

การสร้างสัญญาณลายน้ำดิจิทัลแบบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DCT และการเปรียบเทียบตำแหน่ง Direct Cosine Transforms (DCT) average and comparison digital watermarking method

ปิติกันต์ รักราชการ กฤษณ์ อ่างแก้ว ทนงศักดิ์ ศิริทิณพงษ์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

235 ถนนเพชรเกษม เขตภาษีเจริญ กรุงเทพฯ 10163

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาเทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการป้องกันการถูกละเมิดลิขสิทธิ์ทางปัญญาในสื่อข้อมูลดิจิทัล โดยเน้นที่การสร้างเทคนิคการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลชนิดที่มองไม่เห็น (Invisible Digital Watermarking) โดยเสนอเทคนิคที่ใช้ในการใส่สัญญาณลายน้ำดิจิทัล 4 วิธีคือการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Average Comparison) การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DCT 4 จุด (DCT Average four-points Comparison) การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DCT 1 จุด (DCT Average one-point Comparison) และการเปรียบเทียบตำแหน่ง DCT (DCT Comparison) นอกจากนี้ยังได้พัฒนาซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับการใส่สัญญาณลายน้ำดิจิทัลชนิดมองไม่เห็นลงในรูปภาพต่าง ๆ โดยมีวิธีต่าง ๆ ที่ใช้ในการใส่สัญญาณลายน้ำโดยผู้ใช้สามารถเลือกได้ตามความเหมาะสม

Abstract

This paper studies various techniques to protect ownership of intellectual properties. The present techniques in this study use invisible digital watermarking by four different methods : Average Comparison, DCT Average four-points Comparison, DCT Average one-point Comparison and DCT Comparison. The software for embedding the watermark signal is developed and provided with option for user to select the appropriate method.

1. บทนำ

การใช้งานคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันได้ขยายตัวอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Internet) ซึ่งเป็นการสื่อสารที่สามารถเข้าถึงได้ทุกแห่งทั่วโลก การส่งข้อมูลไปบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในทางธุรกิจถ้าข้อมูลนั้นนั้นถูกคัดลอกและนำเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตก่อให้เกิด

ความเสียหายต่อระบบเศรษฐกิจ และการทำธุรกรรมบนอินเทอร์เน็ต จึงจำเป็นที่จะต้องมีการคุ้มครองการใช้งานของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิทธิทางปัญญา โดยไม่ให้ผู้ที่ไม่ได้เป็นเจ้าของหรือไม่ได้รับอนุญาตนำข้อมูลไปใช้ ซึ่งก็คือการจดลิขสิทธิ์ (Copyright) ที่จะเป็นหลักฐานในการยืนยันถึงความเป็นเจ้าของของชิ้นงานนั้น ๆ นอกจากนี้ยังสามารถใช้วิธีอื่น ๆ ในการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ เช่น การเข้ารหัสลับข้อมูล (Encryption) เพื่อควบคุมการใช้งานของข้อมูลจากบุคคลที่ไม่ได้รับอนุญาตหรือบุคคลที่ไม่มีกุญแจรหัสลับที่ใช้ในการถอดรหัสข้อมูล หรือการใส่เลขทะเบียน (Serial Numbers) หรือตราสัญลักษณ์ (Logo) ลงในตัวข้อมูลเพื่อประกาศให้ทราบทั่วไปทราบว่าข้อมูลนั้น ๆ มีเจ้าของ

อย่างไรก็ตามกลไกในการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์เหล่านี้ก็ยังไม่สามารถแก้ไขได้ทุกข้อ เช่น ในกรณีการเข้ารหัสลับข้อมูล ข้อมูลที่ผ่านการถอดรหัสแล้วก็ยังสามารถถูกคัดลอกหรือทำซ้ำได้ ดังนั้นเพื่อที่จะยับยั้งหรือติดตามร่องรอยของการกระทำที่เป็นการละเมิดลิขสิทธิ์ จึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล (Digital Watermarking) ขึ้นมาเพื่อยับยั้งการกระทำที่เป็นการละเมิดลิขสิทธิ์และทรัพย์สินทางปัญญาของข้อมูลมัลติมีเดีย (รูปภาพดิจิทัล) โดยวิธีการนี้จะแตกต่างจากวิธีการเข้ารหัสลับทั่วไปที่ข้อมูลหลังจากการเข้ารหัสจะสามารถเข้าถึงได้โดยผู้ที่มีกุญแจรหัสลับเท่านั้น แต่วิธีการดังกล่าวนี้จะใช้หลักการในการซ่อนสิ่งที่เรียกว่า สัญญาณลายน้ำ (Watermark Signal) ลงไปในตัวข้อมูลของภาพดิจิทัลต้นฉบับ โดยจะไม่ทำให้คุณภาพของข้อมูลนั้น ๆ ลดต่ำจนเกินไปและเมื่อมีการคัดลอกข้อมูลรูปภาพดิจิทัลเกิดขึ้นสัญญาณลายน้ำก็จะติดไปกับข้อมูลที่ถูกคัดลอกด้วย ซึ่งสัญญาณลายน้ำที่ติดไปกับข้อมูลที่ถูกคัดลอกนี้จะถูกนำมาใช้ในการสืบหาแหล่งกำเนิดของการ คัดลอกข้อมูล หรือใช้ในการแสดงความเป็นเจ้าของของข้อมูลนั้น ๆ ด้วย

โดยในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านนี้ก้าวหน้าไปมาก สามารถสร้างสัญญาณลายน้ำได้ทั้งภาพสีและขาวดำ แต่ยังไม่สามารถสร้างสัญญาณจากภาพได้ทุกประเภท

2. หลักการของภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล

พื้นฐานเบื้องต้นของการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล คือเป็นการใส่สัญญาณที่มีลักษณะเฉพาะเข้าไปในข้อมูลรูปภาพดิจิทัลจากพื้นฐานดังกล่าวอาจจะแบ่งประเภทของสัญญาณลายน้ำดิจิทัลออกเป็น 2 ชนิดคือ

1. สัญญาณลายน้ำชนิดที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (Visible Watermark) แสดงดังรูปที่ 1
2. สัญญาณลายน้ำชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (Invisible Watermark)



รูปที่ 1 เป็นการใส่สัญญาณลายน้ำดิจิทัลชนิดที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าลงในภาพดิจิทัล

2.1 ประเภทของการกระทำภาพ (Types of Image Operations)

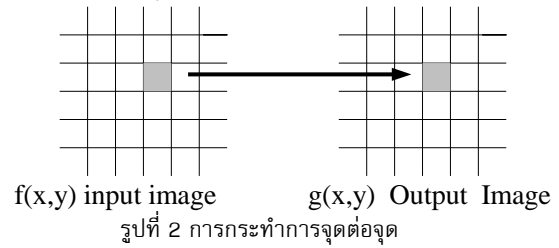
การประมวลผลภาพดิจิทัลจะเป็นกระบวนการที่กระทำ (Operations) ภาพอย่างใดอย่างหนึ่งต่อภาพนำเข้า (Input Image) เพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ (Output Image) มีลักษณะของภาพเป็นไปตามที่ต้องการ แบ่งออกได้เป็นประเภทใหญ่ 3 ประเภทคือ

