิดพลาดอันเนื่องมาจากปรับโฟกัสทำให้ภาพเบลอ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 เพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณภาพดีเป็นปกติ จึงจำเป็นต้องใช้กระบวนการซึ่งเรียกว่า “การเรียกคืนภาพ” กระบวนการนี้สามารถใช้ปรับปรุงคุณภาพของภาพได้ โดยทำการลดหรือกำจัดผลที่เกิดจากความคาดเคลื่อนตามชนิดของความคาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น แล้วใช้กระบวนการผวนกลับเพื่อที่จะเรียกคืนภาพต้นฉบับ



ก)

ข)

รูปที่ 2.11 การเรียกคืนภาพ ก) จากภาพที่มีปัญหาขณะถูกบันทึก ข) สามารถทำให้กลับคืนมามีคุณภาพตามที่ต้องการ

ค. การบีบอัดและขยายกลับคืน

เป็นกระบวนการที่ทำให้ข้อมูลมีขนาดกะทัดรัด (Compact) เพื่อประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูล โดยมีเป้าหมายคือการลดขนาดของข้อมูลให้เล็กที่สุดและคงคุณภาพของภาพไว้ให้ได้มากที่สุด วิธีการนี้มีหลักการสำคัญคือการกำจัดจำนวนข้อมูลที่ซ้ำซ้อน (Redundancy) ที่มีอยู่ในภาพ เมื่อต้องการใช้ข้อมูลภาพนี้ก็จะใช้วิธีการขยายกลับคืนเพื่อสร้างภาพต้นฉบับ โดยการบีบอัดข้อมูลภาพ (Castleman, 2001) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือการบีบอัดแบบไม่มีการสูญเสีย (Lossless compression) เป็นการบีบอัดข้อมูล que เมื่อขยายกลับมาแล้วภาพจะมีคุณภาพเหมือนข้อมูลต้นฉบับ เนื่องจากการบีบอัดโดยแทนข้อมูลเดิมด้วยสัญลักษณ์หรือข้อมูลใหม่ที่สั้นกว่า และการบีบอัดแบบมีการสูญเสีย (Lossy compression) เป็นการบีบอัดข้อมูล que เมื่อขยายกลับมาแล้วจะมีคุณภาพต่ำกว่าข้อมูลต้นฉบับ เนื่องจากจะมีข้อมูลบางส่วนสูญเสียไปในกระบวนการบีบอัดข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 2.12



ก)

ข)

รูปที่ 2.12 การบีบอัดภาพ ก) จากภาพต้นฉบับก่อนถูกบีบอัด

ข) สามารถลดขนาดข้อมูลและคงคุณภาพไว้

ง. การแบ่งตัดภาพ

เป็นการดำเนินการเพื่อหาอาณาเขตของบริเวณต่างๆ ภายในภาพซึ่งแต่ละบริเวณอาจสื่อความหมายที่แตกต่างกันออกไปทำให้สามารถเข้าใจข่าวสารที่ฝังอยู่ในภาพ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในระดับสูงขึ้นไปได้ เช่น การรู้จำวัตถุในภาพ โดยทั่วไปวิธีการแบ่งตัดภาพแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือการแบ่งตัดโดยอาศัยลักษณะของบริเวณแต่ละบริเวณ (Region) ดังแสดงในรูปที่ 2.13 การแบ่งตัดโดยใช้ลักษณะของขอบเขต (Boundary) และการแบ่งตัดโดยใช้เส้นขอบ (Edge) ซึ่งเกิดจากการเชื่อมกันของจุดภาพหลาย ๆ จุดภาพ



ก)



ข)

รูปที่ 2.13 การหาขอบภาพ ก) จากภาพต้นฉบับ ข) สามารถตัดแบ่งภาพ
โดยอาศัยลักษณะของบริเวณแต่ละบริเวณ

จ. การบรรยายและนำเสนอความหมายของภาพ

เป็นการดำเนินการเพื่อนำเสนอความหมายของภาพด้วยคุณลักษณะที่แตกต่างกัน
ในภาพ เช่น ขอบภาพ ขอบเขตภาพ บริเวณภาพ รูปทรงภาพ (Shape) และลวดลาย (Texture)
เป็นต้น ภายหลังจากคุณลักษณะของภาพที่ถูกค้นหาออกมาจากภาพแล้ว จะเป็นการนำเสนอ
ความหมายภาพ หรือบริเวณใด ๆ ของภาพสามารถอธิบายด้วยคุณลักษณะที่แตกต่างกัน

ฉ. การแปลความหมายและรู้จำภาพ

เป็นการดำเนินการเพื่อแปลความหมายและรู้จำบริเวณใดๆ ของภาพ ซึ่งสามารถ
นำไปสู่การสรุปความหมายของภาพ และสามารถตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่เหมาะสมของ
หน่วยประมวลผลได้

2.1.6 รูปแบบไฟล์ภาพดิจิทัล (Digital image file format)

รูปภาพสามารถที่จะแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

ก. รูปภาพแบบเวกเตอร์ (Vector images)

เป็นข้อมูลภาพสองมิติที่อยู่ในลักษณะของคำสั่งหรือคำอธิบายที่ใช้วาดภาพ ดังนั้น
รูปภาพจะไม่ขึ้นกับความละเอียดของภาพ เมื่อทำการย่อขยายรูปภาพแบบนี้คอมพิวเตอร์จะทำ
การคำนวณรูปภาพใหม่ทำให้ภาพคมชัดเสมอและไม่หยابมากขึ้น เนื่องจากรูปภาพชนิดนี้
เป็นภาพที่เกิดจากการใช้คำสั่งในการวาดจึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เก็บภาพที่มีสีสลับซับซ้อน
และไม่เป็นรูปแบบที่แน่นอน เช่น ภาพในธรรมชาติ แต่จะถูกใช้ในงานภาพที่มีลักษณะเป็น

รูปทรงเรขาคณิต เช่น ภาพสัญลักษณ์สินค้า และการออกแบบบ้าน เป็นต้น สำหรับโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ได้แก่ Adobe Illustrator และ AutoCAD เป็นต้น

ข. รูปภาพแบบราสเตอร์ (Raster images)

เป็นข้อมูลภาพสองมิติที่มีความละเอียดของภาพที่แน่นอน ซึ่งเป็นภาพที่แสดงสีได้ตามธรรมชาติจึงเหมาะสำหรับแสดงภาพทั่วไป ข้อมูลภาพของรูปภาพแบบราสเตอร์จะอยู่ในรูปของ Colormap โดยที่แต่ละส่วนคือ 1 จุดภาพ แต่ละจุดภาพเป็นอิสระต่อกันทำให้สามารถเลือกดำเนินการใดที่จุดภาพที่ละตำแหน่งหรือเป็นกลุ่มก็ได้ เช่น การปรับค่าความสว่างของภาพจนกระทั่งถึงการดำเนินการที่ยุ่่งยากกว่า เช่น การซ้อนภาพหนึ่งลงไปใ้ในอีกภาพหนึ่ง เป็นต้น สำหรับโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้สร้างรูปภาพแบบราสเตอร์ ได้แก่ Adobe Photoshop เป็นต้น และไฟล์ที่เป็นรูปภาพแบบราสเตอร์ ได้แก่ ไฟล์นามสกุล BMP และ JPG โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) BMP (Windows bitmap)

เป็นรูปแบบไฟล์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาสำหรับการใช้งานบนวินโดวส์ โดยเฉพาะ ด้วยลักษณะการจัดเก็บไฟล์เป็นจุดสีทีละจุดจึงทำให้ไม่มีการสูญเสียข้อมูลใดๆ เช่นเดียวกับไฟล์ภาพ TIF ทั้งนี้ไฟล์ BMP สามารถรองรับแบบจำลองสีได้หลายรูปแบบ ทั้งแบบจำลองสี RGB, Indexed Color, Gray Scale และ Bitmap เป็นรูปแบบที่มีการเก็บข้อมูล 4 บิต และ 8 บิต ต่อหนึ่งจุดภาพ

2) JPG หรือ JPEG (Joint photographic experts group)

เป็นรูปแบบของไฟล์ภาพที่ใช้กันมาก เพื่อแสดงภาพที่อยู่ในแบบจำลองสี Indexed color และรูปภาพที่ไฟล์เอกสารแบบ HTML (Hypertext markup language) ซึ่งนิยมใช้กันมากในการทำเว็บไซต์ และบริการออนไลน์ต่าง ๆ ไฟล์แบบ JPEG นี้รองรับโหมดสีแบบ CMYK, RGB, Gray scale

2.2 ประวัติสเตกาโนการพีและการฝังลายน้ำ

2.2.1 ประวัติสเตกาโนการพี

สเตกาโนการพี (Steganography) มาจากคำในภาษากรีก “Stegano” ที่หมายถึง “Covered” และ “graphia” ที่หมายถึง “writing” สเตกาโนการพีเป็นศาสตร์ของการซ่อนข้อมูลข่าวสารในการสื่อสารซึ่งยังคงมีอยู่จนถึงปัจจุบัน วัตถุประสงค์ของสเตกาโนการพีคือ การซ่อนข้อมูลข่าวสารไว้ภายในข้อมูลที่ไม่เป็นที่น่าสงสัย ซึ่งทำให้เป็นการยากที่จะตรวจสอบได้ว่ามีข่าวสารที่เป็นความลับซ่อนอยู่ภายใน ตัวอย่างของสองเรื่องราวที่เกี่ยวข้องกับเทคนิค

สเตกาโนกราฟี ซึ่งถูกบันทึกไว้ในพงศาวดารของ Herodotus (1996) เมื่อ 440 ปีก่อนคริสตกาล เรื่องแรกกล่าวถึง Demeratus ต้องการเตือน Sparta ว่า Xrses เตรียมพร้อมจะบุกโจมตีดินแดนของกรีก เขาได้ใช้วิธีการซ่อนสารลับลงแผ่นบรอนซ์ที่มีเว็ทเคลือบอยู่ (ใช้สำหรับเขียนหนังสือ) ด้วยวิธีการขูดเว็ทที่เคลือบอยู่บนแผ่นบรอนซ์ จากนั้นเขียนสารลับไว้บนบางส่วนของแผ่นบรอนซ์แล้วก็ทาเว็ททับกลับบนแผ่นบรอนซ์ เสร็จแล้วจึงนำไปส่งผ่านทหารยามไปได้โดยง่าย เรื่องที่สองมีผู้ตีชาวเปอร์เซียชื่อว่า Histiaeus ต้องการส่งสารลับไปยังเมือง Miletus โดยทำการโกนผมทาสของเขาออกและสักขาสารอันเป็นความลับไว้บนหัวของทาส หลังจากที่เส้นผมของทาสผู้นั้นยาวขึ้นปกปิดข้อความเหล่านั้น จึงส่งให้ทาสผู้นั้นเดินทางไปยังเมือง Miletus เมื่อไปถึงจึงให้โกนหัวทาสผู้นั้นเพื่อเปิดเผยสารลับนั้นแก่ Aristagoras ผู้สำเร็จราชการแห่งเมือง Miletus หลังจากนั้น Aristagoras จึงเริ่มก่อการจลาจลต่อกษัตริย์เปอร์เซีย

2.2.2 ประวัติลายน้ำ

จุดกำเนิดของการฝังลายน้ำเกิดขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1282 ที่เมือง Fabirano ประเทศอิตาลี สิ่งที่คิดในตอนนั้นคือทำอย่างไรที่จะแสดงเครื่องหมายที่มองไม่เห็นบนแผ่นกระดาษได้ เนื่องจากในสมัยนั้นมีโรงงานทำกระดาษมากถึง 40 โรงงาน จึงเริ่มมีการสร้างเครื่องหมายประจำตัวขึ้นในระหว่างขั้นตอนการทำกระดาษ โดยใส่ลายเส้นบางๆ ลงที่แม่พิมพ์ของกระดาษ ทำให้แผ่นกระดาษเกิดเป็นแถบเส้นบางๆ ที่มีความโปร่งใส ซึ่งมีจุดประสงค์ให้ลายน้ำดังกล่าวเป็นเครื่องหมายการค้าของโรงงานผู้ทำกระดาษแผ่นนั้นขึ้นมา จนกระทั่งปลายศตวรรษที่ 18 การฝังลายน้ำบนกระดาษถูกนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายทั้งในทวีปยุโรปและทวีปอเมริกา ในเวลาต่อมาได้นำการฝังลายน้ำมาใช้ป้องกันการปลอมแปลงธนบัตร แสตมป์และเอกสารชนิดอื่นๆ งานวิจัยเกี่ยวกับการฝังลายน้ำดิจิทัลได้รับการตีพิมพ์ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1990 โดย Tanaka และคณะ (1990) ได้นำเสนอวิธีการฝังลายน้ำดิจิทัลบนรูปภาพ หลังจากนั้นก็มีผลงานวิจัยเกี่ยวกับการฝังลายน้ำดิจิทัลถูกตีพิมพ์มากมายจนถึงในปัจจุบัน

2.2.3 ความแตกต่างระหว่างสเตกาโนกราฟีและการฝังลายน้ำ

เป้าหมายหลักของวิธีสเตกาโนกราฟีคือการฝังข้อมูลที่เป็นความลับลงในข้อมูลหลักภายใต้สมมุติฐานที่ว่าบุคคลอื่นไม่สามารถล่วงรู้ข้อมูลลับที่ถูกฝังไว้ในข้อมูลหลักได้ ผลลัพธ์โดยทั่วไปของวิธีนี้จะไม่คงทนนัก ตัวอย่างเช่น ถ้าข้อมูลหลักที่ผ่านการฝังข้อมูลลับมีความเสียหายหรือเปลี่ยนแปลงไปจะไม่สามารถถอดข้อมูลลับคืนกลับมาได้

ส่วนเป้าหมายหลักของวิธีการฝังลายน้ำนั้น นอกจากที่บุคคลอื่นไม่สามารถตรวจสอบได้ว่ามีข้อมูลลับฝังอยู่ในข้อมูลหลักหรือไม่แล้ว ข้อมูลลับที่ถูกฝังอยู่จะยังต้องมีความคงทนต่อการลบทำลายหรือแก้ไขข้อความที่ซ่อนอยู่หากถูกตรวจพบอีกด้วย ผลลัพธ์ของวิธีนี้จะมีความคงทนมากกว่าวิธีสเตกาโนกราฟี ที่มุ่งเน้นเพียงการซ่อนข้อมูลเป็นหลัก

2.3 ลายน้ำดิจิทัล

ลายน้ำดิจิทัลคือข้อมูลดิจิทัลที่ถูกฝังลงไปในเรื่องดิจิทัล เช่น ตัวอักษร รูปภาพ รูปภาพกราฟิก รูปภาพเคลื่อนไหวที่สร้างขึ้น เสียง วิดีทัศน์ และเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น เพื่อใช้แสดงความเป็นเจ้าของ ติดตาม และป้องกันการละเมิดสิทธิ์ทางปัญญา (สุพจน์ นิตยสุวรรณ, 2545) ทั้งในลักษณะที่สามารถมองเห็นได้ จะแสดงให้เห็นลายน้ำดิจิทัลได้อย่างชัดเจน และลักษณะที่ไม่สามารถมองเห็นได้ ซึ่งจะต้องใช้วิธีการเฉพาะเพื่อการสืบค้น โดยลายน้ำดิจิทัลทั้งสองแบบจะต้องไม่สามารถถูกดึงออกจากสื่อได้โดยง่าย (Petitcolas, Anderson และ M. G. Kuhn, 1998; Swanson, Kobayashi และ Tewfik, 1998; Fridrich, 1999)

2.3.1 ประเภทของลายน้ำดิจิทัล

ประเภทของลายน้ำดิจิทัลสามารถจำแนกได้ตามปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

ก. จำแนกตามการรับรู้ของสายตามนุษย์ (Human perception)

การรับรู้ของสายตามนุษย์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท

1) ลายน้ำดิจิทัลแบบมองเห็นได้ (Visible watermark)

จะเป็นการฝังลายน้ำดิจิทัลลงในภาพต้นฉบับโดยตรง เมื่อฝังลายน้ำดิจิทัลเข้าไปแล้วจะต้องไม่รบกวนภาพต้นฉบับหรือรบกวนให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ (Swanson, Kobayashi และ Tewfik, 1998) นั่นหมายถึง ยังคงมองเห็นลักษณะของภาพต้นฉบับเดิมได้อย่างชัดเจน และยังสามารถเห็นลายน้ำดิจิทัลที่แทรกลงบนภาพต้นฉบับด้วย เพื่อแสดงความเป็นเจ้าของในภาพนั้นๆ บุคคลทั่วไปที่พบเห็นจะสามารถรับรู้ได้โดยทันทีว่า ภาพนั้นๆ เป็นของผู้ใด นอกจากนี้ยังเป็นการยับยั้งการกระทำที่จะเป็นการละเมิดสิทธิ์ของภาพนั้นๆ แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้มีข้อด้อยคือภาพต้นฉบับจะมีคุณภาพลดลง เนื่องจากลายน้ำดิจิทัลจะไปบดบังรายละเอียดของภาพต้นฉบับ แต่การฝังลายน้ำดิจิทัลในรูปแบบนี้ยังคงเป็นที่นิยมใช้ในการแสดงความเป็นเจ้าของ เพราะสามารถดำเนินการได้ง่ายและไม่ซับซ้อน ในบางครั้งความพยายามที่จะกำจัดลายน้ำดิจิทัลที่อยู่ในภาพนั้นๆออก อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของรูปภาพซึ่งอาจจะเสียหายและมีคุณภาพต่ำลง (Yang et al., 2009; Liu และ Tsai, 2010)

2) ลายน้ำดิจิทัลแบบมองไม่เห็น (Invisible watermark)

ลักษณะที่สำคัญของการฝังลายน้ำดิจิทัลชนิดนี้ คือเมื่อทำการฝังลายน้ำดิจิทัลลงไปในภาพต้นฉบับแล้ว จะไม่สามารถมองเห็นลายน้ำดิจิทัลในภาพต้นฉบับ

และต้องไม่ทำให้ภาพต้นฉบับเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม หรือเปลี่ยนลักษณะไปจากเดิมให้น้อยที่สุด (ธำรงรัตน์ อมรรักษา และ บัณฑิต ทิพากร, 2545) การฝังลายน้ำดิจิทัลในรูปแบบนี้ บุคคลอื่นจะไม่สามารถล่วงรู้เลยว่ามีการฝังลายน้ำดิจิทัลซ่อนอยู่ในรูปภาพนั้นๆ หรือไม่ จึงทำให้บุคคลที่จะทำการคัดลอกย่อมกลัวการถูกติดตามและฟ้องร้องอันเนื่องมาจากลายน้ำดิจิทัลที่ซ่อนอยู่ในตัวภาพ นอกจากนี้การใช้รูปภาพที่ไม่ทราบที่มาที่ไปก็จะมีควมระมัดระวังมากขึ้นด้วย เพราะในกรณีที่เจ้าของภาพนั้นมาพบและพิสูจน์โดยใช้ลายน้ำดิจิทัลที่ซ่อนอยู่ในภาพแสดงถึงความเป็นเจ้าของได้ ก็จะสามารถฟ้องร้องต่อบุคคลที่นำรูปภาพดังกล่าวมาใช้งาน (Wang, Wu และ Niu, 2006; Chou และ Liu, 2010)

ข. จำแนกตามโดเมนลายน้ำดิจิทัล (Watermarking domain)

ลายน้ำดิจิทัลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามโดเมนที่ลายน้ำดิจิทัลฝังอยู่ คือ โดเมนพื้นที่ และโดเมนความถี่

1) โดเมนพื้นที่ (Spatial domain)

เป็นการฝังลายน้ำดิจิทัลลงในค่าความเข้มสีของภาพต้นฉบับโดยตรง ซึ่งใช้วิธีการเลือกจุดภาพแล้วทำการปรับแต่งค่าความเข้มสี โดยพิจารณาจากตำแหน่งของจุดภาพที่อยู่ในภาพต้นฉบับนั้น ๆ เป็นสำคัญ (Mukherjee, Maitra และ Acton, 2004; Huang et al., 2005; Karybali และ Berberidis, 2006)

2) โดเมนความถี่ (Frequency domain)

เป็นการฝังลายน้ำดิจิทัลลงในโดเมนความถี่ของภาพต้นฉบับ วิธีนี้เริ่มจากการแปลงภาพให้อยู่ในโดเมนความถี่ โดยใช้วิธีการแปลง (Transform) แบบต่างๆ เช่น การแปลงฟูเรียร์ (Discrete fourier transform, DFT) (Pholsomboon และ Vongpradhip, 2004; Fan และ Sun, 2008; Kang, Dong และ Wang, 2009) หรือการแปลงโคไซน์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete cosine transform, DCT) (Briassouli และ Strintzis, 2004; Das, Maitra และ Mitra, 2005; Briassouli et al., 2005) หรือการแปลงเวฟเล็ต (Discrete wavelet transform, DWT) (Lin et al., 2008; Liu และ Chou, 2009; Akhaee et al., 2009) หรือการแปลงเอสวีดี (Single value decomposition, SVD) (Liu และ Tan, 2002; WU, 2005; Chang, Tsai และ Lin, 2005; Chang, Hu และ Lin, 2007) จากนั้นทำการแก้ไขค่าเอกฐานของการแปลงที่มีค่าอยู่ในช่วงความถี่ที่เหมาะสม ซึ่งจะมีผลต่อการตัดสินใจเพื่อกำหนดปริมาณลายน้ำดิจิทัลที่จะฝังลงบนภาพต้นฉบับเพื่อทำให้มีความสมดุลกันระหว่างการมองเห็นและความคงทน

ค. จำแนกตามวัตถุประสงค์การใช้ลายน้ำดิจิทัล

วัตถุประสงค์การใช้ลายน้ำดิจิทัลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) ลายน้ำดิจิทัลแบบเปราะบาง (Fragile watermark)

เป็นวิธีที่มุ่งเน้นไปที่ความเปราะบางของลายน้ำดิจิทัล ซึ่งลายน้ำดิจิทัลที่ถูกฝังไว้ในข้อมูลจะมีความไวต่อการเสียหายและการเปลี่ยนแปลงแม้เพียงเล็กน้อย วิธีการประเภทนี้จะมีความเหมาะสมที่จะใช้ในการสร้างความน่าเชื่อถือของข้อมูลว่าเป็นของแท้ที่ไม่ได้ผ่านการเปลี่ยนแปลงแก้ไขใดๆ มาก่อน (Taheri และ Ghaemmaghmi, 2005; Ping และ Zhi, 2006)

2) ลายน้ำดิจิทัลแบบคงทน (Robust Watermark)

เป็นวิธีฝังลายน้ำดิจิทัลที่ภายหลังการใส่ลายน้ำดิจิทัลแล้ว ลายน้ำดิจิทัลจะยังคงอยู่ตรงเท่าที่การโจมตีมีขนาดไม่รุนแรงเกินไป วิธีนี้จะมีความเหมาะสมกับการใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ของตัวข้อมูลเนื่องจากความยากลำบากในการเปลี่ยนแปลงแก้ไขเพื่อทำลายลายน้ำดิจิทัลที่ฝังอยู่ในภาพ (Calagna et al., 2006; Chandra et al., 2008)

ง. จำแนกตามข้อมูลที่เป็นสำหรับการถอดลายน้ำดิจิทัล

ตามความต้องการภาพต้นฉบับในระหว่างกระบวนการถอดลายน้ำดิจิทัล สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ ต้องใช้ภาพต้นฉบับ ต้องใช้ข้อมูลในภาพต้นฉบับ และไม่ต้องใช้ภาพต้นฉบับ

1) ต้องใช้ภาพต้นฉบับ (Non-blind watermarking)

ในกระบวนการถอดลายน้ำดิจิทัลของวิธีนี้ต้องใช้ภาพต้นฉบับ หรือในบางกรณีอาจต้องใช้ทั้งภาพต้นฉบับและลายน้ำดิจิทัลต้นฉบับ โดยทั่วไปกระบวนการถอดลายน้ำดิจิทัลทำได้โดยนำภาพต้นฉบับมาลบออกด้วยภาพที่ต้องการตรวจสอบ ข้อดีของวิธีการนี้คือลายน้ำดิจิทัลที่ฝังอยู่จะมีความทนทานสูง แต่มีข้อเสียคือต้องเก็บภาพต้นฉบับไว้ใช้ในการพิสูจน์ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองเนื้อที่ในการจัดเก็บ และยังคงต้องเสียเวลาในการค้นหาและเพื่อนำภาพต้นฉบับกลับมาใช้ในการพิสูจน์แต่ละครั้ง (Chandra, 2002)

2) ต้องใช้ข้อมูลในภาพต้นฉบับ (Semi-blind watermarking)

เป็นวิธีการถอดลายน้ำดิจิทัลที่แตกต่างจากวิธีที่ผ่านมากล่าวคือ ไม่ต้องการภาพต้นฉบับ แต่ยังคงต้องการข้อมูลบางส่วนของภาพต้นฉบับ เช่น ขนาดของภาพต้นฉบับ หรือคุณลักษณะทางสถิติของภาพต้นฉบับ หรือเมทริกซ์ของภาพต้นฉบับ แต่ในบางกรณีอาจต้องการใช้ลายน้ำดิจิทัลต้นฉบับร่วมในการถอดด้วย ข้อดีของวิธีการนี้คือลดความ

สิ้นเปลืองเนื้อที่ในการจัดเก็บลงได้บางส่วน แต่ยังคงมีข้อเสียที่ต้องเสียเวลาในการค้นหาข้อมูล บางส่วนภาพต้นฉบับมาใช้ในระหว่างกระบวนการถอดลายน้ำดิจิทัล (Liu และ Tan, 2002)

3) ไม่ต้องใช้ภาพต้นฉบับ (Blind watermarking)

เป็นวิธีการที่ไม่ต้องใช้ภาพต้นฉบับและลายน้ำดิจิทัลต้นฉบับในการถอดลายน้ำดิจิทัลกลับคืน จากข้อดีนี้ทำให้ช่วยลดความสิ้นเปลืองเนื้อที่ในการจัดเก็บและยังช่วยลดเวลาที่จำเป็นต้องใช้ในการค้นหาภาพต้นฉบับลง (Chang, Hu และ Lin, 2007; Chang, Lin และ Hu, 2007; Chandra และ Srinivas, 2008)

2.3.2 คุณสมบัติที่ต้องการของลายน้ำดิจิทัล

ทุกวันนี้วิธีการฝังลายน้ำดิจิทัลได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการป้องกันลิขสิทธิ์มากขึ้น เนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวางไม่ว่าจะเป็นภาพนิ่ง วิดิทัศน์ เสียง และเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งแต่ละวิธีจะมีวิธีการฝังลายน้ำดิจิทัลที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามยังคงมีคุณสมบัติหลักพื้นฐานที่ต้องการเหมือนกัน สามารถแจกแจงรายละเอียดคุณสมบัติที่ต้องการต่างๆ บนภาพได้ดังต่อไปนี้

ก. คุณสมบัติที่ต้องการของลายน้ำแบบคงทน

- 1) หลังการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว คุณภาพของรูปภาพไม่ควรลดลงมาก
- 2) เมื่อนำภาพที่มีลายน้ำดิจิทัลฝังอยู่มาถูกโจมตี โดยวิธีการประมวลสัญญาณต่าง ๆ ทั้งแบบเชิงเส้นและแบบไม่เป็นเชิงเส้น รวมถึงการบีบอัดแบบมีการสูญเสีย วิธีการเหล่านี้ต้องไม่สามารถทำให้ลายน้ำดิจิทัลหายไปหรือถูกทำลายได้
- 3) แม้ลายน้ำดิจิทัลบางส่วนจะหายไป ลายน้ำดิจิทัลที่คงอยู่ต้องชัดเจนพอที่จะสามารถระบุเจ้าของผลงานที่แท้จริงได้
- 4) นอกจากเจ้าของผลงานแล้ว บุคคลอื่นต้องไม่สามารถถอดลายน้ำดิจิทัลออกได้ แม้จะใช้วิธีการเปรียบเทียบระหว่างภาพเดียวกันที่ถูกฝังลายน้ำดิจิทัลคนละตัว
- 5) การทำลายลายน้ำดิจิทัลในภาพนั้น อาจทำได้ต่อเมื่อภาพถูกโจมตีด้วยวิธีการใดๆ จนคุณภาพของภาพลดต่ำลงถึงขั้นที่ไม่อาจใช้การใดๆ ได้อีก

