

เทคนิคการซ่อมแซมรูปภาพโดยใช้การประมาณค่าแบบสามเหลี่ยม Image Inpainting Technique using Triangulation Interpolation

วุฒินันท์ แซ่ฮ้อ¹ จิราพร เกียรติวุฒิมร¹ ธีรยุทธ เหลืองศรีสกุล² และ ชัยพิชิต คำพิมพ์^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 1651010541229@rmutr.ac.th

jiraporn.kia@rmutr.ac.th chaipichit.cumpim@rmutr.ac.th*

²สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ teerayut.lue@rmutr.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการซ่อมแซมภาพที่เสียหายอันเนื่องมาจากข้อมูลที่สูญหายหรือเสียหาย วิธีการที่นำเสนอประกอบด้วยสองขั้นตอน ขั้นตอนแรกใช้เทคนิคการกัดเซาะเพื่อระบุพิกเซลที่เสียหาย หลังจากนั้นจะสร้างพื้นที่สี่เหลี่ยมเพื่อครอบคลุมพิกเซลที่ต้องการซ่อมแซม จากนั้นจึงค้นหาพิกเซลสามเหลี่ยมที่ใกล้ที่สุดภายในพื้นที่นี้เพื่ออำนวยความสะดวกในการคำนวณค่าสีใหม่ ขั้นตอนสุดท้ายคือการกำหนดรูปสามเหลี่ยมที่มีค่าสีที่ทราบแล้ว โดยมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่พิกเซลที่ต้องการซ่อมแซม จากนั้นจึงคำนวณค่าสีใหม่ของพิกเซลเป้าหมาย การประมาณค่าสีได้มาจากค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักโดยอิงจากระยะห่างจากพิกเซลข้างเคียงสามพิกเซล ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าโดยทั่วไปแล้ววิธีการที่เสนอนี้มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีการแบบดั้งเดิมในแง่ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด

คำสำคัญ: การประมาณค่าแบบสามเหลี่ยม การซ่อมแซมรูป การกัดเซาะ

Abstract

This research proposes a method for repairing damaged images caused by missing or corrupted data. The proposed method consists of two steps. The first step employs an erosion technique to identify damaged pixels, after which a rectangular region is created to encompass the pixels that require repair. The nearest triangular pixel within this region is then found to facilitate the calculation of new color values. The final step involves defining a triangle with known color values, centered on the pixel to be repaired, and then calculating the new color values of the target pixel. The color estimation is obtained using a weighted average based on the distance from three neighboring pixels. Experimental results show that the proposed method generally outperforms traditional methods in terms of Peak Signal-to-Noise Ratio.

Keywords: Triangular Interpolation; Image Restoration; Erosion

1. บทนำ

รูปถ่ายเก่าเมื่อเวลาผ่านไปมักเสียหายหรือสีจาง การแปลงเป็นรูปดิจิทัลช่วยอนุรักษ์ภาพ แต่รูปดิจิทัลเหล่านี้มักมีสีเพี้ยนหรือข้อมูลบางส่วนสูญหาย ทำให้คุณภาพไม่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อซ่อมแซมและฟื้นฟูคุณภาพของรูปดิจิทัล ปัจจุบันมีหลายวิธีที่นำเสนอเพื่อแก้ไขปัญหานี้ ซึ่งจะกล่าวถึงในย่อหน้าต่อไป

โดยทั่วไป กระบวนการทำ Image Inpainting จะเริ่มจากการนำรูปต้นฉบับมาทำให้เกิดความเสียหาย เช่น การใช้หน้ากาก (Mask) ปิด

