

บทความวิจัย

การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการกู้คืน สัญญาณลายนําดิจิทัล

รพี พิษพันธ์

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ธำรงรัตน์ อมรรักษ์

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทคัดย่อ

การทำภาพพิมพ์ลายนําดิจิทัลที่พบเห็นกันอยู่ทุกวันนี้โดยเป้าประสงค์ของการทำเพื่อที่จะแสดงสิทธิความเป็นเจ้าของในตัวข้อมูลมัลติมีเดียอื่นๆ หลายบทความได้มีการนำเสนอส่วนใหญ่เน้นย้ำไปที่วิธีการฝังสัญญาณลายนําดิจิทัล โดยนำเสนอวิธีการที่ทำให้สัญญาณลายนําดิจิทัลหลังจากถูกฝังลงในรูปภาพต้นฉบับ ไม่สามารถมองเห็นได้ถึงความแตกต่างที่ชัดเจน อีกทั้งยังมีความคงทนต่อกระบวนการปรับแต่งภาพดิจิทัลในรูปแบบต่างๆ ในบทความฉบับนี้ได้นำเสนอถึงวิธีเพิ่มประสิทธิภาพในส่วนของการกระบวนการกู้คืนสัญญาณลายนําดิจิทัล โดยวิธีการสร้างแบบจำลองภาพดิจิทัลต้นฉบับขึ้น ซึ่งอาศัยพื้นฐานของเทคนิคการหาค่าเฉลี่ยภาพดิจิทัล โดยได้มีการประยุกต์ใช้ในตัวกรองสัญญาณความถี่แบบต่างๆ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการสร้างแบบจำลองภาพดิจิทัลต้นฉบับขึ้นโดยการเปรียบเทียบตัวกรองสัญญาณแบบต่างๆ การใช้ตัวกรองสัญญาณแบบ mean filter ให้ผลถึงประสิทธิภาพในการกู้คืนสัญญาณลายนําดิจิทัลได้ดีที่สุด

Efficiency Improvement in Watermark Retrieval Process

Rapee Puertpan

Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's University of Technology Thonburi

Thumrongrat Amornraksa

Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's University of Technology Thonburi

Abstract

Presently, digital watermarking has been employed as a means for indicating the ownership of copyrighted multimedia data. While many existing watermarking methods focused on the embedding method in order to achieve the imperceptibility and robustness characteristics, in this paper, a method for improving the efficiency in the watermark retrieval process by estimating the value of the original image is considered. The proposed method is based on a digital image averaging technique, which is widely applied in various frequency filters. By comparing different retrieval techniques, the experimental results showed that the improved performances could be obtained when applying the mean filter in the watermark retrieval process.

บทนำ

ด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีที่ทันสมัย ตัวข้อมูลมัลติมีเดียชนิดต่างๆ ได้ถูกทำขึ้น และมีการเผยแพร่อย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นการส่งผ่านข้อมูลผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต หรือการถูกนำเสนอทางสื่อมัลติมีเดียชนิดต่างๆ นามซึ่งคุณค่าทางงานศิลปะรวมไปถึงรายได้จากผลประโยชน์ต่างๆ ที่ได้รับจากความเป็นเจ้าของในตัวข้อมูลมัลติมีเดียชนิดนั้นๆ ด้วยความก้าว

หน้าของเทคโนโลยีดังกล่าวยังผลให้เกิดการทำซ้ำและลอกเลียนแบบตัวข้อมูลมัลติมีเดียต้นฉบับขึ้นอย่างมากมาย โดยตัวข้อมูลนั้นอาจถือได้ว่าเป็นสิทธิทางปัญญาอย่างหนึ่งซึ่งการละเมิดสิทธิดังกล่าวนอกจากจะทำให้เกิดการลดคุณค่าในงานศิลปะแล้วยังเกิดการสูญเสียผลประโยชน์ต่อบุคคลที่เป็นเจ้าของผลงานนั้นอีกด้วย

วิธีการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลถือได้ว่าเป็นวิธีการหนึ่งในการแก้ไขปัญหาเหล่านี้ โดยการฝังรหัสลับที่รู้จักกันในชื่อของสัญญาณลายน้ำดิจิทัลลงในข้อมูลมัลติมีเดียต่างๆ ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของความคงทนต่อกระบวนการปรับแต่งภาพดิจิทัลชนิดต่างๆ และแสดงผลในภาพลักษณะที่ไม่สามารถมองเห็นได้ถึงความแตกต่างจากภาพต้นฉบับที่ชัดเจน ส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งคือ วิธีการกู้คืนสัญญาณลายน้ำซึ่งเป็นวิธีการพิสูจน์สิทธิความเป็นเจ้าของในข้อมูลมัลติมีเดียต่างๆ โดยอาศัยหลากหลายวิธีการในกระบวนการกรองสัญญาณทำให้ได้ภาพจำลองของรูปดิจิทัลต้นฉบับขึ้นเพื่อใช้ในการหาขนาดของสัญญาณลายน้ำที่ถูกฝังเอาไว้

