

ขั้นตอนวิธีเชิงตัวเลขชนิดใหม่สำหรับการต่อเติมภาพที่ใช้การแปรผันรวมกับการประยุกต์
สำหรับซ่อมแซมภาพจิตรกรรมไทยโบราณและการลบซับไตเติลจากอนิเมะ

A new numerical algorithm for TV-based image inpainting with its applications
for restoring ancient Thai painting images and removing subtitles from animes

ภาคพล พงษ์ทวี

ภาควิชาคณิตศาสตร์
มหาวิทยาลัยศิลปากร

การนำเสนอโครงร่างโครงงานวิจัย
5 ตุลาคม 2561



รูปที่ 1: กล้องถ่ายภาพดิจิทัล สำหรับนำเข้าภาพดิจิทัล¹

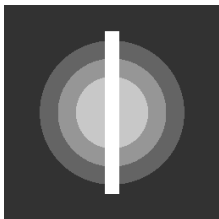
¹ ภาพจาก https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Canon_EOS_60D_01.jpg สืบค้นเมื่อวันที่ 25 กันยายน 2561



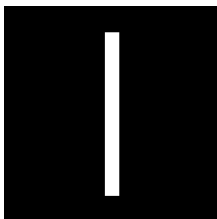
รูปที่ 2: เปรียบเทียบภาพ ก่อน/หลัง การประมวลผล²

² ภาพจาก [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Before_and_after_HDR_\(6747894381\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Before_and_after_HDR_(6747894381).jpg) สืบค้นเมื่อวันที่ 25 กันยายน 2561

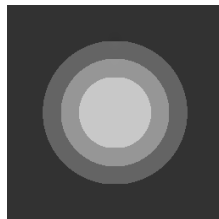
การต่อเติมภาพ (Image Inpainting)



(a) ภาพที่ต้องการซ่อมแซม



(b) โดเมนต่อเติม



(c) ภาพที่ได้รับการซ่อมแซม

รูปที่ 3: ตัวอย่างการซ่อมแซมภาพ

การประยุกต์ใช้การต่อเติมภาพในปัจจุบัน



รูปที่ 4: เปรียบเทียบภาพ ก่อน/หลัง การใช้แอปพลิเคชัน snapseed

การซ่อมแซมภาพจิตรกรรมไทยโบราณ



รูปที่ 5: ภาพจิตรกรรมไทยที่วัดภูมินทร์ อำเภอเมือง จังหวัดน่าน³

³ ภาพถ่ายที่วัดภูมินทร์ อำเภอเมือง จังหวัดน่าน; ภาพจาก

<http://topicstock.pantip.com/camera/topicstock/2009/02/07514399/07514399.html> สืบค้นเมื่อวันที่ 23 กันยายน 2561

ความท้าทายในการซ่อมแซมภาพจิตรกรรมไทยโบราณ

- (1) ความสามารถของช่างฝีมือที่เปลี่ยนไปตามยุคสมัย
- (2) ไม่มีภาพต้นฉบับสำหรับเปรียบเทียบผลลัพธ์เพื่อใช้ซ่อมแซม



รูปที่ 6: เฟรมของอนิเมะที่มีบทบรรยายแบบแข็ง⁴

⁴ ภาพจาก <https://www.samehadaku.tv/2018/07/grand-blue-episode-1-subtitle-indonesia.html> สืบค้นเมื่อวันที่ 23 กันยายน 2561

ความท้าทายในการลบบทบรรยายออกจากอนิเมะ

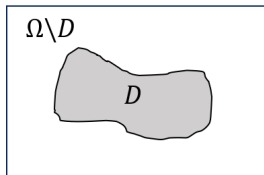
- (1) อนิเมะเป็นวิดีโอซึ่งแสดงผลประมาณ 24 เฟรม(ภาพ)ต่อวินาที
- (2) แต่ละเฟรมอาจมีหรืออาจไม่มีบทบรรยายก็ได้
- (3) แต่ละเฟรมอาจมีหรืออาจไม่มีบทบรรยายเดียวกันก็ได้
- (4) แต่ละเฟรมเป็นการแสดงผลภาพสีที่มีระดับความคมชัดสูง (high definition) ขนาดมากถึง 1920×1080 พิกเซล

การสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์

- การต่อเติมสำหรับภาพเงดเทา
- การต่อเติมสำหรับภาพสี

ภาพเฉดเทา

- โดเมนภาพ (image domain) $\Omega \subset \mathbb{R}^2$
- โดเมนต่อเติม (inpainting domain) $D \subset \mathbb{R}^2$
- พิกัดทางกายภาพ (physical position) $\mathbf{x} = (x, y) \in \Omega$
- ระดับความเข้มของภาพ (image intensity) $V \subset [0, \infty)$
- ภาพเฉดเทา (grayscale image) $u : \Omega \rightarrow V, z : \Omega \rightarrow V$
- โดยไม่เสียหลักการสำคัญ $\Omega = [1, n]^2$ และ $V = [0, 1]$ เมื่อ $n > 0$ เป็นจำนวนเต็มบวก



