

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

ภัคพล พงษ์ทวี

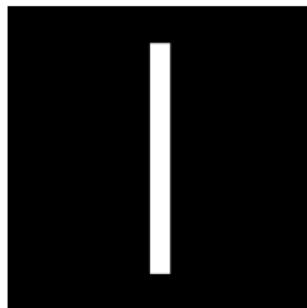
ภาควิชาคณิตศาสตร์
มหาวิทยาลัยศิลปากร

การนำเสนอความก้าวหน้าโครงงานวิจัย ครั้งที่ 2
9 เมษายน 2562

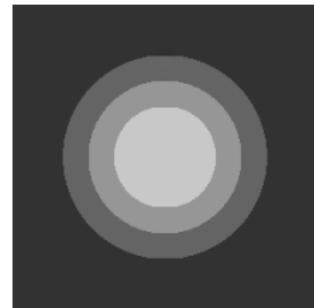
การต่อเติมภาพ (Image Inpainting)



(a) ภาพที่ต้องการซ่อมแซม



(b) โฉมหนต่อเติม

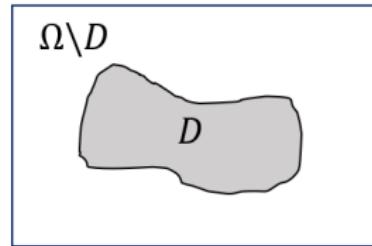


(c) ภาพที่ได้รับการซ่อมแซม

รูปที่ 1: ตัวอย่างการซ่อมแซมภาพ

ภาพฉาดเทา

- 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) $V \subset [0, \infty)$
- ภาพฉาดเทา (grayscale image) $u : \Omega \rightarrow V$, $z : \Omega \rightarrow V$
- โดยไม่เสียหลักการสำคัญ $\Omega = [1, n]^2$ และ $V = [0, 1]$ เมื่อ $n > 0$ เป็นจำนวนเต็มบวก



รูปที่ 2: D แทนโดเมนต่อเติม

ตัวแบบการต่อเติมภาพเขตสีเทาที่ใช้การแปรผันรวม

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

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

T.F. Chan and J. Shen , "Mathematical models of local non-texture inpaintings", SIAM Journal on Applied Mathematics, vol. 62, no. 3, pp. 1019–1043, 2001.

วิธีการเชิงตัวเลขสำหรับการกำจัดสัญญาณรบกวน

- (1) การเดินเวลาแบบชั้ดแจ้ง (Explicit time marching)
- (2) การทำซ้ำแบบจุดตรึง (Fixed point iteration)
- (3) วิธีการสปริทเบรกแมน (Split Bregman)

การเดินเวลาแบบชัดแจ้ง (explicit time marching)

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



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

L. I. Rudin, S. Osher, E. Fatemi, "Nonlinear total variation based noise removal algorithms", Physica D: Nonlinear Phenomena, vol 60, issues 1–4, pp. 259–268, 1992.

การเดินเวลาแบบชั้ดเจ้ง (ต่อ)

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

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

$$u(\mathbf{x}, t_0), u(\mathbf{x}, t_1), u(\mathbf{x}, t_2), u(\mathbf{x}, t_3), \dots, \color{red}{u(\mathbf{x}, t^*)}$$

ข้อจำกัดของการเดินเวลาแบบชั้ดเจ้ง

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

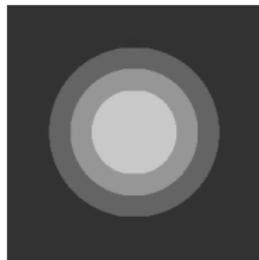
$$\tau < 1$$

การทำซ้ำแบบจุดตรึง (fixed-point iteration)

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

$u^{[0]}, u^{[1]}, u^{[2]}, u^{[3]}, \dots, u^*$

ปัญหาเชิงตัวเลข



รูปที่ 3: ตัวอย่างภาพที่เกิดปัญหาเชิงตัวเลข

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

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

วิธีการสปริทเบรคแม่น

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



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



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

วิธีการสปริทเบรคแม่น

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



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

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

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

การวัดประสิทธิภาพ

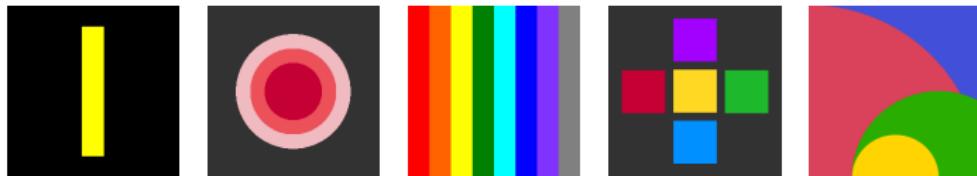
$$\text{PSNR} = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{1}{\sqrt{\text{MSE}}}\right)$$