บทความฉบับนี้ได้นำเสนอกระบวนการในการหาค่าเฉลี่ยภาพดิจิทัลโดยอาศัยตัวกรองสัญญาณความถี่แบบต่างๆ เพื่อจะค้นหาตัวกรองสัญญาณชนิดที่ยังผลถึงประสิทธิภาพในการกู้คืนสัญญาณลายน้ำได้ดีที่สุด ค่าชี้วัดประสิทธิภาพในการกู้คืนสัญญาณลายน้ำที่ใช้ในการทดลองคือ ค่าเปอร์เซ็นต์ในการกู้คืนสัญญาณลายน้ำดิจิทัล (retrieval percentage, %) ซึ่งจะเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของสัญญาณลายน้ำที่ถูกกู้คืนกับสัญญาณลายน้ำดิจิทัลต้นฉบับในระดับพิกเซลต่อพิกเซล

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Schyndel et al.[1] ได้นำเสนอวิธีในการปรับแต่งค่าบิตที่น้อยที่สุด (Least Significant Bits, LSB) โดยการฝังค่าสัญญาณลายน้ำดิจิทัลลงใน LSB ของรูปภาพดิจิทัลต้นฉบับ ซึ่งภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลที่ได้ยังคงไม่มีความคงทนต่อการโจมตีด้วยสัญญาณรบกวน และง่ายต่อการถูกทำลาย เพราะว่าการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลวิธีนี้เป็นไปในลักษณะของปรับแต่งค่าขนาดของสัญญาณภาพที่มีความสำคัญน้อยที่สุดเท่านั้น อีกลักษณะหนึ่งของการปรับแต่งค่าบิตที่น้อยที่สุดได้ถูกนำเสนอใน เอกสารอ้างอิงหมายเลข [2] โดยการเลือกคู่พิกเซลแบบสุ่ม แล้วทำการเพิ่มค่าความสว่างในพิกเซลตัวแรกหนึ่งหน่วย และลดค่าความสว่างของพิกเซลตัวที่สอง

อีกหนึ่งหน่วย อย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าวให้ผลลัพธ์เหมือนในเอกสารอ้างอิงหมายเลข [1] เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่ค่าขนาดของสัญญาณภาพที่มีความสำคัญน้อยที่สุดเช่นกัน

งานวิจัยที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับวิธีการที่ได้นำเสนอในบทความฉบับนี้ถูกนำเสนอโดย Kutter et al.[3] โดยอาศัยหลักการของการกล้ำความลึกของสัญญาณ (amplitude modulation) ซึ่งผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่ามีความคงทนต่อการปรับแต่งรูปภาพทางภาพประมวลผลทางดิจิทัล ในเอกสารอ้างอิงหมายเลข [4] ได้พัฒนาการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยการใช้ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักแบบเกาส์เซียนเป็นการตั้งค่าตัวปรับละเอียดของสัญญาณลายน้ำดิจิทัลก่อนจะทำการฝังลงในรูปภาพ สำหรับการกู้คืนลายน้ำดิจิทัลได้ใช้หลักการหาค่าเฉลี่ยภาพดิจิทัลแบบ cross-shaped neighborhood pixels เหมือนในเอกสารอ้างอิงหมายเลข [3] ผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่ารูปภาพดิจิทัลที่ผ่านการฝังลายน้ำดิจิทัลมีคุณภาพที่ดีกว่า โดยวัดได้จากตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่เรียกว่า Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) ของรูปภาพที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัลไว้

วิธีการกู้คืนสัญญาณลายน้ำดิจิทัลยังได้ถูกพัฒนาต่อไปอีก โดยใช้หลักการค่าเฉลี่ยของรูปภาพดิจิทัลแบบ 8 neighborhood pixels[5] และ mean filter[6] ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการกู้คืนลายน้ำดิจิทัลสูงขึ้น โดยวัดได้จากค่าเปอร์เซ็นต์ในการกู้คืนได้ของสัญญาณลายน้ำ นอกจากนี้ยังได้จำลองทำการโจมตีรูปภาพที่ผ่านการฝังลายน้ำดิจิทัลโดยวิธีที่ได้กล่าวมาแล้ว ด้วยสามวิธีที่เป็นที่นิยมใช้ในการปรับแต่งภาพดิจิทัลคือ การพรมารูปภาพ การใส่สัญญาณรบกวนในรูปภาพ และการกรองสัญญาณความถี่สูง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองเป็นที่น่าพอใจคือสัญญาณลายน้ำดิจิทัลที่ถูกกู้คืนกลับมาได้ยังมีคุณภาพดีพอที่จะทราบว่าเป็นข้อมูลอะไร

วิธีการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัล

ในการทดลองจะทำการสร้างสัญญาณลายน้ำดิจิทัลซึ่งเป็นภาพขาวดำชนิด binary ขนาด 256×256 พิกเซล ให้มีลักษณะของสัญญาณแบบเลือกกลุ่ม (independent identically distributed, i.i.d.) โดยกำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำอารีย์ของสัญญาณลายน้ำดิจิทัลในลักษณะสองมิติ ให้ส่วนที่เป็นสีขาวของภาพขาวดำแทนด้วยค่าตัวเลข 0 ส่วนที่เป็นสีดำให้มีค่าเป็น 1 ซึ่งจะได้ชุดอารีย์ที่มีค่า 0 และ 1 หลังจากนั้นทำการสลับค่าอารีย์แบบเลือกกลุ่ม โดย

อาศัยการเลือกกลุ่มแบบสองมิติในลักษณะของ Gaussian distribution ซึ่งตั้งค่าความแปรปรวน (variance) ไว้ที่ 100 ยังผลให้เกิดอาเรย์ของภาพสัญญาณลายน้ำดิจิทัลแบบเกาส์เซียนที่ไม่จำเพาะเจาะจง[7]

ลักษณะการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัลโดยทั่วไปสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ แบบที่มีการแปลงย่านการประมวลผล (transformed domain) และแบบที่ไม่มีการแปลงย่านการประมวลผล (non-transformed domain) โดยการพิจารณาค่าความถี่ของสัญญาณของรูปภาพดิจิทัลต้นฉบับเป็นค่ามูลฐาน ซึ่งในบทความนี้ได้อาศัยค่าความถี่ของสัญญาณแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินของรูปภาพต้นฉบับในการพิจารณา โดยในแต่ละช่องสัญญาณแสงจะใช้ข้อมูลขนาด 8 บิตซึ่งแสดงค่าเป็นเลขจำนวนเต็มเริ่มจาก 0 จนถึง 255 ในการฝังสัญญาณลายน้ำแบบแรกจะเป็นการเปลี่ยนย่านการประมวลผลให้อยู่ในรูปแถบความถี่ที่แตกต่างกันโดยจะขึ้นอยู่กับลักษณะของการแปลง รูปแบบที่เป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไปเช่น Discrete Cosine Transform (DCT), Discrete Fourier Transform (DFT) หรือ Discrete Wavelet Transform (DWT) ซึ่งค่าสัญญาณมูลฐานที่อยู่ในรูปจำนวนเต็มจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปจำนวนเชิงซ้อน และขั้นตอนการฝังสัญญาณลายน้ำจะถูกกระทำในรูปแบบจำนวนเชิงซ้อนเช่นเดียวกัน สำหรับการฝังสัญญาณลายน้ำในแบบหลังจะเป็นแบบที่ไม่มีการเปลี่ยนย่านการประมวลผลโดยจะใช้ค่ามูลฐานของรูปภาพดิจิทัลต้นฉบับในกระบวนการฝังสัญญาณลายน้ำโดยตรง ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้ได้อาศัยวิธีการฝังสัญญาณลายน้ำในแบบที่สองเป็นหลัก

เพื่อที่จะแสดงถึงความแตกต่างที่ชัดเจนของภาพขาวดำที่เป็นตัวแทนของสัญญาณลายน้ำดิจิทัล ความเหมาะสมในการแทนค่าด้วยค่าบวกและค่าลบของสัญญาณลายน้ำจึงถูกนำมาพิจารณา สัญญาณลายน้ำก่อนทำการฝังลงในรูปภาพต้นฉบับ จะถูกปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมโดยสมการต่อไปนี้

$$w = 2w - 1 \quad (1)$$

เช่น ถ้าสัญญาณลายน้ำมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อแทนค่าลงในสมการแล้วจะได้ผลลัพธ์เป็น -1 งานวิจัยนี้ได้อาศัยวิธีการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัลในแบบที่ไม่มีการแปลง โดยได้แบ่งแยกวิธีการดังกล่าวออกเป็นอีก 2 ประเภท คือ การฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัลแบบเพิ่มเติม (additive) และการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัลแบบทวีคูณ (multiplicative) โดยมีรูปแบบดังนี้

$$WPixel[x, y] = OPixel[x, y] + wcL[x, y] \quad (2)$$

$$WPixel[x, y] = OPixel[x, y] \times wcL[x, y] \quad (3)$$

โดย $WPixel[x, y]$ จะแสดงถึง ค่าความลึกของสัญญาณสีในรูปภาพภายหลังการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัลแล้ว $OPixel[x, y]$ คือ ค่าความลึกของสัญญาณสีในรูปภาพดิจิทัลต้นฉบับ และขนาดของสัญญาณลายน้ำที่ถูกฝังทั้งแบบเพิ่มเติมและแบบทวีคูณคือ $wcL[x, y]$ จะเห็นได้ว่าค่า w จะเป็นทั้งค่าบวกและลบ ซึ่งแสดงถึงสัญญาณลายน้ำดิจิทัลที่เป็นภาพขาวดำ ส่วนค่า $cL[x, y]$ จะเป็นปริมาณของการเปลี่ยนแปลงค่าความลึกของสัญญาณสีที่เหมาะสม โดยจะขึ้นอยู่กับค่าปรับละเอียด $L[x, y]$ และค่าปรับหยาบ c ที่ตำแหน่งพิกเซลนั้นๆ

ความเหมาะสมของการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัลแบบเพิ่มเติมจะอยู่ในลักษณะที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของช่องสัญญาณสีในช่วงแคบๆ ซึ่งจะทำให้ความสมบูรณ์ของภาพลักษณ์ (fidelity) ของรูปภาพที่ถูกฝังลายน้ำไม่ถูกลดลงมากนัก ในขณะที่ลักษณะเด่นของการฝังลายน้ำดิจิทัลแบบทวีคูณจะมีความเหมาะสมในแง่ของการเพิ่มความคงทน (robustness) ต่อสัญญาณลายน้ำที่ถูกฝังอยู่ซึ่งอาจต้องผ่านการประมวลผลทางภาพดิจิทัลในหลากหลายรูปแบบดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ในงานวิจัยชิ้นนี้การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลบนรูปภาพดิจิทัลสี ซึ่งมีการแปรเปลี่ยนของช่องสัญญาณสีในช่วงแคบๆ โดยจะอาศัยหลักการฝังลายน้ำดิจิทัลแบบเพิ่มเติมในการทดลองต่อไป

วิธีการกู้คืนสัญญาณลายน้ำดิจิทัล

โดยทั่วไปวิธีการกู้คืนลายน้ำดิจิทัลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ แบบที่ต้องใช้รูปภาพดิจิทัลต้นฉบับ และแบบที่ไม่ต้องใช้รูปภาพต้นฉบับ ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการกู้คืนลายน้ำโดยไม่ต้องอาศัยรูปภาพต้นฉบับ ซึ่งจะสามารถทำได้โดยการสร้างแบบจำลองของรูปภาพต้นฉบับขึ้นมาก่อนจากรูปภาพที่ถูกฝังลายน้ำดิจิทัลไว้แล้วโดยใช้เทคนิคการหาค่าเฉลี่ยรูปภาพดิจิทัล[8] ด้วยการพิจารณาว่าตัวลายน้ำดิจิทัล คือ สัญญาณรบกวนที่ถูกใส่เข้าไปในรูปภาพ และทำให้เกิดการสูญเสียภาพลักษณ์โดยรวมของรูปภาพดิจิทัล แต่ยังคงอยู่ในระดับที่ดวงตาคนเราไม่สามารถสังเกตเห็นได้ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสัญญาณรบกวนจะถูกพิจารณาว่าเป็นสัญญาณที่มี

ความถี่สูง (high frequency) ดังนั้น เมื่อเราใช้ตัวกรองสัญญาณใดๆ เช่นตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำ (low pass filter) ที่กรองความถี่สูงออกทำให้สามารถกรองสัญญาณรบกวน หรือสัญญาณลายน้ำดิจิทัลออกมาได้ ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นรูปภาพดิจิทัลที่มีลักษณะจำลองหรือเหมือนกับรูปภาพดิจิทัลต้นฉบับ ซึ่งก็หมายความว่า ในการที่เราไม่ต้องการอัตรารูปภาพดิจิทัลต้นฉบับในขั้นตอนการกู้คืนลายน้ำดิจิทัลนั้น เราจำเป็นต้องสร้างรูปภาพดิจิทัลต้นฉบับขึ้นมาเองโดยการลบส่วนที่เป็นตัวลายน้ำดิจิทัลออกจากรูปภาพที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำอยู่ก่อนแล้ว เพื่อที่จะนำผลลัพธ์ที่ได้มาลบออกจากรูปภาพเหมือนของต้นฉบับ สิ่งที่ได้รับจะเป็นขนาดเหมือนของสัญญาณความถี่ของลายน้ำดิจิทัลในแต่ละพิกเซล ซึ่งในบทความนี้ได้ใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยรูปภาพหลายๆแบบเพื่อเปรียบเทียบกับแบบ 8 neighborhood pixels จะมีมาร์คของค่าเฉลี่ยรูปภาพดังนี้

$$\begin{bmatrix} 0.125 & 0.125 & 0.125 \\ 0.125 & 0 & 0.125 \\ 0.125 & 0.125 & 0.125 \end{bmatrix} \quad (4)$$

