

การเบลอภาพใบหน้าขนาดใหญ่อย่างมีมิติ ด้วยความคล้ายคลึงของโครงสร้างภาพ

ฐิติพร เลิศรัตน์เดชากุล^{1*} เกษม ทิพย์ธาราจันทร์² คณาภาญจน์ รักไพฑูรย์³ กุลวดี สมบูรณ์วิวัฒน์⁴

^{1*,2,3}คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย

⁴คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา, ชลบุรี, ประเทศไทย

*ผู้พิมพ์ประสานงาน อีเมล : thitiporn@tni.ac.th

รับต้นฉบับ: 28 กันยายน 2563; รับบทความฉบับแก้ไข: 9 พฤศจิกายน 2563; ตอรับบทความ: 12 พฤศจิกายน 2563

เผยแพร่ออนไลน์: 25 ธันวาคม 2563

บทคัดย่อ

การปกปิดใบหน้าถูกใช้อย่างแพร่หลายในสื่อสิ่งพิมพ์ สื่อดิจิทัลและภาพออนไลน์ต่าง ๆ เพื่อคุ้มครองสิทธิส่วนบุคคล โดยงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการเบลอภาพใบหน้าบุคคล ที่มุ่งเน้นพัฒนาการเบลอภาพใบหน้าขนาดใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาพที่มีขนาดใหญ่ ที่มักได้รับผลกระทบจากระดับความเบลอมากเพื่อทำให้ภาพมีความพร่ามัวเพียงพอจนไม่สามารถระบุตัวตนได้ จึงทำให้ใบหน้ามีความแบนหรือราบเรียบสูง ขาดมิติของภาพ งานวิจัยนี้จึงได้นำค่าความคล้ายคลึงของโครงสร้างภาพระหว่างภาพเบลอมากกับภาพปกติ มากรองด้วยตัวกรองแบบเกาส์เซียน และปรับค่าความแตกต่างระหว่างความสว่างและความมืด (Contrast) สร้างเป็นแผนที่ความทึบแสง (Opacity Map) เพื่อใช้เบลอองค์ประกอบภายในใบหน้าอย่างละมุนและเหมาะสม ทำให้บริเวณรายละเอียดของส่วนประกอบหลักมีความพร่ามัวมาก ยากต่อการรับรู้อัตลักษณ์บุคคล ในขณะที่ส่วนอื่น ๆ ของใบหน้ามีความเบลอน้อยกว่า ซึ่งความแตกต่างของระดับความเบลอภายในองค์ประกอบของใบหน้าเหล่านี้ ช่วยเพิ่มมิติให้กับภาพและช่วยในการมองเห็นภาพบุคคลให้มีความเป็นธรรมชาติมากยิ่งขึ้น ดังจะเห็นได้จากค่าเฉลี่ยความคล้ายคลึงของโครงสร้างภาพกับภาพต้นฉบับมีค่าสูงขึ้น โดยสามารถนำไปประยุกต์ต่อยอดกับการเซ็นเซอร์ (Censor) ภาพอย่างมีประสิทธิภาพได้อีกด้วย

คำสำคัญ : การทำให้ภาพเรียบ การเบลอใบหน้า ความคล้ายคลึงของโครงสร้างภาพ

Dimensional Blurring of Large Face Image Based on Structural Similarity

Thitiporn Lertrusdachakul^{1*} Kasem Thiptarajan² Kanakarn Ruxpaitoon³ Kulwadee Somboonviwat⁴

^{1*,2,3}Faculty of Information Technology, Thai-Nichi Institute of Technology, Bangkok, Thailand

⁴Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus, Chonburi, Thailand

*Corresponding Author. E-mail address: thitiporn@tni.ac.th

Received: 28 September 2020; Revised: 9 November 2020; Accepted: 12 November 2020

Published online: 25 December 2020

Abstract

Face masking is widely used in print media, digital media and various online images for privacy and security protection. This research proposes an innovative face-blurring method focusing on large face blurring in large image size which usually requires a high degree of blur level to anonymize face. This great blur causes the face to be flat or very smooth and lack of visual dimension. Therefore, this research exploits the local structural similarity between large blurred and original images with Gaussian filter and contrast adjustment to adaptively create an opacity map for smoothly and appropriately blurring of face components. The details of main components are then very blurry and difficult to recognize personal identity while other parts of the face are less blurred. This adaptively face smoothing can improve a sense of dimensional perception and help to visually anonymize the portrait more natural resulting in the higher average value of structural similarity to the original image. The proposed method can be further applied to an aesthetically image censoring.

