

การแทรกคำอธิบายคุณลักษณะลายไทยโดยใช้การทาลายน้ำ

ดิจิทัลแบบมองไม่เห็น

สิทธิพงศ์ กำเนิดศิริ*, พารา ลิ้มมะณีประเสริฐ** และ สุพจน์ นิตย์สุวัฒน์***

บทคัดย่อ

การแทรกลายน้ำดิจิทัลลงในภาพได้รับความนิยมและศึกษาค้นคว้าอย่างกว้างขวาง แต่การศึกษาวิจัยเพื่อแทรกคำอธิบายลงในภาพให้มีความคงทนต่อการโจมตี ไม่ต้องการพื้นที่เพิ่ม และสามารถถอดลายน้ำได้อย่างถูกต้องยังมีไม่มากนัก งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาขั้นตอนวิธีการเพื่อแทรกคำอธิบายคุณลักษณะลายไทยลงในภาพลายไทยซึ่งเป็นภาพโทนสีเทา โดยใช้การแปลง DCT จากนั้นนำภาพคุณลักษณะลายไทยที่เป็นภาพขาว-ดำมาทำการสุ่มเทียม แล้วแทรกลงในบิตสุดท้ายของค่าสัมประสิทธิ์ แล้วจึงทำการแปลงกลับผลลัพธ์จะได้ภาพลายไทยที่ถูกแทรกภาพลายน้ำดิจิทัลแบบมองไม่เห็นลงไปแล้วในกรณีต้องการทราบคำอธิบายภาพลายไทยสามารถทำการถอดภาพลายน้ำออกโดยวิธีการแปลง DCT และถอดภาพลายน้ำออกจากบิตสุดท้ายของค่าสัมประสิทธิ์ และทำการสุ่มเทียมกลับจะได้ภาพลายน้ำดิจิทัลออกมา นอกจากนี้ภาพที่แทรกลายน้ำดิจิทัลแล้วต้องถูกนำมาทดสอบความคงทน โดยให้ประชากร 100 คนโจมตีด้วยวิธีต่าง ๆ พบว่าภาพลายน้ำมีความคงทน โดยภาพลายน้ำที่ถอดได้ถูกต้องเป็น 80% ของภาพที่ถูกโจมตีทั้งหมด

คำสำคัญ :

การฝังลายน้ำ การถอดลายน้ำ ลายน้ำกับภาพลายไทย ความคงทนต่อการโจมตี

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีผู้คิดค้นนวัตกรรมขึ้นมามากมาย รวมทั้งงานสร้างสรรค์ในสาขาต่าง ๆ เช่น สาขาศิลปกรรม นาฏกรรม วรรณกรรม โสตทัศนวัสดุ ภาพยนตร์ สิ่งบันทึกเสียง เป็นต้น งานสร้างสรรค์ดังกล่าวจะต้องมีผู้คิด

ผู้สร้าง ผู้ทำ ตลอดจนผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางให้คำจำกัดความและอธิบายคุณลักษณะพิเศษที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของงานนั้น ๆ ในขณะเดียวกันเทคโนโลยีพัฒนาก้าวหน้าและทันสมัยอยู่ตลอดเวลา ทำให้การถ่ายโอนข้อมูลทำได้ง่ายขึ้น จนทำให้มีการละเมิดสิทธิความเป็นเจ้าของของงานสร้างสรรค์ข้างต้นอย่างกว้างขวาง โดยการทำงานนี้ไปทำซ้ำ ดัดแปลง และนำไปหาผลประโยชน์ทางธุรกิจ

ภาพลายไทยอันมีลักษณะงดงาม แสดงถึงความเป็นไทยนับตั้งแต่อดีตกาลจนถึงปัจจุบัน เนื่องด้วยลายไทยมีลักษณะลวดลายต่าง ๆ กันมากมาย แต่ละลวดลายมีความหมายในตัวเองซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่าศิลปลายไทยมีที่มาซึ่งจำเป็นต้องอาศัยผู้ที่เชี่ยวชาญเพื่ออธิบายภาพลายไทยนี้ อย่างถูกต้องและสามารถบอกที่มาของลายไทยนั้น ๆ ได้ แต่การที่จะหาผู้เชี่ยวชาญทางด้านนี้ค่อนข้างหายากและมีจำนวนน้อยลงเรื่อย ๆ ดังนั้นวิธีการหนึ่งที่มีความน่าจะเป็นไปได้ก็คือการบันทึกคำอธิบายของลักษณะลายไทยลงในภาพลายไทยโดยไม่ทำให้คุณภาพของภาพเสียไป รวมทั้งยังสามารถแสดงความเป็นเจ้าของด้วย ซึ่งวิธีที่กำลังได้รับความนิยมมาใช้ในปัจจุบันคือการแทรกลายน้ำดิจิทัลลงในสื่ออื่น ๆ ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาและพัฒนาวิธีการแทรกคำอธิบายคุณลักษณะของลายไทยลงในภาพลายไทยโดยใช้การทาลายน้ำดิจิทัลแบบมองไม่เห็น ซึ่งจะไม่ทำให้คุณภาพของภาพเสียไป ตลอดจนจะต้องมีความคงทน (Robust) ต่อการแก้ไขแบบต่าง ๆ ทั้งโดยตั้งใจและไม่ได้ตั้งใจ เช่น การบีบอัดภาพ การกรอง การเปลี่ยนขนาดของภาพ เป็นต้น โดยเป้าหมายหลักคือเพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนผู้เชี่ยวชาญที่จะให้คำอธิบายคุณลักษณะของภาพลายไทยนี้ เพื่อทำให้มีคำอธิบายคุณลักษณะของภาพติดไปกับภาพตลอด