กำหนดให้รูปภาพดิจิทัลที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัล ณ ตำแหน่งใดๆ เท่ากับ

$$\begin{bmatrix} w_1 & w_2 & w_3 \\ w_4 & w_5 & w_6 \\ w_7 & w_8 & w_9 \end{bmatrix} \quad (5)$$

ดังนั้น รูปภาพเหมือนต้นฉบับ $O[x,y]$ ที่ได้จากค่าเฉลี่ยรูปภาพดิจิทัล ณ ตำแหน่งใดๆ คือ

$$O[x,y] = 0.125 \times w_1 + 0.125 \times w_2 + \dots + 0.125 \times w_9 \quad (6)$$

วิธีการหาค่าเฉลี่ยรูปภาพแบบ mean filter จะมีมาร์คของค่าเฉลี่ยรูปภาพดังนี้

$$\begin{bmatrix} 0.111 & 0.111 & 0.111 \\ 0.111 & 0.111 & 0.111 \\ 0.111 & 0.111 & 0.111 \end{bmatrix} \quad (7)$$

ดังนั้นรูปภาพเหมือนต้นฉบับ $O[x,y]$ ที่ได้จากค่าเฉลี่ยรูปภาพดิจิทัลแบบ mean filter ณ ตำแหน่งใดๆ คือ

$$O[x,y] = 0.111 \times w_1 + 0.111 \times w_2 + \dots + 0.111 \times w_9 \quad (8)$$

การหาค่าเฉลี่ยรูปภาพแบบ cross shaped มีมาร์คของค่าเฉลี่ยรูปภาพดังนี้

$$\begin{bmatrix} 0 & 0.25 & 0 \\ 0.25 & 0 & 0.25 \\ 0 & 0.25 & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

ดังนั้น รูปภาพเสมือนต้นฉบับ $O[x, y]$ ที่ได้จากค่าเฉลี่ยรูปภาพดิจิทัลแบบ cross shaped ณ ตำแหน่งใดๆ คือ

$$O[x, y] = 0.25 \times w_2 + 0.25 \times w_4 + 0.25 \times w_6 + 0.25 \times w_8 \quad (10)$$

ในขณะที่แบบ median filter จะใช้มาร์คขนาดเดียวกันกับแบบอื่นๆ แต่ลักษณะการประมวลผล จะทำการเรียงลำดับค่าจากน้อยไปหามากก่อน แล้วเลือกค่ากึ่งกลางมาเป็นรูปภาพเสมือนต้นฉบับ ดังอย่างเช่นรูปภาพดิจิทัลที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัล ณ ตำแหน่งใดๆ มีค่าเท่ากับ

$$\begin{bmatrix} 20 & 50 & 10 \\ 40 & 30 & 70 \\ 60 & 90 & 80 \end{bmatrix} \quad (11)$$

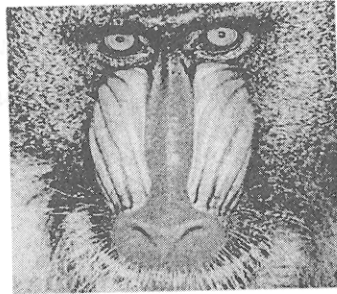
เมื่อนำค่าต่างๆเหล่านี้มาเรียงกันจากน้อยไปหามากจะได้เป็น 10 20 30 40 50 60 70 80 และ 90 ซึ่งค่ากึ่งกลางจะเป็น 50 ดังนั้น

$$O[x, y] = 50 \quad (12)$$

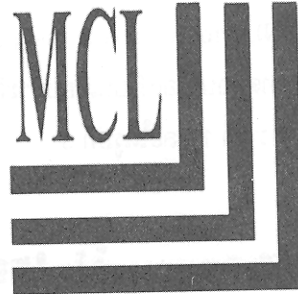
ในการแสดงผลของสัญญาณลายน้ำดิจิทัลต่อจากนี้ ยังคงต้องมีการแปลงขนาดความลึกของลายน้ำดังกล่าวให้กลับมาเป็นภาพขาวดำอีกครั้งหนึ่ง โดยอาศัยหลักการแบ่งแยกค่า threshold ซึ่งจะตั้งค่าไว้ที่ 0 เพื่อใช้ในการแบ่งแยกสีขาวและสีดำของตัวลายน้ำดิจิทัล โดยถ้าขนาดความลึกสัญญาณของสัญญาณลายน้ำมีค่าเป็นบวก ก็ให้สัญญาณลายน้ำดิจิทัลในพิกเซลนั้นเป็นสีดำ แต่ถ้ามีค่าเป็นลบก็ให้เป็นสีขาว แล้วทำการสลับตำแหน่งของแต่ละพิกเซลให้อยู่ที่ตำแหน่งเดิมโดยอาศัยลำดับเดิมที่ใช้ในขั้นตอนการฝังลายน้ำดิจิทัล