Peak Signal Noise Ratio (**PSNR**)

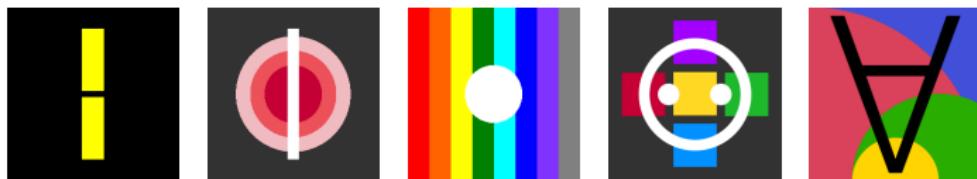
$$\text{SSIM}(u, \tilde{u}) = \frac{(2\mu_u\mu_{\tilde{u}} + 0.0001)(2\sigma_{u\tilde{u}} + 0.0009)}{(\mu_u^2 + \mu_{\tilde{u}}^2 + 0.0001)(\sigma_u^2 + \sigma_{\tilde{u}}^2 + 0.0009)}$$

Structural Similarity (**SSIM**)

ภาพสังเคราะห์



รูปที่ 4: ภาพต้นฉบับ

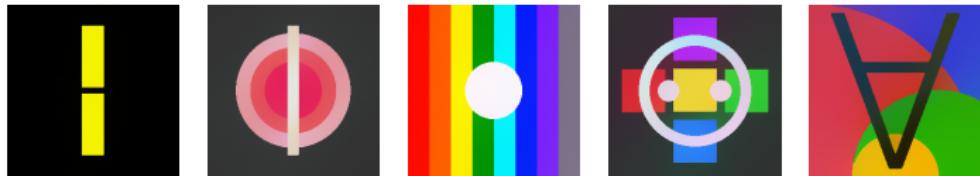


รูปที่ 5: ภาพที่จะทำการซ่อมแซม

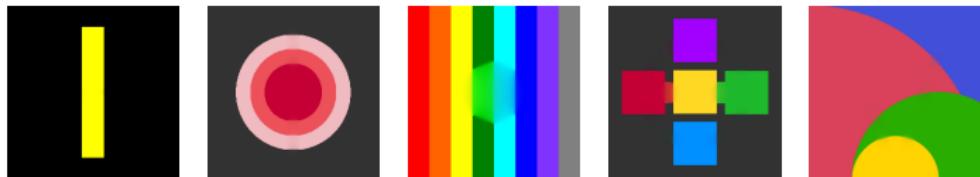
รอบการทำซ้ำ $\leq 10,000$ รอบ

$$\frac{\|u_{new} - u_{old}\|}{\|u_{new}\|} \geq 10^{-4}$$

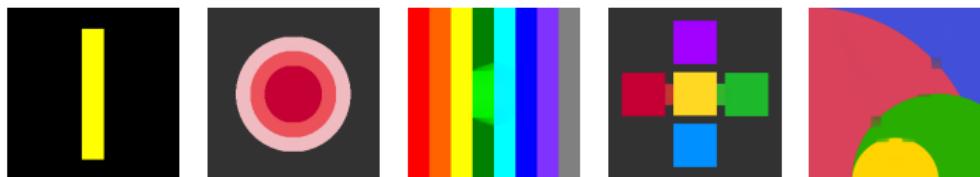
ผลการต่อเติมภาพ



รูปที่ 6: ผลการซ่อมแซมจากการเดินเวลา



รูปที่ 7: ผลการซ่อมแซมจากการทำข้ามแบบจุดตรง



รูปที่ 8: ผลการซ่อมแซมจากการสปริทเบรกแม่น

ประสิทธิภาพของวิธีการเชิงตัวเลขทั้ง 3 วิธี

วิธีการ	เวลาประมาณ (วินาที)	PSNR (dB)	SSIM
การเดินเวลา	120.68	16.72	0.9960
การทำซ้ำจุดตรึง	74.81	38.67	0.9999
การสปริทเบรกเมน	14.06	39.42	0.9999

ตารางที่ 1: แสดงการซ่อมแซมเฉลี่ยของวิธีการเชิงตัวเลข
โดยที่ $\lambda = 250, \beta = 10^{-5}, \tau = 10^{-5}, \theta = 5$

ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้น

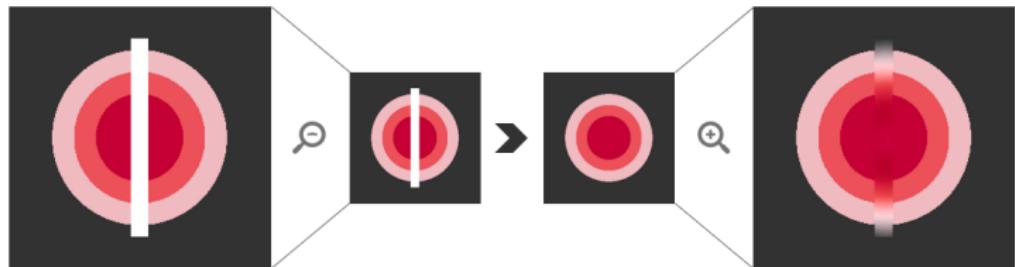


การซ้อมแซมภาพศิลปะไทย



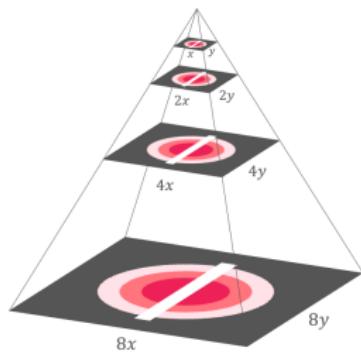
การลบคำบรรยายอนิเมะ

คำตอบเริ่มต้น

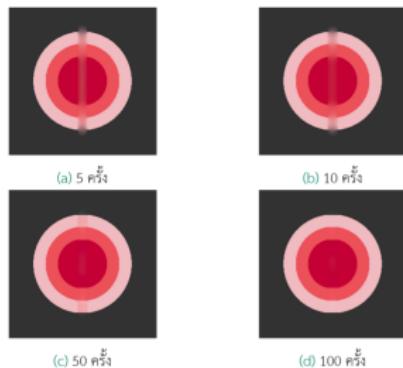


รูปที่ 10: การใช้คำตอบเริ่มต้นในวิธีการพิริมิตรูปภาพ

ขั้นตอนวิธีสำหรับการซ่อมแซมภาพศิลปะไทย

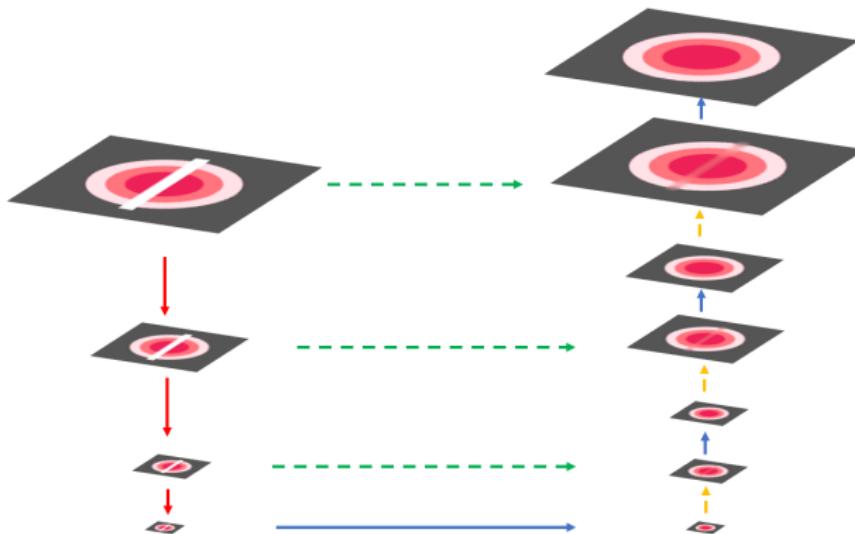


พีระมิดรูปภาพ



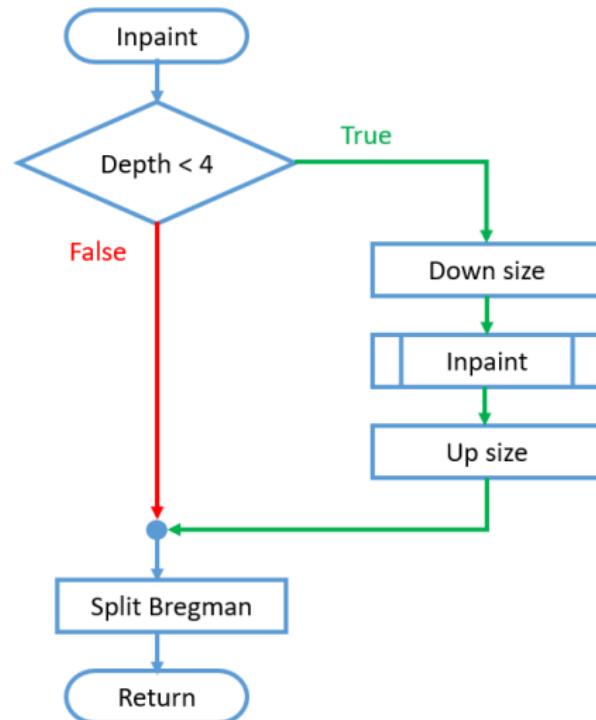
จำกัดรอบทำซ้ำที่ชั้น

ขั้นตอนวิธีสำหรับการซ้อมเชมภาพศิลปะไทย (ต่อ)



รูปที่ 12: การทำงานของวิธีที่คิดค้นขึ้น

ขั้นตอนวิธีสำหรับการซ่อมแซมภาพศิลปะไทย (ต่อ)

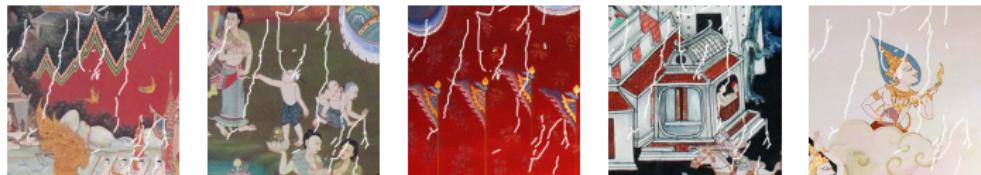