1. การกระทำจุดต่อจุด (Point Operations) การกระทำแบบนี้นี้อาศัยค่าความเข้มแสงในแต่ละพิกเซลของภาพผลลัพธ์ จะขึ้นกับค่าความเข้มแสงของพิกเซลในภาพนำเข้า ตำแหน่งที่สมนัยกัน ตามรูปที่ 2 ลักษณะการกระทำภาพประเภทนี้ได้แก่ การปรับความสว่าง หรือความคมชัดของภาพดิจิทัล
- ถ้า $f(x,y)$ และ $g(x,y)$ เป็นภาพนำเข้าและภาพผลลัพธ์ตามลำดับ ค่าของพิกเซล $g(x_i,y_i)$ จะมีค่าดังนี้

$$g(x_i, y_i) = \tau[f(x_i, y_i)] \quad (1)$$

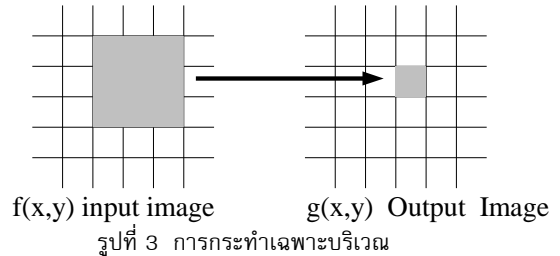
เมื่อ τ เป็นการกระทำภาพใด ๆ

2. การกระทำเฉพาะบริเวณ (Local Operations) สำหรับการกระทำแบบค่าความเข้มแสงของพิกเซลแต่ละจุดในภาพผลลัพธ์จะขึ้นกับค่าความเข้มแสง



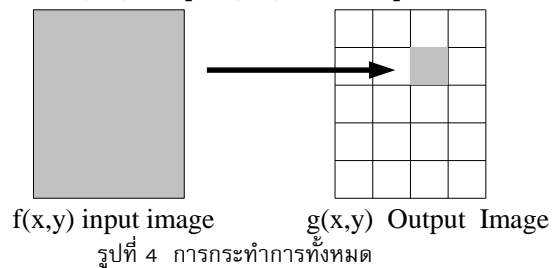
ของกลุ่มพิกเซลที่อยู่ในบริเวณเดียวกัน (Neighborhood Pixels) ดังรูปที่ 3 ลักษณะการกระทำภาพประเภทนี้ได้แก่ การหาขอบ (Edge Detection) การกรองสัญญาณในโดเมนระยะทาง (Spatial Filtering) เป็นต้น ภาพผลลัพธ์ตามลำดับค่าของพิกเซล $g(x_i,y_i)$ จะมีค่าดังนี้

$$g(x_i, y_i) = \tau[\text{neighborhood of } f(x_i, y_i)] \quad (3)$$



3. การกระทำทั้งหมด (Global Operations) การกระทำแบบนี้นี้อาศัยค่าความเข้มแสงในแต่ละพิกเซลของภาพผลลัพธ์จะขึ้นกับภาพความเข้มแสงของพิกเซลทุกตัวในภาพนำเข้า ดังรูปที่ 4 ลักษณะการกระทำภาพประเภทนี้ได้แก่ การทำฮิสโตแกรม (Histogram) เป็นต้น ภาพและผลลัพธ์ตามลำดับของพิกเซล $g(x_i,y_i)$ จะมีค่าดังนี้

$$g(x_i, y_i) = \tau[f(x_i, y_i) \text{ for all } i] \quad (4)$$



2.2 การทำคอนโวลูชัน (Convolution)

การทำคอนโวลูชันในเชิงของการประมวลผลภาพดิจิทัล จะเป็นการกระทำระหว่างภาพนำเข้า $f(x,y)$ ที่มีขนาด $N \times N$ เมื่อ N เป็นเลขจำนวนเต็มใด ๆ กับมาสก์ (Mask)

$m(x,y)$ ซึ่งจะเป็นภาพที่มีขนาด $M \times M$ เมื่อ M เป็นจำนวนเต็มใด ๆ (ปกติจะเป็นเลขคู่) และมีขนาดน้อยกว่า N มาก ๆ เช่น 3×3 5×5 7×7 เป็นต้น ผลลัพธ์ความเข้มแสงใหม่ที่ได้จากการทำคอนโวลูชันจะถูกเก็บไว้ในภาพผลลัพธ์ $g(x,y)$ ซึ่งขั้นตอนการทำคอนโวลูชันจะเป็นไปตามสมการที่ 5

$$g(x,y) = \sum_{x=0}^{(M-1)} \sum_{y=0}^{(M-1)} \sum_{i=0}^{(N-1)} \sum_{j=0}^{(N-1)} f(i,j)m(x-i,y-j) \quad (5)$$

2.3 การกรองสัญญาณภาพในโดเมนเวลา (Image

Filtering In time Domain)

การกรองสัญญาณภาพเป็นเทคนิคแบบหนึ่งของการปรับปรุงภาพ (Image Enhancement) เพื่อการจำกัดสัญญาณความถี่ต่ำ ความถี่สูง หรือความถี่สัญญาณในช่วงหนึ่ง ๆ การกรองสัญญาณภาพทำได้ทั้งในโดเมนเวลาหรือระยะทาง และในโดเมนความถี่ แต่การกรองสัญญาณภาพในโดเมนเวลาทำได้ง่ายและรวดเร็วกว่าการกรองสัญญาณในโดเมนความถี่ หลักการของการกรองสัญญาณภาพในโดเมนเวลาเป็นการกระทำแบบเฉพาะบริเวณแบบหนึ่งที่มีพื้นฐานการทำงานเป็นกระบวนการคอนโวลูชันภาพต้นฉบับกับมาสค์แบบต่าง ๆ โดยที่ลักษณะของมาสค์ที่ใช้จะเป็นตัวกำหนดผลลัพธ์ที่จะได้ ซึ่งการกรองสัญญาณภาพในโดเมนเวลาสามารถแบ่งออกได้เป็นประเภทใหญ่ 3 ประเภทคือ การทำภาพให้เรียบ (Image Smoothing) การทำภาพให้คมชัด (Image Sharpering) และตัวหาขอบ (Edge Detector)

การทำภาพให้เรียบ มีวัตถุประสงค์ในการกำจัดสัญญาณรบกวนซึ่งเป็นสัญญาณประเภทความถี่สูง โดยมีพื้นฐานอาศัยหลักการทำการเฉลี่ยค่าความเข้มแสงเฉพาะบริเวณ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือเป็นการกรองสัญญาณความถี่ต่ำ (Low - pass Filtering) ผลกระทบของการทำภาพให้เรียบก็คือภาพต้นฉบับจะพร่ามัว (Blurring Effect) มีความคมชัดน้อยลง เนื่องจากขอบของวัตถุในรูปภาพจะเป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับค่าความเข้มแสงและจัดว่าเป็นสัญญาณความถี่สูงจะถูกกรองออกไป ดังนั้นเทคนิคการทำภาพให้เรียบส่วนใหญ่จะเน้นที่การกำจัดสัญญาณรบกวนแต่จะไม่ทำลายขอบของวัตถุในภาพ มาสค์ที่ใช้ในการทำภาพให้เรียบจะมีลักษณะที่พิกเซลทุกตำแหน่งจะมีค่าเป็นบวกหมด ตัวอย่างเช่น

$$\text{มาสค์ค่าเฉลี่ย} = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{มาสค์ แบบเกาส์เซียน} = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{32} \begin{bmatrix} 1 & 4 & 1 \\ 4 & 12 & 4 \\ 1 & 4 & 1 \end{bmatrix}$$