Keywords: Image Smoothing, Face Blurring, Structural Similarity

1) บทนำ

การทำให้ภาพเรียบ (Image Smoothing) เป็นการลดทอนความคมชัดของภาพ และทำให้รายละเอียดเล็ก ๆ น้อย ๆ ที่อาจไม่พึงประสงค์ เกิดความพร่ามัวหรือเบลอ และกลมกลืนไปกับส่วนพื้นหลังของภาพ ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ลดสัญญาณรบกวน (Noise) ที่เกิดขึ้นภายในภาพ โดยการเบลอภาพในระดับความเบลอและบริเวณที่แตกต่างกัน สามารถใช้สร้างเอฟเฟกต์ให้กับภาพได้ เช่น สร้างความรู้สึกคลาสสิก สร้างหมอกควันจำลอง [1] สร้างการดึงดูดความสนใจให้กับวัตถุ สร้างมิติและความลึกให้กับภาพ [2], [3] นอกจากนี้ในการนำเสนอข่าวสารหรือเหตุการณ์ที่ส่งผลกระทบต่อบุคคลที่อยู่ในภาพ เช่น ผู้เสียหาย ผู้ถูกกล่าวหา พยานผู้อาจได้รับความเสียหายจากการให้ข้อมูลผู้ติดเชื่อ เยาวชนก็ได้้นำการเบลอภาพมาใช้เพื่อช่วยปกปิดใบหน้าบุคคล โดยสื่อโทรทัศน์และสื่อออนไลน์ทั่วไป มีวิธีการปิดบังใบหน้าหลายรูปแบบ เช่น การหันหลัง การใส่แว่นดำและหมวก การลดแสงไฟ การใช้ฉากมัวกัน การใส่หน้ากากอนามัย การปิดบริเวณตาด้วยแถบสีดำ การขยายขนาดพิกเซล (Pixelate) การเบลอภาพ ซึ่งการปิดบังใบหน้าด้วยวิธีการปัจจุบันสำหรับภาพที่มีใบหน้าขนาดใหญ่และถูกแสดงเป็นภาพนิ่งหรือภาพเคลื่อนไหวเป็นระยะเวลา ย่อมทำลายความสวยงามและคุณภาพของภาพ ทำให้การรับชมภาพขาดความเป็นธรรมชาติ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวิธีการเบลอภาพใบหน้าบุคคล โดยมุ่งเน้นพัฒนาการปกปิดใบหน้าขนาดใหญ่ให้มีความเป็นธรรมชาติ มีมิติมากยิ่งขึ้น

ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาวิธีการเบลอภาพ ได้แก่ การเบลอภาพโดยพิจารณาแสงร่วมกับการปรับโพกัสและความคลาดเคลื่อนของสายตามนุษย์ เพื่อให้ได้ภาพเบลอที่ใกล้เคียงกับที่เกิดขึ้นในการรับชมตามธรรมชาติ [4] การเบลอภาพโดยเลือกใช้ตัวกรองนำทางแบบคงที่และแบบเปลี่ยนแปลงเสมอ (Static and Dynamic Guidance Filters) เพื่อช่วยรักษาขอบภาพ [5] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอื่น ๆ ที่เบลอภาพโดยพยายามรักษาขอบหลักหรือโครงสร้างของภาพไว้ [6]-[8] เช่น การทำให้ภาพเรียบในบริเวณภาพที่มีความคล้ายคลึงกันของพิกเซล [9] การใช้เกรเดียนต์ของภาพ (Image Gradient) เพื่อประมาณโครงสร้างที่โดดเด่นในกระบวนการเบลอภาพ [10], [11] สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเบลอบนใบหน้า ได้มีการพัฒนาการลบร็อยรอยอย่างเป็นธรรมชาติโดยการทำให้อัตราส่วนรอยต่าง ๆ ราบเรียบขึ้นและพื้นคินผิวหน้าดั้งเดิมด้วยส่วนประกอบภาพความถี่สูงจากการประมวลผลภาพในโดเมน

เวฟเลต (Wavelet Domain) จึงทำให้ได้ใบหน้าที่สวยงาม นำติ่งหูและคางรูปลักษณะความเป็นธรรมชาติไว้ [12] โดยงานวิจัยเหล่านี้ต่างพัฒนาวิธีการเบลอภาพเพื่อให้ภาพมีความเป็นธรรมชาติ สวยงาม หรือมีประสิทธิภาพต่อการค้นหาขอบ (Edge Detection) หรือการแยกส่วนภาพ (Image Segmentation) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการพัฒนาวิธีการกำจัดสิ่งรบกวน โดยยังคงรักษาขอบหลักของภาพไว้ โดยหากนำมาประยุกต์กับภาพใบหน้าบุคคลก็จะเป็นการช่วยเน้นโครงสร้างใบหน้าอย่างนุ่มนวล เหมาะแก่การตกแต่งภาพถ่าย ในขณะที่การพัฒนาวิธีการเบลอภาพใบหน้าขนาดใหญ่ที่นำเสนอนี้ เป็นการเบลอเพื่อลดทอนขอบหลักหรือโครงสร้างหลักของภาพ ให้ไม่สามารถระบุตัวตนของบุคคลได้ แต่ยังคงรักษาความกลมกลืนเป็นธรรมชาติ ความมีมิติของภาพโดยรวมไว้

สำหรับเครื่องมือหรือโปรแกรมที่ช่วยในการเบลอหน้าที่นิยม ได้แก่ Adobe Photoshop [13] เป็นโปรแกรมที่สามารถปิดบังใบหน้าด้วยการเลือกตำแหน่ง รูปร่าง ขนาดพื้นที่ที่ต้องการเบลอ และสามารถเลือกตัวกรองภาพได้หลายประเภทและปรับระดับการกรองได้ตามความต้องการ สามารถแก้ไข ตกแต่งความเป็นธรรมชาติ นุ่มนวลอย่างละเอียดด้วยมือได้ (Manual), Facepixelizer [14] เป็นเว็บไซต์ที่สามารถตรวจจับใบหน้า (Face Detection) ภายในภาพและทำการปกปิดด้วยการขยายขนาดพิกเซล การเบลอภาพ การสวมหน้ากาก โดยปรับขนาดพิกเซลหรือระดับความเบลอหรือขนาดหน้ากากรูปแบบอัตโนมัติและแบบควบคุมโดยผู้ใช้งาน ซึ่งเครื่องมือช่วยในการเบลอหน้าเหล่านี้ แม้ว่าจะปรับระดับความเบลอที่ต้องการด้วยมือได้ หรือปรับให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมแบบอัตโนมัติได้ แต่หากไม่ได้รับการแก้ไขส่วนรายละเอียดย่อยภายในใบหน้าด้วยมือแล้ว ภาพผลลัพธ์ที่ได้ก็จะเป็นใบหน้าที่ระดับความเบลอเดียวกันทำให้ในใบหน้าขนาดใหญ่ที่ต้องถูกแสดงเป็นระยะเวลา ยาวนาน เช่น ภาพประกอบการรายงานข่าว ภาพการสัมภาษณ์บุคคล ขาดความมีมิติของภาพ และเนื่องด้วยใบหน้าบุคคลนั้นมีโครงสร้างต่าง ๆ เช่น ตา จมูก ปาก เป็นส่วนประกอบ ซึ่งโครงสร้างเหล่านี้ส่งผลต่อการจดจำอัตลักษณ์ของบุคคล งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการเบลอภาพใบหน้าขนาดใหญ่ด้วยการปรับระดับความเบลอของแต่ละส่วนประกอบบนใบหน้าแบบอัตโนมัติ เพื่อให้ใบหน้ามีความพร่ามัวมากพอที่ไม่สามารถระบุตัวตนได้ แต่ยังคงรักษาความมีมิติของภาพไว้

2) วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้พัฒนาการปกปิดใบหน้าขนาดใหญ่ของบุคคลอย่างเป็นธรรมชาติ ด้วยการเพิ่มมิติของภาพ โดยมีกระบวนการทำงานดังรูปที่ 1 กล่าวคือ ภาพอินพุตจะถูกนำไปคำนวณหาค่าระดับความเบลอมาก ปานกลาง และน้อย รวม 3 ระดับ ซึ่งมีค่าแปรผันตามขนาดของภาพดังสมการที่ 1 และมีความสัมพันธ์กันระหว่างแต่ละระดับความเบลอดังสมการที่ 2

$$\begin{aligned}
 & \text{ceil}(cL_{max}) \quad ; \text{ for } L_{max} > 1000 \\
 b_l &= \text{ceil}(1.5cL_{max}) ; \text{ for } 500 < L_{max} \leq 1000 \quad (1) \\
 & \text{ceil}(2cL_{max}) \quad ; \text{ for } L_{max} \leq 500
 \end{aligned}$$

$$\{b_m, b_s\} = \left\{ \frac{b_l}{3}, \frac{b_l}{2} \right\} \quad (2)$$

เมื่อ b_l, b_m, b_s คือ ค่าระดับความเบลอมาก ปานกลาง และน้อย ตามลำดับ

c คือ ค่าคงที่ (จากผลการทดลองเบื้องต้น มีค่าเท่ากับ 0.018)

L_{max} คือ ขนาดด้านที่ยาวที่สุดของภาพ

$\text{ceil}(\cdot)$ คือ การปัดเศษทศนิยมขึ้น ให้เป็นจำนวนเต็มทีมากกว่า

เมื่อได้ค่าระดับความเบลอตามขนาดภาพอินพุตแล้ว จึงทำการกรองภาพด้วยตัวกรองแบบเกาส์เซียน (Gaussian Filter) ด้วยเกาส์เซียนฟังก์ชันดังสมการที่ 3 โดยใช้ค่า σ เท่ากับ b_l, b_m, b_s ตามลำดับ

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

เมื่อ x คือ ระยะทางจากจุดกำเนิดในแนวแกนอน

y คือ ระยะทางจากจุดกำเนิดในแนวแกนตั้ง

σ หรือ sigma คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการแจกแจงเกาส์เซียน

จากนั้นจึงนำภาพที่ถูกเบลอในระดับมากและภาพอินพุตมาแปลงเป็นภาพระดับสีเทา(Grayscale Image) ด้วยผลรวมถ่วงน้ำหนักของส่วนประกอบสีแดง (R), สีเขียว (G) และสีน้ำเงิน (B) ดังสมการที่ 4 แล้วจึงทำการหาค่าความคล้ายคลึงของโครงสร้างภาพ (Structural Similarity; SSIM) ด้วยสมการที่ 5 [15] โดย

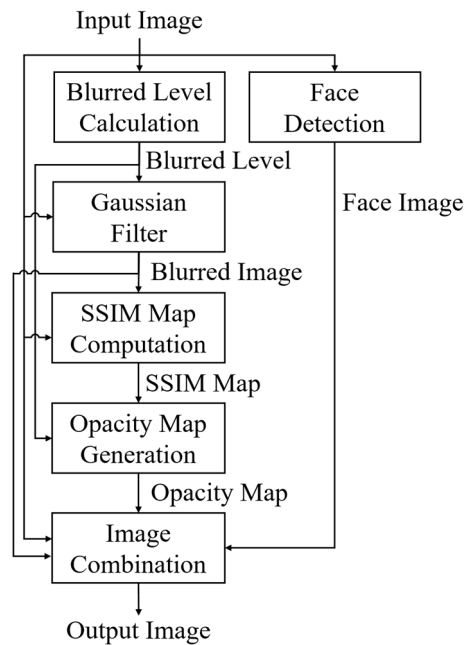
พิจารณาจากความสว่าง (Luminance) ความแตกต่างระหว่างความสว่างและความมืด (Contrast) และโครงสร้างรูปร่าง (Structure) ของภาพเพื่อแสดงส่วนที่เป็นโครงร่างรายละเอียดของภาพ สร้างเป็น SSIM Map สำหรับการประมวลผลระดับความเบลอที่เหมาะสมกับโครงสร้างภายในภาพ

$$\text{Grayscale} = 0.2989R + 0.5870G + 0.1140B \quad (4)$$

$$\text{SSIM}(I, B) = \frac{(2\mu_I\mu_B + C_1)(2\sigma_{IB} + C_2)}{(\mu_I^2 + \mu_B^2 + C_1)(\sigma_I^2 + \sigma_B^2 + C_2)} \quad (5)$$

