

ความคงทนของภาพโลโก้ลายน้ำโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแพ็คเกจ

Toward Robust Logo Image Watermarking using Wavelet Packet

ชัยยา จารุภาค และ ผศ.ดร. อรรถสิทธิ์ หล้าสกุล
ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
E-mail : chaiya2547@yahoo.com, klattasi@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการฝังและถอดลายน้ำดิจิทัลลงในรูปภาพเฉพาะตำแหน่งที่สนใจ ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาและประยุกต์ใช้หลักการแปลงโดเมน โดยใช้การแปลงแบบเวฟเล็ตแพ็คเกจ ในกระบวนการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัล ด้วยการแบ่งบล็อกย่อยขนาด 4x4 ในซับแบนด์ H, V และ D เพื่อหาตำแหน่งที่สนใจโดยการหาค่า max, min และ distance ในแต่ละบล็อกย่อย และนำค่า distance มาเปรียบเทียบกับ เพื่อเลือกเฉพาะตำแหน่งที่สำคัญ แล้วอ้างอิง ตำแหน่งที่เราเลือกไปยังซับแบนด์ AH, AV และ AD เพื่อใช้สำหรับฝังลายน้ำ ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองพบว่า การใช้เวฟเล็ตแพ็คเกจ ในโดเมนการแปลงแทนการใช้เวฟเล็ตแบบธรรมดา จะช่วยให้ประสิทธิภาพ ในการทำภาพลายน้ำดิจิทัลสูงขึ้น โดยวัดจากคุณภาพที่ดีขึ้นของค่า PSNR ของรูปภาพที่ผ่านกระบวนการการบีบอัดข้อมูล ซึ่งมีค่าสูงขึ้นประมาณ 20% เมื่อเทียบกับวิธีการเดิม และยังคงทนทานต่อกระบวนการประมวลสัญญาณต่างๆ เช่น การลดขนาดของภาพ การหมุนภาพ เป็นต้น

Abstract

This paper presents an effective watermarking in region-of-interest (ROI) of the image that is robust against traditional JPEG compression of image. In this research work, a wavelet packet transform is considered and applied

in watermark embedding process. Coarse levels H, V and D are divided to group pixels of 4x4. Associate with four subbands in its direction, the absolute distance value between Max and Min and its location are measured for embedding process. This make the proposed method have more accurate location for embedding data. Further more, secret key is also utilized to against unauthorized users. The experimental results shown that, the proposed method is far superior to the traditional method rate up 20%. The other degradations such as zooming and rotation are also investigated to show the performance.

Key Words: Watermarking, Watermark Embedding, ROI, Wavelet Packet.

1. บทนำ

ในปัจจุบันการติดต่อสื่อสารสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ปัญหาทางด้านการละเมิดลิขสิทธิ์ (Copyright) สามารถทำได้ง่าย รวมถึงการป้องกันไม่ให้เกิดการละเมิดลิขสิทธิ์ก็สามารถทำได้ยากเช่นเดียวกัน ดังนั้นวิธีการเพื่อใช้ในการติดตามและยืนยันความเป็นเจ้าของสิทธิ์จึงน่าจะเป็นอีกวิธีหนึ่งเพื่อช่วยในการรักษาผลประโยชน์ที่พึงได้ให้กับเจ้าของผลงานนั้นๆ การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล (Digital watermarking) [1] จึงเป็นวิธีที่ช่วยในการยืนยันความเป็นเจ้าของสิทธิ์ได้เป็นอย่างดี ภาพพิมพ์ลายน้ำ

ดิจิทัล เป็นเทคนิคที่ใช้ในการตรวจสอบความเป็นเจ้าของ ในผลงาน โดยการซ่อนข้อมูลเพื่อใช้ในการยืนยันสิทธิ์ในการเป็นเจ้าของไปกับผลงานที่ได้คิดหรือกระทำขึ้น โดยสามารถใช้ได้กับ ข้อมูลหลายๆ ชนิด เช่น รูปภาพ เสียง วิดีโอ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งภาพพิมพ์ลายน้ำที่คั้นนั้น จะต้องไม่ทำให้คุณภาพของข้อมูลนั้นลดต่ำจนเกินไป และเมื่อมีการคัดลอกข้อมูลเกิดขึ้น สัญญาณลายน้ำดังกล่าวต้องติดไปกับข้อมูลที่ถูกทำการคัดลอกไปด้วย ซึ่งสัญญาณลายน้ำนี้จะถูกนำมาใช้ในการอ้างอิงถึงบุคคลที่เป็นเจ้าของที่แท้จริง

หลักการในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล โดยทั่วไป เทคนิคในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลทั้งหลาย ส่วนแต่มีรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน วางอยู่บนหลักการเดียวกันนั้นคือ เป็นการใส่สัญญาณชนิดใดชนิดหนึ่งเข้าไปในตัวข้อมูล มัลติมีเดีย (Multimedia) ก่อนที่จะทำการเผยแพร่ ซึ่งสัญญาณนี้อาจถูกเปลี่ยนแปลงแก้ไขหรือตรวจสอบได้โดย ผู้ที่เป็นเจ้าของหรือผู้ที่ได้รับอนุญาตเท่านั้น

ภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลทุกประเภทจะต้องประกอบด้วย ขั้นตอนต่างๆ ไปที่เหมือนกันคือ การใส่ลายน้ำดิจิทัล (Watermark Embedding) และการตรวจสอบ (Detection) หรือการนำลายน้ำดิจิทัลออก (Watermark Extraction) ข้อมูลมัลติมีเดีย จะผ่านกระบวนการใส่สัญญาณลายน้ำ โดยสัญญาณที่ใส่เข้าไปจะมีค่าขึ้นอยู่กับกุญแจลับ (secret key) ที่ใช้ในการเข้ารหัส เพื่อที่ว่าจะได้มีเพียงผู้ที่ถือกุญแจลับนี้เท่านั้นที่จะสามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขสัญญาณลายน้ำดังกล่าวได้ เช่นเดียวกันกับในกระบวนการตรวจสอบสัญญาณลายน้ำ ซึ่งจำเป็นต้องใช้กุญแจลับในการนำสัญญาณลายน้ำที่ถูกต้องกลับคืนมา

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

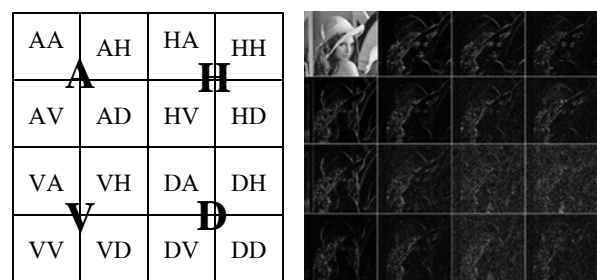
วิธีการแปลงเวฟเล็ดชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการฝังสัญญาณลายน้ำคือการแปลงเวฟเล็ดแพกเกตส์ [2] ซึ่งจุดเด่นของการแปลงเวฟเล็ดแพกเกตส์จะอยู่ที่ความสามารถในการแยกแยะรายละเอียดของสัญญาณภาพ ได้เด่นชัด

มากกว่าการแปลงเวฟเล็ดธรรมดาโดยเฉพาะในช่วงความถี่ กลางและความถี่สูง ด้วยเหตุนี้ Omrit และคณะ [3] จึงได้นำเอาการแปลงเวฟเล็ดแพกเกตส์มาประยุกต์ใช้ในการทำ ภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลกับรูปภาพ ซึ่งวิธีการที่กล่าวมานั้น สามารถทนต่อการบีบอัดข้อมูลแบบ JPEG ในระดับหนึ่ง เท่านั้น เพราะเมื่อมีการบีบอัดข้อมูลสูงขึ้นทำให้ไม่สามารถหาลายน้ำดิจิทัลกลับคืนมาได้อย่างถูกต้อง รวมทั้งยังไม่ คงทนต่อการประมวลสัญญาณแบบอื่น เช่น การหมุนภาพ

3. วิธีการที่นำเสนอ

จากปัญหาที่กล่าวมา เราจึงเสนอการปรับปรุงวิธีการฝัง ลายน้ำที่ให้ผลที่ดีขึ้น โดยเราใช้วิธีการแปลงโดเมนด้วยเวฟ เล็ดแพกเกตส์ 2 ระดับชนิด Haar กับรูปภาพต้นฉบับ 'Lena' ขนาด 512x512 พิกเซล แล้วแบ่งบล็อกย่อยขนาด 4x4 ที่ซับ แบนด์ H, V และ D (รูปที่ 1(ก)) เพื่อหาตำแหน่งที่สนใจ จากนั้นอ้างอิงตำแหน่งที่หาได้ไปยังซับแบนด์ AH, AV และ AD (รูปที่ 1(ข)) ตามลำดับ ซึ่งเป็นซับแบนด์ที่ถูก เลือกใช้ฝังลายน้ำเพราะอยู่ในช่วงความถี่ที่เหมาะสมที่สุด [4] เพื่อให้ได้ภาพลายน้ำที่คงทนจากการบีบอัดแบบต่างๆ ได้ดี ซึ่งมีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการแปลงภาพต้นฉบับด้วยเวฟเล็ดแพกเกตส์ 2 ระดับ ดังรูปที่ 1(ข)