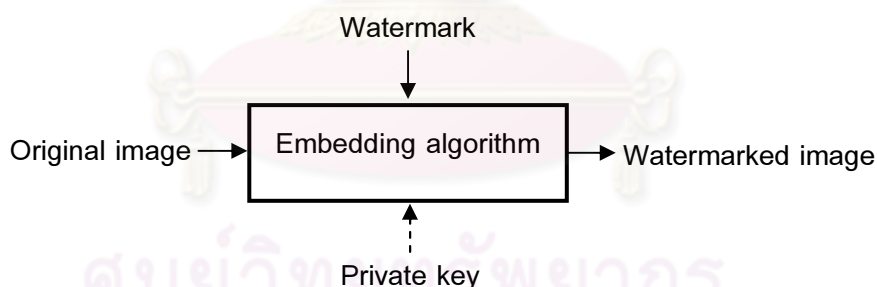
ข. คุณสมบัติที่ต้องการของลายน้ำแบบเปราะบาง

สำหรับการฝังลายน้ำแบบเปราะบางนั้น จำเป็นที่จะต้องมียุทธศาสตร์ที่ต้องการเพิ่มเติมจากคุณสมบัติที่ต้องการของลายน้ำแบบคงทน ดังนี้

- 1) สามารถตรวจสอบการปลอมแปลงที่เกิดขึ้นกับรูปภาพได้
- 2) สามารถระบุตำแหน่งที่ถูกเปลี่ยนแปลงหรือบริเวณที่ถูกแก้ไขบนรูปภาพที่มีลายน้ำดิจิทัลฝังอยู่ได้

2.3.3 การฝังลายน้ำดิจิทัล (Watermark embedded)

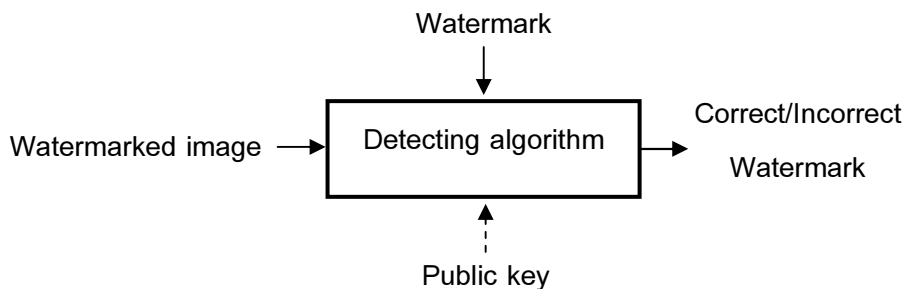
การฝังลายน้ำดิจิทัลคือกระบวนการใส่ลายน้ำดิจิทัลให้ฝังเข้าไปในสื่อดิจิทัลต้นฉบับ โดยให้มีจำนวนมากที่สุดเท่าที่จะทำได้และไม่ทำให้คุณภาพของสื่อเสียไป อีกทั้งจะต้องคงทนต่อการโจมตีทำลายทั้งที่ตั้งใจและไม่ได้ตั้งใจ ข้อมูลเข้า (Input) ของกระบวนการฝังลายน้ำดิจิทัลนี้จะประกอบด้วย ภาพต้นฉบับ ลายน้ำดิจิทัลที่จะนำมาใส่ลงไปภาพต้นฉบับ และในบางกรณีจำเป็นต้องใช้รหัสลับส่วนตัว (Private key) ด้วย (Petiteolas, Anderson และ Kahn, 1999) ภาพทั้งสองส่วนนี้จะถูกนำเข้าสู่กระบวนการแทรก (Embedding algorithm) หลังจากผ่านกระบวนการดังกล่าวแล้วข้อมูลผลลัพธ์ (Output) ที่ได้ก็คือภาพผลลัพธ์ที่มีลายน้ำดิจิทัลฝังอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การฝังลายน้ำดิจิทัลลงในภาพต้นฉบับ

2.3.4 การตรวจหาลายน้ำดิจิทัล (Watermark detection)

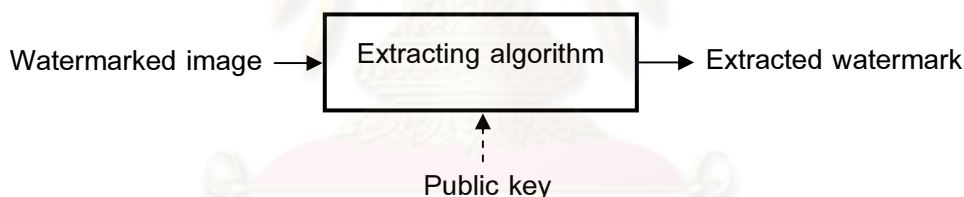
เมื่อมีความต้องการพิสูจน์ความเป็นเจ้าของ โดยเฉพาะในกรณีที่เป็นการฝังลายน้ำดิจิทัลแบบไม่สามารถมองเห็นได้นั้น จะเริ่มต้นด้วยการตรวจหาว่าในภาพที่ต้องสงสัยนั้นมีลายน้ำดิจิทัลฝังอยู่หรือไม่ โดยใช้กระบวนการ ดังแสดงในรูปที่ 2.15 ข้อมูลเข้าของกระบวนการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลนี้คือภาพที่ต้องสงสัยว่ามีลายน้ำดิจิทัลฝังอยู่ ลายน้ำดิจิทัลในบางกรณีอาจมีรหัสลับหรือภาพต้นฉบับด้วย



รูปที่ 2.15 การตรวจหาลายน้ำดิจิทัลที่อาจฝังอยู่ในภาพต้นฉบับ

2.3.5 การถอดลายน้ำดิจิทัล (Watermark extraction)

ในกรณีที่ตรวจพบลายน้ำดิจิทัลในภาพนั้น ขั้นตอนถัดมาก็คือการถอดลายน้ำดิจิทัล การถอดลายน้ำดิจิทัลจะมีแนวทางปฏิบัติอยู่ 2 แบบ แบบแรกคือการถอดลายน้ำดิจิทัลโดยไม่ต้องใช้ภาพต้นฉบับ (Blind watermarking) เกิดขึ้นเมื่อในบางกรณีที่ไม่สามารถหาภาพต้นฉบับได้ อีกแบบหนึ่งเป็นการถอดลายน้ำดิจิทัลที่ต้องใช้ภาพต้นฉบับ ซึ่งทั้งสองรูปแบบเป็นกระบวนการที่ทำให้ได้ลายน้ำดิจิทัลและภาพต้นฉบับก่อนถูกฝังลายน้ำดิจิทัลกลับคืนมา ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การถอดลายน้ำดิจิทัลออกจากภาพผลลัพธ์ที่ลายน้ำดิจิทัลฝังอยู่

2.3.6 เทคนิคการฝังลายน้ำดิจิทัล

ก. การแทนบิตที่มีความสำคัญน้อยที่สุด (Least significant bit replacement, LSB)

การแทนบิตที่มีความสำคัญน้อยที่สุดเป็นเทคนิคที่มีแนวคิดพื้นฐานที่สุดในการฝังลายน้ำดิจิทัล ซึ่งใช้วิธีการเข้าไปแก้ไขบิตต่ำสุดของแต่ละจุดภาพที่อยู่ในภาพต้นฉบับ โดยการแทนที่แต่ละบิตของภาพต้นฉบับเดิมด้วยบิตของลายน้ำดิจิทัล (Petitcolas, Anderson และ M. G. Kuhn, 1998; Swanson, Kobayashi และ Tewfik, 1998; Fridrich, 1999) ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถฝังข้อมูลของลายน้ำดิจิทัลได้จำนวนมาก และเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อนทำให้ไม่ต้องการเวลาในการคำนวณมาก แต่ในขณะเดียวกันมีข้อเสียคือความคงทนต่อการถูก

เปลี่ยนแปลงแก้ไขบนตัวรูปภาพของวิธีการนี้ก็มีน้อยมากหรือแทบไม่มีเลย ซึ่งในเทคนิคการฝังลายน้ำดิจิทัลที่พัฒนาขึ้นในยุคแรกๆ ส่วนใหญ่จะอาศัยแนวคิดดังกล่าว

ข. การปรับแต่งค่าความสว่างในแต่ละคู่ของจุดภาพ (Patchwork)

เทคนิคการฝังลายน้ำดิจิทัลวิธีที่สองเป็นวิธีการเชิงสถิติ ภายใต้สมมติฐานที่ว่าแต่ละจุดภาพภายในรูปภาพมีค่าความสว่างเฉลี่ยเป็น 0 และเป็นอิสระจากกัน ดังนั้นหากทำการเลือกจุดภาพขึ้นมาจำนวนสองกลุ่ม (a และ b) อย่างสุ่มแล้ว ผลต่างของค่าเฉลี่ยของความสว่างจากทั้งสองกลุ่มควรมีค่าเข้าใกล้ 0 ดังสมการที่ (2.13) (Bender, 1996)

$$\bar{x}_a - \bar{x}_b = 0 \quad (2.13)$$

เมื่อ \bar{x}_a และ \bar{x}_b แทนความสว่างเฉลี่ยของจุดภาพทั้งหมดที่เลือกจากบริเวณ a และ b ตามลำดับ

จากข้อเท็จจริงดังกล่าว ในวิธีการฝังลายน้ำดิจิทัลนี้จะทำการปรับแต่งค่าความสว่างในแต่ละคู่ของจุดภาพให้แตกต่างกัน โดยทำการเพิ่มค่าของแต่ละจุดภาพในกลุ่ม a ด้วยค่า α ซึ่งเป็นค่าน้อยๆ และในทำนองเดียวกันก็ลดค่าของแต่ละตำแหน่งในกลุ่ม b ด้วยค่าเดียวกัน ดังนั้นผลลัพธ์ที่คาดหวังจากสมการที่ (2.13) ควรเป็นดังสมการที่ (2.14)

$$(\bar{x}_a + \alpha) - (\bar{x}_b - \alpha) = 2\alpha \quad (2.14)$$

ค่าและตำแหน่งต่างๆ ที่ทำการแก้ไขไปดังกล่าวก็จะกลายเป็นรหัสลับ (Secret key) ที่เจ้าของรูปภาพเก็บไว้เพื่อใช้พิสูจน์ลิขสิทธิ์บนตัวรูปภาพในภายหลัง วิธีการนี้มีความคงทนต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เพิ่มมากขึ้นกว่าวิธีแรก แต่อย่างไรก็ดีวิธีการดังกล่าวไม่สามารถรองรับกับการแปลงเชิงเรขาคณิตต่างๆ ได้ เนื่องจากเมื่อได้ผ่านการแปลงดังกล่าวแล้วรูปภาพจะถูกประมาณค่า (Interpolate) ใหม่ ทำให้ค่าความสว่างใหม่ที่ได้ในแต่ละตำแหน่งเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

ค. Texture block coding

วิธีการนี้กระทำโดยการเลือกเอาส่วนหนึ่งของภาพไปฝังไว้ในอีกส่วนหนึ่งของภาพที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ซึ่งจะเป็นผลทำให้การเปลี่ยนแปลงใดๆ ที่เกิดขึ้นกับรูปภาพจะส่งผลให้บริเวณทั้งสองดังกล่าวได้รับผลกระทบในลักษณะเดียวกัน สำหรับกระบวนการตรวจหาลายน้ำนั้น สามารถกระทำได้โดยการคำนวณหาค่าสหสัมพันธ์แบบอัตโนมัติ (Auto-correlation)

(Bender, 1996) นับว่าเป็นวิธีการที่มีความทนทานค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามก็ดี วิธีการนี้ยังมีข้อเสียหลายประการ คือ

- 1) ไม่มีการใช้รหัสลับหรืออัลกอริทึมพิเศษซึ่งแสดงลิขสิทธิ์ของเจ้าของ เฉพาะเจาะจง
- 2) สามารถกระทำได้กับเฉพาะบางรูปภาพที่มีส่วนคล้ายคลึงกันเท่านั้น
- 3) การตรวจหาหลายน้ำดิจิตอลอาจผิดพลาดได้ในกรณีที่รูปภาพมีส่วนที่คล้ายคลึงกันโดยบังเอิญ
- 4) ในขั้นตอนการพิจารณาเลือกพื้นผิวที่ใกล้เคียงกันภายในรูปภาพนั้น กระทำโดยการพิจารณาของมนุษย์เอง ไม่สามารถกระทำโดยอัตโนมัติได้

ง. การกระจายแถบความถี่ (Spread spectrum)

การซ่อนลายน้ำดิจิตอลโดยใช้วิธีการกระจายแถบความถี่เป็นวิธีการที่มีความทนทานสูง วิธีการดังกล่าวอาศัยทฤษฎีการมอดูเลชัน (Modulation) ในระบบสื่อสารที่เรียกว่า "Spread spectrum technique" (Pickholtz, Schilling และ Millstein, 1982) โดยวิธีการดังกล่าวใช้ขนาดความกว้างของช่องสัญญาณ (Bandwidth) ที่มากกว่าที่ใช้ในเทคนิคการมอดูเลชันแบบอื่น อันเป็นผลทำให้สามารถลดขนาดของสัญญาณที่ส่งในแต่ละช่วงความถี่ลงได้ ทำให้การส่งสัญญาณด้วยเทคนิคดังกล่าวตรวจจับได้ยาก เนื่องจากระดับสัญญาณในแต่ละย่านความถี่มีระดับต่ำมาก (อยู่ในระดับเดียวกับสัญญาณรบกวนที่มีอยู่โดยทั่วไปในช่องสัญญาณ) ซึ่งคุณสมบัติอันนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการซ่อนลายน้ำดิจิตอลลงในรูปภาพได้ โดยการพิจารณารูปภาพที่ต้องการซ่อนเปรียบเสมือนช่องสัญญาณที่จะทำการส่งข้อมูล ในขณะที่แต่ละจุดภาพภายในรูปภาพเปรียบเสมือนสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสาร ซึ่งในที่นี้ลายน้ำดิจิตอลจะเปรียบเสมือนกับสัญญาณข้อมูลที่ต้องการส่ง คุณสมบัติที่สำคัญของวิธีนี้คือ ลายน้ำดิจิตอลที่ถูกซ่อนลงในรูปภาพนี้จะต้องไม่ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้เปลี่ยนแปลงไปจนเป็นที่สังเกตได้ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติของวิธีการกระจายแถบความถี่ดังกล่าวข้างต้น โดยการใช้วิธีการดังกล่าว ทำให้ค่าความสว่างของลายน้ำดิจิตอลสามารถกำหนดให้อยู่ในระดับที่ต่ำเพียงพอที่จะทำให้ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ นอกจากนี้คุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของวิธีการกระจายแถบความถี่คือมีความคงทนต่อสัญญาณรบกวนสูง ซึ่งในกรณีของการประยุกต์ใช้เพื่อการซ่อนลายน้ำดิจิตอล จะเป็นผลทำให้ลายน้ำดิจิตอลมีความทนทานต่อกระบวนการประมวลผลภาพ ทั้งในกรณีที่กระทำ

โดยเจตนาเพื่อการทำลายตัวลายน้ำที่ซ่อนอยู่ และในกรณีอื่น ๆ เช่น เพื่อผลในด้านการปรับปรุงภาพ หรือเพื่อการลดขนาดของข้อมูล เป็นต้น (Cox et al., 1997)

การซ่อนข้อมูลโดยวิธีการกระจายแถบความถี่สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$I'(x, y) = I(x, y) + \alpha \sum_{i=1}^N w_i S_i(x, y) \quad (2.15)$$

โดยที่	α	= ค่ากำหนดความเข้มของสัญญาณ (Amplitude factor)
	N	= จำนวนของรหัส Spreading code
	w_i	= ข้อมูลที่จะซ่อนลำดับที่ i
	S_i	= Spreading code ลำดับที่ i

สำหรับการตรวจหาและดึงเอาข้อมูลกลับคืนมานั้น ข้อมูล w_i ใดๆ จะสามารถดึงกลับมาได้โดยใช้สมการที่ (2.15) อย่างไรก็ดี วิธีการที่นำเสนอ (Cox et al., 1997) ยังมีข้อเสียในขั้นตอนการตรวจหาลายน้ำดิจิทัล ซึ่งในกรณีที่รูปภาพได้ผ่านกระบวนการแปลงบางอย่างมา โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงในเชิงเรขาคณิต จำเป็นจะต้องมีการผันกลับกระบวนการแปลงที่เกิดขึ้นกับรูปภาพนั้น (เช่น หมุนรูปภาพกลับด้วยมุม $-\theta$ หากภาพดังกล่าวถูกหมุนไปจากแกนเดิมเป็นมุม θ เป็นต้น) ซึ่งทำให้เพิ่มความซับซ้อนในการตรวจสอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ทั่วไปที่เราไม่สามารถทราบค่าของการผันกลับที่แท้จริงได้ ในกรณีดังกล่าวจำเป็นต้องมีการคำนวณเป็นจำนวนมากเพื่อทำการประมาณค่าของกระบวนการผันกลับดังกล่าว นอกจากนี้แล้ววิธีการดังกล่าวยังจำเป็นต้องใช้รูปภาพต้นฉบับในการเปรียบเทียบเพื่อตรวจหาลายน้ำดิจิทัลอีกด้วย ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองเนื้อที่ในการจัดเก็บ ตลอดจนเวลาที่ใช้ในการค้นหารูปภาพดังกล่าวด้วย (สิริพร ผลสมบูรณ์, 2547)

2.3.7 เกณฑ์การวัดประสิทธิภาพ

- ก. เกณฑ์การวัดประสิทธิภาพของวิธีการฝังลายน้ำดิจิทัลนั้น ประยุกต์ใช้เกณฑ์การวัดคุณภาพของภาพ (Image quality) (Katzenbeisser และ Petitcolas, 1999) โดยแบ่งออกเป็น

1) เกณฑ์เชิงคุณภาพ (Subjective fidelity criteria)

เพื่อวัดประสิทธิภาพการมองไม่เห็นด้วยตามนุษย์ มีวิธีการคือสุ่มกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกันมาทำการทดลอง โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือกลุ่มคนที่มีพื้นฐานด้านการประมวลผลภาพและกลุ่มคนที่ไม่มีความรู้พื้นฐานด้านนี้มาก่อน ขั้นตอนต่อมาคือให้กลุ่มตัวอย่างทั้งสองมา

พิจารณาภาพที่ฝังภาพลายน้ำดิจิทัลแล้วพร้อมกัน จากนั้นให้คะแนนตามเกณฑ์ที่กำหนด (Subjective fidelity scoring scale) แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือผลการทดลองจะไม่มีมาตรฐานเพียงพอ ทั้งนี้อาจเกิดจากกลุ่มตัวอย่างมีความลำเอียงในการให้คะแนนหรืออาจเกิดจากประสิทธิภาพการมองเห็นของกลุ่มตัวอย่าง เช่น คนตาบอดสีบางสี

2) เกณฑ์เชิงปริมาณ (Objective fidelity criteria)

การใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์เป็นเกณฑ์วัดผลการทดลอง ข้อดีคือสะดวกต่อการใช้งาน เช่น การใช้ค่า $PSNR$ (Peak signal-to-noise ratio) ในการวัดความผิดเพี้ยนของภาพที่ผ่านการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้วเทียบกับภาพต้นฉบับ และการวัดสัดส่วนความเหมือนของลายน้ำดิจิทัลที่ถอดออกได้ทั้งก่อนและหลังการโจมตีเชิงสัญญาณเปรียบเทียบกับลายน้ำดิจิทัลต้นฉบับใช้ค่าเอกฐานสหสัมพันธ์

การวัดประสิทธิภาพของการฝังลายน้ำดิจิทัลสำหรับงานวิจัยนี้ ใช้เกณฑ์เชิงปริมาณเป็นเกณฑ์การวัดผลการทดลองซึ่งแบ่งเป็น 3 ส่วน ตามกระบวนการวิจัย คือกระบวนการฝังลายน้ำดิจิทัล ใช้ค่า $PSNR$ เป็นเกณฑ์การวัดผลการทดลอง กระบวนการถอดลายน้ำดิจิทัลใช้การวัดสัดส่วนความเหมือนและอัตราความผิดพลาดเป็นเกณฑ์การวัดผลการทดลอง

- ข. การตรวจสอบหาค่าความผิดเพี้ยนของภาพโดยใช้ค่า $PSNR$ เป็นตัววัดเกณฑ์เชิงปริมาณที่ใช้ประเมินค่าสัญญาณรบกวน (ลายน้ำดิจิทัล) ที่ฝังเพิ่มลงไป ในสัญญาณหลัก (ภาพต้นฉบับ) โดยมีหน่วยวัดเป็นเดซิเบล (dB :Decibel) ซึ่งวิธีคำนวณแสดงได้ดังสมการที่ 2.16 และสมการที่ 2.17 ตามลำดับ

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \text{ dB} \quad (2.16)$$

เมื่อค่า MSE (Mean-squared-error) เขียนได้ดังนี้

$$MSE = \frac{\sum (f_w(x, y) - f(x, y))^2}{n} \quad (2.17)$$

เมื่อค่า $f_w(x, y)$ เป็นภาพที่มีลายน้ำดิจิทัลฝังอยู่

$f(x, y)$ เป็นภาพต้นฉบับ

n เป็นจำนวนจุดภาพในภาพที่มีลายน้ำดิจิทัลฝังอยู่และภาพต้นฉบับ

โดยคุณภาพการผิดเพี้ยนของภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว จะแปรผกผันตามค่า $PSNR$ คือหากค่า $PSNR$ น้อยแสดงว่าภาพมีการผิดเพี้ยนจากภาพต้นฉบับมากและหากค่า $PSNR$ มากแสดงว่าภาพมีการผิดเพี้ยนน้อย

- ค. การวัดค่าความเหมือนของภาพ (Similarity measurement) ด้วยค่า NC คือจะใช้วัดค่าความเหมือนระหว่างลายน้ำดิจิทัลต้นฉบับและลายน้ำดิจิทัลที่ถอดออกมาได้ทั้งก่อนและหลังผ่านการโจมตีแล้ว โดยค่าผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในช่วงระหว่างค่า 0 ถึงค่า 1 สำหรับวิธีการคำนวณค่าความเหมือนของภาพ 2 มิติสามารถทำได้ตามสมการที่ (2.18)

$$NC = \frac{\sum_i \sum_j W_{(i,j)} - W'_{(i,j)}}{\sum_i \sum_j [W_{(i,j)}]^2} \quad (2.18)$$

เมื่อ $W_{(i,j)}$ และ $W'_{(i,j)}$ แทนค่าความเข้มสีของจุดภาพ ณ ตำแหน่ง (i, j) ในลายน้ำดิจิทัลต้นฉบับและลายน้ำดิจิทัลที่ถอดออกมาตามลำดับ โดยคุณภาพของลายน้ำดิจิทัลจะแปรผันตามค่าความเหมือนของภาพกล่าวคือค่าความเหมือนสูงมากเท่าใดแสดงว่าลายน้ำดิจิทัลที่ถอดออกมาจะเหมือนกับภาพต้นฉบับมากขึ้นด้วยเช่นกัน

- ง. การวัดค่าอัตราความผิดพลาดของภาพ (Bit error rate) จะใช้ค่า BER เป็นตัวแสดงอัตราความผิดพลาดของจำนวนบิตลายน้ำดิจิทัลที่ถอดได้ไม่ถูกต้องจากจำนวนบิตลายน้ำดิจิทัลทั้งหมดที่ฝังลงไป โดยค่าผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในช่วงระหว่างค่า 0 % ถึงค่า 100% ซึ่งวิธีการคำนวณนั้น แสดงได้ดังสมการที่ (2.19)

$$BER = \left(\frac{1}{M_w \cdot N_w} \cdot \sum_{b=1}^{M_w \cdot N_w} (W_b \oplus W'_b) \right) \cdot 100\% \quad (2.19)$$

เมื่อ W_b และ W'_b แทนบิตของลายน้ำดิจิทัลต้นฉบับที่ฝังอยู่และบิตของลายน้ำดิจิทัลที่ถอดออกมาตามลำดับ โดย M_w และ N_w แทนจำนวนขนาดกว้างยาวของลายน้ำดิจิทัล เมื่อเครื่องหมาย \oplus แทนการกระทำ Exclusive-OR ซึ่งของคุณภาพของลายน้ำดิจิทัลที่ถอดได้จะแปรผันตามค่า BER คือถ้าค่า BER ต่ำแสดงว่าลายน้ำดิจิทัลที่ถอดออกมาได้มีการผิดเพี้ยนจากลายน้ำดิจิทัลต้นฉบับน้อย

2.3.8 การประยุกต์ใช้ลายน้ำดิจิทัล

ในปัจจุบันได้มีการนำเทคนิคการฝังลายน้ำดิจิทัลมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาการละเมิดลิขสิทธิ์บนภาพเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสามารถชี้หรือแสดงให้เห็นได้ว่าใครคือผู้ที่เป็นเจ้าของหรือผู้เก็บรักษาผลงาน เมื่อมีการทำซ้ำตัวลายน้ำดิจิทัลที่ติดไปกับภาพต้นฉบับจะถูกนำมาใช้เป็นหลักฐานในการชี้ตัวผู้กระทำผิดได้ (Bender, 1996) โดยสามารถแบ่งออกโดยได้ 3 กลุ่มหลักๆ ดังนี้

ก. การใส่คำอธิบายภาพ

เป็นการประยุกต์ใช้ลายน้ำดิจิทัลในรูปแบบของการใส่คำอธิบาย (Caption) ลงในภาพต้นฉบับ เพื่อช่วยในการค้นหารูปภาพ โดยลายน้ำดิจิทัลจะทำหน้าที่บรรจุคำอธิบายข้อมูลเกี่ยวกับชื่อ วัน เวลา และสถานที่ ลงไปบนภาพที่ไม่ต้องการความคงทนต่อการแก้ไข เช่น ภาพเอ็กซเรย์ในทางการแพทย์ ซึ่งลายน้ำดิจิทัลจะทำการบันทึกข้อมูลรายละเอียดต่างๆ ของคนไข้ลงในภาพเอ็กซเรย์ ไม่ว่าจะเป็นชื่อคนไข้ วัน เวลา ที่มาเข้ารับรักษา ชื่อสถานพยาบาล ดังนั้นวิธีนี้จะช่วยเพิ่มความเร็วในการค้นหาภาพเอ็กซเรย์ของคนไข้ และช่วยลดความผิดพลาดในกรณีที่ข้อมูลของคนไข้กับภาพเอ็กซเรย์ไม่ตรงกัน

ข. การป้องกันการคัดลอก

เป็นการนำเทคนิคลายน้ำดิจิทัลมาประยุกต์ใช้ในการติดตามการใช้หรือการคัดลอกผลงาน โดยใช้ลายน้ำดิจิทัลที่ฝังติดไปกับภาพต้นฉบับเป็นตัวกำหนดสิทธิในการครอบครอง เช่น ผู้ซื้อผลงานภาพศิลปะนี้มีสิทธิในการครอบครองเท่านั้น หรือผู้ซื้อผลงานนี้มีสิทธิทั้งในการครอบครองและจำหน่าย เมื่อมีการละเมิดลิขสิทธิ์เกิดขึ้น ลายน้ำดิจิทัลที่ฝังอยู่จะถูกนำมาใช้เป็นหลักฐานในการพิสูจน์สิทธิและช่วยในการชี้ตัวผู้กระทำผิดได้ ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่ผู้ละเมิดได้รับสิทธิเพียงครอบครอง แต่กลับนำภาพดังกล่าวไปจำหน่าย

ค. การรับรองความถูกต้อง

การประยุกต์ใช้ลายน้ำดิจิทัลรูปแบบสุดท้าย เป็นการนำเทคนิคลายน้ำดิจิทัลมาใช้ในการรับรองความถูกต้องของข้อมูล เช่น กรณีของภาพสแกนเอกสารทางการเงินของบริษัท เมื่อถูกผู้ประสงค์ร้ายทำการดัดแปลงให้ตัวเลขภายในภาพสแกนมีความหมายบิดเบือนไปจากความเป็นจริง มีผลทำให้บริษัทได้รับความเสียหาย ซึ่งปัญหานี้สามารถป้องกันได้โดยการนำลายน้ำดิจิทัลแบบแปรบางมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบรับรองความถูกต้องของข้อมูล เนื่องจากลายน้ำดิจิทัลที่ถูกฝังไว้ในข้อมูลจะมีความไวต่อการเสียหาย และสามารถตรวจสอบบริเวณที่ถูกเปลี่ยนแปลงได้

2.4 การแปลงเอสวีดี (Singular value decomposition, SVD)

เอสวีดี (SVD) เป็นเครื่องมือหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์เชิงตัวเลข ซึ่งมีพื้นฐานมาจากทฤษฎีบทของพีชคณิตเชิงเส้น เริ่มแรกเอสวีดีถูกนำมาใช้ในการบีบอัดภาพ (Andrews และ Patterson, 1976; Yang และ Lu, 1995; Adriana และ Stanley, 2002; Wongsawat et al., 2004) ต่อมาได้มีการนำมาใช้ในการฝังลายน้ำดิจิทัลอย่างกว้างขวาง ด้วยเหตุนี้จึงเหมาะสมมากที่นำไปใช้ในการวิเคราะห์เมทริกซ์ ในการแปลงเอสวีดีเมทริกซ์หนึ่งสามารถจะถูกแยกออกเป็นสามเมทริกซ์ที่มีขนาดเดียวกับเมทริกซ์ต้นฉบับ จากมุมมองของพีชคณิตเชิงเส้น รูปภาพเป็นอาร์เรย์ของจำนวนสมาชิกสเกลาร์ที่ไม่เป็นลบ ซึ่งสามารถถือว่าเป็นเมทริกซ์ เช่น