บางส่วนของรูป เพื่อจำลองบริเวณที่ข้อมูลสูญหาย จากนั้นจะทำการกำหนดกรอบพื้นที่ที่ต้องการซ่อมแซม โดยอาศัยตำแหน่งของจุดที่เสียหาย ซึ่งทราบอยู่แล้วล่วงหน้า เพื่อใช้เป็นขอบเขตในการประมวลผลและประมาณค่าข้อมูลที่หายไปลำดับถัดไป สำหรับวิธีการในการซ่อมแซมรูป วิธีการแรกที่นำเสนอเป็นการปรับปรุงรูปโดยใช้เทคนิค Partial Differential Equations (PDE) [1] เป็นวิธีการปรับปรุงตำแหน่งสีของรูปที่เสียหาย การทำงานของวิธีนี้จะพยายามแทนค่าสีใหม่ของตำแหน่งพิกเซลที่เสียหายโดยใช้วิธีการคำนวณ PDE โดยการคำนวณจะเป็นการทำซ้ำอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะทำให้เสียเวลาในการคำนวณเป็นอย่างมาก วิธีการต่อมาคือ Image Inpainting [2] เป็นการปรับปรุงการทำงานของวิธีการหนึ่งที่มีข้อเสียคือจะต้องให้ผู้ใช้งานระบุตำแหน่งที่เกิดความเสียหายภายในรูป จากนั้นจึงใช้อัลกอริทึมตามแบบวิธีการเดิมในการค้นหาสีให้กับตำแหน่งของรูปที่เสียหาย งานวิจัยต่อมาถูกนำเสนอโดย Mumford-Shah [3] งานวิจัยนี้ถูกพัฒนาขึ้นโดยสามารถลดเวลาการคำนวณลงได้มากเมื่อเทียบกับวิธีการที่ [1] และ [2] วิธีการนี้ถูกนำไปประยุกต์ใช้กับวิธีการต่างๆ อย่างมากมาย Pyheal [4] เป็นวิธีการซ่อมแซมรูปที่มีการทำงานที่ไม่ซับซ้อน โดยจะทำการคำนวณค่าสีเพื่อนำไปแทนลงในส่วนที่เสียหายภายในรูปโดยใช้วิธีการ fast marching method (FMM) [5] วิธีการที่นำเสนอต่อมาคือ Absolutely Minimizing Lipschitz Extension (AMLE) [6] เป็นวิธีการที่ใช้ในการคำนวณค่าสีเพื่อนำไปแทนลงในส่วนที่เสียหายภายในรูปได้ดีกว่าวิธีการของ Pyheal วิธีการนี้จะระบุเส้นทางการที่คล้ายกันภายในรูป จากนั้นจึงใช้เส้นทางเหล่านี้เพื่อสร้างตำแหน่งพิกเซลที่เสียหาย พร้อมกับคำนวณค่าสีเพื่อแทนค่าสีลงในตำแหน่งนั้น ๆ วิธีการนี้จะมีการทำงานวนซ้ำเหมือนวิธีการที่ [1] และ [2] งานวิจัยต่อมาคือ Exemplar Based Image Inpainting [7] เป็นการนำเอาตำแหน่งค่าสีภายในรูปเดียวกันไปแทนที่ค่าสีในตำแหน่งที่เสียหายของรูปโดยการเรียนรู้จากค่าสีที่ไม่ได้เสียหายภายในรูปนั้น ๆ วิธีการนี้จะทำการค้นหาพิกเซลที่ตรงกันที่สุดสำหรับพื้นที่ที่มีความเสียหายภายในรูปเมื่อได้ค่าพิกเซลแล้วจะทำการคัดลอกจากพิกเซลต้นทางและทำการลงสีในพื้นที่ที่มีความเสียหาย วิธีการที่นำเสนอต่อมาคือ Cahn-Hilliard [8] เป็นการพัฒนาของการแยกเฟสในอาร์เรย์ลอว์ด โพลีเมอร์ ที่ถูกคิดค้นโดย John W. Cahn และ John E. Hilliard ในปี 1958 มีหลักการการทำงานคือจะใช้หลักการแพร่กระจายของวัสดุจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ สมการ Cahn-Hilliard ถูกนำมาใช้เพื่อจำลองปรากฏการณ์ต่างๆ มากมายในฟิสิกส์ รวมถึงการก่อตัวของโครงสร้างจุลภาคในโลหะผสม การวิวัฒนาการของฟิล์มบางและพฤติกรรมของผลึกเหลว วิธีการแก้สมการเชิงวิเคราะห์เชิงตัวเลขได้รับการพัฒนาเพื่อจำลองพฤติกรรมของสมการ Cahn-Hilliard ซึ่งถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการซ่อมแซมรูป งานวิจัยต่อมาคือ วิธีการ Harmonic [9] เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในการเติมส่วนที่ขาดหายหรือเสียหายของรูป ซึ่งขึ้นอยู่กับแนวคิดของการใช้ฟังก์ชัน Harmonic เพื่อแก้ไขข้อมูลที่ขาดหายไปในรูปแบบฟังก์ชัน Harmonic คือใช้วิธีการของลาปลาซซึ่งเป็นสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยเชิงเส้น

