

ขั้นตอนวิธีใช้ตัวเลขชนิดใหม่สำหรับการต่อเติมภาพที่ใช้การแปรผันรวมกับ
การประยุกต์สำหรับซ้อมแซมภาพจิตกรรรมไทยโบราณและการลบบท
บรรยายจากอนิเมะ

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

จัดทำโดย
ภัคพล พงษ์ทวี รหัส 07580028

อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพดล ชุมชอบ

เอกสารฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา 511 493 โครงการวิจัย
ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561
สาขาวิชาคณิตศาสตร์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

สาขาวิชาคณิตศาสตร์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร มีความเห็นชอบให้โครง
งานวิจัยเรื่องขั้นตอนวิธีใช้ตัวเลขชนิดใหม่สำหรับการต่อเติมภาพที่ใช้การแปรผันรวมกับการประยุกต์สำหรับซ่อมแซม
ภาพจิตรกรรมไทยโบราณและการลบบทบรรยายจากอนิเมะ (A new numerical algorithm for TV-based im-
age inpainting with its applications for restoring ancient Thai painting images and removing subti-
tles from animes) ชื่อเสนอโดย นายภัคพล พงษ์ทวี รหัส 07580028 เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์ ประจำปีการศึกษา 2561

อาจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพดล ชุมชอบ อาจารย์ที่ปรึกษา

_____ / _____ / _____

อาจารย์ ดร. นัยนรัตน์ กันยะมี กรรมการ

_____ / _____ / _____

อาจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรทรัพย์ พรสวัสดิ์ กรรมการ

_____ / _____ / _____

บทคัดย่อ

สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการเชิงตัวเลขที่ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับการซ่อมแซมภาพจิตรกรรมไทยและการลบบทบรรยายอนิเมะ โดยวิธีการเชิงตัวเลขนี้ใช้สำหรับการแก้ปัญหาด้วยตัวแบบการแปรผันรวมสำหรับการต่อเติมภาพที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยคณะวิจัยของคุณ Chan และคุณ Shen [1] โดยการซ่อมแซมภาพศิลปะไทยจะใช้วิธีการสบริทเบรกแม่นที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยขณะวิจัยของคุณ Goldstein และคุณ Osher [4] พร้อมทั้งประยุกต์ใช้รวมกับวิธีพิริยมิตรูปภาพที่ถูกคิดค้นด้วยคุณ Andelson และคณะ [5] และลดปริมาณการทำซ้ำในระดับความคมชัดเดิม พบว่าวิธีการที่พัฒนาขึ้นใช้เวลาประมาณ 10 นาที อยกว่าวิธีการสบริทเบรกแม่นเดิมประมาณ 7 เท่าและมีคุณภาพของภาพหลังการต่อเติมที่ดีขึ้น เมื่อวัดด้วยปริมาณ Peak Signal Noise Ratio (PSNR) [6] นอกจากนี้การลบบทบรรยายอนิเมะจะใช้วิธีการที่ใช้ในการซ่อมแซมภาพศิลปะไทย เมื่อนำมาพัฒนาต่อโดยใช้วิธีการข้ามเฟรมและยืมเฟรม พบว่าสามารถทำงานได้เร็วกว่าการใช้วิธีการสบริทเบรกแม่นกับวิดีโอถึง 67 เท่า

คำสำคัญ: การต่อเติมภาพ

Abstract

This work has presented a new numerical algorithm for TV-based image inpainting with its application for restoring ancient Thai painting images and removing subtitles from animes. This numerical algorithm is used for solving Total Variation model for inpainting that was developed by Chan and Shen [1]. To restoring ancient Thai painting. We will use Splitbregman algorithm which has developed by Goldstien and Osher [4] with image pyramid which have developed by Andelson and His research group [5] and reduced iteration number in original pyramid resolution. This algorithm have better quality when measuring with Peak Signal Noise Ratio (PSNR) and 7 times faster than Splitbregman algorithm. For removing subtitle from anime, We have used the algorithm that we have developed for ancient painting restoration with skip and borrow frame technique. This algorithm has 67 times faster than use Splitbregman algorithm on video.

Keywords: Image inpainting

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากคณะกรรมการวิจัยได้รับความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล ชุมขอบ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัยผู้ให้ความรู้ ให้คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดช่วงของการทำโครงการวิจัย คณะผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.นัยนรัตน์ กันยะมี และอาจารย์ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรทรัพย์ พรสวัสดิ์ กรรมการสอบโครงการวิจัยสำหรับคำแนะนำที่มีประโยชน์ รวมถึงอาจารย์วิทยากรทุกท่านที่สอนใช้งานโปรแกรมเลเท็กซ์ (LaTeX)

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาคณิตศาสตร์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนมอบวิชาความรู้อันมีค่าแก่ คณะผู้วิจัย และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาคณิตศาสตร์ที่ได้อำนวยความสะดวกด้านต่างๆ ในการจัดทำโครงการวิจัยฉบับนี้

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และเพื่อนๆ ผู้ให้กำลังใจ รวมไปถึงการให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน เสมือนมา และหวังไว้อย่างยิ่งว่าโครงการวิจัยครั้งนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจและผู้ที่เกี่ยวข้องต่อไป

สารบัญ

บทคัดย่อ

i

บทคัดย่อ

ii

กิตติกรรมประกาศ

iii

สารบัญรูป

v

สารบัญตาราง

vi

1 บทนำ

1

1.1	บทนำของการต่อเติมภาพ	1
1.2	การประยุกต์ของการต่อเติมภาพ	2
1.2.1	การซ่อมแซมภาพจิตรกรรมไทยโบราณ	2
1.2.2	การลบบทบรรยายบนอนิเมะ	4
1.3	เป้าหมายของโครงการวิจัย	4

2 ความรู้พื้นฐานทางคณิตศาสตร์

6

2.1	ปริภูมิที่มีค่าประจำ	6
2.2	แคลคูลัสของการแปรผันเบื้องต้น	6
2.3	ฟังก์ชันของการแปรผันที่มีข้อบกพร่อง	6
2.4	วิธีการเร็กกิวลารีไลซ์เซชัน	6

iv

2.5	วิธีการไฟแนนซ์ดิฟเฟอเรนซ์เบื้องต้น	6
2.6	วิธีการทำสำหรับระบบสมการเชิงเส้น	6
3	ขั้นตอนวิธีเชิงตัวเลขชนิดใหม่	7
3.1	การนำเสนอภาพ	8
3.2	ตัวแบบเชิงแปรผันสำหรับต่อเติมภาพเดา	8
3.3	ตัวแบบเชิงแปรผันสำหรับการต่อเติมภาพสี	8
3.4	ขั้นตอนวิธีเชิงตัวเลขพื้นฐาน	8
3.4.1	การติดเครื่องเซ็นแบบไฟแนนซ์ดิฟเฟอเรนซ์	8
3.4.2	ขั้นตอนวิธีเดินเวลา	8
3.4.3	ขั้นวิธีทำสำหรับจุดต่อง	8
3.4.4	ขั้นตอนวิธีสปริทเบรกเมน	8
3.5	ขั้นตอนวิธีเชิงตัวเลขที่นำเสนอด	8
3.5.1	ขั้นตอนวิธีเชิงตัวเลขสำหรับต่อเติมภาพสี	8
3.5.2	ขั้นตอนวิธีเชิงตัวเลขสำหรับซ่อมแซมภาพวิดีโอ	8
4	การทดลองเชิงตัวเลข	9
4.1	การซ่อมแซมภาพจิตรกรรมไทยโบราณ	9
4.1.1	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพขั้นตอนวิธีเชิงตัวเลขที่มีอยู่แล้ว	10
4.1.2	ขั้นตอนวิธีเชิงตัวเลขสำหรับต่อเติมภาพชนิดใหม่	14
4.1.3	การทดสอบประสิทธิภาพในการซ่อมแซมภาพจิตรกรรมไทยโบราณ	21
4.2	การลบบทบรรยายบนอนิเมะ	25
4.2.1	การหาบทบรรยายบนอนิเมะ	26
4.2.2	การลบคำบรรยายจากบทอนิเมะ	28
5	สรุป	32
	บรรณานุกรม	34

สารบัญ

1.1.1	ตัวอย่างการซ่อมแซมภาพ	2
1.2.1	ภาพจิตรกรรมไทยที่วัดภูมินทร์ อำเภอเมือง จังหวัดป่าน	3
1.2.2	1 เฟรมของอนิเมะที่มีบทบรรยายแบบแข็ง	5
4.1.1	ภาพต้นฉบับ	9
4.1.2	ภาพที่จะทำการซ่อมแซม	10
4.1.3	ผลการซ่อมแซมจากวิธีการเดินเวลา	10
4.1.4	ผลการซ่อมแซมจากวิธีการทำซ้ำแบบจุดตึง	11
4.1.5	ผลการซ่อมแซมจากการสปริทเบรกแม่น	12
4.1.6	วิธีการประเมินรูปภาพ	14
4.1.7	พิระมิดที่ลำดับการทำซ้ำเป็น 10/10/10 และที่ระดับความคมชัดละเอียดสุดใช้จำนวนการทำซ้ำที่ต่างกัน	19
4.1.8	ภาพต้นฉบับสำหรับใช้ในการทดสอบ	22
4.1.9	ภาพที่ทำให้เสียหาย	22
4.1.10	ผลการซ่อมแซมโดยวิธีการสปริทเบรกแม่น	23
4.1.11	ผลการซ่อมแซมภาพโดยวิธีการเชิงตัวเลขที่พัฒนาขึ้น	24
4.2.1	การแบ่งไฟล์วิดีโอเป็น 5 ส่วนสำหรับใช้เป็น 5 ชุดทดสอบ	25