ตอนที่ 2 ของบทความนี้ กล่าวถึงความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับลายน้ำดิจิทัล โดยกล่าวถึงการฝังและถอดลายน้ำ ตอนที่ 3

* อาจารย์ คณะบริหารธุรกิจ วิทยาลัยอินเตอร์เทคโนโลยี

** อาจารย์ ระดับ 6 ภาควิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจพ.

*** อาจารย์ ระดับ 7 ภาควิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจพ. และ รองคณบดีฝ่ายวิชาการ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สจพ.

กล่าวถึงวิธีการทดลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ขั้นตอนการฝัง การถอด และการทดสอบความคงทนของลายน้ำแบบต่าง ๆ จากนั้นตอนที่ 4 จะแสดงผลการทดลอง รวมทั้งผลการเปรียบเทียบภาพต้นฉบับกับภาพผลลัพธ์ที่ฝังลายน้ำแล้ว ความถูกต้องของลายน้ำโดยการเปรียบเทียบลายน้ำต้นฉบับกับลายน้ำที่ถอดได้ และผลการทดสอบความคงทนของลายน้ำ ส่วนตอนที่ 5 เป็นการสรุปผลการวิจัยรวมทั้งข้อเสนอแนะ

2. ลายน้ำดิจิทัลกับลายไทย

ลายน้ำดิจิทัล หมายถึง ข่าวสารลับซึ่งอาจอยู่ในรูปของอักขระ สัญลักษณ์ ภาพนิ่ง เสียงที่ต้องการฝังลงในสื่อซึ่งอาจเป็นภาพ เสียง หรือวีดิทัศน์ เพื่อแสดงความเป็นเจ้าของ [1] โดยมีรหัสลับ ในการฝังและถอดลายน้ำ เพื่อให้ได้ลายน้ำกลับคืนมาเหมือนเดิม [7] การทำลายน้ำประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ คือ การฝังลายน้ำ และการถอดลายน้ำซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การฝังลายน้ำ

ถ้าให้ W เป็นลายน้ำ X เป็นภาพต้นฉบับ และ K เป็นรหัสลับ การฝังลายน้ำจะได้ภาพผลลัพธ์ X' โดยสามารถกระทำได้ดังสมการต่อไปนี้

$$X' = f_i(X, W, K) \quad (1)$$

ลักษณะของการฝังลายน้ำในภาพต้นฉบับแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ แบบมองเห็นลายน้ำในภาพที่ถูกฝัง (Visible in the Image) และแบบมองไม่เห็นลายน้ำในภาพที่ถูกฝัง (Invisible in the Image) [6] การฝังลายน้ำแบบมองเห็นลายน้ำนั้นอาจทำให้เกิดการรบกวนต่อภาพ ในงานวิจัยนี้จึงเลือกแบบมองไม่เห็นลายน้ำในภาพผลลัพธ์ที่ถูกฝังลายน้ำแล้ว

2.2 การถอดลายน้ำ

การถอดลายน้ำเป็นกระบวนการย้อนกลับของการฝังลายน้ำ สิ่งที่สำคัญที่สุดในการถอดคือรหัสลับ และอาจไม่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นฉบับในการถอด ซึ่งขึ้นอยู่กับนำไปประยุกต์ใช้งาน การถอดลายน้ำออกจากภาพแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ แบบใช้ภาพต้นฉบับ (Unblind Watermarking) โดย

$$W' = g_i(X, X', K) \quad (2)$$

และแบบไม่ใช้ภาพต้นฉบับ (Blind Watermarking) โดย

$$W' = g_i(X', K) \quad (3)$$

ซึ่งการวิจัยนี้จึงเลือกแบบไม่ใช้ภาพต้นฉบับ

การฝังและถอดลายน้ำอาจกระทำใน Spatial Domain กล่าวคือการฝังลายน้ำจะทำการปรับค่าความเข้มแต่ละจุดภาพโดยตรง หรืออาจกระทำใน Frequency Domain โดยแปลงภาพด้วยการแปลงแบบต่าง ๆ เช่น FFT, DCT หรือ Wavelet [3] วิธีนี้สามารถฝังข้อมูลได้มากแต่ใช้เวลาในการคำนวณสูงกว่า [2] ในงานวิจัยนี้การฝังและถอดลายน้ำกระทำใน Frequency Domain ด้วยการแปลง DCT

