

การซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัลโดยใช้ฟัซซี่ซีมีนและระบบอาณานิคมมด

Digital Image Watermarking using FCM and ACS

ดร.กัญจน์กนิชา โกศลอุดม, รศ.ดร.ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี และ สุปรานี วงษ์แสงจันทร์

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีใหม่สำหรับการซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัลบนโดเมนดีซีที อัลกอริทึมฟัซซี่ซีมีนถูกนำมาใช้ในการจำแนกบล็อกดีซีทีขนาด 8×8 พิกเซล ออกเป็นสองประเภทที่แตกต่างกัน อัลกอริทึมของระบบอาณานิคมมดได้ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นเพื่อค้นหาความเหมาะสมระหว่างความสามารถด้านการมองเห็นและความคงทนของลายน้ำ ผลลัพธ์ที่ได้คือตำแหน่งของค่าสัมประสิทธิ์ความถี่และค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำที่เหมาะสมสำหรับแต่ละประเภทของบล็อก ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอสามารถให้ลายน้ำที่ไม่สามารถมองเห็นได้และมีความคงทนต่อการประมวลผลภาพในหลากหลายรูปแบบ ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่นำเสนอได้นำมาทดลองเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เคยมีก่อนหน้านี้

คำสำคัญ: การซ่อนลายน้ำดิจิทัล, ฟัซซี่ซีมีน, ระบบอาณานิคมมด

Abstract

This paper proposes, a new approach for digital image watermarking in DCT domain. was proposed. This approach used a Fuzzy C-Mean algorithm (FCM) to classify 8×8 DCT blocks as two different regions. The Ant Colony System (ACS) were designed and developed to search for the optimal trade-off between watermark imperceptibility and watermark robustness. The resulting optimal frequency bands and embedding strength were therefore dependent on the region type. The experimental results show that the proposed scheme yielded a watermark that was invisible and robust against various image manipulations. The effectiveness of this algorithm was also compared with the previous work.

Keywords: Digital Image Watermarking, FCM, ACS

ความนำ

การซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัล (digital image watermarking) เป็นช่องทางหนึ่งของการแก้ไขปัญหาการละเมิดลิขสิทธิ์ของภาพดิจิทัล ซึ่งทำโดยการซ่อนลายน้ำ (Watermark) เข้าไปในตัวภาพดิจิทัลก่อนที่จะทำการเผยแพร่ภาพดังกล่าวออกไป โดยลายน้ำที่ถูกซ่อนเข้าไปนี้สามารถกู้คืนกลับมาได้โดยผู้ที่เป็นเจ้าของภาพหรือผู้ที่ได้รับอนุญาตเท่านั้น กรณีที่พบว่ามิใช่ผู้ลักลอบนำภาพดังกล่าวไปเผยแพร่หรืออ้างความเป็นเจ้าของภาพหรือมีการนำภาพไปดัดแปลงแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต ผู้เป็นเจ้าของภาพตัวจริงสามารถตรวจสอบเพื่อพิสูจน์ความเป็นเจ้าของภาพที่แท้จริงได้ ทั้งนี้การซ่อนลายน้ำมีหลักการสำคัญที่ต้องคำนึงถึง 2 ประการ คือ เมื่อซ่อนลายน้ำเข้าไปในภาพแล้ว ลายน้ำที่ซ่อนเข้าไปต้องไม่ไปลดคุณภาพด้านการมองเห็นของภาพ และลายน้ำในภาพจะต้องมีความคงทนต่อการถูกดัดแปลงแก้ไขภาพ (Pokudom, 2011)

งานวิจัยของ (Cox, Killian & Shamoon, 1997) นำเสนอวิธีการซ่อนลายน้ำแบบการกระจายแถบความถี่ถึงในค่าสัมประสิทธิ์ของโดเมนความถี่ที่ได้จากการแปลงโคซายน์แบบดิสคริต จากการวิจัยพบว่าลายน้ำจะมีความคงทนถ้าทำการซ่อนลายน้ำลงในค่าสัมประสิทธิ์ดีซีทีส่วนที่เป็นความถี่ต่ำของสัญญาณภาพ งานวิจัยของ (Hsu & Wu, 1999) เสนอวิธีการซ่อนลายน้ำบนการแปลงโคซายน์แบบดิสคริตโดยเลือกที่จะทำการซ่อนลายน้ำเข้ากับค่าสัมประสิทธิ์ดีซีทีส่วนที่เป็นความถี่กลาง เพื่อรักษาคุณภาพด้านการมองเห็นของภาพภายหลังการซ่อนลายน้ำและคุณภาพด้านความคงทนของลายน้ำในคราวเดียวกัน งานวิจัยของ (Huang & Wu, 2000, 2004), นำเสนอวิธีการซ่อนลายน้ำที่อาศัยการแปลงโคซายน์แบบดิสคริตร่วมกับกระบวนการทางพันธุศาสตร์ (genetic algorithm--GA) โดยการซ่อนลายน้ำในค่าสัมประสิทธิ์ดีซีทีส่วนที่เป็นความถี่กลาง และนำกระบวนการทางพันธุศาสตร์มาค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำจนได้ภาพภายหลังการใส่ลายน้ำที่มีคุณภาพ งานวิจัยของ (Shieh, Huang, Wang & Pan, 2004) นำเสนอเทคนิคการซ่อน