ให้ A เป็นรูปภาพสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาด $N \times N$, การแปลงเอสวีดีสามารถจะแยกเมทริกซ์ A ออกเป็นสามเมทริกซ์ที่มีขนาดเดียวกับเมทริกซ์ต้นฉบับ เป็นดังนี้

$$\begin{aligned} A &= USV^T \\ &= [u_1, u_2, \dots, u_N] \times [\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_N] \times [v_1, v_2, \dots, v_N]^T \\ &= \sum_{i=1}^N \sigma_i u_i v_i^T \end{aligned} \quad (2.20)$$

โดยที่ U และ V เป็นเมทริกซ์มุมฉาก (Orthogonal matrices) ที่มีขนาด $N \times N$ และ $N \times N$ ตามลำดับ S เป็นเมทริกซ์ทแยงมุม (Diagonal matrix) ที่มีขนาด $N \times N$ นั่นคือ สมาชิกทุกตัวที่มีค่าไม่เป็นศูนย์จะเรียกว่าเอกฐานของเมทริกซ์ (ขนาดของเมทริกซ์ A) และสมาชิกเอกฐานจะเรียงลำดับจากมากไปน้อย โดยที่สมาชิกแรกในตำแหน่งแนวทแยงมุมจะมีค่ามากที่สุด $\sigma_i > \sigma_{i+1}$ สดมภ์ของเมทริกซ์ U และ V จะเรียกว่าค่าเอกฐานเวกเตอร์ซ้ายและค่าเอกฐานเวกเตอร์ขวาตามลำดับ

ก. ตัวอย่างเอสวีดี

เป็นตัวอย่างเพื่ออธิบายการแปลงเอสวีดี กำหนดให้

$$A = \begin{bmatrix} 162 & 161 & 157 & 161 \\ 162 & 161 & 157 & 161 \\ 163 & 155 & 159 & 160 \\ 159 & 157 & 159 & 157 \end{bmatrix}$$

หากการดำเนินการเอวีดีถูกนำไปใช้บนเมทริกซ์นี้แล้ว เมทริกซ์ A จะถูกแยกออกเป็นสามเมทริกซ์ที่มีขนาดเท่ากันดังต่อไปนี้

$$U = \begin{bmatrix} -0.5025 & -0.4767 & 0.1423 & 0.7071 \\ -0.5025 & -0.4767 & 0.1423 & -0.7071 \\ -0.4994 & 0.6849 & 0.5306 & 4.2616e-15 \\ -0.4955 & 0.2766 & -0.8234 & -2.6056e-15 \end{bmatrix}$$

$$S = \begin{bmatrix} 637.7837 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5.2063 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3.1384 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.6369e-15 \end{bmatrix}$$

$$V = \begin{bmatrix} -0.5065 & 0.2256 & 0.5264 & 0.6446 \\ -0.4971 & -0.7499 & -0.3920 & 0.1920 \\ -0.4954 & 0.6150 & -0.6032 & -0.1120 \\ -0.5010 & -0.0922 & 0.4533 & -0.7315 \end{bmatrix}$$

สมาชิกทุกตัวในแนวทแยงมุมของเมทริกซ์ S นี้เป็นเอกฐานและเราสังเกตเห็นว่าสมาชิกเอกฐานเหล่านี้จะมีการเรียงลำดับจากมากไปน้อย: $637.7837 \geq 5.2063 \geq 3.1384 \geq 1.6369e-15$

ข. คุณสมบัติของเอวีดี

โดยทั่วไปถ้า A เป็นเมทริกซ์ใด ๆ จะมีเอกฐานหลายค่า เอกฐานตัวแรกมักจะมีค่ามากที่สุด เอกฐานตัวสุดท้ายจะมีค่าน้อยมาก และจำนวนของเอกฐานที่มีค่าไม่เป็นศูนย์จะเป็นขนาดของเมทริกซ์ A (Andrews และ Patterson, 1976) เอวีดีนี้มีลักษณะเฉพาะทางคณิตศาสตร์ที่เด่นอยู่หลายประการ จึงมีการนำคุณสมบัติของเอวีดีมาใช้ประโยชน์ในการฝังลายน้ำดิจิทัลอลสามารถแจกแจงได้ ดังนี้ (Chang, Tsai และ Lin, 2005; Zhou, Tang และ Tang, 2006)

- 1) ขนาดของเมทริกซ์จากการแปลงเอวีดีจะไม่ตายตัว นั่นคือสามารถเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าก็ได้

- 2) เอกฐานของภาพมีเสถียรภาพดีมาก กล่าวคือแม้มีการรบกวนถูกเพิ่มเข้าไปในรูปภาพ เอกฐานของภาพจะไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก
- 3) เอกฐานแสดงคุณลักษณะความสว่างหรือความเข้มสีของภาพ ในขณะที่คู่เอกฐานเวกเตอร์แสดงถึงคุณลักษณะทางเรขาคณิตของภาพ ทำให้เอกฐานมีคุณสมบัติพิเศษเพิ่มเติมบางอย่าง เช่น ไม่ผันแปรตามการหมุน ไม่ผันแปรตามการเคลื่อนที่ และไม่ผันแปรตามการเปลี่ยนตำแหน่ง ฯลฯ

Calagna และคณะ (2006) และ Chandra และ Srinivas (2008) ได้นำเสนอการวิเคราะห์ผลกระทบของความบิดเบือน อันเกิดจากการประมวลผลกับรูปภาพในเชิงเรขาคณิตบนเอกฐานของภาพ:

- 1) ไม่แปรผันต่อกระบวนการเคลื่อนที่ (Translation invariant)
นำเมทริกซ์ A มาเติมขอบด้วยค่า 0 (สีดำ) ทั้งสี่ด้านของเมทริกซ์ เมทริกซ์ผลลัพธ์ A_t มีเอกฐานที่มีค่าไม่เป็นศูนย์เท่ากับเมทริกซ์ A
- 2) ไม่แปรผันต่อกระบวนการสลับเปลี่ยน (Transpose invariant)
เมทริกซ์ A และเมทริกซ์ที่ผ่านการสลับเปลี่ยน A^T มีเอกฐานที่มีค่าไม่เป็นศูนย์เหมือนกัน
- 3) ไม่แปรผันต่อกระบวนการหมุน (Rotation invariant)
เมทริกซ์ A และเมทริกซ์ที่ผ่านการหมุน A_r (ทำการหมุนเมทริกซ์ A ด้วยมุมต่างๆ) มีเอกฐานที่มีค่าไม่เป็นศูนย์เหมือนกัน
- 4) ไม่แปรผันต่อกระบวนการพลิก (Flip invariant)
เมทริกซ์ A , แกวของเมทริกซ์ที่ผ่านการพลิก A_f และหลักของเมทริกซ์ที่ผ่านการพลิก A_{f^T} มีเอกฐานที่มีค่าไม่เป็นศูนย์เหมือนกัน
- 5) ไม่แปรผันต่อกระบวนการปรับขนาด (Scale resilient)
เมทริกซ์ B เป็นเมทริกซ์ A ที่ผ่านการปรับขนาดแถว โดยการทำซ้ำทุกแถวแทนที่ L_1 ครั้ง สำหรับแต่ละเอกฐานที่มีค่าไม่เป็นศูนย์ σ ของ A , B มี $\sqrt{L_1}\sigma$ เมทริกซ์ C เป็นเมทริกซ์ A ที่ผ่านการปรับขนาดสดมภ์ โดยการทำซ้ำทุกสดมภ์แทนที่ L_2 ครั้ง สำหรับแต่ละเอกฐานที่มี

ค่าไม่เป็นศูนย์ σ ของ A , C มี $\sqrt{L_2}\sigma$ ถ้าเมทริกซ์ D ถูกปรับขนาดแถวโดย L_1 ครั้งและปรับขนาดสดมภ์โดย L_2 ครั้ง สำหรับแต่ละเอกฐานที่มีค่าไม่เป็นศูนย์ σ ของเมทริกซ์ A , D มี $\sqrt{L_1L_2}\sigma$

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการสื่อสารที่เรียกว่าอินเทอร์เน็ตในปัจจุบัน ทำให้การคัดลอกข้อมูลดิจิทัลจากแหล่งหนึ่งสามารถแพร่กระจายไปทั่วโลกได้อย่างง่ายดายด้วยความง่ายตายนี้เองได้ก่อให้เกิดปัญหาการละเมิดลิขสิทธิ์บนข้อมูลดิจิทัลเพิ่มขึ้นตามมา โดยผู้ละเมิดลิขสิทธิ์จึงใจทำการคัดลอกหรือแก้ไขปลอมแปลงข้อมูลดิจิทัล แล้วนำไปขายเพื่อผลประโยชน์ทางการค้า เป็นเหตุให้ในปัจจุบันได้มีการป้องกันและยับยั้งปัญหาการละเมิดลิขสิทธิ์ด้วยการนำวิธีการฝังลายน้ำดิจิทัลมาใช้เพื่อคุ้มครองลิขสิทธิ์ในผลงาน หรือเพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์เนื้อหาในผลงานเพิ่มมากขึ้น วิธีการฝังลายน้ำดิจิทัลที่มีอยู่ในปัจจุบันจำนวนมาก ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อตอบสนองการใช้งานลายน้ำดิจิทัลเพียงวัตถุประสงค์เดียวก็คือ การใช้ลายน้ำแบบเปราะบางในการตรวจสอบเพื่อรับรองความเป็นต้นฉบับ หรือการใช้ลายน้ำแบบคงทนในการพิสูจน์ความเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์ ซึ่งทำให้ผู้ที่เป็นเจ้าของจะต้องเลือกใช้ประโยชน์จากวิธีการฝังลายน้ำดิจิทัลเพื่อป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์บนผลงานได้เพียงอย่างหนึ่งอย่างใดเท่านั้น ทั้งที่ปัญหาการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ในโลกแห่งความเป็นจริง มักจะเป็นปัญหาการละเมิดลิขสิทธิ์หลายวัตถุประสงค์ จึงเป็นการยากหากจะยับยั้งการละเมิดลิขสิทธิ์บนผลงานด้วยการใช้ลายน้ำเพียงวัตถุประสงค์เดียวในสภาพของการทำงานจริง จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงนำเสนอทำวิธีการฝังและวิธีการถอดลายน้ำอเนกประสงค์บนรูปภาพดิจิทัล เพื่อให้สามารถนำมาใช้ตรวจสอบเพื่อรับรองความเป็นต้นฉบับและพิสูจน์ความเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์ได้ในคราวเดียวกัน โดยวิธีการฝังและวิธีการถอดลายน้ำอเนกประสงค์ดังกล่าวจะกระทำบนเอสวีดี

จากการศึกษาค้นคว้าในรายละเอียดของวิธีการฝังและวิธีการถอดลายน้ำดิจิทัลบนภาพ พบว่ามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้หลายชิ้น สามารถจำแนกตามประเภทของลายน้ำดิจิทัลได้เป็น 2 ประเภทคือ จำแนกตามโดเมนลายน้ำดิจิทัล และจำแนกตามวัตถุประสงค์การใช้ลายน้ำดิจิทัล ซึ่งผู้วิจัยขอแนะนำงานวิจัยเหล่านั้นดังต่อไปนี้

ก. จำแนกตามโดเมนลายน้ำดิจิทัล

งานวิจัยของวิธีการฝังและถอดลายน้ำดิจิทัลที่กระทำบนเอสวีดี สามารถแบ่งออกตามบริเวณค่าเอกฐานที่ถูกฝังและอัลกอริทึมที่ใช้ในการฝังได้เป็น 3 ประเภทคือ อัลกอริทึมการฝังลายน้ำดิจิทัลบนค่าเอกฐาน (Singular values) อัลกอริทึมการฝังลายน้ำดิจิทัลบน

ค่าเอกฐานเวกเตอร์ซ้ายหรือขวา (Left/right singular vectors) อัลกอริทึมการฝังลายน้ำดิจิทัลอลบนค่าเอกฐาน (Left/right singular vectors and singular values)

1) อัลกอริทึมการฝังลายน้ำดิจิทัลอลบนค่าเอกฐาน

ในงานวิจัยของ Gorodetski และคณะ (2001) นำเสนอวิธีใหม่ในการฝังลายน้ำแบบมองไม่เห็นลงบนรูปภาพ วิธีการนี้เริ่มจากการแบ่งภาพต้นฉบับออกเป็นบริเวณ (Block) จากนั้นทำการฝังบิตของข้อมูลลายน้ำลงบนค่าเอกฐานของแต่ละบริเวณ ลายน้ำที่ฝังสามารถทนทานต่อการโจมตีแบบบีบอัดภาพที่ระดับ 40% นอกจากนี้วิธีนี้ยังสามารถทำการถอดลายน้ำโดยไม่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นฉบับอีกด้วย วิธีการที่นำเสนอนี้ได้ให้คุณสมบัติเด่นของค่าเอกฐานในเอสวีดีมาใช้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าเอกฐานเพียงเล็กน้อยจะไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของภาพที่ถูกฝังมากนัก ค่าเอกฐานนั้นทำหน้าที่แสดงคุณลักษณะความสว่างหรือความเข้มสีของภาพในเอสวีดี ในขณะที่คู่เอกฐานเวกเตอร์แสดงถึงคุณลักษณะทางเรขาคณิตของภาพ ตรงจุดนี้ผู้วิจัยได้ความรู้ในเรื่องคุณสมบัติที่สำคัญของเอสวีดี

ในปีถัดมางานวิจัยของ Lin และ Tan (2002) ได้นำเสนอเทคนิคการฝังลายน้ำดิจิทัลอลบนเอสวีดีแบบไม่แบ่งบริเวณ (Global-based SVD watermarking) ซึ่งต้องใช้ภาพต้นฉบับในการถอดลายน้ำดิจิทัลอล กระบวนการฝังลายน้ำดิจิทัลอลของวิธีการนี้ เริ่มจากนำภาพต้นฉบับ A มาแปลงด้วยเอสวีดี ทำให้เมทริกซ์ A ถูกแยกออกเป็นสามเมทริกซ์ที่มีขนาดเดียวกับต้นฉบับ เมทริกซ์ U , S , และ V จากนั้นนำลายน้ำดิจิทัลอล W มาฝังลงบนเมทริกซ์ S ต่อมาทำการแปลงเมทริกซ์ใหม่ $S + \alpha W$ ด้วยเอสวีดีอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งจะได้เมทริกซ์ U_w , S_w และ V_w สุดท้ายทำการแปลงเอสวีดีกลับ $A_w = U_w S_w V_w^T$ ในกระบวนการถอดลายน้ำดิจิทัลอลของวิธีนี้ต้องใช้ 3 เมทริกซ์ที่เก็บไว้ คือ U_w , S_w , V_w เริ่มจากทำการแปลงเอสวีดีของภาพที่ต้องการทดสอบ A'_w จากนั้นทำการถอดลายน้ำดิจิทัลอลโดยใช้ $(U_w S'_w V_w^T - S) / \alpha$ วิธีการนี้สามารถคงทนต่อการใส่สัญญาณรบกวน การใส่สัญญาณรบกวนแบบกรองความถี่ต่ำ การบีบอัดภาพแบบ JPEG ที่ระดับคุณภาพ 5 หมุนภาพไป 30 องศา และการตัดภาพเป็นบางส่วน ผู้วิจัยได้ความรู้ในวิธีการฝังลายน้ำบนเอสวีดี

Chandra (2002) นำเสนอเทคนิคการฝังลายน้ำดิจิทัลอลบนเอสวีดีไว้ 2 เทคนิคคือ เทคนิคการฝังลายน้ำดิจิทัลอลบนเอสวีดีแบบไม่แบ่งบริเวณ และเทคนิคการฝังลายน้ำดิจิทัลอลบนเอสวีดีแบบแบ่งบริเวณ (Block-based SVD watermarking) กระบวนการฝังลายน้ำดิจิทัลอลบนเอสวีดีแบบไม่แบ่งบริเวณจะเริ่มจากนำภาพต้นฉบับ A และลายน้ำดิจิทัลอล W มาแปลงด้วยเอสวีดี ผลจากการแปลงดังกล่าวจะได้เมทริกซ์ U , S_a , V^T และเมทริกซ์ U_w , S_w , V_w^T ตามลำดับ สมาชิกในแนวเส้นทแยงมุมของ S_a และ S_w แสดงด้วย $\sigma_{a1} = [\sigma_{a1}, \sigma_{a2}, \dots, \sigma_{aN}]$ และ $\sigma_w = [\sigma_{w1}, \sigma_{w2}, \dots, \sigma_{wN}]$ จากนั้นทำการฝังลายน้ำดิจิทัลอล

ลงบนค่าเอกฐานของ A โดยใช้สูตร $\sigma_{bi} = \sigma_{ai} + \alpha\sigma_{wi}$ เสร็จแล้วแปลงกลับเอสวีดี จะทำให้ได้ภาพผลลัพธ์ที่มีลายน้ำดิจิทัลฝังอยู่ ในกระบวนการถอดลายน้ำดิจิทัลของวิธีนี้จำเป็นต้องใช้ S_a ของภาพต้นฉบับและต้องใช้ U_w และ V_w ของลายน้ำดิจิทัล ขั้นแรกนำภาพที่ต้องการทดสอบมาทำการแปลงเอสวีดี แล้วทำการถอดลายน้ำดิจิทัลโดยใช้ $S'_w = (S'_b - S_a) / \alpha$ จากนั้นนำ S'_w ที่ได้มาแปลงกลับเอสวีดี $W' = U_w S'_w V_w^T$ ซึ่งจะได้ลายน้ำดิจิทัลกลับคืนมาในวิธีนี้ได้ทำการทดลองภาพที่ผ่านการฝังลายน้ำดิจิทัลกับการกรองความถี่ต่ำขนาด 3×3 และการบีบภาพแบบ JPEG ที่ระดับคุณภาพ 25 และ 10 เทคนิคการฝังลายน้ำดิจิทัลบนเอสวีดีแบบแบ่งบริเวณ ลายน้ำดิจิทัลจะถูกทำการสลับตำแหน่งจุดภาพแบบสุ่มเทียมด้วยรหัสลับก่อนฝังเพื่อเป็นการเพิ่มความปลอดภัย ขั้นตอนแรกของการฝังลายน้ำดิจิทัลเริ่มจากนำภาพต้นฉบับ A_x มาแบ่งออกเป็นบริเวณที่ไม่ซ้อนทับกัน แล้วนำแต่ละบริเวณของภาพต้นฉบับที่แบ่งไว้มาแปลงเอสวีดี โดยให้ S_x แทนสมาชิกในแนวเส้นทแยงมุมของ A_x จากนั้นทำการฝังบิตของลายน้ำดิจิทัล W_x ลงบนค่าเอกฐานมากที่สุดในเมทริกซ์เอส σ_{a1}^x ของแต่ละบริเวณด้วยสูตร $\sigma_{b1}^x = \sigma_{a1}^x + \alpha W_x$ ขั้นตอนสุดท้ายทำการประกอบแต่ละบริเวณกลับคืนจะทำให้ได้ภาพผลลัพธ์ที่มีลายน้ำดิจิทัลฝังอยู่ สำหรับกระบวนการถอดลายน้ำดิจิทัลของวิธีนี้จำเป็นต้องใช้ภาพต้นฉบับ เริ่มจากนำภาพที่มีลายน้ำดิจิทัลฝังอยู่มาแบ่งออกเป็นบริเวณที่ไม่ซ้อนทับกัน B'_x ต่อจากนั้นทำการแปลงเอสวีดีแต่ละบริเวณของภาพ ภาพที่มีลายน้ำดิจิทัลฝังอยู่ $\sigma_{w_{b1}}^x$ บิตของลายน้ำดิจิทัลสามารถถอดได้ด้วยสูตร $(\sigma_{w_{b1}}^x - \sigma_{a1}^x) / \alpha$ ซึ่งบิตของลายน้ำดิจิทัลที่ถอดได้ยังคงสลับตำแหน่งอยู่ หลังจากนั้นทำการสลับตำแหน่งจุดภาพของลายน้ำดิจิทัลแบบสุ่มเทียมกลับโดยใช้รหัสลับตัวเดิม ซึ่งจะทำให้ได้ภาพลายน้ำดิจิทัลกลับคืนมา ในวิธีนี้ได้ทำการทดลองภาพที่ผ่านการฝังลายน้ำดิจิทัลกับการกรองความถี่ต่ำขนาด 3×3 และการบีบภาพแบบ JPEG ที่ระดับคุณภาพ 25 และ 10 ผู้วิจัยได้นำเทคนิคการแบ่งบริเวณมาใช้ในงานวิจัยนี้

Chang, Hu และ Lin (2007) ได้นำเสนอเทคนิคการฝังลายน้ำดิจิทัลบนเอสวีดีแบบแบ่งบริเวณที่ไม่ต้องใช้ภาพต้นฉบับในการถอดลายน้ำดิจิทัล เริ่มด้วยการแบ่งภาพต้นฉบับออกเป็นบริเวณที่ไม่ซ้อนทับกัน จากนั้นนำแต่ละบริเวณของภาพต้นฉบับที่แบ่งไว้มาแปลงเอสวีดี ขั้นตอนมาเป็นการเลือกตำแหน่งบริเวณที่ต้องการจะฝังลายน้ำดิจิทัล โดยใช้วิธีราบินส์ (Rabin's scheme) เมื่อได้ตำแหน่งที่ฝังแล้วจะทำการฝังแต่ละบิตของลายน้ำดิจิทัลลงบนตำแหน่งบริเวณที่แตกต่างกันถึง 3 ครั้ง เพื่อเป็นการเพิ่มความคงทนของลายน้ำดิจิทัลให้สูงขึ้น เทคนิคการฝังลายน้ำดิจิทัลของวิธีนี้จะใช้การปรับแต่งค่าเอกฐานในตำแหน่งแถวที่สองและแถวที่สามของเมทริกซ์เอสเท่านั้น ด้วยสมการ $\sigma_2 = \sigma_2 + \delta \times W_i$ ส่วนกระบวนการถอดลายน้ำดิจิทัลสามารถทำได้โดยไม่ต้องใช้ภาพต้นฉบับ ขั้นแรกทำการแบ่งภาพต้นฉบับออกเป็นบริเวณที่ไม่ซ้อนทับกัน จากนั้นนำแต่ละบริเวณที่แบ่งไว้มาแปลงเอสวีดี ต่อมานำตำแหน่งบริเวณเดียวกันที่ถูกเลือกไว้ในตอนฝังลายน้ำมาทำการถอดลายน้ำดิจิทัล ซึ่งหาได้จากค่าความแตกต่างระหว่างค่าเอกฐานในตำแหน่งแถวที่สองและแถวที่สามของเมทริกซ์เอส

โดยใช้สมการ $\sigma w_2 - \sigma w_3 > \delta/2$ ถ้าผลลัพธ์ที่ได้ตรงตามเงื่อนไขจะถอดได้ค่า “1” ออกมา ถ้าไม่ตรงเงื่อนไขจะมีค่าเท่ากับ “0” สุดท้ายนำแต่ละค่าที่ได้มาประกอบกันเป็นภาพลายน้ำ ดิจิตอลกลับคืนมา ซึ่งภาพผลลัพธ์ที่ได้สามารถทนต่อการบีบอัดภาพแบบ JPEG การเฉือนภาพ การปรับภาพ การตัดภาพเป็นบางส่วน และการใส่สัญญาณรบกวนได้ ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถ ถอดลายน้ำดิจิตอลโดยไม่ต้องใช้ภาพต้นฉบับ ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงเนื่องจากการจัดเก็บ และช่วยลดเวลาที่เป็นต้องใช้ในการค้นหาภาพต้นฉบับลง ข้อเสียอยู่ที่ความคงทนต่อการถูก โจมตียังมีน้อย

ถัดมาในปีเดียวกัน Chang, Lin และ Hu (2007) ได้นำเสนองานวิจัยซึ่ง ขยายต่อจากงานวิจัยเดิม โดยทำการปรับปรุงเฉพาะกระบวนการฝังลายน้ำดิจิตอลใหม่จาก วิธีการเดิม ที่ฝังลายน้ำดิจิตอลโดยใช้การปรับแต่งค่าเอกฐานในตำแหน่งแถวที่สองและแถวที่ สามของเมทริกซ์เอส วิธีการใหม่นี้จะฝังลายน้ำดิจิตอลโดยใช้การปรับแต่งค่าเอกฐานในตำแหน่ง แถวที่สองและแถวที่สี่ของเมทริกซ์เอส ซึ่งได้เพิ่มผลการทดลองการบีบอัดภาพแบบ JPEG โดยกำหนดระดับคุณภาพที่ 90, 80 และ 70 ปรากฏว่าลายน้ำดิจิตอลที่ถอดได้ยังคงมีค่า BCR (Bit correction ratio) เฉลี่ยสูงถึง 90 ข้อดีของวิธีนี้คือลายน้ำดิจิตอลที่ถอดออกมาได้มี ความคงทนต่อการบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG มากขึ้น ส่วนข้อเสียของวิธีการนี้คือ ความคงทนต่อการถูกโจมตียังคงน้อยถ้าเทียบกับเทคนิคอื่นๆ ในงานวิจัยนี้ได้แนะนำ การฝังลายน้ำลงในตำแหน่งแถวอื่นของเมทริกซ์เอส ซึ่งแตกต่างจากวิธีอื่น ๆ ทั่วไปที่แนะนำ ฝังลายน้ำลงในตำแหน่งแถวที่หนึ่งของเมทริกซ์เอสเท่านั้น ทำให้ผู้วิจัยได้นำเทคนิคการเลือก ตำแหน่งในการฝังลายน้ำมาใช้ในงานวิจัยนี้

ในงานวิจัยของ Xiaohu และ Xiaofeng (2008) ได้นำเสนอเทคนิค การฝังลายน้ำดิจิตอลบนเอสวีดีแบบแบ่งบริเวณ ลายน้ำดิจิตอลที่ใช้เป็นภาพระดับสีเทา (Grayscale watermark) เริ่มจากการนำลายน้ำมาทำการเข้ารหัสลับด้วยวิธีการอาร์โนดชาออสต์ (Arnold chaos) จากนั้นทำการแบ่งภาพต้นฉบับออกเป็นบริเวณที่ไม่ซ้อนทับกัน นำแต่ละ บริเวณของภาพต้นฉบับที่แบ่งไว้มาแปลงเอสวีดี จากนั้นทำการฝังลายน้ำดิจิตอลลงบน ค่าเอกฐานในตำแหน่งแถวที่หนึ่งของเมทริกซ์เอสโดยใช้การควอนไทซ์เซชัน เสร็จแล้วแปลง กลับ เอสวีดีจะทำให้ได้ภาพผลลัพธ์ที่มีลายน้ำดิจิตอลฝังอยู่ ผลการทดลองของวิธีการนี้พบว่า ลายน้ำสามารถทนต่อการบีบอัดภาพแบบ JPEG ที่ระดับคุณภาพ 70 การย่อขนาดภาพ การ หมุนภาพ การตัดภาพเป็นบางส่วน และการใส่สัญญาณรบกวน ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถถอด ลายน้ำดิจิตอลโดยไม่ต้องใช้ภาพต้นฉบับและใช้ลายน้ำดิจิตอลเป็นภาพระดับสีเทา ซึ่งใส่ข้อมูล ได้มากกว่าภาพไบนารีเดิม ผู้วิจัยได้นำเทคนิคการฝังลายน้ำดิจิตอล โดยการควอนไทซ์เซชันมา ใช้ในงานวิจัยนี้

2) อัลกอริทึมการฝังลายน้ำดิจิทัลบนค่าเอกฐานเวกเตอร์ซ้ายหรือขวา

Chang และคณะ (2007) ได้นำเสนอเทคนิคการฝังลายน้ำดิจิทัลบนค่าเอกฐานเวกเตอร์ซ้ายหรือขวาที่ได้จากการแปลงเอสวีดี (สดมภ์ของเมทริกซ์ U และ V) ขั้นตอนการฝังลายน้ำเริ่มจากการแบ่งภาพต้นฉบับออกเป็นบริเวณที่ไม่ซ้อนทับกัน เทคนิคการฝังลายน้ำดิจิทัลของวิธีนี้จะใช้การปรับแต่งค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าในตำแหน่งแถวที่สองและแถวที่สามของเมทริกซ์ยู อัลกอริทึมของวิธีการนี้ทนทานต่อการโจมตีแบบต่างๆ ในกระบวนการถอดลายน้ำดิจิทัลจะไม่ต้องใช้ภาพต้นฉบับ

