

ขั้นตอนวิธี Half-point Gradient แบบดัดแปลง สำหรับซ่อมแซมภาพ  
Adaptive Half-point Gradient Algorithm for Digital Image Inpainting

พีระ จรุงไทย (Peera Jarungthai)\* สิริภัทร เชี่ยวชาญวัฒนา (Sirapat Chiewchanwattana)\*\*

คำรณ สุณัติ (Kamron Sunut)\*\*\*

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้กล่าวถึงการปรับปรุงเทคนิคการซ่อมแซมภาพ (Image Inpainting) โดยมีการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการซ่อมแซมภาพด้วยการใช้ Half-point Gradient ด้วยการปรับค่าสีในบริเวณที่ถูกซ่อมแซมให้ใกล้เคียงกับบริเวณแวดล้อมมากขึ้น เพราะโดยส่วนใหญ่การซ่อมแซมภาพจะเกิดร่องรอยซึ่งมีความแตกต่างจากบริเวณโดยรอบ ดังนั้นการปรับค่าสีให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงในแต่ละจุดที่ถูกซ่อมแซมจะขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยของของค่าสีในบริเวณที่ล้อมรอบจุดที่ถูกซ่อมแซมนั้น ค่าที่ใช้ในการปรับค่าสีของแต่ละจุดจะใช้ค่าระยะทางระหว่างบริเวณล้อมรอบจุดซึ่งเกิดจากขั้นตอนของการค้นหาและจับคู่จุดระหว่างบริเวณที่ต้องการซ่อมแซมและบริเวณที่สมบูรณ์ ผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงวิธีการเดิมให้ผลที่ดีกว่าขั้นตอนวิธี Half-point Gradient แบบเดิมทั้งในด้านของค่า PSNR และ การประเมินด้วยสายตา

ABSTRACT

This paper introduces an adaptive image inpainting method. The algorithm modified A Fast Inpainting Algorithm Using Half-Point Gradient by adjusted the color values in inpainting area as close to its surrounding area. Most of inpainting method repaired images usually have marking in inpainting area with differ color from its surrounding area. Thus the adjustment of color values for all of pixels in inpainting area will be increment or decrement by decision of averaged color value in theirs surrounding area. The value for color adjustment using distance value found in searching for matching point step. The result of adaptive algorithm from this paper contained better PSNR and eye visual when compared with original Inpainting Algorithm Using Half-point Gradient.

คำสำคัญ: ซ่อมแซมภาพ ค่าผิดพลาดระยะทาง สังเคราะห์พื้นผิว

Key Words: Inpainting, Distance error, Texture synthesis

\* นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

\*\* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

\*\*\* อาจารย์ ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

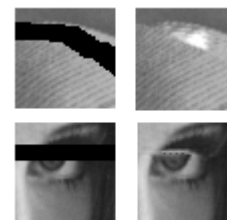
## บทนำ

ประเด็นหนึ่งที่สำคัญทางด้านการประมวลผลภาพ คือการลบวัตถุออกจากภาพโดยคงรายละเอียดของภาพเดิมไว้หรือซ่อมแซมบางส่วนของภาพที่เสียหายของภาพให้กลับคืนสู่สภาพเดิม ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการนี้ว่า การทำ inpainting ซึ่งหมายถึงเทคนิคของการตกแต่งภาพส่วนที่สูญหายด้วยการเติมข้อมูลที่สังเคราะห์จากข้อมูลที่มีอยู่ภายในภาพ [2] อันเกิดจากความเสียหายในกรณีต่างๆ เช่น เกิดจากการเสื่อมของภาพ เช่น จุดบนภาพรอยขีดข่วน หรือเกิดจากการเพิ่มเติมบางอย่างในภาพ เช่น ข้อความ วันที่ ลายน้ำ [1] เพื่อให้ได้ภาพที่สมบูรณ์และมีรายละเอียดในภาพครบถ้วนตามเดิม การทำงานทั้งหมดจะถูกดำเนินการขึ้นภายใต้การกำหนดขอบเขตของการทำงานด้วย หน้ากากเพื่อบ่งบอกถึงบริเวณที่ต้องการดำเนินการ ซึ่งโดยทั่วไปการกำหนดขอบเขตจะถูกกำหนดด้วยมือ

จากงานวิจัยที่ผ่านมา การทำ image inpainting สามารถแบ่งหลักการทำงานใหญ่ๆ ได้สองประเภท ได้แก่ ประเภทแรก ใช้การคำนวณและประมาณค่าส่วนที่เสียหายจาก สมการ partial differential equation (PDE) ตัวอย่างงานวิจัยที่อิงการทำงานแบบ PDE เช่น Total Variation Algorithm : TV [4] และ Curvature-Driven Diffusion Algorithm : CDD [5] ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการประเภทนี้จะทำให้ส่วนที่สังเคราะห์ออกมาไม่คงรายละเอียดและความหลากหลายของพื้นผิวทำให้บริเวณที่สังเคราะห์ออกมามีลักษณะเบลอ ส่วนหลักการทำงานอีกประเภทหนึ่ง คือ การทำงานด้วยการสังเคราะห์พื้นผิว (Texture synthesis) [3], [7], [8] ใช้วิธีการพิจารณาพื้นที่โดยรอบส่วนที่เสียหายเพื่อนำมาเป็นข้อมูลที่ใช้สังเคราะห์ตรงส่วนที่เสียหายด้วยการค้นหาและจับคู่จุดที่มีบริเวณล้อมรอบคล้ายกันมากที่สุดระหว่างจุดที่เสียหายกับจุดที่สมบูรณ์ เพื่อนำค่าที่ถูกจับคู่ได้มาใช้ซ่อมแซมส่วนที่เสียหาย โดยเริ่มทำงานจากรอบนอกของส่วนที่เสียหายก่อนและขยับเข้าไปยัง