ลายน้ำที่ใช้กระบวนการทางพันธุศาสตร์มาช่วยในการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการซ่อนลายน้ำเข้ากับค่าสัมประสิทธิ์ของบล็อกดีซีทีขนาด 8x8 พิกเซล ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในด้านความคงทนของลายน้ำและด้านคุณภาพการมองเห็นของภาพภายหลังการซ่อนลายน้ำเมื่อทดลองเปรียบเทียบกับวิธีการซ่อนลายน้ำตามวิธีของ (Hsu & Wu, 1999) งานวิจัยของ (Wei, Dai & Li, 2006) ได้ทำการปรับปรุงวิธีการซ่อนและกู้คืนลายน้ำของ (Shieh, Huang, Wang & Pan, 2004) โดยแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่ปรับปรุงขึ้นนี้ให้ผลลัพธ์ของการซ่อนลายน้ำที่ดีกว่าทั้งในด้านความคงทนของลายน้ำและด้านคุณภาพการมองเห็นของภาพภายหลังการซ่อนลายน้ำ งานวิจัยของ (Promcharoen & Rangsanteri, 2008) นำเสนอวิธีการซ่อนลายน้ำโดยใช้ฟuzzyมินทำการจำแนกประเภทของบล็อกดีซีทีขนาด 8x8 พิกเซล จากนั้นนำกระบวนการทางพันธุศาสตร์มาทำการค้นหาตำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำ โดยทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับวิธีของ (Wei, Dai & Li, 2006) ซึ่งพบว่าสามารถพัฒนาประสิทธิภาพของการซ่อนลายน้ำให้ดีขึ้นในขณะทำงานวิจัยของ (Dorigo และ Gambardella, 1997) ได้ทำการพิสูจน์ให้เห็นว่าระบบอาณานิคมมด (ant colony system--ACS) สามารถพัฒนาประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบของปัญหาได้ดีกว่ากระบวนการทางพันธุศาสตร์ในบทความนี้ ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในการนำระบบอาณานิคมมดมาทำการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อการซ่อนลายน้ำลงไปในแต่ละประเภทของบล็อกดีซีที ซึ่งผ่านการจำแนกประเภทด้วยอัลกอริธึมฟuzzyมิน จากผลการทดลองพบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถพัฒนาประสิทธิภาพของการซ่อนลายน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองกับงานวิจัยของ Promcharoen และ Rangsanteri

วัตถุประสงค์การวิจัย

ต้องการพัฒนาวิธีการซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัลที่ให้คุณภาพด้านการมองเห็นของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำที่ดี และลายน้ำที่ถูกซ่อนต้องมีความคงทนต่อการดัดแปลงแก้ไขภาพ

สมมติฐานการวิจัย

การใช้อัลกอริทึมพีซีซีมีนทำการจำแนกประเภทของบล็อกดีซีทีที่ ร่วมกับการนำระบบอานานิคม มาทำการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อการซ่อนลายน้ำสำหรับแต่ละประเภทของบล็อกดีซีทีที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพด้านการมองเห็นของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ และด้านความคงทนของลายน้ำได้

วิธีดำเนินการวิจัย

การซ่อนลายน้ำ

ภาพดิจิทัลต้นฉบับ X ขนาด $M \times N$ พิกเซล จะถูกแบ่งออกเป็นบล็อกขนาด 8×8 พิกเซลจากนั้น จะถูกนำมาแปลงด้วยเทคนิคการแปลงโคไซน์แบบ ดิสครีต (DCT) ดังนี้

$$Y = DCT(X) \quad (1)$$

$$\text{และ } Y = \bigcup_{m=1}^{M/8} \bigcup_{n=1}^{N/8} Y_{(m,n)} \quad (2)$$

ในแต่ละบล็อก (m,n) จะประกอบไปด้วยค่าสัมประสิทธิ์ดีซีที $(Y_{(m,n)})$ จำนวน 64 ค่า

$$Y_{(m,n)} = \bigcup_{k=0}^{63} \{Y_{(m,n)}(k)\} \quad (3)$$

เมื่อ $1 \leq m \leq \frac{M}{8}, 1 \leq n \leq \frac{N}{8}$ และ $Y_{(m,n)}(k)$ เป็นการ จัดเรียงค่าสัมประสิทธิ์ดีซีทีแบบซิกแซกสแกน แสดง ดังภาพ 1

