

การฝังภาพลายน้ำโดยวิธีบล็อกทับซ้อน

IMAGE WATERMARKING TECHNIQUE USING OVERLAPPED BLOCK



สรกิต โมระศิลป์
SORAKIT MORASILPIN

Q.P.
๒๙/๓/๙๙
๒๕๔๙

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 63400
วัน,เดือน,ปี 28 ส.ค. 2549

b. ๙๑๖๓๖๐๖๓
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ISBN 974-15-2291-6
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMAGE WATERMARKING TECHNIQUE USING OVERLAPPED BLOCK



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN COMPUTER ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ISBN 974-15-2291-6
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การฝึงภาพลายน้ำโดยวิธีบล็อกทับซ้อน
นักศึกษา	นายชรกิจ โมระศิลป์
รหัสนักศึกษา	46061007
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
พ.ศ.	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ. กฤตวัน ศิริบูรณ์

บทคัดย่อ

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้เสนอวิธีการฝึงภาพลายน้ำสำหรับภาพนิ่ง ในการฝึงจะปรับเปลี่ยนค่าความเข้มแสงของภาพโดยตรงซึ่งมีความง่าย รวดเร็วและให้ผลดี วิธีการที่นำเสนอมีภาพดิจิทัลต้นฉบับเป็นภาพโทนสีเทา 256 ระดับความเข้มสี ฝึงภาพลายน้ำที่เป็นภาพขาวดำ 2 ระดับ มีขนาดโดยประมาณเป็น 1/4 ของภาพต้นฉบับ การฝึงจะใช้บล็อกขนาด 3x3 จำนวน 1 บล็อก แทน 1 บิตของภาพลายน้ำ โดยจะฝึงให้จุดศูนย์กลางของบล็อกอยู่ที่ตำแหน่งคอลัมน์เว้นคอลัมน์และแถวเว้นแถว ซึ่งจะให้เกิดการทับซ้อนกันของบล็อก วิธีการที่นำเสนอแม้ว่าภาพต้นฉบับมีขนาดเล็กก็สามารถฝึงลายน้ำที่มีขนาดใหญ่พอที่จะเห็นรายละเอียดได้

วิธีการที่นำเสนอสามารถปรับค่าน้ำหนักที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนลายน้ำ เพื่อให้ความสามารถในการซ่อนตัวของลายน้ำ และความคงทนของลายน้ำที่ฝึงอยู่ เป็นไปตามที่ผู้ใช้งานต้องการ โดยค่าน้ำหนักจะมีการเปลี่ยนแปลงตามค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของบล็อกที่แบ่งไว้ในภาพต้นฉบับ วิธีการนี้มีความคงทนต่อการรบกวนด้วย Low pass Filter, Median Filter, 50% Scale Down, JPEG Compression คุณภาพ 100, 75, 50, 25, Crop, Rotation และยังคงมีความรวดเร็วในการฝึงมาก อีกทั้งยังสามารถใช้ได้กับภาพทุกขนาด

Thesis Title	Image Watermarking Technique Using Overlapped Block
Student	Sorakit Morasilpin
Student ID.	46061007
Degree	Master of Engineering
Program	Computer Engineering
Year	2005
Thesis Advisor	Asst. Prof. Kritawan Siriboon

ABSTRACT

An image watermarking technique using overlapped block is proposed in this thesis. The proposed method uses a binary watermark image, which is permuted before being embedded into an 8-bit gray host image. To embed a watermark bit into the host image, the representative watermark block of size 3x3 with 9 predefined weights is used to add/subtract its weights to/from the pixel intensities inside corresponding 3x3 image block. These 3x3 watermark blocks have their center pixels located at every other pixel and every other line of the host image, so each block overlaps each other. Therefore, the binary watermark image size is approximately as large as a quarter of the host image. The abruption between any two blocks is smoothed by the use of the overlapped block. In the proposed method, the value of the center weight is determined adaptively depending on the contrast of the block in the host image. This makes the watermark image robust for some lossy image processing operations even though the host image is small, such as the image used in a cell phone. In addition, its simple algorithm makes it easy to implement. Experimental results show the effectiveness of the proposed watermarking method without introducing any distortion.

The weights of watermark block used in the proposed method could be adjusted to compromise between robustness and invisibility of the watermark. Furthermore, their values will be determined adaptively by the standard deviation of the corresponding image block. As the result, the proposed technique is fast, suitable for any sizes of the host image, and robust against most common image processing operations, i.e., Low pass Filter, Median Filter, 50% Scale Down, JPEG Compression with quality at 100, 75, 50, 25, Crops and Rotation.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. กฤตวัน ศิริบุรณ์ และ ผศ. สมเกียรติ วงศ์ศิริพิทักษ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะ ช่วยแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ดร. สมศักดิ์ วัลย์รัชต์ ผศ.ดร. อรฉัตร จิตต์โสภักตร์ รศ. ดร. บุญธีร์ เกียรติราช ผศ. กฤตวัน ศิริบุรณ์ และ ดร. ปกรณ์ วัฒนจตุรพร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณบิดามารดา ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ชรกิจ โมระศิลป์

4 มกราคม 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนของการศึกษา.....	3
บทที่ 2 ลายน้ำดิจิทัล.....	4
2.1 ลายน้ำดิจิทัล.....	4
2.2 ชนิดของลายน้ำดิจิทัล.....	5
2.2.1 จำแนกตามโดเมนที่ใช้ในการฝัง.....	5
2.2.2 จำแนกตามการมองเห็น.....	5
2.2.3 จำแนกตามการตรวจสอบ.....	6
2.3 การประยุกต์ใช้ลายน้ำดิจิทัล.....	6
2.3.1 ใช้ตรวจสอบการเป็นเจ้าของผลงาน.....	6
2.3.2 ใช้ตรวจสอบการผู้ซื้อผลงาน.....	6
2.3.3 การรับรองความถูกต้อง.....	7
2.3.4 ควบคุมการคัดลอก.....	7
2.3.5 การสื่อสารข้อมูลลับ.....	7
2.4 คุณสมบัติสำคัญของภาพลายน้ำดิจิทัล.....	7
2.5 หลักการทั่วไปของภาพลายน้ำ.....	8
2.5.1 การใส่ลายน้ำดิจิทัล (Watermark Embedding).....	8
2.5.2 การตรวจสอบลายน้ำดิจิทัล (Watermark Detection).....	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 การโจมตีลายน้ำ.....	9
2.6.1 การบีบอัดภาพ.....	9
2.6.2 การเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิต.....	9
2.6.3 การประมวลผลสัญญาณ.....	10
2.7 การฝังลายน้ำดิจิทัลในปัจจุบัน.....	10
2.7.1 วิธีการฝังลายน้ำบนโดเมนความถี่.....	10
2.7.2 วิธีการฝังลายน้ำบนสเปกตรัมโดเมน.....	11
2.8 สรุป.....	11
บทที่ 3 วิธีการฝังลายน้ำในสเปกตรัมโดเมนด้วยวิธีของ L. Chang-Hising, L. Yeuan-Kuen	11
3.1 งานวิจัยที่ศึกษา.....	12
3.2 วิธีการฝังลายน้ำของงานวิจัยที่ศึกษา.....	13
3.2.1 Watermark Permutation Algorithm.....	13
3.2.2 Watermark Embedding.....	13
3.3 วิธีการตรวจสอบลายน้ำ.....	15
3.4 ผลการทดลอง.....	16
3.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	19
3.6 ข้อจำกัดของงานวิจัยที่ผ่านมา.....	20
3.7 สิ่งที่ต้องการพัฒนา.....	20
บทที่ 4 การฝังลายน้ำในสเปกตรัมโดเมนด้วยบล็อกทับซ้อน.....	21
4.1 ขั้นตอนการทำงาน.....	21
4.1.1 การฝังลายน้ำ.....	22
4.1.2 การวัดคุณภาพของภาพหลังจากการฝังลายน้ำ.....	22
4.1.3 การทดสอบความคงทนของลายน้ำ.....	23
4.1.4 การตรวจสอบลายน้ำ.....	23
4.1.5 การวัดคุณภาพของลายน้ำ.....	23
4.2 การออกแบบ.....	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.1 การออกแบบบล็อกทับซ้อน.....	24
4.2.2 บล็อกตัวแทนบิตลายน้ำ.....	31
4.2.3 การออกแบบค่าสัมประสิทธิ์ส่วนที่ทับซ้อน.....	32
4.2.4 การออกแบบค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อก (ส่วนที่ไม่ทับซ้อน)..	35
4.2.4.1 การจำแนกบล็อกที่มีความถี่สูงและบล็อกที่มีความถี่ต่ำ.....	35
4.2.4.2 การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตามระดับค่า SD..	37
4.2.5 การออกแบบค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางบล็อกแบบปรับเปลี่ยนอัตรา โนมตี..	38
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	44
5.1 เจือไนในการทดลอง	44
5.2 การฝังลายน้ำโดยวิธีบล็อกทับซ้อน เมื่อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลาง บล็อกตัวแทนบิตลายน้ำเป็นค่าคงที่ n ค่า	45
5.2.1 กรณีค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำเป็น ค่าคงที่ 2 ค่า.....	46
5.2.1.1 ภาพที่ได้จากการฝังลายน้ำ.....	46
5.2.1.2 ภาพลายน้ำที่ถอดได้ภายหลังการ โจมตี.....	47
5.2.1.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	49
5.2.1.4 สรุปผลการทดลอง.....	49
5.2.2 กรณีค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำเป็นค่าคงที่3ค่า..	50
5.2.2.1 ภาพที่ได้จากการฝังลายน้ำ.....	50
5.2.2.2 ภาพลายน้ำที่ถอดได้ภายหลังการ โจมตี.....	52
5.2.2.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	53
5.2.2.4 สรุปผลการทดลอง.....	54
5.3 การฝังลายน้ำโดยวิธีบล็อกทับซ้อน เมื่อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางแบบ ปรับเปลี่ยนอัตรา โนมตี.....	55
5.3.1 ผลการทดลองของการปรับค่า C_{MIN}	55
5.3.1.1 ภาพที่ได้หลังจากการฝังลายน้ำ.....	55
5.3.1.2 ภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจาก โจมตี.....	57
5.3.1.3 การทดลองกับภาพต้นฉบับอื่นๆ.....	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ก่อนการเผยแพร่ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3.1.4 สรุปผลการปรับค่า C_{MIN}	59
5.3.2 ผลการทดลองของการปรับค่า C_{MAX}	59
5.3.2.1 ภาพที่ได้หลังจากการฝึกลายน้ำ.....	59
5.3.2.2 ภาพลายน้ำที่ถอดได้ภายหลังจากโจมตี.....	61
5.3.2.3 การทดลองกับภาพต้นฉบับอื่นๆ.....	62
5.3.2.4 สรุปผลการปรับค่า C_{MAX}	63
5.3.3 ผลการทดลองของการปรับค่า k	63
5.3.3.1 ภาพที่ได้หลังจากการฝึกลายน้ำ.....	63
5.3.3.2 ภาพลายน้ำที่ถอดได้ภายหลังจากโจมตี.....	65
5.3.3.3 การทดลองกับภาพต้นฉบับอื่นๆ.....	66
5.3.3.4 สรุปผลการปรับค่า k	67
5.3.4 ผลการทดลองของการปรับค่า SD_{MIN}	67
5.3.4.1 ภาพที่ได้หลังจากการฝึกลายน้ำ.....	67
5.3.4.2 ภาพลายน้ำที่ถอดได้ภายหลังจากโจมตี.....	69
5.3.4.3 การทดลองกับภาพต้นฉบับอื่นๆ.....	70
5.3.4.4 สรุปผลการปรับค่า SD_{MIN}	71
5.3.5 ผลการทดลองของการปรับค่า SD_{MAX}	71
5.3.5.1 ภาพที่ได้หลังจากการฝึกลายน้ำ.....	71
5.3.5.2 ภาพลายน้ำที่ถอดได้ภายหลังจากโจมตี.....	73
5.3.5.3 การทดลองกับภาพต้นฉบับอื่นๆ.....	74
5.3.5.4 สรุปผลการปรับค่า SD_{MAX}	75
5.3.6 สรุปการปรับค่าพารามิเตอร์.....	75
5.4 สรุปผลการทดลอง.....	76
บทที่ 6 สรุป.....	78
เอกสารอ้างอิง.....	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	80
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	81
ประวัติผู้เขียน.....	87



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ภาพลายน้ำที่ตรวจสอบได้จากการ โจมตีทั้ง 9 วิธี โดยใช้วิธีการของ L.Chang-Hising และ L. Yeuan-Kuen ใช้บล็อกขนาด 2x2, 3x3, 4x4 พิกเซล	17
4.1 แสดงการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อปรับปรุงค่า PSNR ของภาพหลังจากฝังลายน้ำ.....	42
4.2 แสดงการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อปรับปรุงค่า E_{AVG} ของลายน้ำที่ฝัง.....	42
5.1 ตารางแสดงภาพลายน้ำที่ตรวจสอบได้หลังจากการ โจมตีทั้ง 9 วิธี (เมื่อแบ่งบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำเป็น 2 ระดับ).....	48
5.2 ตารางเปรียบเทียบค่า PSNR ระหว่างวิธีของ L. Chang-Hising, L. Yeuan-Kuen และวิธีการแบ่งบล็อกแบบทับซ้อน (เมื่อแบ่งบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำเป็น 2 ระดับ).....	49
5.3 ตารางเปรียบเทียบค่า Average Percent Error ระหว่างวิธีของ L. Chang-Hising, L. Yeuan-Kuen และวิธีการแบ่งบล็อกแบบทับซ้อน (เมื่อแบ่งบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำเป็น 2 ระดับ).....	49
5.4 ตารางแสดงภาพลายน้ำที่ตรวจสอบได้หลังจากการ โจมตีทั้ง 9 วิธี (เมื่อแบ่งบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำเป็น 3 ระดับ).....	52
5.5 ตารางเปรียบเทียบค่า PSNR ระหว่างวิธีของ L. Chang-Hising, L. Yeuan-Kuen และวิธีการแบ่งบล็อกแบบทับซ้อนเมื่อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำเป็น 2 ระดับและ 3 ระดับ.....	53
5.6 ตารางเปรียบเทียบค่า Average Percent Error ระหว่างวิธีของ L. Chang-Hising, L. Yeuan-Kuen และวิธีการแบ่งบล็อกแบบทับซ้อนเมื่อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำเป็น 2 ระดับและ 3 ระดับ.....	54
5.7 ภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากโจมตีภาพ Lenna เมื่อกำหนด $C_{MIN} = \{1,3,5,7,9,11,13\}$, $C_{MAX} = 30$, $k = 0$, $SD_{MIN} = 8$ และ $SD_{MAX} = 40$	57
5.8 ค่า PSNR ของภาพทดสอบ 5 ภาพ เมื่อกำหนด $C_{MIN} = \{1, 3, 5, 7, 9, 11, 13\}$, $C_{MAX} = 30$, $k = 0$, $SD_{MIN} = 8$ และ $SD_{MAX} = 40$	58
5.9 ค่า E_{AVG} ของภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากการ โจมตี 9 วิธี เมื่อกำหนด $C_{MIN} = \{1, 3, 5, 7, 9, 11, 13\}$, $C_{MAX} = 30$, $k = 0$, $SD_{MIN} = 8$ และ $SD_{MAX} = 40$	58
5.10 ภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากโจมตีภาพ Lenna เมื่อกำหนด $C_{MIN} = 5$, $k = 0$, $SD_{MIN} = 8$ $C_{MAX} = \{20, 25, 30, 35, 40, 45, 50\}$ และ $SD_{MAX} = 40$	61

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.11 ค่า PSNR ของภาพทดสอบ 5 เมื่อกำหนด $C_{MIN} = 5, k = 0, SD_{MIN} = 8,$ $SD_{MAX} = 40$ และ $C_{MAX} = \{20, 25, 30, 35, 40, 45, 50\}$	62
5.12 ค่า E_{AVG} ของภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากการ โจมตี 9 วิธี เมื่อกำหนด $C_{MIN} = 5,$ $k = 0, SD_{MIN} = 8, SD_{MAX} = 40$ และ $C_{MAX} = \{20, 25, 30, 35, 40, 45, 50\}$	62
5.13 ภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจาก โจมตีภาพ Lenna เมื่อกำหนด $C_{MIN} = 5, C_{MAX} = 30,$ $SD_{MIN} = 8, SD_{MAX} = 40$ และ $k = \{-15, -10, -5, 0, 5, 10, 15\}$	65
5.14 ค่า PSNR ของภาพทดสอบ 5 ภาพ เมื่อกำหนด $C_{MIN} = 5, C_{MAX} = 30, SD_{MIN} = 8,$ $SD_{MAX} = 40$ และ $k = \{-15, -10, -5, 0, 5, 10, 15\}$	66
5.15 ค่า E_{AVG} ของภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากการ โจมตี 9 วิธี เมื่อกำหนด $C_{MIN} = 5,$ $C_{MAX} = 30, SD_{MIN} = 8, SD_{MAX} = 40$ และ $k = \{-15, -10, -5, 0, 5, 10, 15\}$	66
5.16 ภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจาก โจมตีภาพ Lenna เมื่อกำหนด $SD_{MIN} = \{2, 4, 6, 8, 10, 12, 14\}, C_{MIN} = 5, C_{MAX} = 30, k = 0$ และ $SD_{MAX} = 40$	69
5.17 ค่า PSNR ของภาพทดสอบ 5 ภาพ เมื่อกำหนด $SD_{MIN} = \{2, 4, 6, 8, 10, 12, 14\},$ $C_{MIN} = 5, C_{MAX} = 30, k = 0$ และ $SD_{MAX} = 40$	70
5.18 ค่า E_{AVG} ของภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากการ โจมตี 9 วิธี เมื่อกำหนด $SD_{MIN} = \{2, 4, 6, 8, 10, 12, 14\}, C_{MIN} = 5, C_{MAX} = 30, k = 0$ และ $SD_{MAX} = 40$	70
5.19 ภาพลายน้ำที่ถอดหลังจาก โจมตีภาพ Lenna เมื่อกำหนด $SD_{MAX} = \{20, 30, 40, 50, 60, 70, 80\}, C_{MIN} = 5, C_{MAX} = 30, k = 0$ และ $SD_{MIN} = 8$	73
5.20 ค่า PSNR ของภาพทดสอบ 5 ภาพ เมื่อกำหนด $SD_{MAX} = \{20, 30, 40, 50, 60, 70, 80\}, C_{MIN} = 5, C_{MAX} = 30, k = 0$ และ $SD_{MIN} = 8$	74
5.21 ค่า E_{AVG} ของภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากการ โจมตี 9 วิธี เมื่อกำหนด $SD_{MAX} = \{20, 30, 40, 50, 60, 70, 80\}, C_{MIN} = 5, C_{MAX} = 30, k = 0$ และ $SD_{MIN} = 8$	74
5.22 การปรับค่าพารามิเตอร์และผลกระทบที่เกิดขึ้น.....	76

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 ขั้นตอนในการทำภาพลายน้ำดิจิทัลของ L. Chang-Hising และ L. Yeuan-Kuen.....	13
3.2 การปรับค่าในกรณีที่มีบิตลายน้ำ (b_w) เป็น 0 และ 1.....	15
3.3 ผลลัพธ์ของการฝังลายน้ำด้วยวิธีของ L.Chang-Hising, L. Yeuan-Kuen	16
3.4 แสดงค่า PSNR ของภาพที่ฝังลายน้ำแล้วและค่า E_{AVG} ของลายน้ำหลังจากถูกโจมตี.....	19
4.1 ขั้นตอนในการทำภาพลายน้ำดิจิทัล.....	21
4.2 รูปภาพแสดงขั้นตอนการฝังภาพลายน้ำ.....	31
4.3 บล็อกตัวแทนบิตลายน้ำขนาด 3×3 แสดงส่วนที่ทับซ้อนและส่วนที่ไม่ทับซ้อน.....	32
4.4 บล็อกตัวแทนบิตลายน้ำ.....	32
4.5 รูปแบบบิตลายน้ำกรณีที่มีบิต 1 ถูกล้อมรอบด้วยบิต 0 ทั้ง 8 ด้าน.....	34
4.6 การเปรียบเทียบภาพต้นฉบับกับภาพที่ฝังลายน้ำด้วยวิธีบล็อกทับซ้อนเมื่อ $C = 20$	35
4.7 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของบล็อกที่ค่า SD ต่างๆ.....	36
4.8 บล็อกตัวแทนบิตลายน้ำ n แบบ.....	37
4.9 กราฟแสดงการปรับค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำ (C) แบบอัตโนมัติ.....	39
4.10 แสดงแผนภาพการปรับค่าเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน.....	41
4.11 แสดงการภาพแบ่งออกเป็น 3 ส่วน จากค่า SD_{MIN} และ SD_{MAX}	41
5.1 ภาพลายน้ำ.....	45
5.2 ภาพต้นฉบับที่ใช้ในการทดลอง.....	45
5.3 บล็อกตัวแทนบิตลายน้ำที่แบ่งออกเป็น 2 ระดับ.....	46
5.4 ภาพที่ได้จากการทดลองแบ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดกึ่งกลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำออกเป็น 2 ระดับ	47
5.5 บล็อกตัวแทนบิตลายน้ำที่แบ่งออกเป็น 3 ระดับ.....	50
5.6 ภาพที่ได้จากการทดลองแบ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดกึ่งกลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำออกเป็น 3 ระดับ	51
5.7 ภาพ Lenna หลังจากการฝังลายน้ำ โดยการฝังลายน้ำใช้ฟังก์ชัน เมื่อกำหนด $C_{MIN} = \{1,3,5,7,9,11,13\}$, $C_{MAX} = 30$, $k = 0$, $SD_{MIN} = 8$ และ $SD_{MAX} = 40$	56
5.8 แสดงภาพ Lenna ขนาด 128×128 หลังจากการฝังลายน้ำ โดยการฝังลายน้ำใช้ฟังก์ชัน เอ็กซ์โปเนนเชียลที่มีช่วง cutoff ที่ปรับเปลี่ยนเฉพาะพารามิเตอร์ C_{MAX}	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.9 ภาพ Lenna หลังจากการฝังลายน้ำ เมื่อกำหนด $C_{MIN} = 5$, $C_{MAX} = 30$, $SD_{MIN} = 8$, $SD_{MAX} = 40$ และ $k = \{-15, -10, -5, 0, 5, 10, 15\}$	64
5.10 ภาพ Lenna หลังการฝังลายน้ำเมื่อกำหนด $SD_{MIN} = \{2, 4, 6, 8, 10, 12, 14\}$, $C_{MIN} = 5$ $C_{MAX} = 30$, $k = 0$ และ $SD_{MAX} = 40$	68
5.11 ภาพ Lenna หลังจากการฝังลายน้ำ เมื่อกำหนด $SD_{MAX} = \{20, 30, 40, 50, 60, 70, 80\}$, $C_{MIN} = 5$, $C_{MAX} = 30$, $k = 0$ และ $SD_{MIN} = 8$	72
5.12 กราฟที่ใช้ในการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ C	75



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีต่างๆ ได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว ผลงานและการสร้างสรรค์สิ่งต่างๆ ได้เกิดขึ้นอย่างมากมายโดยใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีที่เกิดขึ้น แต่ปัญหาสำคัญที่ตามมากับการเผยแพร่สิ่งสร้างสรรค์เหล่านั้นก็คือ การลอกเลียนแบบ การทำซ้ำ และการนำความคิดของผู้อื่นไปใช้หาผลประโยชน์โดยไม่ได้รับความเห็นชอบจากตัวเจ้าของผลงาน หลายหน่วยงานได้เห็นความสำคัญของปัญหาที่เกิดขึ้นจากการละเมิดสิทธิทางปัญญาในสื่อประเภทต่างๆ และเล็งเห็นถึงความพยายามและความทุ่มเทเป็นอย่างมากในการสร้างสรรค์ผลงานในแต่ละชิ้นขึ้นมา จึงเห็นพ้องกันว่าไม่เป็นการยุติธรรมที่บุคคลใดบุคคลหนึ่งที่ได้เห็นแก่ประโยชน์ส่วนตัวกลอบนำทรัพย์สินทางปัญญาเหล่านี้ไปใช้ หรือนำไปเพื่อทำประโยชน์ทางการค้าโดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้ที่เป็นเจ้าของผลงาน วิธีป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาดังกล่าวขึ้นวิธีการหนึ่งก็คือใช้ตัวบทกฎหมาย โดยให้ผู้ที่คิดค้นสร้างสรรค์ผลงานขึ้นมาทำการจดลิขสิทธิ์เพื่อให้ผลงานของตนได้รับการคุ้มครองทางกฎหมาย ซึ่งวิธีการนี้สามารถใช้แก้ปัญหาการละเมิดสิทธิทางปัญญาได้ในระดับหนึ่ง แม้ว่าในปัจจุบันจะมีกฎหมายปกป้องสิทธิทางปัญญาออกมาบังคับใช้อย่างชัดเจน แต่บางครั้งตัวบทกฎหมายที่มีอยู่ก็ไม่สามารถดำเนินการกับผู้กระทำความผิดเหล่านั้นได้โดยง่าย เนื่องจากยังมีช่องโหว่สำคัญหลายประการ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาวิธีการอื่นๆ เพื่อใช้ในการป้องกันและแก้ไขปัญหานี้ ซึ่งเทคนิควิธีการต่างๆ มากมายได้ถูกคิดค้นและใช้ในการป้องกันการละเมิดสิทธิทางปัญญาของข้อมูลที่ได้จดลิขสิทธิ์เอาไว้ วิธีการหนึ่งที่มีการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพมากก็คือ การป้องกันการคัดลอกที่ตัวข้อมูลนั้นๆ โดยตรง

กลไกการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์มีหลากหลายวิธี เช่น การเข้ารหัส การลงทะเบียน หรือการใส่เลขทะเบียน (serial number) ฯลฯ แต่วิธีเหล่านี้ก็ยังไม่สามารถยับยั้งปัญหาดังกล่าวได้ด้วยตัวอย่างเช่นในกรณีการเข้ารหัสลับตัวข้อมูล ข้อมูลที่ผ่านการถอดรหัสแล้วจะสามารถถูกคัดลอกหรือทำซ้ำได้ โดยที่เราไม่สามารถที่จะติดตามหาผู้ที่กระทำความผิดดังกล่าวมาลงโทษได้ ดังนั้นเพื่อยับยั้งหรือติดตามร่องรอยของการละเมิดลิขสิทธิ์ จึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีลายน้ำดิจิทัล (digital watermarking) ขึ้นมา โดยวิธีการนี้จะใช้หลักการในการซ่อนสิ่งที่เรียกว่าสัญญาณลายน้ำ (watermark signal) ลงไปในข้อมูล โดยไม่ทำให้คุณภาพของข้อมูลนั้นลดต่ำจนเกินไป สัญญาณลายน้ำดังกล่าวเปรียบเสมือนเครื่องหมายแสดงกรรมสิทธิ์บุคคล ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่ได้รับการฝังลายน้ำแล้ว ไปใช้งาน แก้ไข หรือตัดแปลงใดๆ ก็ได้ โดยที่สัญญาณลายน้ำที่ได้รับการฝังไว้อย่างมีประสิทธิภาพจะไม่ถูกทำลาย หรือถูกทำลายไปบ้าง แต่ยังคงสามารถแสดงกรรมสิทธิ์ได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคการฝังลายน้ำลงในข้อมูลที่เป็นรูปภาพดิจิทัล เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้มีการพัฒนาขึ้นมา โดยที่ลายน้ำคือข้อมูลสำคัญ (key information) หรือรหัสส่วนตัวที่ฝังลงไปบนภาพเพื่อใช้แสดงสิทธิความเป็นเจ้าของในสื่อข้อมูลภาพดิจิทัลเหล่านั้น เทคนิคการทำลายน้ำได้ถูกนำเสนอออกมาอย่างมากมาย ซึ่งพอจะแบ่งกรรมวิธีออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ก็คือ วิธีการทำลายน้ำในสเปเชียลโดเมน (spatial domain) และวิธีการทำลายน้ำในโดเมนความถี่ (frequency domain) ซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อดีแตกต่างกัน การทำลายน้ำในโดเมนความถี่จะคงทนต่อการโจมตีด้วยกระบวนการประมวลผลสัญญาณและการลดทอนทางเรขาคณิตมากกว่าวิธีการทำลายน้ำในสเปเชียลโดเมนส่วน การทำลายน้ำในสเปเชียลโดเมนจะได้สัญญาณลายน้ำที่มีขนาดใหญ่กว่าบนโดเมนความถี่

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอเทคนิคการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ โดยการฝังลายน้ำลงในภาพดิจิทัลบนสเปเชียลโดเมน เป้าหมายหลักคือภาพลายน้ำจะต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะเห็นรายละเอียดของลายน้ำ แม้ภาพต้นฉบับจะมีขนาดเล็ก โดยที่ความคงทนนั้นไม่ด้อยไปกว่าเทคนิคการฝังลายน้ำเดิมที่มีอยู่ และเนื่องจากความคงทนต่อการโจมตีของลายน้ำที่ฝังอยู่แปรผกผันกับความสามารถในการซ่อนตัวของลายน้ำ จึงมีการกำหนดพารามิเตอร์ไว้ในวิธีการที่นำเสนอ เพื่อให้สามารถกำหนดคุณสมบัติของลายน้ำที่ต้องการได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอวิธีการซ่อนลายน้ำภาพดิจิทัล การฝังภาพลายน้ำจะใช้ภาพสัญลักษณ์ 2 มิติแบบไบนารีมีขนาดประมาณ $1/4$ ของภาพต้นฉบับ ภาพดิจิทัลต้นฉบับเป็นแบบโทนสีเทา 256 ระดับ มีกุญแจลับสำหรับสลับบิตลายน้ำก่อนนำไปฝัง และมีพารามิเตอร์สำหรับปรับเลือกความโน้มเอียงในคุณสมบัติของลายน้ำ ระหว่างความคงทนต่อการโจมตีและความสามารถในการซ่อนตัวของลายน้ำ คุณภาพของภาพหลังจากการฝังลายน้ำตรวจสอบโดยใช้ค่า Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) ในขั้นตอนการตรวจสอบลายน้ำต้องอาศัยภาพต้นฉบับช่วย เทคนิคการฝังลายน้ำที่เสนอได้รับการทดสอบประสิทธิภาพของความคงทนด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ การบีบอัดข้อมูลภาพ การกรองภาพ การลดขนาดภาพ การหมุนภาพ การตัดบางส่วนของภาพ วิธีการที่นำเสนอนี้จะต้องเหมาะสมกับภาพต้นฉบับทุกขนาดรวมถึงภาพต้นฉบับที่มีขนาดเล็ก และมีความคงทนต่อการโจมตีไม่น้อยไปกว่าวิธีที่มีอยู่ในปัจจุบัน

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอวิธีการซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัล โดยเนื้อหาของวิทยานิพนธ์เล่มนี้มีการจัดเรียงข้อมูลตามลำดับดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ

กล่าวถึงที่มาของงานวิจัย วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย และเนื้อหาต่างๆ ของวิทยานิพนธ์เล่มนี้

บทที่ 2 ลายน้ำดิจิทัล

กล่าวถึง ชนิดของลายน้ำดิจิทัล การประยุกต์ใช้เทคนิคการฝังลายน้ำดิจิทัลสำหรับการป้องกันลิขสิทธิ์ในด้านต่างๆ คุณสมบัติที่สำคัญของลายน้ำที่ควรมี หลักการทั่วไปของภาพลายน้ำ การโจมตีลายน้ำ และการฝังลายน้ำดิจิทัลในปัจจุบัน

บทที่ 3 วิธีการฝังลายน้ำในสเปซเชิงลโคเมนด้วยวิธีของ L. Chang-Hising, L. Yeuan-Kuen [1]

กล่าวถึง งานวิจัยของ L. Chang-Hising, L. Yeuan-Kuen ในหัวข้อ "An adaptive digital image watermarking technique for copyright protection" โดยกล่าวถึง ขั้นตอนในการฝังลายน้ำ การตรวจสอบลายน้ำ การทดสอบความคงทนของลายน้ำ และข้อจำกัดของวิธีการที่ศึกษา

บทที่ 4 การฝังลายน้ำในสเปซเชิงลโคเมนด้วยบล็อกทับซ้อน

กล่าวถึง ขั้นตอนในการฝังลายน้ำที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้ได้ตามความต้องการ คือลายน้ำต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะเห็นรายละเอียดของลายน้ำแม้ว่าภาพต้นฉบับมีขนาดเล็ก และต้องมีพารามิเตอร์ในการฝังลายน้ำเพื่อปรับความคงทนของลายน้ำที่ฝังอยู่และการซ่อนตัวของลายน้ำให้ได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

บทที่ 5 ผลการทดลอง

กล่าวถึง ผลที่ได้จากการฝังภาพลายน้ำลงบนภาพดิจิทัลด้วยวิธีการที่นำเสนอ ผลของการทดสอบประสิทธิภาพของลายน้ำที่ผ่านการโจมตีลายน้ำจากการประมวลผลสัญญาณภาพแบบต่างๆ และจากการบีบอัดข้อมูลภาพแบบ JPEG

บทที่ 6 สรุป

กล่าวถึง สรุปผลการทดลอง ความเหมาะสมในการนำไปใช้ และเสนอแนะแนวทางการทำวิจัยที่สามารถพัฒนาต่อไป เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในอนาคต

บทที่ 2

ลายน้ำดิจิทัล

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการวิจัย และพื้นฐานของการสร้างภาพลายน้ำดิจิทัล ซึ่งเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการทั่วไปของลายน้ำดิจิทัล การแยกประเภทของภาพลายน้ำดิจิทัล การประยุกต์ใช้ภาพลายน้ำดิจิทัล คุณสมบัติของลายน้ำดิจิทัล การตรวจสอบลายน้ำดิจิทัล และเทคนิคการฝังภาพลายน้ำดิจิทัลในปัจจุบัน

2.1 ลายน้ำดิจิทัล

ทุกวันนี้สื่อดิจิทัลได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ข้อมูลข่าวสารที่มีอยู่มากมายถูกเก็บอยู่ในรูปแบบดิจิทัล เนื่องจากข้อดีหลายอย่างของสื่อดิจิทัลเมื่อเทียบกับการเก็บข้อมูลในรูปแบบเดิม เช่น ข้อมูลดิจิทัลสามารถทำสำเนาได้โดยง่ายโดยปราศจากการสูญเสียความคมชัด ซึ่งทำให้เหมือนต้นฉบับได้อย่างสมบูรณ์ อีกทั้งในปัจจุบันระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตยังทำให้การติดต่อสื่อสารและการเผยแพร่สื่อข้อมูลดิจิทัลสามารถกระทำได้อย่างสะดวกและง่ายดาย ผลเสียที่อาจเกิดขึ้นตามมาก็คือ ถ้าหากข้อมูลดิจิทัลนั้นๆ ถูกคัดลอกและเผยแพร่ต่อไปโดยมิได้รับอนุญาตจากเจ้าของข้อมูลเสียก่อน ก็จะทำให้เจ้าของข้อมูลที่แท้จริงเสียผลประโยชน์ที่พึงจะได้รับ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจ และการทำธุรกรรมทางอินเทอร์เน็ตที่มีการพัฒนาอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ดังนั้นเพื่อยับยั้งการละเมิดสิทธิของเจ้าของข้อมูล จึงจำเป็นต้องมีกฎหมายเพื่อควบคุมการใช้งานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิทธิทางปัญญา มิให้ผู้ที่มิได้เป็นเจ้าของข้อมูลนั้น นำข้อมูลไปใช้โดยมิได้รับอนุญาต เทคโนโลยีหนึ่งที่มีการพัฒนาเพื่อป้องกันปัญหานี้คือ การทำลายน้ำดิจิทัล (Digital Watermarking) ขึ้นมาเพื่อยับยั้งการละเมิดลิขสิทธิ์และทรัพย์สินทางปัญญา ข้อมูลที่ได้รับการฝังลายน้ำดิจิทัลสามารถนำออกเผยแพร่และใช้งานได้ตามปกติ แต่ที่พิเศษก็คือเมื่อเกิดข้อถกเถียงในเรื่องลิขสิทธิ์ของข้อมูล ก็สามารถตรวจสอบได้โดยการดึงลายน้ำดิจิทัลที่ฝังอยู่ออกมาแสดง

กล่าวโดยสรุปคือ ลายน้ำดิจิทัลเป็นสัญลักษณ์ดิจิทัลหรือข้อมูลสำคัญ ที่ถูกใส่เข้าไปในสื่อดิจิทัล โดยที่สื่อดิจิทัลเป็นได้ทั้ง รูปภาพ เสียง วิดีโอ เอกสาร ข้อความ หรือ ไฟล์มัลติมีเดีย ซึ่งผู้สร้างสรรค์หรือเจ้าของผลงาน สามารถแสดงสิทธิในการแจกจ่ายทำซ้ำหรือเผยแพร่ผลงานได้อย่างถูกกฎหมาย

2.2 ชนิดของภาพลายน้ำดิจิทัล

การทำภาพลายน้ำสามารถแบ่งออกได้หลายประเภท ขึ้นอยู่กับวิธีการจำแนก

2.2.1 จำแนกตามโดเมนที่ใช้ในการฝัง

- การฝังลายน้ำในสเปซโดเมน (Spatial Domain)

การฝังลายน้ำในสเปซโดเมนนั้น คือการเปลี่ยนแปลงแก้ไขค่าความเข้มแสงในภาพโดยตรง ซึ่งค่าที่เปลี่ยนแปลงนั้นคือค่าที่ใช้เป็นตัวแทนของลายน้ำที่ต้องการจะซ่อน ส่วนในการถอดลายน้ำก็จะพิจารณาว่าการเปลี่ยนแปลงนั้นยังคงอยู่หรือไม่ ตัวอย่างการฝังลายน้ำประเภทนี้คือ การแบ่งบล็อกในภาพต้นฉบับและเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงในแต่ละบล็อกของภาพต้นฉบับให้เป็นตัวแทนของบิตลายน้ำแต่ละบิต เป็นต้น

- การฝังลายน้ำในโดเมนต่างๆ (Other Domains)