ใจกลางบริเวณที่เสียหาย จนกระทั่งทุกจุดที่เสียหายถูกซ่อมแซมจนหมด

จากงานวิจัย A Fast Inpainting Algorithm Using Half-Point Gradient : HPG [10] ได้นำเสนอการนำสมการ Half-point Gradient เข้ามาช่วยในการปรับปรุงค่าที่ได้จากการจับคู่ที่ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการ TV [4] และ CDD [5] ทำให้ผลลัพธ์ของภาพและเวลาในการประมวลผลออกมาดียิ่งขึ้น แต่เมื่อพิจารณาผลลัพธ์ของภาพแล้วในบางกรณีจะพบว่าบริเวณที่ถูกซ่อมแซมด้วยค่าของสี่ระดับเทาที่ได้จากการจับคู่และผ่านขั้นตอนวิธี HPG พบว่าบริเวณดังกล่าวเกิดความแตกต่างระหว่างบริเวณที่ซ่อมแซมและบริเวณโดยรอบให้เห็นได้ค่อนข้างชัดเจนดัง ภาพที่ 1 จากปัญหานี้ งานวิจัยชิ้นนี้ได้นำเสนอแนวคิดการปรับค่าสีที่ได้จากวิธีการ HPG เพื่อให้ค่าสีที่จะนำไปใช้เดิมในส่วนของที่เสียหายมีความถูกต้องและกลมกลืนกับบริเวณโดยรอบมากขึ้น โดยนำหนักของการปรับค่าจะมาจากค่าเฉลี่ยระยะทางที่ได้จากขั้นตอนของการจับคู่ระหว่างจุดที่เสียหายและจุดที่สมบูรณ์ ซึ่งรายละเอียดของขั้นตอนวิธีจะปรากฏในส่วนของขั้นตอนและวิธีการวิจัย



ภาพที่ 1 ปัญหาที่เกิดจากการซ่อมแซมด้วยวิธี HPG

สำหรับการศึกษาและวิจัยครั้งนี้ ได้มีการนิยามตัวแปรเบื้องต้น ได้แก่  $I_{\text{mask}} = \{u(x, y)\}$  คือภาพในระดับเทาขนาด  $m \times n$  ที่ต้องการทำ inpainting และ พังก์ชัน  $u$  คือฟังก์ชันแสดงค่าสีของจุดที่ตำแหน่ง  $(x, y)$ .  $\Omega$  คือ บริเวณที่ไม่ทราบค่าซึ่งถูกกำหนดจากหน้ากาก,  $D = I - \Omega$  คือ เซตของจุดที่

ทราบค่า,  $\partial\Omega$  คือ ขอบเขตระหว่าง  $\Omega$  และ D, MASK คือ ภาพในลักษณะ binary ขนาดเท่ากับ I และมีค่าเป็น 0 ในส่วนที่ไม่ต้องการซ่อมแซม ซึ่งตรงกับ D มีค่าเป็น 1 ในส่วนที่ต้องการซ่อมแซม ซึ่งตรงกับ  $\Omega$

## ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 1. Image inpainting by correspondence

#### maps: A deterministic approach [6]

จากงานวิจัยเพื่อค้นหาและจับคู่จุด [6] คือขั้นตอนของการค้นหาและจับคู่จุดที่มีบริเวณคล้ายคลึงกัน เพื่อนำค่าที่ถูกจับคู่มาใช้ในการเติมลงในส่วนที่เสียหาย การวัดค่าความคล้ายของบริเวณจะใช้มาตรวัดยูคลิดีเนียน (1) โดยมีการนิยามความหมายของตัวแปรดังนี้

$u(\alpha)$  คือค่าระดับเทา ของจุด  $\alpha, \alpha \in \Omega$   
 $u(\beta)$  คือค่าระดับเทา ของจุด  $\beta, \beta \in D$

$N_\alpha$  คือ Neighborhood ของจุดที่  $\alpha$  (ไม่พิจารณาจุด  $\alpha$ )

$N_\beta$  คือ Neighborhood ของจุด  $\beta$  (ไม่พิจารณาจุด  $\beta$ )

$N_0$  คือรูปแบบของ Neighborhood ปกติ

$$d^2(N_\alpha, N_\beta) = \sum_{\gamma \in N_0} |u(\alpha + \gamma) - u(\beta + \gamma)|^2 \quad (1)$$

สิ่งที่ได้จากสมการที่ 1 คือค่า ระยะทางกำลังสอง ระหว่างจุด  $\alpha$  และ  $\beta$  ซึ่งจะถูกนำไปหาค่า Inpainting energy ด้วยสมการที่ (2) ซึ่งผลลัพธ์ในการจับคู่ในแต่ละจุดที่ดีที่สุดจะต้องให้ค่า Inpainting energy (E(F)) ที่น้อยที่สุด

$$E(F) = \sum_{\alpha \in \Omega} d^2(N_\alpha, N_{F(\alpha)}) \quad (2)$$

### 2. ลำดับการซ่อมแซมของจุดภายในบริเวณที่เสียหาย

ขั้นตอนวิธี HPG ใช้ลำดับการซ่อมแซมด้วยวิธี Fast marching method [9] ในแต่ละบริเวณที่เสียหายจะถูกคำนวณหาระยะทางระหว่างจุดที่อยู่ใน  $\Omega$  กับ  $\partial\Omega$  โดยลำดับการทำงานจะถูกทำจากจุดที่อยู่ใกล้