โดย $\mu_I, \mu_B, \sigma_I, \sigma_B$ และ σ_{IB} คือ Local Means, Standard Deviations และ Cross-Covariance สำหรับภาพระดับสีเทา I (Input Image) และ B (Blurred Image)

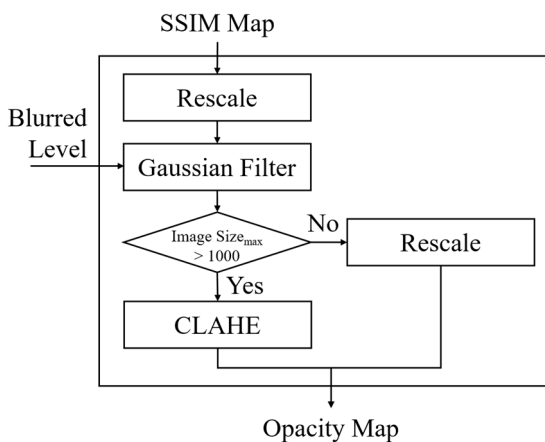
และ $C_1 = 0.01L^2, C_2 = 0.03L^2$ โดย L คือ ค่าช่วงไดนามิกของภาพอินพุต



รูปที่ 1 กระบวนการปกปิดใบหน้าขนาดใหญ่ของบุคคลอย่างเป็นธรรมชาติ

จากนั้น SSIM Map จะถูกประมวลผลตามขั้นตอนในรูปที่ 2 เพื่อสร้างแผนที่ความทึบแสง (Opacity Map) โดยในขั้นตอนแรก SSIM Map ซึ่งเป็นค่า SSIM ของแต่ละพิกเซล จะถูกปรับค่าให้อยู่ในช่วงมาตรฐาน 0 ถึง 1 แล้วจึงนำไปกรองด้วยตัวกรองแบบเกาส์เซียนด้วยค่า σ เท่ากับ b_m เพื่อสร้างความละมุนของ

รอยต่อระหว่างส่วนที่เป็นรายละเอียดภาพและส่วนที่ราบเรียบของภาพ โดยหากขนาดภาพด้านที่ยาวที่สุด มีค่ามากกว่า 1000 พิกเซล ซึ่งเป็นภาพที่มีขนาดใหญ่พอที่สามารถจัดจำรายละเอียดต่าง ๆ ได้ดี จึงจำเป็นต้องใช้ระดับความเบลอนอกในแต่ละส่วนที่เป็นรายละเอียดย่อยภายในภาพ ดังนั้นการปรับค่าหลังการเบลอภาพ จึงเลือกใช้วิธี Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) [16] เพื่อเพิ่ม Contrast ของภาพด้วยการปรับการกระจายตัวของฮิสโตแกรมให้มีความสม่ำเสมอในแต่ละบริเวณส่วนพื้นที่ย่อยภายในภาพ โดยมีการจำกัดค่า Contrast เพื่อหลีกเลี่ยงการขยายสัญญาณรบกวนที่อาจมีอยู่ในภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณพื้นที่ที่เป็นเนื้อเดียวกัน และทำการเชื่อมต่อผลลัพธ์ของพื้นที่ย่อยบริเวณใกล้เคียงกันด้วย Bilinear Interpolation เพื่อกำจัดขอบเทียมที่อาจเกิดขึ้น ในขณะที่ภาพที่มีขนาดของด้านที่ยาวที่สุด ไม่เกิน 1000 พิกเซล จะใช้วิธีการเพิ่ม Contrast ด้วยการปรับค่าให้อยู่ในช่วงมาตรฐาน 0 ถึง 1 ซึ่งผลจากการปรับ Contrast ของการเบลอโครงสร้างรายละเอียดภาพ จะได้ Opacity Map เพื่อใช้สำหรับการรวมภาพในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 2 กระบวนการสร้าง Opacity Map จากโครงสร้างรายละเอียดภาพ

สำหรับในขั้นตอนการรวมภาพ (Image Combination) นั้น จะรับภาพใบหน้าที่ได้จากการตรวจจับด้วย Haar Features ทำงานร่วมกับ Classification and Regression Tree Analysis (CART) และ Viola-Jones Algorithm [17], [18] ซึ่งขนาดของภาพใบหน้าที่ทั้งหมดที่ตรวจจับได้ จะใช้ในการควบคุมระดับความ

เบลอ ขนาดรูปร่างของการเบลอ และระยะการเปลี่ยนแปลงระหว่างส่วนใบหน้าที่เบลอกับส่วนพื้นหลังของภาพ ดังนี้

- ระดับความเบลอ

โดยหากขนาดความสูงของภาพใบหน้าที่ (H_f) ไม่เกิน 20% ของความสูงภาพ (H_{img}) หรือขนาดใบหน้าที่เล็กเมื่อเทียบกับขนาดภาพ จะเลือกใช้ภาพที่ระดับความเบลอน้อย (Img_{b_s}) ซึ่งเพียงพอต่อการทำให้ไม่สามารถระบุตัวตนได้ แต่หากภาพใบหน้าที่มีขนาดอยู่ในช่วง 20-40% ของความสูงภาพ จะเลือกใช้ภาพความเบลอที่เพิ่มขึ้นเป็นระดับปานกลาง (Img_{b_m}) แทน และเมื่อใบหน้าที่มีขนาดใหญ่มากกว่า 40% ของความสูงภาพ ระดับความเบลอที่เหมาะสมที่ช่วยเพิ่มมิติให้กับภาพ เกิดจากการรวมกันเชิงเส้นระหว่างภาพระดับความเบลอมาก (Img_{b_l}) กับภาพระดับความเบลอปานกลาง (Img_{b_m}) ด้วยแผนที่ความทึบแสง (Opacity Map) สรุปได้ดังสมการที่ 6 โดย Opacity Map จะมีค่าอยู่ในช่วงมาตรฐาน 0 - 1

$$\begin{aligned}
 &Img_{b_s} ; H_f \leq 0.2H_{img} \\
 &Img_b = Img_{b_m} ; 0.2H_{img} < H_f \leq 0.4H_{img} \quad (6) \\
 &(1 - Opacity)Img_{b_l} + (Opacity)Img_{b_m} \\
 & ; H_f > 0.4H_{img}
 \end{aligned}$$

