

การใช้เทคนิคการใส่ลายน้ำแบบบอดและแบบไม่บอดร่วมกัน
สำหรับการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์รูปภาพ



นายสุเมธ ลามประเสริฐ

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0466-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COMBINED BLIND AND NON-BLIND WATERMARKING TECHNIQUES
FOR IMAGE COPYRIGHT PROTECTION



MR. SUMET LARPPRASERT

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-0466-4

I 20602467

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การใช้เทคนิคการใส่ลายน้ำแบบบอดและแบบไม่บอดร่วมกันสำหรับการ
การป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์รูปภาพ

โดย

นายสุเมธ ลากประเสริฐ

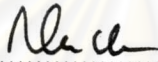
สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์สุวิทย์ นาคพีระยุทธ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

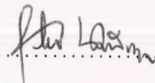
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



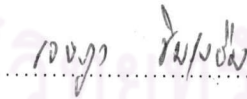
..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล)



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์สุวิทย์ นาคพีระยุทธ)



..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.เจษฎา ชินรุ่งเรือง)

ศูนย์วิจัยและพัฒนา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์

สุเมธ ลากประเสริฐ : การใช้เทคนิคการใส่ลายน้ำแบบบอดและแบบไม่บอดร่วมกันสำหรับการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์รูปภาพ. (COMBINED BLIND AND NON-BLIND WATERMARKING TECHNIQUES FOR IMAGE COPYRIGHT PROTECTION)
 อ. ที่ปรึกษา : อาจารย์สุวิทย์ นาคพิระยุทธ 84 หน้า. ISBN 974-03-0466-4.

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการใส่ลายน้ำในรูปภาพเพื่อป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์โดยใช้วิธีใส่ลายน้ำแบบบอดและแบบไม่บอดร่วมกัน hash ของรูปต้นฉบับจะถูกฝังลงในรูปภาพโดยใช้วิธีการใส่ลายน้ำแบบบอดเพื่อป้องกันกระบวนการทุจริตเพื่อแอบอ้างสิทธิ์ในรูปโดยผู้ที่มีชื่อเจ้าของข้อมูลเกี่ยวกับลิขสิทธิ์จะถูกฝังลงไปด้วยวิธีการใส่ลายน้ำแบบไม่บอดเพื่อให้มีความทนทานสูง วิธีการใส่ลายน้ำทั้งสองแบบดังกล่าวเป็นการใส่ลายน้ำในโดเมนความถี่ซึ่งใช้หลักการสเปกตรัมใส่สัญญาณที่มีลักษณะคล้ายสัญญาณรบกวนลงไปในส่วนประสิทธิภาพการแปลงโคไซน์ของรูปภาพ วิทยานิพนธ์นี้ยังได้หาช่วงสัมประสิทธิ์การแปลงโคไซน์ที่จะใส่ลายน้ำสำหรับรูปมาตรฐานแต่ละรูปที่ระดับการมองเห็นของลายน้ำเดียวกัน จำนวนบิตที่มากที่สุดที่ฝังได้ที่อัตราความผิดพลาดของบิตไม่เกิน 10^{-3} จะเป็นตัวบอกความทนทานของลายน้ำต่อการประมวลผลภาพวิธีต่าง ๆ

วิธีการใส่ลายน้ำที่เสนอนี้สามารถใช้แสดงสิทธิ์ความเป็นเจ้าของในรูปภาพได้อย่างสมบูรณ์เพราะคุณสมบัติของ hashing ซึ่งเป็นกระบวนการทางเดียว และยังสามารถใส่บิตข้อมูลได้เป็นจำนวนมากกว่าวิธีการใส่ลายน้ำแบบบอดที่ระดับการมองเห็นของลายน้ำเดียวกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต สุเมธ ลากประเสริฐ
 สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา อ. นาคพิระยุทธ
 ปีการศึกษา 2544 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

AN ABSTRACT

4170599321 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: COPYRIGHT PROTECTION / BLIND WATERMARKING / NON-BLIND WATERMARKING

SUMET LARPPRASERT : COMBINED BLIND AND NON-BLIND WATERMARKING TECHNIQUES FOR IMAGE COPYRIGHT PROTECTION.

THESIS ADVISOR : SUVIT NAKPEERAYUTH, 84 pp. ISBN 974-03-0466-4.

This thesis proposes image watermarking method for copyright protection using combined blind and non-blind watermarking techniques. Hash value of original image was embedded using blind watermarking method to protect against counterfeiting schemes that allow multiple claims of rightful ownership. Copyright information bits were embedded by non-blind watermarking technique to achieve more robustness. Both techniques are frequency domain watermarking which exploits spread spectrum principle to embed noise-like signal into DCT coefficients of the image. This thesis also determine the optimum range of DCT coefficients to be embedded for each standard image at the same visibility level. The maximum embedded bits at 10^{-3} bit error rate is used for evaluating the robustness against various image processing methods.

The combined technique can resolve rightful ownership due to the fact that hashing is one way operation. This technique can also embed larger number of information bits comparing to the blind watermarking technique at the same visibility level of the watermark.

Department ..Electrical Engineering... Student's signature *สุเมธ ลาร์ประเสริฐ*
 Field of study ..Electrical Engineering... Advisor's signature *Suvit Nakpeerayuth*
 Academic year ...2001..... Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์ สุวิทย์ นาคพิระยุทธ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อ งานวิจัยมาโดยตลอด ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ เพื่อนพี่น้องนิสิตที่อยู่ภายในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าสื่อสาร ที่ได้ช่วยเหลือและ เป็นกำลังใจที่ดียิ่งต่อผู้วิจัย

ทำยนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ที่ให้การสนับสนุนแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จ การศึกษา



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ญ |
| สารบัญภาพ..... | ฎ |
| บทที่ | |
| 1. บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์..... | 4 |
| 1.3 เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์..... | 4 |
| 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน | 4 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 5 |
| 2. ความรู้พื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 6 |
| 2.1 หลักการฝังและตรวจจับลายน้ำทั่วไป..... | 6 |
| 2.2 การแอบอ้างสิทธิ์เกี่ยวกับลายน้ำ..... | 7 |
| 2.2.1 Multiple Watermarking | 8 |
| 2.2.2 SWICO-Attack | 10 |
| 2.2.3 TWICO-Attack | 11 |
| 2.3 Spread Spectrum Watermarking | 12 |
| 2.3.1 Transmission (Watermark Embedding) | 13 |
| 2.3.2 Spreading Sequence | 13 |
| 2.3.3 Watermark Channel..... | 14 |
| 2.3.4 Reception (Watermark Recovery)..... | 15 |
| 2.4 Hash Function | 16 |
| 2.4.1 MD2, MD4 และ MD5 | 18 |
| 2.4.2 MD5 Algorithm | 19 |
| 2.5 รหัสเทอร์โบ | 24 |

| บทที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.5.1 การเข้ารหัสเทอร์โบ | 24 |
| 2.5.2 ขั้นตอนการเข้ารหัส | 25 |
| 2.5.3 การถอดรหัสเทอร์โบ..... | 26 |
| 2.5.4 BCJR Algorithm | 27 |
| 2.5.5 ขั้นตอนการถอดรหัส..... | 30 |
| 2.6 งานวิจัย Digital Watermarking ที่ผ่านมา | 31 |
| 2.6.1 การฝังลายน้ำโดยวิธีของ Cox..... | 32 |
| 2.6.2 การฝังลายน้ำโดยวิธีของ Piva..... | 33 |
| 2.6.3 การฝังลายน้ำโดยวิธีของ Hartung และ Girod..... | 37 |
| 2.6.4 การฝังลายน้ำโดยวิธีของ Lisa..... | 40 |
| 3. วิธีดำเนินการวิจัย | 44 |
| 3.1 วิธีการใส่ลายน้ำในรูปภาพ | 44 |
| 3.1.1 การใส่ลายน้ำแบบบอด (Blind Watermarking) | 45 |
| 3.1.2 การใส่ลายน้ำแบบไม่บอด (Non-Blind Watermarking) | 46 |
| 3.1.3 การตรวจจับข้อมูลลิขสิทธิ์ | 48 |
| 3.1.4 การยืนยันต้นฉบับ..... | 49 |
| 3.2 รูปที่ใช้ทดสอบ | 50 |
| 3.3 การหาช่วงสัมประสิทธิ์ในการใส่ลายน้ำ | 51 |
| 3.3.1 ช่วงสัมประสิทธิ์ของการฝังลายน้ำแบบบอด | 53 |
| 3.3.2 ช่วงสัมประสิทธิ์ของการฝังลายน้ำแบบไม่บอด | 56 |
| 3.4 การหาความเข้มของลายน้ำ..... | 59 |
| 3.5 ตัวอย่างภาพที่ผ่านการฝังลายน้ำ..... | 62 |
| 4. ผลการทดสอบความทนทานของลายน้ำ..... | 64 |
| 4.1 การทดสอบความทนทานโดยการทำให้ JPEG ที่ Quality Factor 80..... | 65 |
| 4.2 การทดสอบความทนทานโดยการทำให้ Median Filtering | 71 |
| 4.3 การทดสอบความทนทานโดยการใส่สัญญาณรบกวนแบบเกาส์ | 72 |
| 4.4 การทดสอบความทนทานโดยการทำให้ Histogram Equalization | 74 |
| 4.5 การทดสอบความทนทานโดยการตัดรูปออก | 75 |

| บทที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.6 การทดสอบความทนทานโดยการทำ JPEG ที่ Quality Factor 80 แล้วตัดรูปออก | 76 |
| 4.7 วิเคราะห์ผลการทดสอบความทนทาน | 78 |
| 5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ | 79 |
| 5.1 บทสรุป | 79 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 81 |
| รายการอ้างอิง | 82 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ | 84 |



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

| | |
|--|----|
| ตารางที่ 3.1 ความเข้มลายน้ำและช่วงสัมประสิทธิ์ของแต่ละรูปทดสอบ..... | 62 |
| ตารางที่ 4.1 จำนวนบิตที่ฝังในภาพและ BER เมื่อทำการบีบอัดด้วย JPEG ที่ Quality Factor 80 ก่อนตรวจจับลายน้ำ..... | 65 |
| ตารางที่ 4.2 จำนวนบิตที่ฝังในภาพ Lena และ Bit Error Rate เมื่อทำ Median Filtering ขนาด 3 x 3 ก่อนตรวจจับลายน้ำ..... | 72 |
| ตารางที่ 4.3 จำนวนบิตที่ฝังในภาพ Lena และ Bit Error Rate เมื่อทำการฝังสัญญาณรบกวนแบบเกาส์ก่อนตรวจจับลายน้ำ..... | 73 |
| ตารางที่ 4.4 จำนวนบิตที่ฝังในภาพ Lena และ Bit Error Rate เมื่อทำ Histogram equalization ก่อนตรวจจับลายน้ำ..... | 75 |
| ตารางที่ 4.5 จำนวนบิตที่ฝังในภาพ Lena และ Bit Error Rate เมื่อทำการตัดรูปออกบางส่วน ก่อนตรวจจับลายน้ำ..... | 76 |
| ตารางที่ 4.6 จำนวนบิตที่ฝังในภาพ Lena และ Bit Error Rate เมื่อทำ JPEG ที่ Quality Factor 80 แล้วตัดรูปออกบางส่วนก่อนตรวจจับลายน้ำ..... | 77 |
| ตารางที่ 4.7 จำนวนบิตที่ฝังได้ในภาพ Lena เปรียบเทียบระหว่างวิธีที่เสนอกับวิธีใน [14]..... | 78 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 2.1 วิธีการฝังลายน้ำทั่วไป | 6 |
| รูปที่ 2.2 วิธีการตรวจจับลายน้ำทั่วไป..... | 6 |
| รูปที่ 2.3 กระบวนการใส่ลายน้ำ | 7 |
| รูปที่ 2.4 Multiple watermarking | 7 |
| รูปที่ 2.5 การแก้ปัญหา multiple watermarking | 8 |
| รูปที่ 2.6 invertible watermarking scheme | 8 |
| รูปที่ 2.7 quasi-invertible watermarking scheme | 9 |
| รูปที่ 2.8 SWICO-Attack | 9 |
| รูปที่ 2.9 TWICO-Attack..... | 10 |
| รูปที่ 2.10 communication model ของระบบการใส่ลายน้ำ | 11 |
| รูปที่ 2.11 การใส่ลายน้ำโดยใช้วิธีสเปกตรัม..... | 13 |
| รูปที่ 2.12 ช่องสัญญาณและส่วนของภาครับในวิธีการใส่ลายน้ำแบบสเปกตรัม | 13 |
| รูปที่ 2.13 Damgard / Merkle iterative structure for hash functions | 17 |
| รูปที่ 2.14 การแบ่งบล็อกของ MD5..... | 18 |
| รูปที่ 2.15 ขั้นตอนการหา hash value ของ MD5 | 19 |
| รูปที่ 2.16 การประมวลผลในรอบที่ 1 | 19 |
| รูปที่ 2.17 การประมวลผลในรอบที่ 2 | 20 |
| รูปที่ 2.18 การประมวลผลในรอบที่ 3 | 20 |
| รูปที่ 2.19 การประมวลผลในรอบที่ 4 | 21 |
| รูปที่ 2.20 การทำงานของฟังก์ชัน FF ในการประมวลผลรอบที่ 1 | 21 |
| รูปที่ 2.21 การทำงานของฟังก์ชัน GG ในการประมวลผลรอบที่ 2 | 22 |
| รูปที่ 2.22 การทำงานของฟังก์ชัน HH ในการประมวลผลรอบที่ 3..... | 22 |
| รูปที่ 2.23 การทำงานของฟังก์ชัน II ในการประมวลผลรอบที่ 4..... | 23 |
| รูปที่ 2.24 ตัวเข้ารหัสเทอร์โบพื้นฐาน..... | 24 |
| รูปที่ 2.25 ตัวเข้ารหัสเทอร์โบ | 25 |
| รูปที่ 2.26 ตัวถอดรหัสเทอร์โบ | 29 |
| รูปที่ 2.27 การฝังลายน้ำโดยวิธีของ Cox | 31 |
| รูปที่ 2.28 การตรวจจับลายน้ำโดยวิธีของ Cox | 32 |

| บทที่ | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 2.29 การจัดเรียงสัมประสิทธิ์แบบซิกแซ็ก..... | 33 |
| รูปที่ 2.30 การแจกแจงของตัวแปรสุ่ม z_1 และ z_2 | 35 |
| รูปที่ 2.31 line scan ของสัญญาณวิดีโอ | 36 |
| รูปที่ 2.32 การฝังลายน้ำโดยวิธีของ Hartung และ Girod..... | 37 |
| รูปที่ 2.33 การซ่อนข้อมูลโดยวิธีของ Lisa..... | 39 |
| รูปที่ 2.34 การตรวจจับข้อมูลโดยวิธีของ Lisa..... | 40 |
| รูปที่ 3.1 วิธีการใส่ลายน้ำที่เสนอ | 44 |
| รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการฝังลายน้ำแบบบอด..... | 46 |
| รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการฝังลายน้ำแบบไม่บอด | 47 |
| รูปที่ 3.4 การฝังลายน้ำแบบบอดและแบบไม่บอดพร้อมกัน..... | 47 |
| รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการตรวจจับข้อมูลลิขสิทธิ์ | 48 |
| รูปที่ 3.6 การยืนยันรูปต้นฉบับ..... | 49 |
| รูปที่ 3.7 ภาพ Lena..... | 50 |
| รูปที่ 3.8 ภาพ Baboon | 50 |
| รูปที่ 3.9 ภาพ Cameraman..... | 50 |
| รูปที่ 3.10 ภาพ Boat | 50 |
| รูปที่ 3.11 การฝังลายน้ำในการหาช่วงสัมประสิทธิ์การใส่ลายน้ำ..... | 52 |
| รูปที่ 3.12 การตรวจจับลายน้ำแบบบอดในการหาช่วงสัมประสิทธิ์การใส่ลายน้ำ | 52 |
| รูปที่ 3.13 การตรวจจับลายน้ำแบบไม่บอดในการหาช่วงสัมประสิทธิ์การใส่ลายน้ำ | 53 |
| รูปที่ 3.14 กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละบล็อกของภาพ Lena ที่จำนวนจุดเสีย 200 จุด..... | 54 |
| รูปที่ 3.15 กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละบล็อกของภาพ Boat ที่จำนวนจุดเสีย 200 จุด | 55 |
| รูปที่ 3.16 กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละบล็อกของภาพ Baboon ที่จำนวนจุดเสีย 200 จุด...55 | 55 |
| รูปที่ 3.17 กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละบล็อกของภาพ Cameraman ที่จำนวนจุดเสีย 200 จุด | 56 |
| รูปที่ 3.18 กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละบล็อกของภาพ Lena ที่จำนวนจุดเสีย 200 จุด..... | 57 |
| รูปที่ 3.19 กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละบล็อกของภาพ Boat ที่จำนวนจุดเสีย 200 จุด | 57 |
| รูปที่ 3.20 กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละบล็อกของภาพ Baboon ที่จำนวนจุดเสีย 200 จุด..58 | 58 |

| บทที่ | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 3.21 กราฟของค่าสหสัมพันธ์ในแต่ละบล็อกของภาพ Cameraman ที่จำนวนจุดเสีย 200 จุด | 58 |
| รูปที่ 3.22 การหา α, B | 60 |
| รูปที่ 3.23 การหาความเข้มลายน้ำ | 61 |
| รูปที่ 3.24 รูป Lena ต้นฉบับ (ซ้าย) และรูป Lena ที่ฝังลายน้ำด้วยวิธีที่เสนอ (ขวา) | 62 |
| รูปที่ 3.25 จุดเสียที่เกิดขึ้นในภาพที่ใส่ลายน้ำ | 63 |
| รูปที่ 3.26 ภาพขยายบริเวณในกรอบของรูปต้นฉบับ (ซ้าย) และรูปที่ฝังลายน้ำ (ขวา) | 63 |
| รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบภาพ Lena ที่ฝังลายน้ำ 2299 บิต (ซ้าย) และภาพที่ฝังลายน้ำและทำการบีบอัดแบบ JPEG ที่ Quality Factor 80 (ขวา) | 66 |
| รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบภาพ Lena ที่ขยายในส่วนล้อมกรอบที่ฝังลายน้ำ 2299 บิต (ซ้าย) และภาพที่ฝังลายน้ำและทำการบีบอัดแบบ JPEG ที่ Quality Factor 80 (ขวา) | 66 |
| รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบภาพ Boat ที่ฝังลายน้ำ 1973 บิต (ซ้าย) และภาพที่ฝังลายน้ำและทำการบีบอัดแบบ JPEG ที่ Quality Factor 80 (ขวา) | 67 |
| รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบภาพ Boat ที่ขยายในส่วนล้อมกรอบที่ฝังลายน้ำ 1973 บิต (ซ้าย) และภาพที่ฝังลายน้ำและทำการบีบอัดแบบ JPEG ที่ Quality Factor 80 (ขวา) | 67 |
| รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบภาพ Baboon ที่ฝังลายน้ำ 1544 บิต (ซ้าย) และภาพที่ฝังลายน้ำและทำการบีบอัดแบบ JPEG ที่ Quality Factor 80 (ขวา) | 68 |
| รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบภาพ Baboon ที่ขยายในส่วนล้อมกรอบที่ฝังลายน้ำ 1544 บิต (ซ้าย) และภาพที่ฝังลายน้ำและทำการบีบอัดแบบ JPEG ที่ Quality Factor 80 (ขวา) | 68 |
| รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบภาพ Cameraman ที่ฝังลายน้ำ 4160 บิต (ซ้าย) และภาพที่ฝังลายน้ำและทำการบีบอัดแบบ JPEG ที่ Quality Factor 80 (ขวา) | 69 |
| รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบภาพ Cameraman ที่ขยายในส่วนล้อมกรอบที่ฝังลายน้ำ 4160 บิต (ซ้าย) และภาพที่ฝังลายน้ำและทำการบีบอัดแบบ JPEG ที่ Quality Factor 80 (ขวา) | 69 |
| รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของจำนวนบิตของข้อมูลที่ฝังกับ BER ที่ได้ของภาพ Lena, Boat, Baboon, Cameraman เมื่อทำการทดสอบความทนทานโดยการบีบอัดด้วย JPEG ที่ Quality Factor 80 | 70 |
| รูปที่ 4.10 รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบภาพ Lena ที่ฝังลายน้ำ 141 บิต (ซ้าย) กับภาพที่ฝังลายน้ำบิตแล้วทำ Median Filtering ขนาด 3 x 3 (ขวา) | 71 |

| บทที่ | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบภาพ Lena ที่ขยายในส่วนล้อมกรอบที่ฝังลายน้ำ 141 บิต (ซ้าย) และภาพที่ฝังลายน้ำแล้วทำ Median Filtering ขนาด 3 x 3 (ขวา) | 71 |
| รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบภาพ Lena ที่ฝังลายน้ำ 1251 บิต (ซ้าย) กับภาพที่ฝังลายน้ำแล้วใส่สัญญาณรบกวนแบบเกาส์ (ขวา) | 72 |
| รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบภาพ Lena ที่ขยายในส่วนล้อมกรอบที่ฝังลายน้ำ 1251 บิต (ซ้าย) และภาพที่ฝังลายน้ำแล้วใส่สัญญาณรบกวนแบบเกาส์ (ขวา) | 73 |
| รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบภาพ Lena ที่ฝังลายน้ำ 6910 บิต (ซ้าย) กับภาพที่ฝังลายน้ำแล้วทำ Histogram equalization (ขวา) | 74 |
| รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบภาพ Lena ที่ขยายในส่วนล้อมกรอบที่ฝังลายน้ำ 6910 บิต (ซ้าย) และภาพที่ฝังลายน้ำแล้วทำ Histogram equalization (ขวา) | 74 |
| รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบภาพ Lena ที่ฝังลายน้ำ 6910 บิต (ซ้าย) กับภาพที่ฝังลายน้ำแล้วทำการตัดรูปบางส่วน | 75 |
| รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบภาพ Lena ที่ฝังลายน้ำ 1146 บิต (ซ้าย) กับภาพที่ฝังลายน้ำแล้วทำ JPEG ที่ Quality Factor 80 แล้วตัดรูปออกบางส่วน | 76 |
| รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนบิตข้อมูลที่ฝังได้กับ BER ของภาพ Lena เมื่อนำไปทำ JPEG ที่ Quality Factor 80, Median Filtering, ใส่สัญญาณรบกวนแบบเกาส์, Histogram Equalization, ตัดรูปออก และทำ JPEG ที่ Quality Factor 80 แล้วตัดรูปออก | 77 |