ผลการทดลองและบทวิเคราะห์

ในการทดลองเราได้ใช้รูปภาพดิจิทัลสี "Mandrill" เป็นภาพต้นฉบับที่มีขนาด 256×256 พิกเซลในการประมวลผล และได้สร้างสัญญาณลายน้ำดิจิทัลเป็นภาพขาวดำของตราประทับห้องปฏิบัติการสื่อสารมัลติมีเดีย (MCL logo) ที่มีขนาดเท่ากัน ในรูปที่ 1(ก) และ 1(ข) ได้แสดงรูปภาพดิจิทัลต้นฉบับ และรูปภาพที่ใช้เป็นลายน้ำดิจิทัล "MCL" ตามลำดับ ในขณะที่รูปที่ 2(ก) และ 2(ข) ได้แสดงถึงรูปภาพต้นฉบับภายหลังจากการถูกฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัลในช่องสัญญาณแสงสีน้ำเงิน และสัญญาณลายน้ำดิจิทัลเสมือนที่ถูกกู้กลับคืนมาตามลำดับ

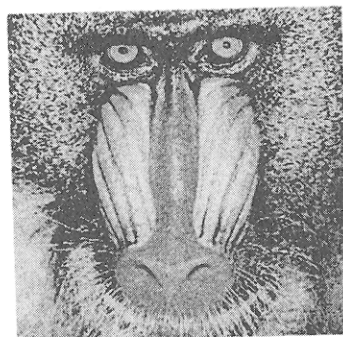


(ก)

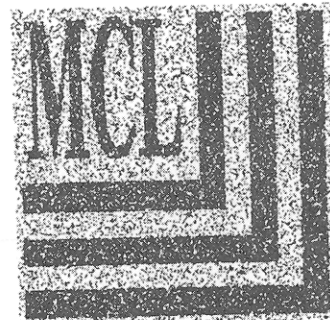


(ข)

รูปที่ 1 (ก) ภาพดิจิทัลต้นฉบับ "mandrill" (ข) ภาพลายน้ำดิจิทัลต้นฉบับ "MCL"



(ก)



(ข)

รูปที่ 2 (ก) ภาพภายหลังจากฝังลายน้ำดิจิทัลในช่องสัญญาณสีน้ำเงิน
(ข) ภาพสัญญาณลายน้ำดิจิทัลที่ถูกกลับคืนมา

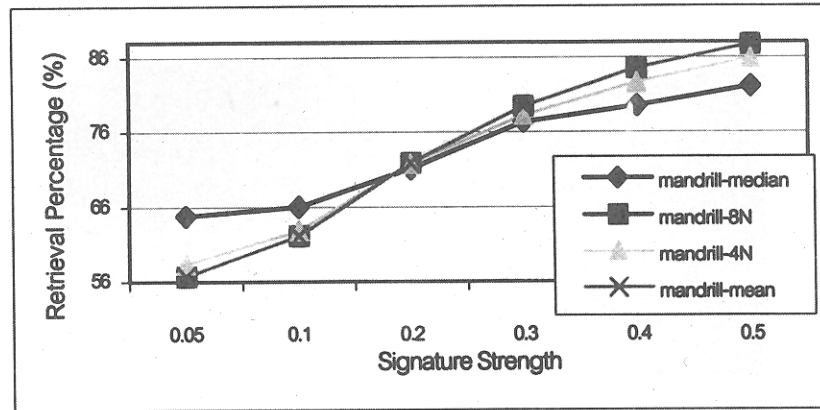
เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปแล้วว่าสัญญาณแสงสีน้ำเงินจะเป็นสัญญาณแสงที่ตาคนเรารับรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงได้น้อยที่สุด ผลลัพธ์จากรูปที่ 2(ก) เกิดจากการตั้งค่าตัวปรับหยาบ c ไว้ที่ 0.3 นำมาซึ่งตัวชี้วัดคุณภาพ PSNR ที่ 36.85 dB และจากการแปรค่าตัวปรับหยาบไว้ที่ค่าต่างๆกัน ผลจากการลดทอนคุณภาพของภาพดิจิทัลต้นฉบับจะลดลงจนตาคนเราสามารถสังเกตเห็นได้ค่า c เท่ากับ 0.5 โดยสามารถสังเกตถึงความแตกต่างทั้งจากตัวชี้วัดคุณภาพและจากที่สายตาเราสามารถสังเกตเห็นได้จริงๆ

ในการเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพของวิธีการต่างๆที่ใช้ในการกู้คืนลายน้ำดิจิทัล ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของเทคนิคการหาค่าเฉลี่ยภาพ median filter, 8 neighborhood pixels averaging (8N), crossed-shape neighborhood pixels averaging (4N) และ mean filter ถูกนำมาทดสอบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกู้คืนสัญญาณลายน้ำ ผลลัพธ์ที่ได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 1 และในรูปที่ 3