(ก)

(ข)

ภาพที่ 1. (ก) ลักษณะการแปลงเวฟเล็ดแพกเกตส์ระดับ 2 (ข) ผลจากการแปลงเวฟเล็ดแพกเกตส์ 2 ระดับ 'Lena'

ขั้นตอนที่ 2 หลังจากการแปลงเวฟเล็ทที่ 2 ระดับแล้วหาตำแหน่งที่จะฝังด้วยวิธีการแยกชั้นแบนด์ตามภาพที่ 1 (ก) เป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่ม 1 มี AH, HA, HH, HV, HD กลุ่ม 2 มี AV, VA, VH, VV, VD และกลุ่ม 3 มี AD, DA, DH, DV, DD นำชั้นแบนด์ทั้งหมดของกลุ่ม 1 (AH, HA, HH, HV, HD) มาแบ่งเป็นบล็อกย่อยขนาด 4x4 โดยเริ่มจากทางซ้ายเพื่อหาค่า max, min ตามสมการ(1) [5] ของแต่ละบล็อกย่อย โดยจะหาค่า max, min เฉพาะที่ชั้นแบนด์ HA, HH, HV และ HD หลังจากที่ทำค่าได้แล้วเราจะนำตำแหน่งของค่าเหล่านี้ไปอ้างอิงกับชั้นแบนด์ AH ที่เป็นตำแหน่งเดียวกันเพื่อจะเก็บค่าไว้ใช้ในการฝังลายน้ำ รวมทั้งหา distance ระหว่างค่า max, min ตามสมการ(2) [5] และเก็บค่าไว้เหมือนกัน หลังจากนั้นทำในลักษณะเดียวกันในบล็อกที่เหลือ (2, 3, ..., 1024) จนครบทั้งบล็อกของกลุ่ม 1 แล้วจัดเรียงลำดับค่า distance จากมากไปน้อย เมื่อทำการหาค่า max, min และ distance ของกลุ่ม 1 เสร็จแล้ว ก็ใช้วิธีการเดียวกันกับกลุ่ม 2 และ 3 จนครบ แล้วนำค่า distance ของแต่ละกลุ่มมาเปรียบเทียบกันเพื่อให้สามารถกำหนดค่า Threshold ที่เหมาะสมที่จะฝังลายน้ำได้พอดีกับจำนวนลายน้ำ โดยการทดลองได้กำหนด Threshold ที่ 600

$$b_m(u, v) = \max_k \{b_k(u, v)\} \quad k=1,2,3,4 \quad (1)$$

$$b_n(u, v) = \min_k \{b_k(u, v)\} \quad k=1,2,3,4$$

โดยที่ $b_m(u, v)$ เป็นตำแหน่งของค่า max, $b_n(u, v)$ เป็นตำแหน่งของค่า min และ k เป็นจำนวนชั้นของชั้นแบนด์

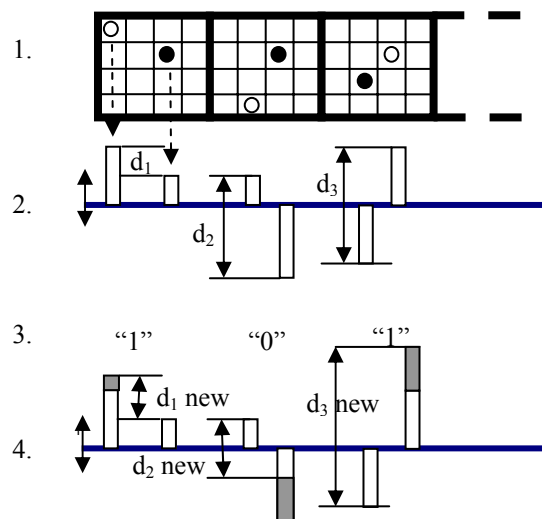
$$d(u, v) = |b_m(u, v) - b_n(u, v)| \quad (2)$$

d เป็นระยะห่างระหว่างค่า max และ min

ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนการฝังลายน้ำ นำภาพลายน้ำขนาด 32x32 พิกเซล มาผ่านการทำจำนวนสุ่มเทียม (Pseudo Random) เพื่อเข้ารหัสในการกระจายของภาพลายน้ำ โดยค่าพิกเซลของภาพลายน้ำ จะผ่านกระบวนการคำนวณสับเปลี่ยน