3) อัลกอริทึมการฝังลายน้ำดิจิทัลบนค่าเอกฐานเวกเตอร์ซ้ายหรือขวาและค่าเอกฐาน

Chandra และ Srinivas (2008) ได้นำเสนอเทคนิคการฝังลายน้ำดิจิทัลบนเอสวีดีแบบแบ่งบริเวณที่ไม่ต้องใช้ภาพต้นฉบับในการถอดลายน้ำดิจิทัล เริ่มด้วยการแบ่งภาพต้นฉบับออกเป็น 4 ส่วน จากนั้นเลือกส่วนซ้าย-บน และขวา-ล่างมาทำการแบ่งบริเวณที่ไม่ซ้อนทับกันอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นนำแต่ละบริเวณของภาพต้นฉบับที่แบ่งไว้มาแปลงเอสวีดี การฝังลายน้ำของวิธีการนี้จะทำการฝังลายน้ำดิจิทัล 2 ครั้ง โดยใช้เทคนิคที่แตกต่างกัน เทคนิคแรกจะฝังลายน้ำลงบนค่าเฉลี่ยของเมทริกซ์เอสในบริเวณที่ได้จากแปลงเอสวีดีในตำแหน่งซ้าย-บน โดยใช้ตารางควอนไทซ์เซชัน เทคนิคที่สองจะฝังลายน้ำลงบนค่าเฉลี่ยของเมทริกซ์เอส ในบริเวณที่ได้จากแปลงเอสวีดีในตำแหน่งขวา-ล่าง โดยใช้การปรับแต่งค่าในตำแหน่งแถวที่หนึ่งและแถวที่สองของเมทริกซ์ยู ในขั้นตอนการถอดลายน้ำดิจิทัลจำเป็นต้องใช้ตารางควอนไทซ์เซชัน ซึ่งลายน้ำที่ถอดได้สามารถทนต่อการบีบอัดภาพแบบ JPEG ที่ระดับคุณภาพ 70 การหมุนภาพไป 20 องศา การย่อขนาดภาพ 50% การกรองสัญญาณขนาด 3×3 การตัดภาพเป็นบางส่วน และการใส่สัญญาณรบกวนที่ระดับ 0.01 ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถถอดลายน้ำดิจิทัลโดยไม่ต้องใช้ภาพต้นฉบับ ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงเนื่องจากการจัดเก็บและช่วยลดเวลาที่ต้องใช้ในการค้นหาภาพต้นฉบับลง ข้อเสียอยู่ที่การไม่ได้ฝังลายน้ำดิจิทัลทั่วทั้งภาพ เพราะในงานวิจัยนี้เลือกฝังเพียงบนบริเวณซ้าย-บน และขวา-ล่างของภาพเท่านั้น ทำให้เสี่ยงต่อการโดนโจมตีแบบเจาะจงในบริเวณที่ฝังอยู่ได้โดยง่าย

ข. จำแนกตามวัตถุประสงค์การใช้ลายน้ำดิจิทัล

ในงานวิจัยของ Kang และคณะ (2003) ได้นำเสนอเทคนิคการฝังลายน้ำดิจิทัลบนทรานฟอร์มผสมระหว่างเวฟเล็ตกับฟูเรียร์ (Discrete wavelet transform-discrete Fourier transform) ซึ่งไม่ต้องใช้ภาพต้นฉบับในการถอดลายน้ำดิจิทัล การฝังลายน้ำของวิธีนี้จะทำการ

ฝังลายน้ำดิจิทัล 2 ครั้ง ครั้งแรกจะทำการฝังลายน้ำดิจิทัลลงบนค่าสัมประสิทธิ์กลางของฟูเรียร์โดเมนเพื่อสร้างแกนอ้างอิง (Template) ในการคำนวณตำแหน่งที่ถูกเคลื่อนย้ายไปให้กลับมาสู่ตำแหน่งเดิม ครั้งที่สองจะทำการฝังลายน้ำดิจิทัลลงบนค่าสัมประสิทธิ์ความถี่ต่ำระดับชั้นการแปลงที่ 4 (LL subband) ของเวฟเล็ตโดเมน ในขั้นตอนการถอดลายน้ำจะเริ่มจากการตรวจสอบภาพผลลัพธ์ที่มีลายน้ำฝังอยู่ว่ามีตำแหน่งตรงกับแกนอ้างอิงหรือไม่ ถ้าไม่ตรงจะถูกเคลื่อนย้ายกลับมาสู่ตำแหน่งเดิมก่อน จากนั้นจะทำการถอดลายน้ำที่ถูกฝังอยู่ในเวฟเล็ตออกมา ผลการทดลองพบว่าลายน้ำสามารถทนต่อการบีบอัดภาพแบบ JPEG ที่ระดับคุณภาพ 10 ถึง 100 การย่อขนาดภาพ การหมุนภาพ การเคลื่อนย้ายภาพ การตัดภาพเป็นบางส่วน 25% การกรองสัญญาณ ขนาด 3x3 การตัดภาพเป็นบางส่วน และการใส่สัญญาณรบกวน ข้อดีของวิธีนี้คือ สามารถถอดลายน้ำดิจิทัลโดยไม่ต้องใช้ภาพต้นฉบับและมีความทนทานต่อการโจมตีในรูปแบบต่างๆสูง ผู้วิจัยได้นำเทคนิคการฝังลายน้ำดิจิทัล โดยการควอนไทซ์เซชันมาใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้

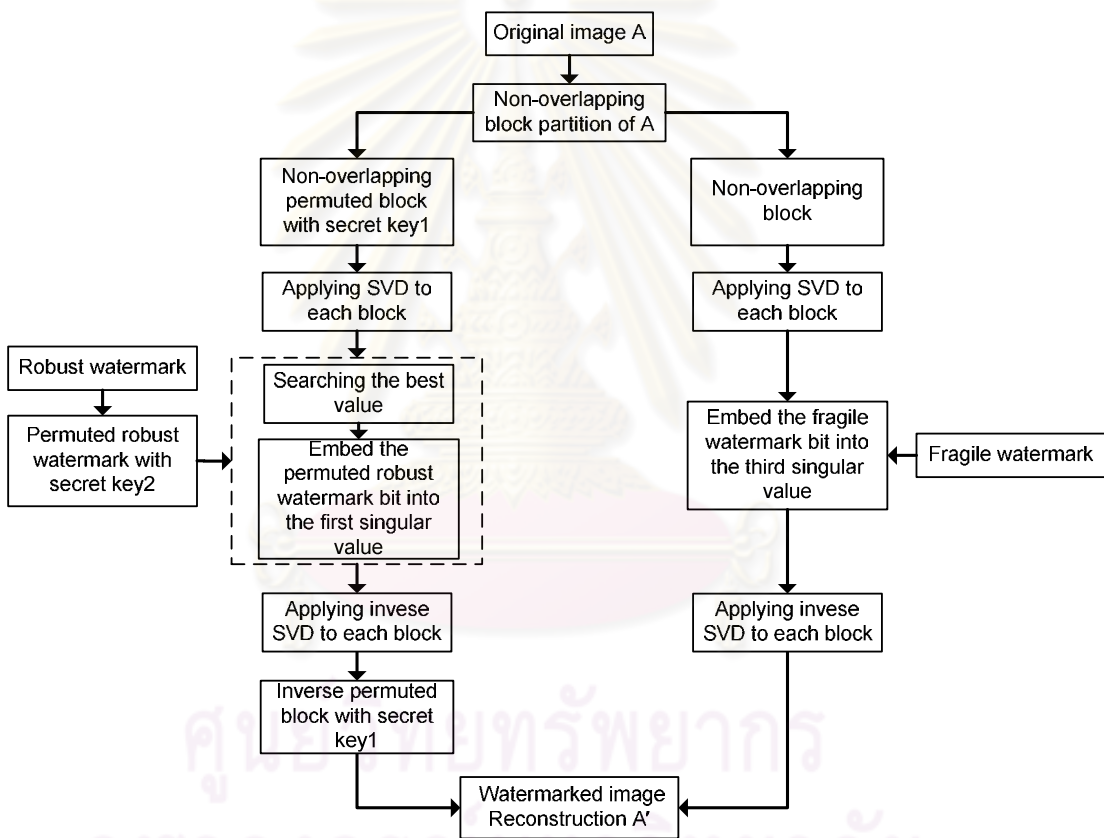
ในงานวิจัยของ Lu และคณะ (2006) ได้นำเสนอเทคนิคการฝังลายน้ำดิจิทัลบนรูปภาพโดยใช้มัลติเวกเตอร์ควอนไทซ์เซชัน (Multistage vector quantization) ซึ่งสามารถนำมาใช้ ในการตรวจสอบความถูกต้องและคุ้มครองลิขสิทธิ์ได้ วิธีการที่นำเสนอนี้จะฝังลายน้ำแบบคงทนและแบบเปราะบางบนขั้นตอนของเวกเตอร์ควอนไทซ์เซชันที่ต่างกัน ในขั้นตอนแรกลายน้ำแบบคงทนจะถูกฝังลงไปบนเวกเตอร์ควอนไทซ์เซชันก่อนด้วยเทคนิคอินเด็กซ์พรอพเพอร์ตี้ (Index properties) จากนั้นในขั้นตอนที่สองลายน้ำแบบเปราะบางจะฝังลงบนเวกเตอร์ควอนไทซ์เซชันอีกครั้งโดยใช้เทคนิคซิมเปิ้ลอินเด็กซ์คอนสเตรินด์ (Simple index constrained) ในการถอดลายน้ำดิจิทัลของวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นฉบับ ลายน้ำแบบคงทนที่ถอดได้สามารถทนต่อการบีบอัดภาพแบบ JPEG ที่ระดับคุณภาพ 30 ถึง 100 การตัดภาพเป็นบางส่วน 25% การกรองสัญญาณขนาด 3x3 การปรับความสว่าง และการหมุนภาพ ส่วนลายน้ำแบบเปราะบางที่ถอดได้สามารถทนต่อการบีบอัดภาพแบบ JPEG ที่ระดับคุณภาพ 50 ถึง 100 และการตัดภาพเป็นบางส่วน 25% ได้ ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถถอดลายน้ำดิจิทัลโดยไม่ต้องใช้ภาพต้นฉบับและมีความทนทานต่อโจมตีในรูปแบบต่างๆสูง ข้อด้อยตรงที่วัดได้จากวิธีการฝังนี้ค่า *PSNR* ต่ำ ผู้วิจัยได้นำเทคนิคการฝังลายน้ำดิจิทัลนี้มาเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยในบทนี้แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ กระบวนการฝังลายน้ำอเนกประสงค์ กระบวนการถอดลายน้ำอเนกประสงค์ และการวัดค่าประสิทธิภาพ

3.1 วิธีการฝังลายน้ำอเนกประสงค์ (Multipurpose watermark embedded)



รูปที่ 3.1 วิธีการฝังลายน้ำอเนกประสงค์

จากรูปที่ 3.1 แสดงถึงวิธีการฝังลายน้ำอเนกประสงค์ลงในภาพต้นฉบับ โดยใช้เทคนิคการฝังลายน้ำอเนกประสงค์บนเอสวีดี (Multipurpose watermarking scheme based on SVD) ซึ่งอธิบายลำดับขั้นตอนได้ดังนี้

3.1.1 ลายน้ำอเนกประสงค์ (Multipurpose watermark)

ในส่วนนี้จะอธิบายถึงรายละเอียดของลายน้ำอเนกประสงค์ที่นำเสนอ ภายในขั้นตอนของลายน้ำอเนกประสงค์ประกอบด้วยลายน้ำดิจิทัล 2 ประเภท โดยลายน้ำดิจิทัลแต่ละประเภทจะฝังลงต่อเนื่องบนรูปภาพ ลายน้ำแบบคงทนจะถูกฝังลงก่อน หลังจากนั้นลายน้ำแบบเปราะบางจะถูกฝังซ้อนทับบนรูปภาพเดียวกัน แนวคิดของลายน้ำอเนกประสงค์ก็คือจะใช้ลายน้ำแบบคงทนในการพิสูจน์ความเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์เพื่อยืนยันความเป็นเจ้าของรูปภาพ และใช้ลายน้ำแบบเปราะบางในการตรวจสอบเพื่อรับรองความเป็นต้นฉบับ เพื่อตอบคำถามว่ารูปภาพนี้มีการแก้ไขหรือไม่

ก. ลายน้ำแบบคงทน (Robust watermark)

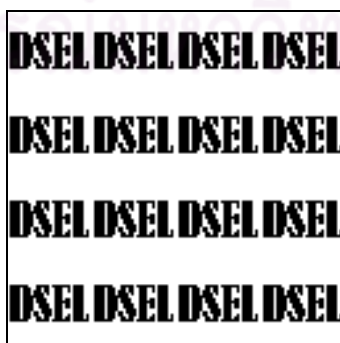
ลายน้ำประเภทคงทนที่นำเสนอนี้เป็นภาพระดับสีเทาที่มีความหมาย สำหรับในงานวิจัยนี้ลายน้ำแบบคงทนควรจะต้องผสมเข้ากับชุดสัญญาณรบกวนแบบสุ่มเทียม (Pseudo random noise sequence) ก่อนนำไปฝัง เพื่อให้ผู้ละเมิดลิขสิทธิ์ที่ต้องการจะถอดรหัสลายน้ำสามารถทำได้ยาก ตัวอย่างของลายน้ำแบบคงทน ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ลายน้ำแบบคงทนที่นำเสนอ

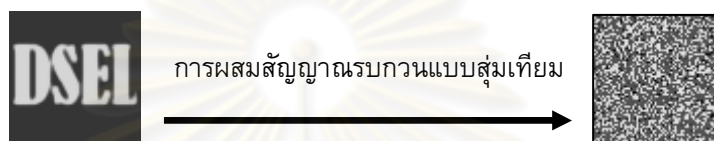
ข. ลายน้ำแบบเปราะบาง (Fragile watermark)

ลายน้ำแบบเปราะบางที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นภาพไบนารี ตัวอย่างของลายน้ำแบบเปราะบาง ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ลายน้ำแบบเปราะบางที่นำเสนอ

ดังนั้นค่าความเข้มของจุดภาพในแต่ละบริเวณของลายน้ำแบบคงทนจะต้องมีการกระจายที่เหมาะสม ลายน้ำแบบคงทนจะสามารถมองเห็นได้ชัดเจนเมื่อมีการกระจายของค่าความเข้มนี้อย่างไม่เหมาะสม ทำให้การกำจัดลายน้ำแบบคงทนด้วยโปรแกรมทั่วไปสามารถทำได้ ฉะนั้นเพื่อป้องกันการมองเห็นลายน้ำแบบคงทน เมื่อทำการฝังลงในรูปภาพต้นฉบับแล้วจึงทำ “การผสมสัญญาณรบกวนแบบสุ่มเทียม” ดังแสดงในรูปที่ 3.4 เพื่อเป็นการเข้ารหัสในแต่ละตำแหน่งของจุดภาพบนลายน้ำแบบคงทนอย่างทั่วถึงก่อนที่จะนำไปฝังยังรูปภาพต้นฉบับ โดยรหัสลับที่ใช้สร้างชุดสัญญาณรบกวนแบบสุ่มเทียมนี้ จะต้องเป็นรหัสเดียวกันทั้งในขั้นตอนการฝังและถอดลายน้ำแบบคงทนจึงจะได้ลายน้ำดิจิทัลกลับคืนมา



รูปที่ 3.4 การกระจายตำแหน่งจุดภาพของลายน้ำแบบคงทนแบบสุ่มเทียม

กำหนดให้ W_R แทนลายน้ำแบบคงทนซึ่งเป็นภาพระดับสีเทาที่มีขนาด $M_1 \times M_2$ จุดภาพ สีดำถูกแทนด้วยค่า 0 และสีขาวถูกแทนด้วยค่า 255 โทนสีจะไล่ระดับจากเข้มมาอ่อนและถูกแทนด้วยจำนวนเต็มที่มีค่าระหว่างค่าทั้งสอง โดยภาพระดับสีเทาถูกแทนที่ด้วย 256 ระดับสี หรือ 2^8 โดย 8 คือจำนวนบิตในหน่วยความจำที่ใช้เพื่อเก็บค่าหนึ่งค่า ดังนั้นสีดำมีค่าความเข้มเป็น 0 หรือเขียนแทนด้วย 00000000_2 และสีขาวมีค่าความเข้มเป็น 255 ลายน้ำแบบคงทนสามารถแทนด้วยสมการที่ (3.1)

$$W_R = \{W_R(i, j); 0 \leq i < M_1, 0 \leq j < M_2\} \quad (3.1)$$

เมื่อ $W_R(i, j) \in \{0, \dots, 2^L - 1\}$ คือความเข้มของจุดภาพที่ตำแหน่ง (i, j) และ L คือจำนวนหน่วยความจำซึ่งมีหน่วยเป็นบิตที่ใช้ในแต่ละจุดภาพ

กำหนดให้ PN แทนชุดสัญญาณรบกวนแบบสุ่มเทียมที่มีขนาด $M_1 \times M_2$ จุดภาพ เครื่องหมาย \oplus แทนการกระทำ Exclusive-OR และ W_{RP} คือลายน้ำแบบคงทนที่ผ่านการผสมสัญญาณรบกวนแบบสุ่มเทียมบนจุดภาพ การผสมสัญญาณรบกวนแบบสุ่มเทียมบนจุดภาพของลายน้ำแบบคงทนกระทำด้วยสมการที่ (3.2)

$$W_{RP} = W_R \oplus PN \quad (3.2)$$

3.1.2 การแบ่งบริเวณภาพต้นฉบับ (Non-overlapping block partition of original image)

การแบ่งบริเวณภาพต้นฉบับเพื่อฝังลายน้ำแบบคงทนและแบบเปราะบางไม่ให้ซ้อนทับกันบนเอนโค้ดเป็นเทคนิคสำคัญของงานวิจัยนี้ เนื่องจากผู้วิจัยต้องพยายามหลีกเลี่ยงไม่ให้ลายน้ำทั้งสองแบบถูกฝังซ้อนทับกันบนบริเวณของภาพต้นฉบับ หากว่าลายน้ำทั้งสองแบบถูกฝังซ้อนทับกันบนบริเวณของภาพต้นฉบับแล้ว จะทำให้ลายน้ำทั้งสองแบบที่ถอดได้จากภาพผลลัพธ์ที่มีลายน้ำฝังอยู่ทำได้ไม่สมบูรณ์

การแบ่งบริเวณหลบเลี่ยงที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เริ่มจากการแบ่งพื้นที่ของภาพต้นฉบับออกเป็นบริเวณ (Block) ที่ไม่ซ้อนทับกัน 2 ขนาด ได้แก่ 8×8 จุดภาพ และ 4×4 จุดภาพ โดยที่ขนาดบริเวณ 8×8 จุดภาพ จะถูกนำมาใช้สำหรับฝังลายน้ำแบบคงทน จึงต้องเลือกขนาดบริเวณที่มีค่าพลังงานสูง เพราะค่าพลังงานสูงจะมีความคงทนต่อการโจมตีมากกว่าค่าพลังงานต่ำ

สำหรับขนาดบริเวณ 4×4 จุดภาพ จะถูกนำมาใช้ฝังลายน้ำแบบเปราะบาง เพราะมีค่าพลังงานต่ำเหมาะสำหรับลายน้ำแบบเปราะบางที่ถูกฝังไว้ในข้อมูลสามารถแสดงกรอบบริเวณที่ถูกเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้อย่างละเอียดชัดเจน เพราะถ้าใช้ขนาดบริเวณใหญ่ขึ้นจะทำให้สามารถแสดงกรอบบริเวณที่ถูกเปลี่ยนแปลงใหญ่ขึ้นตามไปด้วย

ก. การแบ่งบริเวณที่ไม่ซ้อนทับกันสำหรับฝังลายน้ำแบบคงทน

กำหนดให้ A แทนภาพต้นฉบับซึ่งเป็นภาพระดับสีเทาที่มีขนาด $N_1 \times N_2$ จุดภาพ สามารถแทนด้วยสมการที่ (3.3)

$$A = \{A(i, j); 0 \leq i < N_1, 0 \leq j < N_2\} \quad (3.3)$$

เมื่อ $A(i, j) \in \{0, \dots, 2^L - 1\}$ คือความเข้มของจุดภาพที่ตำแหน่ง (i, j) และ L คือจำนวนหน่วยความจำซึ่งมีหน่วยเป็นบิต (Bit) ที่ใช้ในแต่ละจุดภาพ

จำนวนบริเวณทั้งหมดที่ได้มีความสัมพันธ์กับภาพต้นฉบับคือ $\frac{N_1}{k} \times \frac{N_2}{k}$ บริเวณ เช่น ในงานวิจัยนี้ใช้ภาพต้นฉบับมีขนาด 512×512 จุดภาพ และ $k = 8$ จะทำให้ได้จำนวนบริเวณในภาพต้นฉบับ 64×64 บริเวณ แต่ละบริเวณมีขนาด 8×8 จุดภาพ ดังแสดงในรูปที่ 3.5

$$N_1 = 512$$

	1	2	64
$N_2 = 512$	2			
			
	64			

รูปที่ 3.5 การแบ่งภาพต้นฉบับออกเป็นบริเวณที่ไม่ซ้อนทับกันขนาด 8×8 จุดภาพ จะได้จำนวน บริเวณตามแนวแกน x จำนวน 64 บริเวณและทางแนวแกน y จำนวน 64 บริเวณ

หลังจากทำการแบ่งภาพต้นฉบับออกเป็นบริเวณที่ไม่ซ้อนทับกันขนาด 8×8 จุดภาพแล้ว B_R ก่อนที่จะทำการฝังลายน้ำแบบคงทนลงบนแต่ละบริเวณของภาพต้นฉบับนั้น จำเป็นที่จะต้องมีการใช้รหัสลับเพื่อสลับตำแหน่งของบริเวณที่จะฝังลายน้ำแบบคงทน เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในกระบวนการฝังลายน้ำแบบคงทนให้มากขึ้น นอกจากนี้ยังจะช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดปัญหาการถอดลายน้ำดิจิทัลผิดพลาด (False positive problem) ได้อีกด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการสลับตำแหน่งของบริเวณที่จะฝังลายน้ำแบบคงทนโดยใช้วิธีการผสมสัญญาณรบกวนแบบสุ่มเทียม โดยรหัสลับที่ใช้ในการสลับบริเวณนี้จะต้องเป็นรหัสเดียวกันทั้งในขั้นตอนการฝังและถอดลายน้ำแบบคงทนจึงจะได้บริเวณเดิมที่เลือกไว้

กำหนดให้ PN แทนชุดสัญญาณรบกวนแบบสุ่มเทียมที่มีขนาด $N_1 \times N_2$ จุดภาพ เครื่องหมาย \oplus แทนการกระทำ Exclusive-OR และ B_{RP} คือบริเวณที่ไม่ซ้อนทับกันขนาด 8×8 จุดภาพ ที่ผ่านการผสมสัญญาณรบกวนแบบสุ่มเทียมบนจุดภาพ การผสมสัญญาณรบกวนแบบสุ่มเทียมบนจุดภาพของบริเวณที่ไม่ซ้อนทับกันขนาด 8×8 จุดภาพ กระทำด้วยสมการที่ (3.4)

$$B_{RP} = B_R \oplus PN \quad (3.4)$$

ข. การแบ่งบริเวณที่ไม่ซ้อนทับกันสำหรับฝังลายน้ำแบบเปราะบาง

กำหนดให้ A แทนภาพต้นฉบับซึ่งเป็นภาพระดับสีเทาที่มีขนาด $N_1 \times N_2$ จุดภาพ สามารถแทนด้วยสมการที่ (3.5)

$$A = \{A(i, j); 0 \leq i < N_1, 0 \leq j < N_2\} \quad (3.5)$$

เมื่อ $A(i, j) \in \{0, \dots, 2^L - 1\}$ คือความเข้มของจุดภาพที่ตำแหน่ง (i, j) และ L คือจำนวนหน่วยความจำซึ่งมีหน่วยเป็นบิตที่ใช้ในแต่ละจุดภาพ

จำนวนบริเวณทั้งหมดที่ได้มีความสัมพันธ์กับภาพต้นฉบับคือ $\frac{N_1}{k} \times \frac{N_2}{k}$ บริเวณ เช่น ในงานวิจัยนี้ใช้ภาพต้นฉบับมีขนาด 512×512 จุดภาพ และ $k = 4$ จะทำให้ได้จำนวนบริเวณในภาพต้นฉบับ 128×128 บริเวณ แต่ละบริเวณมีขนาด 4×4 จุดภาพ ดังแสดงในรูปที่ 3.6

$N_1 = 512$

1	2	128
2			
.....			
128			

$N_2 = 512$

รูปที่ 3.6 การแบ่งภาพต้นฉบับออกเป็นบริเวณที่ไม่ซ้อนทับกันขนาด 4×4 จุดภาพจะได้จำนวนบริเวณตามแนวแกน x จำนวน 128 บริเวณและทางแนวแกน y จำนวน 128 บริเวณ

3.1.3 การแบ่งบริเวณลายน้ำอเนกประสงค์ (Non-overlapping block partition of multipurpose watermark)

นำลายน้ำแบบคงทนและลายน้ำแบบเปราะบางมาทำการแบ่งพื้นที่ออกเป็นบริเวณที่ไม่ซ้อนทับกัน ขนาด 1 จุดภาพ

ก. การแบ่งบริเวณลายน้ำแบบคงทน

กำหนดให้ W_{RP} แทนลายน้ำแบบคงทนที่ผ่านการผสมสัญญาณรบกวนแบบสุ่มเทียบมบนจุดภาพ ซึ่งมีขนาด $M_1 \times M_2$ จุดภาพ ลายน้ำแบบคงทนสามารถแทนด้วยสมการที่ (3.6)

$$W_{RP} = \{W_{RP}(i, j); 0 \leq i < M_1, 0 \leq j < M_2\} \quad (3.6)$$

เมื่อ $W_{RP}(i, j) \in \{0, \dots, 2^L - 1\}$ คือความเข้มของจุดภาพที่ตำแหน่ง (i, j) และ L คือจำนวนหน่วยความจำซึ่งมีหน่วยเป็นบิตที่ใช้ในแต่ละจุดภาพ

จำนวนบริเวณทั้งหมดที่ได้มีความสัมพันธ์กับลายน้ำแบบคงทนคือ $\frac{M_1}{k} \times \frac{M_2}{k}$ บริเวณ เช่น ในงานวิจัยนี้ใช้ลายน้ำแบบคงทนมีขนาด 64×64 จุดภาพ และ $k = 1$ แทนค่าลงใน

ความสัมพันธ์จะได้จำนวนบริเวณในลายน้ำแบบคงทน 64×64 บริเวณ แต่ละบริเวณบนลายน้ำแบบคงทนที่มีขนาด 1 จุดภาพ ดังแสดงในรูปที่ 3.7

$M_1 = 64$

1	2	64
2			
⋮			
64			

$M_2 = 64$

รูปที่ 3.7 การแบ่งลายน้ำแบบคงทนออกเป็นบริเวณขนาด 1 จุดภาพ จะทำให้ได้บริเวณตามแนวแกน x จำนวน 64 บริเวณ และทางแนวแกน y จำนวน 64 บริเวณ

ข. การแบ่งบริเวณลายน้ำแบบเปราะบาง

กำหนดให้ W_F แทนลายน้ำแบบเปราะบางซึ่งเป็นภาพขาวดำ (Binary image) มีขนาด $M_1 \times M_2$ จุดภาพ ค่าความเข้มของภาพถูกแทนด้วยสีขาวและสีดำเท่านั้น โดยสีขาวมีค่าความเข้มเป็น 1 และสีดำมีค่าความเข้มเป็น 0 ลายน้ำดิจิทัลสามารถแทนด้วยสมการที่ (3.7)

$$W = \{W(i, j); 0 \leq i < M_1, 0 \leq j < M_2\} \quad (3.7)$$

เมื่อ $W(i, j) \in \{0,1\}$ สำหรับทุกๆ (i, j) ซึ่ง $0 \leq i < M_1, 0 \leq j < M_2$ จำนวนบริเวณทั้งหมดที่ได้ มีความสัมพันธ์กับลายน้ำแบบเปราะบางคือ $\frac{M_1}{k} \times \frac{M_2}{k}$ บริเวณ เช่นในงานวิจัยนี้ใช้ลายน้ำแบบเปราะบางมีขนาด 128×128 จุดภาพ และ $k=1$ แทนค่าลงในความสัมพันธ์จะได้จำนวนบริเวณในลายน้ำแบบเปราะบาง 128×128 บริเวณ แต่ละบริเวณบนลายน้ำแบบเปราะบางที่มีขนาด 1 จุดภาพ ดังแสดงในรูปที่ 3.8