ตารางที่ 1

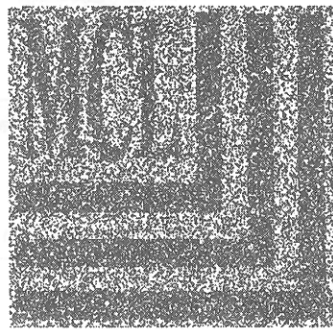
เปอร์เซ็นต์การกู้คืนสัญญาณลายน้ำโดยใช้วิธีการทั้ง 4 แบบที่ค่า signature strength ต่างๆ

Signature Strength	วิธีการที่ใช้ในการกู้คืนสัญญาณลายน้ำ			
	Median Filter	8 N	4 N	Mean Filter
0.05	64.78	56.73	58.39	56.73
0.1	66.06	62.16	62.84	62.16
0.2	71.05	71.85	71.72	71.85
0.3	77.36	79.47	78.25	79.47
0.4	79.57	84.58	82.66	84.58
0.5	82.14	87.70	85.86	87.70

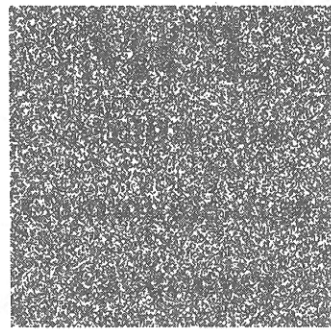


รูปที่ 3 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การกู้คืนสัญญาณลายน้ำดิจิทัลโดยใช้วิธีการทั้ง 4 แบบที่ค่า signature strength ต่างๆ

จากกราฟข้างต้นได้แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ของการกู้คืนสัญญาณลายน้ำดิจิทัลโดยใช้วิธีการที่แตกต่างกัน ซึ่งจะเห็นได้ถึงประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน นอกจากนี้จากลักษณะของรูปกราฟ เราสามารถแบ่งกราฟออกได้เป็นสองช่วงโดยในช่วงแรกจะเริ่มจากค่า signature strength ต่ำๆ จนถึงค่าประมาณ 0.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการกู้คืนสัญญาณลายน้ำแบบ median filter ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด แต่หลังจากเพิ่มค่า signature strength จนเกินค่า 0.2 ไปแล้ว การกู้คืนสัญญาณลายน้ำแบบ mean filter และ แบบ 8 neighborhood จะให้ผลที่ดีกว่าแบบ cross shaped และแบบ median filter เพื่อเปรียบเทียบถึงลักษณะของสัญญาณภาพลายน้ำที่เหมาะสมต่อการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิทัลที่ค่า signature strength ต่ำๆ ภาพสัญญาณลายน้ำที่มีรายละเอียด (texture) ต่างกันภายหลังกระบวนการกู้คืนสัญญาณลายน้ำจะถูกนำมาเปรียบเทียบกันดังผลลัพธ์ที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4 และ 5

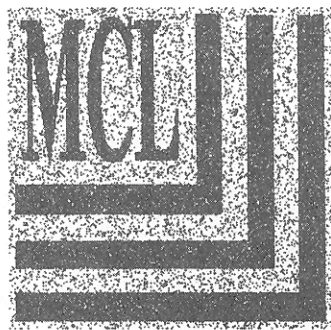


(ก)

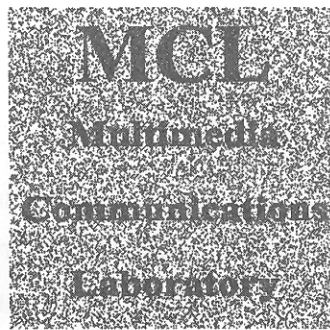


(ข)

รูปที่ 4 ภาพสัญญาณลายน้ำดิจิทัลที่ถูกกู้คืนที่ค่า signature strength น้อยกว่า 0.2



(ก)



(ข)

รูปที่ 5 ภาพสัญญาณลายน้ำดิจิทัลที่ถูกกู้คืนที่ค่า signature strength มากกว่า 0.2

จะเห็นได้ว่าการใช้ค่าเฉลี่ยภาพดิจิทัลแบบ median filter ที่ค่า signature strength น้อยๆ จะเหมาะสมกับภาพสัญญาณลายน้ำที่มีรายละเอียดของภาพไม่มากนัก เช่นในรูปที่ 4(ก) จะสามารถสังเกตเห็นข้อมูลที่อยู่ภายในภาพได้ชัดเจนกว่า ในขณะที่รูปที่ 4(ข) ซึ่งมีรายละเอียดมากกว่า ผลลัพธ์ที่ได้แทบจะไม่สามารถสังเกตข้อมูลที่อยู่ภายในภาพได้เลย เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 5(ก) และ 5(ข) เป็นการนำค่าเฉลี่ยภาพดิจิทัลแบบ mean filter ที่อาศัยค่า signature strength ที่สูงกว่า ซึ่งจะได้ค่าความถูกต้องของภาพสัญญาณลายน้ำมากกว่า