- ขนาดรูปร่างของการเบลอ

เพื่อให้การปกปิดใบหน้าที่มีความเป็นธรรมชาติ รูปวงรีหรือวงกลมขนาดเท่ากับขนาดของใบหน้าที่ตรวจจับได้ ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับรูปร่างของใบหน้าที่ ถูกเลือกใช้ให้เป็นพื้นที่ส่วนของการเบลอภาพแทนรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ได้จากการตรวจจับใบหน้าที่แบบทั่วไป

- ระยะการเปลี่ยนแปลงระหว่างส่วนใบหน้าที่เบลอกับส่วนพื้นหลังของภาพ

เพื่อให้การเบลอภาพเฉพาะส่วนมีความกลมกลืนกับส่วนภาพปกติ กล่าวคือ ไม่ให้เห็นความแตกต่างบริเวณรอยต่อ จนมีลักษณะเป็นขอบชัดเจน จึงกำหนดให้มีระยะหรือความกว้างของรอยต่อขึ้น เพื่อไล่ระดับของการเปลี่ยนแปลงจากภาพเบลอเป็นภาพปกติ โดยมีขนาดความกว้างของรอยต่อ แปรผันตามขนาดภาพ คิดเป็น 10% ของความสูงของภาพใบหน้าที่

ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการตามรูปที่ 1 จะเป็นภาพที่บริเวณส่วนใบหน้าที่บุคคล ถูกเบลอด้วยระดับความเบลอที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับขนาดภาพ ขนาดใบหน้าที่และโครงสร้างที่

เป็นองค์ประกอบภายในหน้า เพื่อให้สามารถปิดบังลักษณะเฉพาะของบุคคล โดยยังคงรักษามิติของใบหน้าไว้ ซึ่งรูปร่างและขอบของพื้นที่ส่วนเบลอได้ถูกปรับให้มีความเป็นธรรมชาติกลมกลืนกับพื้นที่ส่วนปกติของภาพด้วย

3) ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากวิธีการเบลอภาพที่นำเสนอในรูปที่ 1 ได้ทำการทดลองกับภาพอินพุตและใบหน้าขนาดต่างๆ โดยผลลัพธ์ที่ได้ สามารถปรับระดับความเบลอของหน้าตามขนาดและรายละเอียดของใบหน้าได้อย่างอัตโนมัติ โดยรูปที่ 3 แสดงตัวอย่างภาพอินพุตขนาด 2320×3088 พิกเซล (กว้าง×สูง) ซึ่งจัดว่าเป็นภาพที่มีขนาดและใบหน้าใหญ่ โดยมีภาพที่ระดับความเบลอ (Img_{b_s}) ปานกลาง (Img_{b_m}) และมาก (Img_{b_l}) เรียงกันตามลำดับ จะเห็นว่า หากต้องการปกปิดใบหน้าจนไม่สามารถระบุตัวตนได้ จะต้องใช้ระดับความเบลอมาก เพื่อให้บริเวณส่วนที่ถูกจดจำลักษณะเฉพาะได้ง่าย เช่น ดวงตา เบลอมากเพียงพอ แต่ก็จะทำให้ส่วนอื่น ๆ พร่ามัวมากตามไปด้วย

รูปที่ 4 แสดง SSIM Map หลังการปรับค่าให้อยู่ในช่วงมาตรฐาน 0 ถึง 1 และภาพผลลัพธ์จากการนำไปกรองด้วยตัวกรองแบบเกาส์เซียน และการปรับค่า Contrast ตามลำดับ โดยจาก SSIM Map จะได้ส่วนที่เป็นรายละเอียดของภาพและของใบหน้าแสดงเป็นสีดำหรือสีโทนมเข้ม และเมื่อนำภาพไปทำให้ราบเรียบขึ้น (Image Smoothing) ด้วยตัวกรองแบบเกาส์เซียน ก็จะได้ภาพผลลัพธ์ที่มีความละมุนโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณช่วงการเปลี่ยนแปลงระหว่างสีดำและสีขาว ซึ่งจะช่วยให้การเปลี่ยนแปลงระดับความเบลอมีความเป็นธรรมชาติมากยิ่งขึ้น โดยภาพล่างของรูปที่ 4 เป็นผลของการเพิ่ม Contrast ด้วยวิธี CLAHE เพื่อเน้นส่วนภาพที่ต้องการเบลอมากให้มีความชัดเจนยิ่งขึ้น และยังคงมีความละมุนในการไล่ระดับบริเวณขอบ มุมต่างๆ ของภาพ ซึ่งจะถูกใช้เป็น Opacity Map เพื่อการรวมภาพในลำดับถัดไป



ภาพอินพุต

เบลอเล็กน้อย



เบลอปานกลาง

เบลอมาก

รูปที่ 3 ตัวอย่างภาพอินพุตและภาพระดับความเบลอต่าง ๆ



SSIM Map

Gaussian Blur of SSIM Map



Opacity Map

รูปที่ 4 SSIM Map, Gaussian Blur และ Opacity Map ของภาพระดับความเบลอมากในรูปที่ 3