ในการประมวลผลรูปซึ่งใช้ในการซ่อมแซม งานวิจัยต่อมาคือ วิธีการ Coherency Sensitive Hashing (CSH) [10] ได้รับการพัฒนาต่อยอดจาก Locality Sensitive Hashing (LSH) และ PatchMatch เพื่อค้นหาแพตช์ที่ตรงกันระหว่างรูปสองรูปได้รวดเร็วและแม่นยำกว่าเดิม โดยอาศัยทั้งการแฮชเพื่อสร้างการจับคู่เริ่มต้น ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำกว่าบริเวณที่มีพื้นผิวซับซ้อน สำหรับงานวิจัยสุดท้ายได้นำเสนอ เทคนิค Coherence [11] เป็นวิธีการเติมสีคุณภาพสูงโดยใช้สมการอนุพันธ์อันดับสูงกว่าแบบไม่เชิงเส้น วิธีการนี้เป็นกรวนซ้ำโดยมีตัวแปรเวลาที่ทำหน้าที่เป็นพารามิเตอร์การวนซ้ำด้วยเหตุผลด้านความเสถียร อาจต้องมีการวนซ้ำจำนวนมากซึ่งส่งผลให้เกิดความซับซ้อนในการคำนวณแต่ให้ผลลัพธ์ที่ดีในการซ่อมแซมรูป

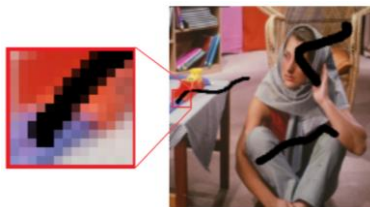
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการประมาณค่าแบบสามเหลี่ยม โดยวิธีการนี้จะทำการระบุบริเวณที่เสียหายของรูปหรือส่วนที่ไม่ทราบค่าจากการเก็บตำแหน่งของจุดที่เป็นสีดำสนิทเพื่อหาขอบของบริเวณที่เสียหายก่อน จากการเก็บตำแหน่งพิกเซลที่มีความเสียหายในรูป จากนั้นจะทำการหาจุดพิกเซลที่ปรากฏที่ขอบนอกสุดที่หาเจอ และสร้างกรอบกรอบพิกเซลที่มีความเสียหายนั้น เพื่อทำการกำหนดพิกเซลสามเหลี่ยมที่ทราบค่าสี โดยทำการประมาณค่าสีในตำแหน่งของพิกเซลนั้น จากนั้นจึงทำการหาขอบนอกสุดของบริเวณที่เสียหายของรูป ที่มีพื้นที่เล็กลงหลังจากที่มีการแทนค่าด้วยสีใหม่ แล้วทำการประมาณค่าสีตำแหน่งของพิกเซลเหมือนกับวิธีการที่ได้ทำผ่านมามากการทำซ้ำแบบนี้จะทำงานตำแหน่งของพิกเซลที่มีความเสียหายในรูปหมดไป โดยรายละเอียดจะถูกอธิบายในส่วนต่อไป

2. วิธีการที่นำเสนอ

ในงานวิจัยนี้มีสองขั้นตอนหลักคือขั้นตอนแรกใช้เทคนิคการประมวลผลภาพด้วย Erosion เพื่อตรวจหาขอบของบริเวณที่เกิดความเสียหายและทำการลดขนาดของขอบนั้น เพื่อนำตำแหน่งของพิกเซลที่อยู่ในบริเวณที่ถูกลดขนาดของขอบไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนถัดมาคือการหาตำแหน่งของจุดพิกเซลที่เป็นมุมของสามเหลี่ยมทั้งสาม ซึ่งล้อมรอบตำแหน่งพิกเซลที่ได้จากขั้นตอนแรก จากนั้นนำตำแหน่งและค่าสีของพิกเซลที่มุมทั้งสามมาคำนวณด้วยวิธีการประมาณค่าของสามเหลี่ยม