2.3 การทำลายน้ำกับภาพลายไทย

ลายไทยนับเป็นเอกลักษณ์หนึ่งของวัฒนธรรมไทยซึ่งมีลักษณะโดดเด่นและควรที่จะอนุรักษ์ไว้ อย่างไรก็ตามสืบเนื่องด้วยสาเหตุประการต่าง ๆ ทำให้คนไทยรุ่นใหม่ละเลยความสนใจ จึงมีคนที่ไม่รู้จักลายไทยและทราบซึ่งในความงดงามเพียงบางกลุ่ม เช่น ผู้ที่เกี่ยวข้องกับศิลปะไทยโดยตรงสำหรับบุคคลทั่วไปแล้วนับเป็นเรื่องยากแม้แต่การจดจำชื่อลายไทยที่พบเห็นขณะนั้น ดังนั้นควรจัดให้มีสิ่งสนับสนุนให้บุคคลทั่วไปสามารถซึมทราบในความงามของศิลปลายไทย ประกอบกับพัฒนาการทางด้านคอมพิวเตอร์และการสื่อสารเติบโตอย่างก้าวกระโดด และมีอิทธิพลต่อชีวิตประจำวันของผู้คนเป็นอย่างมาก ผู้วิจัยจึงเสนอความคิดที่จะนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับงานศิลปช่างต้น โดยจะจัดเก็บคำอธิบายคุณลักษณะของลายไทยแทรกลงในภาพลายไทยในลักษณะการทำลายน้ำดิจิทัล

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินงานวิจัยนี้ดัดแปลงปรับปรุงวิธีการซึ่งนำเสนอโดย Hsu และคณะ [4, 5] โดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ การฝังภาพลายน้ำดิจิทัล การถอดลายน้ำออกจากภาพลายน้ำ และการทดสอบความคงทนต่อการโจมตี

3.1 วิธีการฝังภาพลายน้ำ

ภาพต้นฉบับซึ่งเป็นภาพโทนสีเทา มีขนาด $N_1 \times N_2$ จุดภาพถูกแบ่งออกเป็นบริเวณที่ไม่ซ้อนทับกันขนาด 8×8 จุดภาพ จำนวนบริเวณทั้งหมดคำนวณได้จาก $\frac{N_1}{8} \times \frac{N_2}{8}$

ดังนั้น ภาพต้นฉบับสามารถแทนด้วย

$$X = \{X(i, j); 0 \leq i < N_1, 0 \leq j < N_2\} \quad (4)$$

เมื่อ $X(i, j) \in \{0, \dots, 2^L - 1\}$ คือ ความเข้มของจุดภาพที่ตำแหน่ง (i, j) และ L คือ จำนวนหน่วยความจำที่ใช้ซึ่งมีหน่วยเป็นบิตต่อจุดภาพ

ภาพลายน้ำเป็นภาพแบบขาว-ดำ (Binary Image) ซึ่งค่าความเข้มของภาพถูกแทนด้วยสีขาวและดำเท่านั้น โดยสีขาวแทนด้วยค่าความเข้ม 1 และสีดำแทนด้วยค่าความเข้ม 0 และมีขนาด $M_1 \times M_2$ จุดภาพ ภาพลายน้ำสามารถแทนด้วย

$$W = \{W(i, j); 0 \leq i < M_1, 0 \leq j < M_2\} \quad (5)$$

เมื่อ $W(i, j) \in \{0, 1\}$ สำหรับทุกๆ (i, j) ก่อนที่จะนําลายน้ำไปฝังในภาพต้นฉบับต้องทํากการ “การสลับตำแหน่งแบบสุ่มเทียม” โดยสลับตำแหน่งของจุดภาพบนภาพลายน้ำให้กระจายอย่างทั่วถึงก่อนที่จะนําลายน้ำไปฝังยังภาพต้นฉบับดังแสดงในภาพที่ 1 ถ้ามีการกําลังการสลับตำแหน่งด้วยโปรแกรมทั่วๆ ไป ภาพลายน้ำที่มีการสลับตำแหน่งแบบสุ่มเทียมแล้วจะยังคงให้ภาพลายน้ำที่มีความครบถ้วนสมบูรณ์มากกว่าภาพลายน้ำที่ไม่ได้ทํากการสลับแบบสุ่มเทียม การสลับตำแหน่งแบบสุ่มเทียมของภาพลายน้ำแสดงได้ดังความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$W_p = \{W_p(i, j); W_p(i, j) = W(i', j'), 0 \leq i, i' \leq M_1, 0 \leq j, j' \leq M_2\} \quad (6)$$