รูปที่ 13: ผังงานขั้นตอนวิธีที่คิดค้นขึ้น

การซ่อมแซมภาพจิตรกรรมไทยโบราณ



รูปที่ 14: ภาพต้นฉบับสำหรับใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 15: ภาพที่ทำให้เสียหาย

ผลการซ่อมแซมภาพศิลปะไทย



รูปที่ 16: ผลการซ่อมแซมโดยวิธีการสบริทเบรกเมน



รูปที่ 17: ผลการซ่อมแซมโดยวิธีการที่พัฒนาขึ้น

ผลการซ่อมแซมภาพศิลปะไทย

วิธีการ	เวลาประมาณ (วินาที)	PSNR (dB)	SSIM
สเปรย์เบรกเม็น	2.72	34.89	1.0000
วิธีการที่พัฒนาขึ้น	0.39	35.30	1.0000

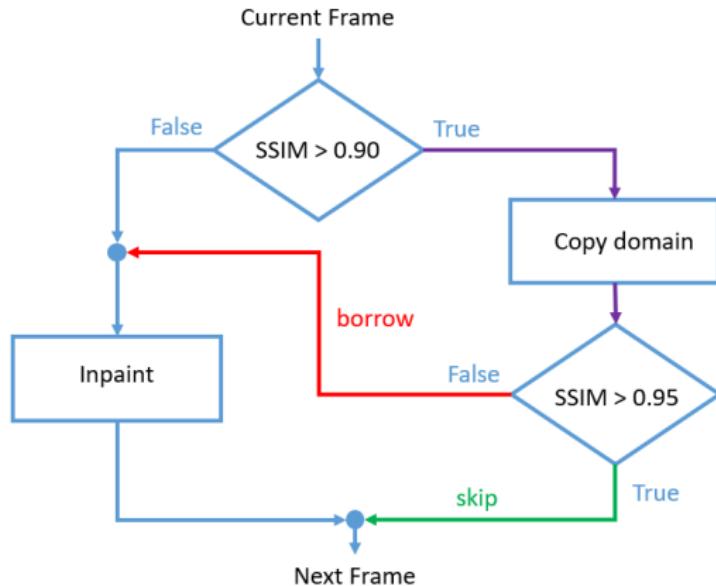
ตารางที่ 2: แสดงผลการซ่อมแซมภาพศิลปะไทยในรูปค่าเฉลี่ย

ขั้นตอนสำหรับการลบคำบรรยายในอนิเมะ



รูปที่ 18: ผังงานขั้นตอนวิธีที่คิดคันขึ้น

ขั้นตอนสำหรับการลบคำบรรยายในอนิเมะ (ต่อ)



