

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาเทคนิคการซ้อนภาพจากภาพถ่ายฉากหลังธรรมชาติ Development of a Digital Matting Technique for Images with Natural Backgrounds

ผู้วิจัย

รศ. ดร. นพพร โชติกกำธร

นายชัยพิชิต คำพิมพ์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2550

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายละเอียดของโครงการวิจัย

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การพัฒนาเทคนิคการซ้อนภาพจากภาพถ่ายฉากหลังธรรมชาติ.....

ชื่อโครงการ(ภาษาอังกฤษ)....Development of a Digital Matting Technique for Images with
Natural Backgrounds.

แหล่งเงิน...เงินรายได้ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สจล.

ประจำปีงบประมาณ 2550.....จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 100,000...บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 2 ปี..... ตั้งแต่...ตุลาคม 2549 ถึง...กันยายน 2551

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัยพร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัดและ อีเมล

1. รศ.ดร. นพพร โชติภักดิ์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สจล.
email:nopporn@it.kmitl.ac.th
2. นายชัยพิชิต คำพิมพ์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สจล.

คำสำคัญ (Keywords): digital matting, image processing, computer graphics

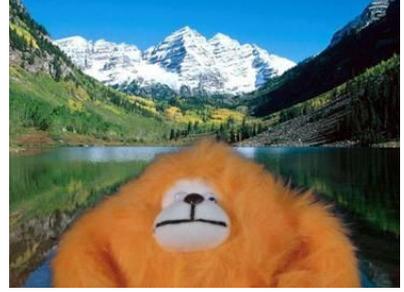
บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้นำเสนอผลการศึกษาและเทคนิคการซ้อนภาพของวัตถุกับฉากหลัง ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงฉากหลังของวัตถุในภาพที่ถ่ายโดยการแทนที่ฉากหลังเดิมในภาพด้วยภาพฉากหลังใหม่ โดยอาศัยค่าความโปร่งแสงบริเวณรอยต่อระหว่างวัตถุกับฉากหลังในการประสานภาพวัตถุกับฉากหลังให้มีความกลมกลืนกัน งานวิจัยของซุงได้ใช้ทฤษฎีของเบย์มาคำนวณหาค่าความโปร่งแสง สีของวัตถุและฉากหลัง โดยกำหนดให้ค่าสีของพิกเซลเกิดจากสององค์ประกอบคือการผสมกันระหว่างค่าสีของวัตถุและฉากหลัง และมีค่าความโปร่งแสงควบคุมสัดส่วนการผสมกัน ส่วนองค์ประกอบที่สองคือค่าความผิดพลาดของกล้อง คุณภาพของภาพที่ได้จากงานวิจัยนี้จะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดค่าความผิดพลาดของกล้อง ซึ่งค่าความผิดพลาดที่ให้ผลดีที่สุดในแต่ละภาพจะไม่เท่ากัน จึงเป็นข้อเสียที่จะต้องเลือกค่าความผิดพลาดของกล้องที่เหมาะสมมาใช้ ในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการซ้อนภาพโดยใช้ทฤษฎีของเบย์ในการคำนวณหาค่าสีของวัตถุ หากแต่ไม่จำเป็นต้องมีองค์ประกอบของค่าความผิดพลาดของกล้อง และได้ทำการพัฒนาอัลกอริทึมในการแก้สมการเพื่อหาค่าสีวัตถุ สีฉากหลัง และค่าความโปร่งแสง จากผลการทดลองพบว่า ค่าความโปร่งแสงที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกับวิธีการเดิมของซุง โดยคุณภาพของภาพที่ได้เมื่อนำค่าความโปร่งแสงและสีของวัตถุที่คำนวณได้ไปซ้อนทับกับฉากหลังภาพใหม่ให้ผลไม่แตกต่างจากวิธีการของซุง แต่อัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นช่วยลดความซับซ้อนของการคำนวณได้น้อยกว่าวิธีการของซุง

Abstract

This report describes results from the study of image composition techniques used to replace an object's background in the first image with a new background image. Recent methods use alpha channel values to improve blending quality between a foreground object and a new background. A method proposed by Chuang used Bayesian's theory for estimating alpha channel values, foreground and background colors. The method models the colors of each pixel as composed of two parts. The first part is the combining of foreground color and background color. The combining ratio is controlled by alpha channel. The second part is camera noise. The quality of the image from this method depends on the value of camera noise parameter. The drawback of this method is that the appropriate camera noise is varies from one image of another. Thus, it is difficult to choose the appropriate value. Thus, in this thesis we presented a new digital matting technique that uses Bayesian's theory for estimating foreground color. In this research, the color of each pixel is modeled as composed of foreground color and background color. The composition of foreground and background is controlled by the alpha channel. The result from the experiment shows that the proposed method gives similar alpha channel values to those obtained by Chuang's method. The quality of image when composited with new natural background is not different from Chuang's method. However, the proposed method reduces the computational complexity of Chuang's method.