ทั้งนี้การเลือกใช้สามเหลี่ยมมีข้อได้เปรียบด้านประสิทธิภาพเนื่องจากวิธีอื่น เช่น Bilinear หรือ Bicubic ต้องใช้พิกเซล 4 จุดขึ้นไปในการคำนวณขณะที่วิธีสามเหลี่ยมใช้เพียง 3 จุด จึงทำให้การประมวลผลเร็วขึ้น

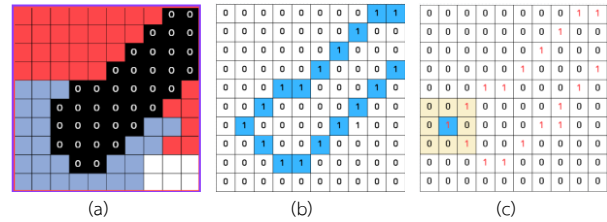


รูปที่ 1 เป็นรูปบางส่วนของ Barbara ที่มีความเสียหาย

รูปนี้ถูกเลือกมาเพื่อใช้เป็นตัวอย่างในการอธิบายขั้นตอนของกระบวนการซ่อมแซมรูปที่นำเสนอในงานวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 เริ่มจากใช้เทคนิค Erosion เพื่อลดขอบของบริเวณรูปที่เสียหาย ดังแสดงในรูปที่ 2(a) ขั้นตอนนี้ช่วยตรวจหาขอบและเน้นบริเวณที่ขาดหายไป ผลลัพธ์จะแสดงใน รูปที่ 2(b) โดยหมายเลข 1 (จุดสีฟ้า) แสดง

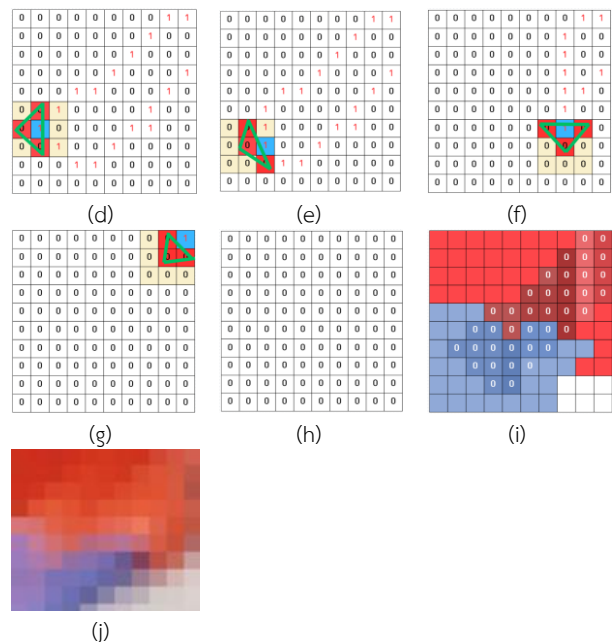
ขอบของพื้นที่เสียหาย ส่วนหมายเลข 0 แสดงพิกเซลภายนอกขอบที่มีข้อมูลค่าสี จากนั้น พิกเซลบริเวณขอบจะถูกถูกรอบ (Kernel) เพื่อล้อมรอบพื้นที่ดังกล่าว เตรียมเข้าสู่ขั้นตอนการประมาณค่าสี ดังแสดงในรูปที่ 2(c)