$M_1 = 128$

1	2	128
2			
⋮			
128			

$M_2 = 128$

รูปที่ 3.8 การแบ่งลายน้ำแบบเปราะบางออกเป็นบริเวณขนาด 1 จุดภาพ จะทำให้ได้บริเวณตามแนวแกน x จำนวน 32 บริเวณ และทางแนวแกน y จำนวน 32 บริเวณ

3.1.4 การแปลงเอสวีดี (Single value decomposition)

เมื่อทำการแบ่งบริเวณของภาพต้นฉบับออกเป็นบริเวณที่ไม่ซ้อนทับกันแล้ว จากนั้นนำแต่ละบริเวณที่ไม่ซ้อนทับกันสำหรับฝังลายน้ำแบบคงทนที่ผ่านการการผสมสัญญาณรบกวนแบบสุ่มเทียมขนาด 8×8 จุดภาพ $B_{RPi,j}$ และบริเวณที่ไม่ซ้อนทับกันสำหรับฝังลายน้ำแบบเปราะบางขนาด 4×4 จุดภาพ $B_{i,j}$ มาแปลงเอสวีดี โดยใช้สมการที่ (3.8) ทำให้เมทริกซ์ $B_{i,j}$ ถูกแยกออกเป็นสามเมทริกซ์ที่มีขนาดเดียวกับเมทริกซ์ต้นฉบับ คือ $U_{i,j}$, $S_{i,j}$ และ $V_{i,j}$

$$B_{i,j} = U_{i,j} S_{i,j} V_{i,j}^T \quad (3.8)$$

3.1.5 วิธีการฝังลายน้ำอเนกประสงค์ลงในบริเวณของภาพต้นฉบับ (Multipurpose watermark embedded of original image)

เมื่อได้บริเวณของเมทริกซ์เอสสำหรับฝังลายน้ำแบบคงทนขนาด 8×8 จุดภาพ และบริเวณของเมทริกซ์เอสสำหรับฝังลายน้ำแบบเปราะบางขนาด 4×4 จุดภาพแล้ว จากนั้นนำแต่ละบริเวณดังกล่าวมาฝังลายน้ำแบบคงทนและฝังลายน้ำแบบเปราะบาง

ก. การฝังลายน้ำแบบคงทน

นำค่าบิตลายน้ำแบบคงทน W_{RP} (Permuted Robust watermark) จากบริเวณของลายน้ำแบบคงทนที่แบ่งไว้แล้วมาฝังลงในค่าเอกฐานลำดับที่หนึ่ง ในบริเวณของเมทริกซ์เอส $S_{i,j}$ ซึ่งได้จากการแปลงเอสวีดีบนแต่ละบริเวณที่ไม่ซ้อนทับกันขนาด 8×8 จุดภาพ โดยใช้สมการที่ (3.9)

$$S'_{i,j} = (S_{i,j} - S_{i,j} \bmod T_R) + (W_{RPi,j} / 255) * T_R \quad (3.9)$$

โดยที่ $S_{i,j}$ เป็นค่าเอกฐานลำดับที่หนึ่งในบริเวณของเมทริกซ์เอส
 $S'_{i,j}$ เป็นค่าเอกฐานที่ถูกฝังลายน้ำแบบคงทนแล้ว
 $W_{RPi,j}$ เป็นค่าลายน้ำแบบคงทนที่จะฝังลงในบริเวณของเมทริกซ์เอส
 T_R เป็นช่วงค่าเอกฐานของลายน้ำแบบคงทน
 (Predefined quantization coefficient)

1) การค้นหาค่าที่ดีที่สุด

วิธีการฝังลายน้ำดิจิทัลที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ได้เพิ่มฟังก์ชันการค้นหาค่าที่ดีที่สุดเข้าไปในกระบวนการฝังลายน้ำดิจิทัล มีข้อได้เปรียบเหนือวิธีการฝังลายน้ำดิจิทัลของ (Xiaohu และ Xiaofeng, 2008) ที่นำเสนอไว้คือ สามารถให้ค่า $PSNR$ ที่สูงกว่า ในขณะที่ยังคงรักษาความคงทนของลายน้ำดิจิทัลแบบเดิมไว้

แสดงตัวอย่างการฝังลายน้ำดิจิทัลเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างวิธีการของ (Xiaohu และ Xiaofeng, 2008) และวิธีการฝังลายน้ำดิจิทัลที่นำเสนอ

กำหนดให้ค่าเอกฐานของบริเวณภาพต้นฉบับ $S_{i,j}$ มีค่าเป็น “1005” บิต ลายน้ำดิจิทัล W มีค่าเป็น “200” และช่วงค่าเอกฐานของลายน้ำดิจิทัล T มีค่าเป็น “50” ซึ่งสามารถแทนค่าเพื่อแสดงการฝังลายน้ำดิจิทัลได้ดังต่อไปนี้

วิธีการฝังลายน้ำดิจิทัลของ (Xiaohu และ Xiaofeng, 2008)

$$S'_{i,j} = (S_{i,j} - S_{i,j} \bmod T) + (W / 255) * T$$

$$S'_{i,j} = (1005 - 1005 \bmod 50) + (200 / 255) * 50$$

$$S'_{i,j} = 1039.22$$

วิธีการฝังลายน้ำดิจิทัลที่นำเสนอ

$$S'_{i,j} = (S_{i,j} - S_{i,j} \bmod T) + (W / 255) * T$$

$$S'_{i,j} = (1005 - 1005 \bmod 50) + (200 / 255) * 50$$

$$S'_{i,j} = 1039.22$$

เพิ่มฟังก์ชันการค้นหาค่าที่ดีที่สุด

$$S'_{Li,j} = (S'_{i,j} - T)$$

$$S'_{Ri,j} = (S'_{i,j} + T)$$

ทำการค้นหาค่าเอกฐานที่ใกล้กับค่าเอกฐานเดิมที่สุด ค่าเดิม $S_{i,j}$ ในที่นี้มีค่าเป็น “1005” ทางด้านซ้าย $S'_{Li,j}$ มีค่าเป็น “989.22” หรือด้านขวา $S'_{Ri,j}$ มีค่าเป็น “1089.22” $S'_{i,j}$ มีค่าเป็น “1039.22” จากตัวอย่างค่าที่ใกล้กับค่าเดิมที่สุดคือ $S'_{Li,j}$ มีค่าเป็น “989.22” ด้วยเหตุนี้ฟังก์ชันการค้นหาค่าที่ดีที่สุดจึงทำให้ภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการฝังลายน้ำลายน้ำดิจิทัลที่นำเสนอมีค่า $PSNR$ ที่สูงกว่า

ข. การฝังลายน้ำแบบเปราะบาง

ในขณะที่เดียวกันนำค่าบิตลายน้ำแบบเปราะบาง W_F (Fragile watermark) จากบริเวณของลายน้ำแบบเปราะบางที่แบ่งไว้แล้วมาฝังลงบนค่าเอกฐานลำดับที่สาม ในบริเวณของเมทริกซ์เอส ซึ่งได้จากการแปลงเอสวีตึบนแต่ละบริเวณที่ไม่ซ้อนทับกันขนาด 4×4 จุดภาพ โดยใช้สมการที่ (3.10)

$$\text{if } W_{F,ij} = 1 \text{ and } (S_{i,j} \bmod T_F) \geq \frac{1}{4}T_F$$

$$\text{if } W_{F,ij} = 1 \text{ and } (S_{i,j} \bmod T_F) < \frac{1}{4}T_F$$

$$\text{if } W_{F,ij} = 0 \text{ and } (S_{i,j} \bmod T_F) \leq \frac{3}{4}T_F$$

$$\text{if } W_{F,ij} = 0 \text{ and } (S_{i,j} \bmod T_F) > \frac{3}{4}T_F$$

$$\begin{cases} S'_{i,j} = S_{i,j} - (S_{i,j} \bmod T_F) + \frac{3}{4}T_F, \\ S'_{i,j} = \left[S_{i,j} - \frac{1}{4}T_F \right] - \left[(S_{i,j} - \frac{1}{4}T_F) \bmod T_F \right] + \frac{3}{4}T_F, \\ S'_{i,j} = S_{i,j} - (S_{i,j} \bmod T_F) + \frac{1}{4}T_F, \\ S'_{i,j} = \left[S_{i,j} - \frac{1}{2}T_F \right] - \left[(S_{i,j} - \frac{1}{2}T_F) \bmod T_F \right] + \frac{1}{4}T_F, \end{cases} \quad (3.10)$$

โดยที่ $S_{i,j}$ เป็นค่าเอกฐานลำดับที่สามในบริเวณของเมทริกซ์เอส

$S'_{i,j}$ เป็นค่าเอกฐานที่ถูกฝังลายน้ำแบบเปราะบางแล้ว

$W_{F,ij}$ เป็นค่าลายน้ำแบบเปราะบางที่จะฝังลงในบริเวณของเมทริกซ์เอส

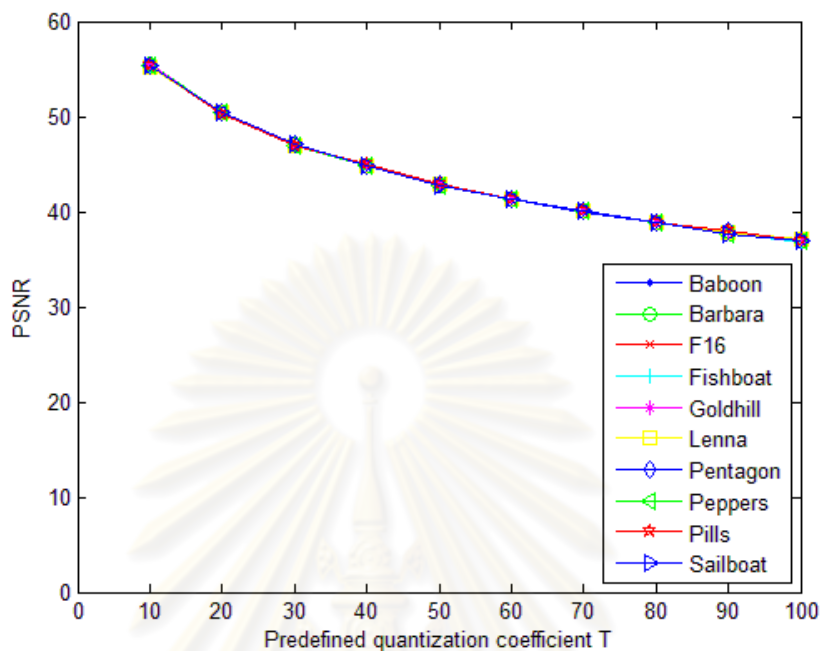
T_F เป็นช่วงค่าเอกฐานของลายน้ำแบบเปราะบาง

ปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาสำหรับการฝังลายน้ำอเนกประสงค์ในงานวิจัยนี้คือ การเลือกช่วงค่าเอกฐาน การเลือกตำแหน่งค่าเอกฐาน และการเลือกตำแหน่งค่าเอกฐานที่หลบเลี่ยงกัน

ก. การเลือกช่วงค่าเอกฐาน

เพื่อให้ลายน้ำดิจิทัลที่ฝังลงไปมีความทนทานสูงและไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างได้ด้วยตาเปล่า ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อหาค่า T ที่เหมาะสมกับงานวิจัยนี้

โดยกำหนดให้ค่า T ถูกเพิ่มครั้งละ 10 เริ่มตั้งแต่ 10 จนถึง 100 ดังแสดงในรูปที่ 3.9 กราฟค่า $PSNR$ ที่ได้จากการปรับค่า T เพิ่มขึ้นในแต่ละครั้ง

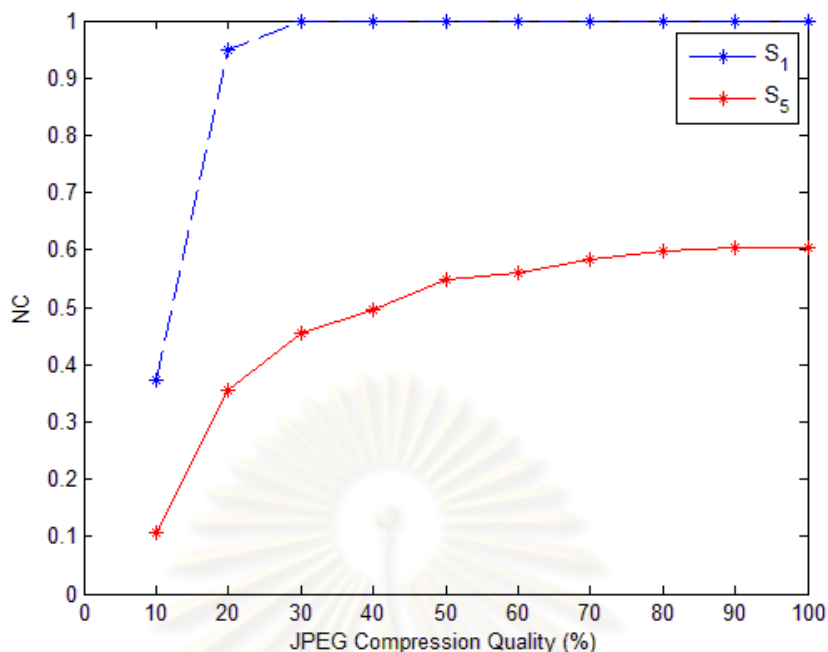


รูปที่ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ $PSNR$ กับการปรับค่า T

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อค่า T เพิ่มขึ้น ค่า $PSNR$ จะลดลง เพราะเมื่อช่วงของการควอนไทซ์เซชันกว้างขึ้นจะทำให้ค่าเอกฐานของรูปภาพต้นฉบับถูกเปลี่ยนแปลงไปจากค่าเดิมมากขึ้นด้วย ทำให้ผู้วิจัยค้นพบว่าค่า T ที่เหมาะสมสำหรับการฝังลายน้ำแบบคงทนในงานวิจัยนี้ควรอยู่ที่ 90 ส่วนค่า T ที่เหมาะสมสำหรับการฝังลายน้ำแบบเปราะบางควรอยู่ที่ 15

ข. การเลือกตำแหน่งค่าเอกฐาน

นอกจากการเลือกค่า T ที่เหมาะสมกับงานวิจัยแล้ว ยังมีปัจจัยสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาอีกตัวหนึ่งนั่นก็คือ การเลือกตำแหน่งค่าเอกฐาน เพื่อให้ลายน้ำดิจิทัลที่ฝังลงไป ในตำแหน่งที่เลือกไว้มีความทนทานสูง ผู้วิจัยจึงทำการทดลองเพื่อหาตำแหน่งค่าเอกฐาน S ที่เหมาะสมกับงานวิจัยนี้ จากความสัมพันธ์ของตำแหน่งค่าเอกฐานกับความคงทน โดยเลือกตำแหน่งค่าเอกฐานลำดับที่หนึ่ง S_1 และตำแหน่งค่าเอกฐานลำดับที่ห้า S_5 นำมาทำการฝังลายน้ำดิจิทัลตัวเดียวกันและกำหนดให้ T เท่ากับ 90 เหมือนกัน แล้วนำรูปภาพผลลัพธ์มาทำการบีบอัดภาพ โดยกำหนดระดับคุณภาพที่ 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% และ 100% ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 กราฟค่า NC ที่ได้จากการทดสอบ โดยวิธีการบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG ที่ระดับคุณภาพเพิ่มขึ้นในแต่ละครั้ง

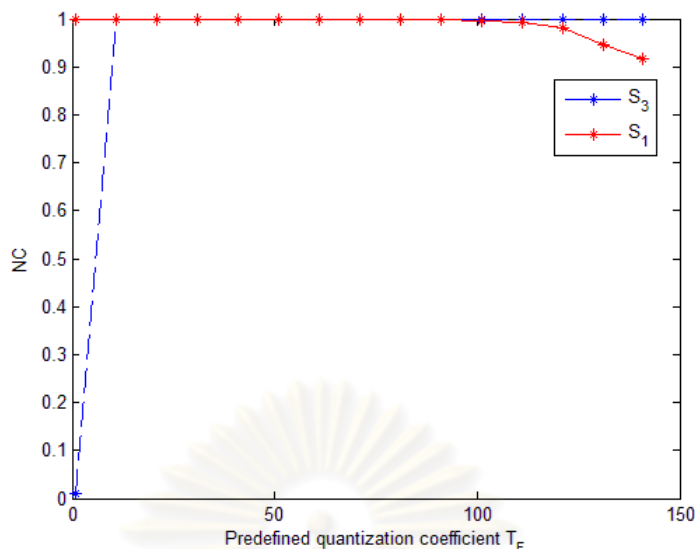


รูปที่ 3.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งค่าเอกฐานกับความคงทน

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มระดับการบีบอัดภาพมากขึ้น มีผลให้ค่าความคงทน NC ของลายน้ำที่ถอดได้จากตำแหน่งค่าเอกฐานลำดับที่หนึ่ง S_1 และค่าเอกฐานลำดับที่ห้า S_5 ลดลง แต่อย่างไรก็ตามค่า NC ของลายน้ำที่ถอดได้จากตำแหน่งค่าเอกฐานลำดับที่หนึ่ง S_1 มีค่าสูงกว่าตำแหน่งค่าเอกฐานลำดับที่ห้า S_5 อย่างชัดเจน ทำให้ผู้วิจัยสามารถนำมาสรุปผลได้ว่าการเลือกตำแหน่งที่มีผลต่อความคงทนโดยตรง เนื่องจากค่าพลังงานสูงจะมีความคงทนต่อการบีบอัดภาพมากกว่าค่าพลังงานต่ำ

ค. การเลือกตำแหน่งค่าเอกฐานที่หลบเลี่ยงกัน

หลังจากเลือกตำแหน่งค่าเอกฐานที่เหมาะสมสำหรับการฝังลายน้ำแบบคงทนและลายน้ำแบบเปราะบางแล้ว ปัจจัยสุดท้ายที่ต้องนำมาพิจารณาก็คือการหลบเลี่ยงไม่ให้ลายน้ำแบบคงทนและแบบเปราะบางชนกัน ดังนั้นผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมเพื่อจะรับประกันได้ว่าลายน้ำทั้งสองจะไม่เกิดการชนกัน โดยเริ่มจากทำการฝังลายน้ำแบบคงทนในตำแหน่งค่าเอกฐานลำดับที่หนึ่ง S_1 จากนั้นทำการฝังลายน้ำแบบเปราะบางในตำแหน่งค่าเอกฐานลำดับที่สาม S_3 โดยกำหนดให้ค่า T_F ถูกเพิ่มครั้งละ 10 เริ่มตั้งแต่ 10 จนถึง 150 ดังแสดงในรูปที่ 3.11 กราฟค่า NC ที่ได้จากการปรับค่า T_F เพิ่มขึ้นในแต่ละครั้ง



รูปที่ 3.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งค่าเอกฐานกับการปรับค่า T

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อช่วงค่าเอกฐานของลายน้ำแบบเปราะบาง T_F เพิ่มขึ้นถึง 100 จะมีผลให้ค่า NC ของลายน้ำแบบคงทนที่ถอดได้จากตำแหน่งค่าเอกฐานลำดับที่หนึ่ง S_1 นั้นมีค่าลดลง ในงานวิจัยนี้จึงกำหนดค่า T_F สำหรับการฝังลายน้ำแบบเปราะบางไว้เพียง 15 เท่านั้น วัตถุประสงค์แรกเพื่อเป็นการหลบเลี่ยงการชนกันระหว่างลายน้ำแบบคงทนและแบบเปราะบาง จากกราฟเห็นได้ชัดเจนว่า ค่าที่ถูกเลือกใช้ในงานวิจัยนี้ห่างจากจุดที่จะทำให้เกิดการชนกันมาก จึงสามารถรับประกันได้ว่าถ้าเลือกฝังลายน้ำแบบคงทนในตำแหน่งค่าเอกฐานลำดับที่หนึ่ง S_1 และเลือกฝังลายน้ำแบบคงทนในตำแหน่งค่าเอกฐานลำดับที่สาม S_3 จะไม่เกิดการชนกันของลายน้ำทั้งสองอย่างแน่นอน วัตถุประสงค์ที่สองเพื่อให้ลายน้ำแบบเปราะบางมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงแก้ไขข้อมูลบนรูปภาพที่มีลายน้ำฝังอยู่ได้ จึงจำเป็นต้องใช้ค่า T_F ที่มีค่าน้อย

3.1.6 การแปลงเอสวีดีกลับ (Inverse SVD)

เมื่อทำการฝังลายน้ำอเนกประสงค์ลงบนบริเวณเมทริกซ์เอส $S'_{i,j}$ ของภาพต้นฉบับเรียบร้อยแล้ว หลังจากนั้นทำการแปลงสามบริเวณเมทริกซ์ $U_{i,j}$, $S'_{i,j}$ และ $V_{i,j}$ ซึ่งอยู่ในโดเมนความถี่ ให้กลับเป็นโดเมนเวลาดังเดิมด้วยการทำการแปลงกลับเอสวีดี (Inverse single value decomposition) ตามสมการที่ (3.11) เพื่อทำการสร้างบริเวณเมทริกซ์ที่มีลายน้ำดิจิทัลฝังอยู่ $B'_{i,j}$ ทำซ้ำจนครบทุกบริเวณของภาพต้นฉบับ

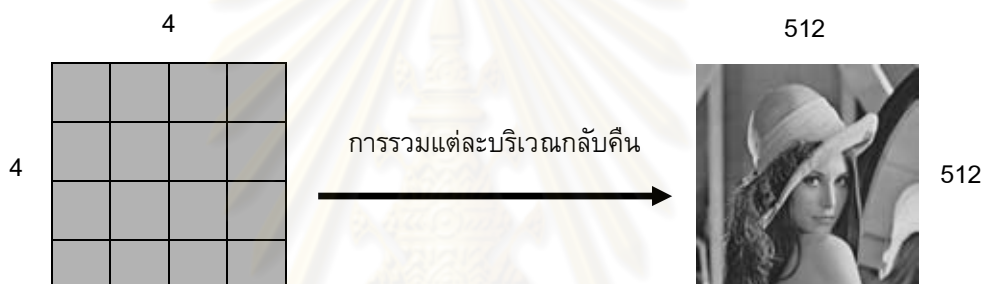
$$B'_{i,j} = U_{i,j} S'_{i,j} V_{i,j}^T \quad (3.11)$$

3.1.7 การถอดชุดสัญญาณรบกวนแบบสุ่มเทียมจากบริเวณของภาพต้นฉบับ

นำบริเวณของภาพต้นฉบับขนาด 8×8 จุดภาพ ที่ผ่านการฝังลายน้ำแบบคงทนแล้ว และยังคงมีการผสมสัญญาณรบกวนแบบสุ่มเทียมอยู่ จากนั้นทำการดึงสัญญาณรบกวนแบบสุ่มเทียมออก โดยใช้รหัสลับเดียวกันที่ใช้ในขั้นตอนการผสมสัญญาณรบกวนแบบสุ่มเทียมบนจุดภาพของบริเวณที่ไม่ซ้อนทับกันขนาด 8×8 จุดภาพ เพื่อถอดรหัสในแต่ละบริเวณของภาพต้นฉบับที่มีลายน้ำแบบคงทนฝังอยู่เดิมคืนมา

3.1.8 การรวมแต่ละบริเวณของภาพต้นฉบับกลับคืน (Watermarked image reconstruction)

เมื่อทำการแปลงกลับเอสวีดีจนครบทุกบริเวณของภาพแล้ว จากนั้นนำบริเวณทั้งหมดรวมกลับคืนซึ่งก็จะได้ภาพต้นฉบับที่มีลายน้ำอ่อนประสงค์ฝังอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 3.12

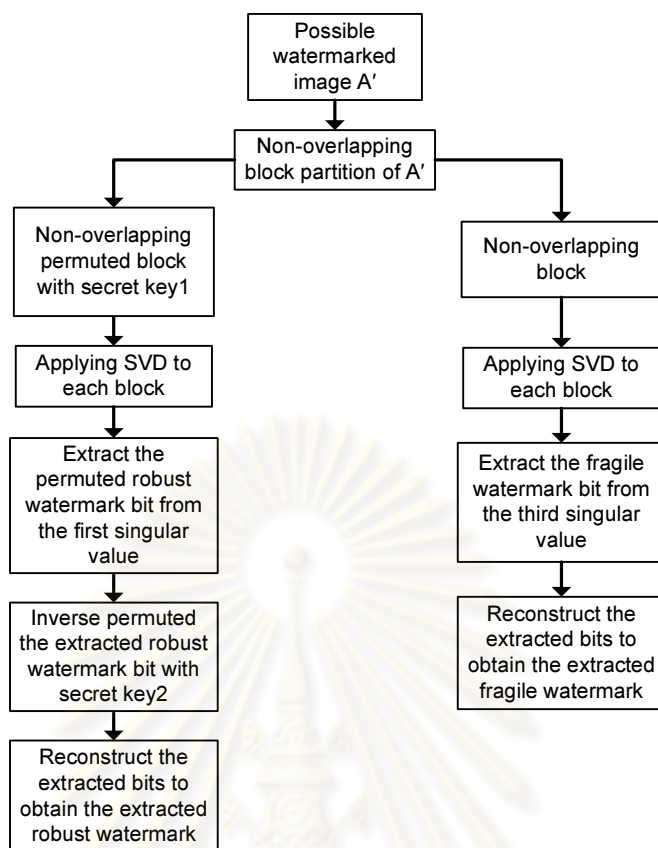


รูปที่ 3.12 การรวมแต่ละบริเวณของภาพต้นฉบับกลับคืน

3.2 วิธีการถอดลายน้ำอ่อนประสงค์ (Watermark extraction)

การถอดลายน้ำดิจิทัลแบบเปราะบางและแบบคงทนจากภาพที่ต้องการทดสอบใช้กระบวนการเดียวกับการฝังลายน้ำดิจิทัล ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ซึ่งอธิบายลำดับขั้นตอนได้ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.13 วิธีการถอดลายน้ำอเนกประสงค์

3.2.1 การแบ่งบริเวณภาพที่ต้องการทดสอบ (Non-overlapping block partition of watermarked image)

จากนั้นนำภาพที่ต้องการทดสอบมาทำการแบ่งพื้นที่ออกเป็นบริเวณที่ไม่ซ้อนทับกัน 2 ขนาด ได้แก่ 8×8 จุดภาพ และ 4×4 จุดภาพ จากนั้นทำการสลับตำแหน่งของบริเวณที่จะฝังลายน้ำแบบคงทน โดยใช้วิธีการผสมสัญญาณรบกวนแบบสุ่มเทียมก่อนที่จะทำการถอดลายน้ำแบบคงทนจากแต่ละบริเวณของภาพที่ต้องการทดสอบ

3.2.2 การแปลงเอสวีดี (Single value decomposition)

เมื่อได้บริเวณของภาพที่ต้องการทดสอบ ขนาด 8×8 จุดภาพ และ 4×4 จุดภาพ ที่มีลายน้ำดิจิทัลฝังอยู่มาแล้ว $B'_{i,j}$ มาแปลงเอสวีดี โดยใช้สมการที่ (3.12) ซึ่งจะทำให้ได้สามเมทริกซ์ $U_{i,j}$, $S'_{i,j}$ และ $V_{i,j}$

$$B'_{i,j} = U_{i,j} S'_{i,j} V_{i,j}^T \quad (3.12)$$

3.2.3 วิธีการถอดลายน้ำอเนกประสงค์จากภาพที่ต้องการทดสอบ (Extraction watermark)

วิธีการถอดบิตลายน้ำแบบคงทน W_R (Robust watermark) จากค่าเอกลักษณ์ลำดับที่หนึ่งในบริเวณเมทริกซ์เอส $S'_{i,j}$ ของภาพที่ต้องการทดสอบ ทำได้โดยใช้สมการที่ (3.13)

$$W'_{RPi,j} = ((S'_{i,j} \bmod T_R) / T_R) * 255 \quad (3.13)$$

โดยที่ $W'_{RPi,j}$ เป็นค่าลายน้ำแบบคงทนที่ถอดได้จากค่าเอกลักษณ์ลำดับที่หนึ่งในบริเวณเมทริกซ์เอส

$S'_{i,j}$ เป็นค่าเอกลักษณ์ที่มีลายน้ำแบบคงทนฝังอยู่

T_R เป็นช่วงค่าเอกลักษณ์ของลายน้ำแบบคงทน

วิธีการถอดบิตลายน้ำแบบเปราะบาง W_F (Fragile watermark) จากค่าเอกลักษณ์ลำดับที่สามในบริเวณเมทริกซ์เอส $S'_{i,j}$ ของภาพที่ต้องการทดสอบ ทำได้โดยใช้สมการที่ (3.14)

$$W'_{Fi,j} = \begin{cases} 1, (S'_{i,j} \bmod T_F) > \frac{T_F}{2} \\ 0, otherwise \end{cases} \quad (3.14)$$

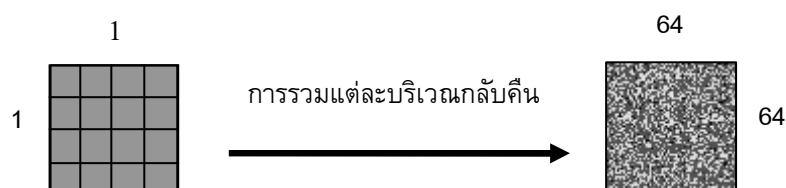
โดยที่ $S'_{i,j}$ เป็นค่าเอกลักษณ์ที่มีลายน้ำแบบเปราะบางฝังอยู่

$W'_{F,i,j}$ เป็นค่าลายน้ำแบบเปราะบางที่ถอดได้จากค่าเอกลักษณ์ลำดับที่สามในบริเวณเมทริกซ์เอส

T_F เป็นช่วงค่าเอกลักษณ์ของลายน้ำแบบเปราะบาง

3.2.4 การรวมแต่ละบริเวณของลายน้ำอเนกประสงค์กลับคืน (Reconstruct the extracted watermark bits to obtain the extracted watermark)

เมื่อทำการถอดหาลายน้ำแบบคงทนและแบบเปราะบางจากภาพที่ต้องการทดสอบจนครบทุกบริเวณแล้ว จากนั้นนำแต่ละบริเวณของลายน้ำดิจิทัลทั้งสองที่มีขนาด 1 จุดภาพมารวมกลับคืนซึ่งจะได้ลายน้ำแบบเปราะบางที่ถอดออกมาได้จากภาพที่ต้องการทดสอบ ส่วนลายน้ำแบบคงทนจะได้จุดภาพที่ยังคงมีสัญญาณรบกวนแบบสุ่มเต็มผสมอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การรวมภาพลายน้ำอเนกประสงค์แต่ละบริเวณกลับคืน 64×64 จุดภาพ

3.2.5 การถอดชุดสัญญาณรบกวนแบบสุ่มเทียม

นำจุดภาพของลายน้ำแบบคงทนที่ยังคงมีสัญญาณรบกวนแบบสุ่มเทียมผสมอยู่ มาทำการดึงจุดภาพของลายน้ำแบบคงทนออกจากสัญญาณรบกวนแบบสุ่มเทียม โดยใช้รหัสลับเดียวกันที่ใช้ในขั้นตอนการฝังลายน้ำแบบคงทน เพื่อถอดรหัสในแต่ละตำแหน่งจุดภาพของลายน้ำดิจิทัลค่าเดิมคืนมา ซึ่งจะได้ลายน้ำแบบคงทนที่ถอดได้จากภาพที่ต้องการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ลายน้ำแบบคงทนที่ถอดได้จากภาพที่ต้องการทดสอบ

3.3 การวัดค่าประสิทธิภาพ

ก. การวัดประสิทธิภาพการฝังลายน้ำดิจิทัล

คือการทดสอบค่าความเหมือนของภาพต้นฉบับกับภาพที่มีลายน้ำดิจิทัลฝังอยู่ โดยใช้เกณฑ์เชิงปริมาณนั้นคือ ถ้า $PSNR$ มีค่าสูงแสดงว่าภาพที่ฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว กับภาพต้นฉบับมีความเหมือนกันมากจนไม่สามารถมองเห็นความผิดเพี้ยนจากการฝังลายน้ำดิจิทัลได้ (สมการคำนวณค่าความผิดเพี้ยนของภาพมีอธิบายอยู่ในหัวข้อที่ 2.3.7 เกณฑ์การวัดประสิทธิภาพ (ข.))