โดยทั่วไปมาสค์แบบเกาส์เซียนจะเป็นที่นิยมใช้มากกว่าแบบค่าเฉลี่ย เนื่องจากว่าจะมีผลกระทบต่อการพร่ามัว (Blur) ของภาพต้นฉบับน้อยกว่า และมีได้หลายแบบ ซึ่งตัวกระทำเรียบแบบเกาส์เซียนสองมิติ $G(x,y)$ จะมีค่าตามสมการที่ 6

$$G(x,y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (6)$$

การทำภาพให้เรียบ หรือการกำจัดสัญญาณรบกวนยังสามารถใช้มาสค์ที่มีความซับซ้อนมากขึ้น หรือมาสค์แบบไม่เป็นเชิงเส้นอีกหลายประเภท เช่น ค่ามัธยฐาน (Median) ค่าโหมด (Mode) หรือการหาค่าเฉลี่ยแบบไม่เชิงเส้น เป็นต้น

2.4 หลักการบีบอัดข้อมูลรูปภาพด้วยมาตรฐาน JPEG

JPEG เป็นมาตรฐานในการบีบอัดข้อมูลซึ่งมีความเหมาะสมกับรูปภาพที่มีการกระจายของสีอย่างเป็นธรรมชาติ โดยการทำงานของมาตรฐานนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 โหมดได้แก่

2.4.1 การเข้ารหัสแบบ Sequential (Sequential Encoding) เป็นวิธีการเข้ารหัสแบบ พื้นฐานที่มีการใช้งานโดยทั่วไปซึ่งในการทำงานจะเป็นการสแกนรูปจากซ้ายไปขวา บนลงล่าง

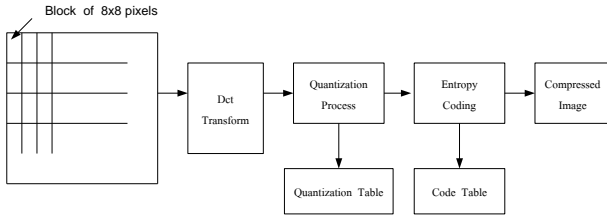
2.4.2 การเข้ารหัสแบบ Progressive (Progressive Encoding) วิธีการนี้จะเริ่มทำงานในระดับความละเอียด (Resolution) ต่ำก่อนแล้วจะค่อย ๆ เพิ่มระดับความละเอียดให้สูงขึ้นไปเรื่อย ๆ

2.4.3 การเข้ารหัสแบบไม่มีการสูญเสีย (Lossless Encoding) วิธีนี้จะทำการบีบอัดข้อมูลในลักษณะที่ไม่มีการสูญหายของข้อมูล สามารถนำผลลัพธ์ที่ได้นี้ไปใช้กับงานเก็บข้อมูลที่ต้องการความละเอียดสูง ๆ เช่น การถ่ายภาพทางการแพทย์

2.4.4 การเข้ารหัสแบบ Hierarchical (Hierarchical Encoding) ในวิธีนี้สามารถบีบอัดข้อมูลชนิดรูปภาพเพียงรูปเดียวในหลายระดับความละเอียดที่แตกต่างกันได้ ซึ่งจะ

มีประโยชน์ในการถอดรหัสข้อมูลเพื่อแสดงผลที่ค่าความละเอียดที่ต้องการได้อย่างอิสระ

ส่วนของการถอดรหัสก็จะเป็นการกระทำในลักษณะย้อนกลับจากการเข้ารหัส การทำงานในส่วนของการเข้ารหัสจะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 รูปแบบการบีบอัดข้อมูลรูปภาพในมาตรฐาน JPEG

ตามมาตรฐาน JPEG ขั้นตอนนี้จะประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนย่อย ได้แก่ การแปลง DCT และกระบวนการกำหนดระดับขนาดของสัญญาณ (Quantization Process)

2.5 การแปลง DCT (direct cosine transforms)

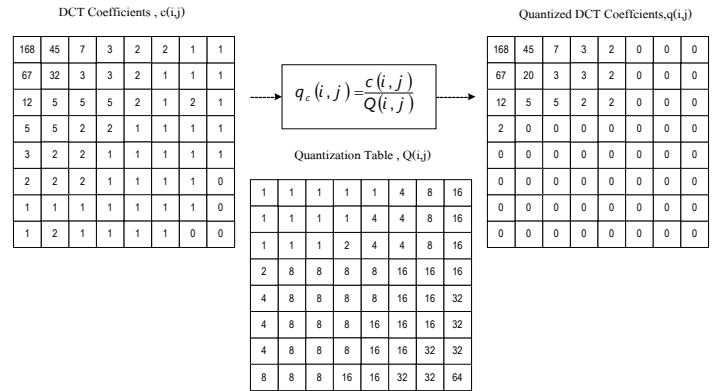
ข้อมูลในแต่ละบล็อกที่ถูกแบ่งออกเป็นขนาด 8x8 พิกเซลแล้ว จะถูกนำมาแปลงโดเมนโดยใช้ DCT สาเหตุที่จัดเตรียมข้อมูลให้มีขนาด 8x8 พิกเซล เนื่องมาจากกระบวนการแปลง DCT ที่มีขนาด 8x8 พิกเซลจะมีความเร็วสูงที่สุด และมีขั้นตอนที่ซับซ้อนน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับกระบวนการแปลง DCT ที่ขนาดอื่น ๆ สังเกตว่าค่าสัมประสิทธิ์ที่ตำแหน่ง (0,0) จะมีชื่อเรียกโดยทั่วไปว่าค่าสัมประสิทธิ์ดีซี (DC coefficient) ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ในตำแหน่งอื่น ๆ จะเรียกว่า สัมประสิทธิ์เอซี (AC coefficients)

2.5.1 กระบวนการกำหนดระดับขนาดของสัญญาณ

เมื่อข้อมูลในแต่ละบล็อกถูกเปลี่ยนให้มาอยู่ในโดเมนความถี่แล้ว รูปภาพประกอบในรูปที่ 5 การกำจัดส่วนที่ไม่มีความสำคัญต่อรูปภาพออกจะใช้กระบวนการที่เรียกว่า Quantization ซึ่งจะทำงานโดยการนำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปหารด้วยค่าที่กำหนดไว้ในตารางควอนไทเซชัน (Quantization Table) ในขั้นตอนนี้สามารถกำหนดได้ว่าจะให้อัตราส่วนในการบีบอัดข้อมูลสูงเพียงใด โดยการตั้งค่าในตารางควอนไทเซชันให้เหมาะสม

ในโปรแกรมการบีบอัดข้อมูลตามมาตรฐาน JPEG ที่มีการใช้งานโดยทั่วไปเราสามารถระบุค่าคุณภาพ (Quality) ของรูปภาพภายหลังการถูกบีบอัดได้ซึ่งค่านี้มีความเกี่ยวข้องกับค่าที่ถูกกำหนดไว้ในตารางควอนไทเซชัน ยิ่งค่านี้มาก