อัลกอริทึมพีซีซีมีนจะถูกนำมาใช้ในการจำแนกประเภทของบล็อกดีซีทีที่ออกเป็น 2 ประเภท โดยในแต่ละรอบการทำงานของพีซีซีมีน จุดศูนย์กลางของแต่ละประเภทและเมทริกซ์แสดงความสัมพันธ์ จะถูกปรับปรุงด้วยสมการ (4) และ (5) โดยมีเงื่อนไขของการหยุดกระบวนการทำซ้ำดังสมการที่ (6)

$$v_i = \frac{\sum_{k=1}^N (u_{ki})^r Y(k)}{\sum_{k=1}^N (u_{ki})^r} \quad (4)$$

$Y_{(m,n)}(0)$	$Y_{(m,n)}(1)$	$Y_{(m,n)}(5)$	$Y_{(m,n)}(6)$	$Y_{(m,n)}(14)$	$Y_{(m,n)}(15)$	$Y_{(m,n)}(27)$	$Y_{(m,n)}(28)$
F_{low}							
$Y_{(m,n)}(2)$	$Y_{(m,n)}(4)$	$Y_{(m,n)}(7)$	$Y_{(m,n)}(13)$	$Y_{(m,n)}(16)$	$Y_{(m,n)}(26)$	$Y_{(m,n)}(29)$	$Y_{(m,n)}(42)$
$Y_{(m,n)}(3)$	$Y_{(m,n)}(8)$	$Y_{(m,n)}(12)$	$Y_{(m,n)}(17)$	$Y_{(m,n)}(25)$	$Y_{(m,n)}(30)$	$Y_{(m,n)}(41)$	$Y_{(m,n)}(43)$
F_{mid}							
$Y_{(m,n)}(9)$	$Y_{(m,n)}(11)$	$Y_{(m,n)}(18)$	$Y_{(m,n)}(24)$	$Y_{(m,n)}(31)$	$Y_{(m,n)}(40)$	$Y_{(m,n)}(44)$	$Y_{(m,n)}(53)$
$Y_{(m,n)}(10)$	$Y_{(m,n)}(19)$	$Y_{(m,n)}(23)$	$Y_{(m,n)}(32)$	$Y_{(m,n)}(39)$	$Y_{(m,n)}(45)$	$Y_{(m,n)}(52)$	$Y_{(m,n)}(54)$
F_{high}							
$Y_{(m,n)}(20)$	$Y_{(m,n)}(22)$	$Y_{(m,n)}(33)$	$Y_{(m,n)}(38)$	$Y_{(m,n)}(46)$	$Y_{(m,n)}(51)$	$Y_{(m,n)}(55)$	$Y_{(m,n)}(60)$
$Y_{(m,n)}(21)$	$Y_{(m,n)}(34)$	$Y_{(m,n)}(37)$	$Y_{(m,n)}(47)$	$Y_{(m,n)}(50)$	$Y_{(m,n)}(56)$	$Y_{(m,n)}(59)$	$Y_{(m,n)}(61)$
$Y_{(m,n)}(35)$	$Y_{(m,n)}(36)$	$Y_{(m,n)}(48)$	$Y_{(m,n)}(49)$	$Y_{(m,n)}(57)$	$Y_{(m,n)}(58)$	$Y_{(m,n)}(62)$	$Y_{(m,n)}(63)$

ภาพ 1 การจัดเรียงค่าสัมประสิทธิ์ดีซีทีที่แบบซิกแซกสแกน

$$u_{ki} = \left[\sum_{j=1}^c \left(\frac{d_{ki}}{d_{kj}} \right)^{\frac{2}{r-1}} \right]^{-1} \quad (5)$$

$$\max \left\{ |u_{ki}^{(t)} - u_{ki}^{(t-1)}| \right\} < \varepsilon \quad (6)$$

เมื่อ $Y(k)$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์เอซี (AC coefficients) ของบล็อกดีซีที, $(k \in [1, 63])$, v_i เป็นจุดศูนย์กลางของบล็อกประเภทที่ i , u_{ki} เป็นค่าความเป็นสมาชิกของ $Y(k)$ สำหรับบล็อกประเภทที่ i , c เป็นจำนวนของประเภทบล็อกทั้งหมด, r เป็นค่าถ่วงน้ำหนัก, $d_{ki} = \|y(k) - v_i\|$ เป็นระยะห่างแบบยูคลิเดียนระหว่างค่า $Y(k)$ กับ v_i , t เป็นรอบการทำงาน และ ε เป็นค่าเทรชโวลด์ที่กำหนด โดยในงานวิจัยนี้กำหนดให้ $c = 2$, $m = 2$ และ $\varepsilon = 0.00001$