รูปภาพผลงานวิจัยตัวอย่างการเปลี่ยนฉากหลังธรรมชาติ

ลำดับที่	ภาพของฉากแบบธรรมชาติ	ลำดับที่	ภาพของความโปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุซ้อนทับกับฉากหลัง
1		5	
2		6	
3		7	
4		8	

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2550
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
รายละเอียดโครงการวิจัย	I
บทคัดย่อภาษาไทย	II
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
รูปภาพผลงานวิจัย	IV
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญตาราง	IX
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ประวัติความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ขอบเขตโครงการวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนของการศึกษา	2
1.5 แผนการดำเนินงานโครงการวิจัย	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เทคนิคการซ้อนภาพฉากหลังแบบบลูสกรีน (Blue Screen Matting)	3
บทที่ 3 เทคนิคการซ้อนภาพจากภาพถ่ายฉากหลังธรรมชาติ	
3.1 วิธีการคำนวณหาค่าสีวัตถุและความโปร่งแสง (Alpha)	5
3.2 การวิเคราะห์ความซับซ้อนในการคำนวณของอัลกอริธึม	10
บทที่ 4 การเตรียมการทดลอง	
4.1 การสร้างและเตรียมภาพเพื่อการทดลอง	14
บทที่ 5 ผลการทดลอง	
5.1 การทดลองกับภาพฉากหลังที่สร้างขึ้น	28
5.2 การทดลองกับภาพฉากหลังธรรมชาติ	35
5.3 การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริธึมกับวิธีการของชุง	45
บทที่ 6 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ	
6.1 สรุปผลการดำเนินงาน	48
6.2 ข้อเสนอแนะ	48
บรรณานุกรม	49

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 1.1	แผนการดำเนินงาน	2
ตารางที่ 3.1	ตารางแสดงค่าของ Operation Count ของวิธีการของซุง	11
ตารางที่ 3.2	ตารางแสดงค่าของ Operation Count ของวิธีการของงานวิจัยนี้	12
ตารางที่ 4.1	ภาพค่าความโปร่งแสงและสีของวัตถุ	14
ตารางที่ 4.2	ภาพค่าความโปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุซ้อนทับกับฉากหลังที่สร้างขึ้น	16
ตารางที่ 4.3	ภาพฉากหลังแบบธรรมชาติ	18
ตารางที่ 4.4	ภาพค่าความโปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุซ้อนทับรูปที่ 2 ทับกับฉากหลังแบบธรรมชาติ	20
ตารางที่ 4.5	ภาพค่าความโปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุซ้อนทับรูปที่ 3 กับฉากหลังแบบธรรมชาติ	22
ตารางที่ 4.6	ภาพค่าความโปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุซ้อนทับรูปที่ 4 กับฉากหลังแบบธรรมชาติ	24
ตารางที่ 4.7	ภาพค่าความโปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุซ้อนทับรูปที่ 5 กับฉากหลังแบบธรรมชาติ	26
ตารางที่ 5.1	ค่าเฉลี่ยกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนรอบของการคำนวณที่เกิดการลู่เข้า	46
ตารางที่ 5.2	จำนวนพิทเชลที่ทำการคำนวณของทั้ง 2 วิธีการแล้วไม่เกิดการลู่เข้า	46