เท่าไรอัตราส่วนในการบีบอัดข้อมูลก็จะต่ำลงมากเท่านั้น และจะได้ภาพผลลัพธ์ที่มีคุณภาพสูงขึ้นด้วย ค่าดังกล่าวที่อยู่ในตารางควอนไทเซชันนี้จะถูกกำหนดให้เป็นมาตรฐานเดียวกันที่แต่ละระดับของคุณภาพของรูปภาพที่ได้ภายหลังการถูกบีบอัด ตัวอย่างการกำหนดระดับขนาดของสัญญาณได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ตัวอย่างการทำการกำหนดระดับขนาดของสัญญาณ

2.6 ค่าอัตราส่วนกำลังของสัญญาณสูงสุดต่อสัญญาณรบกวน (PSNR: Peak Signal to Noise Ratio)

เป็นค่ามาตรฐานที่บอกถึงคุณภาพความแตกต่างระหว่างรูปภาพสองภาพโดยที่ค่าของ PSNR จะให้ค่าสูงมากหากภาพทั้งสองมีความใกล้เคียงกันในทางกลับกันก็จะให้ค่าเข้าใกล้ศูนย์ โดยหาได้จากสมการที่ 7

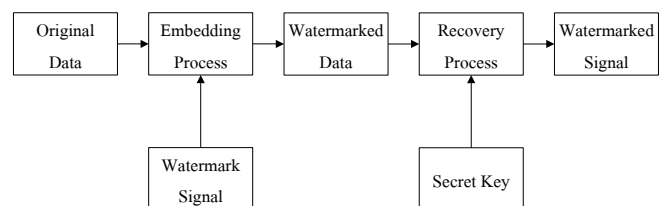
$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{b}{RMSE} \right) \quad (7)$$

เมื่อ b ก็คือค่าสูงสุดของพิกเซลภายในภาพ

และ $MRSE = \sqrt{MSE}$ โดยที่

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [Opixel(i, j) - WPixel(i, j)]^2}{N^2} \quad (8)$$

3. เทคนิคขั้นตอนการเข้ารหัสสัญญาณลายน้ำดิจิทัล



รูปที่ 7 แสดงขั้นตอนการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณลายน้ำดิจิทัล

ในบทความนี้ขอเสนอการใส่สัญญาณลายน้ำดิจิทัล 4 วิธีซึ่งแต่ละวิธีมีจุดสำคัญคือการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มสีของพิกเซลในรูปภาพดิจิทัล ซึ่งในแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Average Comparison)

Comparison)

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย คือ การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพิกเซลรอบข้าง 4 จุดกับค่าของพิกเซลที่พิจารณา แล้วทำการปรับเปลี่ยนค่าความเข้มสีของพิกเซลที่พิจารณาโดยจะเปรียบเทียบกับสัญญาณลายน้ำต้นฉบับ โดยที่ค่าเฉลี่ยหาได้จากสมการ

$$av_{(i,j)} = \frac{1}{4}(B_{(i-1,j)} + B_{(i,j-1)} + B_{(i,j+1)} + B_{(i+1,j)}) \quad (9)$$

เมื่อ $av_{(i,j)}$ คือค่าความเข้มสีเฉลี่ยของพิกเซลรอบข้าง 4 จุดของพิกเซลรูปภาพต้นฉบับที่พิจารณา

$B_{(i,j)}$ คือพิกเซลของรูปภาพต้นฉบับที่

พิจารณา ณ ตำแหน่ง (i, j)

โดยที่ ตำแหน่ง (i,j) มีค่าเท่ากับ $(3,3)$, $(3,6)$, $(6,3)$ และ $(6,6)$

และการปรับเปลี่ยนค่าความเข้มสีของพิกเซลรูปภาพต้นฉบับที่พิจารณาหาได้จากสมการ

เมื่อ $W_{(l,m)} = 0$ และถ้า $(B_{(i,j)} > av_{(i,j)})$

$$\text{กำหนดให้ } B_{(i,j)} = av_{(i,j)} - k \quad (10)$$

เมื่อ $W_{(l,m)} = 1$ และถ้า $(B_{(i,j)} < av_{(i,j)})$

$$\text{กำหนดให้ } B_{(i,j)} = av_{(i,j)} + k \quad (11)$$

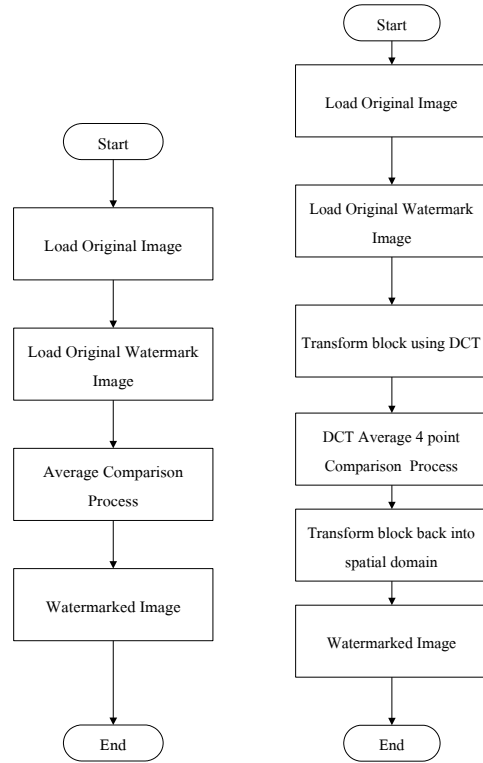
เมื่อ $W_{(l,m)}$ คือ ตำแหน่งของพิกเซลที่พิจารณาของรูปภาพสัญญาณลายน้ำดิจิทัลต้นฉบับ (กำหนดเป็นรูปภาพขาวดำ)

k คือ ค่าความต่างระหว่างค่าเฉลี่ยและค่าของพิกเซลที่พิจารณา โดยแสดงขบวนการดังรูปที่ 8(a)

3.2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DCT 4 จุด (DCT Average 4 point Comparison)

เป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพิกเซลรอบข้าง 8 จุดกับพิกเซลที่พิจารณาซึ่งการหาค่าเฉลี่ยหาได้หลังจากแปลงค่าของพิกเซลรูปภาพต้นฉบับให้อยู่ในค่าของ DCT แล้วจึงทำการหาค่าเฉลี่ยและเปลี่ยนแปลงค่า หลังจากนั้นจึงแปลงกลับให้เป็นค่าของพิกเซลดั้งเดิม (ค่าของสีในพิกเซลรูปภาพ

ดิจิทัลจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 แต่ค่าของการแปลงเป็น DCT จะมีค่ามากกว่า 1 และน้อยกว่า 0 จึงมีความยืดหยุ่น



รูปที่ 8 (a) กระบวนการใส่สัญญาณลายน้ำดิจิทัลโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย(Average Comparison)

รูปที่ 8(b) กระบวนการใส่สัญญาณลายน้ำดิจิทัลโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DCT 4 จุด (DCT Average 4 point Comparison)

มากในการเปลี่ยนแปลงค่า โดยที่ค่าเฉลี่ยพิกเซลรอบข้างของพิกเซลที่พิจารณา หาได้จากสมการ

$$av_{(i,j)} = \frac{1}{8}(\sum_{c=-1}^1 B_{(i+c,j-1)} + \sum_{c=-1}^1 B_{(i+c,j+1)} + \sum_{c=-1}^1 B_{(i+c,j)} - B_{(i,j)}) \quad (12)$$