โดย

$$p: \{1, \dots, M_1\} \times \{1, \dots, M_2\} \rightarrow \{1, \dots, M_1\} \times \{1, \dots, M_2\}$$

และ $p(i, j) = p(i', j')$ เมื่อ $0 \leq i, i' \leq M_1, 0 \leq j, j' \leq M_2$ และ W_p คือ ภาพลายน้ำที่ทํากการสลับตำแหน่งจุดภาพแบบสุ่มเทียม



ภาพที่ 1 การสลับแบบสุ่มเทียมของภาพลายน้ำ

ต่อมาภาพลายน้ำถูกแบ่งในลักษณะเดียวกันกับภาพต้นฉบับ โดยจำนวนบริเวณทั้งหมดบนภาพลายน้ำ คือ

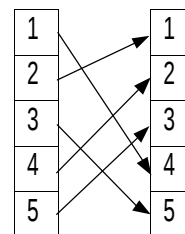
$$\left(M_1 \times \frac{8}{N_1} \right) \left(M_2 \times \frac{8}{N_2} \right)$$

การฝังภาพลายน้ำควรจะพิจารณาภาพต้นฉบับด้วยว่า ภาพต้นฉบับแต่ละบริเวณนั้นมีลักษณะเป็นอย่างไร ทั้งนี้เมื่อฝังภาพลายน้ำแล้วภาพลายน้ำนั้นจะต้องไม่ปรากฏให้เห็น เพื่อแก้ไขปัญหานี้จึงต้องมีการจัดกลุ่มของแต่ละบริเวณของภาพลายน้ำกับภาพต้นฉบับ เมื่อนําลายน้ำไปฝังลงยังภาพต้นฉบับ ภาพลายน้ำจะกลมกลืนไปกับภาพต้นฉบับจนไม่สามารถแยกแยะออกได้

เริ่มต้นด้วยการคํานวณหาค่าความแปรปรวนที่เกิดขึ้นทุกๆ บริเวณของภาพต้นฉบับที่ได้ทํากการแบ่งไว้แล้วในขั้นตอนแรกนั้น จากนั้นนําค่าความแปรปรวนเหล่านี้มาจัดเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ภาพลายน้ำก็เช่นกันต้องคํานวณจำนวนจุดภาพที่อาจมีอิทธิพลทำให้อุณหภูมิของภาพต้นฉบับที่ถูกแทรกลายน้ำแล้วเสียไป (Signed Pixel) และนํามาเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย โดยทั้งสองกรณีข้างต้นต้องเก็บค่าตำแหน่งบริเวณก่อนการจํากัดเรียงไว้ด้วยจากนั้นทํากการจับคู่ระหว่างบริเวณของภาพลายน้ำและภาพต้นฉบับโดยให้บริเวณของภาพลายน้ำที่มีลำดับของ Signed Pixel มากที่สุดสมนัยกับบริเวณของภาพต้นฉบับที่มีค่าความแปรปรวนมากที่สุด และกระทำแบบนั้นไปทุกบริเวณจนทั่วทั้งภาพ

ตำแหน่งของ บริเวณภาพ Host	variance	ตำแหน่งของ บริเวณภาพ Wm	No of Signed pixels
5	33.2	3	10
1	30.5	4	8
4	22.2	2	7
2	16.7	1	3
3	8.2	5	2

(ก)



(ข)

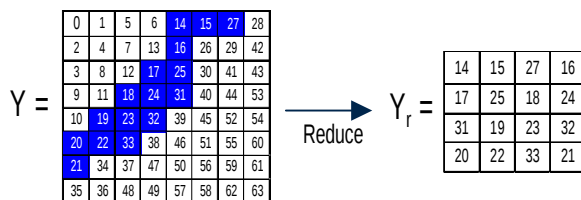
ภาพที่ 2 การจับคู่ที่เหมาะสมระหว่างแต่ละบริเวณบนภาพต้นฉบับและภาพลายน้ำ (ก) การจัดเรียงค่าความแปรปรวนบนภาพต้นฉบับและค่าจำนวนจุดภาพที่อาจมีอิทธิพลทำให้อุณหภูมิของภาพต้นฉบับที่ถูกแทรกลายน้ำแล้วเสียไป และ (ข) แสดงการจับคู่บริเวณของภาพต้นฉบับและของภาพลายน้ำ