สารบัญญภาพ

หน้า

รูปที่ 3.1	แสดงให้เวกเตอร์ของสปีดวัตถุและฉากหลังใหม่	8
รูปที่ 5.1	ภาพการกำหนดบริเวณของวัตถุ ฉากหลัง และส่วนที่เกิดการซ้อนทับกัน	28
รูปที่ 5.2	กราฟแสดง $RMSE_{wf}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 1 ในตารางที่ 4.2	29
รูปที่ 5.3	กราฟแสดง $RMSE_{\alpha}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 1 ในตารางที่ 4.2	29
รูปที่ 5.4	กราฟแสดง $RMSE_{\alpha}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 1 ในตารางที่ 4.2	30
รูปที่ 5.5	กราฟแสดง $RMSE_{\alpha}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 2 ในตารางที่ 4.2	30
รูปที่ 5.6	กราฟแสดง $RMSE_{wf}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 3 ในตารางที่ 4.2	31
รูปที่ 5.7	กราฟแสดง $RMSE_{\alpha}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 3 ในตารางที่ 4.2	31
รูปที่ 5.8	กราฟแสดง $RMSE_{wf}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 4 ในตารางที่ 4.2	32
รูปที่ 5.9	กราฟแสดง $RMSE_{\alpha}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 4 ในตารางที่ 4.2	32
รูปที่ 5.10	กราฟแสดง $RMSE_{wf}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 5 ในตารางที่ 4.2	33
รูปที่ 5.11	กราฟแสดง $RMSE_{\alpha}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 5 ในตารางที่ 4.2	34
รูปที่ 5.12	กราฟแสดง $RMSE_{wf}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 6 ในตารางที่ 4.2	34
รูปที่ 5.13	กราฟแสดง $RMSE_{\alpha}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 6 ในตารางที่ 4.2	35
รูปที่ 5.14	ภาพการกำหนดบริเวณของวัตถุ ฉากหลัง และส่วนที่เกิดการซ้อนทับกัน	36
รูปที่ 5.15	การแบ่งบริเวณที่เกิดการซ้อนทับกันออกเป็นส่วนๆ	36
รูปที่ 5.16	การแบ่งบริเวณของวัตถุกับฉากหลังรอบส่วนที่เกิดการซ้อนทับกัน	37
รูปที่ 5.17	กราฟของ $RMSE_{wf}$ ของภาพวัตถุภาพที่ 2 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ	38
รูปที่ 5.18	กราฟของ $RMSE_{\alpha}$ ของภาพวัตถุภาพที่ 2 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ	39
รูปที่ 5.19	กราฟของ σ_c ของภาพวัตถุภาพที่ 2 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ	39
รูปที่ 5.20	กราฟของ $RMSE_{wf}$ ของภาพวัตถุภาพที่ 3 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ	40
รูปที่ 5.21	กราฟของ $RMSE_{\alpha}$ ของภาพวัตถุภาพที่ 3 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ	40
รูปที่ 5.22	กราฟของ σ_c ของภาพวัตถุภาพที่ 3 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ	41
รูปที่ 5.23	กราฟของ $RMSE_{wf}$ ของภาพวัตถุภาพที่ 4 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ	41
รูปที่ 5.24	กราฟของ $RMSE_{\alpha}$ ของภาพวัตถุภาพที่ 4 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ	42
รูปที่ 5.25	กราฟของ σ_c ของภาพวัตถุภาพที่ 4 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ	42
รูปที่ 5.26	กราฟของ $RMSE_{wf}$ ของภาพวัตถุภาพที่ 5 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ	43
รูปที่ 5.27	กราฟของ $RMSE_{\alpha}$ ของภาพวัตถุภาพที่ 5 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ	44
รูปที่ 5.28	กราฟของ σ_c ของภาพวัตถุภาพที่ 5 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ	44

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ประวัติความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตภาพยนตร์หรือสื่อโฆษณาทางโทรทัศน์ นิยมนำเอาวิธีการซ้อนภาพของวัตถุ (Foreground) กับภาพฉากหลัง (Background) มาใช้กันอย่างแพร่หลาย การซ้อนภาพแบบบลูสกรีน (Blue screen) เป็นวิธีการหนึ่งที่ยอมรับกัน โดยภาพของวัตถุที่จะนำไปซ้อนทับกับฉากหลังใหม่จะถูกถ่ายให้มีฉากหลังสีน้ำเงิน จากนั้นจึงนำภาพของวัตถุที่ถ่ายนั้นไปใช้ซ้อนทับกับฉากหลังใหม่ตามวิธีการของบลูสกรีน โดยได้มีความพยายามที่นำเอาภาพของวัตถุ ออกมาจากภาพฉากหลังธรรมชาติที่มีความหลากหลายมากขึ้น ซึ่งภาพฉากหลังที่มีความหลากหลายของสีมากมายไม่สามารถนำวิธีการแบบบลูสกรีนมาใช้ได้ ถึงแม้จะมีวิธีการที่สามารถนำมาใช้หลายวิธี แต่ก็ยังไม่มีวิธีการใดที่ใช้ได้ดีที่สุด โดยปัญหาที่เกิดขึ้นกับทุกวิธีการก็คือ ผลที่เกิดขึ้นบริเวณขอบของวัตถุ โดยภาพของวัตถุที่ทำการแยกออกมา อาจมีส่วนหนึ่งส่วนใดของฉากหลังติดรวมออกมาด้วย วิธีการที่นำมาใช้จึงไม่สามารถใช้ได้ดีทุกภาพ ซึ่งผลที่ได้เมื่อไปทำการซ้อนทับกับภาพฉากหลังใหม่ บางภาพที่ทำการซ้อนทับตรงส่วนบริเวณขอบของภาพ อาจมองแล้วดูกลมกลืน แต่ถ้านำไปใช้กับฉากหลังที่มีแตกต่างจากเดิมหลายๆภาพมากขึ้น ก็อาจจะไม่ได้ผลดีเสมอไป

งานวิจัยนี้นำเสนอผลการศึกษาปัญหาการซ้อนภาพ และวิธีการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น และนำเสนอวิธีการใหม่ที่ใช้วิธีการทางสถิติมาใช้ในการคำนวณหาภาพของวัตถุที่เกิดจากการซ้อนทับกับภาพฉากหลังแล้ว เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้ในการซ้อนทับกับภาพฉากหลังใหม่

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการทางสถิติในการประมาณค่าสีของวัตถุที่ซ้อนอยู่บนฉากหลัง
2. เพื่อลดปัญหาของวิธีการทางสถิติเดิมที่ต้องเลือกกำหนดค่าผิดพลาดของกล่องเป็นค่าเริ่มต้นของวิธีการ
3. เพื่อศึกษาหาข้อจำกัดของวิธีการที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถที่จะเลือกนำวิธีการที่พัฒนาขึ้นไปใช้ได้เหมาะสม