ข. การวัดประสิทธิภาพการถอดลายน้ำดิจิทัลแบบเปราะบาง

คือการทดสอบค่าความเหมือนของลายน้ำดิจิทัลระหว่างลายน้ำดิจิทัลต้นฉบับกับลายน้ำดิจิทัลที่ถอดออกมาได้หลังผ่านการโจมตีแบบต่างๆ ซึ่งถ้า NC ที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียง 1 มากเท่าใด หมายถึงลายน้ำดิจิทัลที่ถอดออกมาได้จะมีความเหมือนกับลายน้ำดิจิทัลต้นฉบับมากขึ้นด้วยเช่นกัน (สมการคำนวณค่าความเหมือนของภาพมีอธิบายอยู่ในหัวข้อที่ 2.3.7 เกณฑ์การวัดประสิทธิภาพ (ค.))

ค. การวัดประสิทธิภาพการถอดลายน้ำดิจิทัลแบบคงทน

โดยใช้การวัดค่าความเหมือน คือการทดสอบค่าความเหมือนของลายน้ำดิจิทัลระหว่างลายน้ำดิจิทัลต้นฉบับกับลายน้ำดิจิทัลที่ถอดออกมาได้ หลังผ่านการโจมตีแบบต่างๆ

ซึ่งถ้า NC ที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียง 1 มากเท่าใด หมายถึงลายน้ำดิจิทัลที่ถอดออกมาได้จะมีความเหมือนกับลายน้ำดิจิทัลต้นฉบับมากขึ้นด้วยเช่นกัน (สมการคำนวณค่าความเหมือนของภาพมืออธิบายอยู่ในหัวข้อที่ 2.3.7 เกณฑ์การวัดประสิทธิภาพ (ค.))

ง. การวัดประสิทธิภาพการถอดลายน้ำดิจิทัล

โดยใช้การวัดค่าอัตราความผิดพลาด คือการทดสอบค่าอัตราความผิดพลาดระหว่างจำนวนบิตลายน้ำดิจิทัลต้นฉบับและจำนวนบิตลายน้ำดิจิทัลที่ถอดได้ หลังผ่านการโจมตีแบบต่างๆ ซึ่งถ้า BER ที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียง 0 มากเท่าใดแสดงว่าจำนวนบิตลายน้ำดิจิทัลที่ถอดออกมาได้จะมีความเหมือนกับจำนวนบิตลายน้ำดิจิทัลต้นฉบับมากขึ้นด้วยเช่นกัน (สมการคำนวณค่าความผิดพลาดของภาพมืออธิบายอยู่ในหัวข้อที่ 2.3.7 เกณฑ์การวัดประสิทธิภาพ (ง.))



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ผลการทดลองของวิธีการฝังและถอดลายน้ำอเนกประสงค์ การทดสอบความคงทนและเปราะบางของลายน้ำอเนกประสงค์ การทดสอบประสิทธิภาพด้วย *PSNR* และการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม จากการดำเนินงานวิจัยนี้

4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ คือ Matlab เวอร์ชัน R2009

4.1.2 ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการทดลองคือ ซีพียู Intel® Core™ 2 Duo processor T7500 หน่วยความจำ 2 GB ฮาร์ดดิสก์ 160 GB บนระบบปฏิบัติการ Microsoft Window 7

4.1.3 รูปภาพที่ใช้ในการทดลอง มีดังนี้

ก. รูปภาพระดับสีเทาขนาด 512×512 จุดภาพจำนวน 10 ภาพ มีไฟล์ภาพนามสกุล .BMP ซึ่งมีขนาด 8 บิตต่อหนึ่งจุดภาพ ใช้แทนรูปภาพต้นฉบับ

ข. รูปภาพระดับสีเทาขนาด 32×32 จุดภาพ จำนวน 1 ภาพ มีไฟล์ภาพนามสกุล .BMP ใช้แทนลายน้ำแบบคงทน

ค. รูปภาพขาวดำขนาด 128×128 จุดภาพ จำนวน 1 ภาพ มีไฟล์ภาพนามสกุล .BMP ใช้แทนลายน้ำแบบเปราะบาง




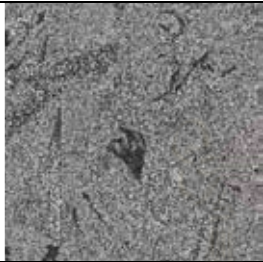





4.2 ผลการทดลอง

4.2.1 วิธีการฝังและถอดลายน้ำอเนกประสงค์













การทดลองนี้จะใช้รูปภาพระดับสีเทาขนาด 32×32 จุดภาพ จำนวน 1 ภาพ แทนลายน้ำแบบคงทน และใช้รูปภาพขาวดำขนาด 128×128 จุดภาพ จำนวน 1 ภาพ แทนลายน้ำแบบเปราะบาง ฝังลงในตำแหน่งที่ไม่ทับซ้อนกันบนรูปภาพต้นฉบับ ซึ่งเป็นภาพระดับสีเทาขนาด 512×512 จุดภาพ จำนวน 10 ภาพ จากนั้นทำการเปรียบเทียบรูปภาพต้นฉบับกับรูปภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการฝังลายน้ำแบบคงทนและลายน้ำแบบเปราะบางแล้ว ด้วยการวัดค่า *PSNR* ต่อมาทำการถอดลายน้ำแบบคงทนและลายน้ำแบบเปราะบางจากรูปภาพผลลัพธ์

ทั้งหมด แล้วทำการเปรียบเทียบลายน้ำแบบคงทนต้นฉบับกับลายน้ำแบบคงทนที่ถอดได้ และลายน้ำแบบเปราะบางต้นฉบับกับลายน้ำแบบเปราะบางที่ถอดได้ ด้วยการวัดค่า *NC* และ *BER* โดยรูปภาพต้นฉบับ, ลายน้ำแบบคงทนที่ถอดได้, ลายน้ำแบบเปราะบางที่ถอดได้, ค่า *PSNR*, *NC* และ *BER* ดังแสดงในตารางที่ 4.1




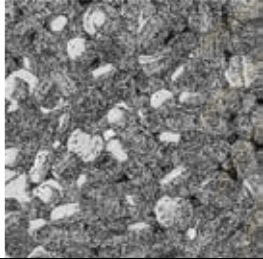





ตารางที่ 4.1 รูปภาพต้นฉบับ ลายน้ำคงทนและลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้

ชื่อรูปภาพต้นฉบับ				
รูปภาพต้นฉบับ	ลายน้ำคงทนที่ถอดได้		ลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้	
<i>PSNR</i> (dB)	<i>NC</i>	<i>BER</i>	<i>NC</i>	<i>BER</i>
1. Baboon				
				
41.262	1.000	0.000	1.000	0.000
2. Barbara				
				
41.566	1.000	0.000	1.000	0.000
3. F16				
				
41.101	1.000	0.000	1.000	0.000

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ชื่อรูปภาพต้นฉบับ				
รูปภาพต้นฉบับ	ลายน้ำคงทนที่ถอดได้		ลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้	
<i>PSNR</i> (dB)	<i>NC</i>	<i>BER</i>	<i>NC</i>	<i>BER</i>
4. Fishboat				
				
41.480	1.000	0.000	1.000	0.000
5. Goldhill				
				
41.415	1.000	0.000	1.000	0.000
6. Lena				
				
41.562	1.000	0.000	1.000	0.000
7. Pentagon				
				
41.381	1.000	0.000	1.000	0.000

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ชื่อรูปภาพต้นฉบับ				
รูปภาพต้นฉบับ	ลายน้ำคงทนที่ถอดได้		ลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้	
<i>PSNR</i> (dB)	<i>NC</i>	<i>BER</i>	<i>NC</i>	<i>BER</i>
8. Peppers				
				
41.437	1.000	0.000	1.000	0.000
9. Pills				
				
41.034	1.000	0.000	1.000	0.000
10. Sailboat				
				
41.061	1.000	0.000	1.000	0.000

4.2.2 การทดสอบความคงทนและเปราะบางของลายน้ำอเนกประสงค์

การโจมตีที่ใช้ในการทดสอบมีทั้งหมด 6 รูปแบบ ดังนี้

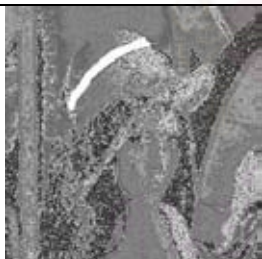


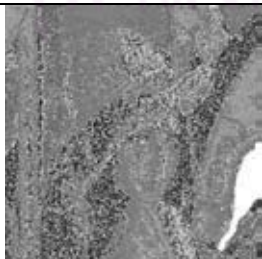


- 1) การแก้ไขปลอมแปลงรูปภาพ (Image faking)
- 2) การตัดภาพเป็นบางส่วน (Image cropping)
- 3) การบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG (JPEG compression)

- 4) การแทรกสัญญาณรบกวนแบบ Salt & Pepper (Noise adding)
- 5) การปรับคุณภาพของรูปภาพโดยใช้ฟิลเตอร์ (Image filtering)
- 6) การปรับขนาดภาพ (Image scaling)
- 7) การหมุนภาพ (Image rotation)

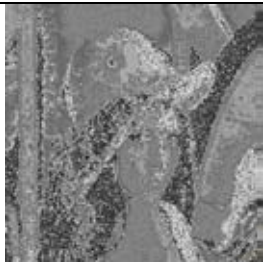

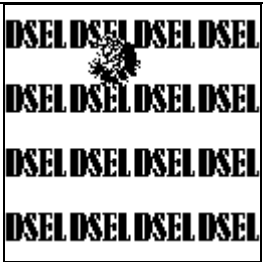
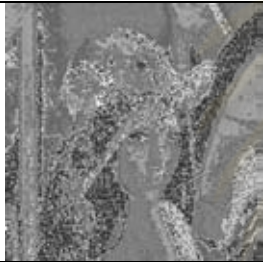
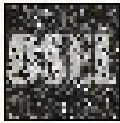




ก. การทดสอบโดยวิธีการแก้ไขปลอมแปลงรูปภาพ

เป็นการนำภาพผลลัพธ์มาทำการแก้ไขปลอมแปลงรูปภาพ โดยเจตนาที่จะบิดเบือนความหมายของรูปภาพ ด้วยการเพิ่มหรือลบรายละเอียดข้อมูลบนรูปภาพผลลัพธ์ ในสัดส่วนพื้นที่ขนาดต่างกัน โดยใช้โปรแกรม Adobe Photoshop เวอร์ชัน 7.0 แล้วทำการถอดลายน้ำแบบคงทนและลายน้ำแบบเปราะบางจากรูปภาพที่ถูกแก้ไขแต่ละรูปแบบ ผลการทดลองที่ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองของการแก้ไขปลอมแปลงรูปภาพ

ประเภทการโจมตี				
รูปภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการโจมตี	ลายน้ำคงทนที่ถอดได้		ลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้	
<i>PSNR</i> (dB)	<i>NC</i>	<i>BER</i>	<i>NC</i>	<i>BER</i>
1. ลบหมวก				
				
25.505	0.969	0.013	0.973	0.011
2. ลบฉากหลังขวา				
				
28.483	0.978	0.009	0.949	0.021

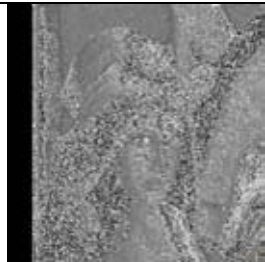


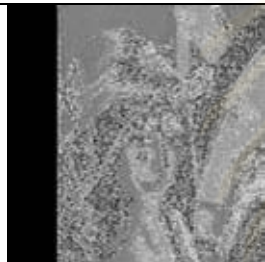


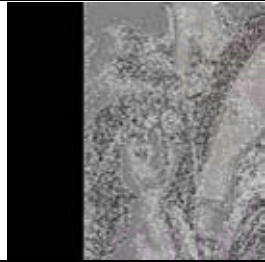


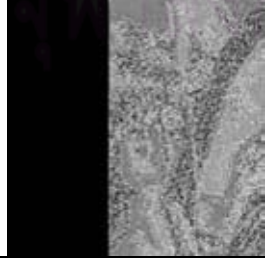


ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ประเภทการโจมตี				
รูปภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการโจมตี	ลายน้ำคางทงที่ถอดได้		ลายน้ำเประบางที่ถอดได้	
<i>PSNR</i> (dB)	<i>NC</i>	<i>BER</i>	<i>NC</i>	<i>BER</i>
3. เพิ่มดอกไม้ 1 ดอก				
				
32.992	0.967	0.014	0.955	0.019
4. เพิ่มดอกไม้ 3 ดอก				
				
23.941	0.772	0.093	0.881	0.051
5. เพิ่มดอกไม้และแก้ไขฉากหลังซ้าย				
				
19.193	0.791	0.090	0.788	0.095

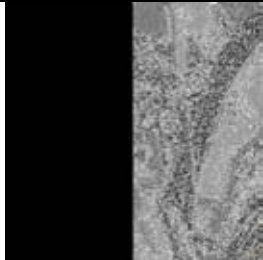





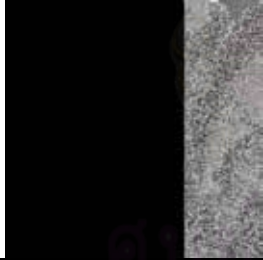



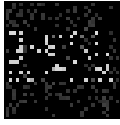

ข. การตัดภาพเป็นบางส่วน

การทดสอบโดยวิธีการตัดภาพเป็นบางส่วน เป็นการนำรูปภาพผลลัพธ์มาทำการตัดภาพตั้งแต่ขนาด 10 % ไปจนถึง 90 % ด้วยอัลกอริทึมของ `crop` ในโปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน R2009 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการถอดลายน้ำแบบคางทงและลายน้ำแบบเประบางที่อยู่ในรูปภาพ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และสามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.1

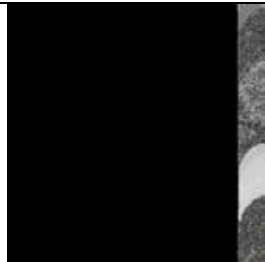


ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองของการตัดภาพเป็นบางส่วน

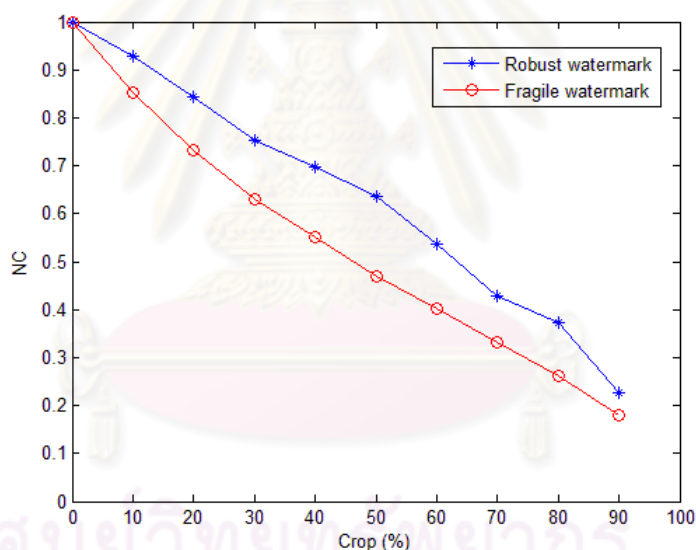
ประเภทการโจมตี				
รูปภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการโจมตี	ลายน้ำคงทนที่ถอดได้		ลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้	
<i>PSNR</i> (dB)	<i>NC</i>	<i>BER</i>	<i>NC</i>	<i>BER</i>
1. การตัดภาพออก 10 % ของพื้นที่เดิม				
				
15.560	0.929	0.029	0.852	0.070
2. การตัดภาพออก 20 % ของพื้นที่เดิม				
				
13.364	0.844	0.063	0.731	0.141
3. การตัดภาพออก 30 % ของพื้นที่เดิม				
				
11.896	0.753	0.100	0.630	0.214
4. การตัดภาพออก 40 % ของพื้นที่เดิม				
				
10.866	0.697	0.121	0.551	0.283

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ประเภทการโจมตี				
รูปภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการโจมตี	ลายน้ำคงทนที่ถอดได้		ลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้	
<i>PSNR</i> (dB)	<i>NC</i>	<i>BER</i>	<i>NC</i>	<i>BER</i>
5. การตัดภาพออก 50 % ของพื้นที่เดิม				
			DSEL DSEL DSEL DSEL DSEL DSEL DSEL DSEL	
9.671	0.637	0.145	0.470	0.358
6. การตัดภาพออก 60 % ของพื้นที่เดิม				
			DSEL DSEL DSEL DSEL DSEL DSEL DSEL DSEL	
8.376	0.537	0.181	0.401	0.427
7. การตัดภาพออก 70 % ของพื้นที่เดิม				
			DSEL DSEL DSEL DSEL DSEL DSEL DSEL DSEL	
7.404	0.428	0.215	0.331	0.498
8. การตัดภาพออก 80 % ของพื้นที่เดิม				
			DSEL DSEL DSEL DSEL DSEL DSEL DSEL DSEL	
6.777	0.372	0.234	0.261	0.570

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ประเภทการโจมตี				
รูปภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการโจมตี	ลายน้ำคงทนที่ถอดได้		ลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้	
<i>PSNR</i> (dB)	<i>NC</i>	<i>BER</i>	<i>NC</i>	<i>BER</i>
9. การตัดภาพออก 90 % ของพื้นที่เดิม				
				
6.197	0.228	0.265	0.180	0.641





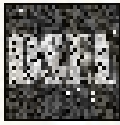

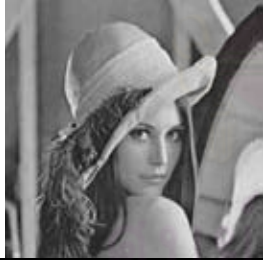







รูปที่ 4.1 กราฟผลการทดลองของการตัดภาพเป็นบางส่วน




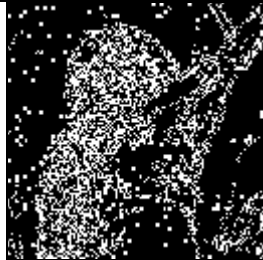
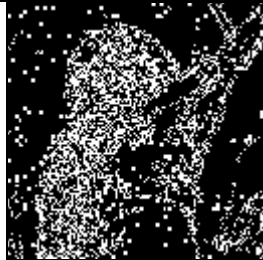



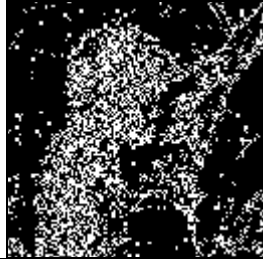
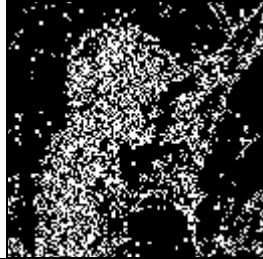
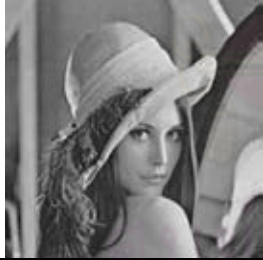


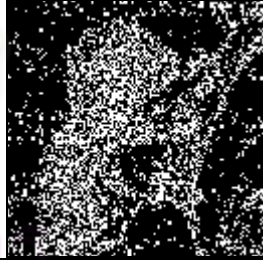
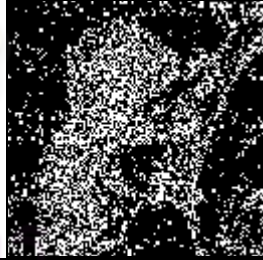



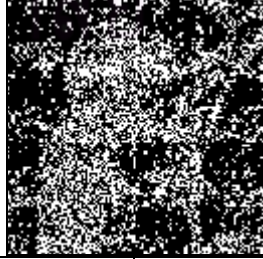
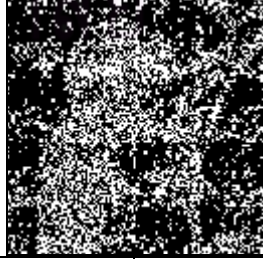
ค. การบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG

การทดสอบโดยวิธีการบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG เป็นการนำรูปภาพผลลัพธ์มาทำการบีบอัดภาพ โดยกำหนดระดับคุณภาพที่ 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% และ 100% ตามลำดับ ด้วยอัลกอริทึมของ JPEG ในโปรแกรม Matlab เวอร์ชัน R2009 ลายน้ำแบบคงทนและลายน้ำแบบเปราะบางที่ถอดได้ แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.4 และสามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.2

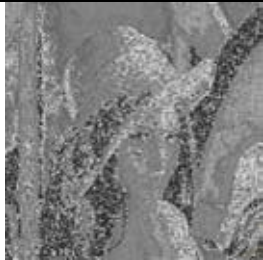

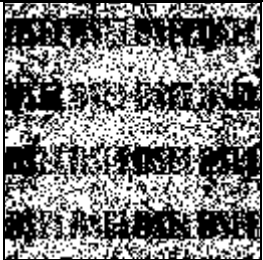



ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองของการบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG

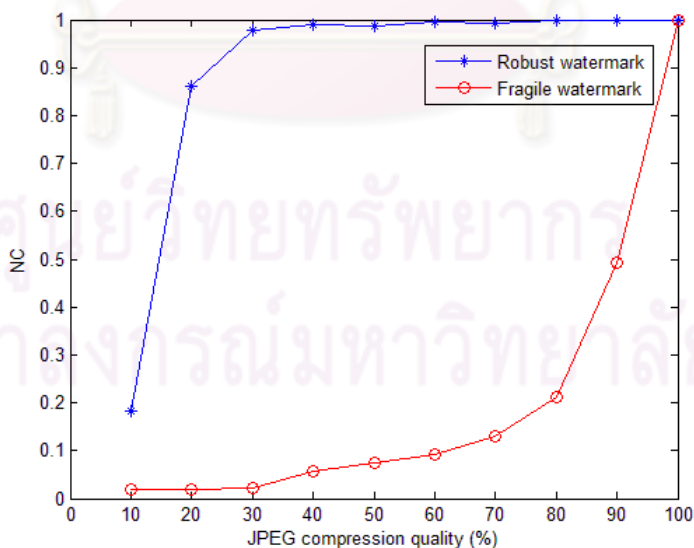
ประเภทการโจมตี				
รูปภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการโจมตี	ลายน้ำคงทนที่ถอดได้		ลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้	
<i>PSNR</i> (dB)	<i>NC</i>	<i>BER</i>	<i>NC</i>	<i>BER</i>
1. การบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG ที่ระดับคุณภาพ 10%				
				
30.215	0.182	0.352	0.020	0.670
2. การบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG ที่ระดับคุณภาพ 20%				
				
32.693	0.860	0.057	0.018	0.647
3. การบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG ที่ระดับคุณภาพ 30%				
				
33.941	0.979	0.009	0.023	0.635
4. การบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG ที่ระดับคุณภาพ 40%				
				
34.749	0.990	0.004	0.056	0.610

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ประเภทการโจมตี				
รูปภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการโจมตี	ลายน้ำคงทนที่ถอดได้		ลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้	
<i>PSNR</i> (dB)	<i>NC</i>	<i>BER</i>	<i>NC</i>	<i>BER</i>
5. การบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG ที่ระดับคุณภาพ 50%				
				
35.381	0.986	0.006	0.079	0.589
6. การบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG ที่ระดับคุณภาพ 60%				
				
35.999	0.995	0.002	0.091	0.580
7. การบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG ที่ระดับคุณภาพ 70%				
				
36.825	0.993	0.003	0.131	0.552
8. การบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG ที่ระดับคุณภาพ 80%				
				
37.963	0.998	0.001	0.212	0.490

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ประเภทการโจมตี				
รูปภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการโจมตี	ลายน้ำคงทนที่ถอดได้		ลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้	
<i>PSNR</i> (dB)	<i>NC</i>	<i>BER</i>	<i>NC</i>	<i>BER</i>
9. การบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG ที่ระดับคุณภาพ 90%				
				
40.182	0.998	0.001	0.494	0.269
10. การบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG ที่ระดับคุณภาพ 100%				
				
58.499	1.000	0.000	1.000	0.000

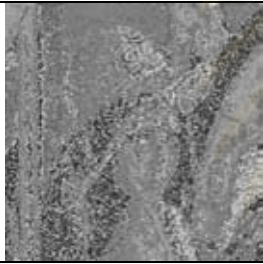


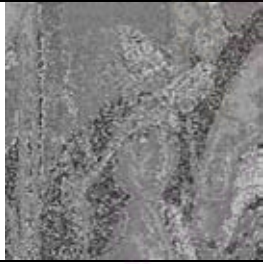







รูปที่ 4.2 กราฟผลการทดลองของการบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG

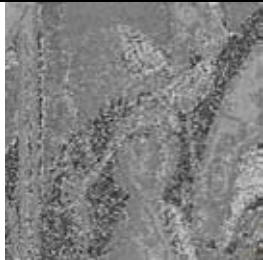


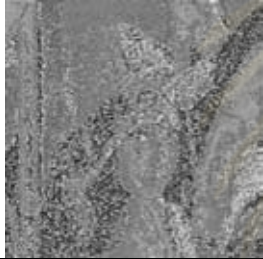
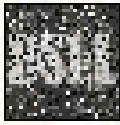