สำหรับภาพต้นฉบับหลังจากแบ่งเป็นบริเวณที่ไม่ซ้อนทับกัน ขนาด 8x8 จุดภาพแล้วจึงทำการแปลงภาพด้วยการแปลง DCT เนื่องจากเมื่อทำการแปลงสัญญาณด้วย DCT ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จะเป็นจำนวนจริง ซึ่งสามารถนำค่าเหล่านี้ไปทำการเปลี่ยนแปลงแก้ไข แล้วทำการแปลงสัญญาณกลับไปให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัลได้ง่าย การแปลงนี้สามารถแทนด้วยความสัมพันธ์

$$Y = DCT(X) \quad (7)$$

X คือ แต่ละบริเวณของภาพต้นฉบับที่มีค่าอยู่ในโดเมนเวลา Y คือ แต่ละบริเวณของภาพต้นฉบับที่มีค่าอยู่ในโดเมนความถี่ สัมประสิทธิ์นี้จะนำภาพลายน้ำมาฝัง โดยควรคำนึงสิ่งต่อไปนี้ ประการแรกภาพต้นฉบับจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมน้อยที่สุดหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลย นั่นคือจะต้องไม่ฝังภาพลายน้ำลงบนสัมประสิทธิ์ที่มีค่าอยู่ในช่วงความถี่ต่ำ ซึ่งจะทำให้ภาพผลลัพธ์เกิดการผิดเพี้ยนได้ ประการที่สองเมื่อทำการบีบอัดภาพผลลัพธ์ลายน้ำที่ฝังอยู่จะต้องมีความคงทน ไม่ถูกทำลาย ซึ่งสามารถปฏิบัติได้โดยไม่ต้องไม่ฝังภาพลายน้ำลงในสัมประสิทธิ์ที่มีความถี่สูง ทั้งนี้เพราะเมื่อทำการบีบอัดภาพค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าอยู่ในช่วงความถี่สูงถูกตัดออกทำให้ภาพลายน้ำถูกกำจัดได้ง่าย เพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้จึงต้องเลือกค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าอยู่ในช่วงความถี่ช่วงกลาง การเลือกค่าสัมประสิทธิ์ของความถี่กลางกระทำได้ดังนี้ เลือกสัมประสิทธิ์จำนวน $\left(64 \times \frac{M_1 \times M_2}{N_1 \times N_2}\right)$ โดยใช้การจัดเรียงแบบ Zigzag แล้วซึ่งจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ขนาด 4×4 ค่าดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การเลือกค่าสัมประสิทธิ์ของความถี่กลางด้วยวิธี Zigzag

การดำเนินการจนถึงขั้นตอนนี้จะสังเกตพบว่าบริเวณทั้งหมดของภาพต้นฉบับจะมีขนาดเท่ากับบริเวณของภาพลายน้ำ การนำภาพลายน้ำไปฝังลงยังบริเวณที่เลือกจำเป็นต้องทำการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ในบริเวณนั้น ก่อน โดยทำการเปลี่ยนค่าจากจำนวนจริงให้เป็นจำนวนเต็ม

ทั้งนี้เนื่องจากภาพลายน้ำเป็นภาพแบบ Binary Image จากนั้นทำการฝังภาพลายน้ำโดยนำข้อมูลของภาพลายน้ำในตำแหน่งที่สมนัยกับตำแหน่งของสัมประสิทธิ์ที่เลือกไว้โดยแทนที่หลักสุดท้ายของเลขฐานสองของค่าสัมประสิทธิ์ที่ถูกทำให้เป็นจำนวนเต็มแล้วดังภาพที่ 4

Watermark			
0	0	1	0
1	0	1	0
0	1	0	0
0	0	0	1

Host Image			
00000001	00000010	00000101	00000010
00000100	00001000	00000101	00000110
00000111	00000011	00000110	00001000
00000001	00000101	00000101	00000001

ภาพที่ 4 การนำค่าของภาพลายน้ำไปแทนที่หลักสุดท้ายของสัมประสิทธิ์ของบริเวณที่เลือกบนภาพต้นฉบับ

นำค่าที่ทำการฝังภาพลายน้ำเรียบร้อยแล้วใส่คืนในตำแหน่งเดิมก่อนที่จะมีการเรียงค่าแบบ Zigzag ฉะนั้นจะได้ขนาดของบริเวณแต่ละบริเวณในภาพผลลัพธ์ขนาด 8×8 จุดภาพเช่นเดิม จากนั้นทำการแปลงค่ากลับเป็นสัญญาณใน Spatial Domain ดังเดิมด้วยการทำ IDCT ทุกบริเวณจนทั่วทั้งภาพสามารถเขียนแทนด้วย