การฝังลายน้ำในโดเมนความถี่นั้น ภาพต้นฉบับจะต้องถูกเปลี่ยนแปลงด้วยกระบวนการที่เรียกว่าทรานสฟอร์ม (Transform) แบบต่างๆ เช่น Discrete Fourier Transform (DFT), Wavelet Packet Transform (WPT) [3], Discrete Wavelet Transform (DWT) [4-6] และ Discrete Cosine Transform (DCT) [7] หลังจากนั้นนำภาพต้นฉบับผ่านทรานสฟอร์มจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ ในการฝังลายน้ำจะทำการแก้ไขค่าสัมประสิทธิ์ทรานสฟอร์มให้เป็นตัวแทนของบิตลายน้ำ หลังจากนั้นนำค่าสัมประสิทธิ์มาผ่านทรานสฟอร์มย้อนกลับให้กลายเป็นรูปภาพแล้วนำภาพที่ได้ไปเผยแพร่ ในการตรวจสอบก็จะนำภาพที่ต้องการตรวจสอบมาผ่านทรานสฟอร์มแล้วนำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปตรวจสอบลายน้ำ เพื่อที่จะบอกได้ว่าภาพนี้เป็นของใคร

2.2.2 จำแนกตามการมองเห็น

- ลายน้ำที่สามารถมองเห็นได้ (Visible Watermark)

เป็นการฝังลายน้ำที่สามารถมองเห็นได้ มีการทำลายน้ำแบบโปร่งแสงและไม่โปร่งแสง ซึ่งในแบบโปร่งแสงนั้นจะพิจารณากับตำแหน่งที่ต้องการจะฝังภาพลายน้ำว่าที่ตำแหน่งนั้นมีค่าความเข้มแสงเป็นอย่างไร ควรจะฝังมากน้อยอย่างไร ส่วนลายน้ำแบบไม่โปร่งแสงนั้นเป็นแบบที่ง่ายที่สุด ในการฝังจะใช้สัญลักษณ์ที่ต้องการฝังทับลงไปบนภาพโดยตรง แต่ข้อเสียก็คือจะทำให้ภาพสูญเสียคุณสมบัติไป การฝังลายน้ำที่สามารถมองเห็นได้นิยมใช้กันมากในการถ่ายทอดโทรทัศน์

- ลายน้ำที่ไม่สามารถมองเห็นได้ (Invisible Watermark)

ภาพที่ได้รับการฝังลายน้ำแล้วเมื่อเปรียบเทียบกับภาพต้นฉบับ ต้องไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างได้ ข้อดีของวิธีการนี้ก็คือคุณภาพของภาพต้นฉบับไม่ถูกทำลายไปหรือถูกทำลายน้อยมาก แต่จะมีขั้นตอนที่ซับซ้อนกว่าการฝังลายน้ำแบบมองเห็นได้

2.2.3 จำแนกตามการตรวจสอบ

- ตรวจสอบโดยใช้ภาพต้นฉบับ

วิธีการนี้คือในขั้นตอนการตรวจสอบภาพลายน้ำจะต้องนำภาพต้นฉบับมาเปรียบเทียบร่วมกับกุญแจลับเพื่อตรวจสอบหาลายน้ำที่ซ่อนอยู่ในภาพ

- ตรวจสอบโดยไม่ใช้ภาพต้นฉบับ

วิธีการนี้คือในขั้นตอนการตรวจสอบใช้เพียงกุญแจลับเพียงอย่างเดียวในการตรวจสอบหาภาพลายน้ำที่ฝังอยู่ในภาพ

2.3 การประยุกต์ใช้ลายน้ำดิจิทัล

การนำเสนอสื่อดิจิทัลที่มีการจดลิขสิทธิ์ เช่น ภาพยนต์ เพลง และภาพถ่ายสำคัญๆ มีข้อได้เปรียบอย่างมาก อย่างไรก็ตามปัญหาการลอกเลียนแบบผลงานโดยผิดกฎหมายมักเกิดขึ้นเสมอ แต่เมื่อมีผู้คิดค้นเทคนิคที่ช่วยในการป้องกันลิขสิทธิ์ข้อมูลของเจ้าของผลงาน โดยวิธีการเข้ารหัสลับปัญหาดังกล่าวก็จะคลี่คลายลงไป แต่ก็ยังคงมีปัญหาอื่นตามมา นั่นคือถ้าข้อมูลที่ได้รับจากการถอดรหัสสดถึงมือผู้กระทำผิด ข้อมูลนั้นก็จะมีปราศจากการปกป้อง ผู้กระทำผิดนั้นก็จะสามารถนำข้อมูลนั้นไปใช้งานได้โดยไม่สามารถระบุได้ว่าบุคคลใดเป็นเจ้าของ ดังนั้นเทคโนโลยีลายน้ำดิจิทัลจึงได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการซ่อนสัญลักษณ์แสดงความเป็นเจ้าของลงในสื่อดิจิทัล โดยที่สายตาไม่สามารถสังเกตเห็นได้ แต่ตรวจสอบได้ง่ายด้วยคอมพิวเตอร์ ข้อดีของวิธีการนี้คือแม้ว่าข้อมูลจะถูกแก้ไขเปลี่ยนแปลงไป แต่ลายน้ำดิจิทัลก็ยังคงหลงเหลืออยู่เพียงพอที่จะใช้ในการพิสูจน์กรรมสิทธิ์ของเจ้าของได้ การฝังลายน้ำจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างมากมายในด้านต่างๆ

2.3.1 ใช้ตรวจสอบการเป็นเจ้าของผลงาน

ลายน้ำเป็นสิ่งที่พิสูจน์ถึงการเป็นเจ้าของผลงาน ข้อมูลข่าวสารที่ได้รับการฝังลายน้ำสามารถนำมาทำซ้ำได้โดยผู้ที่ได้รับสิทธิ์ที่ถูกต้องตามกฎหมาย หรือตีพิมพ์ผลงานจากการติดต่อกับเจ้าของผลงาน อนาคตลายน้ำอาจจะถูกนำมาใช้ช่วยในการกำหนดข้อโต้แย้งในการแสดงสิทธิการเป็นเจ้าของผลงาน

2.3.2 ใช้ตรวจสอบการเป็นผู้ซื้อผลงาน

ลายน้ำสามารถใช้พิสูจน์หาผู้ซื้อผลงาน ลายน้ำที่ฝังอยู่เป็นของผู้ซื้อผลงาน โดยผู้ซื้อผลงานมีสิทธิในการนำผลงานนั้นไปเผยแพร่ และใช้ช่วยตามรอยแหล่งที่ทำการทำซ้ำผลงานอย่างผิดๆ เช่น ในธุรกิจสิ่งพิมพ์ หากการทำภาพลายน้ำดิจิทัลมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสัญญาณจากระบบดิจิทัลเป็นอนาล็อก (Digital to Analog) และจากระบบอนาล็อกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital) แล้ว การละเมิดลิขสิทธิ์โดยการพิมพ์หน้าปกหนังสือโดยใช้ภาพที่มีลายน้ำดิจิทัลอยู่ก็จะ

เป็นไปได้ยาก หรืออาจจะนำมาใช้ในการทำธุรกรรมบนอินเทอร์เน็ต (E-Commerce) เพื่อป้องกันมิ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นาใบเซอร์โฮชันด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้รูปภาพที่ถูกคัดลอกมีการเผยแพร่หรือจำหน่ายและนำไปใช้อย่างผิดกฎหมาย เพราะบุคคลที่จะทำการคัดลอกก็ย่อมกลัวที่จะถูกติดตามและฟ้องร้อง อันเนื่องมาจากลายน้ำที่ซ่อนอยู่ในตัวรูปภาพ นอกจากนี้การใช้ภาพที่ไม่ทราบที่มาที่ไปก็จะมีค่าธรรมเนียมละเมิดมากขึ้นด้วย เพราะถ้าเจ้าของภาพมาพบและพิสูจน์สิทธิ โดยใช้ลายน้ำดิจิทัลที่ซ่อนอยู่ก็จะสามารถฟ้องร้องเรียกค่าเสียหายต่อบุคคลที่นำภาพดังกล่าวมาใช้งานได้

2.3.3 การรับรองความถูกต้อง

ลายน้ำดิจิทัลอาจนำไปใช้ในข้อมูลที่มีความสำคัญมาก ตัวอย่างเช่น การทำธุรกรรมพาณิชย์ อิเล็กทรอนิกส์เกี่ยวกับข้อมูลมัลติมีเดีย ภาพถ่ายทางการแพทย์ ภาพข่าวสำคัญ ถ้าหากมีการปรับเปลี่ยนหรือแต่งเติมรายละเอียดข้อมูลลงไปให้แตกต่างจากต้นฉบับ อาจก่อให้เกิดผลเสียหายอย่างมาก เช่น ภาพตัดต่อของคาราทีมีชื่อเสียง ลายน้ำที่ถูกเข้ารหัสข่าวสารเพื่อใช้รับรองความถูกต้องในเนื้อหาข้อมูล จึงต้องถูกออกแบบให้มีความเปราะบาง (Fragile) สมมุติว่าข้อมูลสำคัญถูกแก้ไขก็จะทำให้ลายน้ำเปลี่ยนแปลง การฝังข้อมูลโดยตรงลงในเนื้อหาทำให้ง่ายต่อการตรวจสอบ เพราะถ้าลายน้ำไม่ตรงกับรหัสที่ฝังไว้แสดงว่าเกิดความผิดปกติขึ้นในข้อมูล นอกจากนี้ลายน้ำดิจิทัลดังกล่าวยังสามารถใช้ระบุถึงผู้สร้างลายน้ำหรือใช้รับรองสิทธิได้ด้วย

2.3.4 ความคุ้มครองการคัดลอก

ลายน้ำประเภทนี้จะบรรจุข้อมูลเกี่ยวกับกฎหมายการใช้งาน และการทำซ้ำของเจ้าของผลงานเพื่อบังคับใช้ทั่วไป เช่น “เนื้อหาข้อมูลไม่สามารถทำซ้ำได้อีก” อุปกรณ์ที่มีความสามารถคัดลอกข้อมูลเหล่านี้จะใช้ลายน้ำประเภทนี้เพื่อป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ข้อมูลดิจิทัล โดยใช้ฮาร์ดแวร์พิเศษสำหรับทำสำเนาและครายละเอียด ซึ่งจะมียุทธศาสตร์แสดงถึงจำนวนครั้งที่อนุญาตให้ทำสำเนาดังนั้นทุกครั้งเมื่อมีการทำสำเนา ฮาร์ดแวร์ตัวนี้จะทำการเปลี่ยนแปลงรหัส และเมื่อจำนวนเท่ากับศูนย์ ระบบจะไม่สามารถดูข้อมูลได้อีก ตัวอย่างของอุปกรณ์ที่มีความสามารถประเภทนี้ได้แก่ เครื่องเล่น DVD (Digital versatile disc)

2.3.5 การสื่อสารข้อมูลลับ

สัญญาณลายน้ำที่ฝังไว้นามาใช้ส่งข้อมูลลับจากบุคคลหนึ่งไปยังอีกบุคคลหนึ่ง โดยไม่ทำให้บุคคลอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องทราบถึงข้อมูลข่าวสารที่ถูกส่งออกไป วิธีนี้เป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคสเตโนกราฟที่ใช้การซ่อนข้อมูลข่าวสารส่งไปให้บุคคลอื่น และถูกนำมาประยุกต์ใช้ทางการทหาร

2.4 คุณสมบัติสำคัญของภาพลายน้ำดิจิทัล

ในประเด็นของปัญหาการซ่อนข้อมูลข่าวสารทั่วไป มักจะมีความสัมพันธ์กันระหว่างความคงทน (Robustness) ความสามารถในการมองเห็น (Invisible) และขนาดความจุของลายน้ำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Capacity) โดยภาพที่ได้รับการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้วไม่ควรแตกต่างจากภาพต้นฉบับ ในการออกแบบอัลกอริทึมจึงจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดที่สำคัญทั้ง 3 ส่วนนี้เป็นอย่างมาก

โดยทั่วไปแล้วการทำลายน้ำดิจิทัลมีข้อกำหนดมากมาย ขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งานแต่ละชนิด เทคนิคการทำลายน้ำบางเทคนิคอาจจะขาดคุณสมบัติที่กำหนดไว้ในข้อกำหนดบางข้อ อย่างไรก็ตามการทำลายน้ำภาพดิจิทัลส่วนใหญ่จะมีข้อกำหนดที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

- มีความโปร่งใส (Transparency) อัลกอริทึมการทำลายน้ำต้องฝังลายน้ำโดยไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของข้อมูลต้นฉบับหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าลายน้ำไม่ควรจะมองเห็นได้
- มีความคงทน (Robustness) เมื่อภาพที่ถูกฝังลายน้ำถูกโจมตีด้วยวิธีการต่างๆ ทั้งแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น วิธีการเหล่านี้ต้องไม่สามารถทำให้ภาพลายน้ำหายไปได้
- ความจุของลายน้ำ (Capacity) โดยขนาดของลายน้ำต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะสามารถเห็นรายละเอียดได้
- มีความปลอดภัย (Security) เทคนิคการทำลายน้ำในภาพต้องมี “ความปลอดภัย” ถึงแม้ว่าจะรู้อัลกอริทึมที่แท้จริงในการฝังหรือการแยกลายน้ำ บุคคลอื่นที่ไม่ได้รับอนุญาตต้องไม่สามารถลบลายน้ำทิ้งไปได้นอกจากเจ้าของผลงาน

2.5 หลักการทั่วไปของภาพลายน้ำ

การทำภาพลายน้ำดิจิทัลทุกประเภทจะประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ไปที่เหมือนกัน คือ

2.5.1 การฝังลายน้ำดิจิทัล (Watermark Embedding)

ในขั้นตอนการใส่ลายน้ำดิจิทัลนั้นจะต้องมีภาพต้นฉบับและกุญแจลับที่ใช้สำหรับใส่ภาพลายน้ำ ข้อมูลภาพที่ต้องการใส่ลายน้ำจะผ่านกระบวนการฝังสัญญาณลายน้ำ โดยสัญญาณที่ใส่เข้าไปจะขึ้นอยู่กับกุญแจลับ (Secret Key) ที่ใช้ในการเข้ารหัส เพื่อว่าจะมีเพียงผู้ที่ถือกุญแจเท่านั้นที่มีสิทธิในการเปลี่ยนแปลงแก้ไขสัญญาณลายน้ำได้

2.5.2 การตรวจสอบลายน้ำดิจิทัล (Watermark Detection)

ในขั้นตอนการตรวจสอบลายน้ำดิจิทัลนั้นจะต้องมีภาพที่ต้องการตรวจสอบ กุญแจลับอันเดียวกับที่ใช้ในการฝัง และอาจจะมีภาพต้นฉบับหรือไม่ขึ้นอยู่กับวิธีการในการตรวจสอบภาพลายน้ำ

2.6 การโจมตีลายน้ำ

การโจมตีลายน้ำนั้นก็คือการทำให้ข้อมูลลายน้ำที่ถูกฝังอยู่นั้นเกิดความเสียหาย โดยอาจจะเกิดจากความตั้งใจหรือไม่ตั้งใจ รวมถึงในกระบวนการประมวลผลสัญญาณภาพซึ่งข้อมูลลายน้ำในภาพจะถูกกระทำจนทำให้ลายน้ำลบเลือน หรืออาจเกิดจากการโจมตีของผู้ที่ประสงค์ร้าย ลักษณะของการโจมตีแยกได้ดังนี้

2.6.1 การบีบอัดภาพ

กล่าวได้ว่าการประมวลผลสัญญาณที่นิยมใช้กับภาพมากที่สุดได้แก่การบีบอัดภาพแบบ JPEG ซึ่งเป็นตัวทดสอบที่ดีสำหรับการทดสอบความคงทนของลายน้ำ การบีบอัดภาพแบบ JPEG มีระดับการบีบอัดที่ถูกควบคุมโดยแฟกเตอร์คุณภาพ 100, 90, 80, 70, ..., 10 % การบีบอัดแบบ JPEG นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายบนอินเทอร์เน็ต ภาพที่ได้มีขนาดเล็ก และการเผยแพร่บนอินเทอร์เน็ตเป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้การฝังภาพลายน้ำเพื่อการพิสูจน์ลิขสิทธิ์ในภายหลัง จำเป็นต้องคงทนต่อการบีบอัดภาพแบบ JPEG

2.6.2 การเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิต

มุ่งไปที่การเปลี่ยนแปลงภาพโดยไม่สูญเสียเรื่องคุณภาพ มีดังนี้

การย่อหรือการขยายภาพ (Resizing) ขนาดของภาพเปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับภาพต้นฉบับ ซึ่งจะมีผลต่ออัลกอริทึมในการฝังภาพลายน้ำในตำแหน่งที่ตายตัวเพราะจะไม่สามารถตรวจหาลายน้ำได้

การตัดบางส่วนของภาพ (Cropping) เป็นการตัดบางส่วนของภาพออกไป ทำให้มีผลกับอัลกอริทึมที่กระจายลายน้ำออกไปทั่วทั้งภาพ

การเคลื่อนย้ายภาพ (Translation) จะมีผลอย่างมากถ้าหากพิจารณาพร้อมกับการตัดบางส่วนของภาพออกไป หากส่วนย่อยของภาพถูกแยกออกจากภาพต้นฉบับและนำไปตัดต่อใช้ร่วมกับภาพอื่น จะทำให้ไม่ทราบที่เกิดจากการตัดบางส่วนของภาพไปหรือไม่ แต่ถ้ามีภาพต้นฉบับมาเปรียบเทียบกับในการตรวจสอบหาลายน้ำจะทำให้ทราบตำแหน่งและสามารถพิสูจน์ลายน้ำที่ฝังอยู่ได้

การหมุนภาพ (Rotation) กรณีที่สำคัญที่สุดของการหมุนภาพคือกรณีที่หมุนภาพไป 90 องศา และ 180 องศา ซึ่งในการตรวจสอบลายน้ำต้องทำให้ภาพอยู่ในลักษณะเดิมก่อนทำการตรวจสอบ

การกลับด้านของภาพ (Flipping) คือการสลับด้านซ้ายขวาของภาพ จะมีผลกับอัลกอริทึมที่ฝังลายน้ำลงในตำแหน่งที่ตายตัว

2.6.3 การประมวลผลสัญญาณ

การแก้ไขด้วยวิธีการนี้มีหลายประเภท ได้แก่

การปรับแต่งความสว่าง (Brightness and contrast enhancement) โดยทั่วไปแล้วจะเกิดปัญหาในการตรวจสอบหลายน้ำ เพราะเมื่อภาพถูกปรับค่าความเข้มแสงแล้วนำค่าความเข้มแสงนั้นมาตรวจสอบหลายน้ำ จะทำให้คุณสมบัติของหลายน้ำที่ฝังอยู่เปลี่ยนไป

การปรับความคมชัด การทำให้เลือน และการกรองแบบต่างๆ เช่น (Sharpening, blurring, filtering) การปรับลักษณะนี้ จะทำให้คุณสมบัติของหลายน้ำที่ฝังอยู่ลดลงหรือเลือนหายไปได้

การแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอลและการแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอก (Digital to Analog (D/A) and Analog to Digital (A/D)) เช่น การพิมพ์ การสแกน หรือการบันทึกเทป

2.7 การฝังลายน้ำดิจิตอลในปัจจุบัน

ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงการฝังลายน้ำดิจิตอลในปัจจุบัน แยกตามโดเมนที่ใช้ในฝังลายน้ำดังนี้

2.7.1 วิธีการฝังลายน้ำบนโดเมนต่างๆ

S. R. Mehl และ P. R. Priti [6] ได้นำเสนอวิธีการฝังภาพลายน้ำ โดยใช้เวปเลตทรานสฟอร์มทำการฝังใน Level ที่ 2 ของ DWT ฝังลายน้ำใน LL และ HH แบนด์ ซึ่งภาพต้นฉบับที่ใช้มีขนาด 128x128 พิกเซล และใช้ภาพลายน้ำ 2 ภาพมีขนาด 32x32 พิกเซลทั้ง 2 ภาพ ทำการฝัง 1 ภาพลงใน LL แบนด์และอีก 1 ภาพฝังลงใน HH แบนด์

J. Zhang, T. Anthony และ S. Ho [7] ได้นำเสนอวิธีการฝังภาพลายน้ำลงในสัมประสิทธิ์ของ Discrete Cosine Transform (DCT) โดยภาพต้นฉบับขนาด 512x512 พิกเซล และขนาดของลายน้ำที่ได้คือ 32x32 พิกเซล ภาพต้นฉบับและภาพลายน้ำจะถูกแปลงเป็นสัมประสิทธิ์ DCT โดยใช้บล็อกขนาด 4x4 พิกเซล จะทำการเลือกบล็อกของภาพต้นฉบับบางบล็อกมาทำการฝังลายน้ำ โดยฝังลงในความถี่ช่วงกลางเท่านั้น จากการเลือกบล็อกบางบล็อกทำให้ได้ขนาดของภาพลายน้ำเล็กกว่าภาพต้นฉบับอย่างมาก

P. Kumhoml, S. On-ritl and K. Chamnongthail [3] ได้นำเสนอวิธีการฝังภาพลายน้ำลงในสัมประสิทธิ์ของ (Wavelet Packet Transform : WPT) ในวิธีการที่นำเสนอใช้ภาพต้นฉบับขนาด 256x256 พิกเซล และขนาดของลายน้ำที่ได้คือ 64x64 พิกเซล การฝังลายน้ำจะทำการแปลงภาพต้นฉบับเป็น ค่าสัมประสิทธิ์ของ Wavelet Packet Transform และฝังภาพลายน้ำลงใน Level ที่ 2 ของ Wavelet Packet Transform ทำให้ได้ขนาดของภาพลายน้ำเล็กกว่าภาพต้นฉบับมาก

S. P. Maity, P. Nandy, T. S. Das and M. K. Kundu [5] ได้นำเสนอวิธีการฝังภาพลายน้ำลงในสัมประสิทธิ์ของ DWT โดยใช้ Filter เป็น Daubechies (DB2) [9] ซึ่งในการทดลองใช้ภาพต้นฉบับขนาด 256x256 พิกเซล ทำการฝังลายน้ำลงใน Level ที่ 4 ทำให้ได้ขนาดของลายน้ำ 16x16 พิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V. Potdar, S. Han และ E. Chang [4] ได้นำเสนอวิธีการฝังภาพลายน้ำลงในสัมประสิทธิ์ของ DWT ซึ่งในการทดลองใช้ภาพต้นฉบับขนาด 1024×1024 พิกเซล ทำการแปลงภาพต้นฉบับให้เป็นสัมประสิทธิ์เวปเลต โดยใช้ Haar filter [9] และทำการฝังลายน้ำลงใน LL Sub band โดยแบ่ง LL Sub band เป็นบล็อกแบบไม่ทับซ้อนขนาด 8×8 พิกเซล และฝังลายน้ำ 1 บิตลงไปในบล็อก 8×8 พิกเซล ที่แบ่งไว้ทำให้ได้ขนาดลายน้ำเท่ากับ 64×64 พิกเซล

2.7.2 วิธีการฝังลายน้ำบนสเปเชียลโดเมน

L. Chang-Hising และ L. Yeuan-Kuen [1] เป็นการฝังลายน้ำแบบไม่สามารถมองเห็นได้และต้องใช้เวลาต้นฉบับมาเปรียบเทียบในการตรวจสอบลายน้ำที่ฝัง ในการฝังลายน้ำใช้ภาพต้นฉบับเป็นภาพโทนสีเทา 256 ระดับความเข้มแสง และมีภาพลายน้ำเป็นภาพไบนารี โดยภาพต้นฉบับจะถูกแบ่งเป็นบล็อก จำนวนบล็อกในภาพต้นฉบับจะเท่ากับจำนวนบิตของภาพลายน้ำ เช่น ถ้าภาพต้นฉบับมีขนาด 512×512 พิกเซล และขนาดของบล็อกที่ต้องการแบ่งมีขนาด 4×4 พิกเซล ภาพลายน้ำที่ใช้ฝังจะมีขนาด 128×128 พิกเซล

S. Kimpan, A. Lasakul และ C. Kimpan [8] ได้นำวิธีการของ L. Chang-Hising และ L. Yeuan-Kuen มาพัฒนาโดยทำการปรับเปลี่ยนขนาดของบล็อก และขั้นตอนอื่นๆยังคงเหมือนเดิม ในการทดลองตัวอย่างใช้ภาพต้นฉบับขนาด 512×512 พิกเซลและ 128×128 พิกเซลตามลำดับ

2.8 สรุป

ปัจจุบันนักวิจัยทั่วโลกได้ให้ความสนใจในการพัฒนาเทคโนโลยีด้านการทำภาพลายน้ำดิจิทัลหลายๆ เทคนิคได้พัฒนาปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยนำคุณสมบัติของระบบการมองเห็นของมนุษย์ หรือการแทนที่ลายน้ำในพื้นที่สำคัญของรูปภาพมาใช้ ทำให้เป็นที่เชื่อว่าเทคโนโลยีดังกล่าวจะถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง รวมไปถึงเทคโนโลยีอื่นๆ ที่ใช้ในการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์จะได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และในอนาคตการทำลายน้ำจะมีขั้นตอนการทำที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น トラบดีที่การละเมิดลิขสิทธิ์ยังไม่สามารถแก้ไขได้อย่างจริงจัง

บทที่ 3

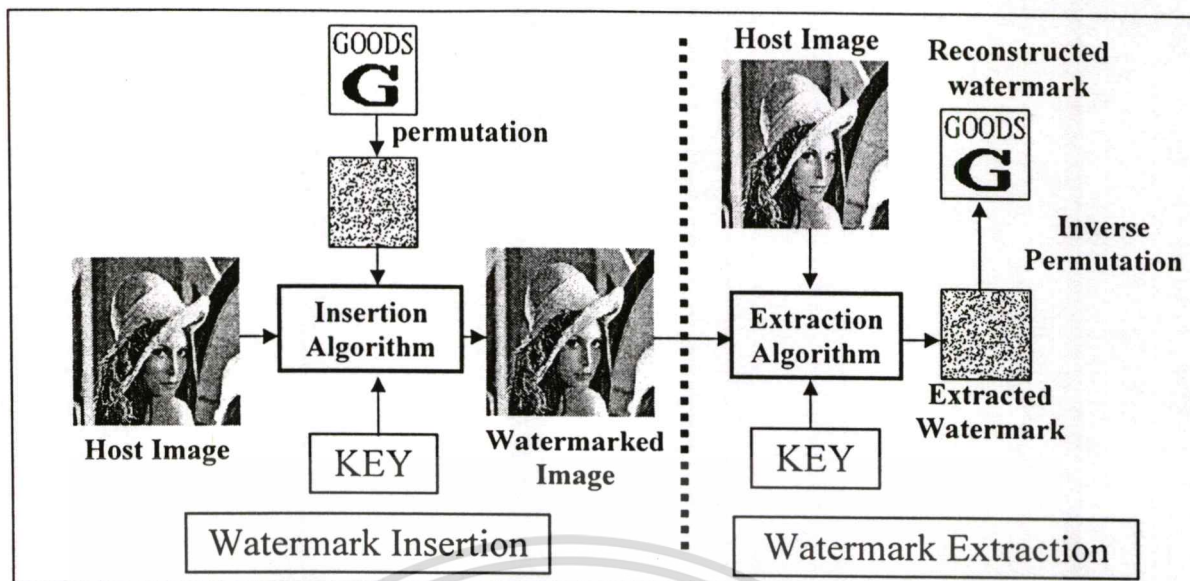
วิธีการฝังลายน้ำในสเปาเซี่ยลโดเมนด้วยวิธีของ

L. Chang-Hising และ L. Yeuan-Kuen

3.1 งานวิจัยที่ศึกษา

วิธีการฝังภาพลายน้ำในสเปาเซี่ยลโดเมนที่เสนอโดย L. Chang-Hising และ L. Yeuan-Kuen [1] เป็นการฝังลายน้ำแบบไม่สามารถมองเห็นได้ และต้องใช้ภาพต้นฉบับมาเปรียบเทียบในการตรวจสอบลายน้ำที่ฝัง ในการฝังลายน้ำใช้ภาพต้นฉบับเป็นภาพโทนสีเทา 256 ระดับความเข้มแสง และมีภาพลายน้ำเป็นภาพไบนารี โดยภาพต้นฉบับจะถูกแบ่งเป็นบล็อก จำนวนบล็อกในภาพต้นฉบับจะเท่ากับจำนวนบิตของภาพลายน้ำ เช่น ถ้าภาพต้นฉบับมีขนาด 512x512 พิกเซล และขนาดของบล็อกที่ต้องการแบ่งมีขนาด 4x4 พิกเซล ภาพลายน้ำที่ใช้ฝังจะมีขนาด 128x128 พิกเซล เป็นต้น

ก่อนทำการฝังจะทำการสลับบิตของภาพลายน้ำให้เป็นภาพใหม่ขนาดเท่าเดิม เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้อื่นทราบว่าภาพลายน้ำที่ฝังเป็นภาพอะไร จากนั้นในขั้นตอนการฝังก็จะใช้กุญแจลับเพื่อสุ่มเลือกตำแหน่งบล็อกที่จะนำลายน้ำแต่ละบิตไปฝัง ซึ่งจะทำให้ภาพลายน้ำกระจายกันอยู่ทั่วทั้งภาพ โดยกุญแจลับนี้จะใช้ในขั้นตอนการถอดภาพลายน้ำออกจากภาพต้นฉบับด้วย การกำหนดค่าที่ใช้ในการฝังแทนค่าบิตของลายน้ำ จะมีคุณสมบัติเป็น Adaptive กล่าวคือ จะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามค่าความเข้มแสงต่ำสุด ค่าความเข้มแสงสูงสุด ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย ค่าน้ำหนัก และค่าอื่นๆ ที่เป็นค่าข้อมูลของพิกเซลภายในบล็อกที่จะทำการฝัง รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการฝังลายน้ำของ L. Chang-Hising และ L. Yeuan-Kuen



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนในการทำภาพลายน้ำดิจิทัลของ L. Chang-Hising และ L. Yeuan-Kuen

3.2 วิธีการฝังลายน้ำของงานวิจัยที่ศึกษา

ในขั้นตอนการฝังลายน้ำแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ Watermark Permutation Algorithm และ Watermark Embedding

3.2.1 Watermark Permutation Algorithm

โดยใช้ Pseudo-random number เป็น key ในการสลับบิตของลายน้ำ จากนั้นนำลายน้ำมาใส่ลงในแต่ละบล็อกโดยแต่ละบล็อกก็ใส่ลงไป 1 บิต ขั้นตอนในการสลับบิตของลายน้ำกำหนดดังนี้

ให้ W_q เป็นภาพลายน้ำต้นฉบับและ W_p เป็นภาพลายน้ำที่ถูกสลับบิตแล้ว

$$W_p = \{w_p(i, j) = w_q(i', j') \mid 1 \leq i, i' \leq M \text{ and } 1 \leq j, j' \leq N\}$$

เมื่อ M และ N คือ ความกว้างและความยาวของภาพลายน้ำตามลำดับ ขั้นตอนการทำงานของการ Permutation มีดังนี้

Step 1 กำหนดค่า Index ให้กับแต่ละพิกเซล โดยที่ค่า Index ของแต่ละพิกเซลจะมีค่าอยู่ที่ 1 ถึง $M \times N$

Step 2 สุ่มเลือกค่า q ของฟังก์ชัน Pseudo Random เพื่อกำหนดรูปแบบการจับคู่พิกเซล $W_p(i, j)$ และ $W_q(i', j')$

Step 3 เปลี่ยนค่าพิกเซลใน W_p มาเป็นค่าพิกเซลใน W_q

3.2.2 Watermark Embedding

สิ่งสำคัญของการฝังภาพลายน้ำ คือภาพที่ฝังลายน้ำแล้วต้องไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลง และลายน้ำที่ฝังอยู่ต้องคงทนต่อการโจมตี ก่อนที่จะฝังลายน้ำภาพต้นฉบับจะถูกแบ่งออกเป็นบล็อกที่มีขนาด $n \times n$ และภาพลายน้ำที่ถูกสลับบิตแล้วจะถูกนำมาฝังลงในภาพต้นฉบับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยฝั่ง 1 บิตต่อ 1 บล็อก ตำแหน่งของบล็อกที่ฝั่งบิตลายน้ำจะถูกเลือกโดยใช้ pseudo random โดยมี
 กุญแจ k ที่ใช้ในการฝั่ง ค่า k นั้นเหมือนเป็นกุญแจลับ การฝั่งลายน้ำมีขั้นตอนดังนี้

ถ้ากำหนดให้ B เป็นบล็อกที่ถูกเลือก

Step 1 เรียงลำดับพิกเซลในบล็อก B ทั้งหมดจากค่าความเข้มแสงน้อยไปค่าความเข้มแสงมาก

Step 2 คำนวณค่า g_{mean} , g_{min} , และ g_{max} ของบล็อก

$$g_{mean} = \frac{1}{n^2} \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} b_{ij}$$

$$g_{min} = \min(b_{ij}, 0 \leq i, j < n)$$

$$g_{max} = \max(b_{ij}, 0 \leq i, j < n)$$

Step 3 แบ่งทุกๆ พิกเซลในบล็อก B ออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

$$b_{ij} \in Z_H \text{ if } b_{ij} > g_{mean}$$

$$b_{ij} \in Z_L \text{ if } b_{ij} \leq g_{mean}$$

โดยที่ Z_H และ Z_L เป็นเซตที่ประกอบด้วยพิกเซลที่มีค่าความเข้มแสงสูงกว่าค่า $Mean$ และ
 พิกเซลที่มีค่าความเข้มแสงต่ำกว่าหรือเท่ากับค่า $Mean$ ตามลำดับ

Step 4 คำนวณค่า $Mean$ ของ Z_H และ Z_L เรียกว่า M_L และ M_H

Step 5 กำหนดค่าคงที่ของแต่ละบล็อก

$$C_B = \max(C_{min}, \alpha(g_{max} - g_{min})),$$

เมื่อ α คือค่าคงที่ และ C_{min} คือค่าคงที่ที่กำหนดขึ้นเพื่อควบคุมมิให้ค่า C_B น้อยกว่านี้

Step 6 สมมุติว่าค่าที่จะฝั่งคือ b_w เป็นค่า 0 หรือ 1 การเปลี่ยนแปลงค่าของพิกเซลในบล็อก B
 เป็นไปตามกฎนี้

$$\text{if } b_w = 1$$

$$g' = g_{max} \quad \text{if } g > M_H,$$

$$g' = g_{mean} \quad \text{if } M_L \leq g < M_{mean},$$

$$g' = g + \delta \quad \text{if otherwise,}$$

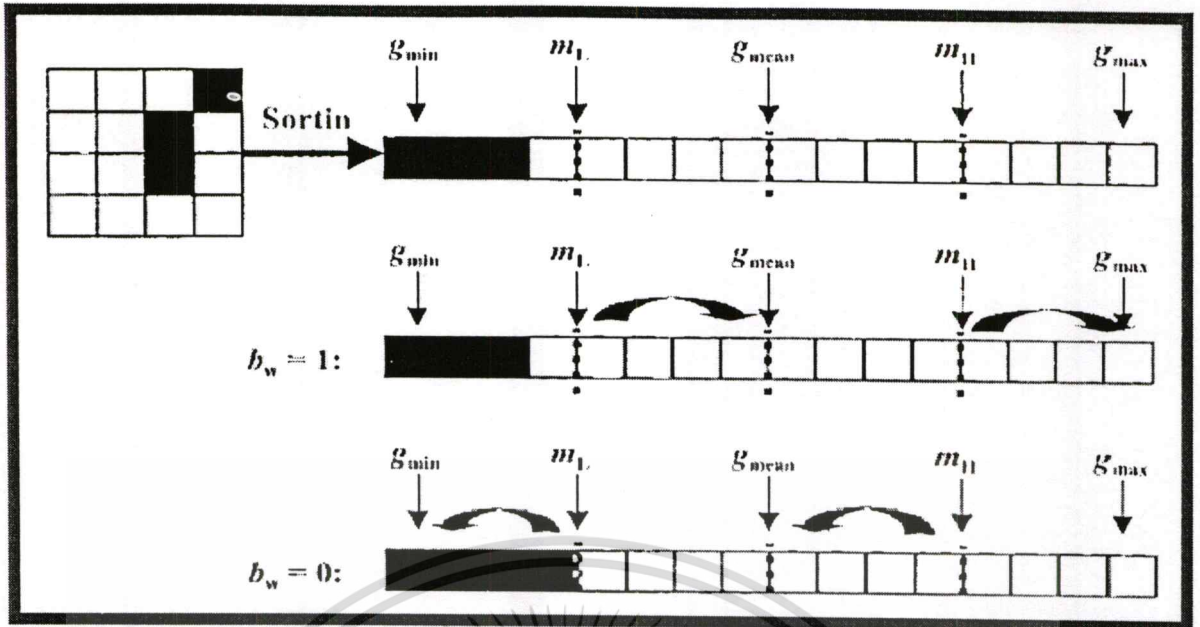
$$\text{if } b_w = 0$$

$$g' = g_{min} \quad \text{if } g < M_L,$$

$$g' = g_{mean} \quad \text{if } M_{mean} \leq g < M_H,$$

$$g' = g - \delta \quad \text{if otherwise,}$$

โดยที่ค่า δ คือค่าที่สุ่มมาโดยมีค่าระหว่าง 0 ถึง C_B เหตุผลที่ต้องสุ่มมาเพื่อให้ค่าของลายน้ำไม่
 เป็นค่าที่เท่ากันจนสามารถสังเกตเห็นได้ ดังรูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการปรับความเข้มแสงภาพในบล็อก



รูปที่ 3.2 การปรับค่าในกรณีที่บิตลายน้ำ (b_w) เป็น 0 และ 1

บิตลายน้ำจะถูกฝังลงในแต่ละบล็อก ถ้าค่าความเข้มแสงภายในบล็อกมีความแตกต่างกันมาก การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงของบล็อกนั้นก็จะมากตามไปด้วย ถ้าบล็อกนั้นมีค่าความเข้มแสงใกล้เคียงกันมาก (Smooth) การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงก็จะน้อยตามไปด้วย หรือเป็นค่าที่สุ่มมาโดยมีค่าระหว่าง 0 ถึง C_B

3.3 วิธีการตรวจสอบลายน้ำ

การตรวจสอบลายน้ำจากภาพที่ถูกฝัง กระทำโดยแบ่งบล็อกของภาพที่ต้องการตรวจสอบลายน้ำในแบบเดียวกับการฝัง แล้วทำการเปรียบเทียบกับภาพต้นฉบับ โดยการเปรียบเทียบนั้นจะเป็นแบบบล็อกต่อบล็อก โดยเปรียบเทียบบล็อกที่ตรงกันเท่านั้น ถ้าให้ S_H เป็นผลรวมของค่าความเข้มแสงในบล็อกที่มีลายน้ำอยู่ และ S_H คือผลรวมค่าความเข้มแสงของบล็อกในภาพต้นฉบับแล้ว ค่าบิตลายน้ำ (b_w) ที่ตรวจสอบได้จะมีค่าดังนี้