W เป็นลายน้ำขนาด $M_w \times N_w$ พิกเซล ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าขนาดของภาพดิจิทัลต้นฉบับ กำหนดดังสมการที่ (7) ในแต่ละบล็อกดีซีทีของภาพต้นฉบับจะมีตำแหน่งที่ใช้ในการซ่อนลายน้ำทั้งหมด

$$64 \times (M_w \times N_w) / (M \times N) \text{ ตำแหน่ง}$$

$$W = \{w(i,j), 0 \leq i < M_w \text{ และ } 0 \leq j < N_w\} \quad (7)$$

เมื่อ $w(i,j) \in \{-1, 1\}$

ทั้งนี้ก่อนที่จะทำการซ่อนลายน้ำ ลายน้ำจะถูกสลับตำแหน่งโดยใช้การสุ่มลำดับแบบอิสระเพื่อให้ยากต่อการถูกกู้คืนดังสมการที่ (8) จากนั้นลายน้ำจะถูกนำไปซ่อนตามตำแหน่งค่าสัมประสิทธิ์ดีซีทีที่เหมาะสมของแต่ละประเภทบล็อกด้วยสมการที่ (9)

$$W_p = \text{permute}(W) \quad (8)$$

$$Y'_{(m,n)}(i) = Y_{(m,n)}(i) + \alpha |Y_{(m,n)}(i)| W_{p(m,n)} \quad (9)$$

$$Y' = \bigcup_{m=1}^{M/8} \bigcup_{n=1}^{N/8} \bigcup_{k=0}^{63} \{Y'_{(m,n)}(k)\} \quad (10)$$

เมื่อ Y และ Y' เป็นค่าสัมประสิทธิ์ดีซีทีทีก่อนและหลังการซ่อนลายน้ำตามลำดับ ส่วน α เป็นค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำ และ i เป็นตำแหน่งของค่าสัมประสิทธิ์ดีซีทีทีที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำ โดย α และ i จะถูกค้นหาค่าที่เหมาะสมจากระบบอานานิคม

เมื่อได้มาซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ดีซีทีทีที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ (Y') จะต้องทำการแปลงกลับดีซีทีที (Inverse DCT: IDCT) จึงจะได้ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ (X') ดังนี้

$$X' = \text{IDCT}(Y') \quad (11)$$

การวัดคุณภาพด้านการมองเห็นของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ

ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำจะถูกนำมาตรวจสอบคุณภาพด้านการมองเห็นด้วยดัชนี PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) ถ้า PSNR มีค่ามากแสดงว่าภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำมีความเหมือนกับภาพต้นฉบับมาก โดยทั่วไปแล้วค่า PSNR ที่ยอมรับได้สำหรับการนำภาพไปใช้อยู่ที่ 30 dB ขึ้นไป (Chen และ Hwang, 1998) ค่า PSNR คำนวณได้จากสมการที่ (12) และ (13) ดังนี้

$$\text{PSNR} = 10 \log \frac{(255)^2}{\text{MSE}} \quad (12)$$

$$\text{MSE} = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [x_{(i,j)} - x'_{(i,j)}]^2 \quad (13)$$

เมื่อ MSE เป็นค่าผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error) ระหว่างภาพต้นฉบับและภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ, M และ N เป็นจำนวนพิกเซลตามความกว้างและความสูงของภาพ, $x_{(i,j)}$ และ $x'_{(i,j)}$ เป็นค่าของพิกเซลที่ตำแหน่ง (i, j) ของภาพต้นฉบับและภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำตามลำดับ

การกู้คืนลายน้ำ

การกู้คืนลายน้ำ เริ่มจากการนำภาพที่ต้องการกู้คืนลายน้ำ (X'') และภาพต้นฉบับ (X) มาทำการแปลงดีซีทีทีแบบบล็อกขนาด 8×8 พิกเซล ตามสมการที่ (14) และ (15) จากนั้นทำการกู้คืนลายน้ำ W'' ด้วยสมการที่ (16) และ (17) จากนั้นจะต้องนำลายน้ำ W'' มาทำการสลับคืนตำแหน่งตามสมการที่ (18) จึงจะได้เป็นลายน้ำที่ถูกกู้คืน W' โดยสมบูรณ์

$$Y = \text{DCT}(X) \quad (14)$$

$$Y'' = \text{DCT}(X'') \quad (15)$$

$$W'_{p(m,n)}(i) = \frac{Y''_{(m,n)}(i) - Y_{(m,n)}(i)}{\alpha |Y_{(m,n)}(i)|} \quad (16)$$

$$W'_p = \bigcup_{m=1}^{M/M_W} \bigcup_{n=0}^{N/N_W} W'_{p(m,n)}(i) \quad (17)$$

$$W' = \text{inverse permute}(W'_p) \quad (18)$$

เมื่อ α เป็นค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำ และ i เป็นตำแหน่งของค่าสัมประสิทธิ์ดีซีทีทีที่เหมาะสมในการซ่อนลายน้ำจากสมการที่ (9)

การวัดคุณภาพด้านความคงทนของลายน้ำ

การวัดคุณภาพด้านความคงทนของลายน้ำที่ถูกคืน นิยมวัดจากค่า Normalized Cross Correlation: NC โดยค่า NC ที่คำนวณได้จะมีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$ ถ้าค่า $\text{NC} = 1$ จะแสดงถึงคุณภาพความคงทนของลายน้ำมากที่สุด การคำนวณค่า NC แสดงดังสมการที่ (19)

$$\text{NC} = \frac{\sum_{i=1}^{M_W} \sum_{j=1}^{N_W} [W_{(i,j)} \cdot W'_{(i,j)}]}{\sum_{i=1}^{M_W} \sum_{j=1}^{N_W} [W_{(i,j)}]^2} \quad (19)$$