1.3 ขอบเขตโครงการวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะนำเอาภาพที่เกิดจากการซ้อนทับกันของวัตถุกับฉากหลัง ที่ถูกกำหนดบริเวณของภาพออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนของวัตถุ, ส่วนของฉากหลังและบริเวณที่เกิดการซ้อนทับกันของวัตถุกับฉากหลังมาแล้วมาทำการคำนวณตามวิธีการของงานวิจัย

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษาวิธีการคำนวณทางสถิติ
2. ศึกษาวิธีการซ้อนภาพแบบบลูสกรีน
3. ออกแบบวิธีการทางสถิติเพื่อนำมากับภาพที่เตรียมไว้
4. ทดลองเก็บผลลัพธ์ของวิธีการที่ได้ออกแบบและวิธีการเดิม
5. สรุปผลและอภิปรายการทดลอง

1.5 แผนการดำเนินงานโครงการวิจัย

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ปีที่/ไตรมาส			
	1/1	1/2	1/3	1/4
1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง				
2. พัฒนาเทคนิคการซ้อนภาพจากภาพถ่ายฉากหลังธรรมชาติ และทดสอบกับรูปภาพส่วนที่ 1				
3. พัฒนาเทคนิคการซ้อนภาพจากภาพถ่ายฉากหลังธรรมชาติ และทดสอบกับรูปภาพส่วนที่ 2				
4. ศึกษาการประยุกต์ใช้อัลกอริทึม EM				
5. ศึกษาการนำคุณสมบัติด้านความถี่เชิงพื้นที่ (spatial frequency) ของฉากหน้าและฉากหลังเพื่อช่วยในการแบ่งส่วนภาพฉากหน้าและหลังออกจากกัน และทดสอบกับรูปภาพส่วนที่ 1-2				

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทำให้ทราบถึงกระบวนการ วิธีการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ และสามารถนำวิธีการไปพัฒนาต่อยอดเพื่อให้สามารถนำไปใช้ปรับปรุงเพื่อประยุกต์ใช้ในงานสื่อสิ่งพิมพ์หรืองานโฆษณา

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การแยกเอาภาพของวัตถุและภาพพื้นหลังจากภาพเดิมที่เกิดจากการซ้อนกัน ทำได้โดยการประมาณค่าของสีและความขุ่นมัวที่แต่ละตำแหน่งพิกเซล (Pixel) ในภาพ โดยค่าความโปร่งแสงที่แต่ละตำแหน่งพิกเซลในภาพจะเรียกว่าค่า ความโปร่งแสง (Alpha) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 โดยค่านี้ จะมีความสำคัญในการนำไปใช้ร่วมกับภาพวัตถุที่ได้จากการประมาณค่าสีไปใช้ซ้อนทับกับภาพพื้นหลังใหม่ ดังสมการ (2.1) ของ Porter and Duff [1] ด้านล่าง

$$\mathbf{u}_c = \alpha \mathbf{u}_f + (1 - \alpha) \mathbf{u}_b \quad (2.1)$$

โดยที่

\mathbf{u}_f คือภาพของวัตถุ (Foreground)

\mathbf{u}_b คือภาพของฉากหลัง (Background)

\mathbf{u}_c คือภาพที่ซ้อนกันของวัตถุกับฉากหลัง

α คือค่าความโปร่งแสงโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1

ซึ่งวิธีการที่กล่าวมาได้ถูกนำมาใช้อย่างมากในอุตสาหกรรมภาพยนตร์ และมีงานวิจัยอีกหลายงานที่ได้นำเสนอวิธีการในการซ้อนภาพและการประมาณค่าของพิกเซลกับค่าความโปร่งแสงดังจะกล่าวในหัวข้อต่อจากนี้

2.1 เทคนิคการซ้อนภาพฉากหลังแบบบลูสกรีน (Blue Screen Matting)

การซ้อนภาพแบบบลูสกรีน (Blue screen matting) [2] เป็นวิธีการแรกที่น่าเอาค่าความโปร่งแสงมาใช้ในการซ้อนภาพ โดยมีสมการการซ้อนภาพดังสมการ (2.2) (2.3) (2.4) และ (2.5)

$$\mathbf{u}_c = \mathbf{u}_o + (1 - \alpha_o) \mathbf{u}_k \quad (2.2)$$

$$\mathbf{u}_o = [\alpha_o R_o \quad \alpha_o G_o \quad \alpha_o B_o] \quad (2.3)$$

$$\mathbf{u}_k = [R_k \quad G_k \quad B_k] \quad (2.4)$$

$$\mathbf{u}_c = [R_c \quad G_c \quad B_c] \quad (2.5)$$

โดยที่

\mathbf{u}_c คือสีพิกเซลของวัตถุที่ซ้อนทับกับฉากหลัง

\mathbf{u}_o คือสีพิกเซลของวัตถุ

\mathbf{u}_k คือสีพิกเซลของฉากหลัง

R_o คือค่าสีแดงของพิกเซลของวัตถุ

G_o คือค่าสีเขียวของพิกเซลของวัตถุ

B_o คือค่าสีน้ำเงินของพิกเซลของวัตถุ

R_k คือค่าสีแดงของพิกเซลของฉากหลัง

G_k คือค่าสีเขียวของพิกเซลของฉากหลัง

B_k คือค่าสีน้ำเงินของพิกเซลของฉากหลัง

α_o คือค่าความโปร่งแสง

โดยแบ่งออกเป็น 3 วิธีการคือ

1. แบบฉากหลังไม่มีสีน้ำเงิน (No blue)
2. แบบสีของภาพวัตถุเป็นแบบสีเทา (Gray)
3. แบบไตรแองกูเลชัน (Triangulation Matting)