ง. การแทรกสัญญาณรบกวนแบบ Salt & Pepper

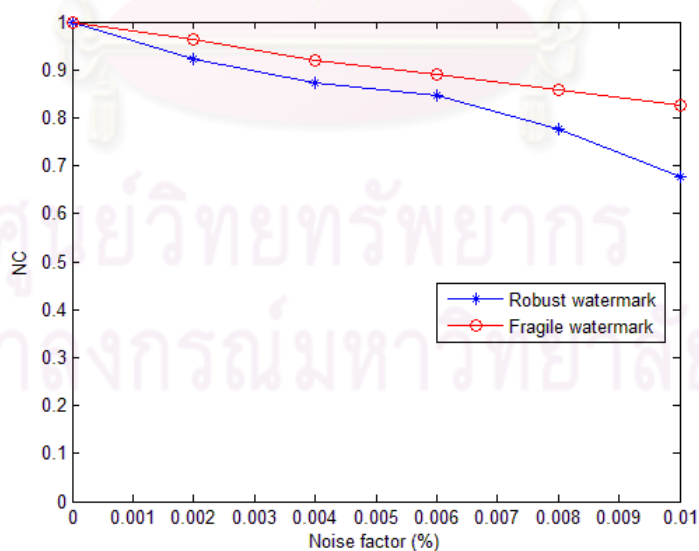
การทดสอบโดยวิธีการแทรกสัญญาณรบกวนแบบ Salt & Pepper เป็นการนำภาพผลลัพธ์มาทำการแทรกสัญญาณรบกวน โดยกำหนดค่า Noise Density ตั้งแต่ 0.000 ถึง 0.01 ด้วยอัลกอริทึมของ Noise ในโปรแกรม Matlab เวอร์ชัน R2009 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการถอดลายน้ำคงทนและลายน้ำเปราะบางที่อยู่ในรูปภาพ ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และสามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองของการแทรกสัญญาณรบกวนแบบ Salt & Pepper

ประเภทการโจมตี				
รูปภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการโจมตี	ลายน้ำคงทนที่ถอดได้		ลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้	
<i>PSNR</i> (dB)	<i>NC</i>	<i>BER</i>	<i>NC</i>	<i>BER</i>
1. การแทรกสัญญาณรบกวนแบบ Salt & Pepper ที่ระดับ Noise Density 0.002				
				
32.421	0.922	0.032	0.964	0.015
2. การแทรกสัญญาณรบกวนแบบ Salt & Pepper ที่ระดับ Noise Density 0.004				
				
29.257	0.872	0.053	0.921	0.033
3. การแทรกสัญญาณรบกวนแบบ Salt & Pepper ที่ระดับ Noise Density 0.006				
				
27.713	0.846	0.065	0.891	0.046

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

ประเภทการโจมตี				
รูปภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการโจมตี	ลายน้ำคงทนที่ถอดได้		ลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้	
<i>PSNR</i> (dB)	<i>NC</i>	<i>BER</i>	<i>NC</i>	<i>BER</i>
4. การแทรกสัญญาณรบกวนแบบ Salt & Pepper ที่ระดับ Noise Density 0.008				
				
26.362	0.777	0.096	0.859	0.060
5. การแทรกสัญญาณรบกวนแบบ Salt & Pepper ที่ระดับ Noise Density 0.01				
				
25.427	0.678	0.140	0.825	0.075





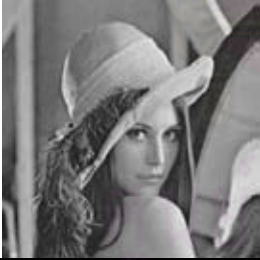






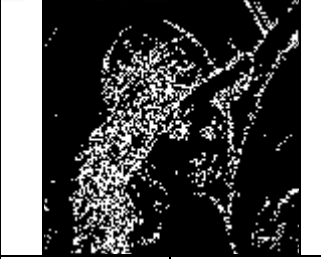


รูปที่ 4.3 กราฟผลการทดลองของการแทรกสัญญาณรบกวนแบบ Salt & Pepper





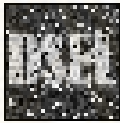

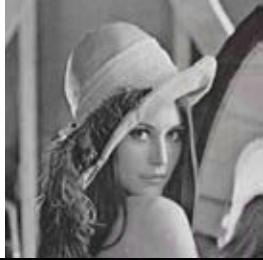
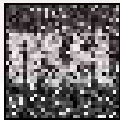
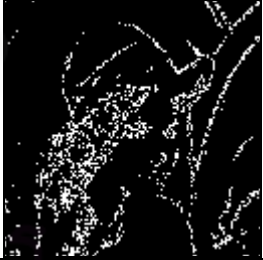
จ. การปรับปรุงคุณภาพของรูปภาพโดยใช้ฟิลเตอร์

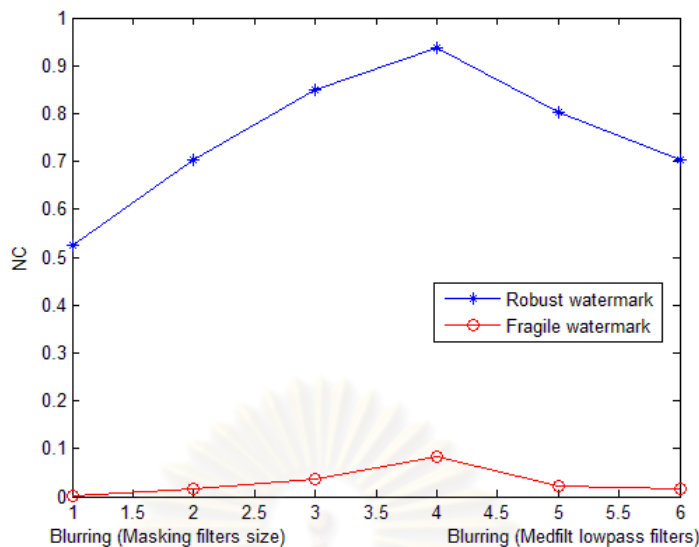
เป็นการนำรูปภาพผลลัพธ์มาทำการปรับปรุงคุณภาพ โดยใช้ฟิลเตอร์ ได้ทำการทดลองในการปรับรูปภาพให้มัวลง ซึ่งกำหนดให้ฟิลเตอร์มีขนาดต่างๆ ได้แก่ 3×3, 5×5 และ 7×7 ตามลำดับ ด้วยอัลกอริทึมของ Filter2 และ Medfilter2 ในโปรแกรม Matlab เวอร์ชัน R2009 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการถอดลายน้ำแบบคงทนและลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้ที่อยู่ในรูปภาพ ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และสามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองของการปรับปรุงคุณภาพของรูปภาพโดยใช้ฟิลเตอร์

ประเภทการโจมตี				
รูปภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการโจมตี	ลายน้ำคงทนที่ถอดได้		ลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้	
<i>PSNR</i> (dB)	<i>NC</i>	<i>BER</i>	<i>NC</i>	<i>BER</i>
1. การปรับรูปภาพให้มัวลง โดยใช้ฟิลเตอร์ 7×7				
				
26.324	0.524	0.221	0.001	0.695
2. การปรับรูปภาพให้มัวลง โดยใช้ฟิลเตอร์ 5×5				
				
28.293	0.702	0.132	0.015	0.673
3. การปรับรูปภาพให้มัวลง โดยใช้ฟิลเตอร์ 3×3				
				
31.938	0.848	0.065	0.036	0.643

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

ประเภทการโจมตี				
รูปภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการโจมตี	ลายน้ำคงทนที่ถอดได้		ลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้	
<i>PSNR</i> (dB)	<i>NC</i>	<i>BER</i>	<i>NC</i>	<i>BER</i>
4. การปรับรูปภาพให้มัวลง โดยใช้มีเดียฟิลเตอร์ 3×3				
				
35.361	0.938	0.026	0.084	0.615
5. การปรับรูปภาพให้มัวลง โดยใช้มีเดียฟิลเตอร์ 5×5				
				
31.181	0.802	0.089	0.021	0.659
6. การปรับรูปภาพให้มัวลง โดยใช้มีเดียฟิลเตอร์ 7×7				
				
28.982	0.704	0.133	0.015	0.674

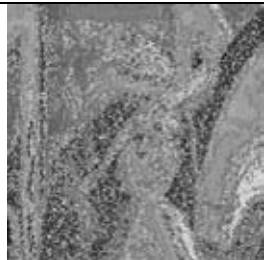
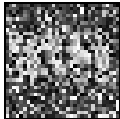



รูปที่ 4.4 กราฟผลการทดลองของการปรับปรุงคุณภาพของรูปภาพโดยใช้ฟิลเตอร์

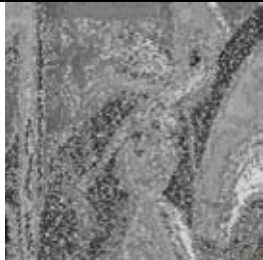
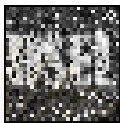

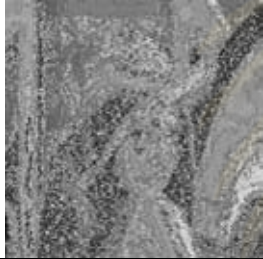
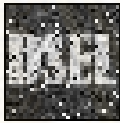
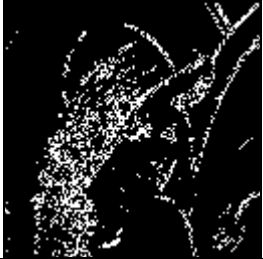

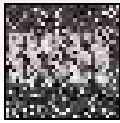

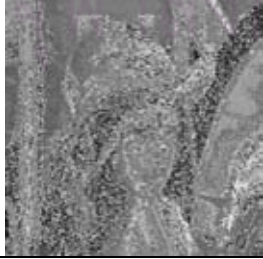
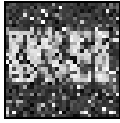

จ. การปรับขนาดภาพ

การทดสอบโดยวิธีการปรับขนาดภาพ เป็นการนำภาพผลลัพธ์มาทำการย่อขนาดลงเหลือ 90%, 80%, 70%, 60%, 50%, 40% และ 30% ของพื้นที่เดิม หรือทำการขยายขนาดเพิ่มเป็น 140%, 150%, 160%, 170%, 180%, 190% และ 200% ของพื้นที่เดิม จากนั้นจะทำการปรับขนาดภาพกลับสู่ขนาดเดิมอีกครั้ง ด้วยอัลกอริทึมในการประมาณค่าขาดหาย (Interpolation) แบบ Bilinear ในโปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน R2009 จากนั้นทำการถอดลายน้ำแบบคงทนและแบบเปราะบางจากรูปภาพที่ถูกปรับขนาด แสดงดังแสดงในตารางที่ 4.7 และสามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.5

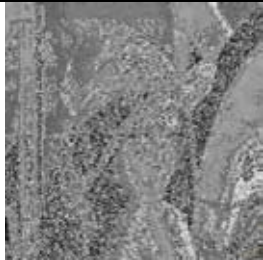
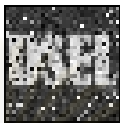

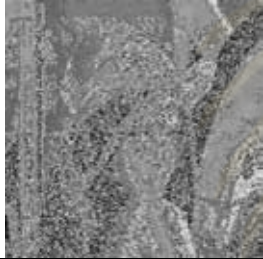

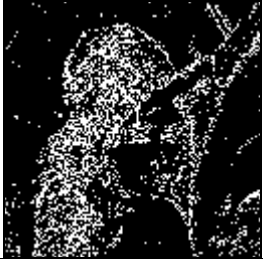



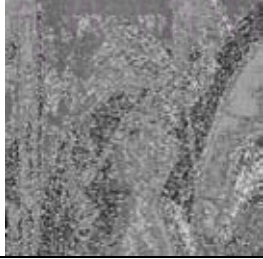


ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองของการปรับขนาดภาพ

ประเภทการโจมตี				
รูปภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการโจมตี	ลายน้ำคงทนที่ถอดได้		ลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้	
<i>PSNR</i> (dB)	<i>NC</i>	<i>BER</i>	<i>NC</i>	<i>BER</i>
1. ย่อขนาดภาพ 30 %				
				
27.063	0.451	0.252	0.019	0.685


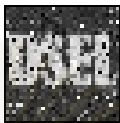

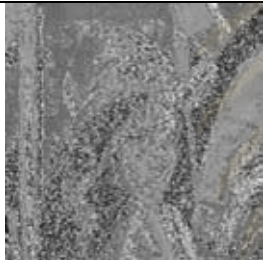


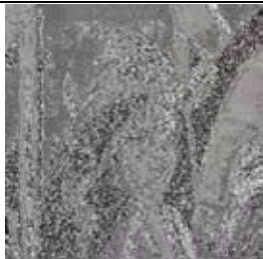


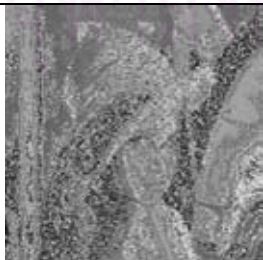


ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ประเภทการโจมตี				
รูปภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการโจมตี	ลายน้ำคงทนที่ถอดได้		ลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้	
<i>PSNR</i> (dB)	<i>NC</i>	<i>BER</i>	<i>NC</i>	<i>BER</i>
2. ย่อขนาดภาพ 40 %				
				
29.757	0.707	0.129	0.029	0.666
3. ย่อขนาดภาพ 50 %				
				
28.82	0.841	0.066	0.016	0.665
4. ย่อขนาดภาพ 60 %				
				
28.767	0.604	0.180	0.008	0.653
5. ย่อขนาดภาพ 70 %				
				
31.186	0.682	0.137	0.034	0.636

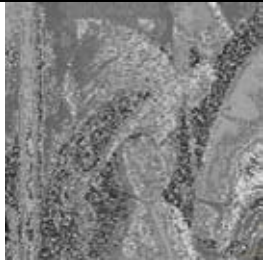


ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

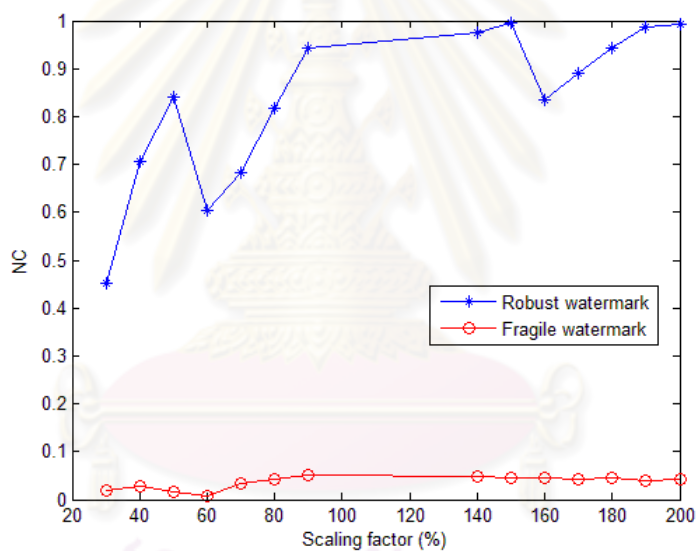
ประเภทการโจมตี				
รูปภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการโจมตี	ลายน้ำคงทนที่ถอดได้		ลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้	
<i>PSNR</i> (dB)	<i>NC</i>	<i>BER</i>	<i>NC</i>	<i>BER</i>
6. ย่อขนาดภาพ 80 %				
				
33.738	0.816	0.078	0.043	0.630
7. ย่อขนาดภาพ 90 %				
				
36.310	0.942	0.024	0.050	0.623
8. ขยายขนาดภาพ 140 %				
				
	0.974	0.011	0.049	0.623
9. ขยายขนาดภาพ 150 %				
				
38.294	0.995	0.002	0.045	0.627

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ประเภทการโจมตี				
รูปภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการโจมตี	ลายน้ำคงทนที่ถอดได้		ลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้	
<i>PSNR</i> (dB)	<i>NC</i>	<i>BER</i>	<i>NC</i>	<i>BER</i>
10. ขยายขนาดภาพ 160 %				
				
34.929	0.836	0.069	0.045	0.621
11. ขยายขนาดภาพ 170 %				
				
36.389	0.891	0.046	0.043	0.624
12. ขยายขนาดภาพ 180 %				
				
37.641	0.942	0.024	0.044	0.625
13. ขยายขนาดภาพ 190 %				
				
38.415	0.986	0.006	0.040	0.628

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ประเภทการโจมตี				
รูปภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการโจมตี	ลายน้ำคงทนที่ถอดได้		ลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้	
<i>PSNR</i> (dB)	<i>NC</i>	<i>BER</i>	<i>NC</i>	<i>BER</i>
14. ขยายขนาดภาพ 200 %				
				
37.833	0.993	0.003	0.042	0.629

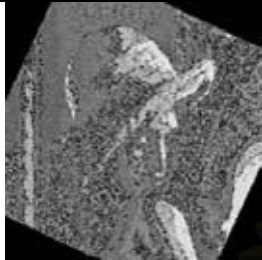




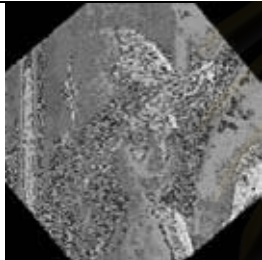




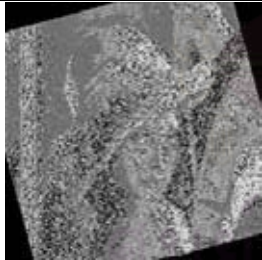




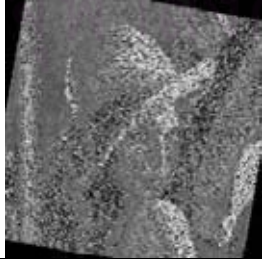






รูปที่ 4.5 กราฟผลการทดลองของการปรับขนาดภาพ

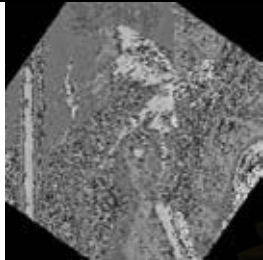


ข. การหมุนภาพ

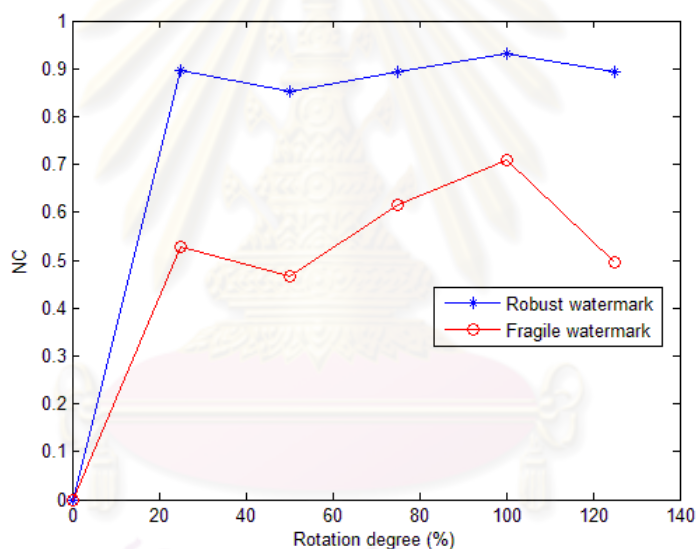
การทดสอบโดยวิธีการหมุนภาพ เป็นการนำภาพผลลัพธ์มาทำการหมุนรูปภาพด้วยมุมต่างๆ ตั้งแต่ที่ 25 องศาไปจนถึง 125 องศา โดยขยับไปครั้งละ 25 องศา และตัดขอบของรูปภาพใหม่ที่ได้ทิ้งให้มียุทธศาสตร์เท่ารูปภาพเดิม (Cropped) จากนั้นทำการหมุนภาพกลับมามุมเดิม โดยใช้อัลกอริธึมการประมาณค่าขาดหาย (Interpolation) แบบ Bicubic ในโปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน R2009 จากนั้นทำการถอดลายน้ำแบบคงทนและแบบเปราะบางจากรูปภาพที่ถูกหมุนไปแต่ละมุม แสดงดังแสดงในตารางที่ 4.8 และสามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองของการหมุนภาพ

ประเภทการโจมตี				
รูปภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการโจมตี	ลายน้ำคงทนที่ถอดได้		ลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้	
<i>PSNR</i> (dB)	<i>NC</i>	<i>BER</i>	<i>NC</i>	<i>BER</i>
1. หมุนภาพเป็นมุม 25 องศา				
				
14.554	0.896	0.042	0.528	0.238
2. หมุนภาพเป็นมุม 50 องศา				
				
13.903	0.852	0.060	0.465	0.279
3. หมุนภาพเป็นมุม 75 องศา				
				
16.274	0.894	0.043	0.616	0.187
4. หมุนภาพเป็นมุม 100 องศา				
				
17.403	0.931	0.028	0.710	0.135

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

ประเภทการโจมตี				
รูปภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการโจมตี	ลายน้ำคงทนที่ถอดได้		ลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้	
<i>PSNR</i> (dB)	<i>NC</i>	<i>BER</i>	<i>NC</i>	<i>BER</i>
5. หมุนภาพเป็นมุม 125 องศา				
				
13.882	0.894	0.043	0.496	0.260

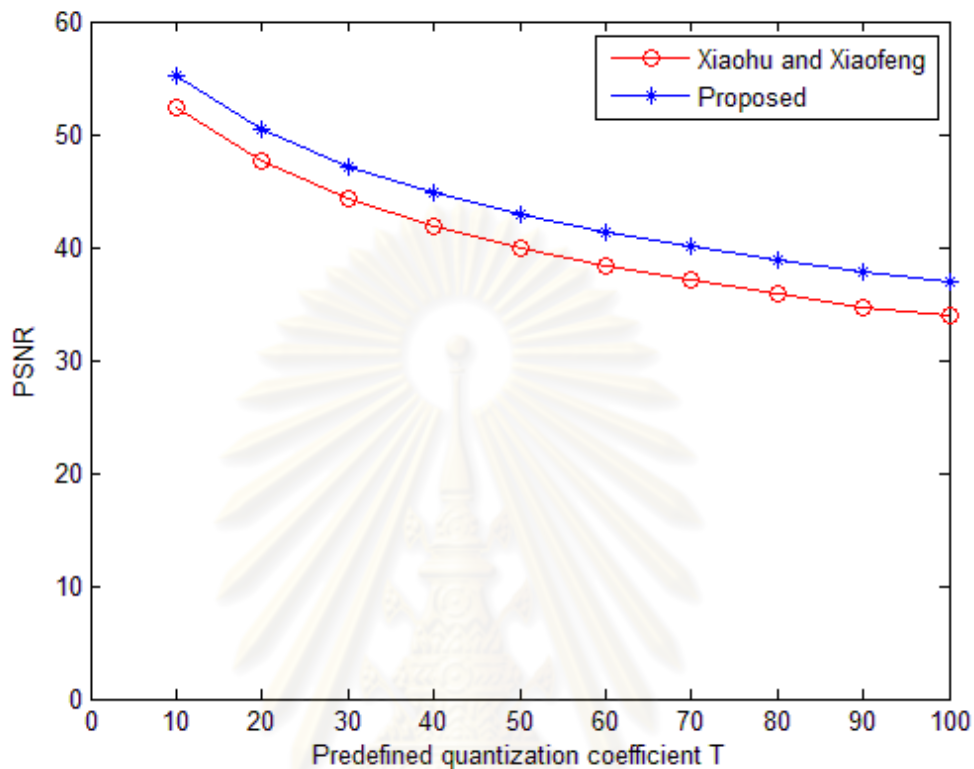


รูปที่ 4.6 กราฟผลการทดลองของการหมุนภาพ

4.3 การทดสอบประสิทธิภาพด้วย *PSNR*

ในหัวข้อนี้ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วย *PSNR* ระหว่างเทคนิคที่กระทำในควอนไทซ์เซชัน (Quantization) ของ Xiaohu และ Xiaofeng (2008) กับเทคนิคที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ที่กระทำในควอนไทซ์เซชันเหมือนกัน รูปภาพต้นฉบับที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ ชื่อ *Lenna* เป็นภาพระดับสีเทา มีขนาด 512×512 จุดภาพ ส่วนรูปภาพลายน้ำดิจิทัลเป็นภาพระดับสีเทา มีขนาด 64×64 จุดภาพ ซึ่งเป็นลายน้ำดิจิทัลขนาดเดียวกันกับเทคนิค Xiaohu และ Xiaofeng (2008) ที่นำเสนอไว้ ในการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

ของ $PSNR$ กับการปรับค่า T ได้กำหนดให้ค่า T ถูกเพิ่มครั้งละ 10 เริ่มตั้งแต่ 10 จนถึง 100 ดังแสดงในรูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบค่า $PSNR$ ที่ได้จากการปรับค่า T เพิ่มขึ้นในแต่ละครั้ง ระหว่างเทคนิคของ Xiaohu และ Xiaofeng (2008) กับเทคนิคที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้



รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วย $PSNR$ กับการปรับค่า T

จากรูปที่ 4.7 พบว่าหลังผ่านการฝังลายน้ำอเนกประสงค์โดยใช้เทคนิคที่นำเสนอมีค่า $PSNR$ มากกว่าเทคนิคของ Xiaohu และ Xiaofeng (2008) ที่กระทำรูปภาพเดียวกันในทุกการปรับค่า T เนื่องจากเทคนิคที่นำเสนอได้มีการสร้างฟังก์ชันการค้นหาค่าที่ดีที่สุดเพิ่มไปในกระบวนการฝังลายน้ำดิจิทัลอล จึงส่งผลให้ค่า $PSNR$ ของเทคนิคที่นำเสนอสูงกว่าค่าเดิมโดยเฉลี่ยประมาณ 0.3 dB

4.4 การทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริธึม

ในหัวข้อนี้ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริธึม ระหว่างเทคนิคที่กระทำในเวกเตอร์ควอนไทซ์เซชัน (Vector quantization) (Lu, Xu และ Sun, 2005) กับเทคนิคที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ที่กระทำในควอนไทซ์เซชัน (Quantization) โดยในการทดลองนี้ใช้รูปภาพที่ชื่อ *Lenna*, *Peppers* และ *F16* ซึ่งเป็นภาพระดับสีเทา มีขนาด 512×512 จุดภาพ เพื่อให้เป็นรูปภาพเดียวกันกับการทดลองกับเทคนิคที่นำเสนอไว้ ดังแสดงในตารางที่

4.9 เปรียบเทียบค่า NC ที่ถอดได้หลังผ่านการโจมตีต่างๆ ระหว่างเทคนิคที่กระทำในเวกเตอร์ควอนไทซ์เซชันกับเทคนิคที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบค่า NC ที่ถอดได้หลังผ่านการโจมตีต่างๆ

Operations	The vector quantization scheme		The proposed scheme	
Embedding ($PSNR$ in dB)	<i>Lenna image</i>		<i>Lenna image</i>	
	30.553		41.562	
	Robust	Fragile	Robust	Fragile
Extraction (no attack)	1.000	1.000	1.000	1.000
JPEG (QF=100%)	0.999	0.990	1.000	1.000
JPEG (QF=80%)	0.988	0.874	0.998	0.212
JPEG (QF=50%)	0.968	0.633	0.986	0.079
JPEG (QF=30%)	0.937	0.400	0.979	0.023
Image cropping by 25%	0.887	0.901	0.804	0.678
Rotation by 0.5°(clockwise)	0.805	0.063	0.457	0.350
Rotation by 0.3°(clockwise)	0.783	0.067	0.655	0.509
Embedding ($PSNR$ in dB)	<i>Pepper image</i>		<i>Pepper image</i>	
	29.879		41.437	
	Robust	Fragile	Robust	Fragile
Extraction (no attack)	1.000	1.000	1.000	1.000
JPEG (QF=100%)	0.998	0.955	1.000	1.000
JPEG (QF=80%)	0.969	0.861	0.998	0.143
JPEG (QF=50%)	0.951	0.705	0.993	0.069
JPEG (QF=30%)	0.939	0.388	0.979	0.048
Image cropping by 25%	0.789	0.948	0.810	0.678
Rotation by 0.5°(clockwise)	0.801	0.069	0.435	0.312
Rotation by 0.3°(clockwise)	0.621	0.091	0.631	0.499
Embedding ($PSNR$ in dB)	<i>F16 image</i>		<i>F16 image</i>	
	29.901		41.101	
	Robust	Fragile	Robust	Fragile
Extraction (no attack)	1.000	1.000	1.000	1.000
JPEG (QF=100%)	0.990	0.940	1.000	1.000
JPEG (QF=80%)	0.964	0.824	0.998	0.269