$$X' = IDCT(\hat{Y}) \quad (8)$$

$\hat{Y}$ คือ บริเวณของภาพต้นฉบับที่มีค่าอยู่ในโดเมนความถี่

3.2 วิธีการถอดภาพลายน้ำ

การถอดลายน้ำในงานวิจัยนี้จำเป็นต้องใช้ภาพต้นฉบับด้วย โดยเริ่มต้นแบ่งพื้นที่ของภาพที่ต้องส่งสยออกเป็นบริเวณที่ไม่ซ้อนทับกันขนาด 8×8 จุดภาพ จากนั้นทำการแปลง DCT ในแต่ละบริเวณของภาพนั้นทั่วทั้งภาพ จากนั้นเลือกสัมประสิทธิ์ในแต่ละบริเวณจำนวน $\left(64 \times \frac{M_1 \times M_2}{N_1 \times N_2}\right)$ ค่าจากสัมประสิทธิ์ทั้งหมด 64 ค่า ด้วยวิธี Zigzag และจะต้องเก็บตำแหน่งที่ทำการเลือกไว้ด้วย จะได้สัมประสิทธิ์แต่ละบริเวณที่มีขนาดเท่ากับ 4×4 จากนั้นอ่านค่าจากหลักสุดท้ายของสัมประสิทธิ์ ซึ่งถูกทำให้เป็นเลขจำนวนเต็มแล้วซึ่งมีค่าเป็น 0 หรือ 1 เนื่องจากภาพลายน้ำและภาพต้นฉบับมีความสัมพันธ์กันผ่านทางค่า Signed Pixel และค่าความแปรปรวนของค่าความเข้มของ

จุดภาพในแต่ละบริเวณ ซึ่งในการถอดภาพลายนํ้าจะใช้ความสัมพันธ์นี้ การหาตำแหน่งเดิมของแต่ละจุดภาพของภาพลายนํ้าที่ทำได้โดยการใช้ตำแหน่งของการสลับกลุ่มของภาพลายนํ้าซึ่งกระทำไว้ก่อนหน้านั้นในขั้นตอนการเลือกค่าสัมประสิทธิ์ที่อยู่ในช่วงความถี่กลาง โดยทำการ Inverse Pseudo-random Permutation เพื่อทำการคืนค่าจุดภาพกลับคืนสู่ตำแหน่งเดิม

3.3 การทดสอบลายนํ้า

3.3.1 การตรวจสอบความผิดเพี้ยนของภาพต้นฉบับ

การทดสอบความผิดเพี้ยนหลังภาพต้นฉบับหลังถูกแทรกลายนํ้าลงไปแล้วไม่สามารถกระทำได้โดยใช้สายตาแต่เพียงลำพังเท่านั้น ทั้งนี้เพราะจะได้ภาพที่มองไม่เห็นลายนํ้าและไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างได้ จึงใช้การวัดที่เรียกว่า PSNR (Peak Signal to Noise Ratios) โดย

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \text{ dB} \quad (9)$$

MSE เป็นค่าเฉลี่ยของค่า Error ที่ขนาดภาพ $N \times N$ จุดภาพดังสมการ

$$MSE = \frac{1}{N^2} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (X(i, j) - X_w(i, j))^2 \quad (10)$$

โดย X คือ ภาพต้นฉบับ

X_w คือ ภาพที่ถูกแทรกลายนํ้าแล้ว

3.3.2 การตรวจสอบความเหมือนระหว่างลายนํ้าเดิมและลายนํ้าที่ถอดได้

การทดสอบความเหมือนระหว่างลายนํ้าต้นฉบับ (W) กับลายนํ้าที่ถอดได้ (W') สามารถทำได้โดยวัดค่า NC (Normalized Correlation)

$$NC = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} W(i, j) W'(i, j)}{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} [W(i, j)]^2} \quad (11)$$

3.3.3 การทดสอบความคงทนต่อการโจมตี

เพื่อทดสอบว่ารูปแบบของการทําลายนํ้าข้างต้นนั้นมีความคงทนมากน้อยเพียงใดต่อการโจมตี จึงทำการวัดค่า NC ของลายนํ้าที่ถอดจากภาพที่ฝังลายนํ้าแล้วหลังถูกโจมตีแบบต่าง ๆ คือ การตัดภาพบางส่วน การหมุนภาพ การบีบอัด เป็นต้น

4. ผลการทดลอง

ผู้วิจัยได้ทดสอบความคงทนของภาพที่ผ่านการแทรกลายนํ้าทั้งหมด 10 ภาพ แต่ละภาพจะทำการโจมตีด้วยวิธีการต่าง ๆ วิธีละ 10 ครั้ง การโจมตีดังกล่าว เช่น การตัดภาพบางส่วน การกลับสีภาพ การย่อ/ขยายภาพการใส่สัญญาณรบกวน การหมุนภาพ เป็นต้น รวม 100 การโจมตี สามารถถอดภาพลายนํ้าหลังจากการโจมตีได้อย่างถูกต้อง 76 % ตัวอย่างผลการทดลองเป็นดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงภาพต้นฉบับ ภาพลายนํ้าดิจิทัล และภาพลายนํ้าที่ถอดออกมาได้

ภาพที่	ภาพต้นฉบับ	ภาพลายนํ้า	ภาพลายนํ้าที่ถอดได้
1		ลายก้านกระจิง	ลายก้านกระจิง
2		ลายชั้น	ลายชั้น
3		ลายแจกัน	ลายแจกัน
4		ช่อลาย	ช่อลาย
5		ลายนกคอบ	ลายนกคอบ
6		ลายช่อใบเทศ	ลายช่อใบเทศ
7		ลายหน้าขบ	ลายหน้าขบ
8		พุ่มข้าวบิณฑ์	พุ่มข้าวบิณฑ์