ตำแหน่งของข้อมูลแบบจำนวนสุ่มเทียม ซึ่งเราจะรู้ปลายทางตำแหน่งใหม่ขึ้นมา โดยใช้วิธีสับเปลี่ยนตำแหน่งข้อมูลแบบ Linear Feedback Shift Register (LFSR) โดยการตั้งค่าสถานะของ Shift Register ซึ่งขบวนการของจำนวนตัวเลขสุ่มเทียมสามารถที่จะสร้างและกู้กลับคืนได้ จากการตั้งค่าสถานะของการ Shift Register ให้ตรงกับค่าสถานะเริ่มต้นที่เราตั้งไว้ ซึ่งก็เปรียบเหมือนรหัสหรือกุญแจที่เราต้องมีเพื่อที่จะกู้ลักษณะลายน้ำดิจิทัลกลับคืนมา

3.1 วิธีการฝังลายน้ำ (แสดงในแผนผังรูปที่ 3) จากขั้นตอนที่ 2 เรานำรูปภาพต้นฉบับที่ผ่านการแปลงเวฟเล็ทแพ็คเกจส์ 2 ระดับแล้ว มาฝังข้อมูลภาพลายน้ำที่ผ่านการสุ่มเทียมแล้วลงในพื้นที่ที่เหมาะสม โดยใช้สมการ (3) โดยค่าของ α จะเป็นค่าระดับความแรงของสัญญาณลายน้ำ ส่วนผลการฝังลายน้ำแสดงได้ดังรูปที่ 2 ในแถวที่หนึ่งเป็นขนาดของบล็อกสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ท ขนาด 4x4 แสดงให้เห็นจำนวนสามบล็อก โดยจุดวงกลมขาวเป็นจุดตำแหน่งค่า Max และจุดสีดำเป็นจุดตำแหน่งค่า Min, แถวที่สองเป็นค่า Distance โดยประมาณ, แถวที่สามเป็นค่าข้อมูลไบนารีที่จะทำการฝัง และสุดท้ายในแถวที่สี่เป็นการแสดงค่าของ Distance ที่เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 2. ภาพจำลองวิธีการฝังลายน้ำในตำแหน่ง ROI ที่หาได้และผลลัพธ์จากการฝังลายน้ำ

$$b_m(u, v) = b_m(u, v) + \alpha * d(u, v) \quad (3)$$

$$b_n(u, v) = b_n(u, v) + \alpha * d(u, v)$$

โดยเริ่มฝังจากตำแหน่งทางซ้ายของซับแบนด์ AH ที่มีกร เรียงลำดับและกำหนด Threshold จนเหลือตำแหน่งพอที่จะ ฝังลายน้ำ โดยถ้าค่าลายน้ำเป็น 1 จะฝังลายน้ำที่ตำแหน่ง max ของบล็อกซึ่งจะทำให้ distance มีค่าเพิ่มขึ้น (รูปที่ 2 แถวที่ 4) และถ้าค่าลายน้ำเป็น 0 จะฝังที่ตำแหน่ง min ของ บล็อกจะทำให้ distance มีค่าลดลง (รูปที่ 2 แถว 4) ฝังจน ครบตำแหน่งที่ได้จากการกำหนดค่า Threshold และจนลาย น้ำชุดแรกหมด หลังจากนั้นเริ่มฝังที่ซับแบนด์ AV และที่ ซับแบนด์ AD ตามลำดับ ฝังจนครบจำนวนลายน้ำ เมื่อฝัง ลายน้ำเสร็จแล้วทำการแปลงกลับเวฟเล็ทแพคเกจส์ (Inverse Wavelet packet) จะได้ภาพที่ผ่านการฝังลายน้ำ จากนั้นนำภาพที่ได้ไปผ่านขบวนการบีบอัดข้อมูลเพื่อ ทดสอบประสิทธิภาพต่อไป