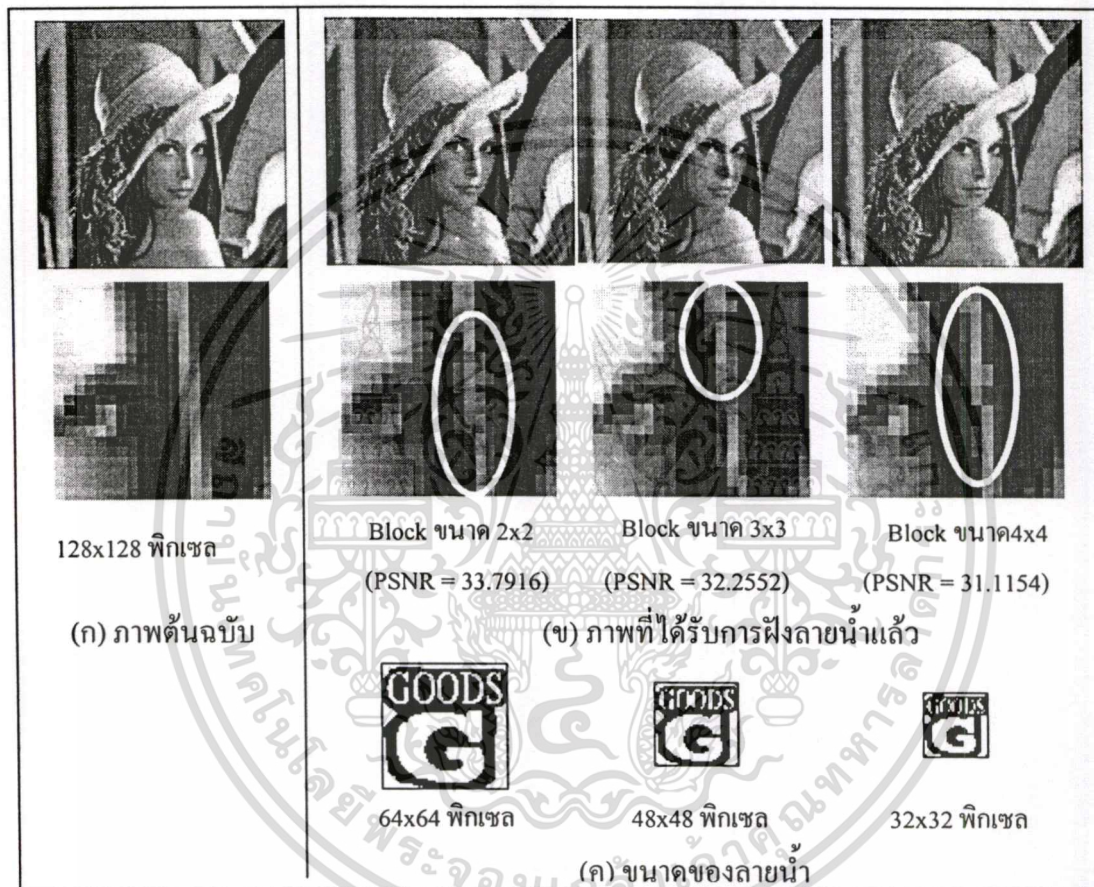
$$b_w = 1 \quad \text{ถ้า } S_H > S_H$$

$$b_w = 0 \quad \text{ในกรณีอื่นๆ}$$

เมื่อทำการตรวจสอบลายน้ำครบทุกบิตแล้ว ก็จะทำ Inverse Permutation ภาพไบนารีที่ได้ โดยใช้ค่าที่สุ่มเลือกไว้ในขั้นตอนการทำ Permutation ผลลัพธ์ที่ได้คือภาพลายน้ำที่ซ่อนไว้

3.4 ผลการทดลอง

ในที่นี้ได้ทำการทดสอบวิธีการของ L.Chang - Hising และ L. Yeuan - Kuen [1] โดยนำโปรแกรมที่พัฒนาบน MATLAB ที่ L.Chang – Hising และ L. Yeun – Kuen เขียนไว้มาทดสอบกับรูปภาพ Lenna [1] ขนาด 128x128 พิกเซล ในที่นี้ผู้วิจัยเลือกที่จะฝังภาพลายน้ำโดยใช้บล็อกขนาด 4x4, 3x3 และ 2x2 พิกเซล และใช้ลายน้ำขนาด 32x32, 48x48 และ 64x64 พิกเซลตามลำดับ ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ผลลัพธ์ของการฝังลายน้ำด้วยวิธีของ L.Chang-Hising, L. Yeuan-Kuen

รูปที่ 3.3 (ก) แสดงภาพต้นฉบับขนาด 128x128 พิกเซลและส่วนขยายบริเวณเส้นผม รูปที่ 3.3 (ข) แสดงภาพหลังจากการฝังลายน้ำโดยใช้บล็อกขนาด 2x2, 3x3 และ 4x4 พิกเซลและส่วนขยายบริเวณเดียวกัน รูปที่ 3.3 (ค) แสดงภาพลายน้ำที่ใช้กับภาพในรูปที่ 3.3 (ข)

จากรูปที่ 3.3 (ก) และ (ข) พบว่าวิธีการของ L.Chang-Hising และ L. Yeuan-Kuen [1] นี้จะทำให้ภาพเกิดความแตกต่างในบริเวณที่มีการเปลี่ยนของสีอย่างรวดเร็วหรือขอบของสีในภาพ สังเกตจากภาพขยายบริเวณเส้นผม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้































สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

จากรูปที่ 3.3 (ค) พบว่าเมื่อใช้บล็อกขนาดใหญ่จะทำให้ได้ลายน้ำขนาดเล็กลง ซึ่งถ้าลายน้ำมีขนาดเล็กมาก ก็จะทำให้มองเห็นรายละเอียดของลายน้ำได้ไม่ชัดเจน และไม่สามารถใช้ลายน้ำที่มีลวดลายซับซ้อนได้

ดังนั้นถ้าพิจารณาว่าขนาดของลายน้ำเป็นสิ่งสำคัญ ก็ควรจะเลือกบล็อกที่มีขนาดเล็ก แต่บล็อกที่มีขนาดเล็ก แม้จะทำให้ได้ลายน้ำที่มีขนาดใหญ่ ก็จะทำให้ความคงทนต่อการโจมตีลดลง ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ภาพลายน้ำที่ตรวจสอบได้หลังจากการโจมตีภาพที่ได้รับการฝังลายน้ำด้วยวิธีการของ

L.Chang-Hising, L. Yeuan-Kuen โดยใช้บล็อกขนาด 2x2, 3x3, 4x4 พิกเซล

การโจมตี	ขนาดบล็อก			การโจมตี	ขนาดบล็อก		
	2x2	3x3	4x4		2x2	3x3	4x4
Original	 E = 0 %	 E = 0 %	 E = 0 %	JPEG75	 E=26.56%	 E=12.47%	 E=2.83%
LPF	 E=43.90%	 E=34.24%	 E=24.71%	JPEG50	 E=32.91%	 E=19.27%	 E=8.11%
MF	 E=30.25%	 E=19.50%	 E=10.06%	JPEG25	 E=38.84%	 E=27.27%	 E=15.53%
Scale	 E=44.60%	 E=36.17%	 E=26.07%	27% Crop	 E=33.74%	 E=33.45%	 E=31.64%
JPEG100	 E=2.73%	 E=1.42%	 E=0.29%	Rotation	 E=32.35%	 E=20.69%	 E=13.09%
E_{Avg}					31.77%	22.72%	14.70%

ตารางที่ 3.1 แสดงภาพลายน้ำที่ตรวจสอบได้หลังจากการโจมตีภาพด้วยวิธี 3x3 Low Pass

Filter (LPF), 3x3 Median Filter (MF), 50% Scale Down, บีบอัดด้วย JPEG คุณภาพ 100, 75, 50 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงข้อมูลนี้ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 25, 27% Crop และ Rotation 12 องศาห่มอยู่ที่จุดกึ่งกลางของภาพ โดยภาพที่ถูกโจมตีคือภาพในรูปแบบที่ 3.3 (ข) ซึ่งถูกฝังลายน้ำด้วยวิธีของ L.Chang-Hising และ L. Yeuan-Kuen [1] กำหนดให้ขนาดของบล็อกเป็น 2x2, 3x3 และ 4x4 พิกเซล

ในการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ยของภาพลายน้ำที่ถอดได้กับภาพลายน้ำต้นฉบับ (Average Percentage Error) คำนวณจากสมการ

$$E_{AVG} = \frac{\sum E}{n} \quad (3.1)$$

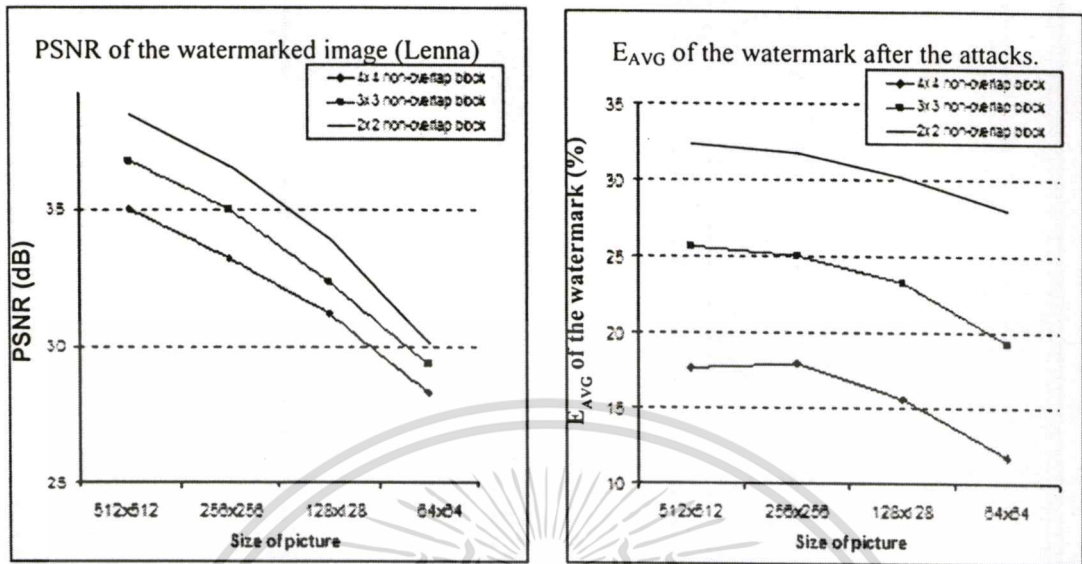
โดยที่

$$E = \left(\frac{\sum |w(i, j) - W(i, j)|}{P \times Q} \right) \times 100 \quad (3.2)$$

กำหนดให้

E_{AVG}	คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย
E	คือ เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของภาพลายน้ำที่ถอดได้กับภาพลายน้ำต้นฉบับ
n	คือ จำนวนวิธีที่ใช้โจมตีภาพ
W	คือ ภาพลายน้ำต้นฉบับที่เป็นไบนารี
w	คือ ภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากการโจมตีเป็นไบนารี
P	คือ ความกว้างของภาพลายน้ำ
Q	คือ ความยาวของภาพลายน้ำ
i	คือ ตำแหน่งคอลัมน์ โดยที่ $i \in \{1, 2, 3, \dots, P\}$
j	คือ ตำแหน่งแถว โดยที่ $j \in \{1, 2, 3, \dots, Q\}$

3.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงค่า PSNR ของภาพที่ฝังลายน้ำแล้วและค่า E_{AVG} ของลายน้ำหลังจากถูกโจมตี

จากผลการทดลองเมื่อนำค่า PSNR ของภาพหลังจากการฝังลายน้ำและ E_{AVG} ของลายน้ำที่ถอดได้หลังจากการโจมตีมาแสดงเป็นกราฟเชิงเส้นเปรียบเทียบ โดยกำหนดให้ภาพต้นฉบับมีขนาดเล็กลงเท่ากับ 512x512, 256x256, 128x128 และ 64x64 พิกเซล ดังแสดงในรูปที่ 3.4 พบว่า

- กรณีที่ขนาดบล็อกคงที่
 - ถ้าภาพต้นฉบับมีขนาดเล็กลงค่า PSNR ของภาพที่ฝังลายน้ำแล้วจะลดลง เนื่องจากเมื่อภาพต้นฉบับถูกย่อให้เล็กลงโดยขนาดของบล็อกไม่เปลี่ยน ค่าความเข้มแสงของพิกเซลในบล็อกจะแตกต่างกันมากขึ้น ทำให้เกิดการปรับค่าความเข้มแสงของพิกเซลในบล็อกเพื่อฝังลายน้ำมากขึ้น จึงเป็นเหตุให้ภาพที่ฝังลายน้ำแล้วแตกต่างไปจากภาพต้นฉบับมากขึ้น
 - ถ้าภาพต้นฉบับมีขนาดเล็กลง ลายน้ำจะคงทนต่อการโจมตีมากขึ้น (E_{AVG} ลดลง) เป็นผลสืบเนื่องมาจากการปรับค่าความเข้มแสงของพิกเซลในบล็อกที่มากขึ้น ทำให้การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าความเข้มแสงดังกล่าวไม่ถูกทำลายให้หมดไปโดยง่าย กล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าลายน้ำที่ฝังอยู่ไม่ถูกทำลายโดยง่ายด้วยการโจมตีทั้ง 9 วิธี
- กรณีที่ขนาดของภาพคงที่
 - เมื่อบล็อกมีขนาดใหญ่ค่า PSNR ของภาพหลังจากฝังลายน้ำจะลดลง การที่เมื่อบล็อกมีขนาดใหญ่จะทำให้ค่าความเข้มแสงภายในบล็อกมีค่าแตกต่างกันมาก และการปรับค่าก็จะมากตามไปด้วย เป็นเหตุทำให้ค่า PSNR ลดลง

- เมื่อบล็อกมีขนาดใหญ่ ปลายทางจะคงทนต่อการโจมตีมากขึ้น (E_{AVG} ลดลง) เพราะเมื่อ บล็อกมีขนาดใหญ่ จะทำให้ค่าความเข้มแสงภายในบล็อกมีค่าแตกต่างกันมากขึ้น และการปรับค่าความเข้มแสงในบล็อกเพื่อฝังลายน้ำก็จะมากตามไปด้วย ทำให้การ เปลี่ยนไปของค่าความเข้มแสง (หรืออีกนัยหนึ่งคือลายน้ำที่ฝังอยู่) ไม่ถูกทำลาย โดยง่าย

3.6 ข้อจำกัดของงานวิจัยที่ผ่านมา

- วิธีการที่มีอยู่นั้นถ้าภาพต้นฉบับมีขนาดเล็กจะทำให้ไม่สามารถฝังภาพลายน้ำที่มีขนาด ใหญ่พอที่จะเห็นรายละเอียดของลายน้ำลงไปได้ เช่น ถ้าต้องการฝังภาพลายน้ำลงในภาพ ขนาด 128X128 พิกเซล แล้วใช้บล็อกขนาด 4X4 พิกเซล จะทำให้ภาพลายน้ำมีขนาด 32X32 พิกเซล เท่านั้น ซึ่งถ้าภาพลายน้ำนั้นเป็นภาพของตราสัญลักษณ์ที่มีรายละเอียดมาก จะไม่สามารถมองเห็นรายละเอียดได้
- วิธีในการฝังภาพลายน้ำเป็นแบบ Adaptive ซึ่งก็มีข้อดีคือการฝังบิตลายน้ำจะปรับเปลี่ยน ไปตามภาพต้นฉบับ แต่มีข้อจำกัดคือถ้าผู้ใช้ไม่พอใจในการปรับเปลี่ยนนั้นๆ ก็ไม่สามารถ แก้ไขได้ ทำให้ไม่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้มากเท่าที่ควร
- เมื่อพิจารณาด้วยสายตาจะพบความแตกต่างอย่างมากในบริเวณที่เป็นขอบของสีในภาพ

3.7 สิ่งที่ต้องการพัฒนา

- พัฒนาการฝังภาพลายน้ำลงในภาพต้นฉบับที่มีขนาดเล็กและขนาดของภาพลายน้ำยัง ใหญ่พอที่จะเห็นรายละเอียดได้
- พัฒนาการฝังลายน้ำโดยให้ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ทำให้ผู้ใช้สามารถเลือกที่จะ เปลี่ยนค่าความเข้มแสงมาก ซึ่งจะทำให้ให้ลายน้ำที่ฝังอยู่คงทนต่อการโจมตี (Robust) หรือ เลือกที่จะเปลี่ยนค่าความเข้มแสงน้อย ซึ่งทำให้ลายน้ำซ่อนตัวได้ดี (Invisible)

โดยความคงทนของลายน้ำต้องไม่น้อยกว่าวิธีการเดิมที่มีอยู่

การฝังลายน้ำในสเปซเฟรควเ้นด้วยบล็อกทับซ้อน

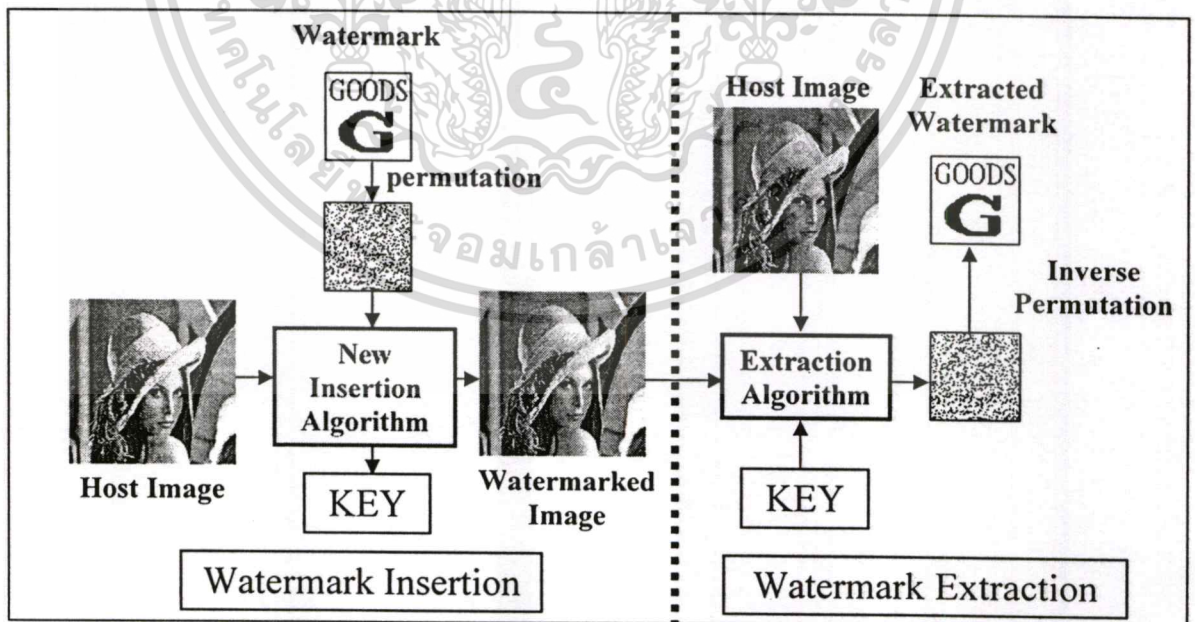
จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าข้อจำกัดของงานวิจัยที่ผ่านมาคือ

1. เมื่อภาพต้นฉบับมีขนาดเล็กลายน้ำที่ใช้จะมีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถใช้ภาพลายน้ำที่มีรายละเอียดได้
2. ไม่สามารถปรับค่าในการฝังลายน้ำได้ตามต้องการ เช่น ในบางกรณี ผู้ใช้อาจต้องการให้การซ่อนตัวของลายน้ำ (Invisibility) ดีขึ้น โดยยอมสูญเสียความคงทนของลายน้ำ (Robustness) ไปบ้าง

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ต้องการพัฒนาวิธีการฝังลายน้ำเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถ กำหนดคุณสมบัติของลายน้ำตามต้องการ และสามารถฝังลายน้ำที่มีรายละเอียดลงในภาพต้นฉบับที่มีขนาดเล็กได้ ดังที่กล่าวในหัวข้อ 3.7

4.1 ขั้นตอนการทำงาน

งานวิจัยนี้ต้องการปรับปรุงข้อจำกัดของงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น โดยจะพัฒนาในส่วนของวิธีการฝังภาพลายน้ำเท่านั้น ขั้นตอนอื่นๆ จะยังคงเดิม มีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนในการทำภาพลายน้ำดิจิทัล

4.1.1 การฝังลายน้ำ

วิธีการที่พัฒนาขึ้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำการฝังลายน้ำประเภทไม่สามารถมองเห็นได้ (Invisibility) ในสเปซเชิงโดเมน (Spatial Domain) ภาพต้นฉบับเป็นภาพโทนสีเทา 256 ระดับความเข้มสี ภาพลายน้ำเป็นภาพไบนารีมีขนาดโดยประมาณเท่ากับ $1/4$ ของภาพต้นฉบับ ในการฝังใช้วิธีการแบ่งภาพต้นฉบับเป็นบล็อกโดยมีลักษณะเป็นบล็อกแบบทับซ้อน บล็อกมีขนาด 3×3 พิกเซล โดยจะทับซ้อนกับบล็อกที่อยู่รอบข้าง ถ้าเป็นบล็อกที่อยู่ทางซ้ายและทางขวาจะทับซ้อนกัน 1 คอลัมน์ ถ้าเป็นบล็อกที่อยู่บนและล่างจะทับซ้อนกัน 1 แถว แต่ถ้าเป็นบล็อกที่อยู่ในแนวทแยงมุมจะทับซ้อนกัน 1 พิกเซล การฝังลายน้ำ 1 บิตจะใช้บล็อกตัวแทนบิตลายน้ำขนาด 3×3 พิกเซล มีค่าสัมประสิทธิ์ภายใน 9 ค่า นำไปบวกเพิ่มหรือหักลบออกจากค่าความเข้มแสงของพิกเซลในบล็อกที่ต้องการจะฝังลายน้ำ ถ้าบิตลายน้ำที่ต้องการฝังเป็น 1 บล็อกที่เป็นตัวแทนของบิตลายน้ำนี้จะถูกนำไปบวกกับค่าความเข้มแสงของพิกเซลในบล็อกที่แบ่งไว้ในภาพต้นฉบับ โดยเป็นการบวกแบบพิกเซลต่อพิกเซล แต่ถ้าบิตที่ต้องการฝังเป็น 0 ก็จะนำค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวไปลบ การออกแบบค่าสัมประสิทธิ์ทั้ง 9 ค่าของบล็อกที่เป็นตัวแทนบิตลายน้ำ จึงมีความสำคัญต่อความคงทนและความสามารถในการซ่อนตัวของลายน้ำ ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อ 4.2.2 ในหัวข้อถัดไปจะอธิบายวิธีการวัดคุณภาพของภาพหลังจากการฝังลายน้ำ โดยเปรียบเทียบกับภาพต้นฉบับ

4.1.2 การวัดคุณภาพของภาพหลังจากการฝังลายน้ำ

วิธีการที่คิดขึ้นเป็นวิธีการฝังลายน้ำแบบไม่สามารถมองเห็นได้ (Invisible) จึงจำเป็นต้องพิจารณาว่าภาพหลังจากการฝังลายน้ำสูญเสียคุณภาพไปมากน้อยเพียงใด ในการวัดคุณภาพของภาพหลังจากฝังลายน้ำวัดโดยเปรียบเทียบกับภาพต้นฉบับ ในวิทยานิพนธ์นี้ นำค่า PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) และการสังเกตความแตกต่างด้วยสายตา (Subjective Test) มาใช้ในการวัดความแตกต่างระหว่างภาพหลังจากการฝังลายน้ำกับภาพต้นฉบับ ซึ่งถ้าภาพมีความเหมือนกันมาก ค่า PSNR จะมีค่ามากและไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างด้วยตาเปล่าได้ โดยสมการของ PSNR คือ

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{255}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (4.1)$$

MSE (Mean Square Error) คือ

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \|f(i, j) - F(i, j)\|^2 \quad (4.2)$$

เมื่อ

$$i = \{1, 2, 3, \dots, M\}$$

$$j = \{1, 2, 3, \dots, N\}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้

F	คือ ภาพหลังฝังลายน้ำ
f	คือ ภาพต้นฉบับ
M	คือ ความยาวของภาพต้นฉบับ $i = \{1,2,3,\dots,M\}$
N	คือ ความกว้างของภาพต้นฉบับ $j = \{1,2,3,\dots,N\}$

โดยทั่วไปภาพหลังจากการฝังลายน้ำจะมีค่า PSNR อยู่ระหว่าง 20 ถึง 40 dB [2] และต้องไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างได้ด้วยสายตา

4.1.3 การทดสอบความคงทนของลายน้ำ

ทดสอบโดยโจมตีภาพหลังจากการฝังลายน้ำ ทำการโจมตีทั้งหมด 9 วิธีคือ 3x3 Low Pass Filter, 3x3 Median Filter, 50% Scale Down, บีบอัดด้วย JPEG คุณภาพ 100, 75, 50 และ 25, 27% Crop และ Rotation 12 องศาจุดหมุนอยู่ที่จุดกึ่งกลางของภาพ จากนั้นนำภาพ 9 ภาพที่ได้หลังจากการโจมตีทั้ง 9 วิธีไปตรวจสอบลายน้ำ โดยถอดลายน้ำจากภาพที่ได้รับการโจมตีทั้ง 9 ภาพ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับภาพลายน้ำต้นฉบับ เพื่อวัดคุณภาพของลายน้ำว่าลายน้ำที่ถอดได้ยังคงสภาพเดิมหรือเปลี่ยนแปลงไปมากน้อยเพียงใด

4.1.4 การตรวจสอบลายน้ำ

การตรวจสอบทำโดยแบ่งบล็อกของภาพที่ต้องการตรวจสอบลายน้ำกับภาพต้นฉบับ ในแบบเดียวกับการฝัง แล้วทำการเปรียบเทียบกัน โดยการเปรียบเทียบนั้นจะเป็นแบบบล็อกต่อบล็อก โดยเปรียบเทียบบล็อกที่ตรงกันเท่านั้น ถ้าให้ S_H เป็น ผลรวมของค่าความเข้มแสงในบล็อกที่มีลายน้ำอยู่ S_H คือผลรวมค่าความเข้มแสงของบล็อกในภาพต้นฉบับ และ b_w คือบิตลายน้ำที่ถอดได้แล้ว

$$b_w = 1 \quad \text{if } S_H > S_H$$

$$b_w = 0 \quad \text{otherwise}$$

จากนั้นนำภาพไบนารีที่ได้ไปทำ Inverse Permutation ก็จะได้ภาพลายน้ำที่ฝังไว้

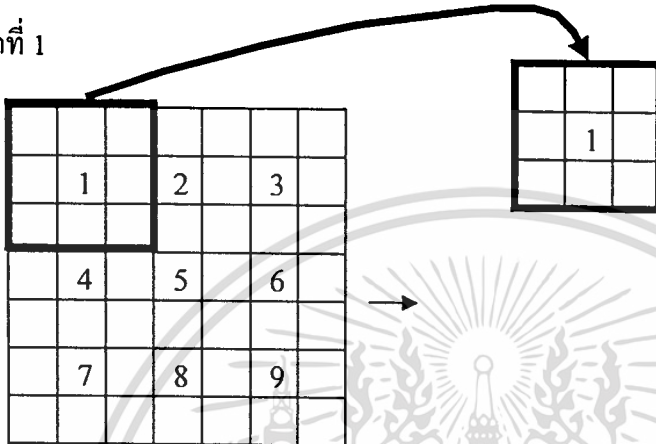
4.1.5 การวัดคุณภาพของลายน้ำ

การวัดคุณภาพของลายน้ำที่ถอดได้หลังจากการโจมตี วัดโดยคิดเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของภาพลายน้ำที่ถอดได้กับภาพลายน้ำที่ถูกต้อง (Percentage Error: E) ว่ามีความแตกต่างกันอยู่ที่เปอร์เซ็นต์ ในที่นี้ได้ทำการโจมตีภาพหลังจากฝังลายน้ำทั้งหมด 9 วิธี จึงได้ค่า E ทั้งหมด 9 ค่า จากนั้น คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย (E_{AVG}) โดยใช้สมการ 3.1 และ 3.2

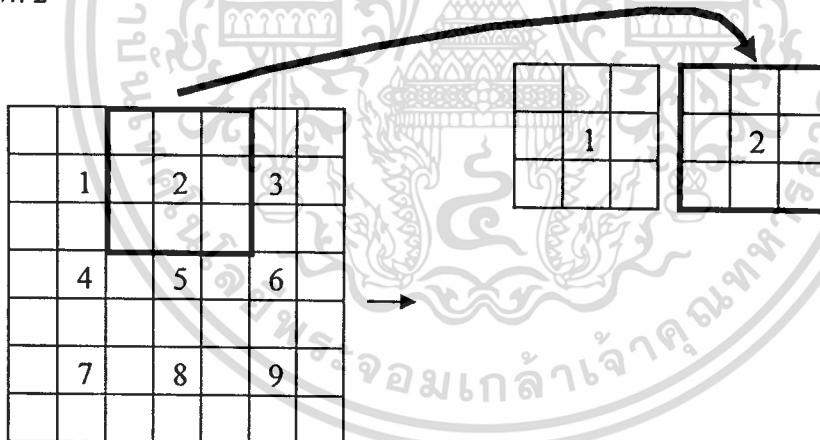
จากการแบ่งบล็อก B_{ij} เป็นบล็อกทึบซ้อนขนาด 3×3 พิกเซล จุดศูนย์กลางของบล็อกจะอยู่ในจุดที่ค่า i และ j เป็นจำนวนคู่เท่านั้น และถ้าภาพต้นฉบับมีค่า M หรือ N เป็นจำนวนคู่ลายน้่าจะไม่ถูกฝังลงในพิกเซลที่อยู่ในแถวหรือคอลัมน์สุดท้าย

ตัวอย่างการแบ่งบล็อกในกรณีที่ภาพต้นฉบับมีค่า M และ N เป็นจำนวนคี่ ($M=7, N=7$)

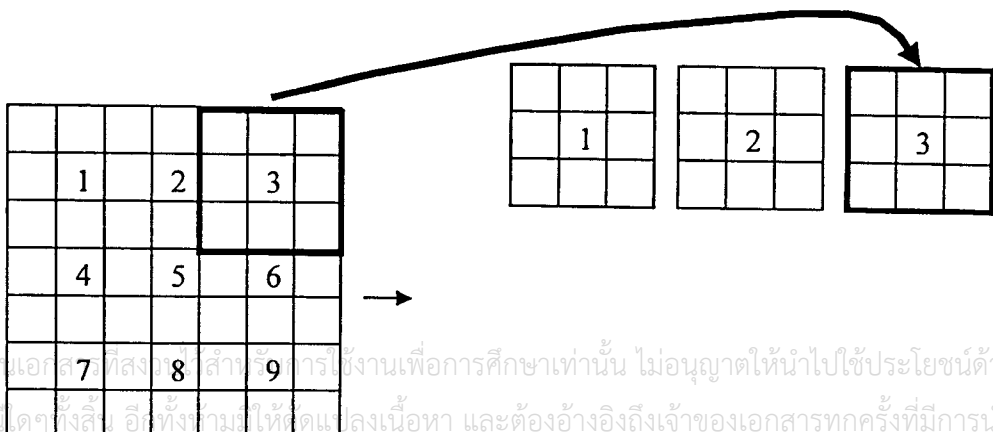
บล็อกที่ 1



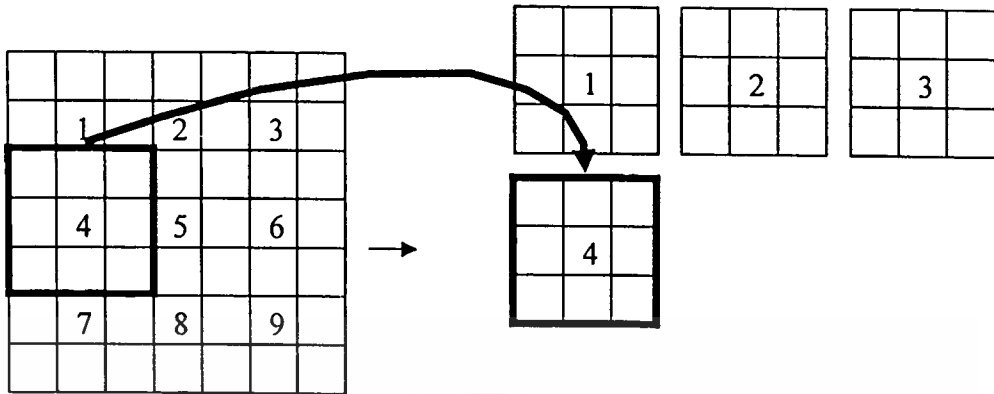
บล็อกที่ 2



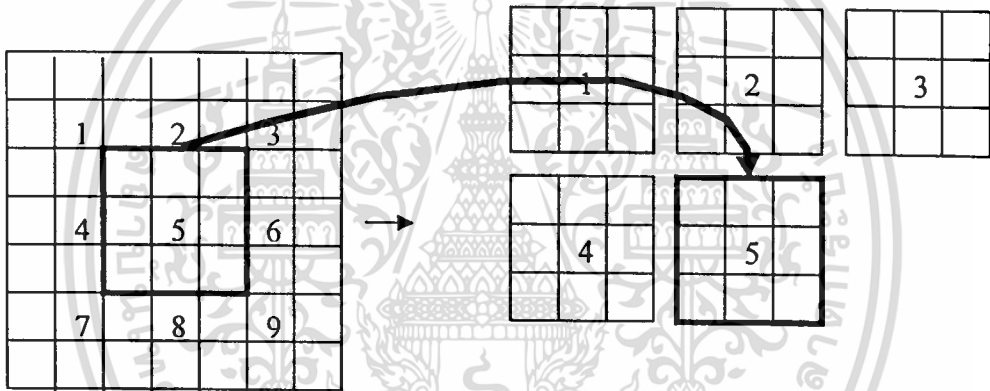
บล็อกที่ 3



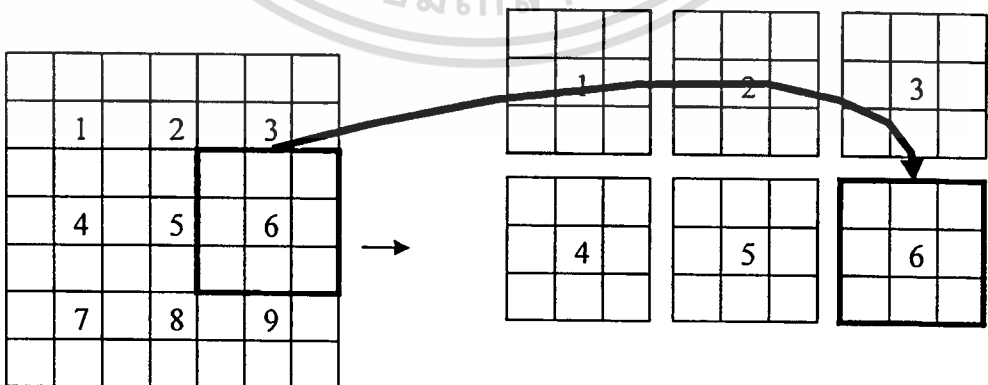
บล็อกที่ 4



บล็อกที่ 5

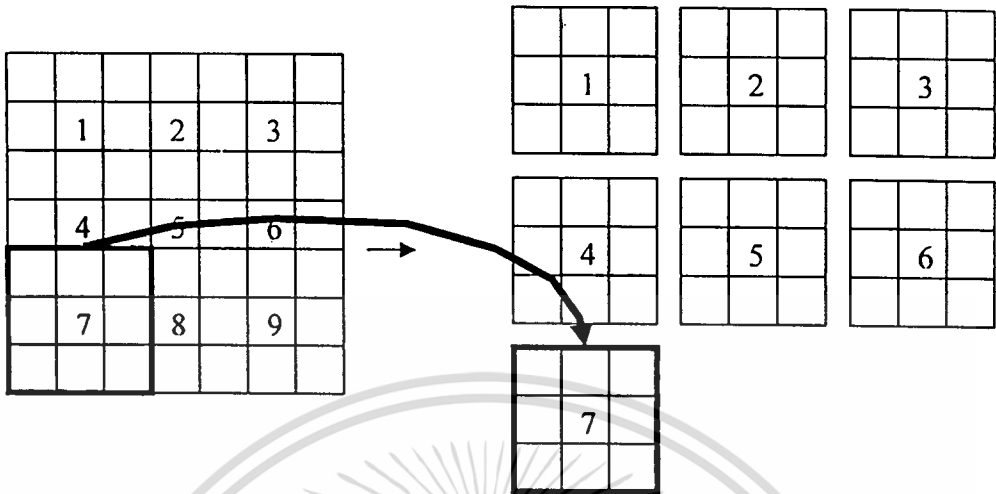


บล็อกที่ 6

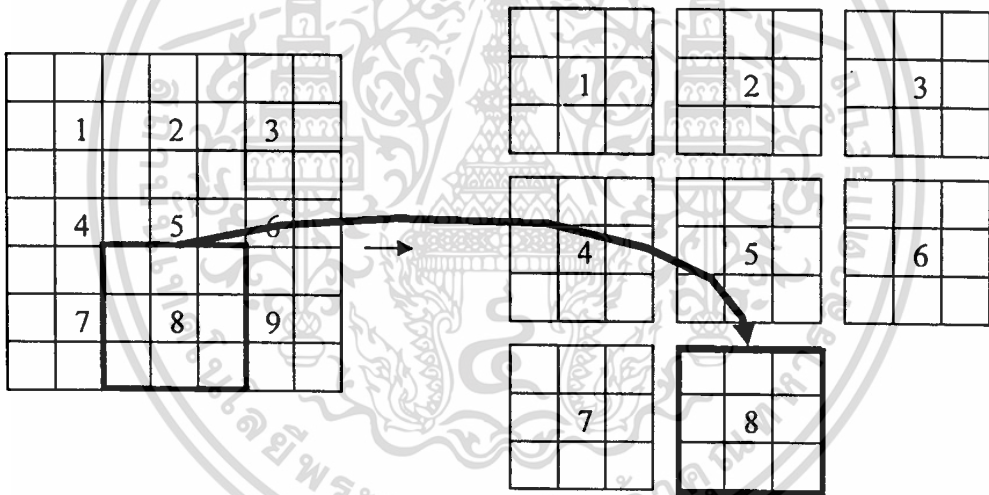


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

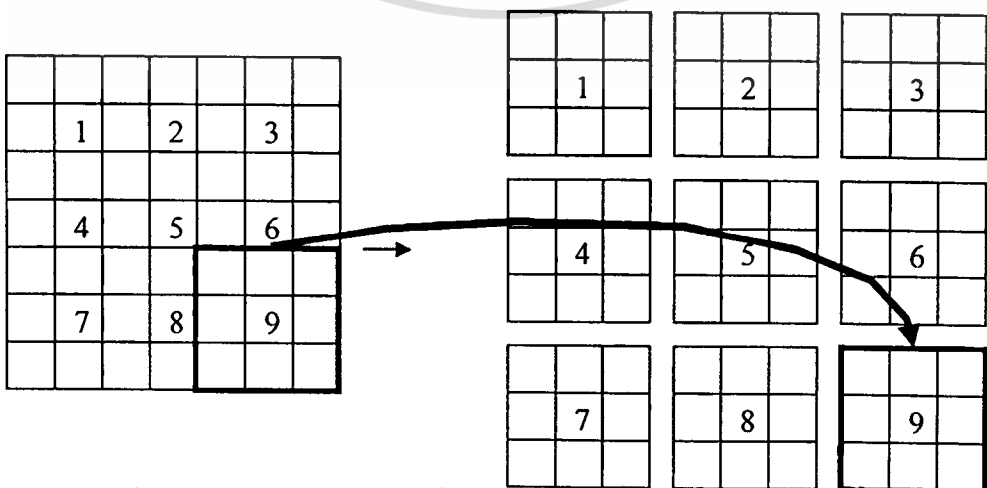
บล็อกที่ 7



บล็อกที่ 8



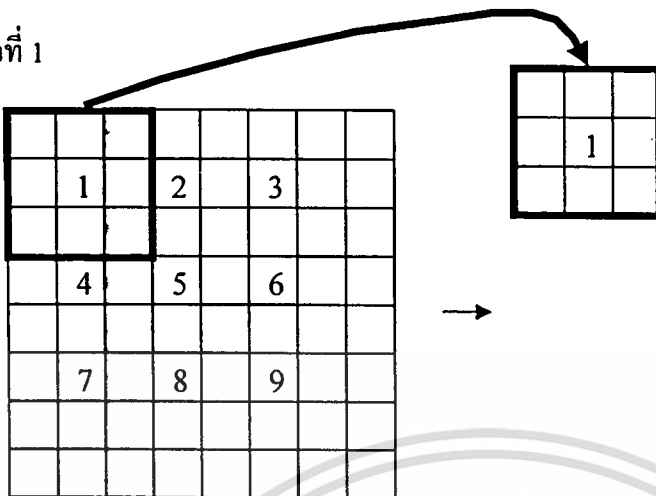
บล็อกที่ 9



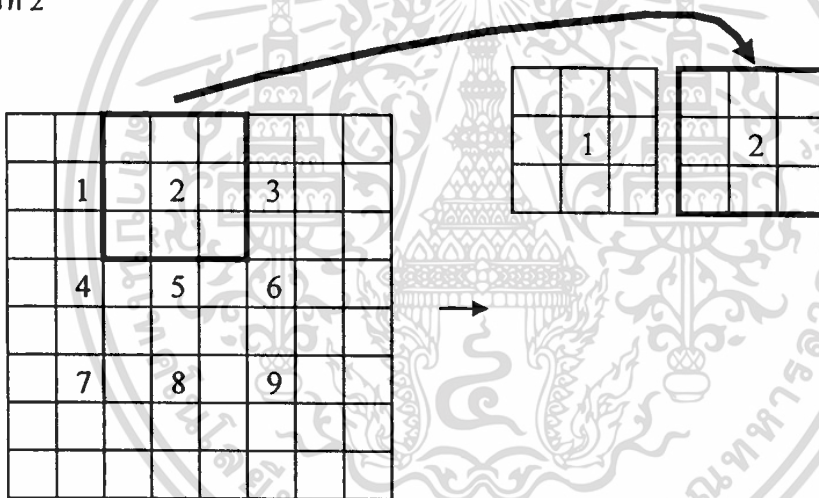
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการแบ่งบล็อกในกรณีที่มีภาพต้นฉบับมีค่า M และ N เป็นจำนวนคู่ ($M=8, N=8$)