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบ 1) ภาพต้นฉบับและภาพที่แทรกลายนํ้าแล้ว (ค่า PSNR) 2) ภาพลายนํ้าต้นฉบับและภาพลายนํ้าที่ถอดได้ (ค่า NC)

ภาพต้นฉบับ	ภาพลายนํ้า	PSNR (dB)	NC
HOST01	EMBED01	21.589582	0.9989278
HOST02	EMBED02	21.625164	0.9989632
HOST03	EMBED03	21.453666	1.0000000
HOST04	EMBED04	21.735172	0.9985197
HOST05	EMBED05	21.539285	1.0000000
HOST06	EMBED06	21.444116	0.9994749



ตารางที่ 2 (ต่อ)

ภาพต้นฉบับ	ภาพลายน้ำ	PSNR (dB)	NC
HOST07	EMBED07	21.553670	0.9997148
HOST08	EMBED08	21.560242	0.9999258
HOST09	EMBED09	21.845363	0.9986295
HOST10	EMBED10	21.711565	0.9983154

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความคงทนต่อการโจมตีแบบตัดภาพบางส่วน (ระบายสีดำ)

ภาพที่	ภาพต้นฉบับ	ภาพลายน้ำ	ภาพการโจมตี	ภาพลายน้ำที่ถอดได้
1		ลายก้านกระเจิง		ลายก้านกระเจิง
2		ลายชั้น		ลายชั้น
3		ลายแจกัน		ลายแจกัน
4		ช้อลาย		ช้อลาย
5		ลายนกคาบ		ลายนกคาบ
6		ลายช่อใบเทศ		ลายช่อใบเทศ
7		ทับทรวง		ทับทรวง
8		ลายกรองคอ		ลายกรองคอ

ตารางที่ 4 ผลการทดลองการโจมตีด้วยการตัดภาพบางส่วน ตั้งแต่ 0% ถึง 100%

ภาพต้นฉบับ	ภาพลายน้ำที่ถอดได้	พื้นที่หลังการตัด	ค่า NC
	ลายก้านกระเจิง	100%	0.9989278
	ลายก้านกระเจิง	90%	0.9052895
	ลายก้านกระเจิง	80%	0.8065761

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ภาพต้นฉบับ	ภาพลายน้ำที่ถอดได้	พื้นที่หลังการตัด	ค่า NC
	ลายก้านกระเจิง	70%	0.7058613
	ลายก้านกระเจิง	60%	0.6060758
	ลายก้านกระเจิง	50%	0.4922802
	ลายก้านกระเจิง	40%	0.3844174
	ลายก้านกระเจิง	30%	0.2846319
	ลายก้านกระเจิง	20%	0.1935668
	ลายก้านกระเจิง	10%	0.0960686

ตารางที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบีบอัดภาพกับค่า NC และ PSNR

ค่า Compression Quality	NC	PSNR (dB)
0	0.5552538	21.774475
10	0.5977127	21.683816
20	0.7991422	21.685552
30	0.8586133	21.709431
40	0.9079342	21.682745
50	0.9573267	21.671247
60	0.9764117	21.666001
70	0.9927806	21.607190
80	0.9927806	21.595984
90	0.9987848	21.593427
100	0.9988563	21.590591

ตารางที่ 6 ผลการทดลองการโจมตีแบบต่าง ๆ

ภาพที่	จำนวนการโจมตี	ภาพลายน้ำที่ถอดได้	ภาพลายน้ำที่ถอดไม่ได้	ถอดได้
1	10	8	2	80 %
2	10	8	2	80 %
3	10	8	2	80 %
4	10	8	2	80 %
5	10	8	2	80 %
6	10	8	2	80 %

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ภาพที่	จำนวน การโจมตี	ภาพลายน้ำที่ ถอดได้	ภาพลายน้ำที่ ถอดไม่ได้	ถอดได้
7	10	8	2	80 %
8	10	8	2	80 %
9	10	8	2	80 %
10	10	8	2	80 %
รวม	100	80	20	80 %