รูปที่ 5 แสดงผลการรวมภาพโดยใช้ข้อมูลจากการตรวจจับใบหน้า เพื่อกำหนดพื้นที่การเบลอภาพและการไล่ระดับระหว่างส่วนพื้นที่เบลอกับส่วนปกติของภาพ โดยเปรียบเทียบการรวมกันของภาพเบลอระดับปานกลาง (ภาพซ้าย) ภาพเบลอระดับมาก (ภาพขวา) และการผสมผสานความเบลอของภาพทั้งสองระดับด้วย Opacity Map (ภาพล่าง) ซึ่งพบว่า ภาพล่างสามารถเห็นส่วนประกอบภายในใบหน้า เช่น ตา จมูก ปาก ได้ชัดเจน มีมิติกว่าภาพขวา (เบลอมาก) แต่ภายในส่วนประกอบต่าง ๆ เหล่านี้มีความเบลอมากจนไม่สามารถเห็นรายละเอียดได้ชัด ดังเช่นภาพซ้ายที่เบลอในระดับปานกลาง จึงเป็นการเพิ่มมิติให้กับใบหน้าด้วยระดับความเบลอที่ต่างกันโดยใช้โครงสร้างตามธรรมชาติภายในภาพ เพื่อสร้างจุดเน้นของความพรั่มัวในองค์ประกอบที่ง่ายต่อการจดจำ ทั้งนี้สามารถดูภาพขนาดต้นฉบับได้ที่ลิงค์ <https://bit.ly/3cry03e>



ใบหน้าเบลอปานกลาง

ใบหน้าเบลอมาก



ใบหน้าเบลอด้วย Opacity Map

รูปที่ 5 ผลการรวมภาพสำหรับใบหน้าเบลอระดับปานกลาง มาก และด้วยวิธีที่นำเสนอ

รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการเบลอใบหน้าด้วยพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ได้จากการตรวจจับใบหน้าแบบทั่วไป

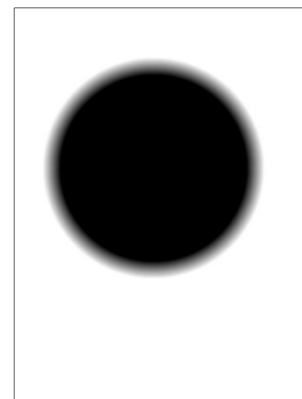
(ภาพซ้าย) กับพื้นที่วงกลม (ภาพขวา) โดยพบว่าพื้นที่วงกลมมีความเป็นธรรมชาติเข้ากับใบหน้ามากกว่า และเมื่อเพิ่มการไล่ระดับการเปลี่ยนแปลงความเบลอตามขนาดใบหน้าดังรูปที่ 7 (บริเวณขอบวงกลมสีดำเป็นภาพเบลอ ไล่ระดับไปยังสีขาวเป็นภาพปกติ) ก็จะได้ภาพผลลัพธ์ที่มีความกลมกลืนกับส่วนพื้นหลัง ดังแสดงในภาพล่างของรูปที่ 5 หรือเปรียบเทียบภาพต้นฉบับได้ที่ลิงค์ <https://bit.ly/3kN67W8>



พื้นที่เบลอสี่เหลี่ยมจัตุรัส

พื้นที่เบลอวงกลม

รูปที่ 6 การเบลอใบหน้าด้วยพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสและวงกลม



รูปที่ 7 การไล่ระดับการเปลี่ยนแปลงความเบลอบริเวณขอบวงกลม

ซึ่งได้ทำการทดลองเบลอใบหน้าของภาพจากฐานข้อมูลภาพ USC-SIPI (University of Southern California-Signal and Image Processing Institute) [19] และฐานข้อมูลภาพใบหน้า Labeled Faces in the Wild ของ University of Massachusetts, Amherst [20] รวมถึงภาพถ่ายบุคคลทั่วไปที่ถ่ายขึ้นใหม่และภาพจากผู้ใช้บริการภาพถ่าย Shutterstock [21] โดยรูปที่ 8 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์ของภาพขนาด 3888x2592 และ 509x584 พิกเซล (กว้างxสูง) เปรียบเทียบ

ระหว่างการเบลอบใบหน้าด้วย Facepixelizer [14] (เครื่องมือที่มีฟังก์ชันการค้นหาใบหน้าและการเบลอภาพแบบอัตโนมัติ) กับการเบลอบใบหน้าในระดับมากและการเบลอโดยใช้ Opacity Map ซึ่งจากค่า SSIM เฉลี่ยของภาพ ($SSIM_{avg}$) พบว่า ภาพใบหน้าเบลอโดยวิธีที่นำเสนอมีค่า SSIM เฉลี่ยสูงกว่าภาพใบหน้าที่เบลอในระดับมากและภาพใบหน้าที่เบลอด้วย Facepixelizer หรือเรียกว่ามีความใกล้เคียงกับภาพอินพุตมากกว่า (ยิ่งเข้าใกล้ค่าสูงสุด 1 ยิ่งมีความใกล้เคียงกับภาพอินพุต) ซึ่งสอดคล้องกับผลลัพธ์ทางสายตาที่ Opacity Map ช่วยเพิ่มมิติให้กับองค์ประกอบภายในของใบหน้าเบลอขนาดใหญ่ในการปกปิดอัตลักษณ์บุคคล