ในการหาค่าเฉลี่ยจะหาทั้งหมด 4 จุดใน 1 บล็อก โดยที่ 1 บล็อกจะมีขนาด 8×8 พิกเซล และการปรับเปลี่ยนค่าความเข้มสีของพิกเซลอ้างอิงหาได้จากสมการ (10) และ (11) โดยในการทำงานของวิธีนี้จะทำทั้งหมด 4 จุด ใน 1 บล็อก โดยแสดงขบวนการดังรูปที่ 8(b)

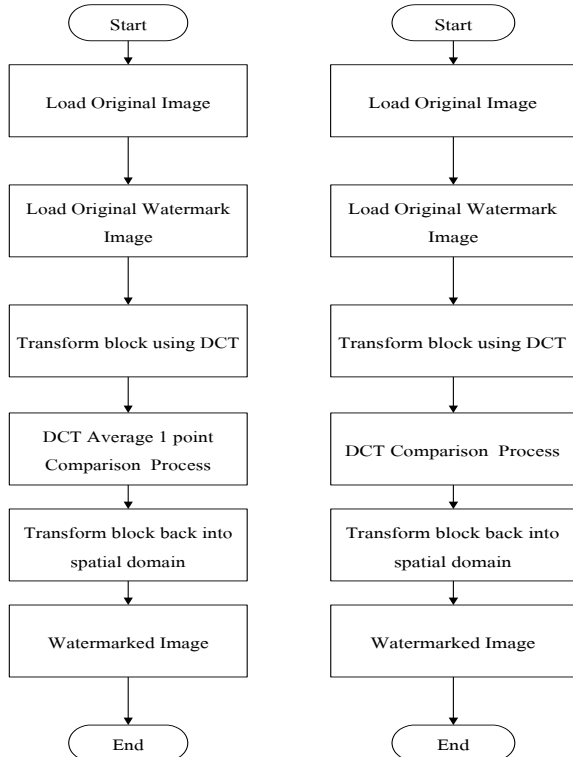
3.3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DCT 1 จุด (DCT Average one-point Comparison)

วิธีนี้เหมือนกับวิธีที่ 3.2 แต่จะหาค่าเฉลี่ยและเปรียบเทียบค่าเพียงแค่ 1 จุดเท่านั้น เพื่อต้องการให้รูปภาพต้นฉบับมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด โดยที่ค่าเฉลี่ย

พิกเซลรอบข้างของพิกเซลที่พิจารณาหาได้จากสมการ

$$av_{(i,j)} = \frac{1}{8} \left(\sum_{c=-1}^1 B_{(i+c,j-1)} + \sum_{c=-1}^1 B_{(i+c,j+1)} + \sum_{c=-1}^1 B_{(i+c,j)} - B_{(i,j)} \right)$$

(13) เมื่อ $av_{(i,j)}$ คือค่าความเข้มเฉลี่ยของพิกเซลรอบข้าง 8 จุดของพิกเซลรูปภาพต้นฉบับที่พิจารณา $B_{(i,j)}$ คือพิกเซลของรูปภาพต้นฉบับที่พิจารณา ณ ตำแหน่ง (i, j)



รูปที่ 9 (a) กระบวนการใส่สัญญาณลายน้ำดิจิทัลโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DCT 1 จุด (DCT Average 1 point Comparison)
รูปที่ 9 (b) กระบวนการใส่สัญญาณลายน้ำดิจิทัลโดยการเปรียบเทียบตำแหน่ง (DCT Comparison)

c คือตำแหน่งของพิกเซลที่พิจารณา โดยที่ ตำแหน่ง (i,j) มีค่าเท่ากับ (4.5)

ในการหาค่าเฉลี่ยจะหาทั้งหมด 1 จุดใน 1 บล็อก โดยที่ 1 บล็อกจะมีขนาด 8×8 พิกเซล และการปรับเปลี่ยนค่าความเข้มของพิกเซลอ้างอิงหาได้จากสมการ (10) และ (11) โดยในการทำงานของวิธีนี้จะทำทั้งหมด 1 จุด ใน 1 บล็อก โดยแสดงขบวนการดังรูปที่ 9(a)

3.4 การเปรียบเทียบตำแหน่ง DCT (DCT Comparison)

วิธีนี้ทำการแปลงค่าของพิกเซลรูปภาพให้อยู่ในค่าของการแปลง DCT แล้วทำการเปลี่ยนตำแหน่ง 2 ตำแหน่งตามเงื่อนไขของพิกเซลในรูปภาพลายน้ำต้นฉบับจากนั้นทำ

การเปรียบเทียบค่าของพิกเซล 2 ตำแหน่งนี้ว่ามีความแตกต่างกันมากกว่าค่าของ k หรือไม่ หากเป็นเท็จให้เพิ่มความต่างของค่าพิกเซล 2 ตำแหน่งนั้น

เมื่อ $W_{(l,m)} = 1$ ให้ $E_{(x,y)} > E_{(u,v)}$ และถ้า $E_{(x,y)} < E_{(u,v)}$ ให้สลับตำแหน่งระหว่าง $E_{(x,y)}$ และ $E_{(u,v)}$

และเมื่อ $W_{(l,m)} = 0$ ให้ $E_{(x,y)} < E_{(u,v)}$ และถ้า $E_{(x,y)} > E_{(u,v)}$ ให้สลับตำแหน่งระหว่าง $E_{(x,y)}$ และ $E_{(u,v)}$

เมื่อเงื่อนไขด้านบนทั้งหมดถูกต้องให้ตรวจสอบระยะห่างระหว่าง $E_{(x,y)}$ และ $E_{(u,v)}$ กับค่า k

ถ้า $(E_{(x,y)} - E_{(u,v)}) < k$ กำหนดให้

$$E_{(x,y)} = E_{(x,y)} + k/2 \quad (14)$$

$$E_{(u,v)} = E_{(u,v)} - k/2 \quad (15)$$

และถ้า กำหนดให้ $(E_{(u,v)} - E_{(x,y)}) < k$

$$E_{(u,v)} = E_{(u,v)} + k/2 \quad (16)$$

$$E_{(x,y)} = E_{(x,y)} - k/2 \quad (17)$$

เมื่อ $W_{(l,m)}$ คือ ตำแหน่งของพิกเซลที่พิจารณาของรูปภาพสัญญาณลายน้ำดิจิทัลต้นฉบับ

$E_{(x,y)}$ คือ ตำแหน่งของพิกเซลรูปภาพดิจิทัลต้นฉบับ ณ ตำแหน่ง (5,2)

$E_{(u,v)}$ คือ ตำแหน่งของพิกเซลรูปภาพดิจิทัลต้นฉบับ ณ ตำแหน่ง (4,3)

k คือ ค่าความต่างระหว่างค่า $E_{(x,y)}$ และค่าของ $E_{(u,v)}$ โดยแสดงขบวนการดังรูปที่ 9(b)

4. เทคนิคขั้นตอนการถอดรหัสสัญญาณลายน้ำดิจิทัล

การถอดรหัสสัญญาณลายน้ำดิจิทัลสำหรับบทความนี้มี 4 วิธี ซึ่งจะสัมพันธ์กับเทคนิคที่ใช้ในการใส่สัญญาณลายน้ำที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3

4.1 การถอดสัญญาณแบบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย

(Average Comparison Recovery)

วิธีนี้ใช้เพื่อถอดสัญญาณลายน้ำจากการใส่สัญญาณลายน้ำด้วยวิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Average Comparison) โดยทำการเปรียบเทียบค่าของพิกเซลที่ตำแหน่งที่พิจารณากับค่าเฉลี่ยของพิกเซลรอบข้าง

4 จุด ซึ่งแต่ละตำแหน่งต้องเหมือนกับตำแหน่งที่ใช้ใส่สัญญาณลายน้ำ โดยพิจารณาได้จากสมการ

$$T'_p = \begin{cases} 1 & \text{if } av'_{(i,j)} < B'_{(i,j)} \\ 0 & \text{if } av'_{(i,j)} > B'_{(i,j)} \end{cases} \quad (18)$$

เมื่อ $p = 1, 2, 3, 4$

T'_p คือ ค่าในแต่ละตำแหน่งของการเปรียบเทียบ

$av'_{(i,j)}$ คือ ค่าความเข้มสีเฉลี่ยของพิกเซลรอบข้าง จุดของพิกเซลรูปภาพลายน้ำดิจิทัลที่พิจารณา

$B'_{(i,j)}$ คือ พิกเซลของรูปภาพลายน้ำดิจิทัลที่พิจารณา ณ ตำแหน่ง (3,3), (3,6), (6,3) และ (6,6)

หาค่าผลรวมของแต่ละจุดได้จากสมการ

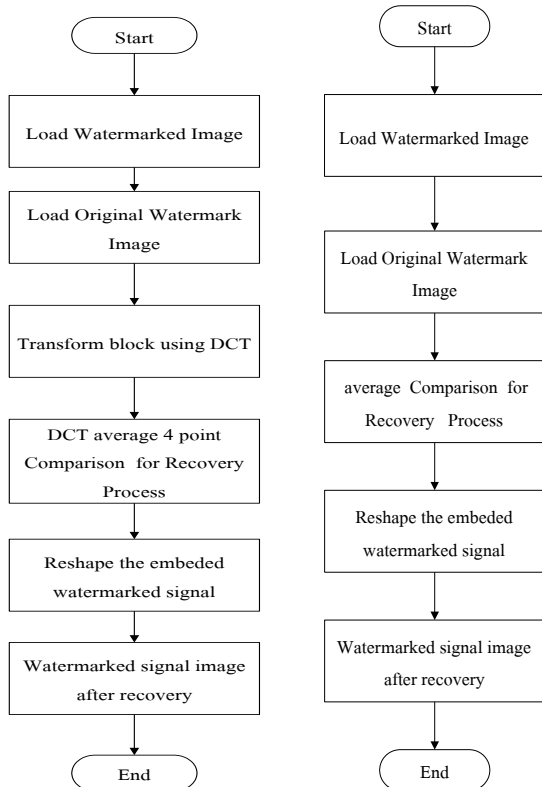
$$T'_t = \sum_{p=1}^4 T'_p \quad (19)$$

เมื่อ T'_t คือค่าผลรวมของแต่ละจุด

จากนั้นก็ทำการเปรียบเทียบความน่าจะเป็น ว่าค่าของพิกเซลที่ถอดได้นั้นควรเป็นค่าไหน ระหว่าง 0 และ 1 โดยหาได้จากสมการ

$$IW_{(l,m)} = \begin{cases} 1 & \text{if } T'_t \geq 2 \\ 0 & \text{if } T'_t < 2 \end{cases} \quad (20)$$

เมื่อ $IW_{(l,m)}$ คือ ค่าของสัญญาณลายน้ำดิจิทัลที่ผ่านการถอดออกจากรูปภาพลายน้ำดิจิทัลแล้ว



รูปที่ 10 (a) กระบวนการถอดสัญญาณลายน้ำดิจิทัลโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Average Comparison)

รูปที่ 10 (b) กระบวนการถอดสัญญาณลายน้ำดิจิทัลโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DCT 4 จุด

4.2 การถอดสัญญาณแบบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย

DCT 4 จุด (DCT Average 4 point Comparison Recovery)

วิธีการนี้คล้ายกับวิธี Average Comparison Recovery แต่ก่อนทำการเปรียบเทียบต้องทำการแปลงค่า DCT ของรูปภาพก่อน แล้วจึงทำการเปรียบเทียบค่า หาค่าเฉลี่ยจากสมการ

$$av' = \frac{1}{8} \left(\sum_{c=1}^1 B'_{(i+c,j-1)} + \sum_{c=1}^1 B'_{(i+c,j+1)} + \sum_{c=1}^1 B'_{(i+c,j)} - B'_{(i,j)} \right) \quad (21)$$

เมื่อ $av'_{(i,j)}$ คือค่าความเข้มสีเฉลี่ยของพิกเซลรอบข้าง 8 จุดของพิกเซลรูปภาพลายน้ำดิจิทัลที่พิจารณา

$B'_{(i,j)}$ คือพิกเซลของรูปภาพลายน้ำดิจิทัลที่พิจารณา ณ ตำแหน่ง (i, j) โดยค่าในแต่ละตำแหน่งของการเปรียบเทียบจะมีค่าดังสมการ (18), ค่าผลรวมของแต่ละจุดได้จากสมการ (19) และ $IW_{(l,m)}$ จะมีค่าดังสมการ (20)

4.3 การถอดสัญญาณเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DCT 1

จุด (DCT Average one-point Comparison Recovery)

ลักษณะการถอดสัญญาณลายน้ำจะเหมือนกับวิธี Average Comparison Recovery แต่ไม่ต้องเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็น ซึ่งใช้การเปรียบเทียบค่าโดยตรงเลย ตามสมการคือ

$$IW_{(l,m)} = \begin{cases} 1 & \text{if } av'_{(i,j)} < B'_{(i,j)} \\ 0 & \text{if } av'_{(i,j)} > B'_{(i,j)} \end{cases} \quad (22)$$

เมื่อ $IW_{(l,m)}$ คือ ค่าของพิกเซลสัญญาณลายน้ำดิจิทัล ณ ตำแหน่ง (l, m) ที่ผ่านการถอดจากรูปภาพลายน้ำดิจิทัล แสดงขอบการดังรูป 11(a)

4.4 การถอดสัญญาณแบบเปรียบเทียบตำแหน่ง DCT (DCT Comparison Recovery)

การถอดสัญญาณลายน้ำโดยวิธีนี้ ทำการเปรียบเทียบค่าของพิกเซล 2 ตำแหน่งที่เราได้พิจารณาไว้ว่าตำแหน่งไหนมากกว่ากัน แล้วค่าของพิกเซลรูปภาพลายน้ำดิจิทัลจะเป็นไปตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ อธิบายได้