รูปที่ 2 การ Erosion กับรูปบางส่วน

ขั้นตอนที่ 2 สำหรับพิกเซลแต่ละจุดที่ต้องการประมาณค่า จะเลือกพิกเซลสามจุดที่ใกล้ที่สุดและยังคงมีค่าสีเพื่อสร้างรูปสามเหลี่ยมสำหรับคำนวณระยะทางและหาค่าสีใหม่ดังแสดงใน รูปที่ 3(d) โดยจุดสีแดงคือพิกเซลที่ใช้คำนวณส่วนจุดสีฟ้าคือพิกเซลที่ต้องประมาณค่า ในการเลือกพิกเซลสามเหลี่ยมนี้ใช้เกณฑ์ระยะทางระหว่างจุดที่ทราบค่ากับจุดที่ต้องการประมาณค่า เพื่อหาพิกเซลที่อยู่ใกล้ที่สุดกับจุดเป้าหมายหลังจากได้พิกเซลทั้งสามแล้ว จะใช้สมการ (1) คำนวณค่าสีใหม่และแทนที่พิกเซลเป้าหมาย จากนั้นเลื่อนไปยังพิกเซลถัดไปทำซ้ำที่ละพิกเซลโดยใช้ค่าที่คำนวณก่อนหน้าร่วมด้วย

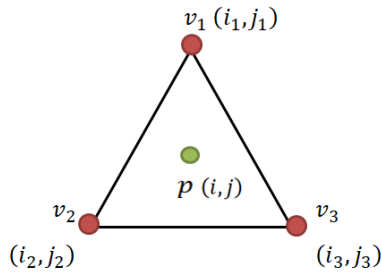
รูปที่ 3(e)–3(g) แสดงการประมวลผลทีละพิกเซลจนครบทุกตำแหน่งที่ต้องการประมาณค่า ซึ่งจำนวนพิกเซลที่ต้องประมาณค่อยๆ ลดลงทำให้ภาพสมบูรณ์ขึ้น ผลลัพธ์สุดท้ายปรากฏใน รูปที่ 3(h)–3(j)



รูปที่ 3 การเลือกจุดสามเหลี่ยมหาตำแหน่งเหมาะสมในการประมาณค่า



รูปที่ 4 Barbara ที่ถูกทำการประมวลผลแล้ว



รูปที่ 5: แบบจำลองการประมาณค่าแบบสามเหลี่ยม

ขั้นตอนการประมาณค่าแบบสามเหลี่ยมที่จุด $p(i, j)$ โดยใช้วิธีการประมาณค่าแบบสามเหลี่ยม (Triangulation Interpolation) ภายในขอบเขตที่แสดงภายในรูปจะนำข้อมูลของ $v(i_k, j_k)$ ไปใช้ในการประมาณค่าตามที่แสดงไว้ในสมการที่ (1)

$$Distance_k = \sqrt{(v_i - p_i)^2 + (v_j - p_j)^2} \quad (1)$$

โดยที่

$Distance_k$ คือ ระยะทางระหว่างจุดที่ทราบค่ากับจุดที่ต้องการประมาณค่า

$p(i, j)$ คือ พิกัดของจุดแรกที่ใช้ในการประมาณค่า ซึ่งระบุด้วยตำแหน่งพิกเซลในแนวแกนนอน (i) และแนวแกนตั้ง (j)

$V(i_k, j_k)$ คือ พิกัดของจุดที่สองที่ใช้ในการประมาณค่า ซึ่งระบุด้วยตำแหน่งพิกเซลในแนวแกนนอน (i_k) และแนวแกนตั้ง (j_k)

i, j คือ ตำแหน่งพิกเซลในแนวแกนนอนและแกนตั้งตามลำดับ

k คือ ค่าตั้งแต่ 1 ถึง 3

เมื่อได้ระยะทางต่อมาคือการคำนวณหาน้ำหนักของพิกัดนั้น ๆ ดังสมการที่ (2)

$$W_k(i, j) = \frac{1}{Distance_k} \quad (2)$$

โดยที่

$W_k(i, j)$ คือ ค่าน้ำหนักของจุด k ที่สัมพันธ์กับตำแหน่ง i, j

เมื่อได้น้ำหนักแล้ว ต่อมาคือการประมาณค่าสีของจุดดังสมการที่ 3

$$Color_{(i,j)} = \frac{\sum_{k=1}^N w_k(i, j) v(i_k, j_k)}{\sum_{k=1}^N w_k(i, j)} \quad (3)$$