รูปที่ 19: ผังงานขั้นตอนวิธีที่คิดค้นขึ้น

ผลการลบคำบรรยาย



(a) ก่อนลบคำบรรยาย



(b) หลังลบคำบรรยาย

ผลการลบคำบรรยาย (ต่อ)

วิธีการ	เวลาประมาณ (วินาที)	PSNR (dB)	SSIM
สปริทเบรกแม่น	5073.08	32.88	0.9654
วิธีการที่พัฒนาขึ้น	75.76	29.33	0.9454

ตารางที่ 3: ผลการลบบทบรรยายออกจากอนิเมะเฉลี่ย
โดยวิธีการสปริทเบรกแม่นและวิธีการที่พัฒนาขึ้น

วิธีการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน	พ.ศ. 2561							พ.ศ. 2562			
	ม.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
ศึกษาดูแบบและขั้นตอนวิธีการต่อเติมภาพ-ที่ใช้การแปรผันรวมในเชิงลึก	x	x									
พัฒนาขั้นตอนวิธีสำหรับการต่อเติมภาพ-ที่ใช้การแปรผันรวมชนิดใหม่			x	x	x	x					
ทดสอบขั้นตอนวิธีการต่อเติมภาพ-ที่พัฒนาขึ้นโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ บนภาพสังเคราะห์และภาพจริง				x	x	x					
อภิปรายผลที่ได้จากการทดลองเชิงตัวเลข						x	x	x			
สรุปผลการดำเนินงานวิจัย และจัดทำรูปเล่มฉบับสมบูรณ์								x	x	x	x

ลองซ้อมแซมภาษาพศิลปะ

[]

ภาษาพศิลป์: สำนวนเรื่องการต่อเติม

ภาษาพศิลป์: วัดมหาธาตุชัย (๑)

เมื่อเดือนกุมภาพันธ์ที่ผ่านมา ทางเด็กนักเรียนไทยศิริพัฒนา ของภาคกลางบูรณะหอเจดีย์ที่ค่าบาน

พระน้ำเต็มส่วนบนของหอเจดีย์

สำหรับหอเจดีย์ที่ต้องมาใช้เวลาประมาณ 20 วันต่อ ที่เมืองรามคำแหงมาต่อเติมหอเจดีย์ให้สูงไปอีก 2 ชั้น จึงต้องดำเนินการต่อเติมหอเจดีย์ให้สูงขึ้น จึงต้องดำเนินการต่อเติมหอเจดีย์ให้สูงขึ้น

๘: ๕

๙: 250

๑๐: 0.0001

การท่าที่ร้านค้าและร้านอาหาร: 10

การท่าที่ร้านค้าและร้านอาหาร: 3

การท่าที่ร้านค้าและร้านอาหาร: 10

ความลึกของห้องน้ำ: 4

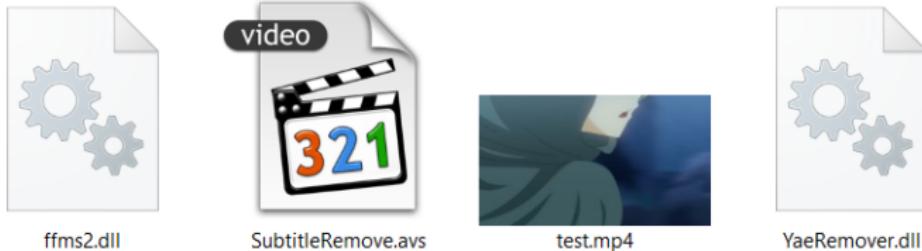
[]

ภาษาพศิลป์ที่ต้องการซ่อนแซม



รูปที่ 21: ลองใช้งานได้ที่ <https://bit.ly/demothai>

โปรแกรมลบคำบรรยาย



รูปที่ 22: ชุดไฟล์สำหรับลบคำบรรยาย (bit.ly/demo-anime-inpaint)

```
1 LoadPlugin("ffms2.dll") #https://github.com/FFMS/ffms2
2 LoadPlugin("YaeRemover.dll") #our method
3 Video = FFMS2("test.mp4", ATrack=-1, fpsnum=24000,
fpsden=1000, ColorSpace="RGB24", UTF8=True)
4
5 Result = Video.YaeRemover(Left = 280, Right = 1000, Top =
613, Bottom = 683, StokeWidth = 6)
6 return Result
```

รูปที่ 23: โค้ดภายใน SubtitleRemove.avs

ขอขอบคุณ