$\partial\Omega$  มากที่สุดก่อน จากนั้นจึงค่อยๆทำงานต่อไปยังลำดับชั้นถัดเข้าไปเรื่อยๆจนกระทั่งทุกจุดใน  $\Omega$  จะถูกซ่อมแซมจนหมด ในวิธีการ HPG จะไม่พิจารณาจุดใดๆที่ล้อมรอบด้วยบริเวณที่ไม่ทราบค่ามากกว่าบริเวณที่ทราบค่า โดยจะกำหนดตัวแปร T ขึ้นมาเพื่อใช้ตรวจสอบบริเวณที่ทราบค่า และ กำหนดเซต S คือเซตของจุดที่อยู่ในลำดับชั้นของการซ่อมแซม ที่ถูกทำภายใต้กฎที่ว่าด้วย “จุดที่ล้อมรอบด้วยบริเวณที่ทราบค่ามากกว่า จะต้องถูกซ่อมแซมก่อน” ขั้นตอนวิธีในการลำดับการทำงานที่สรุปในงานวิจัย HPG มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กำหนดค่าของ N โดยหาได้จากจากจำนวนของจุดที่ทราบค่าที่ล้อมรอบจุดที่ไม่ทราบค่าทุกจุด (ใช้บริเวณขนาด  $5 \times 5$ )

2. ให้ T เป็นค่า Threshold ที่กำหนดขึ้น (ขณะนี้กำหนดเป็น 12) ถ้า  $N \geq T$  ให้จุดที่ไม่ทราบค่าที่กำลังพิจารณาอยู่ ถูกเพิ่มไปยังเซต S

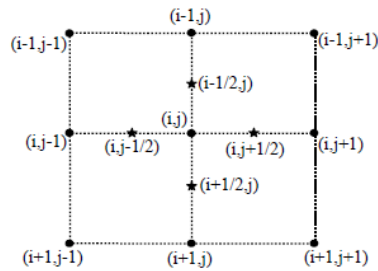
3. เรียงลำดับของทุกจุดใน S จากมากไปน้อย โดยพิจารณาจากค่าของ N ของแต่ละจุด

4. ทำการซ่อมแซมทุกจุดที่เพิ่มลงในเซต S ตามลำดับที่เรียงไว้ และทำการซ่อมแซมจุดนั้นด้วยการหาค่าสีของจุดที่มีบริเวณล้อมรอบคล้ายกันด้วยวิธีการจับคู่จุด (ดูในส่วนที่ 1) จากนั้นนำค่าที่ได้มาปรับด้วยขั้นตอนวิธี HPG แล้วนำไปเติมลงในจุดที่ต้องการซ่อมแซม (ดูในส่วนที่ 3)

5. หลังจากจุดที่อยู่ในเซต S ถูก ซ่อมแซมเรียบร้อยแล้ว ค่าของ MASK ในตำแหน่งที่ตรงกันกับจุดที่อยู่ใน S จะเปลี่ยนเป็น 0 และ S กลายเป็นเซตว่าง

ขั้นตอนการทำงานจะดำเนินการไปจนกว่าทุกจุดที่อยู่ใน Mask มีค่าเป็น 0 ซึ่งหมายความว่าทุกจุดใน  $\Omega$  ได้ถูกซ่อมแซมแล้ว

### 3. การปรับค่าด้วยขั้นตอนวิธี HPG



ภาพที่ 2 Half-point grid

ขั้นตอนวิธี HPG ใช้รูปแบบความแตกต่างระหว่างจุดกลางผลต่าง (Central difference divergence form) เพื่อช่วยคำนวณหา Half-point Gradient จาก ภาพที่ 3 จุดที่ต้องการซ่อมแซมคือจุดที่ตำแหน่ง  $i, j$  จะมีจุด Half-point ทั้งหมด 4 จุด ที่ตำแหน่ง  $(i, j-1/2)$ ,  $(i, j+1/2)$ ,  $(i+1/2, j)$ ,  $(i-1/2, j)$  ซึ่งจะถูกคำนวณด้วยสมการที่ (3) จาก ภาพที่ 2 คือจุด '\*' แต่ขั้นตอนวิธี HPG มีข้อจำกัดการใช้งานจุด Half-Point คือหากต้องการคำนวณหาจุด Half-point ใดแล้วต้องทราบค่าของจุดติดกันที่อยู่ในทิศทางนั้นด้วย เช่น หากต้องการหาค่าจุด Half-point ที่ตำแหน่ง  $(i-1/2, j)$  จะต้องทราบค่าที่อยู่ในตำแหน่ง  $(i-1, j)$  ก่อน หากตำแหน่งที่อยู่ในทิศทางใดไม่ทราบค่าจุด Half-point ในทิศทางนั้นจะไม่ถูกคำนวณ ในกรณีที่จุดที่ซ่อมแซมมีค่า Half-point มากกว่าหนึ่งจุดจะต้องหาค่าเฉลี่ยของจุด Half-point ทั้งหมด ในความเป็นจริงแล้วมีเพียงการทำงานของ Gradient ในแนวนอน (horizontal direction) เท่านั้นที่ถูกใช้งาน เนื่องจากการคำนวณหาค่าระดับเทา ไม่จำเป็นต้องใช้การหาค่าในแนวตั้ง (vertical direction) ดังนั้นสมการที่ (3) จึงถูกใช้เพียงส่วนแรกของสมการเท่านั้น