เมื่อ W_{ij} คือ ค่าพิกเซลที่ตำแหน่ง (i, j) ของลายน้ำต้นฉบับ, W'_{ij} คือ ค่าพิกเซลที่ตำแหน่ง (i, j) ของลายน้ำที่ถูกคืนมาได้, M_W และ N_W คือ จำนวนพิกเซลตามความกว้างและความสูงของลายน้ำตามลำดับ

ระบบอาณานิคมมด

ระบบอาณานิคมมด (Ant Colony System: ACS) ถูกนำเสนอโดย (Dorigo และ Gambardella, 1997) และ (Dorigo, Birattari และ Stutzle, 2006) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพจากระบบมด (Ant System: AS) ให้สามารถแก้ไขปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้ภายในเวลาที่เหมาะสม โดยได้เพิ่มการทำงานจากระบบมดดังนี้

1. การปรับปรุงค่าฟีโรโมนเฉพาะบริเวณ (Local Pheromone Update)

การปรับปรุงค่าฟีโรโมนเฉพาะบริเวณจะกระทำโดยมดทุกตัว โดยจะปรับปรุงในทุกเส้นทางที่มดแต่ละตัวได้เลือกตำแหน่งเมือง j ถัดไป ในขณะที่ปัจจุบันมดอยู่ที่ตำแหน่งเมือง i โดยปริมาณฟีโรโมนบนด้านที่เชื่อมต่อระหว่างเมือง (i, j) จะถูกปรับปรุงด้วยสมการที่ (20)

$$\tau_{ij} = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \varphi \cdot \tau_0 \quad (20)$$

เมื่อ τ_0 คือ ค่าเริ่มต้นของฟีโรโมน, φ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเสื่อมสลายของฟีโรโมนเฉพาะบริเวณซึ่ง $\varphi \in (0, 1]$

2. การปรับปรุงค่าฟีโรโมนครอบคลุมทั้งระบบ (Global Pheromone Update)

การปรับปรุงค่าฟีโรโมนครอบคลุมทั้งระบบจะกระทำเมื่อเสร็จสิ้นการทำงานในแต่ละรอบ (เมื่อมดทุกตัวได้เดินทางครบแล้ว) โดยจะกระทำเฉพาะเส้นทางของมดตัวที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดเท่านั้น การปรับปรุงค่าฟีโรโมนครอบคลุมทั้งระบบแสดงดังสมการที่ (21)

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \rho \cdot \Delta \tau_{ij} \quad (21)$$

เมื่อ $\Delta \tau_{ij}(t) = 1/L_{best}$ และ L_{best} คือระยะทางที่สั้นที่สุดโดยพิจารณาจากระยะทางของมดทุกตัว

3. กระบวนการตัดสินใจเลือกตำแหน่งถัดไป

การเลือกตำแหน่งเมืองถัดไป j เมื่อปัจจุบันอยู่ที่ตำแหน่งเมือง i นั้น ระบบอาณานิคมมดจะพิจารณาจากสมการที่ (22)

$$j = \begin{cases} \arg[\text{Max}_{C_{ii} \in N(s^p)} \{ \tau_{ij}^\alpha \cdot \eta_{ij}^\beta \}], & \text{โดยที่ } q \leq q_0 \\ n, & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases} \quad (22)$$

เมื่อ q_0 เป็นค่าคงที่ที่มีค่าอยู่ระหว่าง $[0, 1]$ และ q เป็นค่าที่ได้จากการสุ่มค่าระหว่าง $[0, 1]$ โดยมดแต่ละตัวจะต้องสุ่มค่า q ใหม่ทุกครั้งเมื่อจะทำการเลือกตำแหน่งเมืองถัดไป

Procedure Ant Colony System

Initialize /*Set pheromone trails to small numbers*/

Loop /*At this level, each loop is called an iteration*/

Each ant is positioned on a starting node

Loop /*At this level, each loop is called a step*/

Apply State Transition Rule

(pseudorandom proportional)