โดยที่

$Color_{(i,j)}$ คือ สีที่ได้จากการประมาณค่าแบบสามเหลี่ยมด้วย

น้ำหนักจากทั้งสามจุด ณ จุด (i, j)

$(i_k, j_k), N$ คือ จุดที่ทราบค่าข้อมูลทั้งหมด

3. ผลการทดลอง

ในการทดลองจะใช้รูปทั้งหมด 4 รูป คือ test barbara bird และ gull ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยคำนวณค่า $PSNR$ [12] ของรูปที่ถูกซ่อมแซมโดยวิธีการ Exemplar, CSH และวิธีการที่นำเสนอ (Proposed) โดยในการสร้างพื้นที่เสียหายจะใช้ mask g และ mask h (ดังรูปที่ 6) ซึ่งเป็นภาพขีดสีขาวที่มีขนาดและตำแหน่งต่างกัน โดย mask g แทนพื้นที่เสียหายขนาดใหญ่ และ mask h แทนพื้นที่เสียหายขนาดเล็กเพื่อใช้ทดสอบความสามารถของอัลกอริทึมในการซ่อมแซมทั้งบริเวณเล็กและกว้าง โดยทำการเปรียบเทียบจากค่า $PSNR$ ที่สามารถหาได้จาก สมการที่ (4)

$$PSNR = 20 * \log_{10} \left(\frac{255}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (4)$$

โดยที่

$PSNR$ คือ ค่าที่ใช้วัดความแตกต่างของคุณภาพระหว่างรูปต้นฉบับกับรูปที่ผ่านการประมวลผล โดยมีหน่วยเป็น dB (เดซิเบล)

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i,j} (x_{i,j} - z_{i,j})^2 \quad (5)$$

โดยที่

$x_{i,j}$ คือ ค่าของพิกเซลในตำแหน่งที่ (i, j) ของ รูปต้นฉบับ

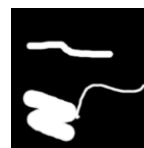
$z_{i,j}$ คือ ค่าของพิกเซลในตำแหน่งที่ (i, j) ของ รูปที่ผ่านการ

ซ่อมแซมแล้ว

m คือ จำนวนคอลัมน์ของรูป ซึ่งหมายถึงความกว้างของรูปภาพ

n คือ จำนวนแถวของรูป ซึ่งหมายถึงความสูงของรูปภาพ

MSE คือ ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย เป็นตัวชี้วัดทางสถิติที่ใช้วัดความแตกต่าง ระหว่างรูปต้นฉบับ กับรูปที่ผ่านการประมวลผล



mask g



mask h

รูปที่ 6 รูปที่แสดงบริเวณที่เสียหายของรูป

จากรูปที่ 6 แสดง พื้นที่เสียหายจำลอง บนภาพทดสอบ โดยสร้างด้วย mask g และ mask h ซึ่งเป็นเส้นขีดสีขาวขนาดต่างกัน ใช้จำลอง

บริเวณที่เสียหายเพื่อทดสอบอัลกอริทึมในการเติมเต็ม สำหรับ mask จริง มีหลายรูปแบบแต่เนื่องจากพื้นที่จำกัด จึงไม่สามารถแสดงทั้งหมดได้

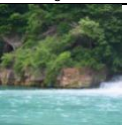
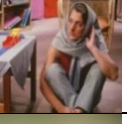
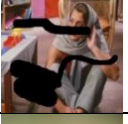
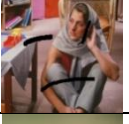
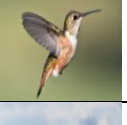
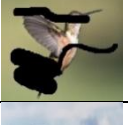
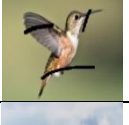
ตารางที่ 1 ผลการทดลองค่า PSNR ของแต่ละรูปจากวิธีการที่แตกต่างกัน