$$\begin{aligned} \nabla u(i, j-1/2) &= \left( \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{(i, j-1/2)}, \frac{\partial u}{\partial y} \Big|_{(i, j-1/2)} \right) \\ &\approx \left( \frac{u(i, j) - u(i, j-1)}{h}, \frac{u(i+1/2, j-1/2) - u(i-1/2, j-1/2)}{2h} \right) \\ &= \left( \frac{u(i, j) - u(i, j-1)}{h}, \frac{u(i+1/2, j-1/2) + u(i+1/2, j+1/2) - u(i-1/2, j-1/2) - u(i-1/2, j+1/2)}{4h} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

จากขั้นตอนวิธี HPG เกิดปัญหาที่พบได้คือ บริเวณที่ถูกซ่อมแซมเกิดร่องรอยที่สามารถมองเห็นได้ชัด เนื่องจากความแตกต่างของค่าที่ใช้เดิมลงไปมีความแตกต่างกับบริเวณโดยรอบ ซึ่งกรณีเช่นนี้มักเกิดขึ้นในภาพที่มีการซ่อมแซมพื้นที่บริเวณกว้าง ทำให้จุดเสียหายที่อยู่ลึกเข้าไปในบริเวณที่เสียหายนั้นอาจมีข้อมูลผิดพลาด หรือ ข้อมูลไม่เพียงพอในการสังเคราะห์หาค่าสีบริเวณนั้น ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงนำเสนอแนวคิดและวิธีการในการปรับค่าของจุดที่ต้องการซ่อมแซมให้ดูกลมกลืนกับบริเวณโดยรอบมากขึ้น ด้วยการปรับค่าที่ได้หลังจากผ่านการทำขั้นตอนวิธี HPG ด้วยค่าระยะทางที่เกิดจากการจับคู่จุด ซึ่งจะกล่าวในส่วน of วิธีการวิจัย

### วิธีการวิจัยและดำเนินงาน

หลักการทำงานของขั้นตอนวิธี HPG แบบดัดแปลง คือการปรับค่าสีที่ได้มาจากขั้นตอนวิธี HPG ด้วยการปรับค่าสีเพิ่ม หรือลดลง ตามสภาพแวดล้อมของจุดที่ซ่อมแซม เพื่อลดปัญหาความแตกต่างระหว่างจุดที่ซ่อมแซมกับบริเวณโดยรอบ โดยแนวคิดการปรับค่าเกิดจากการพิจารณาค่า ระยะทาง หรือค่า  $d$  ในสมการที่ 1 เนื่องจากการค้นหาและจับคู่จุดโดยทั่วไปแล้วจะมีการค้นหาภายในบริเวณใกล้เคียงกับจุดที่ต้องการซ่อมแซมเพราะในความเป็นจริงแล้วค่าสีที่ดีที่จะนำมาใช้ซ่อมแซมนั้นควรจะปรากฏในบริเวณใกล้เคียงแทนที่จะไปปรากฏอยู่ส่วนอื่นๆของภาพ แต่ในบางกรณีเมื่อการค้นหาในบริเวณใกล้เคียงสามารถพบจุดที่ให้ค่า ระยะทาง ที่น้อยที่สุดในบริเวณที่ค้นหา แต่ค่าระยะทางที่ได้นั้นกลับมีค่ามาก จนทำให้ค่าสีที่จับคู่มาได้นั้นเพี้ยนไปจากที่ควรจะเป็น ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้ได้นำเอาค่าระยะทาง มาใช้เป็นตัวปรับค่าของสีเพื่อลดความแตกต่างระหว่างจุดที่ซ่อมแซมกับบริเวณโดยรอบ ด้วยการตัดสินใจปรับเพิ่มหรือลดค่าสีตามค่า  $C$  ในสมการที่ (4)

$$C = \begin{cases} -1 & \text{if } HPG(\alpha) \geq \sum_{p \in N_p} \frac{N(\alpha+p)}{n} \\ 1 & \text{if } HPG(\alpha) < \sum_{p \in N_p} \frac{N(\alpha+p)}{n} \end{cases} \quad (4)$$

จากสมการ(4) ค่า  $C$  ใช้ตัดสินใจในการปรับค่าที่ได้จากขั้นตอนวิธี HPG โดยเปรียบเทียบกับบริเวณล้อมรอบจุด ที่ต้องการซ่อมแซม โดยจะพิจารณาเฉพาะค่าในตำแหน่งแนวนอนและแนวตั้งที่ติดกับ  $\alpha$  ซึ่งนิยามบริเวณดังกล่าวเป็น  $N_p$  เมื่อ  $n$  คือจำนวนตำแหน่งที่ทราบค่าใน  $N_p$