บทที่ 3

เทคนิคการซ้อนภาพจากภาพถ่ายฉากหลังธรรมชาติ

3.1 วิธีการคำนวณหาค่าสีวัตถุและความโปร่งแสง (Alpha)

วิธีการคำนวณที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะมีวิธีการเริ่มต้นที่เหมือนกับงานของ Ruzon [1] โดยกำหนดบริเวณออกเป็น 3 ส่วนคือส่วนของวัตถุ (Foreground) ส่วนของฉากหลัง (Background) และส่วนที่เกิดจากการซ้อนทับกันของวัตถุกับฉากหลัง (Unknown) โดยนำส่วนที่กำหนดบริเวณของวัตถุและฉากหลัง มาแบ่งกลุ่มสีหรือทำคลัสเตอร์ (Cluster) เพื่อแยกกลุ่มสีที่มีความใกล้เคียงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความแปรปรวน (Covariance) ของแต่ละกลุ่มสี จะได้สมการการแจกแจงแบบปกติของภาพวัตถุกับฉากหลังดังสมการ (3.1) และ (3.2)

$$P_F(\mathbf{u}_F) = N_F(\mathbf{u}_F, \boldsymbol{\mu}_F, \boldsymbol{\Sigma}_F) \quad (3.1)$$

$$P_B(\mathbf{u}_B) = N_B(\mathbf{u}_B, \boldsymbol{\mu}_B, \boldsymbol{\Sigma}_B) \quad (3.2)$$

โดยที่

- P_F คือค่าความน่าจะเป็นของสีของวัตถุ
- P_B คือค่าความน่าจะเป็นของสีของฉากหลัง
- N_F การแจกแจงแบบปกติของสีของวัตถุ
- N_B การแจกแจงแบบปกติของสีของฉากหลัง
- \mathbf{u}_F คือค่าสีของพิกเซลของภาพวัตถุ
- \mathbf{u}_B คือค่าสีของพิกเซลของภาพฉากหลัง
- $\boldsymbol{\mu}_F$ คือค่าเฉลี่ยของกลุ่มสีของวัตถุ
- $\boldsymbol{\mu}_B$ คือค่าเฉลี่ยของกลุ่มสีของฉากหลัง
- $\boldsymbol{\Sigma}_F$ คือค่าความแปรปรวนร่วมของกลุ่มสีภาพวัตถุ
- $\boldsymbol{\Sigma}_B$ คือค่าความแปรปรวนร่วมของกลุ่มสีภาพฉากหลัง

สำหรับหลักการเริ่มต้นที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ได้นำทฤษฎีของเบย์มาใช้ในการคำนวณหาค่าสีของวัตถุ โดยสีของฉากหลังสามารถหาได้โดยอาศัยค่าสีของพิกเซลตรงบริเวณที่เกิดการซ้อนทับมาช่วยคำนวณหาได้ สำหรับการคำนวณต้องหาค่า 2 ตัวแปร คือ สีของวัตถุและความโปร่งแสงโดยใช้สมการ (3.3) (3.4) (3.5) และ (3.6)

$$P(\mathbf{u}_C) = P_B(\mathbf{u}_B | \mathbf{u}_F, \alpha) P_F(\mathbf{u}_F) P_\alpha(\alpha) \quad (3.3)$$

$$P(\mathbf{u}_C) = P_B\left(\frac{\mathbf{u}_B - \alpha \mathbf{u}_F}{1 - \alpha} | \mathbf{u}_F, \alpha\right) P_F(\mathbf{u}_F) P_\alpha(\alpha) \quad (3.4)$$

$$\mathbf{argmax} P(\mathbf{u}_C, \mathbf{u}_F, \alpha) = \mathbf{argmax}_{\mathbf{u}_F, \alpha} \left(P_B\left(\frac{\mathbf{u}_B - \alpha \mathbf{u}_F}{1 - \alpha} | \mathbf{u}_F, \alpha\right) P_F(\mathbf{u}_F) P_\alpha(\alpha) \right) \quad (3.5)$$

$$= \mathbf{argmax}_{\mathbf{u}_F, \alpha} \left(L_B\left(\frac{\mathbf{u}_C - \alpha \mathbf{u}_F}{1 - \alpha}\right) + L_F(\mathbf{u}_F) + L_\alpha(\alpha) \right) \quad (3.6)$$