5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาขั้นตอนวิธีการฝังและถอดคำอธิบายคุณลักษณะลายไทยลงในภาพลายไทยโดยใช้การแปลง DCT แล้วแทรกค้ำอธิบายน้ำเข้าไปที่บิตสุดท้ายของสัมประสิทธิ์ของภาพลายไทย จากนั้นทำการแปลง IDCT จะได้ภาพลายไทยที่มีภาพลายน้ำฝังอยู่ ซึ่งลายน้ำที่ฝังจะมีลักษณะที่มองไม่เห็น ในขั้นตอนการถอดนั้นนำภาพลายไทยที่ใส่ลายน้ำแล้วมาทำการแปลง DCT แล้วอ่านบิตสุดท้ายจากค่าสัมประสิทธิ์ของภาพนี้ จากนั้นจึงทดสอบความคงทนของลายน้ำต่อการโจมตีแบบต่างๆ สำหรับการ หมุนภาพ และย่อ/ขยายภาพนั้น เนื่องจากการฝังภาพลายน้ำจะฝังในบิตสุดท้ายของสัมประสิทธิ์ของภาพกรณีภาพเปลี่ยนตำแหน่งไปค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ก็จะเปลี่ยนแปลงด้วย ดังนั้นการถอดลายน้ำจึงไม่สามารถถอดกลับคืนมาได้ ผู้วิจัยเสนอแนะว่าถ้าต้องการให้ภาพที่ใส่ลายน้ำดิจิทัลมีความคงทนต่อการโจมตีที่สูงขึ้นควรใช้การแปลงอื่น เช่น Wavelet Transform [8, 9] และวิธีการฝังลายน้ำแบบอื่น เช่น Chosen Middle Frequency ของค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างบล็อกข้างเคียง หรือวิธีการฝังภาพลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีอื่น ๆ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] J. M. Acken, "How watermarking adds value to digital

content." *Communications of the ACM*, 41(7), 74-77, 1998.

- [2] I. J. Cox, J. Kilian, F. T. Leighton and T. Shamoon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia." *IEEE Transaction on Image Processing*, 6(12), 1673-1687, 1997.
- [3] H. Inoue, A. Mayazaki, A. Yamamoto and T. Katsura, "A digital watermark base on the wavelet transform and its robustness on image compression and transformation." *IEICE Trans. Fund. Electron., Commu., Comput. Sci.*, E82-A, 2-10, 1999.
- [4] C. -T. Hsu and J. -L. Wu, "Hidden digital watermarks in image," *IEEE Transactions on Image Processig*, 8(1), 58-68, 1999.
- [5] C. -T. Hsu and J. -L. Wu, "Image watermarking by wavelet decomposition," *Academy of Information and Management Sciences Journal*, 3(1), 70-86, 2000.
- [6] M. D. Swanson, M. Kobayashi and A. H. Tewfik, "Multimedia data-embedding and watermarking technologies," *Proceedings of the IEEE*, 86(6), 1064-1087, 1998.
- [7] R. van Schyndel, A. Tirkel and C. Osborne, "A digital watermark," *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing*, 2, 86-90, 1994.
- [8] X. Xia, C. Boncelet and G. Arce, "A multiresolution watermark for digital images," *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing*, 1, 548-551, 1997.
- [9] W. Zhu, Z. Xiong and Y. -Q. Zhang, "Multiresolution watermarking for images and video," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technology*, 9, 545-550, 1999.



นายสิทธิพงศ์ กำเนิดศิริ

สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีครุศาสตร์
อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาเทคโนโลยี
คอมพิวเตอร์ จากสถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปี
2541 และระดับปริญญาโทหลักสูตร

ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีคอม-
พิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (สจพ.)
เมื่อปี 2546 ปัจจุบันทำงานเป็นอาจารย์ประจำ ตำแหน่ง
หัวหน้าสาขาวิชาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ คณะบริหาร
ธุรกิจ วิทยาลัยอินเทอร์เน็ตเทคโนโลยี กรุงเทพมหานคร
งานวิจัยที่สนใจ ได้แก่ การประมวลผลภาพดิจิทัล



นายสุพจน์ นิตยสุวัฒน์

สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตร์ บัณฑิต
สาขาคณิตศาสตร์ ในปี พ.ศ. 2524
จากมหาวิทยาลัยรามคำแหง
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาคณิต
ศาสตร์ประยุกต์ในปี พ.ศ.2530

จากมหาวิทยาลัยมหิดล และปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขา
วิทยาการคอมพิวเตอร์ ในปี พ.ศ. 2544 จากมหาวิทยาลัย
นิวเซาท์เวล ประเทศออสเตรเลีย ปัจจุบันเป็นอาจารย์สังกัด
ภาควิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ งานวิจัยที่สนใจ
ได้แก่ การประมวลผลภาพและวิดีโอ และการรู้จำรูปแบบ



นายพารา ลิ้มมะณีประเสริฐ

สำเร็จการศึกษาอุตสาหกรรมศาสตร
บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์
ในปี พ.ศ. 2535 และวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม
คอมพิวเตอร์ ในปี พ.ศ. 2539

จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
ปัจจุบันเป็นอาจารย์สังกัด ภาควิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ งานวิจัยที่สนใจ ได้แก่ การเข้ารหัสและประมวล
ผลสัญญาณมัลติมีเดีย การสร้างและเข้ารหัสสัญญาณภาพ
วิดีโอสามมิติและ การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล