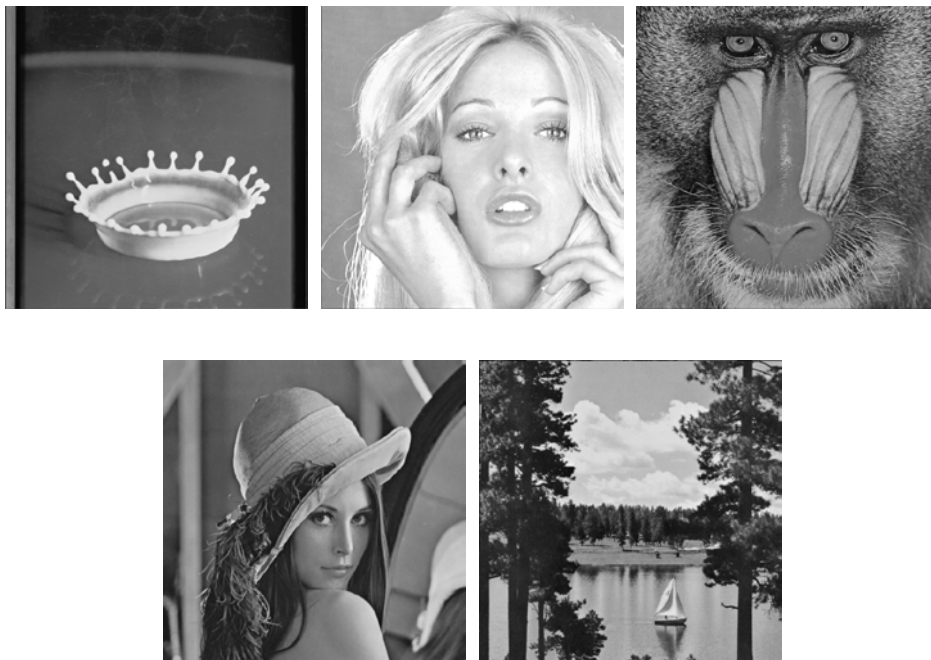
เมื่อทราบ  $C$  จากสมการ (4) แล้วทำให้ทราบได้ว่าค่าที่ได้จากขั้นตอนวิธี HPG นั้นควรมีการปรับค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง จากนั้นขั้นตอนต่อไปจะใช้ค่า  $d$  ที่เกิดจากการจับคู่ระหว่าง จุด  $\alpha$  และ  $\beta$  มาปรับค่าได้ด้วยสมการ (5) ซึ่งนิยามให้  $m$  คือจำนวนของจุดที่ทราบค่าที่ล้อมรอบจุด  $\alpha$  (จำนวนจุดที่ใช้หาค่าระยะทางในขั้นตอนการจับคู่)

ดังนั้นค่าที่จะถูกนำไปใช้ซ่อมแซมส่วนที่เสียหายจะใช้ค่าที่คำนวณได้จากสมการที่ (5)

$$\text{AHPG-value} = \text{HPG}(\alpha) + \left( \frac{d(N_\alpha, N_\beta)}{m} \cdot C \right) \quad (5)$$

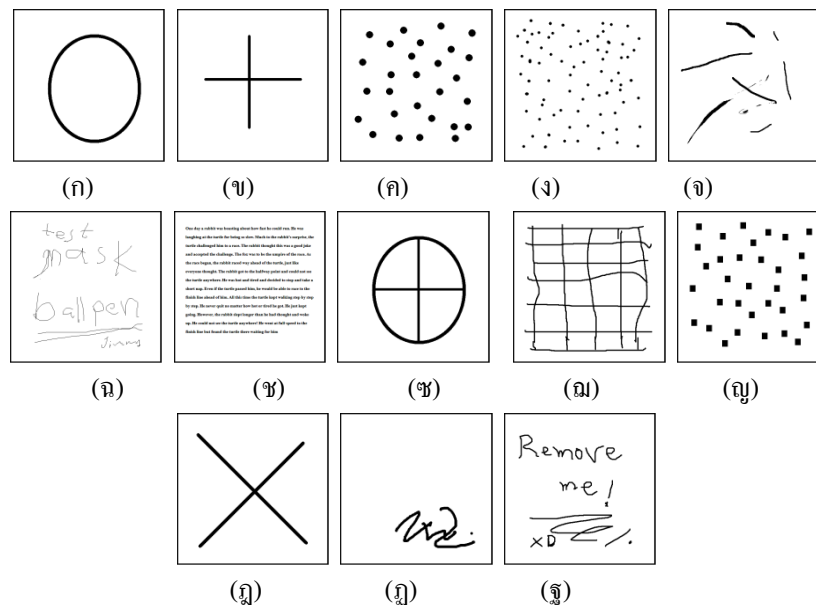
### การจัดการข้อมูล

ชุดข้อมูลภาพที่นำมาทดสอบประกอบด้วยภาพขนาด 512x512 ทั้งหมด 23 ภาพ (ภาพที่ 3) ซึ่งนำมาจาก The USC-SIPI Image Database หมวดหมู่ misc. โดยคัดเลือกภาพที่ถูกคัดเลือกจะถูกนำมาแปลงให้เป็นภาพระดับเทา ก่อน จากนั้นนำภาพตัวอย่างทั้งหมดมากำหนดส่วนที่เสียหายในรูปแบบที่กำหนดด้วย หน้ากาก ซึ่งเป็นภาพ ไบนารี ที่สร้างด้วยมือ ส่วนที่เสียหายขององภาพ มีลักษณะแตกต่างกันออกไปทั้งหมด 13 รูปแบบ (ภาพที่ 4) หน้ากากแต่ละรูปแบบสร้างขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ต่างกัน โดยมุ่งเน้นความหลากหลายของรูปแบบส่วนที่เสียหายที่สามารถพบเจอได้ทั่วไปในปัญหาจริง