3.2 การถอดลายน้ำดิจิทัล (แผนผังรูปที่ 4) ในส่วนการ ถอดลายน้ำเพื่อหาสัญญาณลายน้ำที่ฝังไว้ นั้น เราจะต้องมี รูปภาพต้นฉบับ และกุญแจรหัสเพื่อใช้ในการ ถอดลายน้ำ ดิจิทัล โดยนำรูปภาพที่ต้อง การทดสอบหาลายน้ำดิจิทัล และ รูปภาพต้นฉบับมาทำการแปลงเวฟเล็กแพคเกจส์ กับ รูปภาพทั้งสอง แล้วทำการเลือกตำแหน่งของรูปภาพทั้งสอง

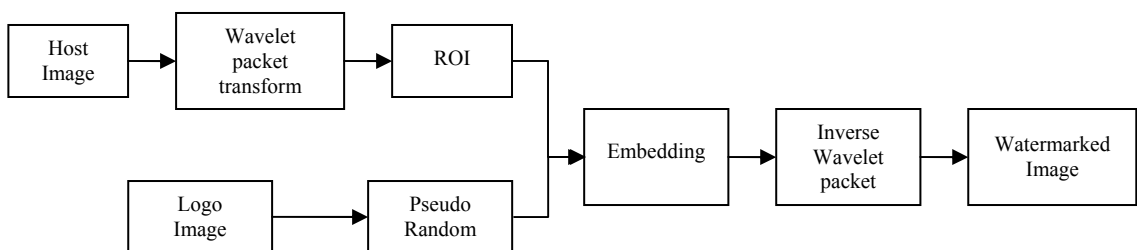
ที่เราได้ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ในตำแหน่งที่ตรงกัน โดย ใช้วิธีการเดียวกันกับการฝังลายน้ำนั้นคือหาค่า max, min, และ distance ของภาพทั้งสองแล้วนำ distance ของแต่ละ ตำแหน่งมาเปรียบเทียบกัน ถ้า distance ของภาพทดสอบมี ค่าน้อยกว่า distance ของภาพที่ต้นฉบับ แสดงว่าลายน้ำมีค่า เป็น 0 แต่ถ้า distance มีค่ามากกว่าภาพต้นฉบับ ก็แสดงว่ามี ค่าลายน้ำเป็น 1 ตามสมการ (4)

$$\text{if } (d_s(u, v) > d_o(u, v)) \text{ then } s_{ij} = 1$$

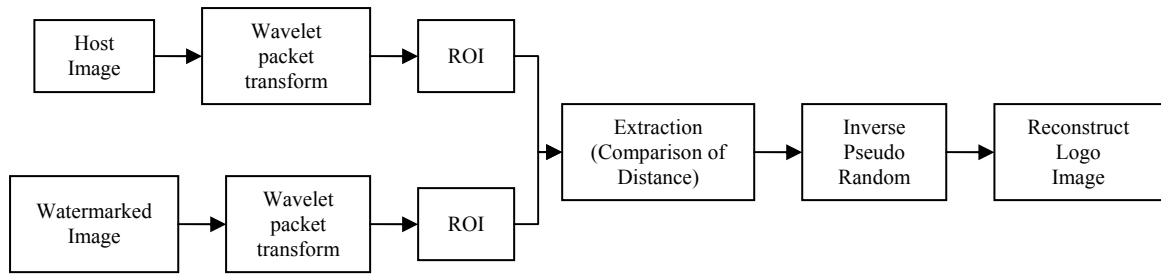
$$\text{else } s_{ij} = 0 \quad (4)$$

โดยที่ d_o คือค่า distance ของภาพต้นฉบับ และ d_s คือค่า distance ของภาพที่ฝังลายน้ำ

จากนั้นเรียงจำนวนลายน้ำทั้งหมด แล้วทำการหาค่ากลับ จำนวนสุ่มเทียม (Inverse pseudo random) โดยใช้กุญแจ รหัส และทำการสร้างลายน้ำกลับ (Reconstruct logo image) ซึ่งเมื่อได้ลักษณะลายน้ำแล้ว เราก็สามารถที่จะหา ค่าความ เหมือนของภาพลายน้ำต้นฉบับ และลายน้ำที่ถอดออกมาได้ ด้วยสมการ (5) โดยที่ NC (Normalized Correlation) ที่ได้ จะเป็นค่าที่บ่งบอกถึง ลักษณะความเหมือนของภาพลาย น้ำดิจิทัล ซึ่งถ้าค่าเป็น 1 ถือว่าภาพลายน้ำต้นฉบับกับภาพ ลายน้ำที่ถอดได้เหมือนกัน