Apply Local Update pheromone

Until End condition Apply Global Update
pheromone

Until End condition

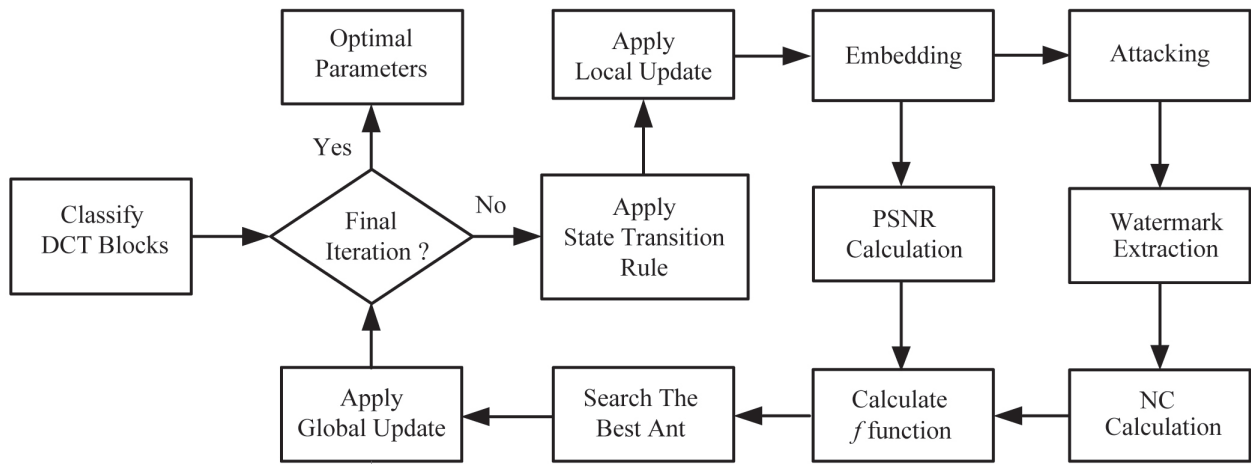
End Ant Colony System

ภาพ 2 อัลกอริทึมของระบบอาณานิคมมด

การปรับปรุงฟีโรโมนในระดับเฉพาะบริเวณของระบบอาณานิคมมด มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันไม่ให้เส้นทางที่มีจำนวนมดผ่านมากมีค่าของฟีโรโมนในเส้นทางนั้นมากเกินไปจนทำให้เส้นทางอื่นมีโอกาสถูกเลือกน้อย ดังนั้นเมื่อมดผ่านมายังด้านใด ๆ ก็จะทำให้การปรับปรุงค่าฟีโรโมนเฉพาะบริเวณเพื่อลดระดับฟีโรโมนบนด้านนี้ให้มีความน่าสนใจน้อยลง จึงทำให้มดตัวอื่นในฝูงมีโอกาสที่จะสำรวจเส้นทางใหม่ ๆ หรือค้นพบเส้นทางที่แตกต่างกันออกไปได้ อัลกอริทึมของระบบอาณานิคมมดแสดงดังภาพ 2

การค้นหาค่าตำแหน่งและค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำด้วยระบบอาณานิคมมด

การซ่อนลายน้ำตามสมการที่ (9) ระบบอาณานิคมมดจะถูกนำมาใช้ในการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม อันประกอบด้วย ตำแหน่งของสัมประสิทธิ์ดีซีที (i) ที่ใช้ในการซ่อนลายน้ำ และค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำ (α) โดยจำนวนของพารามิเตอร์ที่ต้องทำการค้นหาจะขึ้นอยู่กับขนาดของภาพต้นฉบับและลายน้ำ ตัวอย่างเช่น ถ้าใช้ภาพต้นฉบับขนาด 256×256 พิกเซล และลายน้ำขนาด 64×64 พิกเซล จะต้องทำ



ภาพ 3 ขั้นตอนการทำงานของระบบอาณานิคมมดในการค้นหาตำแหน่งและค่าพลังงานที่เหมาะสม

การค้นหาตำแหน่งของสัมประสิทธิ์ดีซีที่ 256/64 = 4 ตำแหน่ง และค้นหาค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำ 1 ค่า สำหรับแต่ละประเภทบล็อก ในงานวิจัยนี้จำแนกบล็อกออกเป็น 2 ประเภท จึงมีจำนวนพารามิเตอร์ที่ระบบอาณานิคมมดต้องทำการค้นหาทั้งสิ้น 10 ค่า ได้แก่ ตำแหน่งของสัมประสิทธิ์ดีซีที่ 8 ค่า และค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำ 2 ค่า

ขนาดของตารางฟีโรโมนของตำแหน่งค่าสัมประสิทธิ์ดีซีที่แต่ละตำแหน่งถูกกำหนดให้มีขนาด 63×1 เพื่อแทนตำแหน่งที่เป็นไปได้ทั้งหมดของสัมประสิทธิ์เอซี 63 ตำแหน่ง ส่วนขนาดของตารางฟีโรโมนของค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำแต่ละค่าถูกกำหนดให้มีขนาด 200×1 สำหรับค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำ 200 ค่า (0.01, 0.02, ..., 2.00) เมื่อเสร็จสิ้นการทำงานในแต่ละรอบ (มดทุกตัวได้เลือกพารามิเตอร์ทุกค่าครบแล้ว) ระบบอาณานิคมมดจะทำการค้นหาหาค่าที่ดีที่สุดเพื่อทำการปรับปรุงค่าฟีโรโมนครอบคลุมทั้งระบบ โดยใช้ฟังก์ชันการค้นหาตามสมการที่ (23) โดยมดตัวที่ดีที่สุดจะให้ค่าฟังก์ชัน f สูงที่สุด

$$f = PSNR + 25 \sum_{a=1}^h NC_a \quad (23)$$

เมื่อ h เป็นจำนวนรูปแบบการโจมตีภาพทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบความคงทนของลายน้ำ ส่วนค่า $\Delta\tau_{ij}$ ในสมการที่ (21) ถูกกำหนดโดยสมการ (24)

$$\Delta\tau_{ij} = 1/(1/f) = f \quad (24)$$

บล็อกไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการทำงานของระบบอาณานิคมมดในการค้นหาตำแหน่งและค่าพลังงานที่เหมาะสมแสดงดังภาพ 3