ภาพที่ 3 ตัวอย่างบางส่วนของชุดข้อมูลภาพที่นำมาใช้ทดสอบ (จากทั้งหมด 23ภาพ)





**ภาพที่ 4** ภาพหน้ากาก ไบนารี ขนาด  $512 \times 512$  ที่ใช้กำหนดบริเวณที่ต้องการซ่อมแซมทั้งหมด 13 รูปแบบสร้างขึ้นให้มีลักษณะหลากหลาย และสามารถพบเห็นได้ทั่วไปในปัญหาจริง

ในการทดลองจะได้มีการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอ กับวิธีการเดิม ด้วยวิธี PSNR ดังนั้น การที่จะบอกได้ว่า วิธีการใหม่นั้นให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธีการ HPG ควรมีการทดลองกับบริเวณที่เสียหาย ในหลายๆ รูปแบบ เพื่อแสดงให้เห็นว่า วิธีการที่นำเสนอสามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าจริง ภายใต้เงื่อนไขของบริเวณที่เสียหายที่แตกต่างกันตามสภาพความเป็นจริง จากภาพที่ 4 ได้มีการกำหนดบริเวณที่เสียหายด้วยมือทั้งหมด 13 รูปแบบ ประกอบด้วยรูปแบบของส่วนที่เสียหายที่สามารถเกิดขึ้นทั่วไปในปัญหาจริงได้แก่

(ก) วงกลม ใช้ทดสอบการซ่อมแซมบริเวณที่เสียหายที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้ง

(ข) จุดขนาดใหญ่ ใช้ทดสอบการซ่อมแซมบริเวณที่เสียหายที่มีลักษณะเป็นจุดกลมแยกอิสระจากกัน

(ค) จุดขนาดเล็ก ใช้ทดสอบการซ่อมแซมบริเวณที่เสียหายที่มีลักษณะจุดเล็กๆ ปริมาณมากในภาพ เช่น จุลรบกวน (noise)

(ง) กากบาท ใช้ทดสอบการซ่อมแซมบริเวณที่เสียหายที่มีลักษณะเป็น เส้นตรง และบริเวณจุดตัดของเส้นตรง

(จ) รูปร่างอิสระ ใช้ทดสอบการซ่อมแซมบริเวณที่เสียหายที่มีลักษณะ ไร้รูปร่าง ซึ่งในความเป็นจริงจะพบรูปแบบการซ่อมแซมลักษณะนี้ค่อนข้างมาก

(ฉ) รอยปากกาถูกลิ้น ใช้ทดสอบการซ่อมแซมบริเวณที่เสียหายที่มีลักษณะถูกขีดเขียนด้วยเส้นบางๆ

(ช) อักษรพิมพ์ ใช้ทดสอบการซ่อมแซมบริเวณที่เสียหายที่เกิดจากการพิมพ์ทับบนภาพด้วยตัวอักษรจำนวนมาก

(ซ) วงกลมและกากบาท ใช้ทดสอบการซ่อมแซมบริเวณที่เสียหายที่มีลักษณะรวมกันระหว่างเส้นตรงและเส้นโค้ง และทดสอบการซ่อมแซมตรงจุดตัดกันระหว่างเส้นตรงกับเส้นโค้ง

(ฌ) รอยพับ ใช้ทดสอบการซ่อมแซมบริเวณที่เสียหายที่มีมักเกิดขึ้นกับภาพถ่ายเก่าๆ ที่มีการพับเก็บไว้

(ญ) จุดสี่เหลี่ยม ใช้ทดสอบการซ่อมแซมบริเวณที่เสียหายที่มีลักษณะเป็นจุดสี่เหลี่ยมแยกอิสระจากกัน

(ฎ) กากบาทแนวทแยง ใช้ทดสอบบริเวณที่เสียหายที่มีลักษณะเป็นแนวทแยง และจุดตัดในแนวทแยง

(ฏ) ลายเส้น ใช้ทดสอบการซ่อมแซมบริเวณที่เสียหายที่มีลักษณะเป็นลายมือที่มีจุดตัดกันค่อนข้างมาก

(จ) ลายมือ ใช้ทดสอบการซ่อมแซมบริเวณที่เสียหายที่มีลักษณะเป็นลายมือเขียน

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

#### 1. ผลลัพธ์จากการประเมินด้วยสายตา

จากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ใน ภาพที่ 5 โดยใช้ภาพ Lena ที่ถูกกำหนดบริเวณที่เสียหายด้วยหน้ากากต่างกันสองแบบ พบว่าภาพที่ทำการซ่อมแซมด้วยวิธีการ HPG เกิดร่องรอยจากการซ่อมแซมภาพได้ชัดเจนสังเกตได้จาก ภาพที่ 5 (ข) และ (จ) และเมื่อใช้วิธี