รูปที่ 3. แผนผังการฝังลายน้ำดิจิทัล



รูปที่ 4. แผนผังการถอดลายน้ำดิจิทัล

4. ผลการทดลอง

ในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล ที่มีประสิทธิภาพจะต้องผ่านกระบวนการ ในการทดสอบประสิทธิภาพ โดยในการทดสอบจะทำการโจมตีข้อมูลมัลติมีเดีย ที่ผ่านการใส่สัญญาณลายน้ำแล้ว จากนั้นก็จะนำข้อมูลมัลติมีเดียที่ผ่านการโจมตีมาเข้ากระบวนการ ในการเอาภาพลายน้ำดิจิทัลออก ซึ่งในทางทฤษฎีแล้ว ตัวภาพลายน้ำดิจิทัล ควรที่จะมีความคงทนต่อการโจมตีแต่อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติมิได้เป็นเช่นนั้น ภาพลายน้ำดิจิทัลอาจจะถูกทำลายในขั้นตอนการโจมตี ส่งผลให้ ตัวภาพลายน้ำดิจิทัลเสียหาย ดังนั้นการทดสอบโดยการโจมตีในรูปแบบต่างๆ จึงเป็นขั้นตอนสำคัญ ในการทดสอบความทนทาน ของการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัล

ในการทดลองได้ทดลองกับภาพที่มีขนาด 512x512 พิกเซล ที่ระดับความสว่างแต่ละจุดภาพเป็น 256 ระดับ และทดลองกับภาพ Barbara, Boat, Girls, Lena และ Pepper ส่วนภาพลายน้ำที่ใช้จะเป็นภาพแบบไบนารี (รูปที่ 6) ขนาด 32x32 พิกเซล ภาพที่ถูกฝังลายน้ำที่ได้ จะทำการทดสอบด้วยวิธี การกรองแบบความถี่ต่ำผ่าน (low-pass filter), การบีบอัดข้อมูลแบบ JPEG, การลดขนาดภาพ (resize) และการหมุนภาพ (rotate) ซึ่งทุกผลการทดลอง ได้ทำการเปรียบเทียบกับผลของวิธีเก่า [6] โดยใช้วิธีการ วัดคุณภาพ หรือความใกล้เคียง ต่อภาพลายน้ำต้นแบบด้วยค่าของ Normalized cross Correlation หรือ (NC) และ PSNR ตามสมการที่ (5) และ (6) ตามลำดับ

$$NC = \frac{\sum_i \sum_j p_{ij} p_{ij}^*}{\sum_i \sum_j (p_{ij})^2} \quad (5)$$

p_{ij} , p_{ij}^* เป็นจุดภาพตำแหน่ง i, j มีค่าระหว่าง $1 \leq (i, j) \leq 32$ ของภาพลายน้ำต้นแบบและลายน้ำที่ถอดได้แล้วตามลำดับ

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \quad (6)$$

MSE: คือค่า Mean Square Error

รูปที่ 5 เป็นภาพที่ถูกฝังลายน้ำแล้วด้วยค่าระดับความแรงของสัญญาณ $\alpha = 10$ และใช้การแบ่งบล็อกย่อยขนาด 4x4 และค่า threshold เท่ากับ 600



รูปที่ 5. ภาพที่ถูกฝังลายน้ำแล้วด้วยวิธีที่น่าเสนอ

ในรูปที่ 6 แสดงให้เห็นภาพลายน้ำต้นฉบับ ส่วนรูปที่ 7-9 เป็นภาพลายน้ำที่ถอดได้เมื่อผ่านการบีบอัดข้อมูล ที่อัตรา บีบอัดข้อมูล 10%, 30% และ 60% ตามลำดับ ภาพด้านซ้าย วิธีการเดิมและภาพด้านขวาวิธีการใหม่