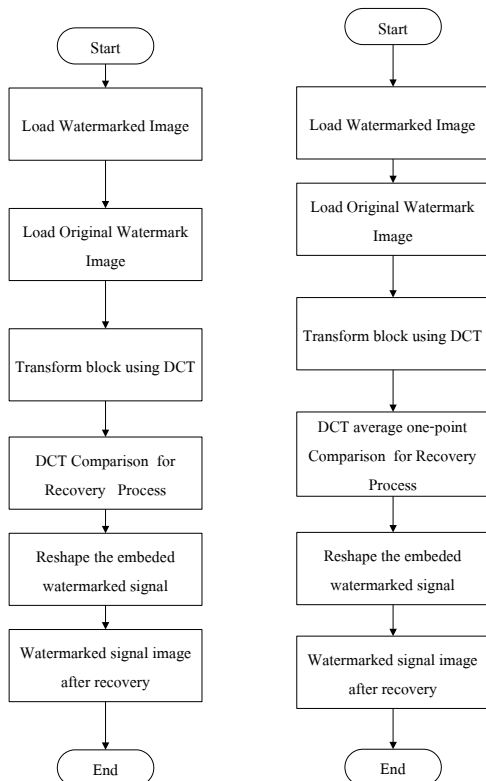
ตามสมการ

$$IW_{(l,m)} = \begin{cases} 1 & \text{if } E'_{(x,y)} > E'_{(u,v)} \\ 0 & \text{if } E'_{(x,y)} < E'_{(u,v)} \end{cases} \quad (23)$$

โดยที่ $E'_{(x,y)}$ คือตำแหน่งของพิกเซลรูปภาพลายน้ำดิจิทัล ณ ตำแหน่ง (x, y)

และ $E'_{(u,v)}$ คือตำแหน่งของพิกเซลรูปภาพลายน้ำดิจิทัล ณ ตำแหน่ง (u, v) แสดงขบวนการดังรูป

11(b)



รูปที่ 11 (a) กระบวนการถอดสัญญาณลายน้ำดิจิทัลโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DCT 1 จุด

รูปที่ 11 (b) กระบวนการถอดสัญญาณลายน้ำดิจิทัลโดยการเปรียบเทียบตำแหน่ง DCT

5. โปรแกรมสร้างและถอดสัญญาณลายน้ำดิจิทัล

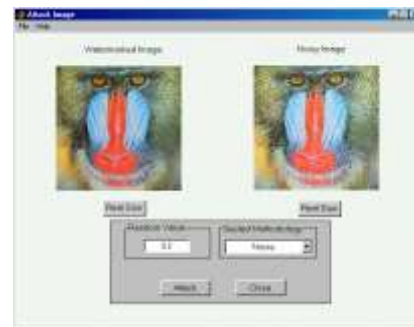
ในบทความนี้ ได้ทำการทดลองสร้างโปรแกรมที่สามารถใส่สัญญาณลายน้ำดิจิทัล และถอดสัญญาณลายน้ำดิจิทัลโดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งแสดงหน้าจอของโปรแกรมดังรูป 12 โดยโปรแกรมจะแสดงรูปภาพดิจิทัลต้นฉบับ (original image) ทางด้านซ้ายบนของหน้าจอ และแสดงผลรูปภาพที่ผ่านการใส่สัญญาณลายน้ำดิจิทัลแล้ว (watermarked image) ทางด้านขวาของจอ โดยมีรูปทางด้านซ้ายล่างของหน้าจอเป็น ภาพลายน้ำต้นฉบับ (original watermark image) ซึ่งจะต้องเป็นภาพขาวดำ มี

ขนาดไม่เกินจำนวนพิกเซลทั้งหมดของรูปภาพดิจิทัลต้นฉบับหารด้วย 64 และมุมขวาด้านล่างของจอภาพจะเป็นการแสดงค่า k , PSNR, เวลาที่ใช้ในการประมวลผล และ วิธีการที่ใช้ในการสร้างสัญญาณ



รูปที่ 12 แสดงหน้าจอและการทำงานของโปรแกรมสร้างสัญญาณลายน้ำดิจิทัลโดยใช้โปรแกรม MATLAB

เมื่อนำสัญญาณลายน้ำดิจิทัลเข้าไปรวมกับภาพต้นฉบับแล้ว ก็จะมีการโจมตีรูปภาพ (attack) ที่ผ่านการใส่สัญญาณลายน้ำดิจิทัลแล้ว เพื่อทดสอบว่าสัญญาณลายน้ำดิจิทัลต้นฉบับจะยังคงสามารถอยู่ในสภาพเดิมได้หรือไม่ หลังจากการกู้คืนสัญญาณลายน้ำกลับมา โดยได้ทำการสร้างโปรแกรมการโจมตีรูปภาพ watermarked image ขึ้นมาโดยสร้างสัญญาณ noise เข้ารบกวนรูปภาพแสดงหน้าจอดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แสดงหน้าจอและการทำงานของโปรแกรมโจมตีรูปภาพโดยสร้างสัญญาณ noise

เมื่อทำการโจมตีรูปภาพแล้วก็จะทำการถอดสัญญาณลายน้ำดิจิทัลออกมา (image recovery) โดยได้สร้างโปรแกรมเพื่อถอดสัญญาณลายน้ำดิจิทัลออกมา โดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งแสดงหน้าจอของโปรแกรมดังรูป 14



รูปที่ 14 แสดงหน้าจอและการทำงานของโปรแกรมถอดสัญญาณลายน้ำดิจิทัล

6. การทดลองและผลการทดลอง

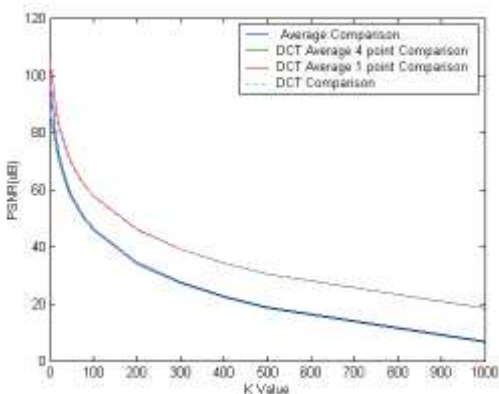
6.1 จากโปรแกรมที่ได้สร้างขึ้น จะได้ทำการทดลองสร้างภาพที่มีการใส่สัญญาณลายน้ำดิจิทัล โดยใช้รูปภาพต้นฉบับเป็นภาพสี ขนาด 512 x 512 พิกเซล และใช้ภาพลายน้ำต้นฉบับ เป็นภาพขาวดำขนาด 64 x 64 พิกเซล แสดงดังรูปที่ 15



(a) (b)

รูปที่ 15 (a) แสดงรูปภาพต้นฉบับที่เป็นภาพสี (b) ภาพลายน้ำต้นฉบับ เป็นภาพขาวดำ

ทำการทดลองใส่สัญญาณสัญญาณลายน้ำดิจิทัล โดยใช้โปรแกรมที่สร้างขึ้น จากนั้นทำการวัดค่า PSNR ที่ได้เทียบกับค่า k ที่ปรับค่าอยู่ในช่วง 0-1000 แสดงผลได้เป็นกราฟดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 กราฟแสดงผลการทดลองโปรแกรมใส่สัญญาณลายน้ำดิจิทัลโดยใช้รูปภาพ จากรูปที่ 15

6.2 ทำการทดลองถอดสัญญาณลายน้ำดิจิทัลออกจากโปรแกรมที่ได้สร้างขึ้น โดยยังไม่มีการโจมตีภาพ ซึ่งจะได้ผลดังนี้



รูปที่ 17 ผลการถอดสัญญาณลายน้ำดิจิทัลเมื่อใช้วิธีแบบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ที่ค่า $k = 1$