สารบัญตาราง

4.1	ผลการซ่อมแซมวิธีการเดินเวลา	11
4.2	ผลการซ่อมแซมของวิธีการทำข้า้แบบจุดตึง	12
4.3	ผลการซ่อมแซมของวิธีสปริทเบรกแม่น	13
4.4	แสดงการซ่อมแซมเฉลี่ยของวิธีการเชิงตัวเลข	13
4.5	ผลการซ่อมแซมภาพโดยวิธีการเชิงตัวเลขที่นำเสนอ	17
4.6	ผลการซ่อมแซมภาพโดยวิธีการเชิงตัวเลขที่นำเสนอในรูปของค่าเฉลี่ยของผลที่ได้จากการที่ 4.5	18
4.7	ผลการซ่อมแซมภาพโดยวิธีการเชิงตัวเลขที่นำเสนอยื่นใช้การทำข้า้ในระดับความคมชัดละเอียดสุด 10 ครั้ง	20
4.8	ผลการซ่อมแซมภาพโดยวิธีการเชิงตัวเลขที่นำเสนอในรูปของค่าเฉลี่ยของผลที่ได้จากการที่ 4.7	21
4.9	ผลการซ่อมแซมภาพศิลปะไทยจากวิธีการสปิทเบรกแม่น	23
4.10	ผลการซ่อมแซมภาพศิลปะไทยโดยวิธีการเชิงตัวเลขที่พัฒนาขึ้น	24
4.11	แสดงผลการซ่อมแซมภาพศิลปะไทยในรูปค่าเฉลี่ยจากตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.10 . .	24
4.12	ความคลาดเคลื่อนของการหาโดยเมนต์ต่อเติม ในบทบรรยายภาษาต่างๆ	27
4.13	ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการหาโดยเมนต์ต่อเติม ในบทบรรยายภาษาต่างๆ	27
4.14	ผลการลับบทบรรยายออกจากอนิเมะด้วยวิธีการเชิงตัวเลขขั้นตอนวิธี 1, 6, 7 และ 8 . .	30
4.15	ผลการซ่อมแซมภาพโดยวิธีการเชิงตัวเลขที่นำเสนอในรูปของค่าเฉลี่ยของผลที่ได้จากการที่ 4.14	31
4.16	ผลการลับบทบรรยายออกจากอนิเมะโดยวิธีการสปริทเบรกแม่นและวิธีการที่พัฒนาขึ้น .	31

บทที่ 1

ບໍ່ທຳນົດ

1.1 บหນำของการต่อเติมภาพ

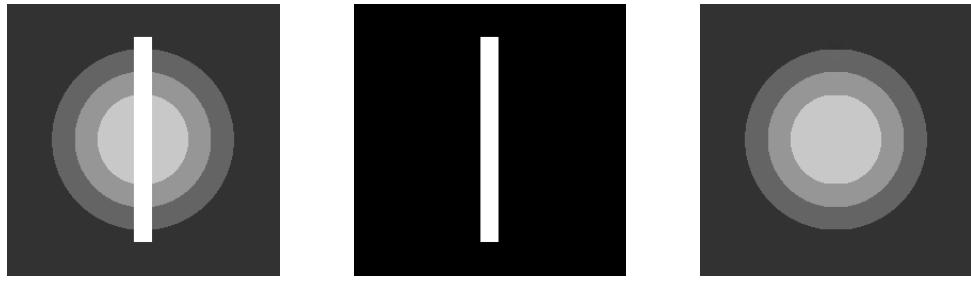
ในปัจจุบันการใช้ภาพดิจิตอล (digital images) ในสังคมเครือข่ายได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากโทรศัพท์เคลื่อนที่มีราคาถูกลงแต่มีความสามารถที่ชาญฉลาด สามารถทำหน้าที่ได้ตั้งแต่การเป็นกล้องดิจิตัลคอมแพค (compact digital camera) คุณภาพดีให้ภาพดิจิตอลที่มีความคมชัดสูงจนไปถึงการทำหน้าที่ดังเช่นเครื่องคอมพิวเตอร์ ส่วนบุคคลที่สามารถเชื่อมต่อ กับระบบเครือข่ายไร้สายเพื่อรับส่งภาพดิจิตอลในสังคมเครือข่ายด้วยความสะดวกและรวดเร็ว

นอกจากภาพดิจิตัลจะได้รับจากการถ่ายภาพด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่แล้ว ภาพดิจิตัลยังได้รับการถ่ายภาพด้วยกล้องดีเอสแอลอาร์ หรือ กล้องสะท้อนเลนส์เดียวแบบดิจิตัล (digital single lens reflex camera) กล้องโทรศัพท์ (หรือ กล้องดูดาว) หรือ เครื่องมือสร้างภาพถ่ายทางการแพทย์ (medical imaging device)

โดยที่ว่าเป้าพัฒนาจะได้รับการประเมินผลภาพก่อนนำไปใช้งานเพื่อให้สามารถใช้ข้อมูลที่ปรากฏบนภาพได้ตรงร่วตถุประสงค์ของการใช้งานมากที่สุด ตัวอย่างเช่น ภาพบุคคล (portrait) อาจจำเป็นต้องได้รับการทำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพและ/หรือปรับเพิ่มความละเอียดข้อมูลของความเข้มของสีและความสว่างของสีบนบริเวณใบหน้าก่อนนำภาพไปใช้งานเพื่อจัดทำต้นฉบับวารสารหรือหนังสือของสำนักพิมพ์ เป็นต้น

การต่อเติมภาพ (image inpainting) เป็นวิธีการประมวลผลภาพชนิดหนึ่ง มีเป้าหมายเพื่อซ่อมแซมภาพด้วยการต่อเติมข้อมูลของความเข้มของสีบนบริเวณที่กำหนด (ต่อไปจะเรียกบริเวณนี้ว่า โดเมนต่อเติม (inpainting domain)) โดยอาศัยข้อมูลของความเข้มของสีที่ปรากฏในภาพ ตัวอย่างเช่น กำหนดให้รูปที่ 1.1.1 (a) แสดงภาพที่ต้องการซ่อมแซมระดับความเข้มของสีบนบริเวณแห่งวัตถุปะร่างสีเหลี่ยมสีขาว การต่อเติมภาพดังกล่าวจะเริ่ม

ด้วยการกำหนดให้บริเวณแห่งวัตถุรูปร่างสีเหลี่ยมสีขาวเป็นโดเมนการต่อเติมดังรูปที่ 1.1.1 (b) จากนั้นภาพที่ได้รับการซ่อมแซมหรือภาพที่ได้รับการต่อเติม (restored or inpainted image) ซึ่งแสดงในรูปที่ 1.1.1 (c) ได้มาจากขั้นตอนวิธีการต่อเติมภาพ (inpainting algorithm) ซึ่งได้รับการออกแบบเพื่อนำข้อมูลที่ปรากฏบนภาพในบริเวณใกล้เคียงกับขอบของโดเมนต่อเติมมาซ่อมแซมภาพ



(a) ภาพที่ต้องการซ่อมแซม

(b) โดเมนต่อเติม

(c) ภาพที่ได้รับการซ่อมแซม

รูปที่ 1.1.1: ตัวอย่างการซ่อมแซมภาพ

เท่าที่ผู้วิจัยศึกษาและค้นคว้ามาจนถึงขณะนี้ ผู้วิจัยพบว่าการต่อเติมภาพมักนิยมนำไปใช้งานสำหรับการปรับแต่งความสวยงามของภาพบุคคลที่ถ่ายจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ เช่น การลบร่องรอยของรอยตื้นๆ การลบร่องรอยแผลเป็นที่เกิดจากสิ่งเสี้ยน การลดร่องรอยของความชรา หรือ การเพิ่มความใสและความเนียนของสีผิวนะ บริเวณใบหน้าผ่านโปรแกรมแอปพลิเคชันแต่งรูปภาพที่มีอยู่ในแอปสโตร์ (App Store) หรือ ဂุเก็ลเพลย์ (Google Play) เป็นต้น

1.2 การประยุกต์ของการต่อเติมภาพ

1.2.1 การซ่อมแซมภาพจิตรกรรมไทยโบราณ

ภาพจิตรกรรมไทย คือ ภาพเขียนที่มีเอกลักษณ์ความเป็นศิลปะไทยซึ่งโดดเด่นและแตกต่างจากภาพเขียนของชนชาติอื่น ในอดีต ช่างไทยได้สร้างสรรค์ลวดลายและสีสันบนภาพวาดเพื่อสะท้อนประเพณีและวัฒนธรรมในสังคมไทยที่เกี่ยวกับศาสนา ประวัติศาสตร์ โบราณคดี ชีวิตความเป็นอยู่ วัฒนธรรมการแต่งกาย ตลอดจนการแสดง การเล่นพื้นเมืองต่าง ๆ ของแต่ละยุคสมัย

อย่างไรก็ตาม ภาพจิตรกรรมไทยจำนวนไม่น้อยที่เสื่อมสภาพตามกาลเวลา และรอค่อยการซ่อมแซมจากช่างในสมัยปัจจุบันที่ต้องไม่สร้างความเสียหายให้กับภาพเขียนเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิม ที่ผ่านมาภาพที่ผ่านการซ่อมแซม

มาแล้วจำนวนไม่น้อยได้รับความเสียหายหลังจากการซ่อมแซม ถึงแม้สภาพโดยรวมของภาพจิตรกรรมเดิมยังคงอยู่แต่รายละเอียดในตัวภาพเขียนได้เปลี่ยนไป ก่อให้เกิดความเสียหายที่ประเมินค่าไม่ได้

การซ่อมแซมภาพจิตรกรรมไทยโบราณโดยใช้การต่อเติมภาพเป็นขั้นตอนของการซ่อมแซมแบบหนึ่ง ซึ่งไม่ก่อให้เกิดความเสียหายใด ๆ กับภาพเดิม เนื่องจากเป็นการซ่อมแซมโดยการใช้ขั้นตอนวิธีเชิงตัวเลขบนภาพดิจิตัลซึ่งเป็นสำเนาของภาพเดิม ด้วยเหตุผลดังกล่าว ผู้จัดได้เลือกเห็นว่าการซ่อมแซมภาพจิตรกรรมไทยโบราณมีความจำเป็นเร่งด่วน เนื่องจากภาพที่ได้รับการซ่อมแซมด้วยการต่อเติมภาพสามารถนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจเพื่อวางแผนก่อนการลงมือซ่อมแซมภาพเขียนจริงได้ นอกจากนี้ ขั้นตอนวิธีการต่อเติมภาพสามารถนำไปใช้สร้างแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อในไปใช้เป็นข้อมูลในการเข้าชมภาพเขียนเดิมที่ยังไม่ได้รับการซ่อมแซมและภาพเขียนที่ได้รับการซ่อมแซมโดยวิธีการทางคณิตศาสตร์จากแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น