Image	Mask	Exemplar		
		34.56	CSH	Proposed
test.png	g	34.56	CSH	Proposed
barbara.png	g	34.38	36.07	36.09
bird.png	g	35.65	35.78	36.11
gull.png	g	37.96	36.10	39.55
test.png	h	38.89	39.68	40.57
barbara.png	h	38.42	44.80	44.31
bird.png	h	42.04	45.83	45.89
gull.png	h	44.71	47.53	46.90
Image	Mask	Exemplar	48.67	51.39

จากตารางที่ 1 พบว่าวิธีที่นำเสนอให้ค่า PSNR สูงกว่าวิธีอื่นในกรณี หน้ากาก g แต่สำหรับหน้ากาก h วิธี CSH ให้ผลดีกว่า โดยเฉพาะในภาพ test และ bird ความแตกต่างนี้อาจเกิดจากหน้ากาก h ปิดบังพื้นที่น้อย ทำให้ CSH สามารถใช้ข้อมูลที่เหลืออยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า ขณะที่วิธีนำเสนอเหมาะกับกรณีที่มีข้อมูลขาดหายมาก ดังนั้นเมื่อพื้นที่เสียหายมีน้อยวิธี CSH จึงได้เปรียบและให้ผลลัพธ์สูงกว่า

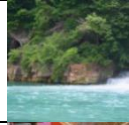
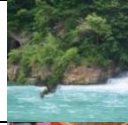
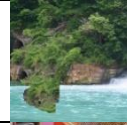
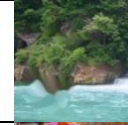
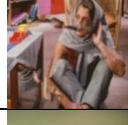
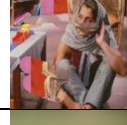
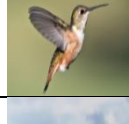
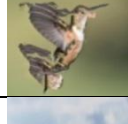
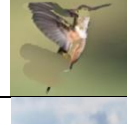
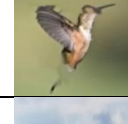
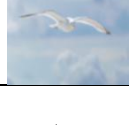
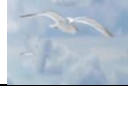
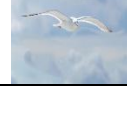
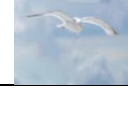
อย่างไรก็ตามไม่มีวิธีใดให้ผลลัพธ์ได้สมบูรณ์แบบ เช่น ในกรณีทำ ความเสียหายในส่วนกระดูกสันหลัง ผลลัพธ์ที่สร้างขึ้นจะไม่ปรากฏกระดูกสันหลังเหมือนต้นฉบับ ดังนั้นค่า PSNR อาจไม่ใช่ตัวชี้วัดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเปรียบเทียบผลลัพธ์ เนื่องจากบางภาพอาจมีค่า PSNR สูง แต่ความใกล้เคียงกับรูปต้นฉบับจริงกลับต่ำกว่าภาพอื่น

ตารางที่ 2 รูปที่ใช้สำหรับการทดสอบ

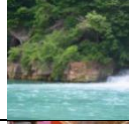
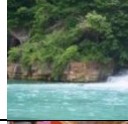
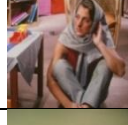
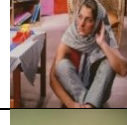
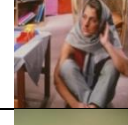
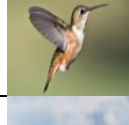
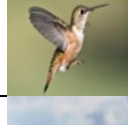
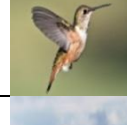
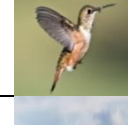
Image	Original	Mask g	Mask h
test.png			
barbara.png			
bird.png			
gull.png			

จากตารางที่ 2 รูปต้นฉบับถูกทำให้เสียหายด้วยหน้ากาก g และ h เพื่อใช้ทดสอบความสามารถในการซ่อมแซมของแต่ละวิธี เนื่องจากในบางกรณีภาพที่เสียหายไม่สามารถฟื้นฟูให้กลับมาใกล้เคียงต้นฉบับได้ด้วยวิธีที่มีอยู่ การสร้างความเสียหายจำลองจึงมีความสำคัญ เพราะช่วยให้สามารถประเมินประสิทธิภาพและเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแต่ละวิธีได้อย่างชัดเจน

