

ขั้นตอนวิธีเชิงตัวเลขชนิดใหม่สำหรับการต่อเติมภาพที่ใช้การแปรผันรวมกับการประยุกต์
สำหรับซ่อมแซมภาพจิตรกรรมไทยโบราณและการลบบทบรรยายจากอนิเมะ

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



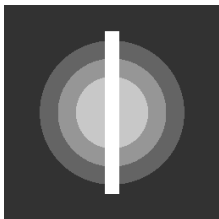
รูปที่ 1: กล้องถ่ายภาพดิจิทัล สำหรับนำเข้าภาพดิจิทัล¹

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

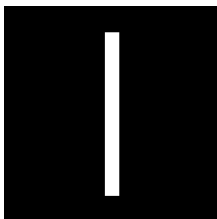


รูปที่ 2: เปรียบเทียบภาพ ก่อน/หลัง การประมวลผล²

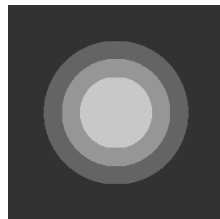
² ภาพจาก [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Before_and_after_HDR_\(6747894381\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Before_and_after_HDR_(6747894381).jpg) สืบค้นเมื่อวันที่ 25 กันยายน 2561



(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



รูปที่ 6: เฟรมของอนิเมะที่มีบทบรรยายแบบแข็ง⁴

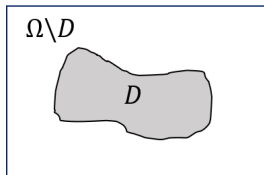
⁴ ภาพจาก <https://www.samehadaku.tv/2018/07/grand-blue-episode-1-subtitle-indonesia.html> สืบค้นเมื่อวันที่ 23 กันยายน 2561

ความท้าทายในการลบบทบรรยายออกจากอนิเมะ

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

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

ตัวแบบการต่อเติมภาพเขตสีเทาที่ใช้การแปรผันรวม

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

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

ตัวแบบการต่อเติมภาพเวคสีเทาที่ใช้การแปรผันรวม (ต่อ)

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

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)

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

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

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

วิธีการสปริทเบรกแมน (Split Bregman method)

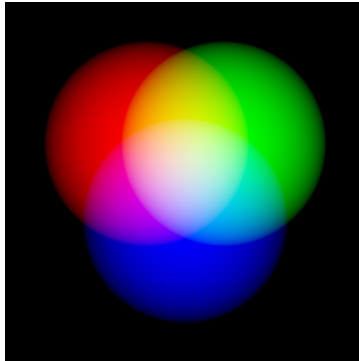
$$\min_{u,w} \{ \mathcal{J}(u,w) = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \lambda(u - z)^2 d\Omega + \int_{\Omega} |\nabla w| d\Omega + \frac{\theta}{2} \int_{\Omega} (w - \nabla u + b) d\Omega \}$$

วิธีการสปริทเบรกแมน (ต่อ)

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

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

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



รูปที่ 8: ภาพสีเกิดจากการผสมกันระหว่างสี แดง เขียว และน้ำเงิน⁵

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

วิธีการสปริทเบรกแมนสำหรับภาพสี

$$u = (u_1, u_2, u_3)^T, z = (z_1, z_2, z_3)^T : \Omega \rightarrow V^3$$

เมื่อ $u_1, u_2, u_3 : \Omega \rightarrow V$ และ $z_1, z_2, z_3 : \Omega \rightarrow V$ แทนภาพในเฉดสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินของ u, z ตามลำดับ

วิธีการสปริทเบรกแมนสำหรับภาพสี (ต่อ)

$$\min_u \{ \bar{\mathcal{J}}(u) = \bar{\mathcal{D}}(u, z) + \bar{\mathcal{R}}(u) \}$$

$$\bar{\mathcal{D}}(u, z) = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \lambda(u_1 - z_1)^2 d\Omega + \frac{1}{2} \int_{\Omega} \lambda(u_2 - z_2)^2 d\Omega + \frac{1}{2} \int_{\Omega} \lambda(u_3 - z_3)^2 d\Omega$$

$$\bar{\mathcal{R}}(u) = \int_{\Omega} |\nabla u_1| d\Omega + \int_{\Omega} |\nabla u_2| d\Omega + \int_{\Omega} |\nabla u_3| d\Omega$$

วิธีการสปริทเบรกแมนสำหรับภาพสี (ต่อ)

$$\begin{aligned} \min_{u, w_1, w_2, w_3} \{ \bar{\mathcal{J}}(u, w_1, w_2, w_3) = & \bar{\mathcal{D}}(u, z) + \sum_{l=1}^3 \int_{\Omega} |w_l| d\Omega \\ & + \frac{\theta_l}{2} \sum_{l=1}^3 \int_{\Omega} (w_l - \nabla u_l - b_l)^2 d\Omega \}, \quad \theta_l > 0 \end{aligned}$$

- ศึกษาวิธีการแปรผันและขั้นตอนวิธีการเชิงตัวเลขสำหรับปัญหาการต่อเติมภาพเฉดสีเทาและภาพสีในระบบ RGB
- พัฒนาขั้นตอนวิธีการต่อเติมภาพชนิดใหม่สำหรับซ่อมแซมภาพจิตรกรรมไทยและลบบทบรรยายออกจากอนิเมะ
- นำขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในการซ่อมแซมภาพจิตรกรรมไทยและลบบทบรรยายในอนิเมะ

- ภาพจิตรกรรมไทยที่นำมาศึกษาและทดลองเป็นภาพจิตรกรรมไทยที่ได้มาอย่างถูกต้อง
- 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-				x	x	x						
คอมพิวเตอร์บนภาพสังเคราะห์และภาพจริง												
อภิปรายผลที่ได้จากการทดลองเชิงตัวเลข						x	x	x				
สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและจัดทำรูปเล่มฉบับสมบูรณ์									x	x	x	x

ขอขอบคุณ