รูปที่ 1.2.1 แสดงตัวอย่างภาพจิตรกรรมไทย¹ ที่ต้องได้รับการซ่อมแซมนบริเวณแขนเสื้อของรูปวด ผู้ชายที่มีส่วนของสีแดงเดิมหลุดหายไป ทั้งนี้ในการซ่อมแซมภาพโดยการต่อเติมภาพ เราจะเริ่มด้วยการสร้างโดเมนต่อเติมบนบริเวณสีพื้นผิวปูนที่แขนเสื้อ จากนั้นจึงนำขั้นตอนวิธีการต่อเติมภาพเพื่อซ่อมแซมภาพบริเวณนั้นให้เป็นสีเดิม



รูปที่ 1.2.1: ภาพจิตรกรรมไทยที่วัดภูมินทร์ อำเภอเมือง จังหวัดน่าน

¹ภาพถ่ายที่วัดภูมินทร์ อำเภอเมือง จังหวัดน่าน; ภาพจาก <http://topicstock.pantip.com/camera/topicstock/2009/02/O7514399/O7514399.html> สืบค้นเมื่อวันที่ 23 กันยายน 2561

1.2.2 การลับบทบรรยายบนอนิเมะ

อนิเมะคือวิดีโอภาพวัดการ์ตูนสไตล์ญี่ปุ่นซึ่งเป็นที่นิยมของเยาวชนไทย ในการรับชมอนิเมะ แม้ว่าเยาวชนไทยสามารถรับชมด้วยบทพากย์เสียงภาษาไทย แต่ก็สูญเสียอรรถรสของการรับชมจากบทบรรยายแบบเบ็ง² (hard-sub) ที่เป็นภาษาต่างประเทศในบริเวณด้านล่างของภาพ ในการซ่อนแซม

อนิเมะด้วยการลับบทบรรยายภาษาต่างประเทศจึงเป็นงานที่ยุ่งยากและท้าทายมาก เนื่องจาก

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

ด้วยความท้าทายข้างต้น การพัฒนาขั้นตอนวิธีการต่อเติมภาพที่สามารถกำหนดโดยเมนต์อตโนมัติให้กับแต่ละเฟรมและประมาณผลได้แม่นยำจากการลับบทบรรยายสามารถทำงานได้แบบเรียลไทม์ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นที่หลีกเลี่ยงไม่ได้

รูปที่ 1.2.2 แสดงตัวอย่าง 1 เฟรมของอนิเมะที่มีบทบรรยายแบบเบ็ง³ ที่ต้องซ่อนแซมด้วยการลับบทบรรยายออก ทั้งนี้ในการลับบทบรรยายออกจากเฟรมโดยใช้การต่อเติมภาพ เราจะเริ่มด้วยการสร้างโดยเมนต์อตโนมัติในบริเวณบทบรรยาย จากนั้นจึงนำขั้นตอนวิธีการต่อเติมภาพแบบเร็วเพื่อลับบทบรรยายออกจากเฟรม โครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัยมีเป้าหมายสำคัญคือการพัฒนาขั้นตอนวิธีการต่อเติมภาพแบบเร็วและแม่นยำ ชนิดใหม่เพื่อนำไปใช้สำหรับซ่อนแซมภาพจิตรกรรมไทยและการลับบทบรรยายออกจากอนิเมะ

1.3 เป้าหมายของโครงการวิจัย

²บทบรรยายที่ไม่สามารถปิดหรือเปิดได้

³ภาพจาก <https://www.samehadaku.tv/2018/07/grand-blue-episode-1-subtitle-indonesia.html> สืบคันเมื่อวันที่ 23 กันยายน 2561



รูปที่ 1.2.2: 1 เฟรมของอนิเมะที่มีบทบรรยายแบบแข็ง

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานทางคณิตศาสตร์

- 2.1 ปริภูมิที่มีค่าประจำ
- 2.2 แคลคูลัสของการแปรผันเบื้องต้น
- 2.3 พัฟก์ชันของการแปรผันที่มีขอบเขต
- 2.4 วิธีการเร็กกิวลาร์ไลซ์เซชัน
- 2.5 วิธีการไฟไนต์ดิฟเพอเรนจ์เบื้องต้น
- 2.6 วิธีการทำซ้ำสำหรับระบบสมการเชิงเส้น

บทที่ 3

ขั้นตอนวิธีเชิงตัวเลขชนิดใหม่

3.1 การนำเสนอภาพ

3.2 ตัวแบบเชิงแปรผันสำหรับต่อเติมภาพเฉพาะ

3.3 ตัวแบบเชิงแปรผันสำหรับการต่อเติมภาพสี

3.4 ขั้นตอนวิธีเชิงตัวเลขพื้นฐาน

3.4.1 การดิสครีไซซ์เซชันแบบไฟในติดไฟเรนจ์

3.4.2 ขั้นตอนวิธีเดินเวลา

3.4.3 ขั้นวิธีทำซ้ำแบบจุดตรึง

3.4.4 ขั้นตอนวิธีสปริทเบรกแม่น

3.5 ขั้นตอนวิธีเชิงตัวเลขที่นำเสนอ

3.5.1 ขั้นตอนวิธีเชิงตัวเลขสำหรับต่อเติมภาพสี

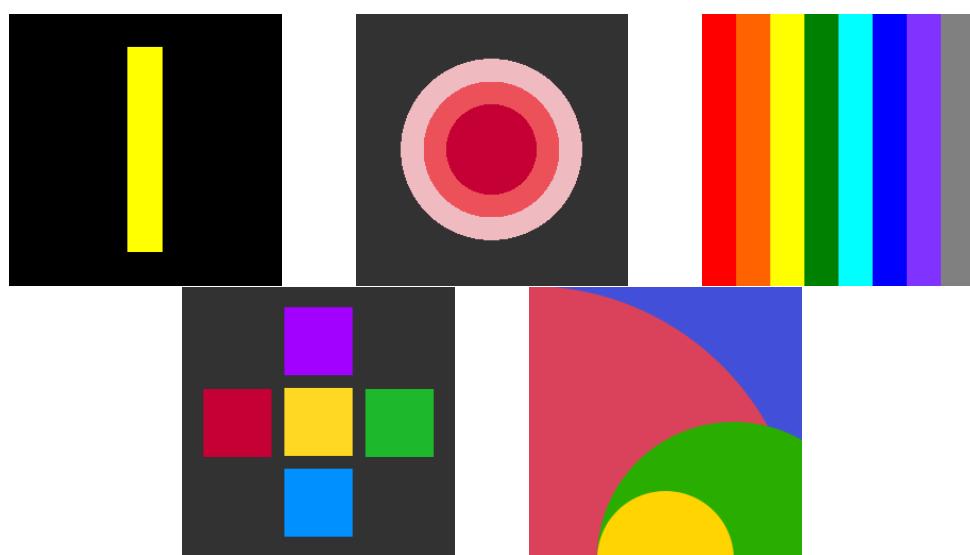
3.5.2 ขั้นตอนวิธีเชิงตัวเลขสำหรับซ่อมแซมภาพวิดีโอ

บทที่ 4

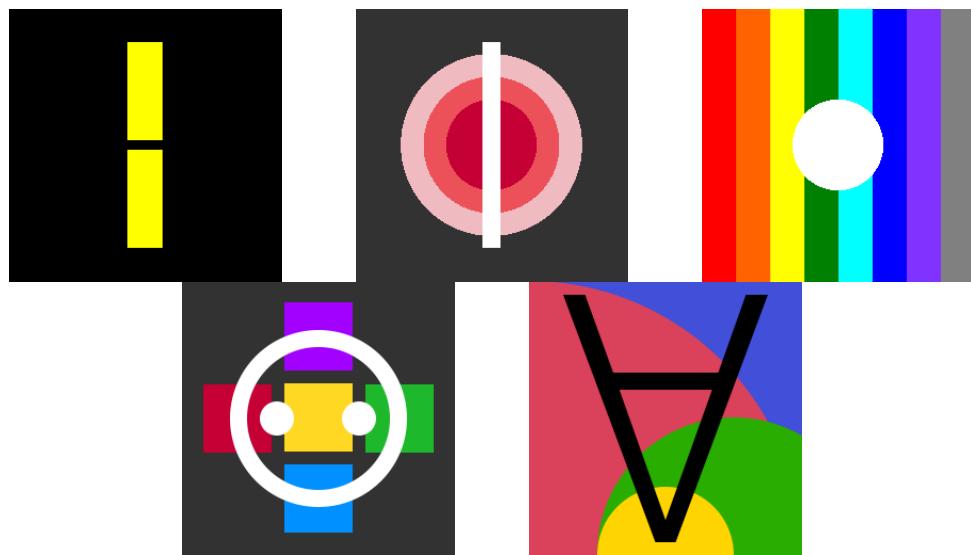
การทดลองเชิงตัวเลข

4.1 การซ่อมแซมภาพจิตรกรรมไทยโบราณ

สำหรับการซ่อมแซมจิตรกรรมไทยโบราณ ผู้วิจัยจะเริ่มจากการทำการปรับปรุงขึ้นตอนวิธีเชิงตัวเลขที่มีอยู่แล้ว โดยใช้ภาพสีที่ได้สังเคราะห์ขึ้นทั้งสิ้น 5 ภาพ โดยแต่ละภาพมีขนาด 256×256 พิกเซล ดังรูปที่ 4.1.1