โดยที่ $L_F(\mathbf{u}_F)$ $L_B(\mathbf{u}_B)$ และ $L_\alpha(\alpha)$ คือค่าหาสิ่กโกลิสุดของสีของวัตถุ ฉากหลัง และ ค่าความโปร่งแสงตามลำดับ สำหรับเทอมของ $L_\alpha(\alpha)$ ได้กำหนดให้มาจากการแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม (Uniform Distribution) ดังนั้นเมื่อนำมาหาค่าสูงสุดเทอมนี้จึงสามารถตัดออกจากสมการได้ ทำให้ได้สมการใหม่ดังสมการที่ (3.7)

$$\mathbf{argmax}_{\mathbf{u}_F, \alpha} (L_B(\mathbf{u}_F, \alpha | \mathbf{u}_C)) = \mathbf{argmax}_{\mathbf{u}_F, \alpha} \left(L_B\left(\frac{\mathbf{u}_C - \alpha \mathbf{u}_F}{1 - \alpha}\right) + L_F(\mathbf{u}_F) \right) \quad (3.7)$$

เมื่อทำการแก้สมการแล้วจะสามารถหาค่าสีของวัตถุได้ดังสมการ (3.8)

$$L_B(\mathbf{u}_F, \alpha | \mathbf{u}_C) = \left(\frac{\mathbf{u}_C - \alpha \mathbf{u}_F}{1 - \alpha} - \boldsymbol{\mu}_B \right) \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} \left(\frac{\mathbf{u}_C - \alpha \mathbf{u}_F}{1 - \alpha} - \boldsymbol{\mu}_B \right)^T + (\mathbf{u}_F - \boldsymbol{\mu}_F) \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} (\mathbf{u}_F - \boldsymbol{\mu}_F)^T$$

$$A_1 = \left(\frac{\mathbf{u}_C - \alpha \mathbf{u}_F}{1 - \alpha} - \boldsymbol{\mu}_B \right) \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} \left(\frac{\mathbf{u}_C - \alpha \mathbf{u}_F}{1 - \alpha} - \boldsymbol{\mu}_B \right)^T$$

$$A_2 = (\mathbf{u}_F - \boldsymbol{\mu}_F) \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} (\mathbf{u}_F - \boldsymbol{\mu}_F)^T$$

$$L(\mathbf{u}_F, \alpha | \mathbf{u}_C) = A_1 + A_2 \quad (3.8)$$

จัดรูปของสมการข้างต้นใหม่ให้อยู่ในรูปของ $L(\mathbf{u}_F, \alpha | \mathbf{u}_C) = \mathbf{u}_F A \mathbf{u}_F^T + \mathbf{u}_F B + C$ จะได้

$$A = \left(\left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^2 \Sigma_B^{-1} + \Sigma_F^{-1} \right) \quad (3.9)$$

$$B_1 = 2 \left(\left(\frac{\alpha \Sigma_B^{-1} \mathbf{u}_B^T}{1-\alpha} \right) - \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right) \Sigma_B^{-1} \left(\frac{\mathbf{u}_C}{1-\alpha} \right)^T - \Sigma_F^{-1} \mathbf{u}_F^T \right) \quad (3.10)$$

$$C = \left(\frac{\mathbf{u}_C}{1-\alpha} \right) \Sigma_B^{-1} \left(\frac{\mathbf{u}_C}{1-\alpha} \right)^T - 2 \left(\frac{\mathbf{u}_B \Sigma_B^{-1} \mathbf{u}_C^T}{1-\alpha} \right) + \mathbf{u}_B \Sigma_B^{-1} \mathbf{u}_B^T + \mathbf{u}_F \Sigma_F^{-1} \mathbf{u}_F^T \quad (3.11)$$

จากนั้นหาค่าสูงสุดของ $L(\mathbf{u}_F, \alpha | \mathbf{u}_C) = \mathbf{u}_F A \mathbf{u}_F^T + \mathbf{u}_F B_1 + C$

$$\frac{\partial L(\mathbf{u}_F, \alpha | \mathbf{u}_C)}{\partial \mathbf{u}_F} = \frac{\partial}{\partial \mathbf{u}_F} [\mathbf{u}_F A \mathbf{u}_F^T + \mathbf{u}_F B_1 + C]$$

$$\frac{\partial L(\mathbf{u}_F, \alpha | \mathbf{u}_C)}{\partial \mathbf{u}_F} = 2A\mathbf{u}_F + B_1 = 0$$

$$\mathbf{u}_F = \frac{-(A)^{-1} B_1}{2}$$

$$\mathbf{u}_F = -(A)^{-1} B$$

$$B = \frac{B_1}{2}$$

$$\hat{\mathbf{u}}_F = - \left(\Sigma_F^{-1} + \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^2 \Sigma_B^{-1} \right)^{-1} \frac{1}{2} \left(2 \left(\left(\frac{\alpha \Sigma_B^{-1} \mathbf{u}_B^T}{1-\alpha} \right) - \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right) \Sigma_B^{-1} \left(\frac{\mathbf{u}_C}{1-\alpha} \right)^T - \Sigma_F^{-1} \mathbf{u}_F^T \right) \right)$$

$$\hat{\mathbf{u}}_F = \left(\Sigma_F^{-1} + \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^2 \Sigma_B^{-1} \right)^{-1} \left(\left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right) \Sigma_B^{-1} \left(\frac{\mathbf{u}_C}{1-\alpha} \right)^T + \Sigma_F^{-1} \mathbf{u}_F^T - \left(\frac{\alpha \Sigma_B^{-1} \mathbf{u}_B^T}{1-\alpha} \right) \right)$$

$$\hat{\mathbf{u}}_F = \left[\Sigma_F^{-1} + \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^2 \Sigma_B^{-1} \right]^{-1} \left[\Sigma_F^{-1} \mathbf{u}_F^T + \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right) \Sigma_B^{-1} \left(\frac{\mathbf{u}_C^T}{1-\alpha} - \mathbf{u}_B^T \right) \right] \quad (3.12)$$

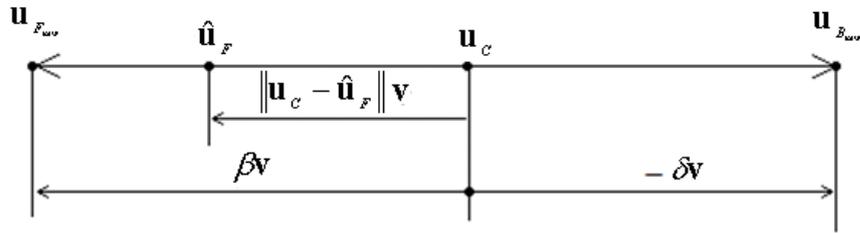
เมื่อกำหนดค่าสวิตต์ได้จากสมการ (3.12) โดยค่า $\hat{\mathbf{u}}_F$ \mathbf{u}_C \mathbf{u}_F และ \mathbf{u}_B คือค่าเฉลี่ยของสวิตต์และ

ฉากหลังตามลำดับ ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด 1 แถว 3 หลัก และ Σ_F^{-1} กับ Σ_B^{-1} คือค่าความแปรปรวน

ร่วมของสี่วัตถุและฉากหลังตามลำดับ ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด 3 แถว 3 หลัก จากนั้นคำนวณหา
 เวกเตอร์หน่วยที่มีทิศทางจากเวกเตอร์สี่ของวัตถุไปยังเวกเตอร์สี่บริเวณที่เกิดการซ้อนทับกัน ดัง
 สมการ (3.13)

$$\mathbf{v} = \frac{\mathbf{u}_c - \hat{\mathbf{u}}_F}{\|\mathbf{u}_c - \hat{\mathbf{u}}_F\|} \quad (3.13)$$

เมื่อได้เวกเตอร์หน่วย จะทำให้สามารถคำนวณหาสี่ของวัตถุและฉากหลังใหม่โดยพิจารณาได้จากรูปที่
 3.1 ซึ่งจะทำให้สามารถคำนวณค่าสี่ของฉากหลังได้จากสมการ (3.14) และ (3.15)



รูปที่ 3.1 แสดงให้เวกเตอร์ของสี่วัตถุและฉากหลังใหม่

$$\mathbf{u}_{F_{new}} = \mathbf{u}_c + \beta\mathbf{v} \quad (3.14)$$

$$\mathbf{u}_{B_{new}} = \mathbf{u}_c - \delta\mathbf{v} \quad (3.15)$$

โดยค่าของ β สามารถคำนวณได้จากสมการ (3.16)

$$\beta = \underset{\beta}{\operatorname{argmax}}(L_F(\mathbf{u}_c + \beta\mathbf{v})) \quad (3.16)$$

$$\begin{aligned} L(\mathbf{u}_c + \beta\mathbf{v}) &= (\mathbf{u}_c + \beta\mathbf{v} - \boldsymbol{\mu}_F) \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} (\mathbf{u}_c + \beta\mathbf{v} - \boldsymbol{\mu}_F)^T \\ L(\mathbf{u}_c + \beta\mathbf{v}) &= (\beta\mathbf{v} + \mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_F) \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} (\beta\mathbf{v} + \mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_F)^T \\ L(\mathbf{u}_c + \beta\mathbf{v}) &= \beta\mathbf{v} \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} (\beta\mathbf{v})^T + 2\beta\mathbf{v} \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_F)^T + (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_F) \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_F)^T \\ L(\hat{\mathbf{u}}_c + \beta\mathbf{v}) &= \beta^2 \mathbf{v} \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} (\mathbf{v})^T + 2\beta\mathbf{v} \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_F)^T + (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_F) \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_F)^T \end{aligned} \quad (3.17)$$