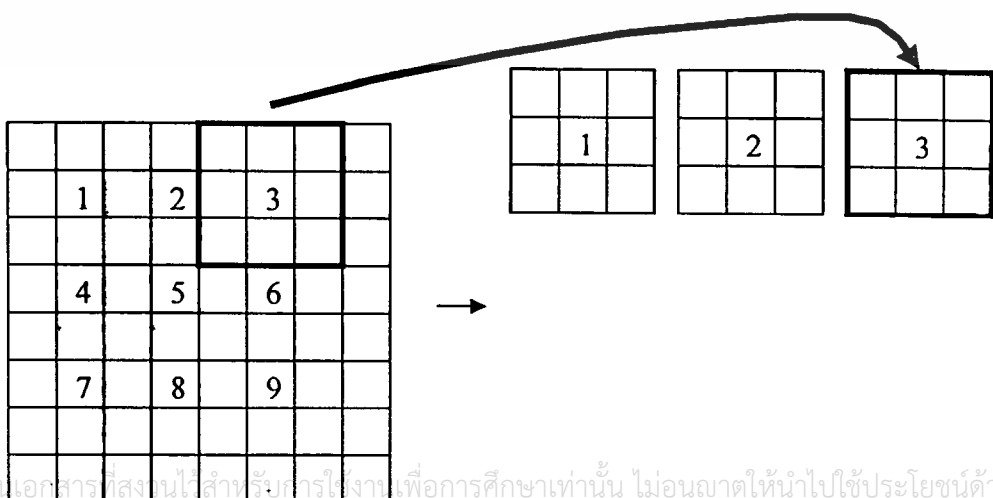
บล็อกที่ 1



บล็อกที่ 2

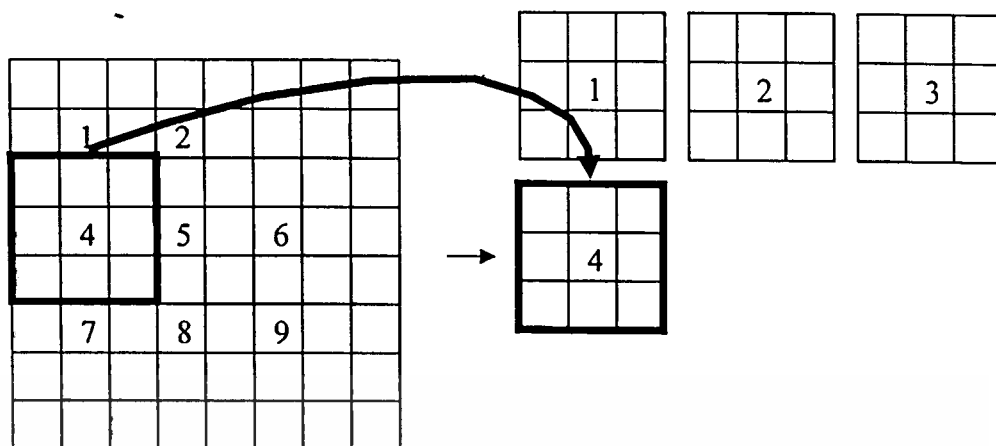


บล็อกที่ 3

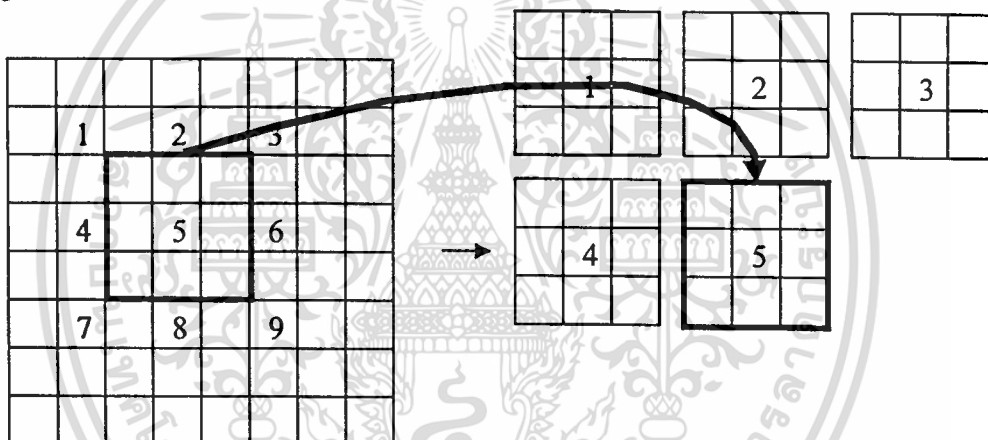


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

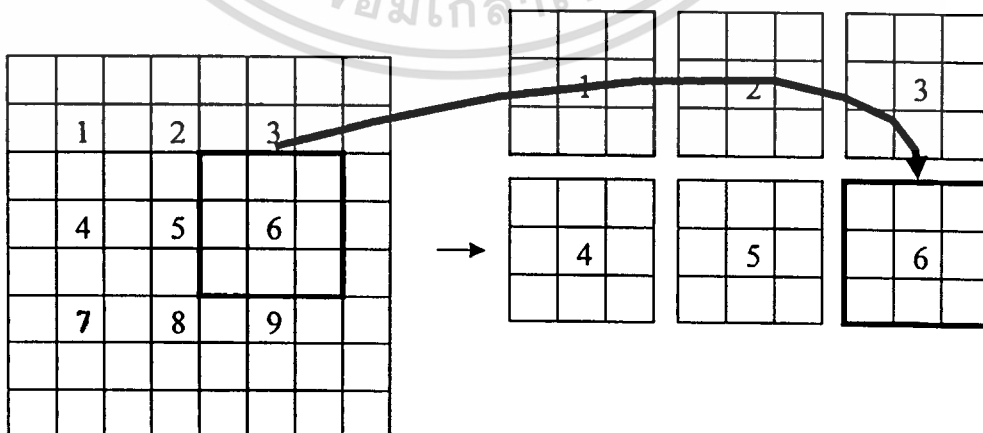
บล็อกที่ 4



บล็อกที่ 5

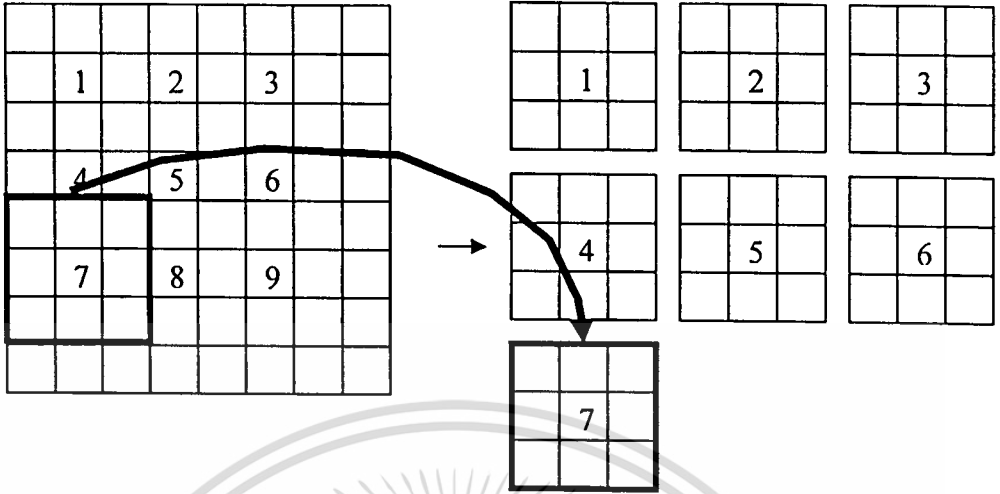


บล็อกที่ 6

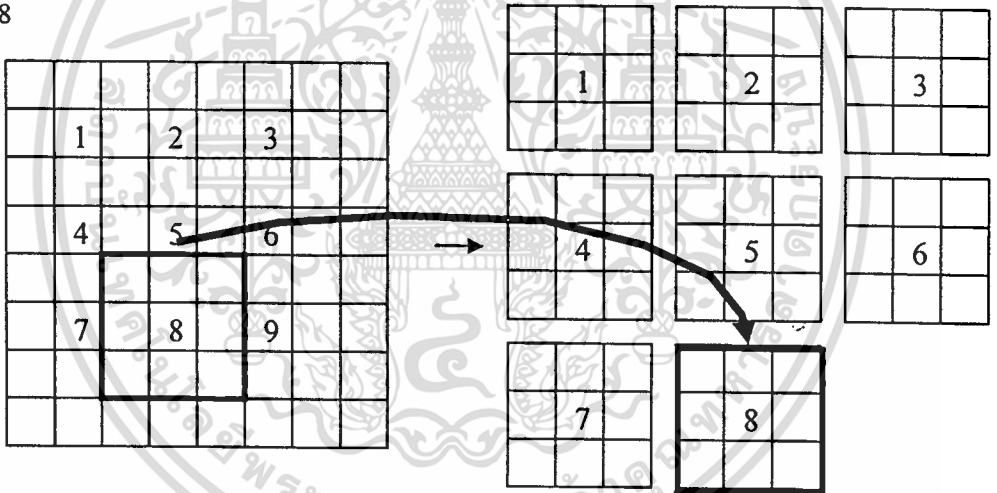


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

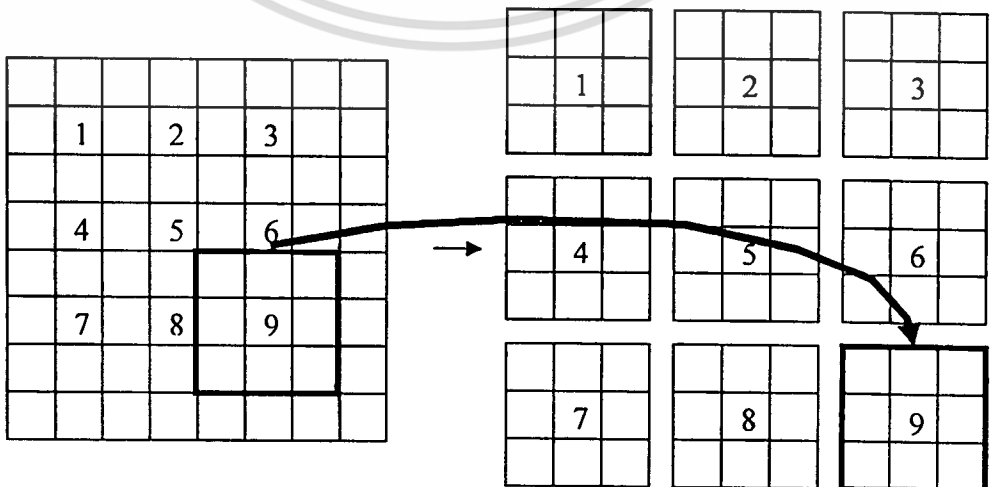
บล็อกที่ 7



บล็อกที่ 8



บล็อกที่ 9



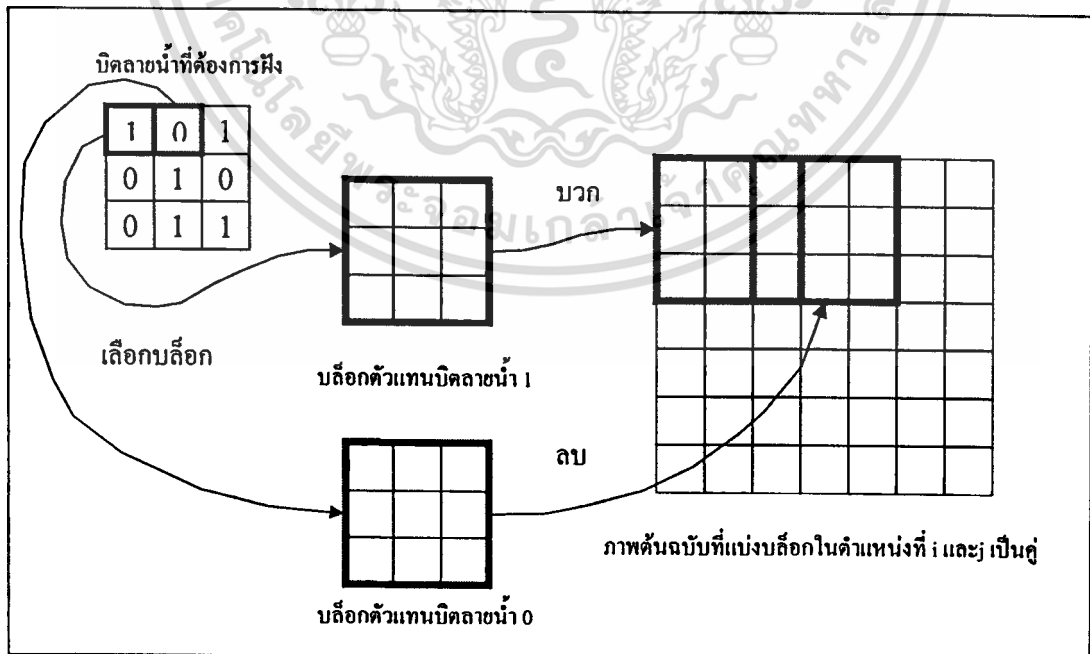
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างการแบ่งบล็อกข้างต้น ในกรณีที่ภาพต้นฉบับมีความกว้างและความยาวเป็นคู่ เช่น มีค่า $M = 8$ และค่า $N = 8$ ทำให้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของบล็อกจะอยู่ที่ตำแหน่งคู่ นั่นคือ $i = \{2, 4, 6\}$ และ $j = \{2, 4, 6\}$ ทำให้มีจำนวนบล็อกทั้งหมด 9 บล็อก โดยพิกเซลที่อยู่ในตำแหน่งแถวและหลักสุดท้ายของภาพต้นฉบับจะไม่ถูกฝังลายน้ำ ส่วนในกรณีที่ภาพต้นฉบับมีความกว้างและความยาวเป็นจำนวนคี่ เช่น มีค่า $M = 7$ และ $N = 7$ จะทำให้มีจำนวนบล็อกทั้งหมด 9 บล็อกเช่นกัน แต่พิกเซลที่อยู่ในตำแหน่งแถวและหลักสุดท้ายของภาพต้นฉบับจะถูกฝังลายน้ำด้วย

4.2.2 บล็อกตัวแทนบิตลายน้ำ

หลังจากแบ่งบล็อกในภาพต้นฉบับแบบทับซ้อนทำให้ได้จำนวนบล็อกเพิ่มขึ้น และได้ขนาดของภาพลายน้ำใหญ่ขึ้นแล้ว ต้องออกแบบบล็อกที่เป็นตัวแทนบิตลายน้ำ ที่มีขนาดเท่ากับบล็อกที่แบ่งในภาพต้นฉบับคือ 3×3 พิกเซล และมีค่าสัมประสิทธิ์ 9 ค่าที่นำไปบวกเพิ่ม (เมื่อบิตลายน้ำที่ต้องการฝังเป็น 1) หรือลบออก (เมื่อบิตลายน้ำที่ต้องการฝังเป็น 0) จากค่าความเข้มแสงของพิกเซลในบล็อกของภาพต้นฉบับ

ทั้งนี้เนื่องจากการทับซ้อนกันของบล็อก การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงของบล็อกรอบข้างอาจส่งผลกระทบต่อบล็อกปัจจุบัน จึงจำเป็นต้องออกแบบค่าสัมประสิทธิ์ของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำ ให้การเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มแสงของพิกเซลในบล็อกรอบข้าง ไม่ทำให้ผลรวมของค่าความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้น (หรือลดลง) ของบล็อกปัจจุบัน เปลี่ยนกลับเป็นลดลง (หรือเพิ่มขึ้น) ซึ่งจะทำให้ผลของการถอดลายน้ำผิดเพี้ยนไปได้ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 รูปภาพแสดงขั้นตอนการฝังภาพลายน้ำ

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำมีส่วนที่ทับซ้อนกันและไม่ทับซ้อนกัน ในการออกแบบจึงแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

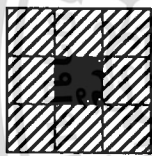
i. ค่าสัมประสิทธิ์ส่วนที่ทับซ้อน

ค่าสัมประสิทธิ์ส่วนที่ทับซ้อนจะอยู่ในตำแหน่งที่ไม่ใช่จุดศูนย์กลางของบล็อก ข้อดีของการทับซ้อนกัน คือ ถ้ารูปแบบของบิตที่ต้องการฝังเหมือนกันและอยู่ติดกัน เช่น 1 อยู่ติดกัน หรือ 0 อยู่ติดกัน การทับซ้อนกันของบล็อกจะทำให้เกิดความคงทนเพิ่มขึ้น เพราะว่าตำแหน่งที่ถูกทับซ้อนกัน ได้ถูกบวกรหรือลบค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นตัวแทนบิตลายน้ำเข้าไปในภาพต้นฉบับถึง 2 ครั้ง แต่ถ้าบิตที่อยู่ติดกันเป็นบิตต่างชนิดกันจะเกิดการหักล้างกัน

ii. ค่าสัมประสิทธิ์ส่วนที่ไม่ทับซ้อน

ค่าสัมประสิทธิ์ส่วนที่ไม่ทับซ้อนจะอยู่ในตำแหน่งที่เป็นจุดศูนย์กลางของบล็อกเท่านั้น เนื่องจากเป็นส่วนที่ไม่ทับซ้อน จึงเป็นจุดที่ไม่ได้รับผลกระทบโดยตรงจากค่าสัมประสิทธิ์ของบล็อกข้างเคียง

รูปที่ 4.3 แสดงบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำขนาด 3×3 พิกเซล ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ทั้ง 9 ค่าถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ทับซ้อนกับบล็อกอื่นและส่วนที่ไม่ทับซ้อน



ค่าสัมประสิทธิ์ส่วนที่ทับซ้อน



ค่าสัมประสิทธิ์ส่วนที่ไม่ทับซ้อน

รูปที่ 4.3 บล็อกตัวแทนบิตลายน้ำขนาด 3×3 ที่ประกอบด้วยส่วนที่ทับซ้อนและส่วนที่ไม่ทับซ้อน

การที่ค่าสัมประสิทธิ์มีค่ามาก เมื่อนำไปบวกรหรือลบ การเปลี่ยนแปลงก็จะมีค่ามากตามไปด้วย ซึ่งถ้าการเปลี่ยนแปลงมีค่ามาก ลายน้ำที่ฝังอยู่ก็就会有ความคงทนต่อการ โจมตีมากตามไปด้วย

4.2.3 การออกแบบค่าสัมประสิทธิ์ส่วนที่ทับซ้อน

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้ออกแบบค่าสัมประสิทธิ์ส่วนที่ทับซ้อนกันไว้ดังแสดงในรูปที่ 4.4

0	1	0
1	C	1
0	1	0

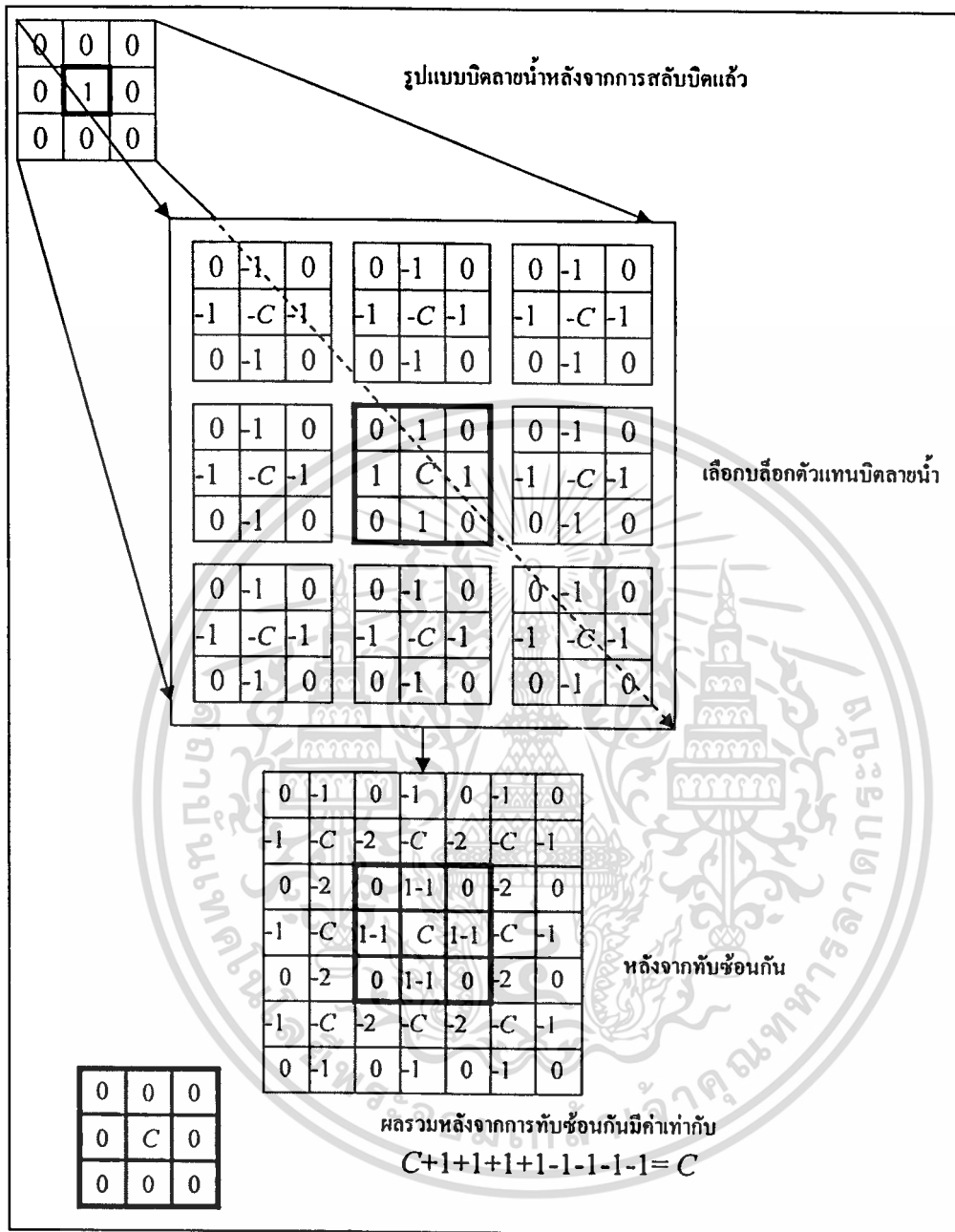
กรณีที่บิตลายน้ำที่ต้องการฝังเป็น 1 ให้นำค่าสัมประสิทธิ์ไปบวกรเพิ่ม
กรณีที่บิตลายน้ำที่ต้องการฝังเป็น 0 ให้นำค่าสัมประสิทธิ์ไปลบออก
C คือ ค่าความคงทนที่น้อยที่สุดที่ยังคงเหลือ ในการตรวจสอบลายน้ำ

รูปที่ 4.4 บล็อกตัวแทนบิตลายน้ำ

เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ของพิกเซลที่มุมบล็อกทั้ง 4 มุม อาจถูกหักล้างโดยค่าสัมประสิทธิ์ของพิกเซลที่มุมจากบล็อก 3 บล็อกที่ทับซ้อนกันอยู่ (เช่น พิกเซลที่อยู่มุมบนซ้ายของบล็อกปัจจุบัน อาจถูกหักล้างโดยพิกเซลจากบล็อกซ้าย บล็อกบน และบล็อกบนซ้าย) ผู้วิจัยจึงออกแบบให้ค่าสัมประสิทธิ์ที่มุมทั้ง 4 เป็นศูนย์ เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ที่อยู่ด้านบน ล่าง ซ้าย และขวาของจุดกึ่งกลางบล็อก จะถูกหักล้างโดยค่าสัมประสิทธิ์จากบล็อกเพียง 1 บล็อกเท่านั้น ผู้วิจัยจึงออกแบบให้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ตำแหน่งดังกล่าว มีค่าเท่ากับ 1 เพื่อมิให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากจนทำให้สามารถสังเกตเห็นได้ กล่าวคือ ถ้าบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำที่อยู่ด้านบน ล่าง ซ้าย และขวา เป็นประเภทเดียวกับบล็อกปัจจุบัน ก็จะทำให้ผลรวมความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับความเข้มแสงที่ตำแหน่งบน ล่าง ซ้าย และขวาของจุดกึ่งกลางบล็อกปัจจุบันเท่ากับ 2 แต่ถ้าเป็นบล็อกตัวแทนลายน้ำต่างชนิดกัน ก็จะหักล้างกันจนทำให้ผลรวมความเปลี่ยนแปลงเป็น 0 หรือไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ตำแหน่งดังกล่าวนั่นเอง ในที่นี้กำหนดให้ C คือค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำ ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ถูกทับซ้อนโดยบล็อกรอบข้าง จึงไม่ถูกหักล้าง และจะเป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่จะยังคงเหลืออยู่ แม้ในกรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์ส่วนที่ทับซ้อนจะถูกหักล้างจนหมด โดยบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำรอบข้าง ซึ่งกรณีที่แย่มากที่สุดที่จะเกิดขึ้นคือ

- กรณีที่บิตลายน้ำที่มีค่าเป็น 1 ถูกล้อมรอบด้วยบิตลายน้ำที่มีค่าเป็น 0 ทั้งหมด
- กรณีที่บิตลายน้ำที่มีค่าเป็น 0 ถูกล้อมรอบด้วยบิตลายน้ำที่มีค่าเป็น 1 ทั้งหมด

รูปที่ 4.5 แสดงตัวอย่างกรณีที่มีบิตลายน้ำมีค่าเป็น 1 ถูกล้อมด้วยบิตลายน้ำที่มีค่าเป็น 0 ทั้ง 8 ด้าน

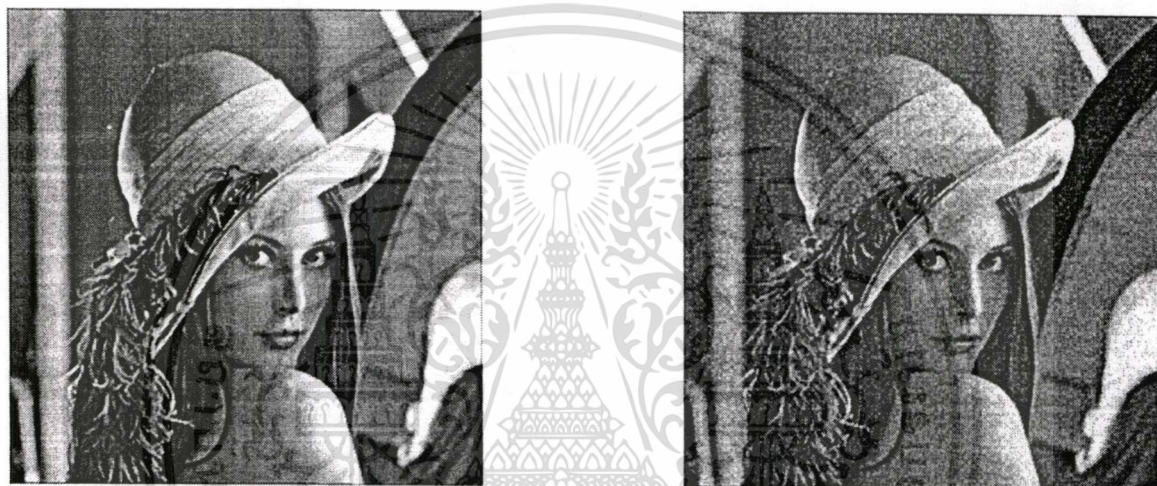


รูปที่ 4.5 รูปแบบบิตลายน้ำกรณีที่มีบิต 1 ถูกล้อมรอบด้วยบิต 0 ทั้งหมด

จากรูปที่ 4.5 ผลรวมของค่าความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงไปภายในบล็อกกลางมีค่าเท่ากับ C ซึ่งเมื่อนำไปผ่านกระบวนการถอดลายน้ำ ก็จะได้บิตลายน้ำที่มีค่าเท่ากับ 1 และเนื่องจากกรณีดังกล่าวเป็นกรณีที่ทำให้ความชัดเจนของลายน้ำถูกรบกวนได้มากที่สุด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำที่ออกแบบนี้ จะทำให้ค่าผลรวมของค่าความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงไปภายในบล็อกมีค่าไม่น้อยกว่าค่า C

4.2.4 การออกแบบค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อก (ส่วนที่ไม่ทับซ้อน)

ถ้าเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนบิดลายน้ำแล้ว ลายน้ำที่ฝังไว้ในภาพก็จะคงทนต่อการโจมตีมากขึ้น ทว่าหากกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนบิดลายน้ำให้มามีค่ามากเกินไป จะทำให้สังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ชัดเจนและง่ายขึ้น โดยเฉพาะส่วนของภาพที่มีความถี่ต่ำ (บริเวณที่เป็นสีพื้น) แต่การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้จะสังเกตเห็นได้น้อยมาก เมื่อบริเวณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นส่วนของภาพที่มีความถี่สูง (บริเวณที่เป็นขอบของวัตถุ) รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบการสังเกตเห็นได้ของลายน้ำที่ฝังในบริเวณภาพที่มีความถี่ต่ำ (พื้นหลัง, หมวก) และความถี่สูง (ปอยผม)



รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบภาพต้นฉบับกับภาพที่ฝังลายน้ำด้วยวิธีบล็อกทับซ้อนเมื่อ $C = 20$

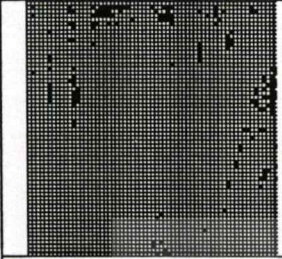
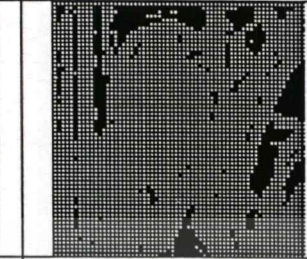
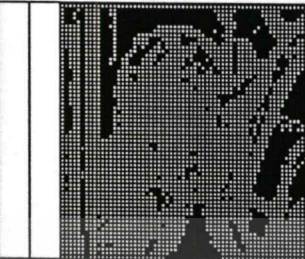
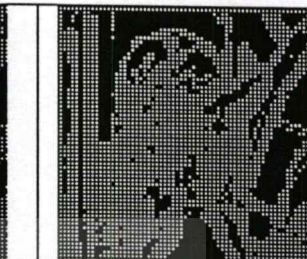
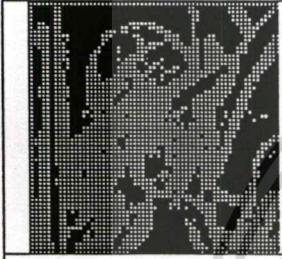

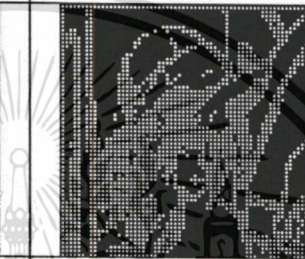
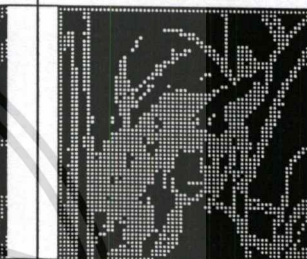
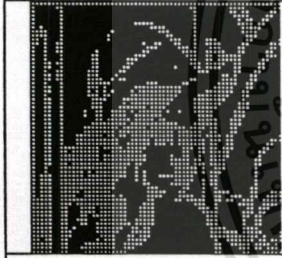

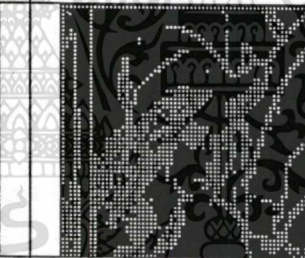
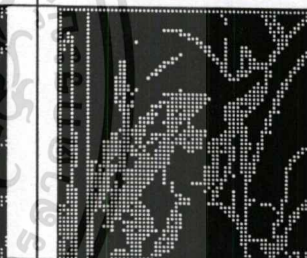
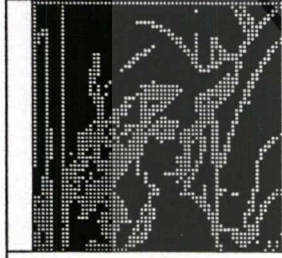
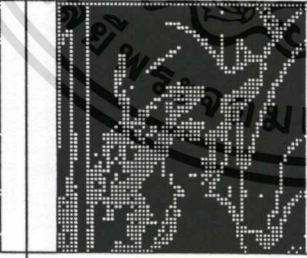
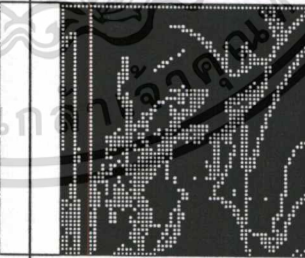
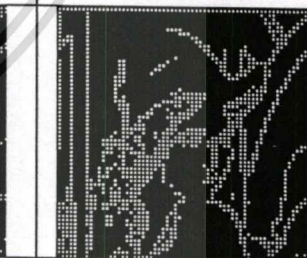
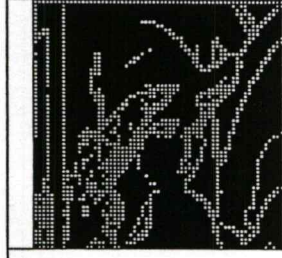
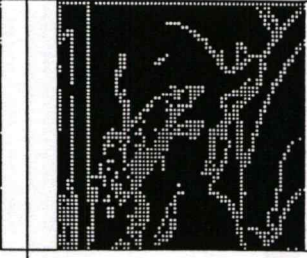
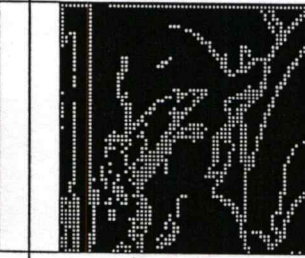
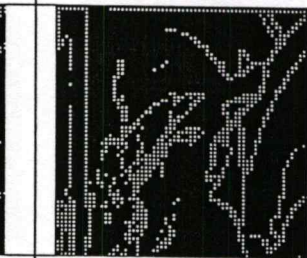
จากคุณสมบัติในการซ่อนตัวของลายน้ำจะมีความแตกต่างกันเมื่อฝังลายน้ำไว้ในบริเวณภาพที่มีความถี่สูงและความถี่ต่ำ ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนบิดลายน้ำให้ค่าดังกล่าวมามีค่ามากเมื่อความถี่ของภาพบริเวณที่ฝังมีค่ามาก และมีค่าน้อยเมื่อความถี่ของภาพบริเวณที่ฝังมีค่าน้อย ทั้งนี้เพื่อเพิ่มความคงทนให้กับลายน้ำ โดยยังคงคุณสมบัติการซ่อนตัวของลายน้ำไว้ ในที่นี้ผู้วิจัยเลือกใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) [10] เป็นตัวชี้วัดความถี่ภายในบล็อกของภาพต้นฉบับ ซึ่งสามารถจำแนกบล็อกทับซ้อนภายในภาพต้นฉบับออกเป็นกลุ่มๆ ได้ดังต่อไปนี้