ภาพขนาด 3888x2592 พิกเซล



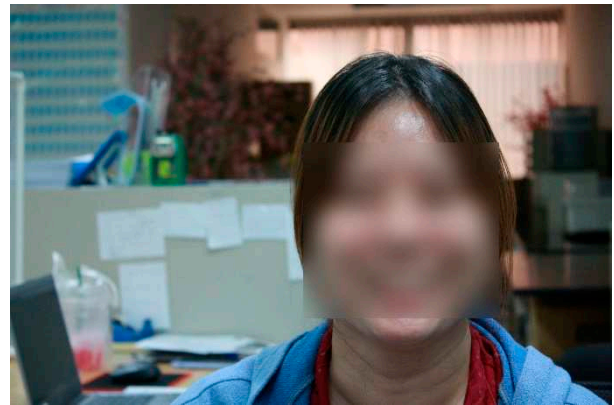
ภาพใบหน้าเบลอด้วย Facepixelizer ($SSIM_{avg} = 0.9238$)



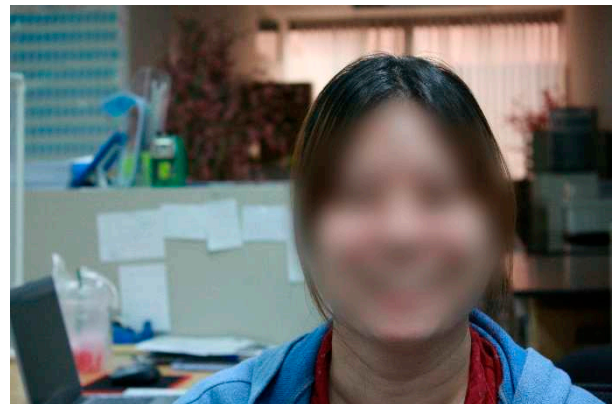
ภาพใบหน้าเบลอระดับมาก ($SSIM_{avg} = 0.9632$)



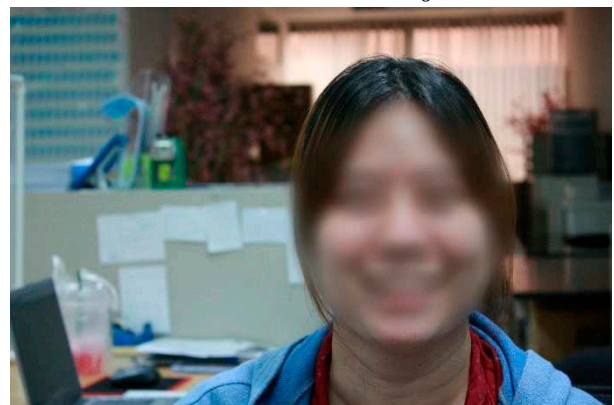
ภาพใบหน้าเบลอด้วยวิธีที่นำเสนอ ($SSIM_{avg} = 0.9659$)



ภาพใบหน้าเบลอด้วย Facepixelizer ($SSIM_{avg} = 0.9305$)



ภาพใบหน้าเบลอระดับมาก ($SSIM_{avg} = 0.9641$)



ภาพใบหน้าเบลอด้วยวิธีที่นำเสนอ ($SSIM_{avg} = 0.9661$)

ภาพขนาด 509×584 พิกเซล



ภาพใบหน้าเบลด้วย Facepixelizer ($SSIM_{avg} = 0.9402$)



ภาพใบหน้าเบลระดับมาก ($SSIM_{avg} = 0.9393$)



ภาพใบหน้าเบลด้วยวิธีที่นำเสนอ ($SSIM_{avg} = 0.9475$)

รูปที่ 8 ตัวอย่างภาพใบหน้าขนาดใหญ่เบลด้วย Facepixelizer และการเบลระดับมากกับการเบลด้วยวิธีที่นำเสนอ และค่า $SSIM_{avg}$

ซึ่งวิธีการเบลภาพที่นำเสนอนี้มุ่งเน้นการแก้ไขปัญหาการเบลภาพใบหน้าขนาดใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาพอินพุตที่มีขนาดใหญ่ เพื่อเพิ่มมิติให้กับใบหน้าและมีความเป็นธรรมชาติมากยิ่งขึ้น นอกจากนั้นสำหรับใบหน้าขนาดกลางและเล็ก ก็สามารถถูกเบลในระดับที่เหมาะสมอย่างอัตโนมัติเพื่อปกปิดใบหน้าได้เช่นกัน ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 9

ใบหน้าขนาดกลาง



ภาพขนาด 3888×2592 พิกเซล



ภาพขนาด 3024×4032 พิกเซล



ภาพขนาด 120×160 พิกเซล

ใบหน้าขนาดเล็ก



ภาพขนาด 3888×2592 พิกเซล

รูปที่ 9 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์การเบลใบหน้าขนาดกลางและเล็ก

4) สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีเบลภาพใบหน้าขนาดใหญ่ด้วยการประยุกต์ใช้ค่าความคล้ายคลึงของโครงสร้างภาพ (SSIM) มาช่วยในการปรับระดับความเบลที่เหมาะสมกับโครงสร้างองค์ประกอบภายในใบหน้า เพื่อเพิ่มมิติ ความเป็นธรรมชาติ