รูปที่ 18 ผลการถอดสัญญาณลายน้ำดิจิทัลเมื่อใช้วิธีแบบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ที่ค่า $k = 100$



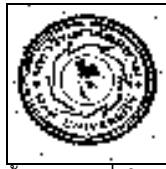
รูปที่ 19 ผลการถอดสัญญาณลายน้ำดิจิทัลเมื่อใช้วิธีแบบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DCT 4 จุด ที่ค่า $k = 1$



รูปที่ 20 ผลการถอดสัญญาณลายน้ำดิจิทัลเมื่อใช้วิธีแบบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DCT 4 จุด ที่ค่า $k = 100$



รูปที่ 21 ผลการถอดสัญญาณลายน้ำดิจิทัลเมื่อใช้วิธีแบบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DCT 1 จุด ที่ค่า $k = 1$



รูปที่ 22 ผลการถอดสัญญาณลายหน้าดิจิตอลเมื่อใช้วิธีแบบ
เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DCT 1 จุด ที่ค่า $k = 100$



รูปที่ 23 ผลการถอดสัญญาณลายหน้าดิจิตอลเมื่อใช้วิธีแบบ
เปรียบเทียบตำแหน่ง DCT ที่ค่า $k = 1$

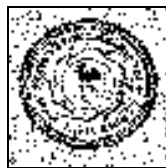


รูปที่ 24 ผลการถอดสัญญาณลายหน้าดิจิตอลเมื่อใช้วิธีแบบ
เปรียบเทียบตำแหน่ง DCT ที่ค่า $k = 100$

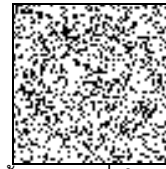
6.3 ทำการทดลองถอดสัญญาณลายหน้าดิจิตอลออก
จากโปรแกรมที่ได้สร้างขึ้น โดยทำการโจมตีภาพก่อนการ
ถอดสัญญาณลายหน้าออก กำหนดให้ random value = 0.1
โดยใช้โปรแกรมที่สร้างขึ้น ซึ่งจะได้ผลดังนี้



รูปที่ 25 ผลการถอดสัญญาณลายหน้าดิจิตอลเมื่อใช้วิธีแบบ
เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ที่ค่า $k = 1$



รูปที่ 26 ผลการถอดสัญญาณลายหน้าดิจิตอลเมื่อใช้วิธีแบบ
เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ที่ค่า $k = 100$



รูปที่ 27 ผลการถอดสัญญาณลายหน้าดิจิตอลเมื่อใช้วิธีแบบ
เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DCT 4 จุด ที่ค่า $k = 1$



รูปที่ 28 ผลการถอดสัญญาณลายหน้าดิจิตอลเมื่อใช้วิธีแบบ
เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DCT 4 จุด ที่ค่า $k = 100$



รูปที่ 29 ผลการถอดสัญญาณลายหน้าดิจิตอลเมื่อใช้วิธีแบบ
เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DCT 1 จุด ที่ค่า $k = 1$



รูปที่ 30 ผลการถอดสัญญาณลายหน้าดิจิตอลเมื่อใช้วิธีแบบ
เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DCT 1 จุด ที่ค่า $k = 100$



รูปที่ 31 ผลการถอดสัญญาณลายหน้าดิจิตอลเมื่อใช้วิธีแบบ
เปรียบเทียบตำแหน่ง DCT ที่ค่า $k = 1$



รูปที่ 32 ผลการถอดสัญญาณลายหน้าดิจิตอลเมื่อใช้วิธีแบบ
เปรียบเทียบตำแหน่ง DCT ที่ค่า $k = 100$

7. สรุปผลการทดลอง

บทความนี้เป็นวิธีการสร้างสัญญาณลายน้ำดิจิทัล (digital watermarking method) ลงในภาพต้นฉบับ ซึ่งมีจุดมุ่งหมายในการแสดงความเป็นเจ้าของในรูปภาพนั้นๆ และสามารถป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์จากผู้ที่มีได้รับอนุญาต โดยบทความนี้ได้นำเสนอวิธีการสร้างลายน้ำดิจิทัลทั้งหมด 4 วิธี ซึ่งจากการทดลองพบว่าทั้ง 4 วิธีนี้สามารถสร้างภาพที่มีลายน้ำฝังตัวอยู่ได้ โดยรูปภาพต้นฉบับไม่ผิดเพี้ยนไม่สามารถมองเห็นภาพลายน้ำได้ด้วยตาเปล่า และสามารถถอดสัญญาณลายน้ำออกมาได้ โดยมีความชัดเจนลดลงไปจากเดิมบ้าง โดยที่ค่า $k = 100$ จะสามารถถอดภาพลายน้ำออกมาได้ชัดเจนกว่าที่ค่า $k = 1$ (ในกรณีที่ยังไม่โจมตีภาพ) และเมื่อทำการทดลองโดยทำการโจมตีภาพโดยการใส่สัญญาณรบกวนเข้าไปในภาพ ซึ่งจะทำให้รูปภาพที่มีลายน้ำฝังตัวอยู่มีความชัดเจนลดลงไปบ้างพบว่าที่ค่า $k = 100$ จะยังสามารถถอดภาพลายน้ำออกมาได้บ้าง แต่ที่ค่า $k = 1$ กลับไม่สามารถถอดภาพลายน้ำออกมาได้เลยทั้ง 4 วิธี และเมื่อวิเคราะห์ในแต่ละวิธีพบว่าวิธีการสร้างสัญญาณและถอดภาพสัญญาณลายน้ำแบบ DCT Comparison จะมีความทนทานต่อการถูกโจมตีด้วยสัญญาณรบกวนมากกว่าวิธีอื่นๆ

ท้ายสุดนี้คณะผู้จัดทำบทความนี้หวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยชิ้นนี้จะได้มีการ พัฒนาและช่วยแก้ปัญหาในด้านการละเมิดลิขสิทธิ์ ได้บ้าง

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] วิพนธ์ พันมา , ภิระเดช จันทะพันธ์ และ วิระเดช ไชยวารี ., “การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล” ปรินญาณิพนธ์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยสยาม ปีการศึกษา 2545
- [2] W. Bender, D. Gruhl, N.Morimoto and A. Lu, “Techniques for data hiding”, IBM System Journal, Vol. 35, 1996, PP, 313-336
- [3] J. Cox, J. Killiar, T. Leighton and T. Shamoan, “Secure spread spectrum Watermarking for Multimedia”, IEEE Transactions on Image Processing, December. 1997, pp. 1673-1687
- [4] M.D. Swanson, B.Zhu, and A.H. Tewfik, “Transparent robust image watermarking”, Proceedings of IEEE

International conference on Image Processing, Vol. 3, September. 1996, pp.211-214

[5] M.J. Tsai, K.Y. Yu and Y.2 chen, “Joint wavelet and spatial transformation on Consumer Electronics, February. 2000, pp. 241-245

[6] X.G. ria, C.G. Boncelet and G.R. Arce, “A multi resolution watermark for digital images”, Proceedings of International Conference on Image processing 1997, pp. 548-551

[7] Kutter M., Jordan F. and Boseen F., “Digital Signature of color image Using amplitude modulation”, Journal of Electronics Imaging, Vol. 7, 1998, pp. 326-332