รูปที่ 6. ภาพลายน้ำที่ใช้ทดลอง



รูปที่ 7. ลายน้ำที่ถอดได้จากอัตราการบีบอัด 10%



รูปที่ 8. ลายน้ำที่ถอดได้จากอัตราการบีบอัด 30%



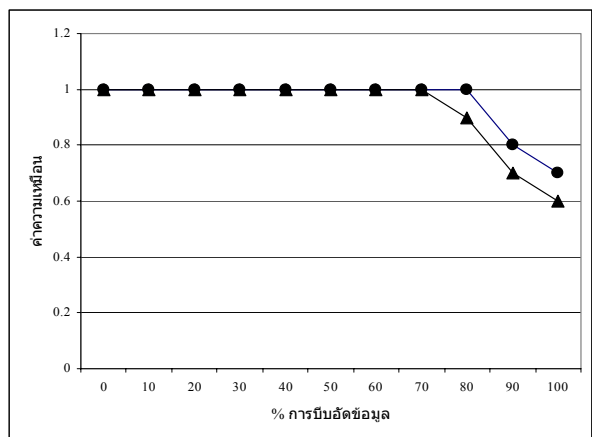
รูปที่ 9. ลายน้ำที่ถอดได้จากอัตราการบีบอัดขนาด 60%

ในการทดลองทำการ โจมตีรูปภาพ ที่ผ่านการฝังสัญญาณ ลายน้ำ ด้วยวิธีการบีบอัดข้อมูลชนิดรูปภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยในการโจมตีนั้น ค่าความแรงของการโจมตีจะถูกเพิ่มขึ้น โดยการปรับค่าอัตราการบีบอัดให้สูงขึ้นเรื่อยๆ จนกว่าสัญญาณลายน้ำที่ถูกกู้กลับมา จะยังคงมีความ สมบูรณ์ถูกต้องเหมือนกับลายน้ำต้นฉบับ จากการทดลอง พบว่าสัญญาณลายน้ำที่ถูกกู้กลับมา ยังคงมีความถูกต้อง

เที่ยงตรง 100% อยู่ แม้อุณหภูมิของรูปภาพที่ถูกบีบอัดจะ ลดลงไปตาม ดังตารางที่ 1 แสดงถึงค่า PSNR ของ รูปภาพที่มีสัญญาณลายน้ำฝัง 'Lena' ภายหลังจากการถูกบีบอัด ด้วยมาตรฐานการบีบอัดแบบ JPEG ที่อัตราต่างๆ เปรียบเทียบ กับวิธีการเดิม [6] (ค่าภายในวงเล็บ) และรูปที่ 10 แสดงผล การเปรียบเทียบค่าของ NC ของภาพข้อมูลลายน้ำที่ถอดได้ จากวิธีเก่า ▲ กับวิธีใหม่ ● โดยใช้ค่าเริ่มต้นของ PSNR ของภาพต้นฉบับกับภาพที่ฝังลายน้ำแล้ว ซึ่งค่า PSNR ของ วิธีการเก่าและใหม่มีค่า 48.90 dB และ 48.78 dB ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ค่า PSNR ของรูปภาพที่มีสัญญาณลายน้ำ ภายหลังจากการถูกบีบอัดที่อัตราการบีบอัดต่างๆ

α	อัตราการบีบอัด (%)					
	10%	20%	30%	40%	50%	60%
1	39.67 [33.59]	38.12 [33.47]	37.39 [33.36]	36.79 [33.25]	36.31 [33.13]	35.77 [33.03]
2	39.64 [33.50]	38.10 [33.38]	37.37 [33.28]	36.78 [33.17]	36.30 [33.26]	35.76 [32.95]
3	39.60 [33.35]	38.08 [33.23]	37.35 [33.13]	36.76 [33.02]	36.29 [32.92]	35.75 [32.82]
4	39.53 [33.15]	38.03 [33.03]	37.32 [32.94]	36.73 [32.84]	36.26 [32.74]	35.72 [32.56]
5	39.46 [32.83]	37.98 [32.72]	37.28 [32.63]	36.69 [32.54]	36.23 [32.45]	35.70 [32.36]



รูปที่ 10. แสดงเปรียบเทียบ ค่า NC ของวิธีการเก่าและวิธี ใหม่อันเนื่องมาจากผลการบีบอัดข้อมูล

ตารางที่ 2 ค่า PSNR ของการลดขนาดของภาพ (Rescaling) ของที่มีการฝังลายน้ำจากขนาด 512 เป็น ภาพขนาด 256 เปรียบเทียบกับภาพต้นฉบับ