โดยทั่วไปประสิทธิภาพในการกู้คืนตัวลายน้ำดิจิทัลจะอยู่ที่การหารูปแบบการกรองสัญญาณความถี่ที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม ด้วยวิธีการฝังภาพลายน้ำดิจิทัลที่เป็นข้อมูลรูปภาพ เช่น トラแสดงลักษณะอื่นๆ ลงในภาพดิจิทัลต้นฉบับ สัญญาณภาพลายน้ำที่ได้จากการกู้คืนนั้น ยังคงมีลักษณะที่สามารถสังเกตเห็นได้ถึงข้อมูลที่อยู่ภายในแม้ว่าจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นบ้างก็ตาม

สรุปผลการทดลอง

บทความฉบับนี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้ค่าเฉลี่ยภาพดิจิทัลในกระบวนการกู้คืนสัญญาณลายน้ำดิจิทัลซึ่งสามารถใช้ได้กับทั้งรูปภาพสีและขาวดำ โดยกระบวนการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิทัลอยู่บนพื้นฐานของเทคนิคการกล้ำความลึกของสัญญาณซึ่งถูกกำหนดให้เป็นลักษณะการปรับแต่งค่าความแรงของสัญญาณลายน้ำดิจิทัล จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้ค่าเฉลี่ยภาพดิจิทัลแบบ median filter จะมีความเหมาะสมในการกู้คืนสัญญาณลายน้ำดิจิทัลในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงของ signature strength น้อยกว่า 0.2 และการใช้ค่าเฉลี่ยภาพดิจิทัลแบบ mean filter กับแบบ 8 neighborhood จะมีความเหมาะสมมากกว่าในช่วงการเปลี่ยนแปลงค่า signature strength มากกว่า 0.2

อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพในการกู้คืนนี้ยังสามารถเพิ่มได้อีก โดยการนำวิธีการทาง mathematical morphology มาใช้ภายหลังจากกระบวนการกู้คืนสัญญาณลายน้ำแบบพื้นฐานนี้แล้ว ซึ่งอาจเป็นแนวทางในการวิจัยต่อไป ทั้งนี้สัญญาณลายน้ำดิจิทัลที่ได้จากการกู้คืนในแบบปกติยังคงมีความเหมือนสูงเมื่อเทียบกับสัญญาณลายน้ำดิจิทัลต้นฉบับ ซึ่งคนทั่วไปสามารถคาดเดาถึงข้อมูลที่อยู่ภายในภาพนั้นๆ ได้ดีอยู่แล้วดังที่ได้แสดงให้เห็นในการทดลองที่ผ่านมา

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำวิจัยใคร่ขอขอบพระคุณ ศูนย์เทคโนโลยี และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ NECTEC ที่ได้สนับสนุนงานวิจัยชิ้นนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ตามโครงการ NT-B-06-4C-20-319

เอกสารอ้างอิง

- [1] R.G. V. Schyndel, A. Z. Tirkel and C. F. Osborne, "A digital watermark", International Conference on Image Processing, Vol. 2, 1994, pp. 86-90.
- [2] W. Bender, D. Gruhl and N. Morimoto, "Techniques for data hiding", Proceedings SPIE, Vol. 2420, February 1995, pp. 40-48.
- [3] M. Kutter, F. Jordan and F. Bossen, "Digital signature of color images using amplitude modulation", Journal of Electronic Imaging, Vol.7, 1998, pp.326-332.
- [4] R. Puertpan and T. Amornraksa, "Gaussian pixel weighting mark in amplitude modulation of color image watermarking", the 6th Int. Symposium on Signal Processing and its Applications (ISSPA 2001), Kuala Lumpur, Malaysia, August 13-16, 2001
- [5] R. Puertpan, P. Nintanavongsa and T. Amornraksa, "Gaussian pixel weighting mark in amplitude modulation of color image watermarking with 8 neighborhood retrieval", the sixth working conference on Communications and Multimedia Security (CMS2001), Darmstadt, Germany, May 21-22, 2001.
- [6] R. Puertpan, S. Toomnark and T. Amornraksa, "Gaussian pixel weighting mark in amplitude modulation of color image watermarking with mean retrieval", the 5th World Multimedia-Conference on Systemic, Cybernetics and Informatic (SCI 2001), Orlando, Florida, USA, July 22-25, 2001.
- [7] D. Hearn and M. P. Baker, "Computer graphics C version", Prentice Hall INC., 1997.
- [8] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, "Digital image processing", Addison-Wesley, Reading, MA, 1992.