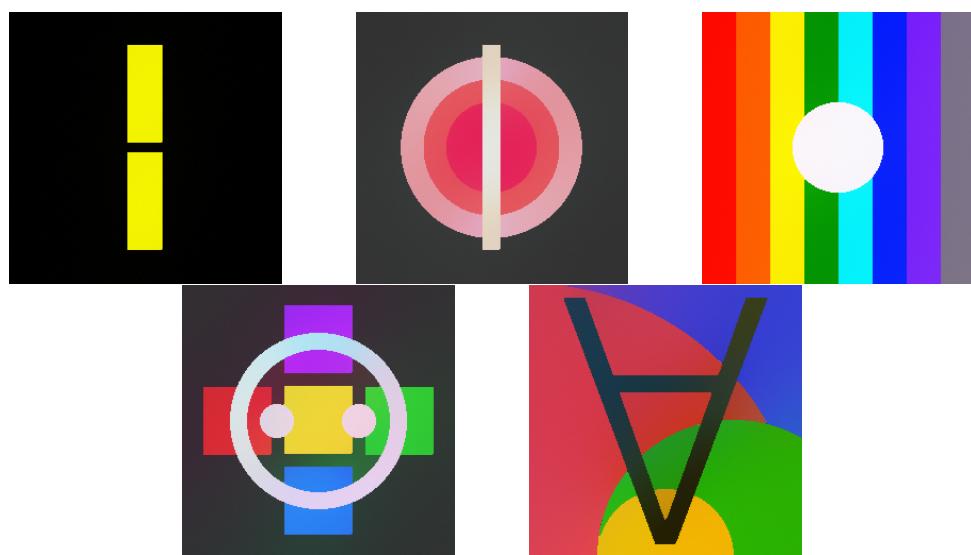
รูปที่ 4.1.1: ภาพต้นฉบับ



รูปที่ 4.1.2: ภาพที่จะทำการซ่อมแซม

4.1.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพขั้นตอนวิธีเชิงตัวเลขที่มีอยู่แล้ว

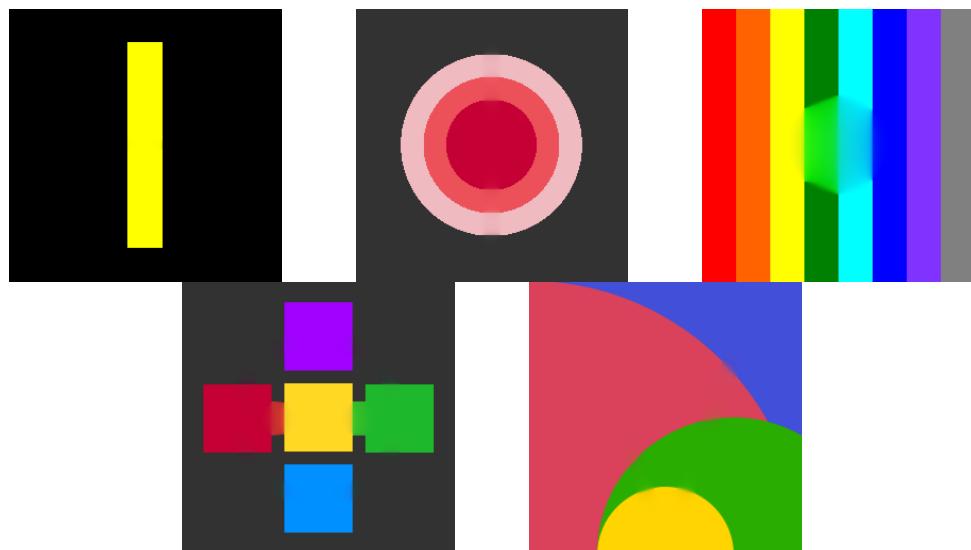
การทดสอบประสิทธิภาพจะใช้ $\varepsilon = 1 \times 10^{-4}$ และ $N = 10,000$ โดยรูปที่ 4.1.3 - 4.1.5 และตารางที่ 4.1 - 4.3 แสดงผลการซ่อมแซมภาพสังเคราะห์ทั้ง 5 ภาพ



รูปที่ 4.1.3: ผลการซ่อมแซมจากการเดินเวลา

รูปภาพ	เวลาประมาณ (วินาที)	PSNR (dB)	SSIM
1	82.40	25.17	0.9997
2	127.36	17.92	0.9980
3	116.39	13.33	0.9941
4	160.59	12.40	0.9927
5	116.66	14.79	0.9958
เฉลี่ย	120.68	16.72	0.9960

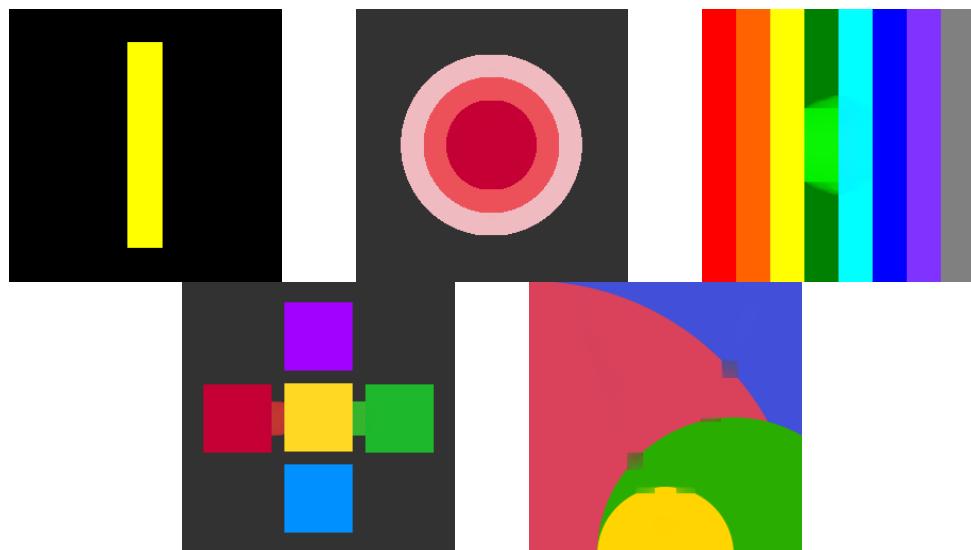
ตารางที่ 4.1: ผลการซ่อมแซมวิธีการเดินเวลา



รูปที่ 4.1.4: ผลการซ่อมแซมจากการวิธีการทำข้ามแบบจุดตึง

รูปภาพ	เวลาประมาณ (วินาที)	PSNR (dB)	SSIM
1	24.97	60.95	1.0000
2	53.06	37.69	1.0000
3	190.64	25.17	0.9997
4	50.63	28.81	0.9999
5	54.74	40.73	1.0000
เฉลี่ย	74.81	38.67	0.9999

ตารางที่ 4.2: ผลการซ่อมแซมของวิธีการทำข้ามแบบจุดตึง



รูปที่ 4.1.5: ผลการซ่อมแซมจากวิธีการสปริทเบรกเมน

รูปภาพ	เวลาประมาณ (วินาที)	PSNR (dB)	SSIM
1	3.39	71.54	1.0000
2	10.74	37.08	1.0000
3	24.50	26.08	0.9997
4	15.80	29.61	0.9999
5	15.85	32.78	1.0000
เฉลี่ย	14.06	39.42	0.9999

ตารางที่ 4.3: ผลการซ่อมแซมของวิธีสปริทเบรกเมน

ประสิทธิภาพของวิธีการเชิงตัวเลขทั้ง 3 วิธี สามารถสรุปได้ดังนี้

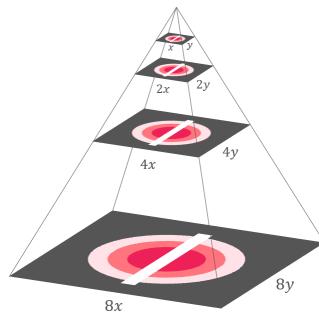
วิธีการ	เวลาประมาณ (วินาที)	PSNR (dB)	SSIM
การเดินเวลา	120.68	16.72	0.9960
การทำซ้ำจุดร่อง	74.81	38.67	0.9999
การสปริทเบรกเมน	14.06	39.42	0.9999

ตารางที่ 4.4: แสดงการซ่อมแซมเฉลี่ยของวิธีการเชิงตัวเลข

จากทั้ง 3 วิธีที่ได้ทดสอบ จะเห็นได้ว่าวิธีการสปริทเบรกเมนใช้เวลาน้อยกว่าวิธีอื่น และมีคุณภาพ ซึ่งพิจารณาจาก ค่า PSNR และค่า SSIM มากกว่าวิธีอื่น ผู้วิจัยจึงสนใจทำการปรับปรุงวิธีสปริทเบรกเมนให้มีประสิทธิภาพ ยิ่ง

4.1.2 ขั้นตอนวิธีเชิงตัวเลขสำหรับต่อเติมภาพชนิดใหม่

เพื่อให้วิธีการสปริทเบรกแบบประมวลผลภาพได้รวดเร็วขึ้น ผู้จัดได้พัฒนากระบวนการกำหนดค่าตอบเริ่มต้น โดยวิธีการ มัลติรีโซลูชัน (multi-resolution method) หรือวิธีการพีระมิดรูปภาพ (pyramid method) [5] เริ่มจากการย่อขนาดรูปลงครึ่งหนึ่งโดยใช้วิธี Bilinear Interpolation จนกระทั่งถึงระดับความคมชัดที่ต้องการ จากนั้นทำการต่อเติมภาพขนาดเล็ก และนำผลลัพธ์ที่ได้จากการขยายภาพขึ้นสองเท่าโดยใช้ Bilinear Interpolation เป็นค่าตอบเริ่มต้นสำหรับการต่อเติมภาพในชั้นถัดไป



รูปที่ 4.1.6: วิธีการพีระมิดรูปภาพ

ขั้นตอนวิธีสำหรับการทำพีระมิดรูปภาพสำหรับการต่อเติมภาพแบบสปริทเบรกแบบเพื่อให้ประมวลผลได้เร็วขึ้นนั้นสามารถสรุปได้ดังนี้

Algorithm 1: วิธีสปริทเบรกเมนท์ใช้พีระมิดรูปภาพ

Input:

u คือรูปภาพที่ต้องการต่อเติม
 λ คือพารามิเตอร์เริกกิวลาร์เรซชัน ที่ได้กล่าวถึงในสมการ (??)
 θ คือพารามิเตอร์เพนล์ที่ ซึ่งเป็นจำนวนจริงบวก
 N_{gs} เป็นจำนวนเต็มบวกสำหรับกำหนดจำนวนรอบที่ทำงานของการทำเกาส์-ไซเดล
 c ตัวแปรช่วยสำหรับบอกความลึก ให้กำหนดเป็น 1
 m คือ ระดับความลึกของพีระมิดรูปภาพ เป็นจำนวนเต็มบวก
 N_0 จำนวนรอบการทำสปริทเบรกเมนท์ชั้นละเอียดสุด
 N_1 จำนวนรอบการทำสปริทเบรกเมนท์ชั้นต่างๆ
 N_2 จำนวนรอบการทำสปริทเบรกเมนท์ชั้นใหญ่สุด

Output: รูปภาพที่ผ่านการต่อเติมแล้ว

```

 $u \leftarrow MultiSplitBregmanColor(u, \lambda, \theta, N_{gs}, N_0, N_1, N_2, \varepsilon, c, m)$ 
Initialize  $height =$  ความสูงของภาพ  $u$ ,  $width =$  ความกว้างของภาพ  $u$ 

if  $c < m$  then
     $x = Bilinear(u, \lfloor width * 0.5 \rfloor, \lfloor height * 0.5 \rfloor)$ 
     $y = Bilinear(\lambda, \lfloor width * 0.5 \rfloor, \lfloor height * 0.5 \rfloor)$ 
     $r = MRSBC(x, z, y, \lambda, \theta,$ 
     $N_{gs}, N_0, N_1, N_2, \varepsilon, c + 1, m)$ 
     $u = Bilinear(r, width, height)$ 
end

if  $c = 1$  then
     $N_{SB} = N_0$ 
else if  $c = m$  then
     $N_{SB} = N_2$ 
else
     $N_{SB} = N_1$ 
end

 $u = SplitBregmanColor(u, \lambda, \theta, N_{gs}, N_{SB}, \varepsilon)$ 

```

Algorithm 2: Bilinear Interpolation

```

 $J \leftarrow \text{Bilinear}(I, x, y)$ 
Initialize  $v = \text{ความสูงของภาพ } I, w \text{ คือความกว้างของภาพ } I,$ 
 $S_R = \frac{c}{a}, S_C = \frac{d}{b}, r = 1, 2, \dots, v, c = 1, 2, \dots, w,$ 
 $r' = 1, 2, \dots, x, c' = 1, 2, \dots, y,$ 
 $r_f = \lfloor r' \cdot S_R \rfloor$ 
 $c_f = \lfloor c' \cdot S_C \rfloor$ 
 $\Delta r = r_f - r$ 
 $\Delta c = c_f - c$ 
 $J(r', c') = I(r, c) \cdot (1 - \Delta r) \cdot (1 - \Delta c)$ 
 $+ I(r + 1, c) \cdot \Delta r \cdot (1 - \Delta c)$ 
 $+ I(r, c + 1) \cdot (1 - \Delta r) \cdot \Delta c$ 
 $+ I(r + 1, c + 1) \cdot \Delta r \cdot \Delta c$ 

```

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการที่ 1 ภายใต้การเปลี่ยนแปลงจำนวนรอบของการทำซ้ำของวิธีการสปริทเบรคแมนบนภาพที่มีความคมชัด 256×256 พิกเซล ตัวอย่าง เช่น $10/3/3/10000$ หมายถึงที่ระดับความคมชัดทั้งหมดเป็น 32×32 พิกเซลจะทำซ้ำไม่เกิน 10 ครั้ง สำหรับที่ความคมชัดละเอียดขึ้นเป็น 64×64 พิกเซลจะทำซ้ำไม่เกิน 3 ครั้ง และสำหรับที่ระดับความคมชัดเป็น 128×128 พิกเซลจะทำซ้ำ 3 ครั้ง และที่ระดับความคมชัดเป็น 256×256 จะทำซ้ำไม่เกิน 10,000 ครั้งหรือจนค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ต่างกันไม่เกิน 0.0001

รูปแบบการทำซ้ำ	รูปภาพ	เวลาประมาณ (วินาที)	PSNR (dB)	SSIM
ไม่ใช้พิธีกรรูปภาพ	1	4.49	71.54	1.0000
	2	13.16	37.08	1.0000
	3	29.46	26.08	0.9997
	4	20.50	29.61	0.9999
	5	19.32	32.78	1.0000
10/1/1/10000	1	2.44	69.59	1.0000
	2	11.31	37.04	1.0000
	3	23.48	27.34	0.9998
	4	16.60	29.42	0.9999
	5	13.75	33.53	1.0000
10/3/3/10000	1	2.24	69.96	1.0000
	2	10.91	37.05	1.0000
	3	21.99	27.66	0.9998
	4	12.70	29.35	0.9999
	5	11.49	33.69	1.0000
10/10/10/10000	1	1.83	71.58	1.0000
	2	7.83	37.05	1.0000
	3	16.75	28.62	0.9998
	4	11.89	29.32	0.9999
	5	8.00	34.26	1.0000
100/1/1/10000	1	1.43	67.63	1.0000
	2	7.17	37.10	1.0000
	3	20.86	27.70	0.9998
	4	12.80	29.64	0.9999
	5	9.17	33.14	1.0000
100/3/3/10000	1	1.68	71.18	1.0000
	2	7.41	37.11	1.0000
	3	21.08	28.00	0.9998
	4	13.28	29.38	0.9999
	5	7.96	33.34	1.0000
100/10/10/10000	1	1.76	71.56	1.0000
	2	7.32	37.04	1.0000
	3	16.62	28.65	0.9998
	4	13.18	29.39	0.9999
	5	7.45	33.94	1.0000

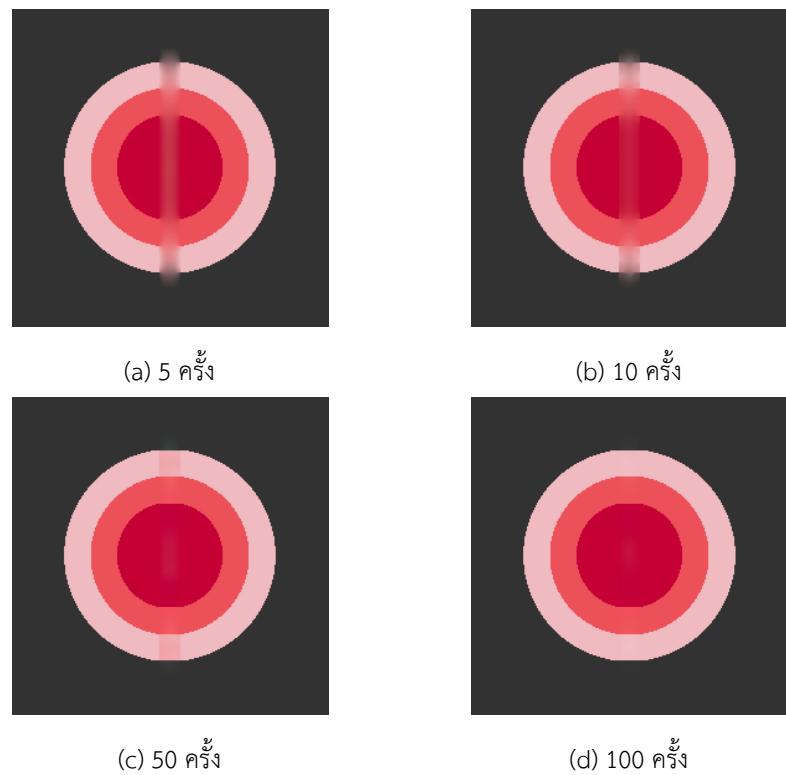
ตารางที่ 4.5: ผลการซ่อมแซมภาพโดยวิธีการเชิงตัวเลขที่นำเสนอ

รูปแบบการทำข้าว	เวลาประมาณ (วินาที)	PSNR (dB)	SSIM
ไม่ใช้พิระมิดรูปภาพ	17.38	39.42	0.9999
10/1/1/10000	13.52	39.38	0.9999
10/3/3/10000	11.86	39.54	0.9999
10/10/10/10000	9.26	40.17	0.9999
100/1/1/10000	10.28	39.04	0.9999
100/3/3/10000	10.28	39.80	0.9999
100/10/10/10000	9.27	40.12	0.9999

ตารางที่ 4.6: ผลการซ่อมแซมภาพโดยวิธีการเชิงตัวเลขที่นำเสนอด้วยรูปของค่าเฉลี่ยของผลที่ได้จากตารางที่ 4.5

จากตารางที่ 4.6 สังเกตว่า ยิ่งจำนวนการทำข้าวในชั้นที่รูปภาพมีขนาดเล็กจำนวนมากครั้ง จะยิ่งทำให้เวลาประมาณผลที่ใช้ในการต่อเติมภาพใช้เวลาน้อยลง

นอกจากนี้แล้ว ผู้วิจัยยังได้สังเกตอีกว่า การทำข้าว จะสูญเสียเร็วในช่วงแรก งานนั้นความเร็วในการถูเข้าจะลดลง ซึ่งทำให้การทำข้าวเพียงไม่กี่ครั้งในระดับความคมชัดเดิม มีผลการซ่อมแซมภาพจนแสดงความคล้ายคลึงกับภาพต้นฉบับได้



รูปที่ 4.1.7: พิริมิดที่ลำดับการทำข้าเป็น 10/10/10 และที่ระดับความคมชัดละเอียดสุดใช้จำนวนการทำข้าที่ต่างกัน

ผู้วิจัยจึงกำหนดให้การทำข้าในระดับความละเอียดสุดเท่ากับ 10 ครั้ง และพบว่าได้ผลการซ่อมแซมดังตารางที่ 4.7

รูปแบบการทำข้าว ไม่ใช้พรมีดรูปภาพ	รูปภาพ	เวลาประมาณ (วินาที)	PSNR (dB)	SSIM
10/1/1/10	1	0.30	26.71	0.9998
	2	0.39	18.39	0.9982
	3	0.38	13.66	0.9944
	4	0.40	12.86	0.9934
	5	0.38	14.69	0.9956
10/3/3/10	1	0.29	40.10	1.0000
	2	0.41	31.28	0.9999
	3	0.46	16.51	0.9970
	4	0.47	26.56	0.9998
	5	0.39	28.25	0.9998
10/10/10/10	1	0.28	42.53	1.0000
	2	0.36	32.91	1.0000
	3	0.35	16.88	0.9972
	4	0.34	27.06	0.9998
	5	0.34	29.76	0.9999
100/1/1/10	1	0.31	50.06	1.0000
	2	0.41	34.01	1.0000
	3	0.38	18.19	0.9980
	4	0.39	27.50	0.9998
	5	0.40	33.05	1.0000
100/3/3/10	1	0.27	43.97	1.0000
	2	0.37	31.28	0.9999
	3	0.36	24.98	0.9997
	4	0.36	28.05	0.9998
	5	0.36	29.24	0.9999
100/10/10/10	1	0.29	45.08	1.0000
	2	0.36	32.36	0.9999
	3	0.40	24.35	0.9996
	4	0.38	27.88	0.9998
	5	0.37	30.28	0.9999

รูปแบบการทำข้า	เวลาประมาณ (วินาที)	PSNR (dB)	SSIM
ไม่ใช้ฟิลเตอร์รูปภาพ	0.37	17.26	0.9963
10/1/1/10	0.40	28.54	0.9993
10/3/3/10	0.33	29.83	0.9994
10/10/10/10	0.38	32.56	0.9995
100/1/1/10	0.34	31.50	0.9999
100/3/3/10	0.36	31.99	0.9999
100/10/10/10	0.38	33.39	0.9998

ตารางที่ 4.8: ผลการซ่อมแซมภาพโดยวิธีการเชิงตัวเลขที่นำเสนอด้วยรูปของค่าเฉลี่ยของผลที่ได้จากตารางที่ 4.7

จากตารางจะเห็นว่า การทำข้าในขั้นที่รูปภาพมีขนาดเด็กมากจำนวนนวนมาก ไม่ช่วยให้การประมวลผลได้เร็วขึ้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้การทำข้าแบบ 10/3/3/10 ในการต่อเติมภาพ

4.1.3 การทดสอบประสิทธิภาพในการซ่อมแซมภาพจิตรกรรมไทยโบราณ

ภาพจิตรกรรมที่ใช้ทดสอบ มีทั้งสิ้น 5 ภาพ โดยแต่ละภาพเป็นภาพสีที่มีขนาด 256x256 พิกเซล ซึ่งทั้ง 5 ภาพได้แก่ ภาพที่ 4.1.8a¹ และภาพที่ 4.1.8b² คือ จิตรกรรมฝาผนังวัดแก้วไพฐรย์ ภาพที่ 4.1.8c³ คือ จิตรกรรมฝาผนังวัดพระยืนพุทธบาทใหญ่ ภาพที่ 4.1.8d⁴ คือ จิตรกรรมฝาผนังวัดคงคaram และภาพที่ 4.1.8e⁵ คือ จิตรกรรมฝาผนังวัดท่าถนน โดยจะทำให้ข้อมูลข้างทั้ง 5 ภาพเกิดความเสียหาย โดยใช้ร้อยความเสียหายจากภาพพระเจ้าสร้างอดัม

¹ภาพถ่ายที่วัดแก้วไพฐรย์; ภาพจาก [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:จิตรกรรมฝาผนัง_วัดแก้วไพฐรย์_\(7\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:จิตรกรรมฝาผนัง_วัดแก้วไพฐรย์_(7).jpg) สืบคันเมื่อวันที่ 23 กันยายน 2561

²ภาพถ่ายที่วัดแก้วไพฐรย์; ภาพจาก [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:จิตรกรรมฝาผนัง_วัดแก้วไพฐรย์_\(2\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:จิตรกรรมฝาผนัง_วัดแก้วไพฐรย์_(2).jpg) สืบคันเมื่อวันที่ 23 กันยายน 2561

³ภาพถ่ายที่วัดพระยืนพุทธบาทใหญ่; ภาพจาก https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wat_Phra_Yuen_Phutthabat_Yukhon_01.jpg สืบคันเมื่อวันที่ 23 กันยายน 2561

⁴ภาพถ่ายที่วัดคงคaram; ภาพจาก https://commons.wikimedia.org/wiki/File:จิตรกรรม_อุโบสถวัดคงคaram.JPG สืบคันเมื่อวันที่ 23 กันยายน 2561

⁵ภาพถ่ายที่วัดท่าถนน; ภาพจาก https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wat_Tha_Thanon_05.JPG สืบคันเมื่อวันที่ 23 กันยายน 2561



รูปที่ 4.1.8: ภาพต้นฉบับสำหรับใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 4.1.9: ภาพที่ทำให้เสียหาย

จากนั้นทำการทดสอบการต่อเติมภาพทั้ง 5 โดยทดสอบวิธีสปริทเบรกเม็น และวิธีที่พัฒนาขึ้นโดย

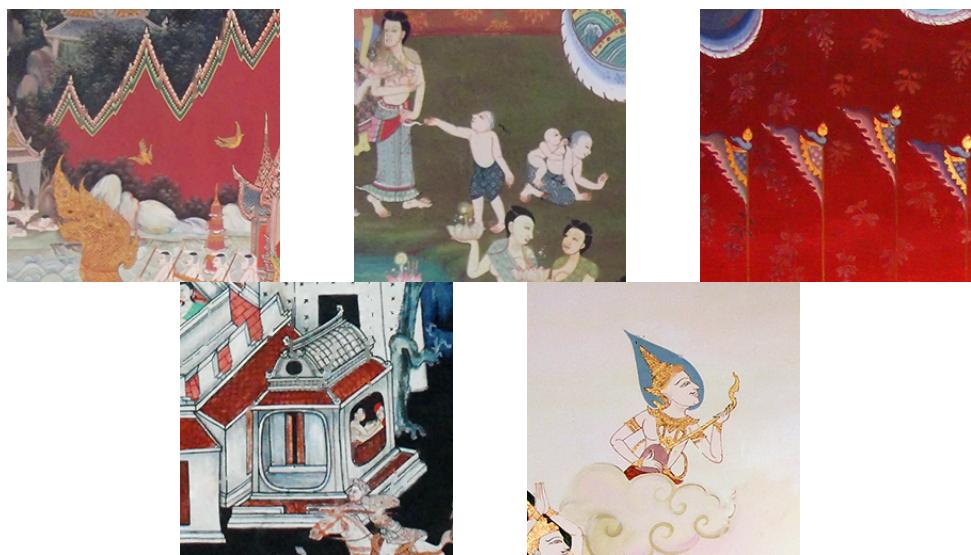
ใช้วิธีการสปีทเบรกแมนพร้อมทั้งการใช้พีระมิดรูปภาพที่มีการทำข้าแต่ละชั้นเป็น 10/3/3/10 ได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นดังนี้



รูปที่ 4.1.10: ผลการซ่อมแซมโดยวิธีการสปีทเบรกแมน

รูปภาพ	เวลาประมาณ (วินาที)	PSNR (dB)	SSIM
1	2.95	33.92	1.0000
2	2.64	37.33	1.0000
3	3.49	37.21	1.0000
4	2.70	29.47	1.0000
5	15.85	32.78	1.0000
เฉลี่ย	2.72	34.89	1.0000

ตารางที่ 4.9: ผลการซ่อมแซมภาพศิลปะไทยจากการวิธีการสปีทเบรกแมน



รูปที่ 4.1.11: ผลการซ่อมแซมภาพโดยวิธีการเชิงตัวเลขที่พัฒนาขึ้น

รูปภาพ	เวลาประมาณ (วินาที)	PSNR (dB)	SSIM
1	0.40	34.13	1.0000
2	0.40	38.18	1.0000
3	0.39	37.73	1.0000
4	0.38	29.38	1.0000
5	0.39	37.11	1.0000
เฉลี่ย	0.39	35.30	1.0000

ตารางที่ 4.10: ผลการซ่อมแซมภาพศิลปะไทยโดยวิธีการเชิงตัวเลขที่พัฒนาขึ้น

ทั้งสองวิธี ได้ผลลัพธ์การซ่อมแซมภาพศิลปะไทยในรูปค่าเฉลี่ยอยู่มาดังนี้

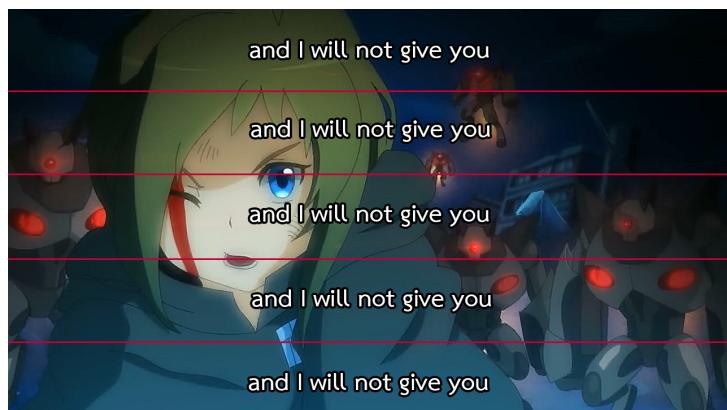
วิธีการ	เวลาประมาณ (วินาที)	PSNR (dB)	SSIM
สปริงเบรกเมน	2.72	34.89	1.0000
วิธีการที่พัฒนาขึ้น	0.39	35.30	1.0000

ตารางที่ 4.11: แสดงผลการซ่อมแซมภาพศิลปะไทยในรูปค่าเฉลี่ยจากตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.10

จากตารางที่ 4.11 จะเห็นได้ว่า วิธีที่พัฒนาขึ้นนั้นสามารถทำงานได้เร็วกว่าวิธีสปริทเบรกเมนเดิม และยังมีคุณภาพที่ดีขึ้นด้วย

4.2 การลับบทบรรยายบนอนิเมะ

สำหรับการลับบทบรรยายอนิเมะ จะใช้วิดีโอ Anime Festival Asia Special Video - feat. Inori Aizawa ซึ่งผลิตโดย Collateral Damage Studios โดยจะตัดวิดีโอด้วยตัวเองจากโดยปกติแล้ว อนิเมะมีบรรทัดเพียง 1 ถึง 2 บรรทัด จึงทำการแบ่งวิดีโอออกอีกเป็น 5 ส่วนได้ขนาดเป็น 1280×144 พิกเซลก่อนนำไปทดสอบในลำดับถัดไป และสำหรับบทบรรยายที่จะใช้ทดสอบนั้น เนื่องจากวิดีโอ Anime Festival Asia Special Video - feat. Inori Aizawa ไม่มีคำพูดใดๆ จึงใช้ข้อความ *lorem ipsum* เป็นบทบรรยาย โดยจะทำการแสดงบทบรรยาย 1 บรรทัด ความยาว 3 วินาที ทุก 2 วินาที นั่นคือในวิดีโอดังกล่าวจะมีบทบรรยายทั้งสิ้น 20 บรรทัด



รูปที่ 4.2.1: การแบ่งไฟล์วิดีโอเป็น 5 ส่วนสำหรับใช้เป็น 5 ชุดทดสอบ

เนื่องจากไฟล์วิดีโอนั้นประกอบด้วยชุดของภาพหลายภาพ กล่าวคือ $V = \{u_i | i = 1, 2, 3 \dots N_f\}$ ทำให้ขั้นตอนวิธีการลับคำบรรยายออกจากวิดีโอด้วยตัวเอง จึงต้องทำการต่อเติมบริเวณที่เป็นบทบรรยายทีละภาพ ดังที่แสดงในขั้นตอนวิธีต่อไปนี้

Algorithm 3: วิธีการลบบทบรรยายจากวิดีโอ

```

 $V \leftarrow \text{SubtitleRemove}(V)$ 
for  $i = 1, 2, \dots N_f$  do
    • หาโดเมนต่อเติม  $D$  จากเฟรม  $u_i$  ซึ่งเป็นภาพที่  $i$  ของวิดีโอ  $V$ 
    • ต่อเติมเฟรม  $u_i$  โดยใช้โดเมนต่อเติม  $D$ 
end

```

โดยขั้นตอนการต่อเติมภาพ u_i ด้วยโดเมนต่อเติม D นั้นจะสามารถใช้วิธีการเดียวกับการซ่อมแซมภาพศิลปะไทยได้ ส่วนการหาบทบรรยายอนิเมะ จะกล่าวถึงในหัวข้ออย่าง

4.2.1 การหาบทบรรยายบนอนิเมะ

ก่อนจะลบทบทบรรยายนั้น จำเป็นต้องหาบทบรรยายในภาพให้ได้เสียก่อน โดยบทบรรยายของอนิเมะนั้น มักจะใช้ขอบของตัวอักษรเป็นสีดำ อีกทั้งบทบรรยายนั้นจะลอยห่างออกจากขอบของวิดีโอ และขนาดของคำบรรยายนั้นจะมีขนาดอยู่ประมาณหนึ่งไม่ใหญ่หรือไม่เล็กเกินไป ด้วยสมบัตินี้เองทำให้จึงสามารถหาบริเวณบนเฟรมที่เป็นบทบรรยายได้โดยจะมีวิธีหาพื้นที่ซึ่งเป็นบทบรรยายดังนี้

Algorithm 4: Finding subtitle

```

 $D \leftarrow \text{findsub}(\mathbf{u})$ 
• ทำการเปลี่ยนสีดำในภาพ  $\mathbf{u}$  ให้เป็นสีขาวแล้วเปลี่ยนอีกครั้ง ให้เป็นสีดำเพื่อหาขอบของคำ
    บรรยาย
• เปลี่ยนบริเวณสีขาวในภาพให้เป็นสีดำ และเปลี่ยนบริเวณสีดำให้เป็นสีขาว
• ทำการลบบริเวณสีขาวซึ่งติดกับขอบของภาพออกไป เนื่องจากบทบรรยายจะลอยอยู่ไม่ติดกับ
    ขอบเสมอ
• ลบบริเวณที่ใหญ่เกินกว่าจะเป็นบทบรรยาย
• ลบบริเวณที่เล็กเกินกว่าจะเป็นบทบรรยาย
• ทำการขยายพื้นที่ๆ เป็นสีขาวขึ้นด้วยความกว้างของขอบบทบรรยาย
• สีขาวที่เหลืออยู่ในภาพจะเป็นบทบรรยาย

```

วิธีการหาทบทรรยายนี้กล่าวไปข้างต้น จะทำการทดสอบกับบทความ *lorem ipsum*⁶ ที่ถูกแปลเป็นภาษาไทย ภาษาอังกฤษ และภาษาญี่ปุ่น โดยมีความสามารถในการหาโดยเมนต่อเติมในบทบรรยายภาษาต่างๆ ดังนี้

ภาษา	วีดีโอ	จำนวนพิกเซลในโดยเมน	จำนวนพิกเซลที่ตรวจสอบ	จำนวนพิกเซลที่ผิดพลาด	ร้อยละการผิดพลาด
ไทย	1	23,190,522	24,044,004	2,108,772	9.09
	2	23,232,287	24,026,820	2,204,025	9.49
	3	23,189,082	24,300,589	2,081,340	8.98
	4	23,277,706	23,796,276	2,126,004	9.13
	5	23,221,502	24,247,935	2,185,864	9.41
อังกฤษ	1	27,281,185	28,631,063	3,477,960	12.75
	2	27,269,671	28,513,248	3,514,859	12.89
	3	27,325,148	28,611,300	3,815,082	13.96
	4	27,191,136	28,527,105	3,854,121	14.17
	5	27,326,584	28,709,405	3,909,582	14.31
ญี่ปุ่น	1	28,509,908	30,058,101	3,953,067	13.87
	2	28,534,363	30,023,923	3,565,609	12.50
	3	28,537,968	30,015,047	3,553,128	12.45
	4	28,579,778	30,065,985	3,961,319	13.86
	5	28,558,848	30,354,275	3,671,730	12.86

ตารางที่ 4.12: ความคลาดเคลื่อนของการหาโดยเมนต่อเติม ในบทบรรยายภาษาต่างๆ

ภาษา	จำนวนพิกเซลในโดยเมน	จำนวนพิกเซลที่ตรวจสอบ	จำนวนพิกเซลที่ผิดพลาด	ร้อยละการผิดพลาด
ไทย	23,222,220	24,083,125	2,141,201	9.22
อังกฤษ	27,278,745	28,598,424	3,714,321	13.62
ญี่ปุ่น	28,544,173	30,103,466	3,740,971	13.11

ตารางที่ 4.13: ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการหาโดยเมนต่อเติม ในบทบรรยายภาษาต่างๆ

จากการทดลองทั้ง 3 ภาษาพบว่าวิธีการหาคำบรรยายนี้ มีร้อยละการผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 11.98 ซึ่งการทดลองจากนี้ไปจะใช้วิธีการหาคำบรรยายนี้ในการหาโดยเมนต่อเติมแบบอัตโนมัติ

⁶Cicero, De finibus bonorum et malorum; เข้าถึงได้ทาง https://en.wikipedia.org/wiki/Lorem_ipsum สืบคันเมื่อวันที่ 23 ตุลาคม 2561

4.2.2 การลบคำบรรยายจากบทอนิเมะ

สำหรับอนิเมะนั้น แต่ละเฟรมจะเป็นรูปภาพ เราจึงสามารถประยุกต์ใช้วิธีการซ่อนแซมภาพจิตรกรรมไทยมาใช้ในการลบคำบรรยายได้ แต่ผู้วิจัยก็ได้สังเกตว่า สำหรับอนิเมะที่เป็นวิดีโอแล้ว ในขณะที่ประมวลผลวิดีโอ เราสามารถใช้ผลการต่อเติมภาพจากภาพที่แล้ว มาใช้เป็นคำตอบเริ่มต้นจึงได้ว่าขั้นตอนการลบบทบรรยายออกจากวิดีโอมีดังนี้

Algorithm 5: วิธีการทำงานบนวิดีโอ เมื่อต้องการผลลัพธ์จากการลบคำบรรยาย

```

 $V \leftarrow RemoveSubtitle(V)$ 
initialize  $i = 1$ 
while  $i < N_f - 1$  do
     $\mathbf{u}_i$  คือเฟรมที่  $i$  ใน  $V$ 
     $\mathbf{u}_{i+1}$  คือเฟรมที่  $i + 1$  ใน  $V$ 
     $D$  คือโดเมนต่อเติมใน  $\mathbf{u}_{i+1}$ 
     $\mathbf{u}_{i+1} = RemoveByBorrowFrame(\mathbf{u}_i, D, \mathbf{u}_{i+1})$ 
end

```

$RemoveByBorrowFrame(\mathbf{u}_i, D, \mathbf{u}_{i+1})$ คือขั้นตอนวิธีที่ 6 ซึ่งในทำนองเดียวกันเราสามารถเปลี่ยน $RemoveByBorrowFrame(u_i, D, u_{i+1})$ เป็น $RemoveBySkipFrame(u_i, D, u_{i+1})$ เพื่อใช้กับขั้นตอนวิธี 7 และเปลี่ยนเป็น $RemoveBySkipAndBorrowFrame(u_i, D, u_{i+1})$ เพื่อใช้กับขั้นตอนวิธี 8 ได้

ขั้นตอนวิธี การยึมเฟรม จะเป็นการนำผลลัพธ์จากเฟรมก่อนหน้ามาเป็นคำตอบในการเริ่มต้นในการประมวลผลเพื่อให้ผลลัพธ์ลุ้นเข้าได้เร็วขึ้น

Algorithm 6: การลบบทบรรยายโดยใช้วิธีการยึมเฟรม

```

 $v \leftarrow RemoveByBorrowFrame(u, D, v)$ 
 $s =$  ค่า SSIM ระหว่าง  $u$  และ  $v$  บริเวณนอกโดเมนต่อเติม
if  $s > 0.9$  then
    คัดลอกบริเวณในโดเมนต่อเติมจาก  $u$  ไปยัง  $v$ 
end
 $v = MultiSplitBregmanColor(v, \lambda, \theta, N_{gs}, N_0, N_1, N_2, \varepsilon, 1, m)$ 

```

ขั้นตอนวิธี การข้ามเฟรม สำหรับเฟรมใดที่ผลลัพธ์ใกล้เคียงกันมาก จะทำการข้ามการต่อเติมภาพในเฟรมนั้นไปโดยใช้คำตอบจากเฟรมก่อนหน้าแทนเพื่อลดเวลาการประมวลผล

Algorithm 7: การลบบทบรรยายโดยใช้วิธีการข้ามเฟรม

```

 $v, \leftarrow RemoveBySkipFrame(u, D, v)$ 
 $s =$  ค่า SSIM ระหว่าง  $u$  และ  $v$  บริเวณนอกโดเมนต่อเติม
if  $s > 0.95$  then
    คัดลอกบริเวณในโดเมนต่อเติมจาก  $u$  ไปยัง  $v$ 
else
     $v = MultiSplitBregmanColor(v, \lambda, \theta, N_{gs}, N_0, N_1, N_2, \varepsilon, 1, m)$ 
end

```

ขั้นตอนวิธี การข้ามและยึมเฟรม คือขั้นตอนวิธี 6 และขั้นตอนวิธี 7 ที่นำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกัน

Algorithm 8: การลบบทบรรยายโดยใช้วิธีการข้ามเฟรมและยึมเฟรม

```

 $v \leftarrow RemoveBySkipAndBorrowFrame(u, D, v)$ 
 $s =$  ค่า SSIM ระหว่าง  $u$  และ  $v$  บริเวณนอกโดเมนต่อเติม
if  $s > 0.95$  then
    คัดลอกบริเวณในโดเมนต่อเติมจาก  $u$  ไปยัง  $v$ 
else if  $s > 0.9$  then
    คัดลอกบริเวณในโดเมนต่อเติมจาก  $u$  ไปยัง  $v$ 
     $v = MultiSplitBregmanColor(v, \lambda, \theta, N_{gs}, N_0, N_1, N_2, \varepsilon, 1, m)$ 
else
     $v = MultiSplitBregmanColor(v, \lambda, \theta, N_{gs}, N_0, N_1, N_2, \varepsilon, 1, m)$ 
end

```

ซึ่งผลลัพธ์เปรียบเทียบระหว่างแบบใช้วิธี ยีมเฟรม ใช้วิธีข้ามเฟรม และวิธีข้ามและยีมเฟรม ได้ผลดังตาราง

วิธีการ	วิดีโอ	เวลาประมาณ (วินาที)	PSNR (dB)	SSIM
สปริทเบรกแม่น และพีระมิดรูปภาพ (ขั้นตอนวิธี 1)	1	130.03	32.19	0.9528
	2	135.17	29.98	0.9488
	3	142.11	30.54	0.9485
	4	151.42	30.79	0.9494
	5	147.70	33.48	0.9556
ยีมเฟรม (ขั้นตอนวิธี 6)	1	127.77	33.13	0.9701
	2	137.54	30.21	0.9590
	3	124.71	31.43	0.9620
	4	136.71	31.66	0.9614
	5	137.16	34.56	0.9748
ข้ามเฟรม (ขั้นตอนวิธี 7)	1	104.55	27.10	0.9429
	2	78.07	27.17	0.9351
	3	73.35	29.21	0.9393
	4	116.20	29.91	0.9423
	5	74.28	31.95	0.9442
ข้ามและยีมเฟรม (ขั้นตอนวิธี 8)	1	68.11	27.24	0.9424
	2	73.91	27.22	0.9386
	3	77.34	29.36	0.9437
	4	81.98	30.35	0.9483
	5	77.45	32.46	0.9540

ตารางที่ 4.14: ผลการลับบทบรรยายออกจากอนิเมะด้วยวิธีการเชิงตัวเลขขั้นตอนวิธี 1, 6, 7 และ 8

วิธีการ	เวลาประมาณ (วินาที)	PSNR (dB)	SSIM
สปริทเบรกเมนและพิรษมิตรูปภาพ	141.29	31.39	0.9510
ยีมเฟรม	132.78	32.20	0.9655
ข้ามเฟรม	89.29	29.07	0.9408
ยีมเฟรมและข้ามเฟรม	75.76	29.33	0.9454

ตารางที่ 4.15: ผลการซ่อมแซมภาพโดยวิธีการเชิงตัวเลขที่นำเสนอในรูปของค่าเฉลี่ยของผลที่ได้จากตารางที่ 4.14

จากนั้นทำการทดสอบการต่อเติมวิดีโอห้อง 5 โดยวิธีที่คิดค้นขึ้นใช้วิธีการสปริทเบรกเมนพร้อมทั้งการใช้พิรษมิตรูปภาพที่มีการทำซ้ำแต่ละชั้นเป็น 10/3/3/10 พร้อมทั้งใช้การข้ามเฟรมและยีมเฟรม ได้ผลลัพธ์ออกเป็นดังตารางนี้

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

ตารางที่ 4.16: ผลการลบบทบรรยายออกจากอนิเมะโดยวิธีการสปริทเบรกเมนและวิธีการที่พัฒนาขึ้น

สำหรับวิธีสปริทเบรกเมน เนื่องจากใช้เวลา 1 ชั่วโมงแล้วยังประมาณผลวิดีโอดูทดสอบแรกไม่เสร็จ ทางผู้พัฒนาจึงตัดสินใจยุติการทดลอง เนื่องจากอาจต้องใช้เวลาการประมาณผลเป็นเวลาหลายชั่วโมงสำหรับวิดีโอด้วยความยาว 1 นาที ส่วนวิธีที่คิดค้นขึ้น พบว่าสำหรับวิดีโอด้วยความยาว 1 นาที สามารถทำงานได้เสร็จอย่างรวดเร็วโดยใช้เวลาเพียง 75 วินาที

บทที่ 5

สรุป

สำหรับโครงงานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาขั้นตอนวิธีเชิงตัวเลขสำหรับการซ่อมแซมภาพศิลปะไทยและการลบบบทรอยยานนิเมะได้มีผลการดำเนินงานทั้งสิ้นดังนี้

ขั้นตอนวิธีเชิงตัวเลขทั้ง 3 วิธีสำหรับแก้ตัวแบบการต่อเติมภาพด้วยการแปรผันรวม ได้แก่วิธีเดินเวลาแบบชัดแจ้ง วิธีทำข้าจุดตรึง และวิธีการสปริทเบรกแม่น พบว่า วิธีการสปริทเบรกแม่นมีคุณภาพที่ดีกว่าเมื่อวัดด้วยค่า PSNR และ SSIM ส่วนเวลาที่ใช้ประมวลผลพบว่าวิธีสปริทเบรกแม่นใช้เวลาห้อยกว่าวิธีเดินเวลา 8 เท่าและใช้เวลาน้อยกว่าวิธีทำข้าจุดตรึง 5 เท่า

พิริมิดรูปภาพใช้เพื่อเพิ่มความเร็วในการประมวลผลของวิธีการสปริทเบรกแม่น พบร่วมกับการทำข้าบนพิริมิดรูปภาพด้วยการทำข้า 10/3/3/10 ใช้เวลาประมวลผลน้อยที่สุดและให้ค่าคุณภาพทั้งในด้าน PSNR และ SSIM ใกล้เคียงกันอีกซึ่งเลือกใช้พิริมิดรูปภาพนี้ในการซ่อมแซมรูปภาพ

การซ่อมแซมภาพศิลปะไทย การใช้วิธีการสปริทเบรกแม่นพร้อมทั้งการใช้พิริมิดรูปภาพ พบร่วมกับที่ผ่านการต่อเติมให้คุณภาพดีกว่าเมื่อวัดด้วย PSNR และใช้เวลาห้อยกว่าประมาณ 7 เท่า

ขั้นตอนวิธีค้นหาคำบรรยายในภาพด้วยวิธีการที่คิดค้นขึ้น (ขั้นตอนวิธี 4) พบร่วมกับความผิดพลาดใน การตรวจหาพิกเซลที่เป็นบทรอยยานนิเมะอยู่ที่ร้อยละ 11.98 ซึ่งจะใช้ขั้นตอนวิธีนี้ในการหาคำบรรยายเพื่อทำการลบถัดไป

เนื่องจากวิดีโอดีบีนชุดของภาพค่อนข้างวัยจึงได้เสนอขั้นตอนวิธีข้ามเฟรม (ขั้นตอนวิธี 6) ขั้นตอนวิธี ยึดเฟรม (ขั้นตอนวิธี 7) และขั้นตอนวิธียึดเฟรมและข้ามเฟรม (ขั้นตอนวิธี ?? เพื่อช่วยในการลดเวลาการประมวลผล พบร่วงกว่าวิธียึดเฟรมและข้ามเฟรมใช้เวลาประมวลผลน้อยสุด ซึ่งใช้เวลาห้อยกว่าวิธีสปริทเบรกแม่นและพิริมิดรูปภาพ บนวิดีโอดีบีน 2 เท่า

สำหรับการลับบทบรรยายอนิเมะเมื่อใช้วิธีตรวจหาคำบรรยายที่คิดขึ้นพร้อมทั้งใช้วิธีการเดียวกับที่ใช้สำหรับซ่อมแซมศิลปะไทย รวมกับการวิธีการขึ้นเฟรมและข้ามเฟรม พบว่าใช้เวลาอยกว่าวิธีการสปริทเบรก แนะนำบันวิดีโอ 67 เท่า

បរណានុករម

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] C.R. Vogel and M.E. Oman,“Iterative methods for total variation denoising”, SIAM Journal on Scientific Computing. vol. 17, pp. 227-238, 1996.
- [4] 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.
- [5] E.H. Andelson and C.H. Anderson and J.R. Bergen and P.J. Burt and J.M. Ogden. ”Pyramid methods in image processing”. 1984
- [6] David Salomon. Data Compression: The Complete Reference (4 ed.). Springer. pp. 281. 2007.
- [7] Zhou Wang, Alan Conrad Bovik, Hamid Rahim Sheikh and Eero P. Simoncelli, ”Image quality assessment: from error visibility to structural similarity,” in IEEE Transactions on Image Processing, vol. 13, no. 4, pp. 600-612, 2004.