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

Embedding (PSNR in dB)	F16 image		F16 image	
	29.901		41.101	
	Robust	Fragile	Robust	Fragile
JPEG (QF=50%)	0.951	0.705	0.990	0.094
JPEG (QF=30%)	0.949	0.683	0.950	0.006
Image cropping by 25%	0.857	0.921	0.807	0.678
Rotation by 0.5°(clockwise)	0.732	0.143	0.562	0.314
Rotation by 0.3°(clockwise)	0.604	0.098	0.693	0.463

จากตารางที่ 4.9 พบว่าเทคนิคการฝังลายน้ำอเนกประสงค์ที่นำเสนอ มีค่า PSNR มากกว่าเทคนิคการฝังลายน้ำอเนกประสงค์ของ Lu, Xu และ Sun (2005) ที่กระทำบนรูปภาพเดียวกันทั้ง 3 ภาพ โดยเฉลี่ยอยู่สูงถึง 11.25 dB

ผลของการเปรียบเทียบค่า NC ที่ถอดได้หลังผ่านการโจมตีต่างๆ

ก. การบีบอัดภาพ

- 1) การบีบอัดภาพที่ระดับคุณภาพ 100 ลายน้ำแบบคงทนและลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้จากเทคนิคที่นำเสนอมีค่า NC มากกว่าเทคนิคของ Lu, Xu และ Sun (2005) มีค่า NC ของลายน้ำแบบคงทนแตกต่างกันโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.04 และมีค่า NC ของลายน้ำแบบเปราะบางแตกต่างกันโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.03
- 2) การบีบอัดภาพที่ระดับคุณภาพ 80 ลายน้ำแบบคงทนที่ถอดได้จากเทคนิคที่นำเสนอมีค่า NC มากกว่าเทคนิคของ (Lu, Xu และ Sun, 2005) มีค่า NC แตกต่างกันโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.024 ลายน้ำแบบเปราะบางที่ถอดได้จากเทคนิคที่นำเสนอมีค่า NC น้อยกว่าเทคนิคของ Lu, Xu และ Sun (2005) มีค่า NC แตกต่างกันโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.645
- 3) การบีบอัดภาพที่ระดับคุณภาพ 50 ลายน้ำแบบคงทนที่ถอดได้จากเทคนิคที่นำเสนอมีค่า NC มากกว่าเทคนิคของ (Lu, Xu และ Sun, 2005) มีค่า NC แตกต่างกันโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.033 ลายน้ำแบบเปราะบางที่ถอดได้จากเทคนิคที่นำเสนอมีค่า NC น้อยกว่าเทคนิค

ของ Lu, Xu และ Sun (2005) มีค่า NC แตกต่างกันโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.592

- 4) การบีบอัดภาพที่ระดับคุณภาพ 30 ลายน้ำแบบคงทนที่ถอดได้จากเทคนิคที่นำเสนอมีค่า NC มากกว่าเทคนิคของ (Lu, Xu และ Sun, 2005) มีค่า NC แตกต่างกันโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.030 ลายน้ำแบบเปราะบางที่ถอดได้จากเทคนิคที่นำเสนอมีค่า NC น้อยกว่าเทคนิคของ Lu, Xu และ Sun (2005) มีค่า NC แตกต่างกันโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.464

ข. การตัดภาพเป็นบางส่วนออก

- 1) การทดสอบด้วยการตัดภาพเป็นบางส่วนออก 25 % ของพื้นที่เดิม ค่า NC ลายน้ำแบบคงทนที่ถอดได้ของวิธีที่นำเสนอมีค่าน้อยกว่าเทคนิคของ Lu, Xu และ Sun (2005) อยู่เล็กน้อย มีค่า NC แตกต่างกันโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.05 ส่วนค่า NC ลายน้ำแบบเปราะบางที่ถอดได้ของวิธีที่นำเสนอมีค่าน้อยกว่าเทคนิคของ Lu, Xu และ Sun (2005) มีค่า NC แตกต่างกันโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.25 แต่อย่างไรก็ตามลายน้ำแบบเปราะบางที่นำเสนอ ยังคงสามารถระบุตำแหน่งที่ถูกแก้ไขรายละเอียดข้อมูลและบริเวณที่ถูกตัดภาพบางส่วนได้อย่างถูกต้อง

ค. การหมุนภาพ

- 1) การหมุนภาพผลลัพธ์ไปด้วยมุม 0.3 องศา ค่า NC ที่ถอดได้จากลายน้ำแบบคงทนของเทคนิคที่นำเสนอมีค่ามากกว่าเทคนิคของ Lu, Xu และ Sun (2005) ในรูปภาพ *Peppers* และ *F16* มีค่า NC แตกต่างกันโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.05 แต่ในรูปภาพที่ชื่อ *Lenna* นั้นมีค่า NC น้อยกว่าอยู่ 0.128 ส่วนค่า NC ลายน้ำแบบเปราะบางที่ถอดได้ของวิธีที่นำเสนอมีค่ามากกว่าเทคนิคของ Lu, Xu และ Sun (2005) มีค่า NC แตกต่างกันโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.45
- 2) การหมุนภาพผลลัพธ์ไปด้วยมุม 0.5 องศา ค่า NC ที่ถอดได้จากลายน้ำแบบคงทนของเทคนิคที่นำเสนอมีค่าน้อยกว่าเทคนิคของ Lu, Xu และ Sun (2005) มีค่า NC แตกต่างกันโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.29 ส่วนค่า NC ลายน้ำแบบเปราะบางที่ถอดได้ของวิธีที่นำเสนอมีค่ามากกว่า

เทคนิคของ Lu, Xu และ Sun (2005) มีค่า NC แตกต่างกันโดยเฉลี่ย
อยู่ที่ 0.23



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลสรุปงานวิจัย ปัญหาที่พบ และข้อเสนอแนะอันจะเป็นแนวทางพัฒนาวิธีการฝังลายน้ำอเนกประสงค์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นต่อไป

5.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการฝังลายน้ำอเนกประสงค์บนรูปภาพดิจิทัลเพื่อตรวจสอบรับรองความเป็นต้นฉบับและพิสูจน์ความเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์ โดยกระทำในโดเมนเอสวีดี จากการทดลองพบว่าค่า *PSNR* ของเทคนิคการฝังลายน้ำอเนกประสงค์ที่นำเสนอนี้มีค่าไม่ต่ำกว่า 41.034 dB ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ดี ค่า *NC* ของลายน้ำแบบคงทนและลายน้ำแบบเปราะบางที่ถอดได้มีค่ามากที่สุด 1.000

จากผลการทดลองในบทที่ 4 พบว่าหลังจากนำภาพผลลัพธ์มาทำการแก้ไขปลอมแปลงรูปภาพโดยเจตนา ด้วยการเพิ่มหรือลบรายละเอียดข้อมูล โดยขยายสัดส่วนการแก้ไขข้อมูลขึ้นเรื่อยๆ คุณภาพของลายน้ำแบบเปราะบางที่ถอดได้สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ลายน้ำแบบเปราะบางยังสามารถระบุตำแหน่งที่มีการแก้ไขบริเวณรูปภาพแม้เพียงเล็กน้อยได้ ส่วนคุณภาพของลายน้ำแบบคงทนที่ถอดได้นั้นมีความชัดเจนในทุกบริเวณที่มีการแก้ไขเกิดขึ้น

การทดสอบตัดภาพออกเป็นบางส่วน รายละเอียดของลายน้ำแบบคงทนและแบบเปราะบางที่ถอดออกมาได้ จะมีความชัดเจนมากขึ้นอยู่กับพื้นที่ของภาพที่ถูกตัดออกไป ถ้ามีการตัดภาพมากความชัดเจนก็ลดลง ถ้ามีการตัดภาพน้อยความชัดเจนก็มีมาก ซึ่งลายน้ำแบบคงทนสามารถถอดได้ตั้งแต่ 10 % ไปจนถึง 50 % ของพื้นที่เดิม ส่วนลายน้ำแบบเปราะบางสามารถถอดได้ 10 % ไปจนถึง 90 % ของพื้นที่เดิม และยังสามารถระบุบริเวณที่มีการตัดภาพได้ทุกตำแหน่ง

การทดสอบโดยวิธีการบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG หลังจากภาพผลลัพธ์ผ่านการบีบอัดภาพแบบ JPEG ที่ระดับคุณภาพต่างกันแล้ว พบว่าการเพิ่มระดับการบีบอัดภาพมากขึ้นมีผลให้ค่า *NC* ของลายน้ำลดลง ทำให้ลายน้ำที่ได้ขาดรายละเอียดและเพี้ยนไปจากลายน้ำต้นฉบับมากขึ้น ลายน้ำแบบคงทนที่ถอดได้สามารถอ่านได้ตั้งแต่ 20 ไปจนถึง 100 ส่วนลายน้ำแบบเปราะบางที่ถอดได้สามารถอ่านได้ตั้งแต่ 90 ไปจนถึง 100

นำภาพผลลัพธ์มาทำการทดสอบแทรกสัญญาณรบกวนแบบ Salt & Pepper ลายน้ำแบบคงทนและแบบเปราะบางที่ถอดออกมาได้นั้นมีความชัดเจนมากขึ้นขึ้นอยู่กับค่า Noise Density ซึ่งลายน้ำแบบคงทนที่ถอดได้จะอยู่ที่ค่า Noise ตั้งแต่ 0 ไปจนถึง 0.01 และลายน้ำแบบเปราะบางที่ถอดได้แล้วสามารถอ่านได้ตั้งแต่ 0 ไปจนถึง 0.01 เช่นกัน

การทดสอบภาพผลลัพธ์โดยการปรับปรุงคุณภาพด้วยฟิลเตอร์ที่มีขนาดต่างกัน เมื่อฟิลเตอร์มีขนาดใหญ่ขึ้นมีผลให้ค่า NC ของลายน้ำลดลง ลายน้ำแบบคงทนที่ถอดได้ตั้งแต่ฟิลเตอร์ที่มีขนาด 3×3 , 5×5 และ 7×7 ลายน้ำแบบเปราะบางที่ถอดได้ทุกภาพไม่สามารถอ่านได้

การนำภาพผลลัพธ์มาทำการทดสอบด้วยการปรับขนาดภาพ ลายน้ำแบบคงทนที่ถอดได้จะสามารถอ่านได้ทั้งหมด ยกเว้นแต่การย่อขนาดลงเหลือ 30% ของพื้นที่เดิม ไม่สามารถอ่านได้ ส่วนลายน้ำแบบเปราะบางที่ถอดได้ทุกภาพไม่สามารถอ่านได้

การทดสอบภาพผลลัพธ์โดยการหมุนภาพไปด้วยมุมต่าง ๆ จากนั้นทำการหมุนกลับแล้วทำการตัดขอบของรูปภาพใหม่ทิ้ง เพื่อให้มีขนาดเท่ารูปภาพเดิม (Cropped) ลายน้ำแบบคงทนและแบบเปราะบางที่ถอดได้และสามารถอ่านได้ตั้งแต่ที่ 25 องศาไปจนถึง 125 องศา

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองพบว่า วิธีการที่ได้พัฒนาขึ้นมีข้อจำกัดบางประการ และมีจุดควรพัฒนาปรับปรุงให้มีการทำการวิจัยและศึกษาต่อไปเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ได้แก่

1. เนื่องจากเทคนิคที่นำเสนอได้ทำการฝังลายน้ำอเนกประสงค์บนค่าเอกฐานของเอสวีดีเพียงเท่านั้น อาจมีการพิจารณาที่จะเลือกฝังลายน้ำลงบนค่าเอกฐานเวกเตอร์ซ้ายหรือค่าเอกฐานเวกเตอร์ขวาเพื่อช่วยให้ลายน้ำมีความทนทานต่อการโจมตีต่างมากขึ้น เช่นงานวิจัยของ Chandra และ Srinivas (2008)
2. ข้อจำกัดของเทคนิคควอนไทซ์เซชัน ที่ใช้ในการฝังลายน้ำอเนกประสงค์บนเอสวีดีนี้คือจำเป็นต้องมีการผันกลับกระบวนการ ในกรณีที่รูปภาพดังกล่าวถูกเปลี่ยนแปลงแก้ไขมา เพื่อให้ได้รูปภาพที่มีลักษณะใกล้เคียงกับของเดิมให้มากที่สุดก่อนเข้าสู่กระบวนการถอดลายน้ำได้ จึงควรมีการนำเทคนิคอื่นๆเข้ามาประยุกต์ใช้เพิ่มเติม เช่น ในงานวิจัยของ สิริพร ผลสมบูรณ์ (2547) ได้ใช้เทคนิคการแปลงโดเมนที่ไม่แปรผัน (Transform-based scheme) ร่วมกับการใช้ฟังก์ชันเอ็กโพเนนเชียลเชิงซ้อน (Complex exponential function) ซึ่งสามารถทำการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลได้ทันที โดยไม่จำเป็นต้องมีการผันกลับกระบวนการใดๆ หากในกรณีที่ต้องการนำเทคนิคนี้ไปประยุกต์ใช้นั้น

จำเป็นที่จะต้องมีการฝังลายน้ำบนฟูเรียร์ (Lin et al., 2001) หรืออาจจะฝังลายน้ำบนฟูเรียร์ร่วมกับโดเมนอื่น เช่น ฝังลายน้ำบนฟูเรียร์ร่วมกับเวฟเล็ตโดเมนในงานวิจัยของ Kang และคณะ (2003) หรือนำเทคนิคการค้นหาคุณลักษณะ (Feature-based scheme) ซึ่งจะทำการตรวจหาคุณลักษณะของภาพที่ถูกเปลี่ยนแปลงไปก่อน จากนั้นทำการผันกลับกระบวนการให้รูปภาพมีลักษณะใกล้เคียงกับของเดิมให้มากที่สุดก่อนเข้าสู่กระบวนการถอดลายน้ำ โดยเทคนิคนี้จะมีจุดเด่นตรงที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับทุกโดเมนความถี่ เช่นงานวิจัยของ Mikolajczyk และ Schmid (2004) หรือ Tuytelaars และ Gool (2004)

3. ควรมีการพัฒนาขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของรูปภาพ ที่ทำให้ผู้ใช้สามารถตัดสินใจได้ว่าภาพถูกแก้ไขไปมากน้อยระดับใดได้ง่ายและชัดเจนยิ่งขึ้น อาจมีการกำหนดค่า Threshold เป็นค่ามาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบค่าความเปลี่ยนแปลงของรูปภาพ

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ธำรงรัตน์ อมรรักษา และ บัณฑิต ทิพากร. ละเมียดลิขสิทธิ์ยู่ติได้ด้วยลายน้ำดิจิตอล.

ส่งเสริมเทคโนโลยี. 29 (สิงหาคม-กันยายน 2545) : 126-129.

วิมาน กฤตพลวิมาน. กฎหมายลิขสิทธิ์ ฉบับปฏิบัติการ. กรุงเทพมหานคร : ดวงกมล, 2545.

สิริพร ผลสมบูรณ์. ลายน้ำดิจิตอลสำหรับรูปภาพที่คืนสภาพได้จากการหมุน การปรับขนาด และการเคลื่อนที่ โดยใช้ฟังก์ชันเอ็กซ์โพเนนเชียลเชิงซ้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญา ดุษฎีบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, 2547.

สุพจน์ นิตยส์สุวรรณ. ลายน้ำดิจิตอล. วารสารพัฒนาเทคนิคศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 15 (ตุลาคม-ธันวาคม 2545) : 11-16.

ภาษาอังกฤษ

Adriana, D., and Stanley, A. A Hybrid DCT-SVD Image-Coding Algorithm. IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology 12 (2002): 114–121.

Akhaee, M. A., Sahraeian, S. M. E., Sankur, B., and Marvasti, F. Robust Scaling-Based Image Watermarking Using Maximum-Likelihood Decoder With Optimum Strength Factor. IEEE Transactions on Multimedia 11 (2009): 822-833.

Andrews, H. C., and Patterson, C. L. Singular Value Decomposition (SVD) Image Coding. IEEE Transactions on Communications 24 (1976): 425–432.

Baxes, G. A. Digital image processing: Principles and applications. (n.p.): John Wiley & Sons, 2002.

Bender, W., Gruhl, D., Morimoto, N., and Lu, A. Techniques for data hiding. IBM Systems Journal 35 3&4 (1996): 313-336.

Berns, R.S. Billmeyers and Saltzman's Principles of Color Technology. USA: John Wiley & Sons Publisher, 2000.

Briassouli, A., and Strintzis, M. G. Locally optimum nonlinearities for DCT watermark detection. IEEE Transactions on Image Processing 13 (2004): 1604-1617.

Briassouli, A., Tsakalides, P., and Stouraitis, A. Hidden messages in heavy-tails: DCT-domain watermark detection using alpha-stable models. IEEE Transactions on Multimedia 7 (2005): 700-715.

- Calagna, M., Guo, H., Mancini, L.V., and Jajodia, S. A Robust Watermarking System based on SVD Compression, In Proceedings of the 2006 ACM Symposium on Applied Computing, 2006.
- Castleman, K. R. Digital image processing. Singapore: Prentice-Hall Publisher, 2001.
- Chandra, D. V. S. Digital Image Watermarking Using Singular Value Decomposition, In Proceeding of the 45th Midwest Symposium on Circuits and Systems, 2002.
- Chandra, M. B., Srinivas, K. S. A robust image watermarking scheme using singular value decomposition. Journal of Multimedia 3 (2008): 7–15.
- Chandra, M. B., Srinivas, K. S., and Chatterji, B. N. A robust digital image watermarking scheme using singular value decomposition (SVD), dither quantization and edge detection, In Proceedings of the Graphics Vision and Image Processing (GVIP), 2008.
- Chang, C. C., Lin, C. C., and Hu, Y. S. An SVD oriented watermark embedding scheme with high qualities for the restored images. Journal of Innovative Computing Information and Control 3 (2007): 609–620.
- Chang, C. C., Lin, C. C., and Tsai, P. SVD-based digital image watermarking scheme. Pattern Recognition Letters 26 (2005): 1577-1586.
- Chang, C., Tsai, P., and Lin, C. A Digital watermarking scheme based on singular value decomposition. In Proceeding of ESCAPE, LNCS 4614, Berlin: Springer-Verlag, 2007.
- Chung, K. L., Yang, W. N., Huang, Y. H., Wua, S. T., and Hsu, Y. C. On SVD-based watermarking algorithm. Applied Mathematics and Computation 188 (2007): 54-57.
- Charles, P. P., and Shari L. P. Security in computing. Fourth Ed. USA: Prentice Hall, 2006.
- Chou, C. H., and Liu, K. C. A Perceptually Tuned Watermarking Scheme for Color Images. IEEE Transactions on Image Processing 19 (2010): 2966-2982.
- Craver, S., Memon, N., Yeo, B. L., and Yeung, M. Can invisible watermark resolve rightful ownerships?, In Proceeding of the IS&T/SPIE Conference on Storage and Retrieval for Image and Video Databases, 1997.
- Craver, S., Memon, N., Yeo, B. L., and Yeung, M. Resolving rightful ownerships with invisible watermarking techniques: Limitations, attacks, and implications. IEEE Journal of Selected Areas in Communications 16 (1998): 573-586.

- Cox, I. J., Kiliant, J., Leighton, T., and Shamoon, T. Secure spread spectrum watermarking for multimedia. IEEE Transactions on Image Processing 6 (1997): 1673-1687.
- Das, T. K., Maitra, S., and Mitra J. Cryptanalysis of optimal differential energy watermarking (DEW) and a modified robust scheme. IEEE Transactions on Signal Processing 53 (2005): 768-775.
- Douglas, R. S. Cryptography Theory and Practice. Third Ed. Florida: CRC Press, 2005.
- Deguillaume, F., Voloshynovskiy, S., and Pun, T. Secure hybrid robust watermarking resistant against tampering and copy attack. Journal Signal Processing-Special section: Security of data hiding technologies archive 83 (2003): 2133-2170.
- Deguillaume, F., Voloshynovskiy, S., and Pun, T. Hybrid Robust Watermarking Resistant Against Copy Attack, In Proceeding of the European Signal Processing Conference, 2002.
- Fan, A., and Sun, Q. Simultaneous Calculation of DFT and IDFT of Real Two-Dimensional Sequences and Its Application in Digital Image Watermark. In Proceedings of the 2008 Congress on Image and Signal Processing, 2008.
- Fan, M Q., and Wang, H. X. A Novel Multipurpose Watermarking Scheme for Copyright Protection and Content Authentication, In Proceeding of the Second Workshop on Digital Media and its Application in Museum & Heritages, 2007.
- Fridrich, J. A hybrid watermark for tamper detection in digital images, In Proceeding of the International Symposium on Signal Processing and its Applications Conference, 1999.
- Fridrich, J. Methods for tamper detection in digital images, In Proceeding of the ACM Multimedia and Security Workshop, 1999.
- Gonzalez, R. C., and Woods, R. E. Digital image processing. USA: Prentice-Hall Publisher, 2004.
- Gorodetski, V. I., Popyack, L. J., Samoilov, V., and Skormin, V. A. SVD-Based Approach to Transparent Embedding Data into Digital Images, In Proceedings of International Workshop on Mathematical Methods, Models and Architectures for Computer Network Security, 2001.
- Herodotus. The histories. Translated by Aubrey de Selincourt. London: Penguin Books. 1996.

- Huang, P. S., Chiang, C. S., Chang C. P., and Tu, T. M. Robust spatial watermarking technique for colour images via direct saturation adjustment. In Proceedings of the IEE on Vision, Image and Signal Processing, 2005.
- Kang, X., Huang, J., Shi, Y. Q., and Lin, Y. A DWT-DFT composite watermarking scheme robust to both affine transform and JPEG compression. IEEE Transactions on circuits and systems for video technology 13 (2003): 776-786.
- Kang, X. J., Dong, L. J., and Wang, Y. A Digital Watermarking Algorithm Based on Image Segmentation and DFT. In Proceedings of the First International Conference on Information Science and Engineering, 2009.
- Karybali, I. G., and Berberidis, K. Efficient spatial image watermarking via new perceptual masking and blind detection schemes. IEEE Transactions on Information Forensics and Security 1 (2006): 256-274.
- Katzenbeisser, S., and Petitcolas, F. A. P. Information Hiding Techniques for Steganography and Digital Watermarking. USA: Artech House, 1999.
- Kutter, M., Voloshynovskiy S., and Herrigel A. The Watermark Copy Attack, In Proceeding of the SPIE: Security and Watermarking of Multimedia Content II, 2000.
- Lin, W. H., et al. An Efficient Watermarking Method Based on Significant Difference of Wavelet Coefficient Quantization. IEEE Transactions on Multimedia 10 (2008): 746-757.
- Liu, K. C., and Chou, C. H. Robust and transparent watermarking scheme for colour images. IET Image Processing 3 (2009): 746-757 228-242.
- Liu, R., and Tan, T. An SVD-Based Watermarking Scheme for Protecting Rightful Ownership. IEEE Transactions on Multimedia 4 (2002): 121-128.
- Liu, T. Y., and Tsai, W. H. Generic Lossless Visible Watermarking—A New Approach. IEEE Transactions on Image Processing 19 (2010): 1224-1235.
- Lu, C. C., and Liao, H. M. Multipurpose watermarking for image authentication and protection. IEEE Transactions on Image Processing 10 (2001): 1579-1592.
- Lu, C. C., Liao, H. M., and Sze, C. J. Combined watermarking for image authentication and protection, In Proceeding of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo, 2000.
- Lin, C. Y., et al. Rotation, scale and translation resilient watermarking for image. IEEE Transactions on Image Processing 10 (2001): 767-782.

- Lu, Z. M., Xu, D. G., and Sun, S. H. Multipurpose image watermarking algorithm based on multistage vector quantization. IEEE Transactions on Image Processing 14 (2005): 822-831.
- Lu, Z. M., Zheng, W. M., Shyang, J., and Sun, Z. Multipurpose Image Watermarking Method Based on Mean-removed Vector Quantization. Journal of Information Assurance and Security 1 (2006): 33-42.
- Manber, U. Introduction to algorithms (A Creative Approach). New york: Addison-Wesley, 1989.
- Mikolajczyk, K. and Schmid, C. Scale and affine invariant interest point detectors. International Journal of Computer Vision 60 (2004): 63-86.
- Mukherjee, D. P., Maitra, S., and Acton, S. T. Spatial domain digital watermarking of multimedia objects for buyer authentication. IEEE Transactions on Multimedia 6 (2004): 1-15.
- Pan, J. S., Huang, H. C., Jain L. C., and Fang, W. C. Intelligent Multimedia Data Hiding: New Directions. Berlin-Heidelberg: Springer Publisher, 2007.
- Petitcolas, F. A. P., Anderson, R. J., and Kuhn, M. G. Attacks on copyright marking systems. Second Workshop on Information Hiding 1525 (1998): 218–238.
- Petiteolas, F. A. P., Anderson, R. J., and Kahn, M. G. Information Hiding A Survey, In Proceeding of the IEEE 87, 1999.
- Pholsomboon, S., and Vongpradhip, S. Rotation, Scale, and Translation Resilient Digital Watermark Based on Complex Exponential function. ECTI Transactions on Electrical ENG., Electronics, and Communications 2 (2004): 40-48.
- Pickholtz, R. L., Schilling, D. L., and Millstein, L. B. Theory of spread spectrum communications – A tutorial. IEEE Transactions on Communications COM-30 5 (1982): 855-884.
- Ping, H. Y., and Zhi, H. D. An SVD-based Self-Embedding Watermarking Method for Image Authentication, In Proceedings of the Fifth IEEE Singapore International Conference on Communication systems, 2006.
- Seitz, J. Digital Watermarking For Digital Media. United States of America:Information Science Publisher, 2005.
- Swanson, M., Kobayashi M., and Tewfik, A. Multimedia data-embedding and watermarking technologies, In Proceeding of the IEEE 86, 1998.

- Taheri, S., and Ghaemmaghami, S. A Hierarchical Approach to SVD-based Fragile Watermarking for Image, In Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Information, Communications and Signal Processing, 2005.
- Tanaka, K., Nakamura, Y., and Matsui, K. Embedding secret information into a dithered multilevel image, In Proceeding of the 1990 IEEE Military Communications Conference, 1990.
- Tuytelaars, T., and Gool, L. V. Matching widely separated views based on affine invariant regions. International Journal of Computer Vision 59 (2004): 61-85.
- Wang, X., Wu, J., and Niu, P. A New Digital Image Watermarking Algorithm Resilient to Desynchronization Attacks. IEEE Transactions on Information Forensics and Security 2 (2007): 655-663.
- Wang, Z., Yang B., Niu X., and Zhang Y. A Practical Multipurpose Watermarking Scheme for Visual Content Copyright Protection and Authentication, In Proceeding of the International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, 2006.
- Wongsawat, Y., Ochoa, H., Rao, K. R., and Oraintara, S. A Modified Hybrid DCT-SVD Image-Coding System for Color Image, In Proceeding of the IEEE International Symposium on Communications and Information Technology, 2004.
- WU, Y. On the security of an SVD based ownership watermarking. IEEE Transactions on Multimedia 7 (2005): 624-627.
- Yang, J. F., and Lu, C. L. Combined Techniques of Singular Value Decomposition and Vector Quantization for Image Coding. IEEE Transactions on Image Processing 4 (1995): 1141-1146.
- Yang, Y., Sun, X., Yang, H., Li, C. T., and Xiao, R. A Contrast-Sensitive Reversible Visible Image Watermarking Technique. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology 19 (2009): 656-667.
- Zhou, Z., Tang, B., and Liu, X. A Block-SVD Based Image Watermarking Method, In Proceeding of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation, 2006.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายนริศ หนูหอม เกิดวันที่ 20 ธันวาคม พ.ศ. 2520 มีภูมิลำเนาอยู่ที่ กรุงเทพมหานคร เป็นบุตรคนที่สองของพันเอกประเสริฐ หนูหอม และนางประจบ หนูหอม เข้ารับการศึกษาในระดับปริญญาบัณฑิตที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ในปี 2540 และสำเร็จการศึกษาในปี 2542

ผู้วิจัยเข้าศึกษาในระดับปริญญาโทในปี 2543 ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือในปี 2546 ก่อนจะสำเร็จการศึกษา สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ในปี 2546

ในปี 2548 ผู้วิจัยเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาดุษฎีบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้รับทุนอุดหนุนการศึกษาโครงการพัฒนาอาจารย์สาขาขาดแคลนเพื่อศึกษาในประเทศจากมหาวิทยาลัยมหิดลของสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ในระหว่างเดือนมิถุนายน 2548 ถึง ตุลาคม 2551

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย