

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ผลการทดลองของวิธีการฝังและถอดลายน้ำอเนกประสงค์ การทดสอบความคงทนและเปราะบางของลายน้ำอเนกประสงค์ การทดสอบประสิทธิภาพด้วย *PSNR* และการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม จากการศึกษาวิจัยนี้

4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ คือ Matlab เวอร์ชัน R2009

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

4.1.3 รูปภาพที่ใช้ในการทดลอง มีดังนี้

- ก. รูปภาพระดับสีเทาขนาด 512×512 จุดภาพจำนวน 10 ภาพ มีไฟล์ภาพนามสกุล *.BMP* ซึ่งมีขนาด 8 บิตต่อหนึ่งจุดภาพ ใช้แทนรูปภาพต้นฉบับ
- ข. รูปภาพระดับสีเทาขนาด 32×32 จุดภาพ จำนวน 1 ภาพ มีไฟล์ภาพนามสกุล *.BMP* ใช้แทนลายน้ำแบบคงทน
- ค. รูปภาพขาวดำขนาด 128×128 จุดภาพ จำนวน 1 ภาพ มีไฟล์ภาพนามสกุล *.BMP* ใช้แทนลายน้ำแบบเปราะบาง

4.2 ผลการทดลอง

4.2.1 วิธีการฝังและถอดลายน้ำอเนกประสงค์

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

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

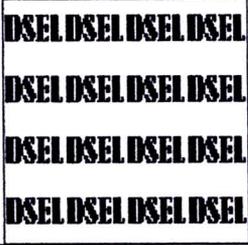
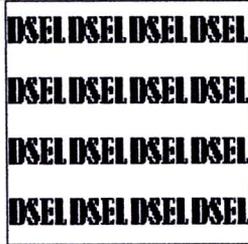
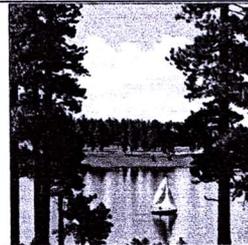
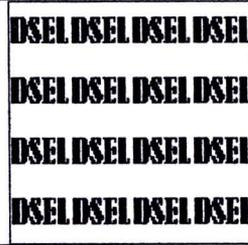
ตารางที่ 4.1 รูปภาพต้นฉบับ ลายน้ำคงทนและลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้

| ชื่อรูปภาพต้นฉบับ | | | | |
|---|---|------------|---|------------|
| รูปภาพต้นฉบับ | ลายน้ำคงทนที่ถอดได้ | | ลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้ | |
| | <i>NC</i> | <i>BER</i> | <i>NC</i> | <i>BER</i> |
| 1. Baboon | | | | |
|  |  | |  | |
| 41.262 | 1.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 |
| 2. Barbara | | | | |
|  |  | |  | |
| 41.566 | 1.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 |
| 3. F16 | | | | |
|  |  | |  | |
| 41.101 | 1.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 |

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

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

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

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

4.2.2 การทดสอบความคงทนและเปราะบางของลายน้ำอเนกประสงค์

การโจมตีที่ใช้ในการทดสอบมีทั้งหมด 6 รูปแบบ ดังนี้

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

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

ก. การทดสอบโดยวิธีการแก้ไขปลอมแปลงรูปภาพ

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

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองของการแก้ไขปลอมแปลงรูปภาพ

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

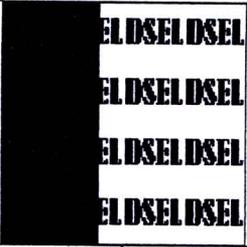
ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

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

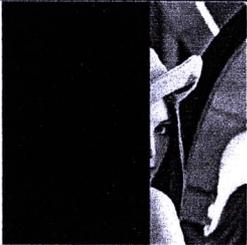
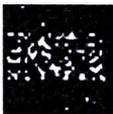
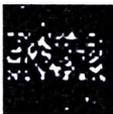
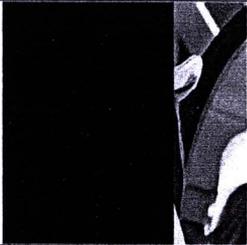
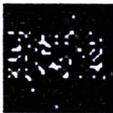
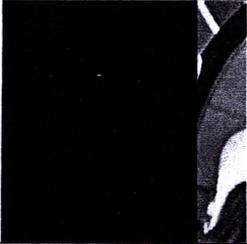
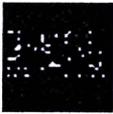
ข. การตัดภาพเป็นบางส่วน

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

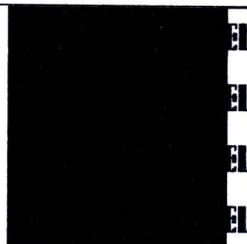
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองของการตัดภาพเป็นบางส่วน

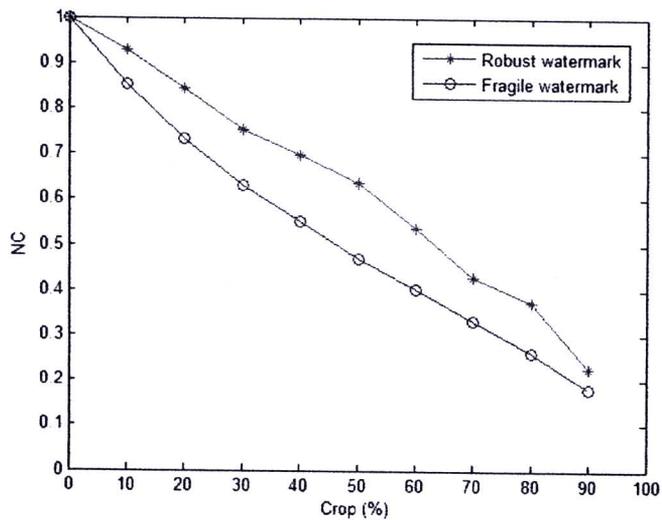
| ประเภทการโจมตี | | | | |
|---|---|--|-------------------------|-------|
| รูปภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการโจมตี | ลายน้ำคงทนที่ถอดได้ | | ลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้ | |
| PSNR (dB) | NC | BER | NC | BER |
| 1. การตัดภาพออก 10 % ของพื้นที่เดิม | | | | |
|  |  |  | | |
| 15.560 | 0.929 | 0.029 | 0.852 | 0.070 |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

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

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

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

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

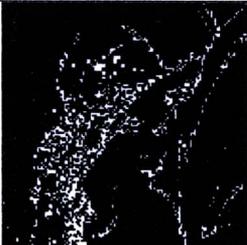
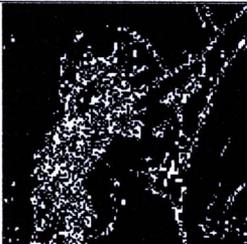
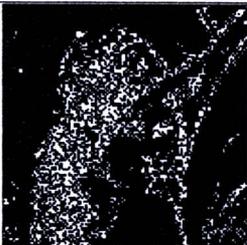
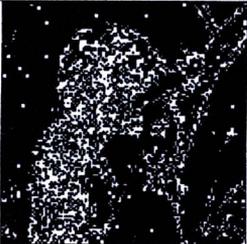


รูปที่ 4.1 กราฟผลการทดลองของการตัดภาพเป็นบางส่วน

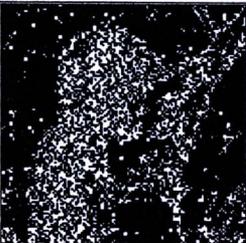
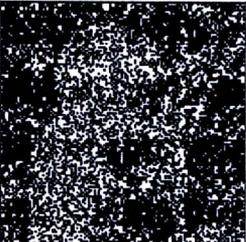
ค. การบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG

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

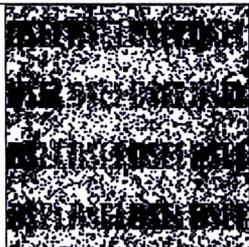
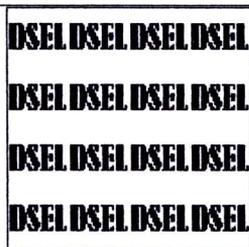
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองของการบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG

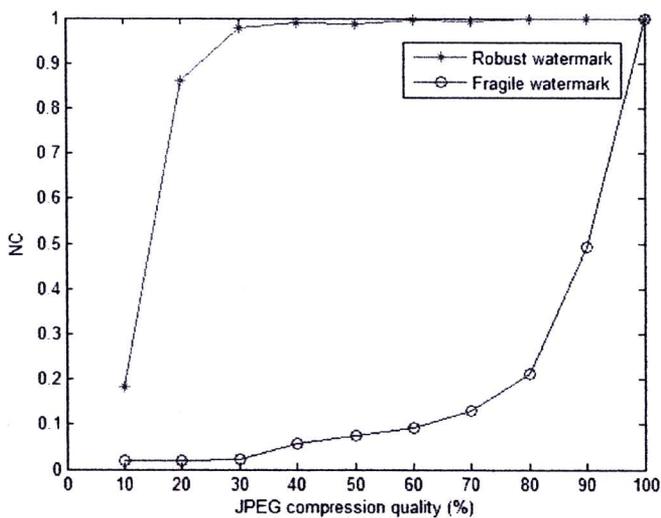
| ประเภทการโจมตี | | | | |
|---|---|------------|---|------------|
| รูปภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการโจมตี | ลายน้ำคงทนที่ถอดได้ | | ลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้ | |
| <i>PSNR</i> (dB) | <i>NC</i> | <i>BER</i> | <i>NC</i> | <i>BER</i> |
| 1. การบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG ที่ระดับคุณภาพ 10% | | | | |
|  |  | |  | |
| 30.215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

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

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

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

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

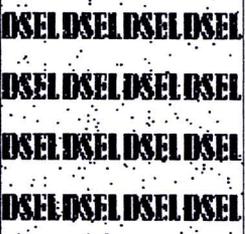


รูปที่ 4.2 กราฟผลการทดลองของการบีบอัดรูปภาพแบบ JPEG

ง. การแทรกสัญญาณรบกวนแบบ Salt & Pepper

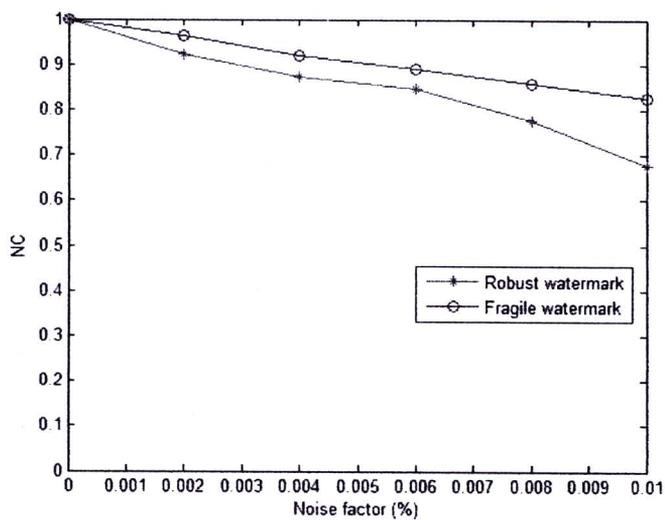
การทดสอบโดยวิธีการแทรกสัญญาณรบกวนแบบ Salt & Pepper เป็นการนำภาพผลลัพธ์มาทำการแทรกสัญญาณรบกวน โดยกำหนดค่า Noise Density ตั้งแต่ 0.000 ถึง 0.01 ด้วยอัลกอริทึมของ Noise ในโปรแกรม Matlab เวอร์ชัน R2009 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการถอดลายน้ำคงทนและลายน้ำเปราะบางที่อยู่ในรูปภาพ ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และสามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่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

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองของการแทรกสัญญาณรบกวนแบบ Salt & Pepper

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

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

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

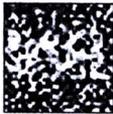
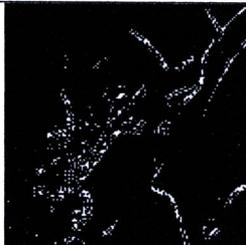
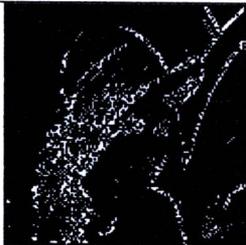
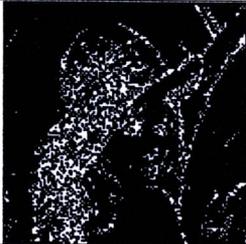


รูปที่ 4.3 กราฟผลการทดลองของการแทรกสัญญาณรบกวนแบบ Salt & Pepper

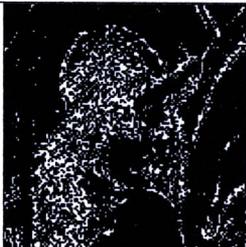
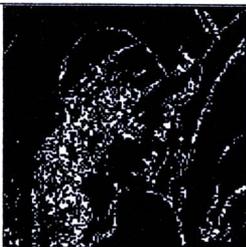
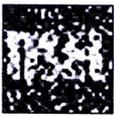
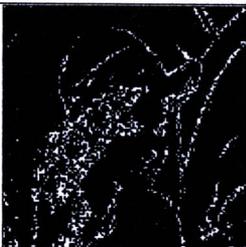
จ. การปรับปรุงคุณภาพของรูปภาพโดยใช้ฟิลเตอร์

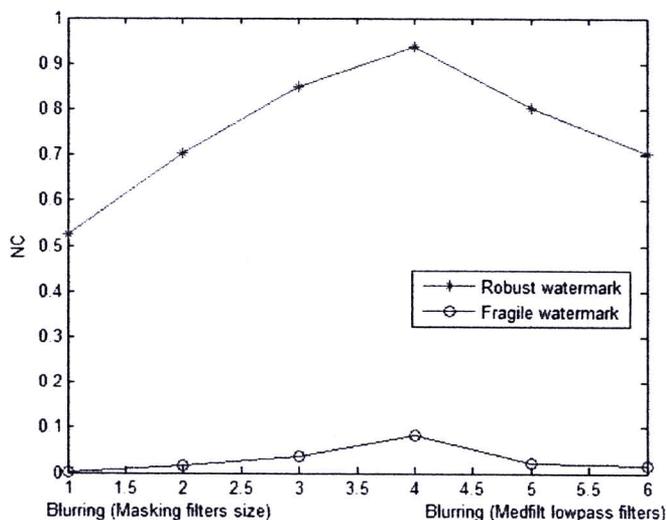
เป็นการนำรูปภาพผลลัพธ์มาทำการปรับปรุงคุณภาพ โดยใช้ฟิลเตอร์ ได้ทำการทดลองในการปรับปรุงรูปภาพให้มัวลง ซึ่งกำหนดให้ฟิลเตอร์มีขนาดต่างๆ ได้แก่ 3×3 , 5×5 และ 7×7 ตามลำดับ ด้วยอัลกอริทึมของ Filter2 และ Medfilter2 ในโปรแกรม Matlab เวอร์ชัน R2009 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการถอดลายน้ำแบบคงทนและลายน้ำเปราะบางบางที่ถอดได้ที่อยู่ในรูปภาพ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

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองของการปรับปรุงคุณภาพของรูปภาพโดยใช้ฟิลเตอร์

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

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

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

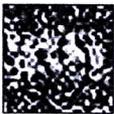
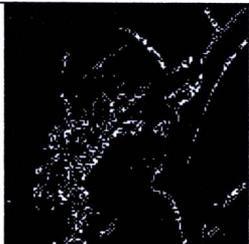


รูปที่ 4.4 กราฟผลการทดลองของการปรับปรุงคุณภาพของรูปภาพโดยใช้ฟิลเตอร์

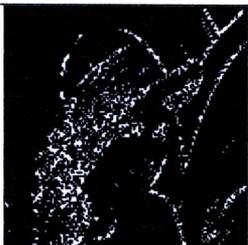
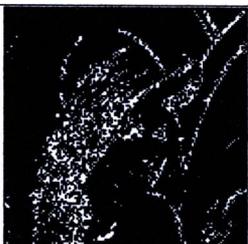
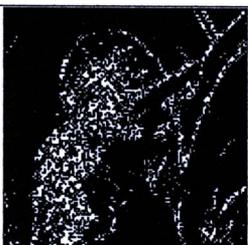
จ. การปรับขนาดภาพ

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

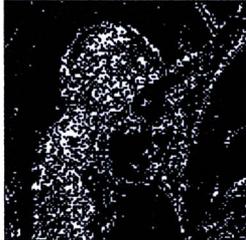
ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองของการปรับขนาดภาพ

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

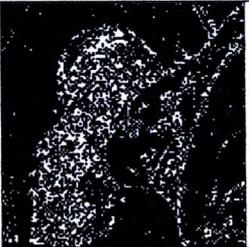
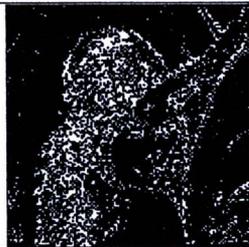
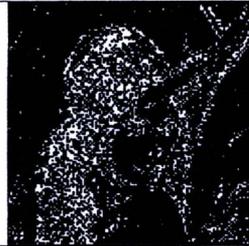
ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

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

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

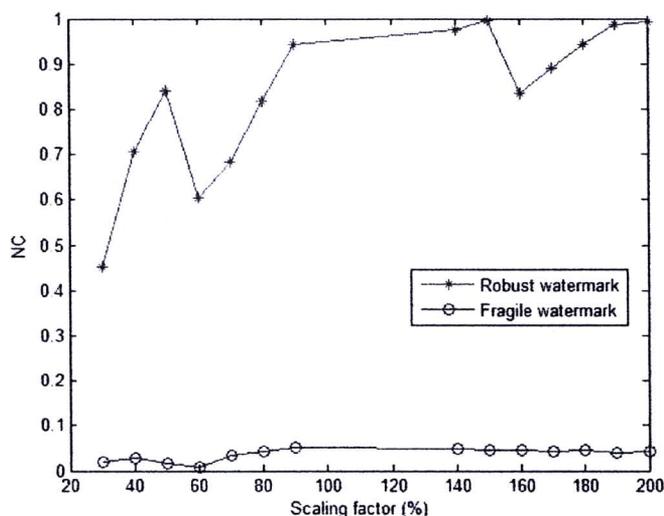
| ประเภทการโจมตี | | | | |
|---|---|------------|---|------------|
| รูปภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการโจมตี | ลายน้ำคงทนที่ถอดได้ | | ลายน้ำเปราะบางที่ถอดได้ | |
| <i>PSNR</i> (dB) | <i>NC</i> | <i>BER</i> | <i>NC</i> | <i>BER</i> |
| 6. ย่อขนาดภาพ 80 % | | | | |
|  |  | |  | |
| 33.738 | 0.816 | 0.078 | 0.043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

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

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

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

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



รูปที่ 4.5 กราฟผลการทดลองของการปรับขนาดภาพ

ช. การหมุนภาพ

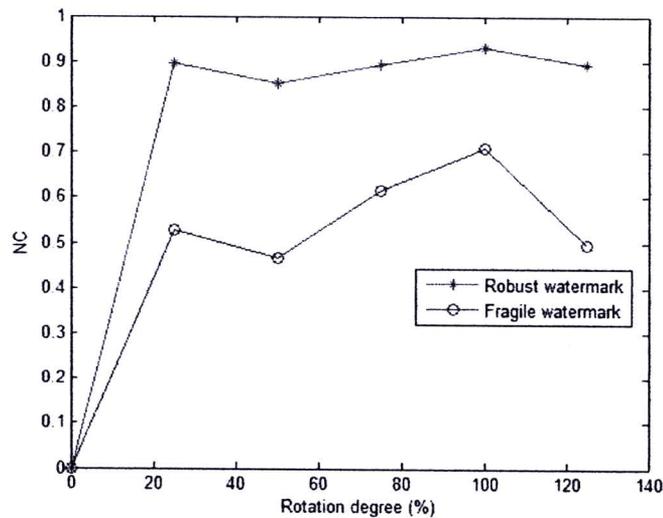
การทดสอบโดยวิธีการหมุนภาพ เป็นการนำภาพผลลัพธ์มาทำการหมุนรูปภาพด้วยมุมต่างๆ ตั้งแต่ที่ 25 องศาไปจนถึง 125 องศา โดยขยับไปครั้งละ 25 องศา และตัดขอบของรูปภาพใหม่ที่ได้ทิ้งให้มีขนาดเท่ารูปภาพเดิม (Cropped) จากนั้นทำการหมุนภาพกลับมุมเดิม โดยใช้อัลกอริทึมการประมาณค่าขาดหาย (Interpolation) แบบ Bicubic ในโปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน R2009 จากนั้นทำการถอดลายน้ำแบบคงทนและแบบเปราะบางจากรูปภาพที่ถูกหมุนไปแต่ละมุม แสดงดังแสดงในตารางที่ 4.8 และสามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองของการหมุนภาพ

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

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

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

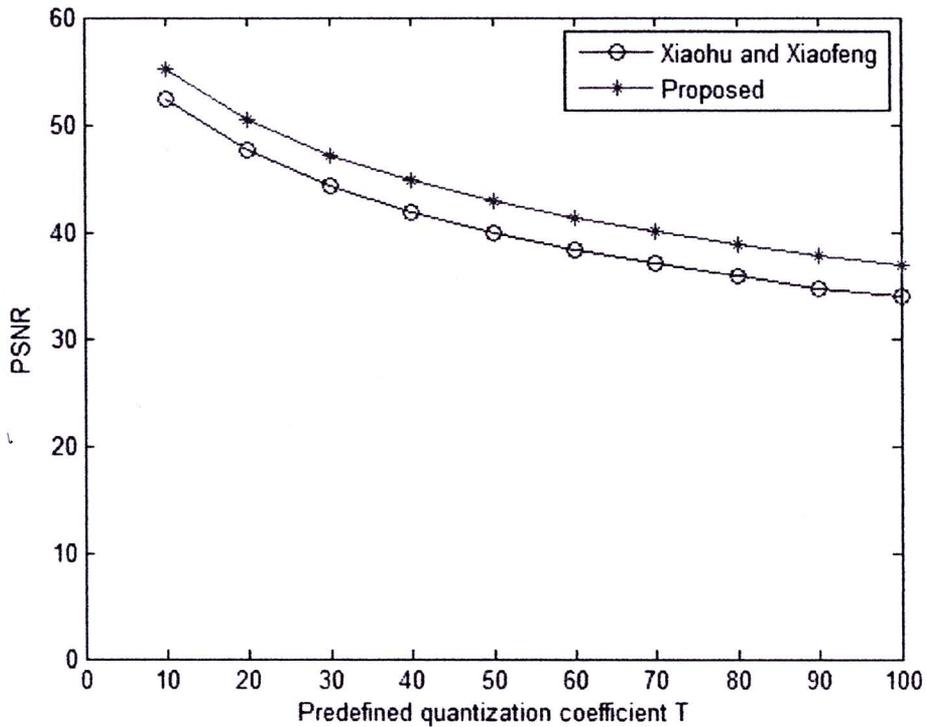


รูปที่ 4.6 กราฟผลการทดลองของการหมุนภาพ

4.3 การทดสอบประสิทธิภาพด้วย *PSNR*

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

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



รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วย $PSNR$ กับการปรับค่า T

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

4.4 การทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริธึม

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

4.9 เปรียบเทียบค่า *NC* ที่ถอดได้หลังผ่านการโจมตีต่างๆ ระหว่างเทคนิคที่กระทำใน
 เวกเตอร์ควอนไทซ์เซชันกับเทคนิคที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบค่า *NC* ที่ถอดได้หลังผ่านการโจมตีต่างๆ

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

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

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

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

ผลของการเปรียบเทียบค่า NC ที่ถอดได้หลังผ่านการโจมตีต่างๆ

ก. การบีบอัดภาพ

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

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

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

ข. การตัดภาพเป็นบางส่วนออก

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

ค. การหมุนภาพ

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

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