รูปที่ 7: D แทนโดเมนต่อเติม

ตัวแบบการต่อเติมภาพเงดสีเทาที่ใช้การแปรผันรวม

$$\min_u \{ \mathcal{J}(u) = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \lambda(u - z)^2 d\Omega + \int_{\Omega} |\nabla u| d\Omega \}$$

$$\lambda = \lambda(\mathbf{x}) = \begin{cases} \lambda_0, & x \in \Omega \setminus D \\ 0, & x \in D \end{cases}$$

ตัวแบบการต่อเติมภาพเงดสีเทาที่ใช้การแปรผันรวม (ต่อ)

$$\min_u \{ \mathcal{J}(u) = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \lambda(u - z)^2 d\Omega + \int_{\Omega} |\nabla u| d\Omega \}$$



$$\begin{cases} -\nabla \cdot \left(\frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right) + \lambda(u - z) = 0, & \mathbf{x} \in (1, n)^2 \\ \frac{\partial u}{\partial n} = 0, & x \in \partial\Omega \end{cases}$$

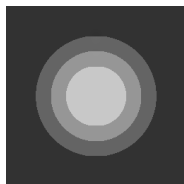
การเดินเวลาแบบชัดแจ้ง (explicit time marching)

$$u(\mathbf{x}, t_{k+1}) = u(\mathbf{x}, t_k) + \tau \left(\nabla \cdot \left(\frac{\nabla u(\mathbf{x}, t_k)}{|\nabla u(\mathbf{x}, t_k)|} \right) + \lambda(\mathbf{x})(u(\mathbf{x}, t_k) - z(\mathbf{x})) \right)$$

$$u(\mathbf{x}, t_0) = z \quad t_k = t_0 + k\tau \quad (\tau > 0) \quad t_0 = 0$$

การทำซ้ำแบบจุดตรึง (fixed-point iteration)

$$-\nabla \cdot \left(\frac{\nabla u^{[\nu+1]}}{|\nabla u|^{[\nu]}} \right) + \lambda(u^{[\nu+1]} - z) = 0, \quad u^{[0]} = z$$



รูปที่ 8: ตัวอย่างภาพที่เกิดปัญหาเชิงตัวเลข

$$\frac{1}{|\nabla u|} = \frac{1}{\sqrt{u_x^2 + u_y^2}} \rightarrow \infty$$

$$|\nabla u| \approx |\nabla u|_\beta = \sqrt{u_x^2 + u_y^2 + \beta}, \quad 0 < \beta \ll 1$$

วิธีการสปริทเบรกแมน (Split Bregman method)

$$\min_{u,w} \{ \mathcal{J}(u, w) = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \lambda(u - z)^2 d\Omega + \int_{\Omega} |\nabla w| d\Omega + \frac{\theta}{2} \int_{\Omega} (w - \nabla u + \mathbf{b}) d\Omega \}$$

T. Goldstein and S. Osher, "The Split Bregman Method for L1-Regularized Problems", SIAM Journal on Imaging Sciences. vol. 2, issue 2, pp. 323-343, 2009.

วิธีการสปริทเบรกแมน (ต่อ)

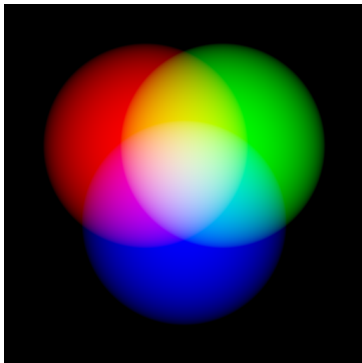
$$\min_{u,w} \{ \mathcal{J}(u,w) = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \lambda(u-z)^2 d\Omega + \int_{\Omega} |\nabla w| d\Omega + \frac{\theta}{2} \int_{\Omega} (w - \nabla u + \mathbf{b}) d\Omega \}$$



$$u^{\text{New}} = \arg \min_u \{ \mathcal{J}_1(u) = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \lambda(u-z)^2 d\Omega + \frac{\theta}{2} \int_{\Omega} (w^{\text{old}} - \nabla u + \mathbf{b}^{\text{old}}) d\Omega \}$$

$$w^{\text{New}} = \arg \min_w \{ \mathcal{J}_2(w) = \int_{\Omega} |\nabla w| d\Omega + \frac{\theta}{2} \int_{\Omega} (w - \nabla u^{\text{New}} + \mathbf{b}^{\text{old}}) d\Omega \}$$

$$\mathbf{b}^{\text{New}} = \mathbf{b}^{\text{old}} + \nabla u^{\text{New}} - w^{\text{New}}$$