4.2.4.1 การจำแนกบล็อกที่มีความถี่สูงและบล็อกที่มีความถี่ต่ำ

บล็อกที่มีความถี่ต่ำคือบล็อกที่มีค่าความเข้มแสงของแต่ละพิกเซลภายในบล็อกแตกต่างกันไม่มาก และบล็อกที่มีความถี่สูงคือบล็อกที่มีค่าความเข้มแสงของแต่ละพิกเซลภายในบล็อกแตกต่างกันมาก ซึ่งค่าความถี่ภายในบล็อกสามารถวัดได้ด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 แสดงตำแหน่งจุดศูนย์กลางของบล็อกในรูปภาพต้นฉบับที่มีค่า SD มากกว่าค่าที่กำหนดไว้ได้ภาพ โดยแสดงเป็นจุดสีขาว ส่วนจุดสีดำคือตำแหน่งจุดศูนย์กลางของบล็อกที่มีค่า SD น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนดไว้หรือเป็นตำแหน่งที่ไม่ใช่จุดศูนย์กลางของบล็อก

			
SD > 1	SD > 2	SD > 3	SD > 4
			
SD > 5	SD > 6	SD > 7	SD > 8
			
SD > 9	SD > 10	SD > 11	SD > 12
			
SD > 13	SD > 14	SD > 15	SD > 16
			
SD > 17	SD > 18	SD > 19	SD > 20

รูปที่ 4.7 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของบล็อกที่ค่า SD ต่างๆ

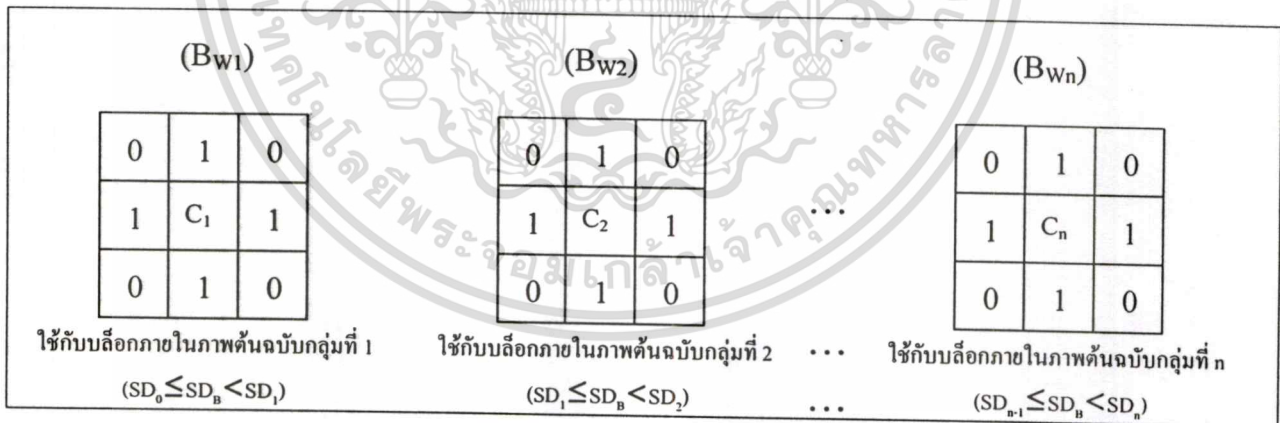
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7 ค่า SD สามารถนำมาใช้เป็นตัวกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตามที่ต้องการได้ เนื่องจากบล็อกที่มี SD มาก (ความถี่สูง) คือบล็อกที่เป็นบริเวณขอบของวัตถุหรือบล็อกที่มีลวดลายซับซ้อน และบล็อกที่มี SD ต่ำ (ความถี่ต่ำ) คือบล็อกที่เป็นบริเวณพื้นหลังหรือบล็อกที่มีค่าความเข้มแสงใกล้เคียงกัน

ในหัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำ ตามระดับค่า SD ของบล็อกทับซ้อนในภาพต้นฉบับ

4.2.4.2 การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตามระดับค่า SD

การออกแบบค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำ ให้มีค่าแปรผันตามค่า SD ของบล็อกภายในภาพต้นฉบับ สามารถกระทำได้โดยจำแนกบล็อกที่แบ่งไว้ในภาพต้นฉบับออกเป็นกลุ่มๆ ตามระดับค่า SD จากนั้นทำการออกแบบบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำ (B_w) จำนวน n แบบ ($B_{w1}, B_{w2}, B_{w3}, \dots, B_{wn}$) ให้มีค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อก (C) แตกต่างกัน โดย B_{wi} จะมีค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางบล็อกเท่ากับ C_i และจะใช้สำหรับฝังแทนบิตลายน้ำในกรณีที่บล็อกภายในภาพต้นฉบับ (B_H) ที่พิจารณาอยู่นั้นมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD_B) อยู่ในช่วง $[SD_{i-1}, SD_i)$ เมื่อกำหนดให้ SD_i คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดของกลุ่มที่ i และ $SD_0=0, SD_n=\infty$ ค่า C_i ที่กำหนดให้บล็อกตัวแทนแต่ละแบบนั้นมีความสัมพันธ์กันแบบที่ $C_{i-1} < C_i$ เมื่อ $i=1, 2, 3, \dots, n$ รูปที่ 4.8 แสดงบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำ n แบบ



รูปที่ 4.8 บล็อกตัวแทนบิตลายน้ำ n แบบ

เนื่องจากความคงทนของลายน้ำแปรผันตามค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำ ดังนั้นการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ให้มีค่ามาก จะทำให้ลายน้ำมีความคงทนมากขึ้น แต่ความสามารถในการซ่อนตัวของลายน้ำจะแปรผันตาม ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของบล็อกภายในภาพต้นฉบับที่จะฝังลายน้ำนั้น ดังนั้นจึงควรกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ให้มีขนาดแปรผันตามค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบี่ยงเบนมาตรฐานของบล็อกที่จะนำลายน้ำไปฝัง โดยขนาดของค่าสัมประสิทธิ์ไม่ควรมากเกินไปจนทำให้สังเกตเห็นได้

ข้อจำกัดหนึ่งของการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตามระดับค่า SD คือ ผู้ใช้ต้องกำหนดจำนวนกลุ่มของระดับค่า SD และกำหนดรูปแบบของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำและค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางเพื่อใช้กับระดับค่า SD แต่ละกลุ่มด้วยตนเอง ทำให้ขาดความสะดวกในการใช้งาน ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้ผู้วิจัยจึงเสนอวิธีการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำแบบอัตโนมัติ ตามค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่คำนวณได้จากภาพต้นฉบับ โดยใช้ฟังก์ชันเอ็กซ์โปเนนเชียลในการกำหนดรูปแบบการปรับเปลี่ยนค่า และเพื่อป้องกันมิให้การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์น้อยเกินไป (ลายน้ำไม่คงทนต่อการโจมตี) หรือมากเกินไป (สังเกตเห็นลายน้ำได้) จึงมีพารามิเตอร์ให้กำหนดค่าต่ำสุดและสูงสุดของค่าสัมประสิทธิ์เพื่อควบคุมปริมาณข้อมูลลายน้ำที่ฝัง และยังมีพารามิเตอร์ให้กำหนดค่าต่ำสุดและสูงสุดของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อควบคุมช่วงของการปรับเปลี่ยนอัตโนมัติ

หัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงรายละเอียดของการออกแบบค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกแบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติ

4.2.5 การออกแบบค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกแบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติ

สมการ 4.3 คือรูปทั่วไปของสมการที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำ

$$C = F(SD_B, SD_{MIN}, SD_{MAX}, C_{MIN}, C_{MAX}, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n) \quad (4.3)$$

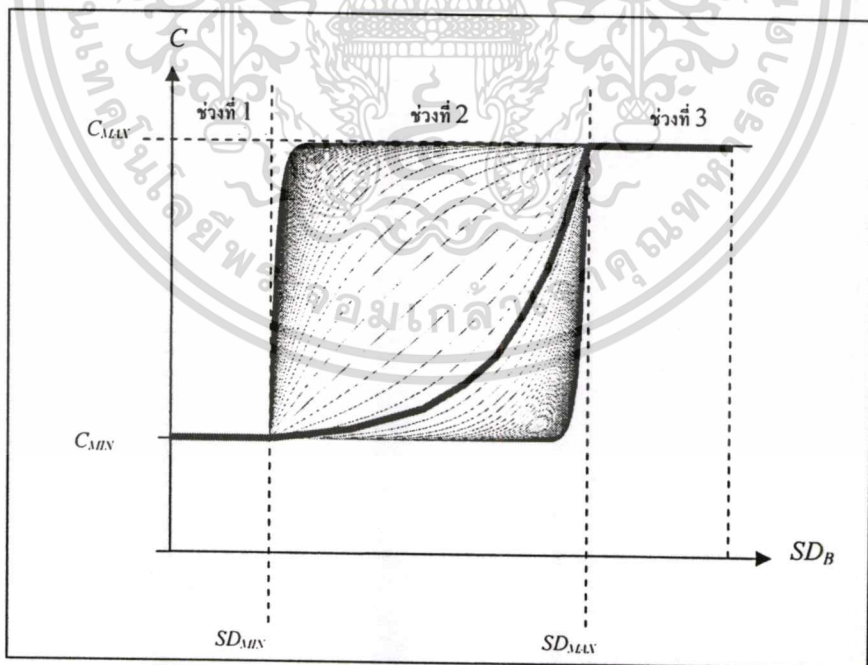
เมื่อกำหนดให้

- C คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำ
- SD_B คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความเข้มแสงในบล็อกทับซ้อนที่แบ่งไว้ในภาพต้นฉบับ โดยค่า mean ที่ใช้คำนวณ คือค่า mean ของบล็อก
- SD_{MIN} คือ ค่า SD_B ที่น้อยที่สุดที่ค่า C เริ่มมีการปรับเปลี่ยนอัตโนมัติ (ผู้ใช้เป็นผู้กำหนด) *
- SD_{MAX} คือ ค่า SD_B ที่มากที่สุดที่ค่า C จะมีการปรับเปลี่ยนอัตโนมัติ (ผู้ใช้เป็นผู้กำหนด) *
- C_{MIN} คือ ค่า C ต่ำสุดที่กำหนดให้บล็อกตัวแทนบิตลายน้ำกรณีบล็อกทับซ้อนในภาพต้นฉบับมี $SD_B < SD_{MIN}$ (ผู้ใช้เป็นผู้กำหนด)
- C_{MAX} คือ ค่า C สูงสุดที่กำหนดให้บล็อกตัวแทนบิตลายน้ำกรณีบล็อกทับซ้อนในภาพต้นฉบับมี $SD_B \geq SD_{MAX}$ (ผู้ใช้เป็นผู้กำหนด)

α_i คือ ค่าพารามิเตอร์ตัวที่ i จากพารามิเตอร์ n จำนวน ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) ที่ใช้สำหรับปรับรูปแบบของฟังก์ชัน เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกลักษณะการปรับเปลี่ยนอัตราโนมติกของค่า C ตามต้องการ ในที่นี้จำนวนพารามิเตอร์ n ขึ้นอยู่กับฟังก์ชันที่ใช้ว่าเป็นฟังก์ชันใด

*หมายเหตุ การหาค่า SD_B จากการแบ่งบล็อกขนาด 3×3 พิกเซล ในภาพต้นฉบับ ทำให้ค่า SD_B ถูกคำนวณมาจากค่าความเข้มแสง 9 ค่า ถ้าค่าความเข้มแสงอยู่ในช่วง $[0, 255]$ จะสามารถคำนวณหาค่า SD_B ต่ำสุดและสูงสุดที่เป็นไปได้ โดยค่า SD_B จะมีค่าต่ำสุด เมื่อค่าความเข้มแสงทุกพิกเซลในบล็อกมีค่าเท่ากัน ซึ่งจะทำให้ $SD_B = 0$ ส่วนค่า SD_B จะมีค่าสูงสุดเมื่อค่าความเข้มแสงทั้ง 9 คือ $\{0, 0, 0, 0, 0, 255, 255, 255, 255\}$ หรือ $\{0, 0, 0, 0, 255, 255, 255, 255, 255\}$ ซึ่งจะทำให้ $SD_B = 134.3968$

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ นำเสนอฟังก์ชันในการปรับค่าแบบอัตราโนมติก โดยใช้คือฟังก์ชันเอ็กซ์โปเนนเชียล ซึ่งการปรับค่าแบบอัตราโนมติกจะเกิดขึ้นเฉพาะช่วง $[SD_{MIN}, SD_{MAX}]$ เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.9 (แกนนอน คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของบล็อกทับซ้อนภายในภาพต้นฉบับ (SD_B) แกนตั้ง คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำ (C))



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการปรับค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำ (C) แบบอัตราโนมติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9 บล็อกทับซ้อนภายในภาพต้นฉบับจะถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามค่า SD_B และค่าสัมประสิทธิ์ C ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำ ก็จะถูกกำหนดค่าแตกต่างกันในแต่ละกลุ่มดังนี้

กลุ่มที่ 1 เมื่อ $SD_B < SD_{MIN}$ (บล็อกความถี่ต่ำ)

$$C = C_{MIN}$$

กลุ่มที่ 2 เมื่อ $SD_{MIN} \leq SD_B < SD_{MAX}$

C ปรับเปลี่ยนตามฟังก์ชันเอ็กซ์โปเนนเชียล

กลุ่มที่ 3 เมื่อ $SD_B \geq SD_{MAX}$ (บล็อกความถี่สูง)

$$C = C_{MAX}$$

การปรับค่าในกลุ่มที่ 2 ตามสมการเอ็กซ์โปเนนเชียลปรับโดยสร้างสมการเอ็กซ์โปเนนเชียลที่มีอินพุตอยู่ในช่วง $[0,1]$ และให้อเอาพุตอยู่ในช่วง $[0,1]$ เพื่อนำเอาสมการดังกล่าวเทียบบัญญัติไตรยางค์ให้ออินพุตอยู่ในช่วง $[SD_{MIN}, SD_{MAX}]$ และให้อเอาพุตอยู่ในช่วง $[C_{MIN}, C_{MAX}]$ เพื่อใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ C ที่เหมาะสมกับบล็อกทับซ้อนที่มีค่า SD_B แต่ละค่า

ถ้ากำหนดค่า k คือ อัตราความโค้งของกราฟในฟังก์ชันเอ็กซ์โปเนนเชียล โดยที่ $k = (-\infty, \infty)$ แล้วสมการเอ็กซ์โปเนนเชียลที่มีอินพุตและเอาพุตอยู่ในช่วง $[0,1]$ คือ

$$F(x) = \begin{cases} (e^{(kx)} - e^0) / (e^k - e^0) & \text{เมื่อ } k \neq 0 \\ x & \text{เมื่อ } k = 0 \end{cases} \quad (4.4)$$

โดยที่ x คือค่า SD_B ที่ถูกปรับให้อยู่ในช่วง $[0,1]$ ด้วยสมการ 4.5

$$x = (SD_B - SD_{MIN}) / (SD_{MAX} - SD_{MIN}) \quad (4.5)$$

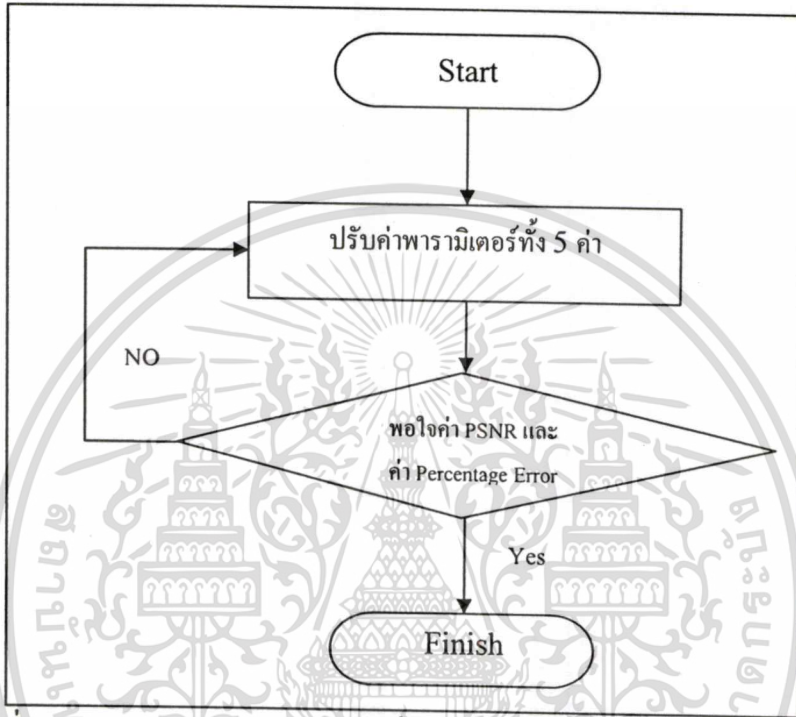
จากสมการที่ 4.4 และ 4.5 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ C ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำ เพื่อนำไปใช้กับบล็อกทับซ้อนในภาพต้นฉบับที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ SD_B สามารถทำได้โดยใช้สมการที่ 4.6 ซึ่งจะทำการปรับค่า $F(x)$ ให้เป็นค่า C ที่อยู่ในช่วง $[C_{MIN}, C_{MAX}]$

$$C = (F(x) \times (C_{MAX} - C_{MIN})) + C_{MIN} \quad (4.7)$$

หมายเหตุ เมื่อค่า $k > 0$ กราฟของฟังก์ชันเอ็กซ์โปเนนเชียลจะโค้งหงาย
เมื่อค่า $k < 0$ กราฟของฟังก์ชันเอ็กซ์โปเนนเชียลจะโค้งคว่ำ
เมื่อค่า $k = 0$ ในที่นี้จะกำหนดให้ใช้ฟังก์ชัน Linear

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการใช้งาน ผู้ใช้เพียงแต่ระบุค่า SD_{MIN} , SD_{MAX} , C_{MIN} , C_{MAX} และ ค่า k เพื่อกำหนดขอบเขตค่า SD ของบล็อกทับซ้อนและขอบเขตค่าสัมประสิทธิ์ C ของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำ รวมถึงการกำหนดอัตราการปรับเปลี่ยนค่าดังกล่าว ซึ่งการกำหนดค่าต่างๆ เหล่านี้จะทำให้ผู้ใช้สามารถควบคุมปริมาณลายน้ำที่จะฝังเพื่อให้ลายน้ำคงทน ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงในภาพที่ฝังลายน้ำจนสังเกตเห็นได้ ดังแสดงวิธีการปรับค่าพารามิเตอร์ในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงแผนภาพการปรับค่าเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน

การปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อให้ได้ลายน้ำตามต้องการนั้น ผู้ใช้งานควรทราบว่าบล็อกทับซ้อนใดอยู่ในกลุ่มที่เท่าไร ตัวอย่างเช่น ถ้าผู้ใช้กำหนด $SD_{MIN} = 8$ และ $SD_{MAX} = 40$ จะทำให้บล็อกทับซ้อนในภาพต้นฉบับถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงการภาพแบ่งออกเป็น 3 ส่วน จากค่า SD_{MIN} และ SD_{MAX}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากปรับค่าพารามิเตอร์ทั้ง 5 ค่าแล้ว ให้เปรียบเทียบภาพหลังจากการฝังลายน้ำกับภาพต้นฉบับในแต่ละกลุ่มของบล็อกทับซ้อน โดยพิจารณาว่าผู้ใช้งานต้องการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของลายน้ำในกลุ่มใด ถ้าผู้ใช้งานต้องการปรับค่า PSNR หรือคุณภาพของภาพหลังจากการฝังลายน้ำ ก็ให้เลือกปรับตามตารางที่ 4.1 แต่ถ้าผู้ใช้งานต้องการปรับค่า E_{AVG} หรือความคงทนของลายน้ำที่ฝังอยู่ ก็ให้เลือกปรับตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 แสดงการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อปรับปรุงค่า PSNR ของภาพหลังฝังลายน้ำ

ความต้องการ ของผู้ใช้งาน	พารามิเตอร์ที่ต้องปรับค่า				
	C_{MIN}	C_{MAX}	k	SD_{MIN}	SD_{MAX}
เพิ่ม/ลด PSNR ในกลุ่มที่ 1	ลด/เพิ่ม	-	-	เพิ่ม/ลด	-
เพิ่ม/ลด PSNR ในกลุ่มที่ 2	ลด/เพิ่ม	ลด/เพิ่ม	เพิ่ม/ลด	เพิ่ม/ลด	เพิ่ม/ลด
เพิ่ม/ลด PSNR ในกลุ่มที่ 3	-	ลด/เพิ่ม	-	-	เพิ่ม/ลด

ตารางที่ 4.2 แสดงการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อปรับปรุงค่า E_{AVG} ของลายน้ำที่ฝัง

ความต้องการ ของผู้ใช้งาน	พารามิเตอร์ที่ต้องปรับค่า				
	C_{MIN}	C_{MAX}	k	SD_{MIN}	SD_{MAX}
ลด/เพิ่ม PSNR ในกลุ่มที่ 1	เพิ่ม/ลด	-	-	ลด/เพิ่ม	-
ลด/เพิ่ม PSNR ในกลุ่มที่ 2	เพิ่ม/ลด	เพิ่ม/ลด	ลด/เพิ่ม	ลด/เพิ่ม	ลด/เพิ่ม
ลด/เพิ่ม PSNR ในกลุ่มที่ 3	-	เพิ่ม/ลด	-	-	ลด/เพิ่ม

การเพิ่ม/ลดค่า PSNR ของภาพหลังฝังลายน้ำ ตามตารางที่ 4.1 คือการเพิ่ม/ลด คุณภาพของภาพหลังฝังลายน้ำ กล่าวคือความแตกต่างระหว่างภาพหลังฝังลายน้ำกับภาพต้นฉบับจะลดลง/เพิ่มขึ้น นั่นเอง แต่การ เพิ่ม/ลด ค่า PSNR จะส่งผลทำให้ความคงทนของลายน้ำ ลดลง/เพิ่มขึ้น (E_{AVG} เพิ่มขึ้น/ลดลง) ดังนั้นถ้าผู้ใช้งานต้องการให้ความคงทนของลายน้ำในบล็อกทับซ้อนกลุ่มใด เพิ่มขึ้น/ลดลง (E_{AVG} ลดลง/เพิ่มขึ้น) ก็สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 4.2

ในบทความนี้จะเป็นการทดสอบวิธีการฝังลายน้ำโดยวิธีที่นำเสนอ และเปรียบเทียบผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่า SD_{MIN} , SD_{MAX} , C_{MIN} , C_{MAX} และค่า k แบบต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

ในบทนี้กล่าวถึงผลการทดลองของวิธีการฝึกลายน้ำด้วยบล็อกทับซ้อน รวมไปถึงเปรียบเทียบผลการทดลองในการปรับค่าต่างๆ หลังจากนั้นจะสรุปวิธีการปรับค่าในการฝึกลายน้ำเพื่อตอบสนองความต้องการและความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

5.1 เงื่อนไขในการทดลอง

ในการทดลองต่อไปนี้จะใช้ภาพถ่ายน้ำที่มีค่าระดับความเข้มแสง 1 บิต (0,1) ขนาด 63x63 พิกเซล (รูปที่ 5.1) ภาพทดสอบที่มีระดับความเข้มแสง 8 บิต (0-255) ขนาด 128x128 พิกเซล ทั้งหมด 5 ภาพ (รูปที่ 5.2) ได้แก่ภาพ Lenna, Airplane, Baboon, Peppers และ Girl ซึ่งแต่ละภาพมีคุณสมบัติต่างกันออกไป โดยคุณสมบัติเด่นคือ ภาพ Baboon เป็นภาพที่องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นข้อมูลความถี่สูง ภาพ Airplane เป็นภาพที่องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นข้อมูลความถี่ต่ำ และภาพ Lenna, Peppers, Girl เป็นภาพที่มีข้อมูลหลายความถี่ เช่น บริเวณขอบของวัตถุในภาพเป็นความถี่สูง บริเวณที่มีสีพื้นมีความถี่ต่ำ บริเวณสีค่อยๆ เปลี่ยนมีความถี่กลาง และบริเวณมวยผมเป็นบริเวณที่มีความถี่สูง ซึ่งความแตกต่างกันขององค์ประกอบในภาพจะมีผลต่อปริมาณข้อมูลลายน้ำที่สามารถฝังได้โดยไม่เห็นความแตกต่าง

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะใช้ภาพทั้ง 5 ภาพนี้เป็นภาพต้นฉบับเพื่อนำลายน้ำมาฝัง และทดสอบความสามารถในการซ่อนตัวของลายน้ำ โดยใช้ค่า PSNR ระหว่างภาพต้นฉบับและภาพที่ฝึกลายน้ำแล้ว จากนั้นทดสอบความคงทนของลายน้ำที่ฝังไว้ในภาพโดยทำการโจมตีภาพแล้ววัดค่า Error ที่เกิดขึ้น

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้กำหนดวิธีการ โจมตีภาพที่ฝึกลายน้ำไว้ทั้งหมด 9 วิธีดังนี้

- 3x3 Low Pass Filter	ชื่อย่อ	LPF
- 3x3 Median Filter	ชื่อย่อ	MF
- 50% Scale Down	ชื่อย่อ	Scale
- JPEG Quality 100	ชื่อย่อ	JPEG100
- JPEG Quality 75	ชื่อย่อ	JPEG75
- JPEG Quality 50	ชื่อย่อ	JPEG50
- JPEG Quality 25	ชื่อย่อ	JPEG25
- 27% Crop	ชื่อย่อ	Crop
- Rotation 12° จุดหมุนอยู่ที่จุดศูนย์กลาง	ชื่อย่อ	Rotation

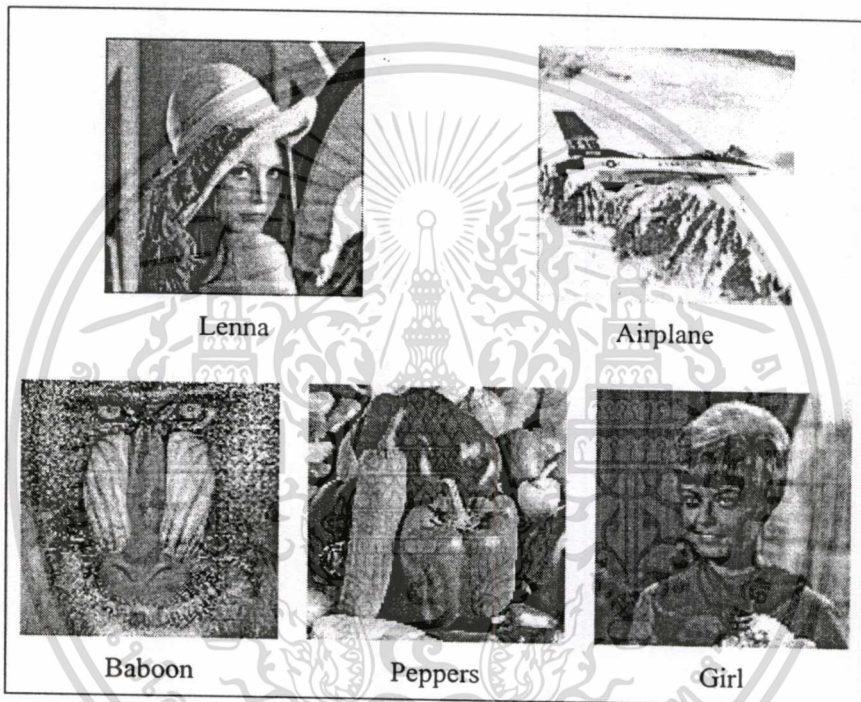
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนึ่ง กรณีที่มีการปรับเปลี่ยนค่าความเข้มแสงแล้วจนทำให้มีค่ามากกว่า 255 หรือน้อยกว่า 0 ผู้วิจัยจะทำการกำหนดค่าความเข้มแสงที่พิกลเซลนั้นให้มีค่าเท่ากับ 255 และ 0 ตามลำดับ



รูปที่ 5.1 ภาพลายน้ำ



รูปที่ 5.2 ภาพต้นฉบับที่ใช้ในการทดลอง

5.2 การฝังลายน้ำโดยวิธีบล็อกทับซ้อน เมื่อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำเป็นค่าคงที่ n ค่า

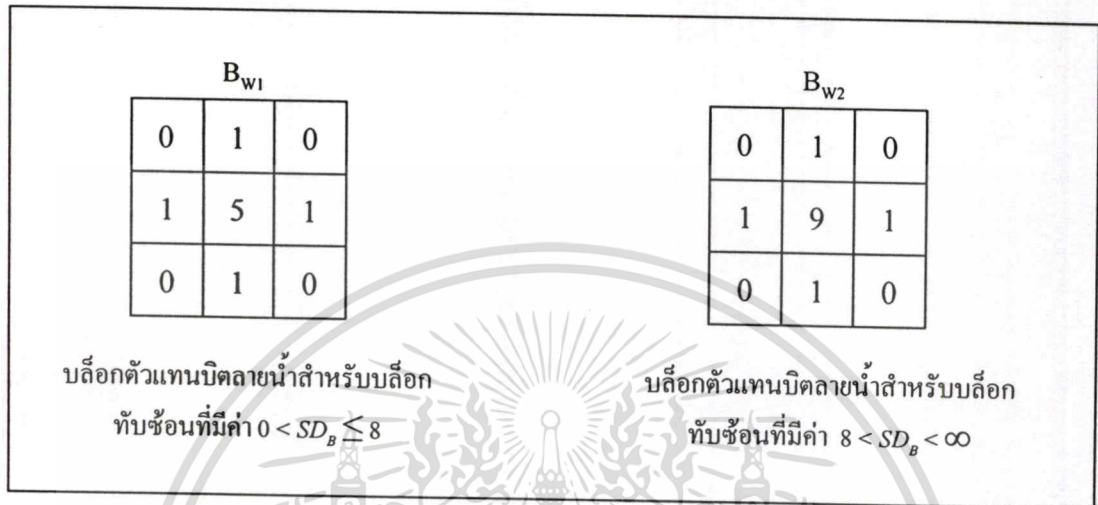
ในการทดลองนี้กำหนดค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำ เป็นค่าคงที่ 2 ค่า และ 3 ค่า เพื่อนำไปใช้กับบล็อกทับซ้อนภายในภาพต้นฉบับที่ถูกแบ่งกลุ่มเป็น 2 กลุ่มและ 3 กลุ่มตามระดับค่า SD_B

วัตถุประสงค์หลักของการแบ่งกลุ่ม คือ เพื่อเพิ่มปริมาณข้อมูลที่ใช้ฝังแทนลายน้ำให้มีขนาดมากขึ้นตามระดับค่า SD_B ซึ่งจะทำให้ลายน้ำมีความคงทนมากขึ้น แต่ต้องระวังมิให้ข้อมูลที่ฝังมีปริมาณมากเกินไปจนทำให้สังเกตเห็นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1 กรณีค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนบิตหลายน้ำเป็นค่าคงที่ 2 ค่า

การทดลองนี้ทำการแบ่งบล็อกทับซ้อนในภาพต้นฉบับออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีค่า SD_B อยู่ในช่วง $[0,8]$ และ $(8,\infty)$ จากนั้นในขั้นตอนการฝังลายน้ำ ก็จะเลือกใช้บล็อกตัวแทนบิตหลายน้ำ B_{w1} กับบล็อกทับซ้อนกลุ่มที่ 1 และ B_{w2} กับบล็อกทับซ้อนกลุ่มที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 บล็อกตัวแทนบิตหลายน้ำที่แบ่งออกเป็น 2 ระดับ

5.2.1.1 ภาพที่ได้จากการฝังลายน้ำ

จากการทดลองนำภาพลายน้ำมาฝังในภาพตัวอย่างทั้ง 5 ภาพ ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 5.4 คอลัมน์ซ้ายสุดคือภาพต้นฉบับก่อนฝังลายน้ำ คอลัมน์กลางคือภาพที่ได้รับการฝังลายน้ำแล้ว และคอลัมน์ขวาสุดคือค่า PSNR ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบระหว่างภาพต้นฉบับก่อนฝังลายน้ำกับภาพที่ได้รับการฝังลายน้ำแล้ว โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 35.49 – 37.01 dB ส่วนการทดสอบความแตกต่างระหว่างภาพต้นฉบับและภาพที่ฝังลายน้ำแล้วโดยใช้สายตาสังเกต พบว่าไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างที่เกิดขึ้นได้



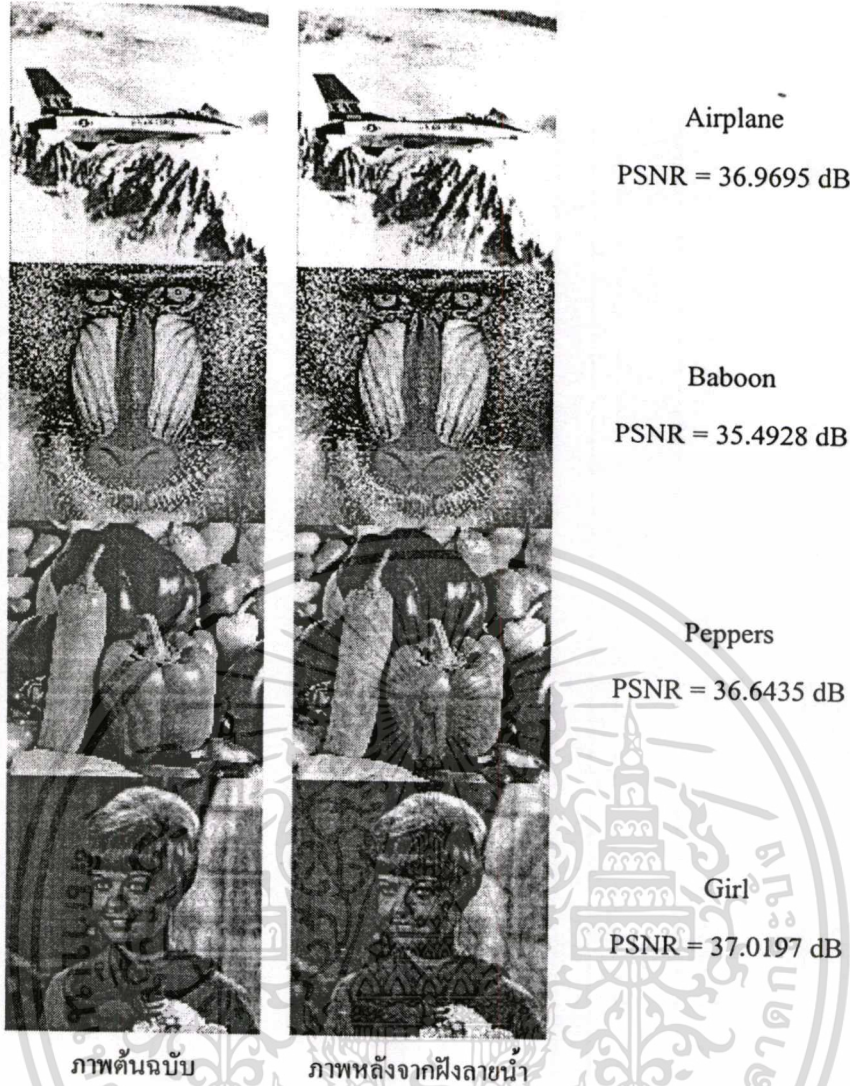
ภาพต้นฉบับ



ภาพหลังจากฝังลายน้ำ

Lenna

PSNR = 36.9063 dB








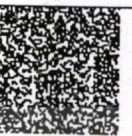











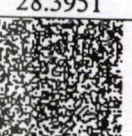









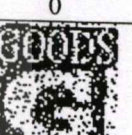






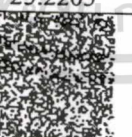
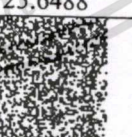
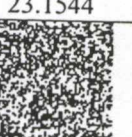



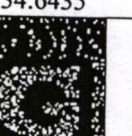









รูปที่ 5.4 ภาพที่ได้จากการทดลองแบ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดกึ่งกลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำออกเป็น 2 ระดับ

5.2.1.2 ภาพลายน้ำที่ถอดได้ภายหลังการโจมตี

ภาพหลังจากการฟังกายน้ำจะถูกโจมตีด้วยวิธีการทั้ง 9 วิธีที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.1 แล้วนำภาพหลังจากการโจมตีทั้ง 9 ภาพไปตรวจสอบลายน้ำ ลายน้ำที่ได้จะถูกทำลายน้อยแตกต่างกันไปตามแต่นิคมของภาพที่มีลายน้ำฝังอยู่และวิธีการโจมตีดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.1 อนึ่ง ตัวเลขที่แสดงไว้ได้ลายน้ำ คือ ค่าความแตกต่าง (Error) ที่คำนวณได้จากการเปรียบเทียบกับภาพลายน้ำต้นฉบับ

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงภาพหลายน้ำที่ตรวจสอบได้หลังจากการ โจมตีทั้ง 9 วิธี (เมื่อแบ่งบล็อก
ตัวแทนบิตลายน้ำเป็น 2 ระดับ)

การโจมตี	Lenna	Airplane	Baboon	Peppers	Girl
Original	 0	 0	 0	 0	 0
LPF	 33.2829	 31.3933	 37.7677	 32.9050	 30.9398
MF	 24.2126	 29.1257	 37.0370	 28.4958	 28.3951
Scale	 38.4732	 36.3064	 41.2950	 39.1282	 37.1630
JPEG100	 0	 0	 0	 0	 0
JPEG75	 11.7914	 12.2701	 14.3361	 12.5472	 11.4135
JPEG50	 23.4568	 25.2205	 25.6488	 23.1544	 22.7261
JPEG25	 33.5097	 35.2986	 34.6435	 34.9458	 34.3159
Crop	 33.7365	 33.7365	 33.7365	 33.7365	 33.7365
Rotation	 23.2552	 23.3812	 29.6548	 24.0111	 20.4082
* E_{AVG}	24.6353	25.1924	28.2354	25.4360	24.3442