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ภาพดิจิทัลต้นฉบับที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 256×256 พิกเซล จำนวน 4 ภาพ ได้แก่ ภาพ Lena, Peppers, Boat และ Zelda ภาพ 4 (ก) แสดงภาพต้นฉบับ Lena ลายน้ำมีขนาด 64×64 พิกเซล แสดงดังภาพ 4 (ข) พารามิเตอร์ที่ระบบอาณานิคมมดทำการค้นหา มี 10 ค่า ได้แก่ ตำแหน่งของสัมประสิทธิ์ดีซีที่ 8 ค่า และค่าพลังงานในการซ่อนลายน้ำ 2 ค่า พารามิเตอร์สำหรับการทำงานของระบบอาณานิคมมดกำหนดดังนี้ จำนวนมดที่ใช้ 10 ตัว, รอบการทำงาน 100 รอบ, $q_0 = 0.9$, $\varphi = \rho = 0.1$, $\alpha = 1$ และ $\beta = 0$

ผลของการจำแนกประเภทบล็อกดีซีของภาพ Lena แสดงดังภาพ 5 (ก) ภาพ Lena ที่ผ่านการซ่อนลายน้ำแสดงดังภาพ 5 (ข) ภาพ 6 แสดงลายน้ำที่กู้คืนจากการประมวลผลภาพด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low-Pass Filtering: LPF), ตัวกรองความถี่มัธยฐาน (Median Filtering: MF) และการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการบีบอัด 70% ลายน้ำที่กู้คืนมาจากการบีบอัดภาพตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการบีบอัดตั้งแต่ 10% ถึง 100% แสดงดังภาพ 7 (วิธีที่นำเสนอ) ค่า PSNR และ NC ในรอบการทำงานต่างๆ ของระบบอาณานิคมมดของภาพ Lena แสดงดังตาราง 1

(วิธีที่นำเสนอ) และตาราง 2 (Promcharoen และ Rangsanteri, 2008) ค่า PSNR และ NC ของทุกภาพแสดงดังตาราง 3 (วิธีที่นำเสนอ) และตาราง 4 (Promcharoen และ Rangsanteri, 2008) ส่วนตาราง 5 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการค้นหาด้วยระบบอาณานิคมมด ภาพ 8 – ภาพ 10 แสดงภาพต้นฉบับและภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำของภาพ Peppers, Boat และ Barbara ตามลำดับ

จากผลการทดลองที่ได้จะสังเกตเห็นว่าเมื่อจำนวนรอบการทำงานของระบบอาณานิคมมดเพิ่มมากขึ้น คุณภาพด้านการมองเห็นของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ (PSNR) และคุณภาพด้านความคงทนของลายน้ำ (NC) ก็พัฒนาเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองของวิธีที่นำเสนอกับ (Promcharoen และ Rangsanteri, 2008) พบว่าวิธีที่นำเสนอให้ค่า PSNR และ NC ที่สูงกว่าในทุกภาพการทดลอง

บทสรุป

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการซ่อนลายน้ำในภาพดิจิทัล ที่มีการนำฟัซซี่ซีมีนมาใช้ในการจำแนกประเภทของบล็อกที่ดีและประยุกต์ใช้ระบบอาณานิคมมดในการค้นหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เหมาะสมต่อการซ่อนลายน้ำ ผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอสามารถพัฒนาคุณภาพของภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำและให้ลายน้ำที่มีความคงทนมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยก่อนหน้านี้



(ก)



(ข)

ภาพ 4 (ก) ภาพ Lena ต้นฉบับ 256×256 พิกเซล
(ข) ภาพลายน้ำ 64×64 พิกเซล



(ก)

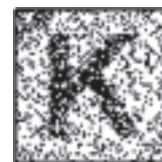


(ข)

ภาพ 5 (ก) ผลการจำแนกบล็อกของภาพ Lena (ข) ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ



(ก)

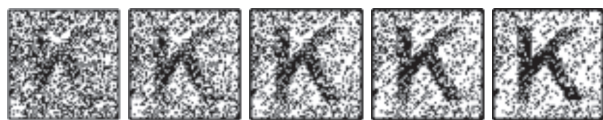


(ข)



(ค)

ภาพ 6 ลายน้ำที่กู้คืนจากการประมวลผลภาพ Lena ด้วย (ก) LPF (ข) MF และ (ค) JPEG



Q = 10% Q = 20% Q = 30% Q = 40% Q = 50%



Q = 60% Q = 70% Q = 80% Q = 90% Q = 100%

ภาพ 7 ลายน้ำที่กู้คืนมาจากการบีบอัดภาพ Lena ตามมาตรฐาน JPEG โดยใช้คุณภาพการบีบอัดตั้งแต่ 10% ถึง 100%