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์รูปของวิธี Inpainting วิธีต่างๆ โดยใช้หน้ากาก (g)

original	Exemplar	CSH	Proposed
			
			
			
			

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์รูปของวิธี Inpainting วิธีต่างๆ โดยใช้หน้ากาก (h)

original	Exemplar	CSH	Proposed
			
			
			
			

จากตาราง 3 และ ตาราง 4 จะเป็นการแสดงรูปต้นฉบับเทียบกับผลลัพธ์รูปของวิธีการทั้ง 4 วิธีการ กับ mask g และ mask h สังเกตได้ว่ารูปผลลัพธ์ของวิธีการที่นำเสนอเมื่อมองด้วยตาเปล่า จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์รูปแทบจะคล้ายคลึงกันมาก ดังนั้นเราจึงต้องใช้ค่า PSNR เพื่อเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของรูปนั้น

4. สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอเทคนิคการซ่อมแซมรูปภาพที่เสียหายโดยใช้การประมาณค่าแบบสามเหลี่ยม ซึ่งช่วยฟื้นฟูข้อมูลสีในบริเวณที่ขาดหายไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการทดลองโดยใช้ค่า *PSNR* แสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอทำให้ผลลัพธ์ดีกว่าวิธีเปรียบเทียบและภาพที่ได้รับการซ่อมแซมมีความใกล้เคียงกับต้นฉบับอย่างชัดเจน ทั้งนี้งานวิจัยในอนาคตสามารถต่อยอดได้ด้วยการผสมผสานเทคนิค AI และ Deep Learning เพื่อช่วยในการประมาณค่าสีหรือสร้างโครงสร้างพิกเซลที่ซับซ้อนขึ้น รวมถึงการปรับปรุงด้านเวลาในการประมวลผล

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Chambolle, "Partial differential equations and image processing," in *Proceedings of 1st International Conference on Image Processing*, 1994, vol. 1, pp. 16–20 vol.1.
- [2] M. Bertalmio, G. Sapiro, V. Caselles, and C. Ballester, "Image Inpainting," in *Proceedings of the 27th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, 2000, pp. 417–424.
- [3] S. Esedoglu and J. Shen, "Digital inpainting based on the Mumford–Shah–Euler image model," *European Journal of Applied Mathematics*, vol. 13, no. 4, pp. 353–370, 2002.
- [4] A. Telea, "An Image Inpainting Technique Based on the Fast Marching Method," *Journal of Graphics Tools*, vol. 9, no. 1, pp. 25–36, 2004.
- [5] J. A. Sethian, "A fast marching level set method for monotonically advancing fronts," in *Proc Natl Acad Sci U S A*, 1996, vol. 93, no. 4, pp. 1591–1595.
- [6] A. Almansa, F. Cao, Y. Gousseau, and B. Rougé, "Interpolation of digital elevation models using AMLE and related methods," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 40, no. 2, pp. 314–325, 2002.
- [7] A. Criminisi, P. Perez, and K. Toyama, "Object removal by exemplar-based inpainting," in *2003 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2003. Proceedings.*, 2003, vol. 2, pp. II–II.
- [8] J. W. Cahn and J. E. Hilliard, "Free Energy of a Nonuniform System. I. Interfacial Free Energy," *The Journal of Chemical Physics*, vol. 28, no. 2, pp. 258–267, 2004.
- [9] T. F. Chan and S. H. Kang, "Error analysis for image inpainting," *Journal of Mathematical imaging and Vision*, vol. 26, pp. 85–103, 2006.
- [10] S. Korman and S. Avidan, "Coherency Sensitive Hashing," *2011 International Conference on Computer Vision, Barcelona, Spain, 2011*, pp. 1607–1614.
- [11] F. A. Bornemann and T. März, "Fast Image Inpainting Based on Coherence Transport," *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, vol. 28, pp. 259–278, 2007.
- [12] Y. Al-Najjar and S. D. Chen, "Comparison of image quality assessment: PSNR, HVS, SSIM, UIQI," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 3, pp. 1–5, 2012.