* ค่า E_{AVG} คือค่า Average Percentage Error ของภาพหลายน้ำที่ตรวจสอบได้หลังจากโจมตีทั้ง 9 วิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.2 และ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างวิธีการแบ่งบล็อกแบบไม่ทับซ้อนขนาด 2×2 พิกเซลของ L. Chang-Hising, L. Yeuan-Kuen กับวิธีการแบ่งบล็อกแบบทับซ้อน (เมื่อแบ่งบล็อกตัวแทนบิตหลายน้ำเป็น 2 ระดับ) โดยที่

2x2 คือวิธีการฝังลายน้ำของ L. Chang-Hising, และ L. Yeuan-Kuen โดยแบ่งบล็อกแบบไม่ทับซ้อนขนาด 2×2 พิกเซล

2 Levels คือวิธีการฝังลายน้ำโดยใช้บล็อกทับซ้อน และแบ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางเป็น 2 ระดับ ตามค่า SD_B

ตารางที่ 5.2 ตารางเปรียบเทียบค่า PSNR ระหว่างวิธีของ L. Chang-Hising, L. Yeuan-Kuen และวิธีการแบ่งบล็อกแบบทับซ้อน (เมื่อแบ่งบล็อกตัวแทนบิตหลายน้ำเป็น 2 ระดับ)

Host Image	ค่า PSNR ของภาพหลังจากการฝังลายน้ำ (dB)	
	2x2	2 Levels
Girl	36.1332	37.0197
Baboon	29.5945	35.4928
Airplane	32.3912	36.9695
Pappers	32.1713	36.6435
Lenna	33.7916	36.9063
Average	32.8157	36.6064

ตารางที่ 5.3 ตารางเปรียบเทียบค่า Average Percentage Error ระหว่างวิธีของ L. Chang-Hising, L. Yeuan-Kuen และวิธีการแบ่งบล็อกแบบทับซ้อน (เมื่อแบ่งบล็อกตัวแทนบิตหลายน้ำเป็น 2 ระดับ)

Host Image	ค่า E_{AVG} ของภาพลายน้ำ (%)	
	2x2	2 Levels
Girl	28.9209	21.9098
Baboon	26.1841	25.4119
Airplane	28.5449	22.6732
Pappers	28.5132	22.8924
Lenna	28.5962	22.1718
Average	28.1519	23.0118

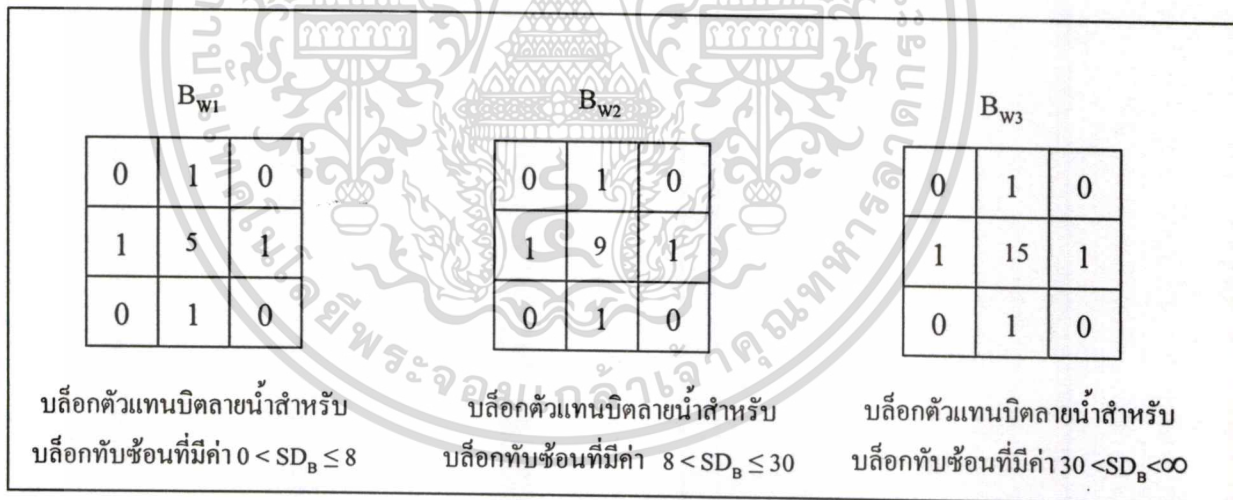
5.2.1.4 สรุปผลการทดลอง

ตารางที่ 5.2 และ 5.3 แสดงให้เห็นว่าวิธีการแบ่งบล็อกแบบทับซ้อนให้ค่า PSNR มากกว่าวิธีการของ L. Chang-Hising, L. Yeuan-Kuen และให้ค่า Percentage Error ที่น้อยกว่า ซึ่งหมายความว่าภาพหลังจากการฝังลายน้ำด้วยวิธีการแบ่งบล็อกแบบทับซ้อน มีความใกล้เคียงภาพต้นฉบับมากกว่า (ความสามารถในการซ่อนตัวของลายน้ำดีกว่า) และความคมชัดของลายน้ำที่ฝังอยู่ดีกว่าวิธีการแบ่งบล็อกแบบไม่ทับซ้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 กรณีค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำเป็นค่าคงที่ 3 ค่า

จากผลการทดลองของการแบ่งบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำออกเป็น 2 ระดับ พบว่าเมื่อฝังลายน้ำลงไป ในภาพตัวอย่างทั้ง 5 ภาพแล้ว ภาพ Baboon ซึ่งเป็นภาพที่องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นข้อมูลความถี่สูงมีค่า PSNR ต่ำกว่าภาพอื่น (นั่นคือค่าความเข้มแสงของภาพหลังฝังลายน้ำ มีความแตกต่างจากภาพต้นฉบับมากกว่าความแตกต่างของภาพอื่น) แต่เมื่อทำการทดสอบด้วยการสังเกตด้วยตา กลับไม่เห็นความแตกต่างที่เกิดขึ้น ทั้งนี้เพราะความแตกต่างที่เกิดกับบริเวณที่เป็นความถี่สูงจะสังเกตเห็นได้ยากกว่าบริเวณที่เป็นความถี่ต่ำ ส่วนการเปรียบเทียบลายน้ำที่ถอดได้หลังการโจมตีกับลายน้ำต้นฉบับ พบว่าลายน้ำที่ถอดได้จากภาพ Baboon มีความแตกต่างจากภาพต้นฉบับมากกว่าลายน้ำที่ถอดได้จากภาพอื่นๆ (ค่า Error มากกว่า) เนื่องจากลายน้ำในภาพ Baboon ที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นข้อมูลความถี่สูง จะถูกทำให้ผิดเพี้ยนไปได้โดยง่ายด้วยการโจมตีประเภท Low Pass Filter และ Median Filter ดังนั้น เพื่อให้ลายน้ำที่ฝังในข้อมูลความถี่สูงมีความทนต่อการโจมตีมากขึ้น ในหัวข้อนี้จึงเพิ่มระดับของค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำเป็นค่าคงที่ 3 ระดับ โดยบริเวณที่มีความถี่สูง ($SD_B > 30$) จะใช้บล็อกตัวแทนบิตลายน้ำที่มีค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางมากกว่าบริเวณอื่นๆ ($C = 15$) ดังแสดงในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 บล็อกตัวแทนบิตลายน้ำที่แบ่งออกเป็น 3 ระดับ

5.2.2.1 ภาพที่ได้จากการฝังลายน้ำ

จากการทดลองนำภาพลายน้ำมาฝังในภาพตัวอย่างทั้ง 5 ภาพได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 5.6 คอลัมน์ซ้ายสุดคือภาพต้นฉบับก่อนฝังลายน้ำ คอลัมน์กลางคือภาพที่ได้รับการฝังลายน้ำแล้ว และคอลัมน์ขวาสุดคือค่า PSNR ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบระหว่างภาพต้นฉบับก่อนฝังลายน้ำกับภาพที่ได้รับการฝังลายน้ำแล้ว โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 33.38 – 36.48 dB ส่วนการทดสอบความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

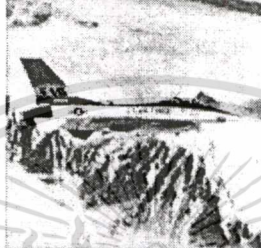
แตกต่างระหว่างภาพต้นฉบับและภาพที่ฝังลายน้ำแล้วโดยใช้สายตาสังเกตพบว่า
สังเกตเห็นความแตกต่างที่เกิดขึ้นได้

ไม่สามารถ



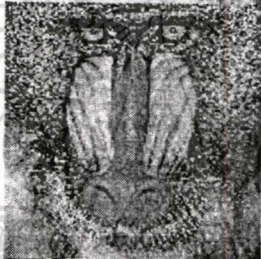
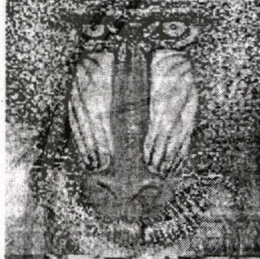
Lenna

PSNR= 35.8643 dB



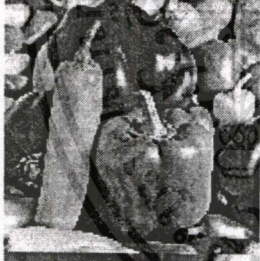
Airplane

PSNR = 35.2660 dB



Baboon

PSNR = 33.3835 dB



Peppers

PSNR = 35.1321 dB



Girl

PSNR = 36.4890 dB

ภาพต้นฉบับ

ภาพหลังจากฝังลายน้ำ




































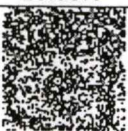



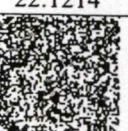
รูปที่ 5.6 ภาพที่ได้จากการทดลองแบ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดกึ่งกลางของบล็อควัฒนบิตลายน้ำ
ออกเป็น 3 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.2 ภาพลายน้ำที่ถอดได้ภายหลังการโจมตี

ภาพหลังจากการฝังลายน้ำจะถูกโจมตีด้วยวิธีการทั้ง 9 วิธีที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.1 แล้วนำภาพหลังจากการโจมตีทั้ง 9 ภาพไปตรวจสอบลายน้ำ ลายน้ำที่ได้จะถูกทำลายน้อยแตกต่างกันไปตามแต่ละชนิดของภาพลายน้ำที่ฝังอยู่และวิธีการโจมตี ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.4 อนึ่ง ตัวเลขที่แสดงไว้ได้ลายน้ำคือ ค่าความแตกต่าง (Error) ที่คำนวณได้จากการเปรียบเทียบกับภาพลายน้ำต้นฉบับ











ตารางที่ 5.4 ตารางแสดงภาพลายน้ำที่ตรวจสอบได้หลังจากการโจมตีทั้ง 9 วิธี
(เมื่อแบ่งบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำเป็น 3 ระดับ)

การโจมตี	Lenna	Airplane	Baboon	Peppers	Girl
Original	 0	 0	 0	 0	 0
LPF	 32.8042	 30.9398	 36.3316	 32.5271	 30.7634
MF	 23.8599	 28.5462	 36.2560	 27.9415	 28.1431
Scale	 38.2968	 35.8781	 40.3628	 38.9015	 37.0118
JPEG100	 0	 0	 0	 0	 0
JPEG75	 10.9599	 11.1867	 11.7662	 11.2119	 11.0607
JPEG50	 21.6679	 22.6253	 23.2048	 21.7687	 22.1214
JPEG25	 32.5775	 34.2152	 32.5271	 34.1648	 34.3915

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนลิขสิทธิ์ไว้ ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 (ต่อ)

Crop	 33.7365	 33.7365	 33.7365	 33.7365	 33.7365
Rotation	 22.6505	 22.0711	 27.7904	 22.9781	 20.1058
E_{AVG}	24.0614	24.3554	26.8861	24.8033	24.1482

5.2.2.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.5 และ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างวิธีการแบ่งบล็อกแบบไม่ทับซ้อนขนาด 2×2 พิกเซลของ L. Chang-Hising, L. Yeuan-Kuen กับวิธีการแบ่งบล็อกแบบทับซ้อน เมื่อแบ่งบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำออกเป็น 2 ระดับและ 3 ระดับ โดยที่

- 2x2 คือวิธีการฝังลายน้ำของ L. Chang-Hising, และ L. Yeuan-Kuen โดยใช้การแบ่งบล็อกแบบไม่ทับซ้อนขนาด 2×2 พิกเซล
- 2 Levels คือวิธีการฝังลายน้ำโดยใช้บล็อกทับซ้อน และแบ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางเป็น 2 ระดับ ตามค่า SD_B
- 3 Levels คือวิธีการฝังลายน้ำโดยใช้บล็อกทับซ้อน และแบ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางเป็น 3 ระดับ ตามค่า SD_B

ตารางที่ 5.5 ตารางเปรียบเทียบค่า PSNR ระหว่างวิธีของ L. Chang-Hising, L. Yeuan-Kuen และวิธีการแบ่งบล็อกแบบทับซ้อนเมื่อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำเป็น 2 ระดับและ 3 ระดับ

Host Image	PSNR of Watermarked Image (dB)		
	2x2	2 Levels	3 Levels
Girl	36.1332	37.0197	36.4890
Baboon	29.5945	35.4928	33.3835
Airplane	32.3912	36.9695	35.2660
Pappers	32.1713	36.6435	35.1321
Lenna	33.7916	36.9063	35.8643
Average	32.8157	36.6064	35.2270

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 ตารางเปรียบเทียบค่า Average Percentage Error ระหว่างวิธีของ L. Chang-Hising, L. Yeuan-Kuen และวิธีการแบ่งบล็อกแบบทับซ้อนเมื่อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำเป็น 2 ระดับและ 3 ระดับ

Host Image	Average Percentage Error of Extracted Watermark (%)		
	2x2	2 Levels	3 Levels
Girl	28.9209	21.9098	21.7334
Baboon	26.1841	25.4119	24.1975
Airplane	28.5449	22.6732	21.9199
Pappers	28.5132	22.8924	22.3230
Lenna	28.5962	22.1718	21.6553
Average	28.1519	23.0118	22.3658

5.2.2.4 สรุปผลการทดลอง

จากรูปที่ 5.6 ตารางที่ 5.4, 5.5 และ 5.6 สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

- จากตารางเปรียบเทียบค่า Average PSNR ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบระหว่างภาพต้นฉบับก่อนฝังลายน้ำกับภาพที่ได้รับการฝังลายน้ำแล้ว จากมากไปน้อยพบว่า $PSNR_{2\text{ Level}} > PSNR_{3\text{ Levels}} > PSNR_{2x2}$
- จากตารางเปรียบเทียบค่า E_{AVG} จากน้อยไปมากพบว่า $E_{AVG(3\text{ Level})} < E_{AVG(2\text{ Level})} < E_{AVG(2x2)}$
- จากการสังเกตด้วยสายตา พบว่าภาพหลังจากการฝังลายน้ำทั้ง 5 ภาพไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างกับภาพต้นฉบับได้
- การแบ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนลายน้ำให้มีหลายระดับ และปรับค่าสัมประสิทธิ์ให้เปลี่ยนแปลงตามค่า SD_B ของบล็อกที่แบ่งไว้ในภาพต้นฉบับทำให้ความคงทนเพิ่มขึ้น แต่คุณสมบัติของภาพหลังจากการฝังลายน้ำที่วัดด้วยค่า PSNR จะลดลง อย่างไรก็ตามถ้าวัดคุณภาพของภาพด้วยสายตาสังเกต พบว่าผลของการแบ่งบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำเป็น 3 ระดับ แทบจะไม่แตกต่างจากเมื่อแบ่งเป็น 2 ระดับ

5.3 การฝังลายน้ำโดยวิธีบล็อกทับซ้อน เมื่อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางแบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติ

ในการทดลองของการปรับค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำ โดยใช้ฟังก์ชันเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติ จะมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 5 พารามิเตอร์ ในที่นี้จึงแบ่งการทดลองออกเป็น 5 การทดลองคือ

- I. ปรับเฉพาะพารามิเตอร์ C_{MIN}
- II. ปรับเฉพาะพารามิเตอร์ k
- III. ปรับเฉพาะพารามิเตอร์ SD_{MAX}
- IV. ปรับเฉพาะพารามิเตอร์ C_{MAX}
- V. ปรับเฉพาะพารามิเตอร์ SD_{MIN}

การทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ทีละค่า เป็นการทดลองเพื่อตรวจสอบผลกระทบของการปรับค่าพารามิเตอร์นั้นๆ และหาขอบเขตของค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อไป

5.3.1 ผลการทดลองของการปรับค่า C_{MIN}

การทดลองปรับค่า C_{MIN} มีผลกระทบต่อช่วงความถี่ต่ำและกลาง ดังนั้นในการทดลองจึงทำการปรับค่าอย่างละเอียดโดยค่อยๆ เพิ่มค่าทีละ 2 ค่า ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองคือ

$$C_{MIN} = \{1, 3, 5, 7, 9, 11, 13\} \quad C_{MAX} = 30 \quad k = 0$$

$$SD_{MIN} = 8 \quad SD_{MAX} = 40$$

5.3.1.1 ภาพที่ได้หลังจากการฝังลายน้ำ



ภาพต้นฉบับ



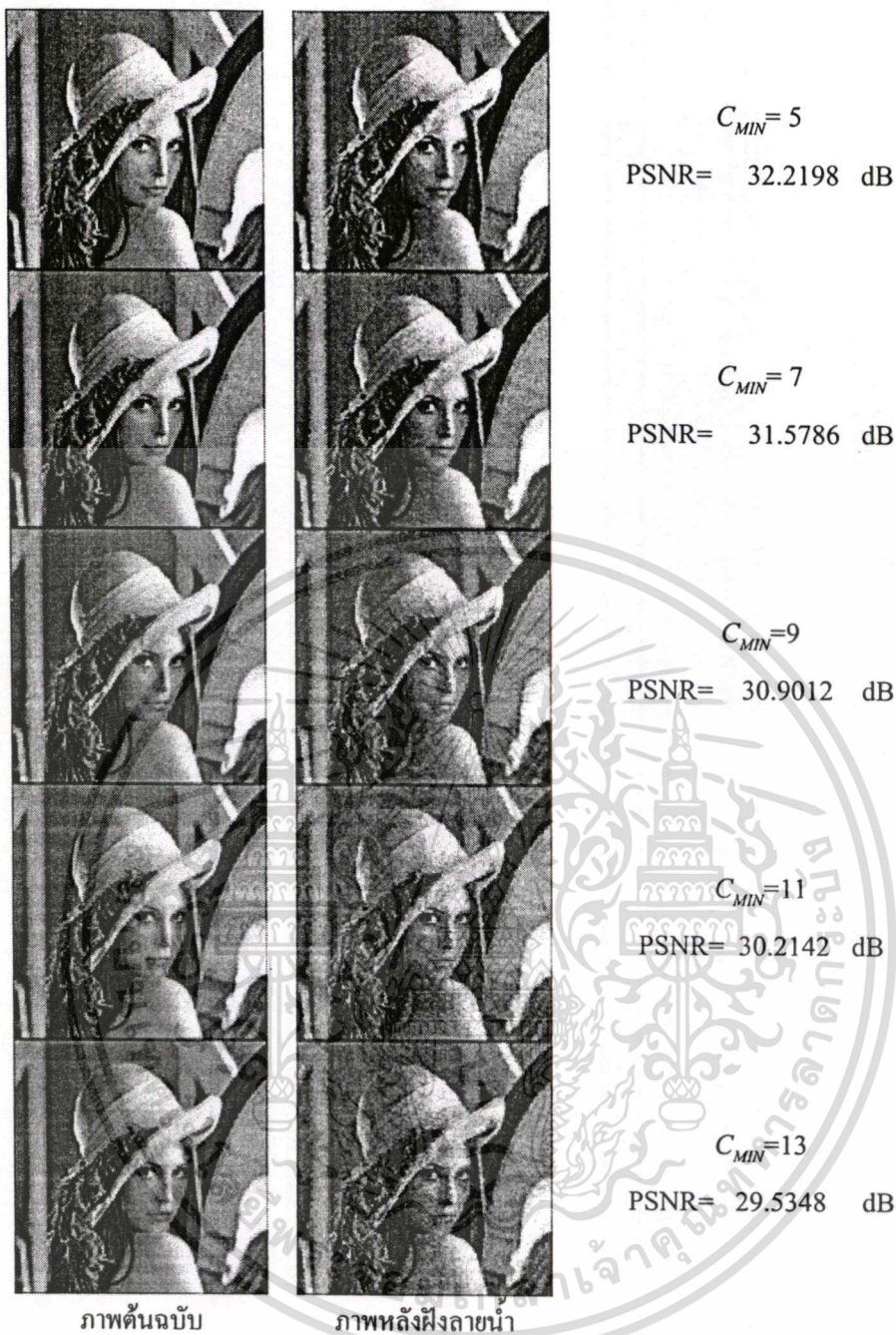
ภาพหลังฝังลายน้ำ

$$C_{MIN} = 1$$

$$PSNR = 33.2356 \text{ dB}$$

$$C_{MIN} = 3$$

$$PSNR = 32.7876 \text{ dB}$$



รูปที่ 5.7 ภาพ Lena หลังจากการฝังลายน้ำ โดยการฝังลายน้ำใช้ฟังก์ชัน เมื่อกำหนด

$$C_{MIN} = \{1,3,5,7,9,11,13\}, C_{MAX} = 30, k = 0, SD_{MIN} = 8 \text{ และ } SD_{MAX} = 40$$
































































จากรูปที่ 5.7 พบว่าเมื่อ C_{MIN} มีค่ามาก จะสังเกตเห็นความแตกต่างบริเวณความถี่ต่ำ (บริเวณสีพื้น) เสมือนว่ามี noise เกิดขึ้น และค่า PSNR ที่ได้จะอยู่ในช่วง [33.23 ~ 29.53] โดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่า C_{MIN} เพิ่มขึ้น

5.3.1.2 ภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากโจมตี

เมื่อนำภาพที่ฝังลายน้ำแล้วในรูปที่ 5.7 ไปผ่านการโจมตีทั้ง 9 วิธี แล้วถอดลายน้ำออกมา จะได้ภาพลายน้ำดังแสดงในตารางที่ 5.7








ตารางที่ 5.7 ภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากโจมตีภาพ Lenna เมื่อกำหนด $C_{MIN} = \{1,3,5,7,9,11,13\}$,

$$C_{MAX} = 30, k = 0, SD_{MIN} = 8 \text{ และ } SD_{MAX} = 40$$

การโจมตี	$C_{MIN}=1$	$C_{MIN}=3$	$C_{MIN}=5$	$C_{MIN}=7$	$C_{MIN}=9$	$C_{MIN}=11$	$C_{MIN}=13$
Original	 0	 0	 0	 0	 0	 0	 0
LPF	 36.4827	 33.6861	 30.8894	 29.4029	 27.4628	 26.6062	 25.2708
MF	 27.4376	 24.2630	 22.1214	 21.1892	 20.4586	 19.9546	 19.6775
Scale	 41.3706	 39.3802	 37.8181	 36.3820	 34.6939	 33.5601	 32.4011
JPEG100	 0.6299	 0.0252	 0	 0	 0	 0	 0
JPEG75	 20.6853	 14.6384	 10.0781	 6.9287	 4.8627	 3.7289	 2.5951
JPEG50	 27.6140	 23.8599	 19.8791	 17.1832	 14.2857	 11.0103	 8.9947
JPEG25	 35.3741	 32.7538	 30.5367	 27.8660	 25.7748	 23.9103	 21.8443
Crop	 33.7365	 33.7365	 33.7365	 33.7365	 33.7365	 33.7365	 33.7365

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 (ต่อ)

Rotation							
E_{AVG}	31.1162	26.7322	23.8095	20.8869	18.7201	17.1832	16.0746
	28.2719	25.4528	23.2077	21.5083	19.9994	18.8544	17.8439

(ตัวเลขที่ใส่ได้ภาพคือค่า E มีหน่วยเป็น %)

จากรูปที่ 5.7 และตารางที่ 5.7 แสดงให้เห็นว่าความคงทนของลายน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า C_{MIN} มีค่าเพิ่มขึ้น แต่การที่ C_{MIN} มีค่ามากก็จะทำให้คุณภาพของภาพหลังจากการฝังลายน้ำลดลง จากผลการทดลอง C_{MIN} ควรจะมีค่าอยู่ในช่วง [3,7] ซึ่งจะไม่ทำให้ภาพหลังฝังลายน้ำเกิดความแตกต่างจนสังเกตเห็นได้ และความคงทนของลายน้ำก็ไม่น้อยจนเกินไป

5.3.1.3 การทดลองกับภาพต้นฉบับอื่นๆ

เปรียบเทียบผลการทดลอง โดยทำการทดลองข้างต้นกับภาพตัวอย่างอื่นๆอีก 4 ภาพที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.2 ได้ผลลัพธ์ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.8 และ 5.9

ตารางที่ 5.8 ค่า PSNR ของภาพทดสอบ 5 ภาพ เมื่อกำหนด $C_{MIN} = \{1, 3, 5, 7, 9, 11, 13\}$, $C_{MAX} = 30$, $k = 0$, $SD_{MIN} = 8$ และ $SD_{MAX} = 40$

Image	PSNR ของภาพหลังฝังลายน้ำ C_{MIN} (dB)						
	$C_{MIN}=1$	$C_{MIN}=3$	$C_{MIN}=5$	$C_{MIN}=7$	$C_{MIN}=9$	$C_{MIN}=11$	$C_{MIN}=13$
Girl	35.9955	35.2201	34.2677	33.2554	32.2522	31.2918	30.3877
Baboon	29.2023	28.9731	28.7150	28.4336	28.1341	27.8210	27.4986
Airplane	31.7269	31.4449	31.0629	30.6063	30.0996	29.5631	29.0130
Peppers	32.1787	31.8544	31.4256	30.9224	30.3728	29.7991	29.2177
Lenna	33.2356	32.7876	32.2198	31.5785	30.9012	30.2142	29.5348
Average	32.4678	32.0560	31.5382	30.9592	30.3520	29.7378	29.1304

ตารางที่ 5.9 ค่า E_{AVG} ของภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากการโจมตี 9 วิธี เมื่อกำหนด

$C_{MIN} = \{1, 3, 5, 7, 9, 11, 13\}$, $C_{MAX} = 30$, $k = 0$, $SD_{MIN} = 8$ และ $SD_{MAX} = 40$

Image	E_{AVG} ของภาพลายน้ำที่ถอดได้						
	$C_{MIN}=1$	$C_{MIN}=3$	$C_{MIN}=5$	$C_{MIN}=7$	$C_{MIN}=9$	$C_{MIN}=11$	$C_{MIN}=13$
Girl	29.9656	26.6426	24.1371	21.8331	20.3493	19.0308	17.7934
Baboon	26.1387	24.7221	23.4988	22.6310	21.6679	20.8924	20.2430
Airplane	28.2047	25.4864	23.3140	21.7576	20.3158	19.2660	18.4038
Peppers	28.8653	26.2199	23.9663	22.2950	20.9569	19.7951	18.9357
Lenna	28.2719	25.4528	23.2077	21.5083	19.9994	18.8544	17.8439
Average	28.2892	25.7048	23.6248	22.0050	20.6579	19.5678	18.6440

จากตารางที่ 5.8 และ 5.9 พบว่าถ้าเพิ่มค่า C_{MIN} จะทำให้ค่า PSNR และค่า E_{AVG} ลดลง ถ้าลดค่า C_{MIN} จะทำให้ค่า PSNR และค่า E_{AVG} เพิ่มขึ้น

5.3.1.4 สรุปผลการปรับค่า C_{MIN}

จากรูปที่ 5.7 ตารางที่ 5.7 - 5.9 ทำให้สรุปได้ดังนี้

- การปรับค่า C_{MIN} จะมีผลกับภาพบริเวณที่มีความต่ำ และความถี่ช่วงกลาง
- ไม่ควรปรับเปลี่ยนค่า C_{MIN} ให้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เพราะค่า C_{MIN} มีผลต่อช่วงความถี่ต่ำ ซึ่งจะทำให้สังเกตเห็นความแตกต่างที่เกิดขึ้นได้ง่าย
- การปรับค่า C_{MIN} เพิ่มขึ้นจะทำให้คุณภาพของภาพหลังฝังลายน้ำลดลง (PSNR ลดลง) แต่ลายน้ำที่ฝังไว้จะมีความคงทนมากขึ้น (E_{AVG} ลดลง)
- ค่าของ C_{MIN} ควรจะอยู่ในช่วง [3,7] ถ้ามีค่าน้อยเกินไปความคงทนของลายน้ำที่ฝังอยู่ก็จะน้อย แต่ถ้ามากเกินไปจะทำให้เห็นความแตกต่างในภาพหลังฝังลายน้ำบริเวณที่เป็นสีพื้นได้

5.3.2 ผลการทดลองของการปรับค่า C_{MAX}

การปรับค่า C_{MAX} มีผลกระทบต่อช่วงความถี่กลางและสูง ในการทดลองจึงทำการปรับค่าอย่างไม่ละเอียดโดยเพิ่มค่าทีละ 5 ค่า พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองคือ

$$C_{MIN} = 5, C_{MAX} = \{20, 25, 30, 35, 40, 45, 50\}, k = 0, SD_{MIN} = 8 \text{ และ } SD_{MAX} = 40$$

5.3.2.1 ภาพหลังได้จากการฝังลายน้ำ

ผลการทดลองกับภาพ Lenna โดยใช้พารามิเตอร์ที่กล่าวไว้ข้างต้น แสดงไว้ในรูปที่ 5.7



ภาพต้นฉบับ



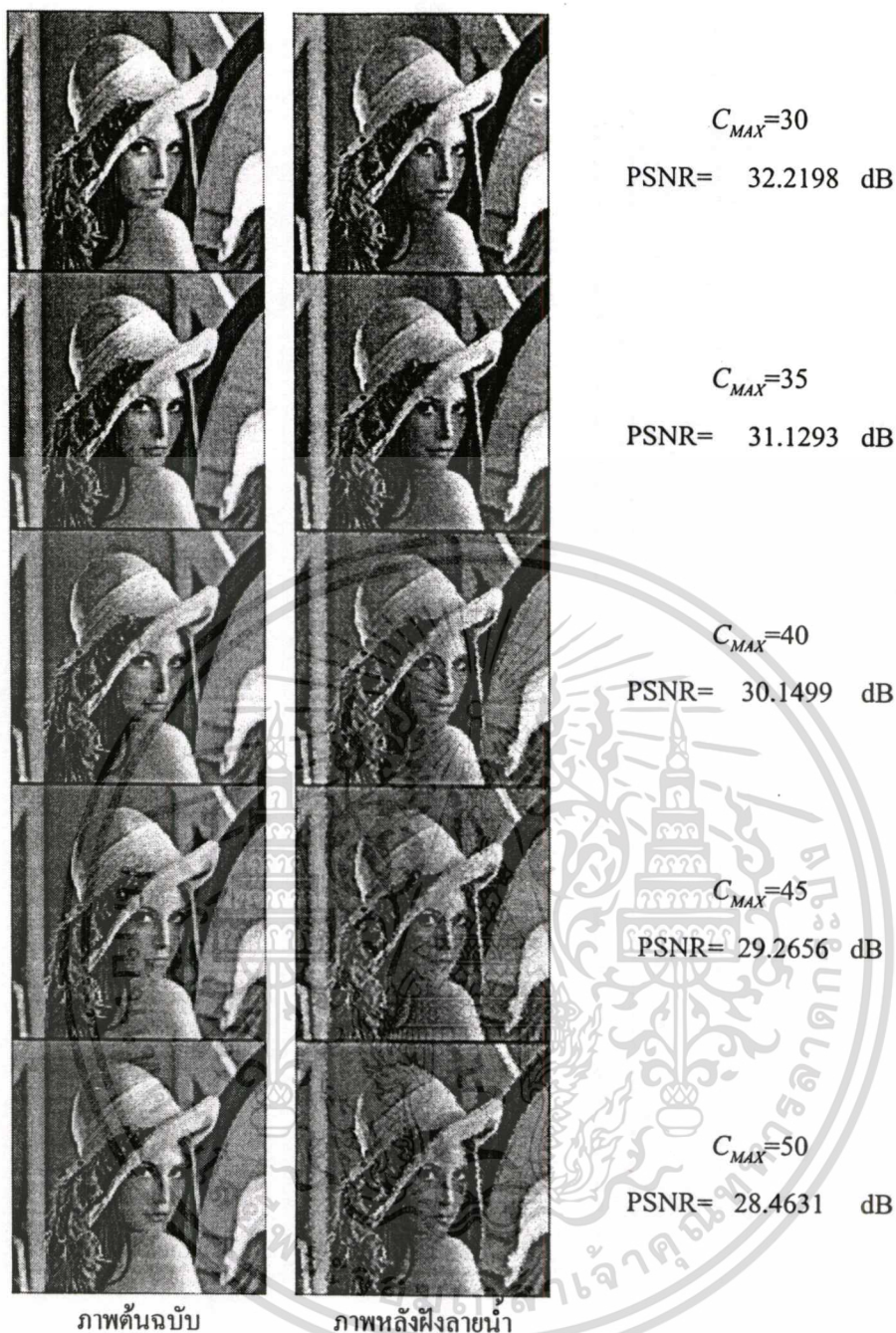
ภาพหลังฝังลายน้ำ

$$C_{MAX}=20$$

$$\text{PSNR} = 34.8207 \text{ dB}$$

$$C_{MAX}=25$$

$$\text{PSNR} = 33.4447 \text{ dB}$$


































































รูปที่ 5.8 แสดงภาพ Lenna ขนาด 128X128 หลังจากการฟังกายน้ำ โดยการฟังกายน้ำใช้ฟังก์ชัน เอ็กซ์โปเนนเชียลที่มีช่วง cutoff ที่ปรับเปลี่ยนเฉพาะพารามิเตอร์ C_{MAX}

จากรูปที่ 5.8 พบว่าเมื่อ C_{MAX} มีค่ามากๆ จะสังเกตเสมือนมี noise เกิดในบริเวณที่มีความถี่สูง (ขอบของสีในภาพ) และค่า PSNR ที่ได้จะอยู่ในช่วง [34.82 – 28.46] โดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่า C_{MAX} เพิ่มขึ้น

5.3.2.2 ภาพลายน้ำที่ถอดได้ภายหลังจากการโจมตี





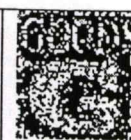
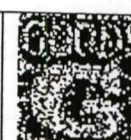

เมื่อนำภาพที่ฝังลายน้ำแล้วในรูปที่ 5.7 ไปผ่านการโจมตีทั้ง 9 วิธี แล้วถอดลายน้ำออกมา จะได้ภาพลายน้ำดังแสดงในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.10 ภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากโจมตีภาพ Lenna เมื่อกำหนด $C_{MIN} = 5$, $k = 0$, $SD_{MIN} = 8$
 $C_{MAX} = \{20, 25, 30, 35, 40, 45, 50\}$ และ $SD_{MAX} = 40$

การโจมตี	$C_{MAX}=20$	$C_{MAX}=25$	$C_{MAX}=30$	$C_{MAX}=35$	$C_{MAX}=40$	$C_{MAX}=45$	$C_{MAX}=50$
Original	 0	 0	 0	 0	 0	 0	 0
LPF	 32.3759	 31.4689	 30.8894	 30.3351	 29.9824	 29.3777	 28.8234
MF	 23.3812	 22.6505	 22.1214	 21.7435	 21.5168	 21.1136	 20.8113
Scale	 38.8259	 38.3724	 37.8181	 37.3898	 36.9111	 36.6843	 36.1048
JPEG100	 0	 0	 0	 0	 0	 0	 0
JPEG75	 11.0103	 10.6072	 10.0781	 10.6576	 10.4560	 10.8340	 10.8340
JPEG50	 22.0459	 20.4334	 19.8791	 19.4255	 18.4933	 18.5941	 19.2492
JPEG25	 32.8546	 31.9980	 30.5367	 29.6800	 28.5462	 28.1179	 27.5384
Crop	 33.7365	 33.7365	 33.7365	 33.7365	 33.7365	 33.7365	 33.7365

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.10 (ต่อ)

Rotation							
E_{AVG}	25.3716	24.6914	23.8095	23.1544	22.6505	22.2474	21.7183
	24.4002	23.7731	23.2077	22.9024	22.4770	22.3006	22.0907

(ตัวเลขใต้ภาพคือ ค่า E หน่วยเป็น %)

จากรูปที่ 5.8 และตารางที่ 5.10 แสดงให้เห็นว่าความคงทนของลายน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า C_{MAX} มีค่าเพิ่มขึ้น แต่การที่ C_{MAX} มีค่ามากก็จะทำให้คุณภาพของภาพหลังการฝังลายน้ำลดลง จากผลการทดลอง C_{MAX} ควรจะมีค่าอยู่ในช่วง [20, 40] ซึ่งจะไม่ทำให้ภาพหลังฝังลายน้ำเกิดความแตกต่างจนสังเกตเห็นได้ และความคงทนของลายน้ำก็จะไม่น้อยจนเกินไป

5.3.2.3 การทดลองกับภาพต้นฉบับอื่นๆ

เปรียบเทียบผลการทดลองโดยทำการทดลองข้างต้นกับภาพตัวอย่างอื่นอีก 4 ภาพที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.2 ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 5.8 และ 5.9

ตารางที่ 5.11 ค่า PSNR ของภาพทดสอบ 5 เมื่อกำหนด $C_{MIN} = 5, k = 0, SD_{MIN} = 8, SD_{MAX} = 40$ และ $C_{MAX} = \{20, 25, 30, 35, 40, 45, 50\}$

Image	PSNR ของภาพหลังฝังลายน้ำ C_{MAX}						
	$C_{MAX} = 20$	$C_{MAX} = 25$	$C_{MAX} = 30$	$C_{MAX} = 35$	$C_{MAX} = 40$	$C_{MAX} = 45$	$C_{MAX} = 50$
Girl	36.3525	35.2696	34.2677	33.3451	32.4995	31.7238	31.0080
Baboon	31.8200	30.1364	28.7150	27.4881	26.4139	25.4611	24.6073
Airplane	33.9078	32.3846	31.0629	29.9059	28.8826	27.9739	27.1562
Pappers	34.1485	32.6976	31.4256	30.3009	29.2981	28.4016	27.5930
Lenna	34.8206	33.4446	32.2198	31.1292	30.1499	29.2655	28.4630
Avg	34.2099	32.7866	31.5382	30.4338	29.4488	28.5652	27.7655

ตารางที่ 5.12 ค่า E_{AVG} ของภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากการโจมตี 9 วิธี เมื่อกำหนด $C_{MIN} = 5, k = 0, SD_{MIN} = 8, SD_{MAX} = 40$ และ $C_{MAX} = \{20, 25, 30, 35, 40, 45, 50\}$

Image	Percentage Error ของภาพลายน้ำที่ถอดได้ (%)						
	$C_{MAX} = 20$	$C_{MAX} = 25$	$C_{MAX} = 30$	$C_{MAX} = 35$	$C_{MAX} = 40$	$C_{MAX} = 45$	$C_{MAX} = 50$
Girl	24.9013	24.5513	24.1371	23.7536	23.4708	23.2272	22.9641
Baboon	26.1639	24.7390	23.4988	22.5133	21.5196	20.6238	19.9854
Airplane	24.4170	23.7256	23.3140	22.8969	22.5218	22.1187	21.8499
Pappers	25.0833	24.5962	23.9663	23.4372	23.0117	22.8326	22.5358
Lenna	24.4002	23.7731	23.2077	22.9024	22.4770	22.3006	22.0907
Avg	24.9931	24.2770	23.6248	23.1007	22.6001	22.2206	21.8852

จากตารางที่ 5.11 และ 5.12 พบว่าถ้าเพิ่มค่า C_{MAX} จะทำให้ค่า PSNR และค่า E_{AVG} ลดลง ถ้าลดค่า C_{MAX} จะทำให้ค่า PSNR และค่า E_{AVG} เพิ่มขึ้น

5.3.2.4 สรุปผลการปรับค่า C_{MAX}

จากรูปที่ 5.8 ตารางที่ 5.10 - 5.12 สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

- การปรับค่า C_{MAX} จะมีผลกับภาพบริเวณที่มีความถี่กลางและคามถี่สูง
- ควรปรับเปลี่ยนค่า C_{MAX} โดยใช้สเกลหยาบ เพราะค่า C_{MAX} มีผลต่อบริเวณที่มีความถี่สูง ซึ่งจะทำให้สังเกตเห็นความแตกต่างที่เกิดขึ้นได้ชัดเจน
- การปรับค่า C_{MAX} เพิ่มขึ้นคุณภาพของภาพหลังฝังลายน้ำลดลง (PSNR ลดลง) แต่ลายน้ำที่ฝังไว้จะมีความคงทนมากขึ้น (E_{AVG} ลดลง)
- ค่าของ C_{MAX} ควร จะอยู่ในช่วง $[20,40]$ ถ้ามีค่าน้อยเกินไปความคงทนของลายน้ำที่ฝังอยู่ก็จะน้อย แต่ถ้ากำหนดให้มากเกินไปจะทำให้เห็นความแตกต่างในบริเวณที่เป็นขอบของสีในภาพ

5.3.3 ผลการทดลองของการปรับค่า k

การปรับ k มีผลกระทบในช่วงความถี่กลาง และเป็นการปรับค่าความโค้งของกราฟ ดังนั้นในการทดลองจึงทำการปรับค่าโดยเพิ่มทีละ 5 ค่า ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้คือ

$$C_{MIN} = 5, C_{MAX} = 30, SD_{MIN} = 8, SD_{MAX} = 40 \text{ และ } k = \{-15, -10, -5, 0, 5, 10, 15\}$$

5.3.3.1 ภาพหลังจากการฝังลายน้ำ

ผลทดลองกับภาพ Lenna โดยใช้พารามิเตอร์ดังกล่าวข้างต้น แสดงไว้ในรูปที่ 5.9



ภาพต้นฉบับ



ภาพหลังฝังลายน้ำ

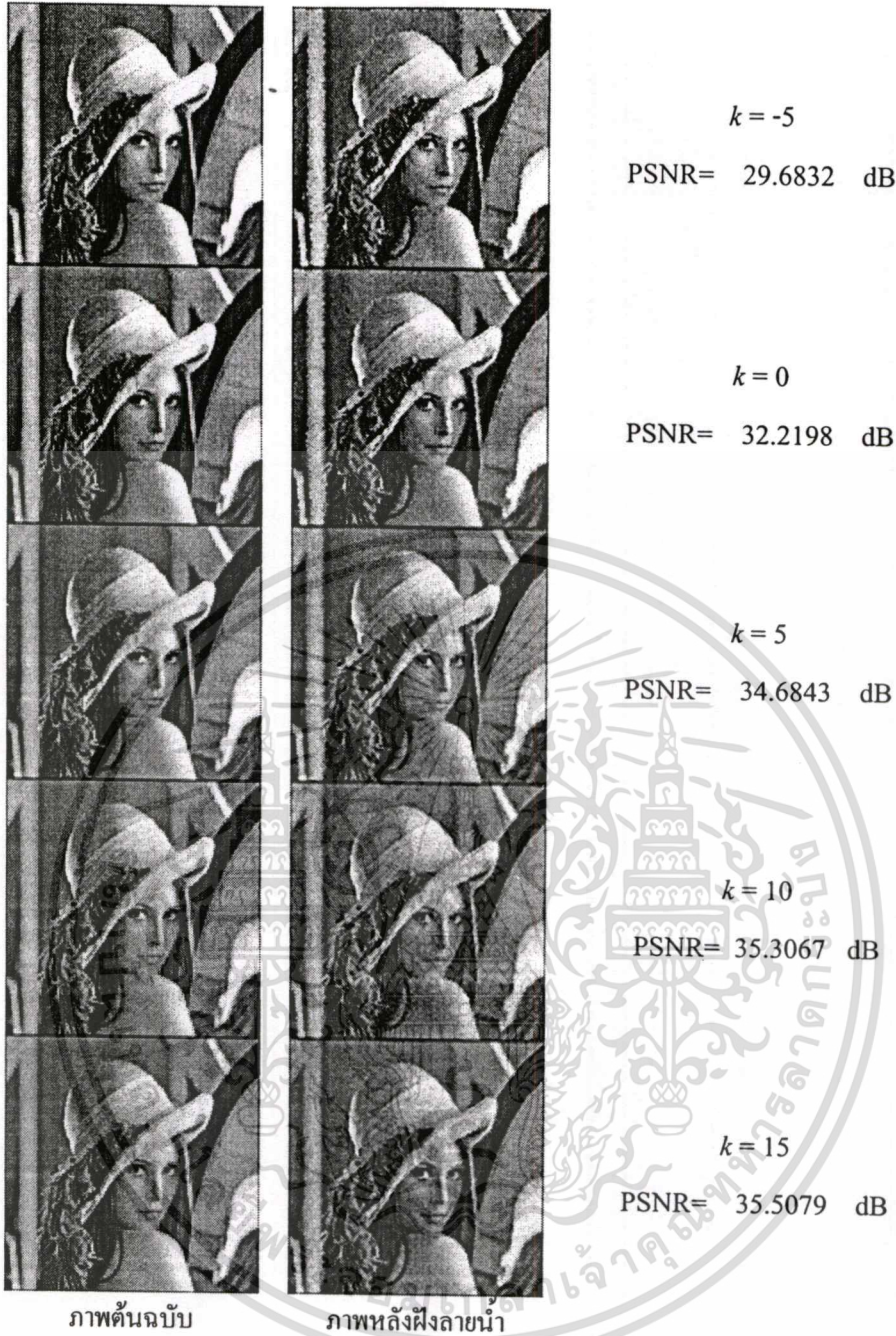
$$k = -15$$

$$\text{PSNR} = 28.6220 \text{ dB}$$

$$k = -10$$

$$\text{PSNR} = 28.9126 \text{ dB}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


































































รูปที่ 5.9 ภาพ Lenna หลังจากการฝังลายน้ำ เมื่อกำหนด $C_{MIN} = 5$, $C_{MAX} = 30$, $SD_{MIN} = 8$, $SD_{MAX} = 40$ และ $k = \{-15, -10, -5, 0, 5, 10, 15\}$

จากรูปที่ 5.9 พบว่าเมื่อ k มีค่าน้อยๆ จะสังเกตเห็นความแตกต่างบริเวณความถี่กลาง เสมือนว่ามี noise เกิดขึ้น และค่า PSNR ก็ลดลง

5.3.3.2 ภาพลายน้ำที่ถอดได้ภายหลังการโจมตี







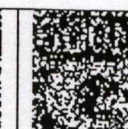
เมื่อนำภาพที่ฝังลายน้ำแล้วในรูปที่ 5.9 ไปผ่านการโจมตีทั้ง 9 วิธี แล้วถอดลายน้ำออกมา จะได้ภาพลายน้ำดังที่แสดงในตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 ภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากโจมตีภาพ Lenna เมื่อกำหนด $C_{MIN} = 5$, $C_{MAX} = 30$, $SD_{MIN} = 8$, $SD_{MAX} = 40$ และ $k = \{-15, -10, -5, 0, 5, 10, 15\}$

การโจมตี	$k = -15$	$k = -10$	$k = -5$	$k = 0$	$k = 5$	$k = 10$	$k = 15$
Original	 0	 0	 0	 0	 0	 0	 0
LPF	 28.2943	 28.5210	 29.0501	 30.8894	 33.2326	 33.7113	 33.8372
MF	 20.2066	 20.5089	 20.6601	 22.1214	 24.1623	 24.6158	 24.8173
Scale	 35.1726	 35.4497	 35.9788	 37.8181	 39.2794	 39.3802	 39.4306
JPEG100	 0	 0	 0	 0	 0	 0	 0
JPEG75	 9.2719	 9.4986	 9.7506	 10.0781	 12.8496	 13.7566	 13.9582
JPEG50	 17.0068	 17.4603	 18.0146	 19.8791	 24.2630	 25.4472	 26.0015
JPEG25	 24.6914	 25.6992	 27.4124	 30.5367	 34.0136	 34.3915	 34.3915
Crop	 33.7365	 33.7365	 33.7365	 33.7365	 33.7365	 33.7365	 33.7365

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.13 (ต่อ)

Rotation							
	20.1310	20.3326	21.3404	23.8095	26.2787	26.8582	27.1101
E_{AVG}	20.9457	21.2452	21.7716	23.2077	25.3129	25.7663	25.9203

(ตัวเลขใต้ภาพคือ ค่า E มีหน่วยเป็น %)

จากรูปที่ 5.9 และตารางที่ 5.13 แสดงให้เห็นว่าความคงทนของลายน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า k มีค่าลดลง แต่การที่ค่า k มีค่าน้อยก็จะทำให้คุณภาพของภาพหลังการฝังลายน้ำลดลง จากผลการทดลอง k ควรจะมีค่าอยู่ในช่วง $[-10, 10]$ ซึ่งจะไม่ทำให้ภาพหลังฝังลายน้ำเกิดความแตกต่างจนสังเกตเห็นได้และความคงทนของลายน้ำก็ไม่น้อยจนเกินไป

5.3.3.3 การทดลองกับภาพต้นฉบับอื่นๆ

เปรียบเทียบผลการทดลองโดยทำการทดลองข้างต้นกับภาพตัวอย่างอื่นอีก 4 ภาพ ที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.2 ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 5.14 และ 5.15

ตารางที่ 5.14 ค่า PSNR ของภาพทดสอบ 5 ภาพ เมื่อกำหนด $C_{MIN} = 5, C_{MAX} = 30, SD_{MIN} = 8, SD_{MAX} = 40$ และ $k = \{-15, -10, -5, 0, 5, 10, 15\}$

Image	PSNR ของภาพหลังฝังลายน้ำ k						
	$k = -15$	$k = -10$	$k = -5$	$k = 0$	$k = 5$	$k = 10$	$k = 15$
Girl	29.3815	29.8934	31.1030	34.2677	36.6757	37.1131	37.2205
Baboon	25.8748	26.0643	26.6269	28.7150	31.0722	31.8342	32.1159
Airplane	28.5574	28.7661	29.3257	31.0629	32.6248	33.0536	33.2082
Pappers	28.4293	28.7381	29.4589	31.4256	33.0572	33.4622	33.5975
Lenna	28.6220	28.9126	29.6831	32.2198	34.6842	35.3067	35.5079
Avg	28.1730	28.4749	29.2395	31.5382	33.6228	34.1540	34.3300

ตารางที่ 5.15 ค่า E_{AVG} ของภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากการโจมตี 9 วิธี เมื่อกำหนด $C_{MIN} = 5, C_{MAX} = 30, SD_{MIN} = 8, SD_{MAX} = 40$ และ $k = \{-15, -10, -5, 0, 5, 10, 15\}$

Image	E_{AVG} ของภาพลายน้ำที่ถอดได้ (%)						
	$k = -15$	$k = -10$	$k = -5$	$k = 0$	$k = 5$	$k = 10$	$k = 15$
Girl	20.9317	21.1837	21.9954	24.1371	26.0211	26.2059	26.2899
Baboon	19.4171	19.7223	20.4446	23.4988	27.4404	28.4819	28.7786
Airplane	21.6316	21.6819	21.9814	23.3140	24.8929	25.2177	25.4024
Pappers	21.5083	21.6651	22.3426	23.9663	25.8811	26.1247	26.3094
Lenna	20.9457	21.2452	21.7716	23.2077	25.3129	25.7663	25.9203
Avg	20.8869	21.0997	21.7071	23.6248	25.9097	26.3593	26.5401

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.14 และ 5.15 พบว่าถ้าเพิ่มค่า k จะทำให้ค่า PSNR และค่า E_{AVG} จะเพิ่มขึ้น ถ้าลดค่า k จะทำให้ค่า PSNR และค่า E_{AVG} ลดลง

5.3.3.4 สรุปผลการปรับค่า k

จากรูปที่ 5.9 ตารางที่ 5.13 - 5.15 ทำให้สามารถสรุปได้ดังนี้

- การปรับค่า k จะมีผลกับภาพบริเวณที่มีความถี่กลาง
- การปรับเปลี่ยนค่า k ควรค่อย ๆ เปลี่ยน เพราะสมการเอ็กซ์โปเนนเชียลจะเปลี่ยนแปลงความโค้งอย่างรวดเร็วเมื่อค่า k มีค่าน้อย และจะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงเมื่อค่า k มีค่ามาก
- การปรับค่า k เพิ่มขึ้นจะทำให้คุณภาพของภาพหลังฝังลายน้ำเพิ่มขึ้น (PSNR เพิ่มขึ้น) แต่ลายน้ำที่ฝังไว้จะมีความคงทนลดลง (E_{AVG} เพิ่มขึ้น)
- ค่าของ k ควรจะอยู่ในช่วง $[-10, 10]$ ถ้ากำหนดให้มีค่าน้อยเกินไปความคงทนของลายน้ำที่ฝังอยู่ก็จะมาก แต่ถ้ากำหนดให้น้อยเกินไปจะทำให้เห็นความแตกต่างในภาพหลังฝังลายน้ำบริเวณที่มีความถี่ช่วงกลาง

5.3.4 ผลการทดลองของการปรับค่า SD_{MIN}

การปรับค่า SD_{MIN} มีผลกระทบกับช่วงความถี่ต่ำและกลาง ดังนั้นในการทดลองจึงทำการปรับค่าอย่างละเอียดโดยค่อย ๆ เพิ่มค่าทีละ 2 ค่า ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้คือ

$$C_{MIN} = 5 \quad C_{MAX} = 30 \quad k = 0$$

$$SD_{MIN} = \{2, 4, 6, 8, 10, 12, 14\} \quad SD_{MAX} = 40$$

5.3.4.1 ภาพที่ได้หลังจากการฝังลายน้ำ

ผลการทดลองกับภาพ Lenna โดยใช้พารามิเตอร์ดังกล่าวข้างต้น แสดงไว้ในรูปที่ 5.10



$$SD_{MIN}=2$$

$$PSNR= 31.3898 \text{ dB}$$

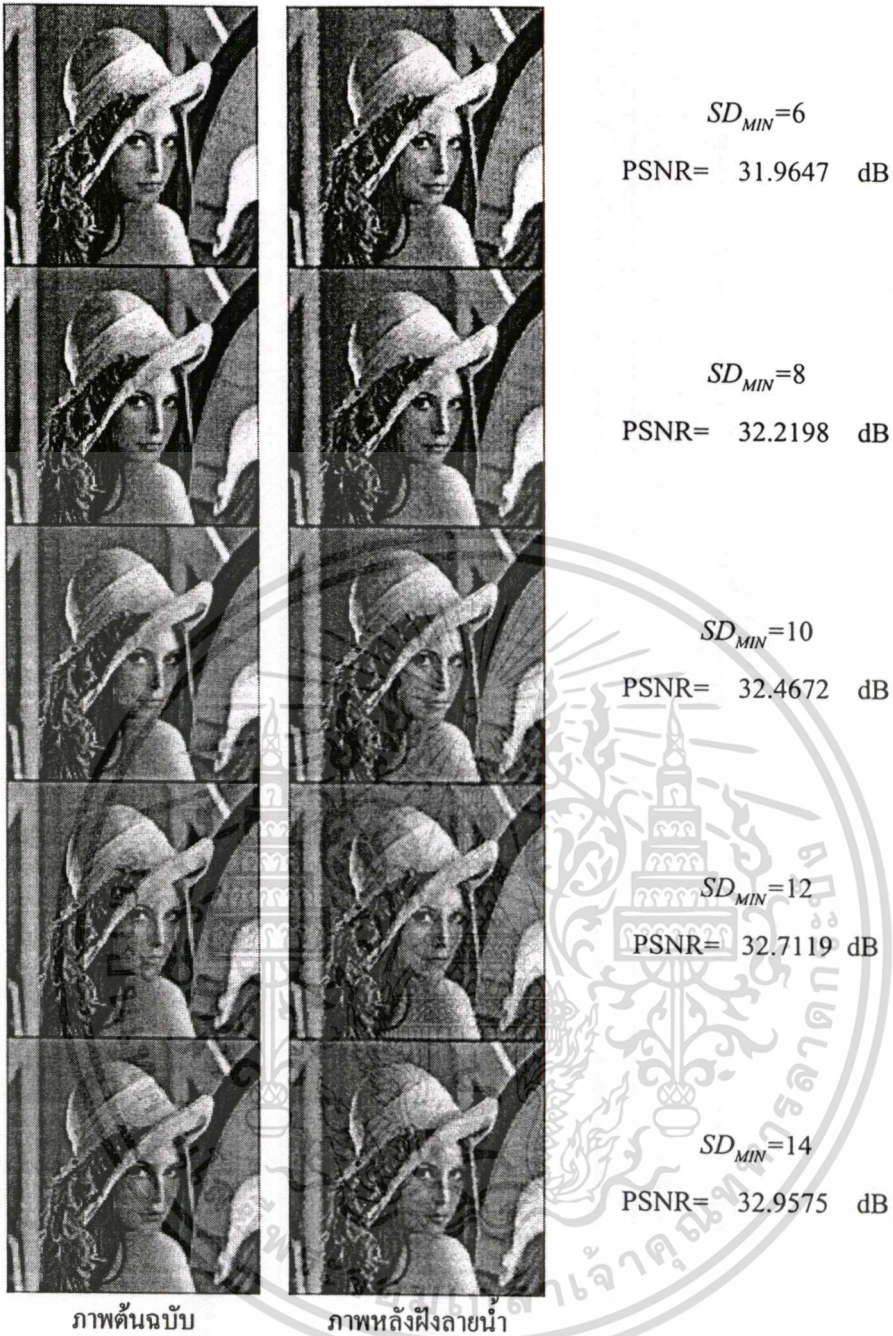
$$SD_{MIN}=4$$

$$PSNR= 31.6924 \text{ dB}$$

ภาพต้นฉบับ

ภาพหลังฝังลายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 ภาพ Lenna หลังการฝังลายน้ำเมื่อกำหนด $SD_{MIN} = \{2, 4, 6, 8, 10, 12, 14\}$, $C_{MIN} = 5$
 $C_{MAX} = 30$, $k = 0$ และ $SD_{MAX} = 40$

























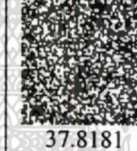
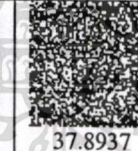


































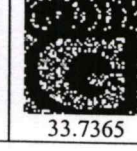
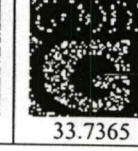

จากรูปที่ 5.10 พบว่าเมื่อ SD_{MIN} มีค่าน้อย จะสังเกตเห็นความแตกต่างบริเวณความถี่ต่ำ (บริเวณสีพื้น) เสมือนว่ามี noise เกิดขึ้น และค่า PSNR จะลดลง

5.3.4.2 ภาพลายน้ำที่ถอดได้ภายหลังการโจมตี

เมื่อนำภาพที่ฝังลายน้ำแล้วในรูปที่ 5.10 ไปผ่านการโจมตีทั้ง 9 วิธี แล้วถอดลายน้ำออกมา จะได้ภาพลายน้ำดังแสดงในตารางที่ 5.16








ตารางที่ 5.16 ภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากโจมตีภาพ Lenna เมื่อกำหนด

$$SD_{MIN} = \{2, 4, 6, 8, 10, 12, 14\}, C_{MIN} = 5, C_{MAX} = 30, k = 0 \text{ และ } SD_{MAX} = 40$$

การโจมตี	$SD_{MIN} = 2$	$SD_{MIN} = 4$	$SD_{MIN} = 6$	$SD_{MIN} = 8$	$SD_{MIN} = 10$	$SD_{MIN} = 12$	$SD_{MIN} = 14$
Original	 0	 0	 0	 0	 0	 0	 0
LPF	 29.8060	 30.3855	 30.6626	 30.8894	 31.4185	 31.6956	 32.0484
MF	 20.6853	 21.4412	 21.9199	 22.1214	 22.3986	 22.8521	 23.3056
Scale	 37.0874	 37.4654	 37.6669	 37.8181	 37.8937	 37.9945	 38.2464
JPEG100	 0	 0	 0	 0	 0	 0	 0
JPEG75	 8.0373	 9.2215	 9.8765	 10.0781	 10.8844	 11.3379	 12.0685
JPEG50	 17.5863	 18.9468	 19.5263	 19.8791	 19.9295	 21.4412	 22.2978
JPEG25	 27.6140	 28.9242	 29.8312	 30.5367	 32.0232	 32.3003	 32.4263
Crop	 33.7365	 33.7365	 33.7365	 33.7365	 33.7365	 33.7365	 33.7365

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.16 (ต่อ)

Rotation							
	21.7939	22.6253	23.3056	23.8095	24.3638	24.8677	25.2205
E_{AVG}	21.8163	22.5273	22.9473	23.2077	23.6276	24.0251	24.3722

(ตัวเลขใต้ภาพคือ ค่า E มีหน่วยเป็น %)

จากรูปที่ 5.10 และตารางที่ 5.16 แสดงให้เห็นว่าความคงทนของลายน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า SD_{MIN} มีค่าลดลง แต่การที่ SD_{MIN} มีค่าน้อยก็จะทำให้คุณภาพของภาพหลังจากการฝังลายน้ำลดลง จากผลการทดลอง SD_{MIN} ควรจะมีค่าอยู่ในช่วง [2, 12] ซึ่งจะไม่ทำให้ภาพหลังฝังลายน้ำเกิดความแตกต่างจนสังเกตเห็นได้ และความคงทนของลายน้ำก็ไม่น้อยจนเกินไป

5.3.4.3 ผลการทดลองกับภาพต้นฉบับอื่นๆ

เปรียบเทียบผลการทดลองโดยทำการทดลองข้างต้นกับภาพตัวอย่างอื่นอีก 4 ภาพที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.2 ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 5.17 และ 5.18

ตารางที่ 5.17 ค่า PSNR ของภาพทดสอบ 5 ภาพ เมื่อกำหนด $SD_{MIN} = \{2, 4, 6, 8, 10, 12, 14\}$,

$$C_{MIN} = 5, C_{MAX} = 30, k = 0 \text{ และ } SD_{MAX} = 40$$

Image	PSNR ของภาพหลังฝังลายน้ำ (dB)						
	$SD_{MIN}=2$	$SD_{MIN}=4$	$SD_{MIN}=6$	$SD_{MIN}=8$	$SD_{MIN}=10$	$SD_{MIN}=12$	$SD_{MIN}=14$
Girl	32.8765	33.3894	33.8507	34.2677	34.6466	34.9909	35.2987
Baboon	28.1886	28.3595	28.5356	28.7150	28.8978	29.0871	29.2842
Airplane	30.5190	30.7401	30.9078	31.0629	31.2127	31.3608	31.5085
Pappers	30.6706	30.9603	31.2106	31.4256	31.6149	31.7883	31.9519
Lenna	31.3897	31.6924	31.9647	32.2198	32.4671	32.7119	32.9574
Avg	30.7289	31.0283	31.2939	31.5382	31.7678	31.9878	32.2001

ตารางที่ 5.18 ค่า E_{AVG} ของภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากการโจมตี 9 วิธี เมื่อกำหนด

$$SD_{MIN} = \{2, 4, 6, 8, 10, 12, 14\}, C_{MIN} = 5, C_{MAX} = 30, k = 0 \text{ และ } SD_{MAX} = 40$$

Image	E_{AVG} ของภาพลายน้ำที่ถอดได้ (%)						
	$SD_{MIN}=2$	$SD_{MIN}=4$	$SD_{MIN}=6$	$SD_{MIN}=8$	$SD_{MIN}=10$	$SD_{MIN}=12$	$SD_{MIN}=14$
Girl	21.7939	22.7737	23.4708	24.1371	24.7138	25.1224	25.4612
Baboon	21.9731	22.6141	23.0537	23.4988	24.0839	24.4898	24.9937
Airplane	22.1830	22.7597	23.0537	23.3140	23.5688	23.7956	24.0111
Pappers	22.0067	22.8773	23.4736	23.9663	24.2742	24.5933	24.8313
Lenna	21.8163	22.5273	22.9473	23.2077	23.6276	24.0251	24.3722
Avg	21.9546	22.7104	23.1998	23.6248	24.0537	24.4052	24.7339

- จากตารางที่ 5.17 และ 5.18 พบว่าถ้าเพิ่มค่า SD_{MIN} จะทำให้ค่า PSNR และค่า E_{AVG} เพิ่มขึ้น
- ถ้าลดค่า SD_{MIN} จะทำให้ค่า PSNR และค่า E_{AVG} ลดลง

5.3.4.4 สรุปผลการปรับค่า SD_{MIN}

จากรูปที่ 5.9 ตารางที่ 5.16 - 5.18 ทำให้สรุปได้ดังนี้

- การปรับค่า SD_{MIN} จะมีผลกับบริเวณที่มีความถี่ต่ำ และความถี่กลาง
- ไม่ควรปรับเปลี่ยนค่า SD_{MIN} ให้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เพราะค่า SD_{MIN} มีผลต่อช่วงความถี่ต่ำ ซึ่งจะทำให้สังเกตเห็นความแตกต่างที่เกิดขึ้นได้ง่าย
- การปรับค่า SD_{MIN} เพิ่มขึ้นจะทำให้คุณภาพของภาพหลังฝังลายน้ำเพิ่มขึ้น (PSNR เพิ่มขึ้น) แต่ลายน้ำที่ฝังไว้จะมีความคงทนลดลง (E_{AVG} เพิ่มขึ้น)
- ค่าของ SD_{MIN} ควรจะอยู่ในช่วง [2,12] ถ้ามีค่ามากเกินไปความคงทนของลายน้ำที่ฝังอยู่ก็จะน้อย แต่ถ้ามีค่าน้อยเกินไปจะทำให้เห็นความแตกต่างในภาพหลังฝังลายน้ำบริเวณที่เป็นสีพื้นได้

5.3.5 ผลการทดลองของการปรับค่า SD_{MAX}

การปรับค่า SD_{MAX} มีผลกระทบต่อช่วงความถี่กลางและความถี่สูง ดังนั้นในการทดลองจึงทำการปรับค่าอย่างไม่ละเอียดย โดยเพิ่มค่าทีละ 10 ค่า ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ $SD_{MAX} = \{20, 30, 40, 50, 60, 70, 80\}$, $C_{MIN} = 5$, $C_{MAX} = 30$, $k = 0$ และ $SD_{MIN} = 8$

5.3.5.1 ภาพที่ได้จากการฝังลายน้ำ

ผลการทดลองกับภาพ Lenna โดยใช้พารามิเตอร์ดังกล่าวข้างต้น แสดงไว้ในรูปที่ 5.11



ภาพต้นฉบับ



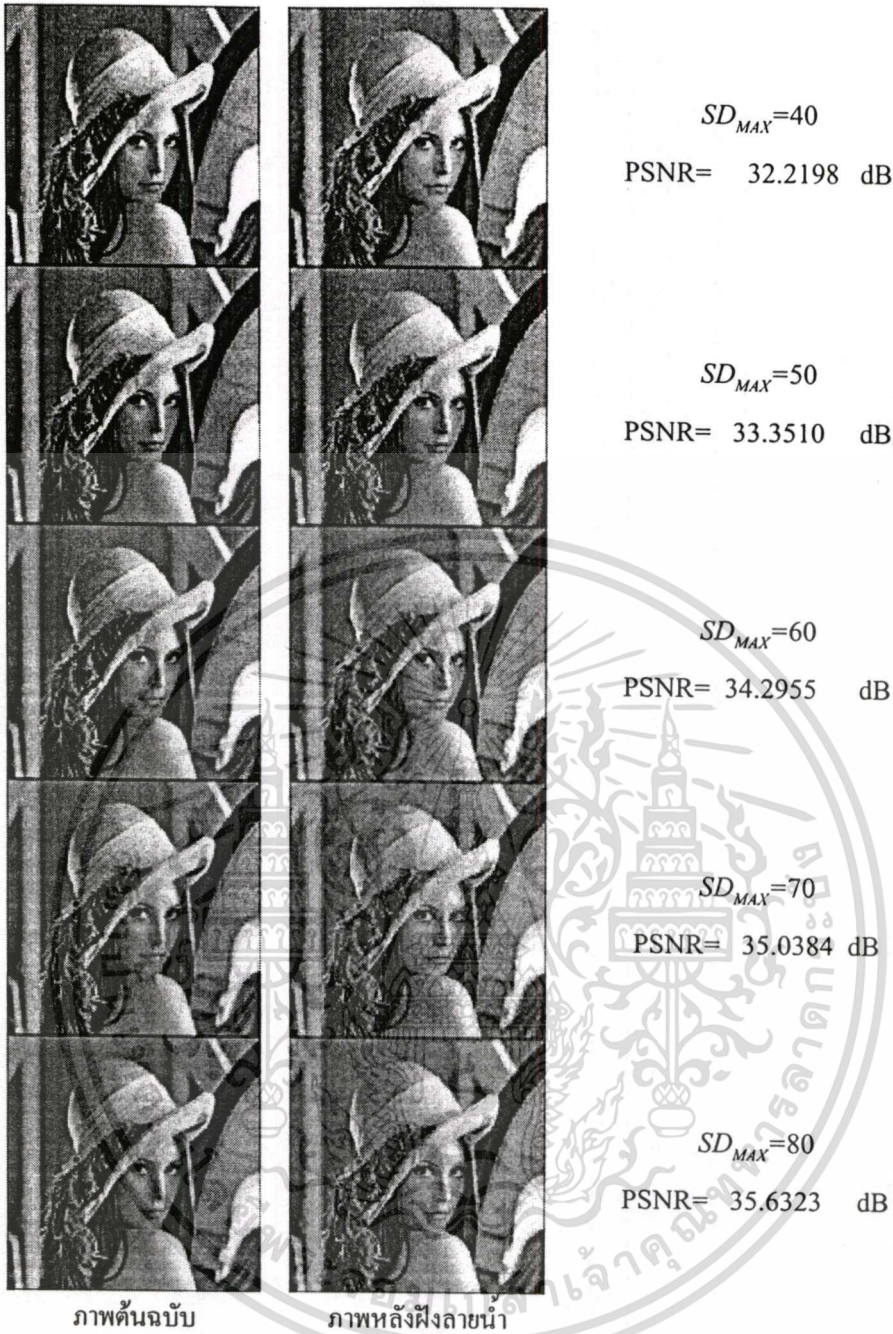
ภาพหลังฝังลายน้ำ

$$SD_{MAX}=20$$

$$PSNR= 29.5952 \text{ dB}$$

$$SD_{MAX}=30$$

$$PSNR= 30.9220 \text{ dB}$$



รูปที่ 5.11 ภาพ Lenna หลังจากการฟังกายน้ำ เมื่อกำหนด $SD_{MAX} = \{20, 30, 40, 50, 60, 70, 80\}$,
 $C_{MIN} = 5, C_{MAX} = 30, k = 0$ และ $SD_{MIN} = 8$












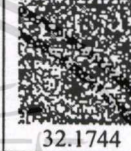



























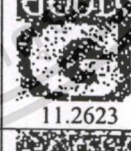
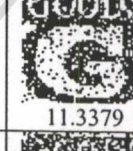





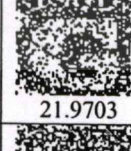









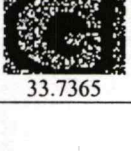

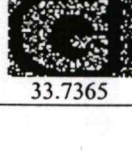

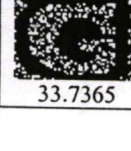
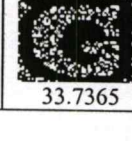
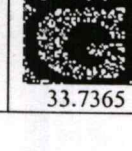
จากรูปที่ 5.11 พบว่าเมื่อค่า SD_{MAX} มีค่าน้อย จะสังเกตเห็นความแตกต่างได้ชัดเจนในบริเวณที่มีความถี่สูง (บริเวณขอบของสีในภาพ) เสมือนว่ามี noise เกิดขึ้น และค่า PSNR จะลดลง

5.3.5.2 ภาพลายน้ำที่ถอดได้ภายหลังการโจมตี

เมื่อนำภาพที่ฝังลายน้ำแล้วในรูปที่ 5.11 ไปผ่านการโจมตีทั้ง 9 วิธี แล้วถอดลายน้ำออกมา จะได้ภาพลายน้ำดังที่แสดงในตารางที่ 5.19






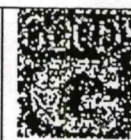

ตารางที่ 5.19 ภาพลายน้ำที่ถอดหลังจากโจมตีภาพ Lenna เมื่อกำหนด

$$SD_{MAX} = \{20, 30, 40, 50, 60, 70, 80\}, C_{MIN} = 5, C_{MAX} = 30, k = 0 \text{ และ } SD_{MIN} = 8$$

การโจมตี	$SD_{MAX}=20$	$SD_{MAX}=30$	$SD_{MAX}=40$	$SD_{MAX}=50$	$SD_{MAX}=60$	$SD_{MAX}=70$	$SD_{MAX}=80$
Original	 0	 0	 0	 0	 0	 0	 0
LPF	 29.1005	 30.2847	 30.8894	 31.5445	 32.1744	 32.7035	 33.0310
MF	 20.7861	 21.4916	 22.1214	 22.7261	 23.2804	 23.4316	 23.7087
Scale	 36.3064	 37.3142	 37.8181	 38.3220	 38.6747	 38.9771	 38.9771
JPEG100	 0	 0	 0	 0	 0	 0	 0
JPEG75	 9.8262	 10.1285	 10.0781	 11.1111	 11.2623	 11.3379	 11.8922
JPEG50	 18.5185	 18.7201	 19.8791	 20.7357	 21.9703	 22.5246	 22.9025
JPEG25	 27.3369	 28.5210	 30.5367	 31.8972	 32.1240	 33.2074	 33.4341
Crop	 33.7365	 33.7365	 33.7365	 33.7365	 33.7365	 33.7365	 33.7365

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.19 (ต่อ)

Rotation							
	21.6175	22.8773	23.8095	24.8173	25.1449	25.5480	26.0267
E_{AVG}	21.9143	22.5638	23.2077	23.8767	24.2630	24.6073	24.8566

(ตัวเลขใต้ภาพคือ ค่า E มีหน่วยเป็น %)

จากรูปที่ 5.11 และตารางที่ 5.19 แสดงให้เห็นว่าความคงทนของลายน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า SD_{MAX} มีค่าลดลง แต่การที่ SD_{MIN} มีค่าน้อยก็จะทำให้คุณภาพของภาพหลังจากการฝังลายน้ำลดลง จากผลการทดลอง SD_{MAX} ควรจะมีค่าอยู่ในช่วง [30, 60] ซึ่งจะไม่ทำให้ภาพหลังฝังลายน้ำเกิดความแตกต่างจนสังเกตเห็นได้และความคงทนของลายน้ำก็ไม่น้อยจนเกินไป

5.3.5.3 การทดลองกับภาพต้นฉบับอื่นๆ

เปรียบเทียบผลการทดลองโดยทำการทดลองข้างต้นกับภาพตัวอย่างอื่นอีก 4 ภาพที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.2 ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 5.20 และ 5.21

ตารางที่ 5.20 ค่า PSNR ของภาพทดสอบ 5 ภาพ เมื่อกำหนด $SD_{MAX} = \{20, 30, 40, 50, 60, 70, 80\}$, $C_{MIN} = 5$, $C_{MAX} = 30$, $k = 0$ และ $SD_{MIN} = 8$

Image	PSNR ของภาพหลังฝังลายน้ำ (dB)						
	$SD_{MAX}=20$	$SD_{MAX}=30$	$SD_{MAX}=40$	$SD_{MAX}=50$	$SD_{MAX}=60$	$SD_{MAX}=70$	$SD_{MAX}=80$
Girl	31.2733	33.0181	34.2677	35.1746	35.8462	36.3803	36.8332
Baboon	26.5065	27.4979	28.7150	30.0339	31.2276	32.2003	32.9808
Airplane	29.2567	30.1638	31.0629	32.0146	32.9302	33.7404	34.4190
Pappers	29.4634	30.4993	31.4256	32.2997	33.1206	33.8761	34.5415
Lenna	29.5952	30.9219	32.2198	33.3510	34.2954	35.0383	35.6323
Avg	29.2190	30.4202	31.5382	32.5748	33.4840	34.2471	34.8814

ตารางที่ 5.21 ค่า E_{AVG} ของภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากการโจมตี 9 วิธี เมื่อกำหนด

$SD_{MAX} = \{20, 30, 40, 50, 60, 70, 80\}$, $C_{MIN} = 5$, $C_{MAX} = 30$, $k = 0$ และ $SD_{MIN} = 8$

Image	E_{AVG} ของภาพลายน้ำที่ถอดได้ (%)						
	$SD_{MAX}=20$	$SD_{MAX}=30$	$SD_{MAX}=40$	$SD_{MAX}=50$	$SD_{MAX}=60$	$SD_{MAX}=70$	$SD_{MAX}=80$
Girl	22.4126	23.4848	24.1371	24.5990	24.8006	25.0693	25.3129
Baboon	20.5706	22.0487	23.4988	24.8258	25.9456	26.5810	27.1241
Airplane	22.1242	22.7626	23.3140	23.7956	24.1371	24.5262	24.8621
Pappers	22.5273	23.2944	23.9663	24.6186	24.8538	25.1952	25.5452
Lenna	21.9143	22.5638	23.2077	23.8767	24.2630	24.6073	24.8566
Avg	21.9098	22.8309	23.6248	24.3431	24.8000	25.1958	25.5402