ชื่อรูปภาพ ขนาด 512x512	ค่า PSNR ของรูปภาพ ต้นฉบับกับภาพที่ฝังลาย น้ำที่ทดลองลดขนาดจาก 512 เป็น 256			ค่าความเหมือนของ ลายน้ำที่ระดับ α ต่างๆ		
	1	2	3	1	2	3
Barbara	24.72	24.53	24.27	0.96	0.99	1
Boat	28.31	28.21	28.09	0.96	0.99	1
Lena	32.54	32.33	32.16	0.98	1	1
Pepper	31.13	31.05	30.87	0.95	0.99	1

นอกจากนี้เรายังได้ทดลองหมุนภาพ ที่ผ่านการฝังสัญญาณลายน้ำ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้พบว่าสัญญาณลายน้ำที่ถูกกลับคืนมาได้ยังคงมีความถูกต้องเดิม ดังตัวอย่างรูปที่ 11



(ก)



(ข)

รูปที่ 11. ภาพลายน้ำที่ผ่านการหมุนภาพ 17⁰ (ก) และภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากการหมุนภาพ (ข)

5. สรุปผลและวิจารณ์

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอถึง การฝังและถอดลายน้ำดิจิทัลลงในรูปภาพเฉพาะตำแหน่งที่สนใจ โดยใช้วิธีการแปลงแบบเวฟเล็ตแพ็คเกจส์ โดยคำนึงถึงความต้องการพื้นฐานของตามลำดับความสำคัญคือ ความที่สังเกตเห็นความแตกต่างของภาพต้นฉบับ กับภาพที่ถูกฝังลายน้ำแล้ว, ความคงทนต่อการรบกวนแบบต่างๆ และสุดท้ายคือความจุของลายน้ำ ซึ่งในข้อหลังสุดจะมีความ สำคัญที่ลำดับสุดท้าย

เนื่องจากขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งาน ซึ่งในงานที่นำเสนอเป็นการฝังภาพลายน้ำขนาดเล็ก เช่นสัญญาณรูปแบบต่างๆ หรือลายเซ็นเท่านั้น จากผลที่ได้จากการทดลอง จะเห็นได้ว่าภาพที่ผ่านการบีบอัดข้อมูลด้วย อัตราการบีบอัดข้อมูลที่แตกต่างกัน มีความคงทนในอัตราที่สูงขึ้นมาก เมื่อเทียบกับวิธีการเดิม [6] รวมทั้งยังคงทนต่อการหมุนภาพ (รูปที่ 11) และคงทนต่อการเพิ่ม หรือลดขนาดของภาพได้ดี (ตารางที่ 2) ส่วนลายน้ำดิจิทัลที่ถอดออกมาแล้วนั้น สามารถดูลายน้ำได้อย่างชัดเจน นั้นแสดงว่าวิธีการที่นำเสนอ การหาตำแหน่งการฝังข้อมูลลายน้ำ โดยการใช้กลุ่มค่าสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ตแพ็คเกจส์ มาพิจารณาด้วย จะทำให้ได้ภาพลายน้ำที่มีความคงทน ต่อการบีบอัดข้อมูลที่อัตราการบีบอัดข้อมูลสูงๆ ได้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] R.B. Wolfgang and E.J. Delp, "A Watermark for Digital Images", Proceeding of Image Processing, Vol. 3, 1996, pp.21-222.
- [2] M.V Wickerhauser, "Lecture on Wavelet packet algorithms", INRIA/Rocquencourt Minicourse Lecture notes, Washington University, 1992, pp. 1-74.
- [3] S. Onrit, Y. Attavetchakul, and S. Aroonrungratsami, "Digital Watermarking Embedding and Extracting by Using Wavelet Packet Transform", Proceeding of Electrical Engineering Conference, Chiangmai, 2000, pp.512-524.
- [4] K.I. and S.H. Jung, "A Study on Robust ness of Watermark according to Frequency band", ISIE 2001 Pusan, KOREA, 2001, pp. 2017-2021.
- [5] B.N.Chatterji, "Wavelet for Content Based Image Retrieval and Digital Watermarking for Multimedia Application", ICICS-PCM 2003, Singapore, 2003, pp.812-816.
- [6] ชำรงรัตน์ อมรรักษ์ยา และรัชดา ซึ่งสุนทร, "วิธีการที่มีประสิทธิภาพสำหรับป้องกันสัญญาณลายน้ำดิจิทัล จากการบีบอัดข้อมูลรูปภาพ", วิศวกรรมสาร ม.ช., 2003, pp.17-36.