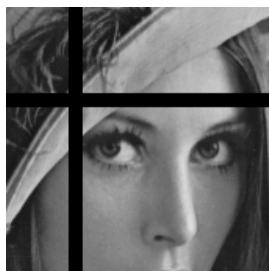
ที่นำเสนอเข้ามาแก้ไขจะพบว่าบริเวณที่เกิดปัญหาจากวิธีการเดิมถูกแก้ไขให้ดูกลมกลืนไปกับบริเวณโดยรอบมากขึ้นสังเกตได้จาก ภาพที่ 5 (ค) และ (ฉ)

#### 2. ผลลัพธ์ของค่า PSNR และ เวลาในการประมวลผล

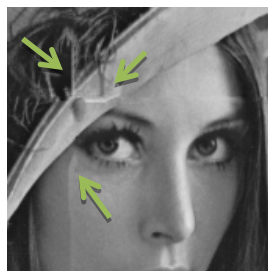
สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการประมวลผลเพื่อหาค่า PSNR และ เวลาในการทำงานประกอบด้วยโปรแกรม matlab 2009a, หน่วยประมวลผลกลาง Intel Core 2 Duo E7400, หน่วยความจำหลัก 2GB, ระบบปฏิบัติการ WindowsXP SP2

ค่า PSNR และเวลาที่ใช้ประมวลผล ที่ปรากฏในตารางเกิดจากการนำชุดข้อมูลรูปภาพ (23 ตัวอย่าง) ไปประมวลผลด้วย หน้ากาก แต่ละชนิด แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยแล้วแยกตามประเภทของ หน้ากาก ที่ใช้

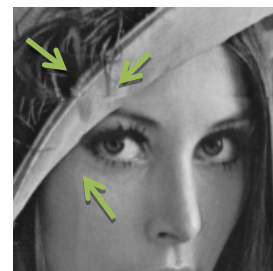
จากตารางที่ 1 พบว่าค่า PSNR ของ วิธีการที่นำเสนอ ให้ผลที่ดีกว่าในทุกชนิดของ หน้ากาก ที่นำมาทดสอบ ในขณะที่ใช้เวลาในการประมวลผลต่างก็น้อยมาก (เฉลี่ยแล้วน้อยกว่า 0.5 วินาที)



(ก) ภาพที่เสียหาย



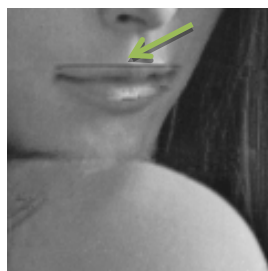
(ข) ผลลัพธ์จากวิธีการ HPG



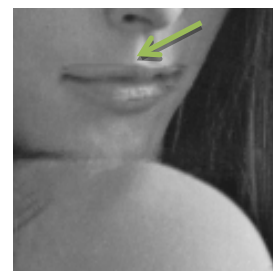
(ค) ผลลัพธ์จากวิธีที่นำเสนอ



(ง) ภาพที่เสียหาย



(จ) ผลลัพธ์จากวิธีการ HPG



(ฉ) ผลลัพธ์จากวิธีที่นำเสนอ

ภาพที่ 5 ผลลัพธ์จากการซ่อมแซมภาพตัวอย่างด้วยวิธีการ HPG และวิธีการที่นำเสนอ

ตารางที่ 1 ผลลัพธ์จากการหา PSNR และเวลาในการประมวลผล

| ชื่อน้ำภาพ         | ภาพ<br>น้ำภาพ                                                                       | PSNR (เฉลี่ยจาก 23 ภาพ) |               | เวลาในการประมวลผล |               | PSNR และ เวลาที่เพิ่มขึ้น |               |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------------------|---------------|
|                    |                                                                                     | HPG                     | วิธีที่นำเสนอ | HPG               | วิธีที่นำเสนอ | PSNR                      | เวลา (วินาที) |
| วงกลม              |    | 34.50                   | 35.37         | 21.95             | 21.95         | 0.87                      | 0.00          |
| กากบาท             |    | 36.99                   | 38.52         | 54.49             | 54.85         | 1.53                      | 0.36          |
| จุดขนาดใหญ่        |    | 34.74                   | 35.67         | 13.04             | 13.14         | 0.93                      | 0.10          |
| จุดขนาดเล็ก        |    | 41.27                   | 41.94         | 4.95              | 4.99          | 0.67                      | 0.04          |
| รอยปากกาลูกกลิ้ง   |    | 48.09                   | 48.88         | 1.97              | 1.98          | 0.80                      | 0.02          |
| อักษรพิมพ์         |    | 38.00                   | 38.71         | 8.41              | 8.48          | 0.72                      | 0.07          |
| รูปร่างอิสระ       |    | 38.73                   | 39.67         | 16.41             | 16.50         | 0.95                      | 0.09          |
| วงกลมและ<br>กากบาท |   | 31.18                   | 32.30         | 78.43             | 78.92         | 1.12                      | 0.49          |
| รอยพับ             |  | 34.45                   | 35.77         | 75.16             | 75.69         | 1.32                      | 0.52          |
| จุดสี่เหลี่ยม      |  | 34.34                   | 35.20         | 13.68             | 13.81         | 0.86                      | 0.14          |
| ลายเซ็น            |  | 38.40                   | 39.51         | 19.72             | 19.96         | 1.11                      | 0.25          |
| กากบาทแนว<br>ทแยง  |  | 35.73                   | 36.78         | 22.89             | 23.09         | 1.05                      | 0.20          |
| ลายมือ             |  | 38.18                   | 39.19         | 20.61             | 20.75         | 1.02                      | 0.14          |

## สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยเมื่อปรับปรุงขั้นตอนวิธี HPG ด้วยวิธีที่นำเสนอแล้ว เมื่อวัดประสิทธิภาพด้วยค่า PSNR ปรากฏว่าขั้นตอนวิธีที่นำเสนอให้ผลดีกว่าในทุก รูปแบบของน้ำภาพที่กำหนดพื้นที่ความเสียหาย แต่ผลลัพธ์จากการประเมินด้วยสายตาไม่มีบางรูปแบบของ ความเสียหายที่วิธีการใหม่และวิธีการเดิมมีความ แตกต่างกันน้อยมาก น้ำภาพที่เกิดกรณีเช่นนี้ได้แก่ รอยปากกาลูกกลิ้ง จุดขนาดเล็ก และ อักษรพิมพ์

เนื่องจากพื้นที่บริเวณที่เสียหายของน้ำภาพเหล่านี้ เกิดขึ้นเป็นบริเวณแคบๆ ทำให้การซ่อมแซมในแต่ละ จุดเกิดจากการสังเคราะห์จากข้อมูลที่สมบูรณ์ ค่า ระยะทางในการค้นหาและจับคู่จุด จึงมีน้อยมากหรือไม่ มีเลย เป็นเหตุให้การปรับปรุงค่าสีจากระยะทางส่งผล ต่อการซ่อมแซมน้อยตามไปด้วย แต่ในทางกลับกัน หากบริเวณที่ต้องการซ่อมแซมมีขนาดกว้าง เช่น กากบาท รูปร่างอิสระ และ ลายเซ็น เป็นต้น ขั้นตอนวิธี ที่นำเสนอสามารถส่งผลต่อผลลัพธ์ได้มาก โดยเฉพาะ



บริเวณของส่วนเสียหายที่ลึกเข้าไป เนื่องจากการสังเคราะห์พื้นผิวที่เสียหายเมื่ออยู่ลึกเข้าไปยังใจกลางส่วนที่เสียหาย ค่าสีของบริเวณนี้จะถูกสังเคราะห์จากบริเวณล้อมรอบจุด ซึ่งบริเวณล้อมรอบเหล่านี้ถูกสังเคราะห์ขึ้นภายหลังดังนั้นเมื่อทำการค้นหาและจับคู่จุด อาจเกิดค่าระยะทางมาก ทำให้ค่าที่จะนำไปซ่อมแซมผิดเพี้ยนไปด้วย ฉะนั้นการปรับปรุงค่าสีด้วยระยะทางในกรณีนี้จึงส่งผลต่อผลลัพธ์มากขึ้นด้วย

### ข้อเสนอแนะ

จากวิธีการที่นำเสนอการปรับค่าจะใช้ค่าระยะทางที่ได้จากขั้นตอนการจับคู่จุดมาหาค่าเฉลี่ยและนำไปปรับค่าสีโดยตรง ในบางกรณีอาจเกิดปัญหาค่าระยะทางที่ได้จากการจับคู่ขึ้นมากเกินไปเนื่องจากบริเวณที่ค้นหามีความซับซ้อนของพื้นผิวมาก หากเกิดปัญหาลักษณะนี้แล้วทำให้ค่าสีถูกปรับมากเกินไปและเกิดความผิดพลาดกับบริเวณที่ซ่อมแซม ดังนั้นแนวทางในการพัฒนาต่อไปคือการปรับค่าระยะทาง ให้อยู่ในช่วงของขอบเขตที่ยอมรับได้ เพื่อไม่ให้ค่าสีถูกปรับมากเกินไป

### เอกสารอ้างอิง

- [1] D. King. 1997. The Commissar Vanishes. New York City: Henry Holt and Company.
- [2] Bertalmio, G. Sapiro, V. Caselles, and C. Ballester. 2000. Image inpainting. 2D Methods. Proceedings of SIGGRAPH 2000. Louisiana. 417-424.
- [3] L.Y.Wei and M. levoy. 2000. Fast Texture Synthesis Using Tree-structured Vector Quantization. 2D Methods. Proceedings of SIGGRAPH 2000. Louisiana. 479-488.
- [4] T. F. Chan and J. Shen. 2001. Non-texture inpainting by curvature driven diffusions. Journal of Visual Communication and Image Representation 2001. 436-449.
- [5] T. F. Chan and J. Shen. 2001. Mathematical Models of local non-texture inpaintings. Society for Industrial and Applied Mathematics 2001. 1019-1043.
- [6] L. Demanet, B. Song, and T. Chan. 2003. Image inpainting by correspondence maps: A deterministic approach. UCLA CAM Report. 3(40).
- [7] Criminisi A, Perez P, Toyama K. 2003. Object removal by exemplar-based inpainting. Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Wisconsin.
- [8] Criminisi, P. Pérez, and K. Toyama. 2004. Region filling and object removal by exemplar-based image inpainting. IEEE Transactions on Image Processing. 1200-1212.
- [9] Telea. 2004. An image inpainting technique based on the fast marching method. Journal of graphics tools. 25-36.
- [10] Y. Wu, M. Wang and X. Liu. 2009. A Fast Inpainting Algorithm Using Half-Point Gradient. IWCSE '09 Proceedings of the 2009 Second International Workshop on Computer Science and Engineering. 594-598.