ตาราง 1

ค่า PSNR และ NC ในรอบการทำงานต่างๆ ของ ACS ของภาพ Lena (วิธีที่นำเสนอ)

รอบที่	PSNR (dB)	NC1 (LPF)	NC2 (MF)	NC3 (JPEG)
1	34.8592	0.6210	0.7030	0.8098
50	34.8805	0.7211	0.7772	0.8512
100	35.5849	0.7490	0.7891	0.8620

ตาราง 2

ค่า PSNR และ NC ในรอบการทำงานต่าง ๆ ของ ACS ของภาพ Lena (Promcharoen และ Rangsanteri, 2008)

รอบที่	PSNR (dB)	NC1 (LPF)	NC2 (MF)	NC3 (JPEG)
1	36.4834	0.5661	0.6244	0.6996
50	33.2626	0.7054	0.7607	0.8500
100	33.0240	0.7146	0.7732	0.8631

ตาราง 3

ค่า PSNR และ NC ของทุกภาพการทดลอง (วิธีที่นำเสนอ)

ภาพ	PSNR (dB)	NC1 (LPF)	NC2 (MF)	NC3 (JPEG)
Lena	35.5849	0.7490	0.7891	0.8620
Peppers	35.3264	0.7291	0.7996	0.8871
Boat	34.7914	0.7189	0.7551	0.8868
Barbara	35.4866	0.7211	0.7628	0.8693

ตาราง 4

ค่า PSNR และ NC ของทุกภาพการทดลอง (Promcharoen และ Rangsanteri, 2008)

ภาพ	PSNR (dB)	NC1 (LPF)	NC2 (MF)	NC3 (JPEG)
Lena	33.0240	0.7146	0.7732	0.8631
Peppers	34.0817	0.7024	0.7591	0.8742
Boat	33.3337	0.7076	0.7358	0.8859
Barbara	34.3434	0.6944	0.7254	0.8411

ตาราง 5

ค่าพารามิเตอร์จากการค้นหาด้วย ACS

ภาพ	ตำแหน่งของสัมประสิทธิ์ดีซีที่		ค่าพลังงานในการฝังลายน้ำ	
	ประเภทที่ 1	ประเภทที่ 2	α_1	α_2
Lena	13, 4, 9, 10	11, 8, 10, 13	0.51	1.65
Peppers	13, 18, 19, 17	10, 4, 13, 8	0.62	1.35
Boat	10, 12, 13, 9	6, 13, 8, 5	0.37	1.43
Barbara	9, 8, 17, 13	9, 13, 10, 8	0.30	1.22



(ก)



(ข)

ภาพ 8 (ก) ภาพ Peppers ต้นฉบับ (ข) ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ



(ก)



(ข)

ภาพ 9 (ก) ภาพ Boat ต้นฉบับ (ข) ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ



(ก)



(ข)

ภาพ 10 (ก) ภาพ Barbara ต้นฉบับ (ข) ภาพที่ผ่านการซ่อนลายน้ำ

เอกสารอ้างอิง

- Chen, T. S., Chang, C. C., & Hwang, M. S. (1998), A Virtual Image Cryptosystem based upon Vector Quantization. *IEEE Trans. on Image Processing*, 7(10).
- Cox, I. J., Kilian, Leighton, J. F. T., & Shamoon, T. (1997). Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia. *IEEE Trans. on Image Processing*, 6(12), 1673–1687.
- Dorigo, M., & Gambardella L. M. (1997). Ant Colony System: a Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 1(1), 53-66.
- Dorigo, M., Birattari M., & Stutzle, T. (2006), Ant Colony Optimization. *IEEE Computational Intelligence Mag.*, 28-39.
- Hsu, C. T., & Wu, J. L. (1999). Hidden Digital Watermarks in Images. *IEEE Trans. on Image Processing*, 8(1), 58–68.
- Huang, C. H., & Wu, J. L. (2000). A watermark optimization technique based on genetic algorithms. *Proceeding of SPIE-Visual Communications Image Processing*, 516–523.
- Huang, C. H., & Wu J. L. (2004). *Using Genetic Algorithms as Watermarking Performance Optimizers*. Retrieved from [http://www.cmlab.csie.ntu.edu. Tw/~bh/oldpage/](http://www.cmlab.csie.ntu.edu.Tw/~bh/oldpage/)
- Promcharoen, S., & Rangsanseri, Y. (2008). Genetic Watermarking with Block-Based DCT Clustering. *Proceeding of the International Symposium on Communication and Information Technology (ISCIT)*, 346-351.
- Pokudom, S. (2011). Image Watermarking for Image Copyright Protection. *EAU Heritage Journal, Science and technology*, 5(2), 17-27.
- Shieh, C. S., Huang, H. C., Wang, F. H., & Pan, J. S. (2004). Genetic watermarking based on transform domain techniques. *Pattern Recognition*, 37(3), 555–565.
- Wei, Z., Dai, J., & Li, J. (2006). Genetic watermarking based on DCT domain techniques. *Proceeding of IEEE CCECE/CCGEI*, 2365–2368.