รูปที่ 9: ภาพสีเกิดจากการผสมกันระหว่างสี แดง เขียว และน้ำเงิน⁵

⁵ ภาพจาก https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Additive_RGB_Circles+48bpp.png สืบค้นเมื่อวันที่ 25 กันยายน 2561

วิธีการสปริทเบรกแมนสำหรับภาพสี

$$u, z : \Omega \rightarrow V$$



$$u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix}, z = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix} : \Omega \rightarrow V^3$$

วิธีการสปริทเบรกแมนสำหรับภาพสี (ต่อ)

$$\min_u \{ \mathcal{J}(u) = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \lambda(u - z)^2 d\Omega + \int_{\Omega} |\nabla u| d\Omega \}$$



$$\min_u \{ \mathcal{J}(u) = \sum_{l=1}^3 \left(\frac{1}{2} \int_{\Omega} \lambda(u_l - z_l)^2 d\Omega + \int_{\Omega} |\nabla u_l| d\Omega \right) \}$$

วิธีการสปริทเบรกแมนสำหรับภาพสี (ต่อ)

$$\min_{u,w} \{ \mathcal{J}(u,w) = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \lambda(u-z)^2 d\Omega + \int_{\Omega} |\nabla w| d\Omega + \frac{\theta}{2} \int_{\Omega} (w - \nabla u + b) d\Omega \}$$



$$\begin{aligned} \min_{u,w_1,w_2,w_3} \{ \mathcal{J}(u,w_1,w_2,w_3) = & \sum_{l=1}^3 \left(\frac{1}{2} \int_{\Omega} \lambda(u_l - z_l)^2 d\Omega + \int_{\Omega} |\nabla w_l| d\Omega \right. \\ & \left. + \frac{\theta}{2} \int_{\Omega} (w_l - \nabla u_l + b_l) d\Omega \right) \} \end{aligned}$$

- ศึกษาวิธีการแปรผันและขั้นตอนวิธีการเชิงตัวเลขสำหรับปัญหาการต่อเติมภาพเฉดสีเทาและภาพสีในระบบ RGB
- พัฒนาขั้นตอนวิธีการต่อเติมภาพชนิดใหม่สำหรับซ่อมแซมภาพจิตรกรรมไทยและลบบทบรรยายออกจากอนิเมะ
- นำขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในการซ่อมแซมภาพจิตรกรรมไทยและลบบทบรรยายในอนิเมะ

- ภาพจิตรกรรมไทยที่ใช้นำมาศึกษาและทดลองเป็นภาพจิตรกรรมไทยที่ได้มาอย่างถูกต้อง
- วิดีโอที่ใช้ศึกษาเป็นวิดีโอประเภทอนิเมะที่ได้มาอย่างถูกต้อง โดยศึกษากับไฟล์อนิเมะที่ใช้ปริภูมิสีแบบ RGB เท่านั้น
- บทบรรยายที่ใช้ทดสอบ จะถูกล้อมรอบไว้ด้วยสีดำ ขนาดความหนาขนาดไม่น้อยกว่า 5 พิกเซล
- วิดีโอที่ใช้ศึกษาขนาดไม่เกิน 1920×1080 พิกเซล
- คอมพิวเตอร์ที่ใช้ทดลองใช้หน่วยประมวลผล I7-6700HQ ใช้การ์ดจอ Nvidia GTX 960M แรม 16GB ฮาร์ดดิสก์แบบ SSD หรือดีกว่า
- คุณภาพของการซ่อมแซมภาพภาพและวิดีโอจะตรวจวัดโดยค่า PSNR SSIM RMSE
- พารามิเตอร์เร็กคิวลาร์ไรซ์เซชัน λ จะใช้แบบตรึงค่า การพัฒนาขั้นตอนวิธีเชิงอัตโนมัติเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของ λ ไม่อยู่ในขอบเขตการศึกษา

วิธีการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน	เดือนที่											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ศึกษาตัวแบบและขั้นตอนวิธีการต่อเติมภาพที่ใช้การแปรผันรวมในเชิงลึก	x	x										
พัฒนาขั้นตอนวิธีสำหรับการต่อเติมภาพที่ใช้การแปรผันรวมชนิดใหม่			x	x	x	x						
ทดสอบขั้นตอนวิธีการต่อเติมภาพที่พัฒนาขึ้นโดยโปรแกรม-คอมพิวเตอร์บนภาพสังเคราะห์และภาพจริง				x	x	x						
อภิปรายผลที่ได้จากการทดลองเชิงตัวเลข						x	x	x				
สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและจัดทำรูปเล่มฉบับสมบูรณ์									x	x	x	x

ขอขอบคุณ