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.20 และ 5.21 พบว่าถ้าเพิ่มค่า SD_{MAX} จะทำให้ค่า PSNR และค่า E_{AVG} เพิ่มขึ้น ถ้าลดค่า SD_{MAX} จะทำให้ค่า PSNR และค่า E_{AVG} ลดลง

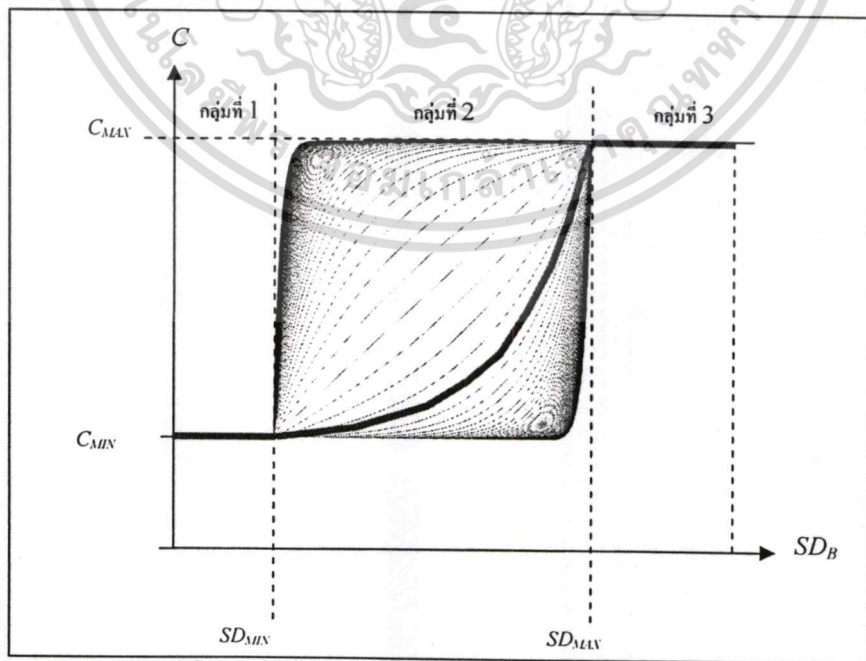
5.3.5.4 สรุปผลการปรับค่า SD_{MAX}

จากรูปที่ 5.11 ตารางที่ 5.19 - 5.21 ทำให้สรุปได้ดังนี้

- การปรับค่า SD_{MAX} จะมีผลกับบริเวณความถี่กลางและความถี่สูง
- ควรปรับเปลี่ยนค่า SD_{MAX} โดยใช้สเกลหยาบ เพราะค่า SD_{MAX} มีผลต่อบริเวณที่มีความถี่สูง ซึ่งจะทำให้สังเกตเห็นความแตกต่างที่เกิดขึ้นได้ชัดเจน
- การปรับค่า SD_{MAX} เพิ่มขึ้นจะทำให้คุณภาพของภาพหลังฝังลายน้ำเพิ่มขึ้น (PSNR เพิ่มขึ้น) แต่ลายน้ำที่ฝังไว้จะมีความคมชัดลดลง (E_{AVG} เพิ่มขึ้น)
- ค่าของ SD_{MAX} ควรจะอยู่ในช่วง [30,60] ถ้ามีค่ามากเกินไปความคมชัดของลายน้ำที่ฝังอยู่ก็จะน้อย แต่ถ้าน้อยเกินไปจะทำให้เห็นความแตกต่างในภาพหลังฝังลายน้ำบริเวณรอยต่อของสีในภาพได้

5.3.6 สรุปการปรับค่าพารามิเตอร์

การปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ทั้ง 5 ค่า มีผลทำให้กราฟที่ใช้ในการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ C (แสดงในรูปที่ 5.12) มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ฝังแทนลายน้ำก็จะมีปริมาณมากขึ้นหรือน้อยลงแตกต่างกันไปตามค่า SD ของบล็อกในภาพต้นฉบับ ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับบล็อกทับซ้อนแต่ละกลุ่มจากการปรับค่าพารามิเตอร์ทั้ง 5 ค่าสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 5.22



รูปที่ 5.12 กราฟที่ใช้ในการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.22 การปรับค่าพารามิเตอร์และผลกระทบที่เกิดขึ้น

พารามิเตอร์	การปรับค่า	กลุ่มของบล็อกทับซ้อนในภาพที่ ได้รับผลกระทบ			ผลรับที่ได้	
		ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3	* ค่า PSNR	**ค่า Percentage Error
C_{MIN}	เพิ่ม	✓	✓		ลด	ลด
	ลด	✓	✓		เพิ่ม	เพิ่ม
C_{MAX}	เพิ่ม		✓	✓	ลด	ลด
	ลด		✓	✓	เพิ่ม	เพิ่ม
SD_{MIN}	เพิ่ม	✓	✓		เพิ่ม	เพิ่ม
	ลด	✓	✓		ลด	ลด
SD_{MAX}	เพิ่ม		✓	✓	เพิ่ม	เพิ่ม
	ลด		✓	✓	ลด	ลด
k	เพิ่ม		✓		เพิ่ม	เพิ่ม
	ลด		✓		ลด	ลด

* ค่า PSNR มากแสดงว่าคุณภาพของภาพหลังฝึกลายน้ำดี

** ค่า Percentage Error น้อยแสดงว่าลายน้ำมีความคงทนต่อการโจมตีมาก

5.4 สรุปผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้ทำการทดลองฝึกลายน้ำในสเปซเชิงโดเมน และเปรียบเทียบวิธีการฝึกลายน้ำ ระหว่างวิธีการใช้บล็อกไม่ทับซ้อนที่นำเสนอโดย L. Chang-Hising และ L. Yeuan-Kuen กับวิธีการฝึกลายน้ำโดยใช้บล็อกทับซ้อนที่ผู้วิจัยนำเสนอ ในการฝึกลายน้ำโดยใช้บล็อกทับซ้อน ผู้วิจัยได้เสนอวิธีการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดกึ่งกลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำ 2 วิธี คือ การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์เป็นค่าคงที่ n ค่า และการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์แบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติ ผลสรุปจากการทดลองเปรียบเทียบ ได้แก่

- การฝึกลายน้ำโดยวิธีบล็อกทับซ้อน จะได้ภาพลายน้ำที่ใหญ่กว่าการฝึกลายน้ำโดยวิธีบล็อกไม่ทับซ้อน โดยความคงทนต่อการโจมตีของลายน้ำไม่น้อยไปกว่าวิธีการเดิมที่มีอยู่
- การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์เป็นค่าคงที่ 3 ค่า ทำให้ลายน้ำคงทนต่อการโจมตีมากกว่าการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์เป็นค่าคงที่ 2 ค่า ผลข้างเคียงที่เกิดขึ้น คือ ค่า PSNR ของภาพลายน้ำอาจลดลง แต่คุณภาพของภาพเมื่อทดสอบด้วยสายตาจะไม่แตกต่างไปจากเดิม เนื่องจากความแตกต่างที่เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงของภาพที่มีความถี่สูง ซึ่งสังเกตด้วยสายตาได้ยากกว่าช่วงของภาพที่มีความถี่ต่ำ

- การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์แบบอัตโนมัติ มีผลทำให้ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องกำหนดค่าสัมประสิทธิ์เป็นค่าคงที่ n ค่าด้วยตนเอง
- ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 5 ค่าใช้ในการกำหนดสัมประสิทธิ์แบบอัตโนมัติ ทำให้ผู้ใช้สามารถเลือกปรับปรุงคุณสมบัติของภาพหลังฝังลายน้ำและความคงทนลายน้ำที่ฝัง ให้เป็นไปตามที่
ต้องการได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุป

วิทยานิพนธ์เล่มนี้เสนอวิธีการฝังลายน้ำในสเปซซีลโดเมนโดยใช้บล็อกทับซ้อน ซึ่งช่วยแก้ปัญหาการฝังลายน้ำในภาพต้นฉบับขนาดเล็ก ทำให้สามารถฝังลายน้ำที่มีรายละเอียดลงในภาพต้นฉบับที่มีขนาดเล็กได้ ผู้วิจัยได้เสนอบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำขนาด 3×3 พิกเซล เพื่อใช้ฝังแทนบิตลายน้ำ โดยค่าสัมประสิทธิ์ของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำได้รับการออกแบบให้มีค่าแปรผันตามค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของบล็อกทับซ้อนในภาพต้นฉบับ ทำให้ลายน้ำที่ฝังมีความคงทนต่อการโจมตีแบบต่างๆ ได้แก่ การบีบอัดข้อมูลแบบ JPEG การกรองสัญญาณภาพด้วย Low Pass Filter และ Median Filter การย่อขนาดของภาพ การตัดบางส่วนของภาพ และการหมุนภาพ โดยภาพที่ได้รับการฝังลายน้ำแล้วไม่แตกต่างไปจากภาพต้นฉบับ ทั้งการเปรียบเทียบด้วยค่า PSNR และการสังเกตด้วยสายตา แต่เนื่องจากคุณภาพของภาพหลังฝังลายน้ำ โดยส่วนใหญ่จะสวนทางกับความคงทนของลายน้ำ ผู้วิจัยจึงนำเสนอพารามิเตอร์ 5 ค่า เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถปรับคุณภาพของภาพหลังฝังลายน้ำ และความคงทนของลายน้ำให้เป็นไปตามต้องการ ซึ่งจากผลการทดลองได้พิสูจน์ให้เห็นว่าผู้ใช้งานสามารถเลือกปรับพารามิเตอร์แต่ละค่า เพื่อกำหนดคุณสมบัติของการฝังลายน้ำในแต่ละส่วนของภาพให้เป็นไปตามต้องการได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] L. Chang-Hising and L. Yeuan-Kuen. 1999. "An adaptive digital image watermarking technique for copyright protection." **IEEE Transactions on Consumer Electronics**. 4(45) : 363-370.
- [2] A. Amer and E. Dubois. 2005. "Fast and Reliable Structure-Oriented Video Noise Estimation." **IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology**. 15(1) : 113
- [3] P. Kumhom1, S. On-rit1 and K. Chamnongthai. 2004. "Image Watermarking Based On Wavelet Packet Transform With Best Tree" **ECTI Transaction on Electrical Eng., Electronics, and Communications**. 1(2) : 23-35
- [4] V. Potdar, S. Han and E. Chang. "Self Image Logo Watermarking: A Robust Watermarking Algorithm in the Wavelet Domain" [Online]. Available : <http://134.7.71.67/~potdarv/publications/SILW.htm>
- [5] S. P. Maity, P. Nandy, T. S. Das, and M. K. Kundu. 2004. "Robust image watermarking using multiresolution analysis" **India Annual Conference, 2004**. 3(1) : 174-179
- [6] S. R. Mehul and P. R. Priti 2003. "Discrete Wavelet Transform Based Multiple Watermarking Scheme" **IEEE Region 10 Conference on Convergent Technologies For The Asia-Pacific**. 18(1) : 935-938
- [7] J. Zhang, T. Anthony and S. H. Zhang. 2003. "An Efficient Digital Image-in-Image Watermarking Algorithm Using the Integer Discrete Cosine Transform (IntDCT)," **Fourth International Conference on Information, Communications & Signal Processing and Fourth IEEE Pacific-Rim Conference On Multimedia (ICICS-PCM2003)** 1(2) : 1163 – 1167
- [8] S. Kimpan A. Lasakul and C. Kimpan 2004 "Adaptive Watermarking in Spatial Domain for Still Image" **International Conference on Information and Knowledge Engineering** 1(2) : 132-137
- [9] R. Gonzalez. and R. Woods. 2001 **Digital Image Processing**. 2nd Edition. Wesley: Addison
- [10] P. Lewicki and T. Hill 2006 **STATISTICS Methods and Applications**. Tulsa: Statsoft



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AISTA 2004

International Conference

Advances in Intelligent
Systems - Theory and Applications

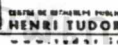
In cooperation with the IEEE Computer Society

Conference Program | Abstract of Accepted Papers

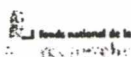
Conference organised by:



in collaboration with:



and with the support of:



Luxembourg, November 15-18, 2004

ISBN 2-9593775-8-3 ©University of Canberra, Centre de Recherche Public Henri Tudor, 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

An Image Watermarking Technique using Overlap-block

Somkiat WANGSIRIPITAK, Sorakit MORASILPIN, and Kritawan SIRIBOON

Abstract— An image watermarking technique using overlap-block is proposed in this paper. The proposed method uses a binary watermark image, which is permuted before being embedded into a host image. To embed a watermark bit, the block of size 3×3 with 9 predefined weights is used to add/subtract its weights to/from the pixel intensities inside the corresponding block of size 3×3 of the host image. Since the embedded position of the block is in every other pixel and every other line of the host image, each embedded block overlaps each other. Therefore the binary watermark image size is approximately as large as $1/4$ of the host image. The abruptness between any two blocks is also smoothed by the use of the overlap-block. In the proposed method, the values of the weights are selected adaptively depending on the contrast of the block in the host image. This makes it robust for some lossy image processing operations even though the host image is small, such as the image used in a cell phone. In addition, its simple algorithm makes it easy to implement. Experimental results show the effectiveness of the proposed watermarking method without introducing any distortion.

Index Terms— copyright protection, image watermarking, overlap-block

I. INTRODUCTION

IN the past, people kept their visual memories by taking a photograph with a camera using a negative film. When they needed to print it on the paper, they might go to a studio to make a print of a photograph. This made it inconvenient until last decade. However, after scanners and digital cameras are developed, a file of digital image is easily printed to a paper by a personal color printer. Moreover, the evolution of a cell phone attached digital camera makes photo-taking easier and more convenient. According to today technologies, an unlimited number of identical copies of these digital images can be easily reproduced either by the owner or by an

unauthorized person who can access these images. If there is no mechanism to assert the ownership of the image owner, most people tend to disregard the intellectual property rights of the image owner. Therefore, an image watermarking technique using overlap-block is proposed in this paper to protect and enforce the intellectual property rights of the image owner.

In the proposed spatial domain method, once the watermark bit at some position is determined, the weighted overlap-block of size 3×3 is selected depending on the value of that watermark bit and the contrast of the corresponding 3×3 neighborhood in the host image. The weights of this block are used to modify the pixel intensities in that neighborhood. This 3×3 overlap-block centers at every other pixel and every other line in the host image, thus each block overlaps one another. In addition, the number of blocks determines the size of the watermark image, which is actually about $1/4$ of the host image. The embedding algorithm is not complicated. Although some lossy image processing operations are applied to the watermarked image, the extracted watermark will still be visibly recognizable.

II. PROBLEMS IN SOME PREVIOUS METHODS

"An adaptive digital image watermarking technique for copyright protection" [1] proposed by C. Lee and Y. Lee embed the watermark bit by modifying the pixel intensities within the non-overlap fixed-size block of the host image. If the host image is small in size, such as the image used in a cell phone of which the size is about 128×128 or smaller, and the block is of size 4×4 , the watermark image will be of size 32×32 ($1/8$ of the host image) which is too small to be used in copyright protection. Furthermore, if the 4×4 block is used with the small host image, the variance of each block is prone to have higher value than that of the block in the same host image but larger in size. As the result, its intensities modification will affect the perceptual quality of the underlying host image. Decreasing the block size in order to cope with the problems of the watermark image size and the quality of the host image, however, raises a new problem of the robustness.

III. THE PROPOSED APPROACH

In this section, the image watermarking technique using overlap-block is proposed to solve the problems mentioned above. The proposed method adaptively embeds one of the

Manuscript received September 5, 2001.

S. Wangsiripitak is with the Computer Engineering Department, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520 Thailand (telephone: (+66) 2-739-2400, facsimile: (+66) 2-739-2404, e-mail: kwsomkia@kmitl.ac.th).

S. MORASILPIN is with the Computer Engineering Department, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520 Thailand (telephone: (+66) 2-739-2400, facsimile: (+66) 2-739-2404, e-mail: s6061007@kmitl.ac.th).

K. SIRIBOON is with the Computer Engineering Department, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520 Thailand (telephone: (+66) 2-739-2400, facsimile: (+66) 2-739-2404, e-mail: kkkritaw @ kmitl.ac.th).

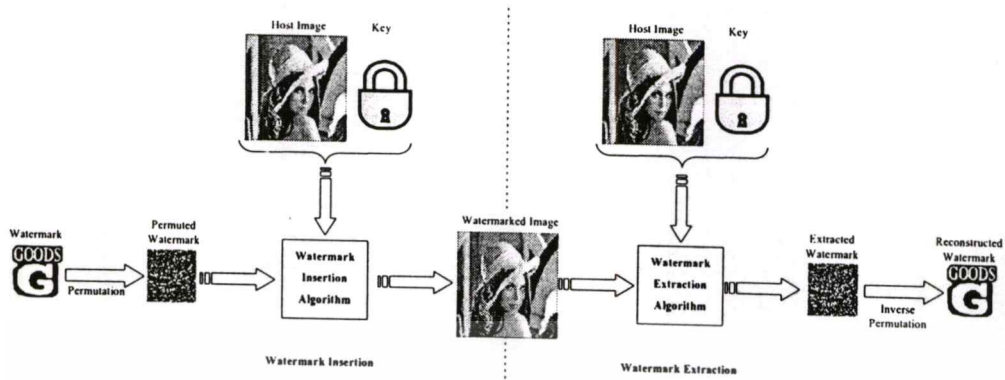


Fig. 1. A block diagram of the proposed watermarking system.

predefined 3x3 blocks representing the watermark bit into the host image at the corresponding image block. The center of embedded position of the predefined 3x3 blocks in the host image is in every other pixel and every other line, thus the embedded blocks are overlapped each other. As the result, the watermark image size is larger than that proposed by C. Lee and Y. Lee [1]. For example, in case of a 128x128 host image, the watermark image is of size 63x63 (1/4 of the host image). In the proposed method, there are 3 types of 3x3 predefined blocks. According to the contrast of the corresponding image block, one of these predefined blocks is selected so that the embedded values could be as large as possible whereas they are not too large to be noticeable to human eyes. This is designed for compromising between the robustness and the perceptual transparency of the embedded watermark. In addition, to prevent tampering, counterfeiting, or unauthorized access, the watermark is first permuted into scrambled data. Fig. 1 shows the block diagram of the proposed watermarking system. In the following subsection, the watermark permutation, embedding, and extraction process are described.

A. Watermark Permutation Algorithm

To prevent the watermark from tampering, counterfeiting, or unauthorized access by attackers, the watermark image is first permuted to be scrambled data before insertion. The watermark permutation strategy is the same as that described in [1]. In addition, another advantage of permutation is the characteristic of distributing a cluster of attacks, i.e., after the watermark extraction and inverse permutation, any attacks concentrating on some area of the watermarked image will be distributed over the reconstructed watermark image. Therefore the watermark image is still overall discernible and perceptible.

B. Watermark Embedding

After the binary watermark image is permuted, each watermark bit is inserted into the host image at every other pixel and every other line. The inserted value is not the value of the watermark bit itself, but the predefined 3x3 weighted block. There are 3 types of predefined 3x3 weighted block used in the proposed method. Fig. 2 shows all of them.

Two important requirements for embedding watermark into the host image are perceptual transparency and robustness. If

the image block embedded the watermark block has small

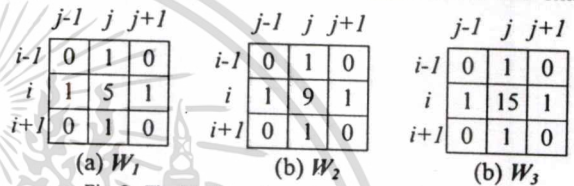


Fig. 2. The block used to embed the watermark bit.

value of variance, i.e., all pixel intensities in the block are approximately the same, modification of pixel intensities in that block with large value will be perceptible by an observer. Thus the value embedded into that image block should be small. On the other hand, if the variance of image block being embedded the watermark block is large, i.e., all pixels in the block have various values, modification of pixel intensities in that block with larger value could be possibly done without any recognition by the observer. In fact, the embedded value should be as large as possible to make watermark robust, whereas should not be too large to be visible by the observer. In the proposed method, considering the optimization between the robustness and invisibility, the center weight values of 3 watermark blocks are designed to be proportional to the standard deviation values of the corresponding image block, i.e., if the standard deviation of the image block is small, the watermark block with small center weight value is chosen, otherwise the watermark block with larger value is chosen instead.

In the insertion algorithm, as the inserted position of the 3x3 watermark block is at every other pixel and every other line of the host image, the inserted values of one block will overlap and interfere the neighbor blocks. However, if these block values are designed properly, the interference will not only not corrupt the neighbor watermark blocks which have the different watermark bit value, but also enhance the neighbor watermark blocks which have the same watermark bit value.

One caution while inserting the watermark is that the neighbor overlap-blocks will be corrupted. Thus before the insertion process starts, the standard deviation of each overlap-block of the host image must be calculated.

Suppose that an image f is of size $N \times N$, where N is an even

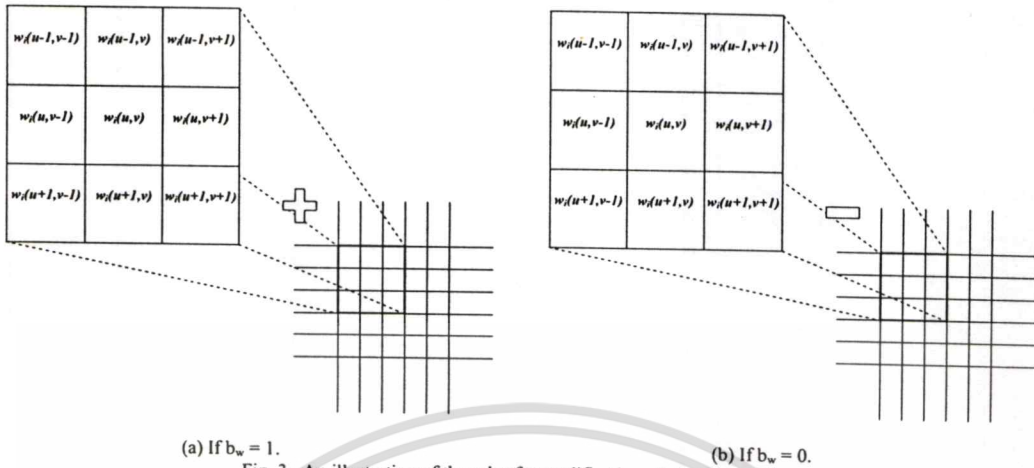


Fig. 3. An illustration of the rules for modification of pixel intensities.

number larger than 2. The pixel intensity at coordinates (i,j) are represented by $f(i,j)$, where $i,j = 0,1,\dots,N-1$. Let \mathbf{B} be a selected image block, the watermark insertion method is described as follows:

Step 1: Calculate the standard deviation, $SD_{\mathbf{B}_{u,v}}$, of all 3×3 image blocks, $\mathbf{B}_{u,v}$, centering at (u,v) , where $u,v = (2*n)-1$ and $n = 1,2,\dots,(N-2)/2$. Keep all of the $SD_{\mathbf{B}_{u,v}}$ values in some place for later use

Step 2: Assuming that the embedded value b_w is 0 or 1. Depending on the pre-calculated standard deviation of the corresponding block $\mathbf{B}_{u,v}$ in the host image, select one of the watermark blocks, \mathbf{W}_1 , \mathbf{W}_2 , or \mathbf{W}_3 , in Fig. 2 and use it instead of the watermark bit itself to modify the 9 pixel values in that image block centering at (u,v) according to the following rules:

if $b_w = 1$:

$$\text{if } SD_{\mathbf{B}_{u,v}} < 8: \quad f(x,y) = f(x,y) + w_1(x,y),$$

$$\text{if } 8 \leq SD_{\mathbf{B}_{u,v}} < 30: \quad f(x,y) = f(x,y) + w_2(x,y),$$

$$\text{if } SD_{\mathbf{B}_{u,v}} \geq 30: \quad f(x,y) = f(x,y) + w_3(x,y),$$

if $b_w = 0$:

$$\text{if } SD_{\mathbf{B}_{u,v}} < 8: \quad f(x,y) = f(x,y) - w_1(x,y),$$

$$\text{if } 8 \leq SD_{\mathbf{B}_{u,v}} < 30: \quad f(x,y) = f(x,y) - w_2(x,y),$$

$$\text{if } SD_{\mathbf{B}_{u,v}} \geq 30: \quad f(x,y) = f(x,y) - w_3(x,y),$$

where $w_i(x,y)$ is the weight value of watermark block \mathbf{W}_i at coordinates (x,y) , $x = u-1, u, u+1$ and $y = v-1, v, v+1$. Fig. 3 depicts the modification of pixel intensities according to the rules described above.

The embedding weights of watermark block are categorized to 3 categories: low weights, mid weights, and high weights, which are for the image block of low contrast, mid contrast, and high contrast, respectively. Thus it provides the invisibility guarantee and robustness improvement of the watermark. In addition, using overlap-block prevents the blocking artifact since the abrupt transition between each neighbor block is merged and smoothed by the overlapped area. Let $\mathbf{B}_{u,v}$ and $\mathbf{B}'_{u,v}$ denote the original and watermarked block at coordinates (u,v) , respectively. If the value of inserted watermark bit b_w is 1, the sum of pixel intensities of $\mathbf{B}'_{u,v}$ will be larger than that of $\mathbf{B}_{u,v}$. On the contrary, if the value of

inserted watermark bit b_w is 0, the sum of pixel intensities of $\mathbf{B}'_{u,v}$ will be smaller than that of $\mathbf{B}_{u,v}$.

C. Watermark Extraction

In the proposed algorithm, the extraction of the watermark must refer to the original host image. For each position that the watermark block, which represents watermark bit, is embedded, the watermark bit value b_w is determined by comparing the sum of the pixel intensities inside the corresponding 3×3 overlap-block of the original host image, denoted S_O , and that of the watermarked image, denoted S_N :

$$b_w = \begin{cases} 1 & \text{if } S_N > S_O; \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

The extracted watermark bit values, b_w 's, are then inversly permuted to get the reconstructed watermark.

IV. EXPERIMENTAL RESULTS

In the experiments, the host image is of size 128×128 with 256 gray levels. The watermark is a visually recognizable binary image of size 63×63 . Figs. 4(a) and 4(b) show a 128×128 host image and a 63×63 binary watermark image, respectively.

To show the superiority of the proposed method over the method proposed by C. Lee and Y. Lee [1], some lossy image processing operations, such as median filtering, low-pass filtering, lossy JPEG image compression, rotation, resampling, and crop are applied to the watermarked image generated by both methods.

Fig. 5 shows the watermarked images constructed by the proposed method and C. Lee method with the block of size 2×2 , 3×3 , and 4×4 . The corresponding PSNR values are 35.86, 33.97, 32.36, and 31.23 dB, respectively. From PSNR values, the watermarked image constructed by the proposed method has better quality than those constructed by C. Lee method when the original image is of size 128×128 .

Fig. 6 shows the zoomed portions of Fig. 5. From Fig. 6, the horizontal transition from the black hair to the highlighted hair closed to the left eye of the proposed method is smoother than that of C. Lee method, as well as the continuity along the

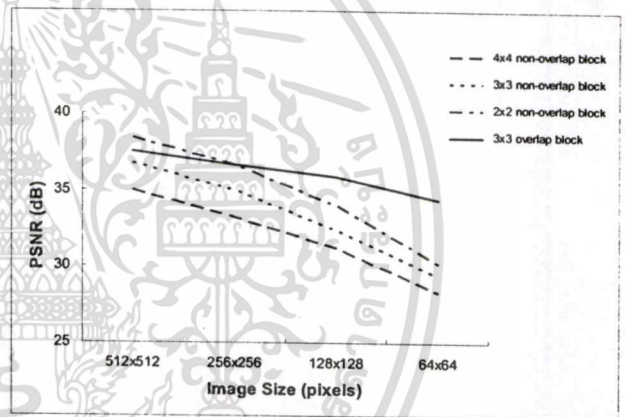
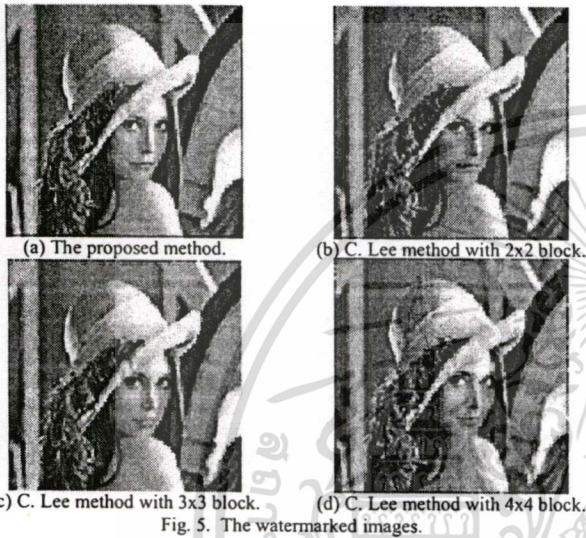
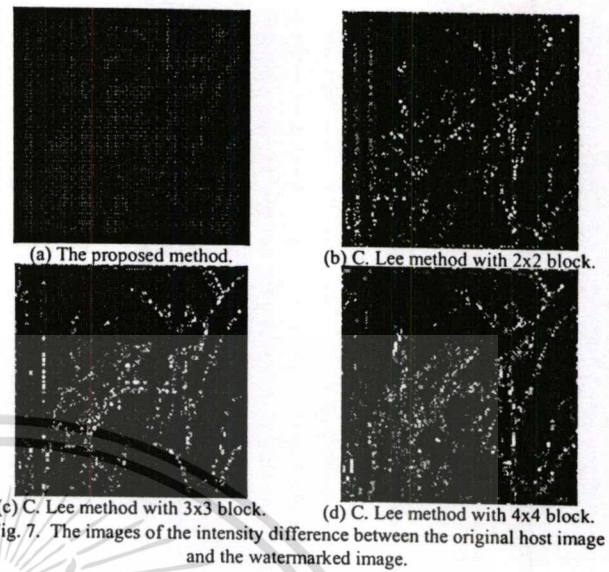
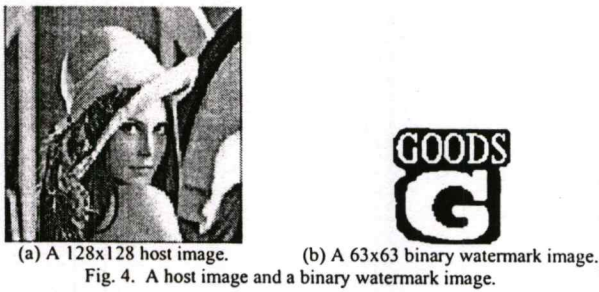
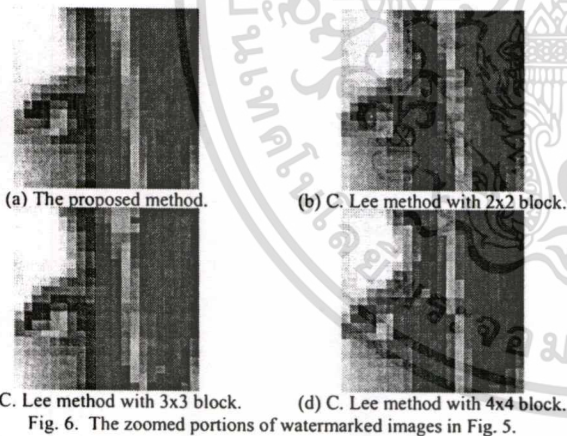


Fig. 8. A comparison of PSNR values for variant image size.



vertical highlighted hair. The superior quality of the proposed method over C. Lee method is evident in the zoomed images of Fig. 6.

Fig. 7 shows the images of the intensity difference between the original host image of Fig. 4(a) and the watermarked image of Figs. 5(a)-5(d). The images in Fig. 7 are scaled for display purposes. From Fig. 7, the embedded values of the watermarked image constructed by the proposed method are not as large as those of C. Lee method even though the area which is embedded the watermark have high contrast. But this does not mean that the proposed method is not robust.

Fig. 8 shows the comparison of PSNR values for variant

image size. From this figure, the PSNR of the proposed method is better than those of C. Lee method when the image size is equal to or smaller than 256x256 pixels.

Fig. 9 shows the watermarks extracted from the results of applying a median filtering with a mask of size 3x3 to the watermarked images of Fig. 5. The error between the original watermark of Fig. 4(b) and the extracted watermarks of Fig. 9(a)-(d) are 23.86, 35.43, 23.58, and 14.45%, respectively.

Fig. 10 shows the watermarks extracted from the results of applying a low-pass filtering with a mask of size 3x3 to the watermarked images of Fig. 5. The error between the original watermark of Fig. 4(b) and the extracted watermarks of Fig. 10(a)-(d) are 32.80, 42.16, 33.11, and 23.15%, respectively.

Fig. 11 shows the watermarks extracted from the results of applying a lossy JPEG compression with a compression ratio (CR) of 4.08 to the watermarked images of Fig. 5. The error between the original watermark of Fig. 4(b) and the extracted watermarks of Fig. 11(a)-(d) are 10.96, 25.78, 9.86, and 2.83%, respectively.

Fig. 12 shows the watermarks extracted from the results of

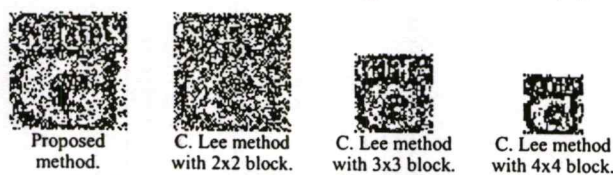


Fig. 9. Extracted watermark from the result of a median filtering.

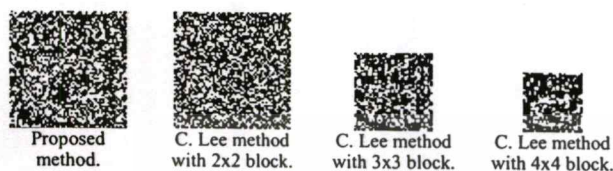


Fig. 10. Extracted watermark from the result of a low-pass filtering.

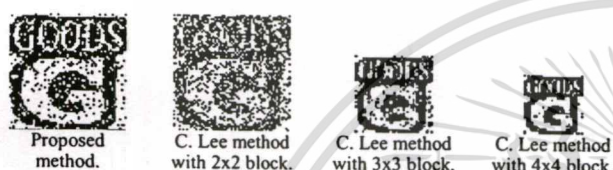


Fig. 11. Extracted watermark from the result of a lossy JPEG compression with CR = 4.08.

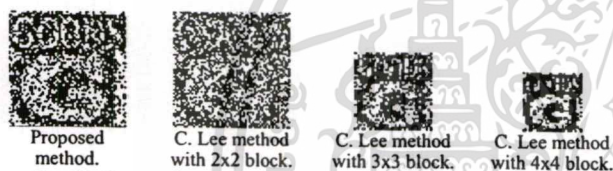


Fig. 12. Extracted watermark from the result of a rotation and inverse rotation.

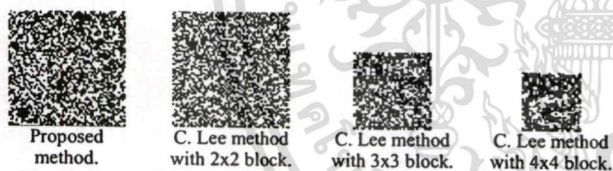


Fig. 13. Extracted watermark from the result of a shrinking and zooming operation.

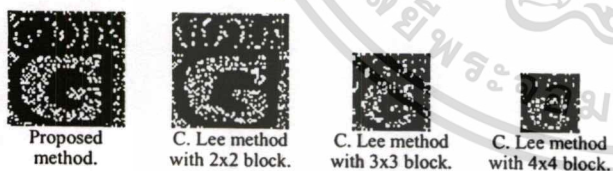


Fig. 14. Extracted watermark from the result of a crop and zooming operation.

applying a rotation and inverse rotation to the watermarked images of Fig. 5. The error between the original watermark of Fig. 4(b) and the extracted watermarks of Fig. 12(a)-(d) are 22.65, 32.30, 21.60, and 11.23%, respectively.

Fig. 13 shows the watermarks extracted from the results of applying a shrinking and zooming operation to the watermarked images of Fig. 5. The error between the original watermark of Fig. 4(b) and the extracted watermarks of Fig. 13(a)-(d) are 38.30, 43.07, 35.94, and 23.93%, respectively.

Fig. 14 shows the watermarks extracted from the results of applying a crop and zooming operation to the watermarked images of Fig. 5. The error between the original watermark of

Fig. 4(b) and the extracted watermarks of Fig. 14(a)-(d) are 33.74, 33.74, 33.62, and 31.74%, respectively.

From Figs. 9 and 14, the extracted watermark of C. Lee and Y. Lee method with the block of size 2x2 has the same size, but is less robust than that of the proposed method. Increasing the block size to 3x3 or 4x4 improves the robustness of the watermark, but the size of watermark becomes smaller, and the corruption in the watermarked image becomes more discernible, as shown in Figs. 5(c), 5(d), 6(c), and 6(d).

From the above experimental results, the proposed algorithm is robust to common image processing operations and the embedded watermark is more invisible than the non-overlap-block method even though the host image is small.

V. CONCLUSION

In this paper, an image watermarking technique using overlap-block is proposed. Using the overlap-block to embed the watermark makes the watermark image size be approximately 1/4 of the host image. This is useful when the host image is small in size. Depending on the standard deviation of the block in which the watermark will be inserted next, the proper weight values of the predefined block are added into or subtracted from the pixel intensities of the corresponding block in the host image. This intensities modification also changes the intensities of the neighbor overlap-blocks. However this makes the transition between the neighbor overlap-blocks become smoother than that of the non-overlap-block method. Moreover, Experimental results show that the embedded watermark is robust to common image processing operations without introducing any distortion.

REFERENCES

- [1] C. Lee and Y. Lee, "An adaptive digital image watermarking technique for copyright protection," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 45, No. 4, pp. 1005-1015, Nov. 1999.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ ยรกีจ โมระศิลป์
การศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ (วศ.บ) จากมหาวิทยาลัย นเรศวร พ.ศ. 2545
ปัจจุบันกำลังปริญญาโท วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ (วศ.ม.) จากสถาบันเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประวัติส่วนบุคคล

เกิด 4 ธันวาคม 2523

สัญชาติ ไทย

เชื้อชาติ ไทย

ศาสนา พุทธ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้