ให้กับภาพ ซึ่งวิธีการที่นำเสนอจะทำการตรวจจับใบหน้าและปรับระดับความเบลอลงอย่างอัตโนมัติตามขนาดภาพ ขนาดใบหน้าองค์ประกอบของหน้า และปรับรูปร่างพื้นที่ส่วนเบลอ ร่วมกับการไล่ระดับของส่วนภาพเบลอกับส่วนภาพปกติตามขนาดของใบหน้า เพื่อสร้างความกลมกลืนกับพื้นหลังของภาพ ซึ่งผลของการวิจัยนอกจากจะช่วยเพิ่มความเป็นธรรมชาติในการปกปิดใบหน้าขนาดใหญ่ที่อาจถูกแสดงในสื่อดิจิทัลต่าง ๆ เพื่อปกป้องสิทธิส่วนบุคคลแล้ว ยังสามารถใช้ในธุรกิจโฆษณาการจัดหาคู่แข่งเพื่อเบลอใบหน้าคู่แข่งที่น่าสนใจอย่างมีศิลปะก่อนการสมัครเข้าเป็นสมาชิก หรือนำไปต่อยอดร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) เพื่อการเซ็นเซอร์ (Censor) บริเวณส่วนภาพที่ไม่ต้องการ เช่น ป้ายโฆษณาสินค้า หน้าจอโทรศัพท์มือถือ สถานที่ เครื่องดื่ม แอลกอฮอล์ อารู การกระทำที่มีความรุนแรงหรือไม่เหมาะสม ได้อย่างเป็นธรรมชาติมากยิ่งขึ้นอีกด้วย

REFERENCES

- [1] M. Gawron and U. Boryczka, "Heterogeneous fog generated with the effect of light scattering and blur," *JACS*, vol. 26, no. 2, pp. 31-44, Oct. 2019.
- [2] G. Mather, "The use of image blur as a depth cue," *Perception*, vol. 26, no. 9, pp. 1147-1158, Sep. 1997.
- [3] J. D. Pfautz, "Depth perception in computer graphics," Computer Laboratory, University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom, Tech. Rep. UCAM-CL-TR-546, Sep. 2002.
- [4] S. A. Cholewiak, G. D. Love, and M. S. Banks, "Creating correct blur and its effect on accommodation," *Journal of Vision*, vol. 18, no. 9, pp. 1-29, Sep. 2018.
- [5] B. Ham, M. Cho, and J. Ponce, "Robust guided image filtering using nonconvex potentials," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 40, no. 1, pp. 291-207, Jan. 2018, doi: 10.1109/TPAMI.2017.2669034.
- [6] L. Bao, Y. Song, Q. Yang, H. Yuan, and G. Wang, "Tree filtering: Efficient structure-preserving smoothing with a minimum spanning tree," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 23, no. 2, pp. 555-569, Feb. 2014, doi: 10.1109/TIP.2013.2291328.
- [7] Q. Liu, B. Xiong, and M. Zhang, "Adaptive sparse norm and nonlocal total variation methods for image smoothing," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2014, Dec. 2014, Art. no. 426125, doi: 10.1155/2014/426125.
- [8] F. Zhu, Z. Liang, X. Jia, L. Zhang, and Y. Yu, "A benchmark for edge-preserving image smoothing," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 28, no. 7, pp. 3556-3570, Jul. 2019, doi: 10.1109/TIP.2019.2908778.
- [9] Z. A. Liu, Y. K. Hou, X. T. Zhen, J. Xu, L. Shao, and M. M. Cheng. (2020). Pixel-level non-local image smoothing with objective evaluation [Online]. Available: <https://csjunxu.github.io/paper/PNLS.pdf>
- [10] L. Xu, C. Lu, Y. Xu, and J. Jia, "Image smoothing via L_0 gradient minimization," *ACM Transactions on Graphics*, vol. 30, no. 6, Dec. 2011, Art. no. 174, doi: 10.1145/2024156.2024208.
- [11] X. Pang, S. Zhang, J. Gu, L. Li, B. Liu, and H. Wang, "Improved L_0 gradient minimization with L_1 fidelity for image smoothing," *Plos One*, vol. 10, no. 9, Sep. 2015, doi: 10.1371/journal.pone.0138682.
- [12] S. Velusamy, R. Parihar, R. Kini, and A. Rege, "FabSoften: Face beautification via dynamic skin smoothing, guided feathering, and texture restoration," in *Proc. 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, Seattle, WA, USA, 2020, pp. 2248-2256, doi: 10.1109/CVPRW50498.2020.00273.
- [13] Adobe. "Adobe Photoshop." ADOBE.com. <https://www.adobe.com/products/photoshop.html> (accessed Sep. 26, 2020).
- [14] Rubber Duck Labs Inc. "Privacy image editor & anonymizer with face detection." FACEPIXELIZER.com. <https://www.facepixelizer.com> (accessed Sep. 26, 2020).
- [15] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli, "Image quality assessment: From error visibility to structural similarity," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 13, no. 4, pp. 600-612, Apr. 2004, doi: 10.1109/TIP.2003.819861.
- [16] K. Zuiderveld, "Contrast limited adaptive histogram equalization," in *Graphic Gems IV*. San Diego, CA, USA: Academic Press Professional, 1994, pp. 474-485.



- [17] R. Lienhart, A. Kuranov, and V. Pisarevsky “Empirical analysis of detection cascades of boosted classifiers for rapid object detection,” in *Proc. of the 25th DAGM Symposium on Pattern Recognition*, Magdeburg, Germany, Sep. 2003, pp. 297-304.
- [18] P. Viola and M. Jones, “Robust real-time object detection,” *International Journal of Computer Vision*, vol. 57, pp. 137-154, May 2004.
- [19] *USC-SIPi image database*, University of Southern California, Nov. 2020. [Online]. Available: <http://sipi.usc.edu/database>
- [20] *Labeled faces in the wild*, University of Massachusetts, Amherst, Nov. 2020. [Online]. Available: <http://vis-www.cs.umass.edu/lfw>
- [21] Shutterstock, Inc., “Stock images,” SHUTTERSTOCK.com. <https://www.shutterstock.com/images> (accessed Nov. 1, 2020).