หาค่าสูงสุดของล็อกไลที่สุดเทียบกับ β จากสมการ (3.17) ได้ดังต่อไปนี้

$$\frac{\partial}{\partial \beta} L(\mathbf{u}_c + \beta\mathbf{v}) = 2\beta\mathbf{v} \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} \mathbf{v}^T + 2\mathbf{v} \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_F)^T$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial}{\partial \beta} L(\mathbf{u}_c + \beta \mathbf{v}) &= 0 \\ \beta \mathbf{v} \Sigma_F^{-1} \mathbf{v} &= -\mathbf{v} \Sigma_F^{-1} (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_F)^T \\ \beta \mathbf{v} \Sigma_F^{-1} \mathbf{v}^T &= (\boldsymbol{\mu}_F - \mathbf{u}_c) \Sigma_F^{-1} \mathbf{v}^T \\ \beta &= \frac{(\boldsymbol{\mu}_F - \mathbf{u}_c) \Sigma_F^{-1} \mathbf{v}^T}{\mathbf{v} \Sigma_F^{-1} \mathbf{v}^T}\end{aligned}\quad (3.18)$$

โดยค่าของ δ สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\delta = \underset{\delta}{\operatorname{argmax}} (L_B(\mathbf{u}_c - \delta \mathbf{v})) \quad (3.19)$$

$$\begin{aligned}L(\mathbf{u}_c - \delta \mathbf{v}) &= (\mathbf{u}_c - \delta \mathbf{v} - \boldsymbol{\mu}_B) \Sigma_B^{-1} (\mathbf{u}_c - \delta \mathbf{v} - \boldsymbol{\mu}_B)^T \\ L(\mathbf{u}_c - \delta \mathbf{v}) &= (-\delta \mathbf{v} + \mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_B) \Sigma_B^{-1} (-\delta \mathbf{v} + \mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_B)^T \\ L(\mathbf{u}_c - \delta \mathbf{v}) &= \delta \mathbf{v} \Sigma_B^{-1} (\delta \mathbf{v})^T - 2\delta \mathbf{v} \Sigma_B^{-1} (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_B)^T + (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_B) \Sigma_B^{-1} (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_B)^T \\ L(\mathbf{u}_c - \delta \mathbf{v}) &= \delta^2 \mathbf{v} \Sigma_B^{-1} (\mathbf{v})^T - 2\delta \mathbf{v} \Sigma_B^{-1} (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_B)^T + (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_B) \Sigma_B^{-1} (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_B)^T\end{aligned}\quad (3.20)$$

หาค่าสูงสุดของฟังก์ชันโลจิสติกเทียบกับ δ จากสมการข้างต้น ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\frac{\partial}{\partial \delta} L(\mathbf{u}_c - \delta \mathbf{v}) &= 2\delta \mathbf{v} \Sigma_B^{-1} \mathbf{v}^T - 2\mathbf{v} \Sigma_B^{-1} (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_B)^T \\ \frac{\partial}{\partial \delta} L(\mathbf{u}_c - \delta \mathbf{v}) &= 0 \\ \delta \mathbf{v} \Sigma_B^{-1} \mathbf{v} &= \mathbf{v} \Sigma_B^{-1} (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_B)^T \\ \delta \mathbf{v} \Sigma_B^{-1} \mathbf{v}^T &= (\boldsymbol{\mu}_B - \mathbf{u}_c) \Sigma_B^{-1} \mathbf{v}^T \\ \delta &= \frac{(\boldsymbol{\mu}_B - \mathbf{u}_c) \Sigma_B^{-1} \mathbf{v}^T}{\mathbf{v} \Sigma_B^{-1} \mathbf{v}^T}\end{aligned}\quad (3.21)$$

เมื่อคำนวณค่าสีของวัตถุและฉากหลังได้แล้ว ต่อมาก็ทำการคำนวณหาค่าความโปร่งแสงโดยใช้สมการ

(3.22)

$$\alpha = \frac{\delta}{\beta + \delta} \quad (3.22)$$

การคำนวณของงานวิจัยนี้จะเหมือนกับวิธีการของซุงคือจะต้องนำค่าความโปร่งแสงที่คำนวณได้กลับไปคำนวณหาค่าสีใหม่ แต่วิธีการของงานวิจัยนี้ จะนำค่าความโปร่งแสงที่ได้กลับไปคำนวณในสมการ (3.12) และทำการคำนวณเวกเตอร์หน่วยตามสมการ (3.13) จากนั้นคำนวณตามสมการ (3.17) และสมการ (3.20) เพื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าสีของวัตถุและฉากหลังใหม่ตามสมการ (3.24) และ (3.15) สุดท้ายจึงคำนวณหาค่าความโปร่งแสงตามสมการ (3.22) จากนั้นย้อนกลับไปคำนวณตั้งแต่สมการที่ (3.12) ใหม่จนค่าของสีของวัตถุและฉากหลังที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าจึงหยุดการคำนวณ

ปัญหาของการคำนวณตามวิธีการนี้และวิธีการแก้ไข

1. เมื่อค่าที่คำนวณได้จากสมการ (3.11) มีค่าดังนี้ $\hat{\mathbf{u}}_F = \mathbf{u}_C$ จะกำหนดให้

$$\hat{\mathbf{u}}_{F_{new}} = \mathbf{u}_C$$

$$\hat{\mathbf{u}}_{B_{new}} = \boldsymbol{\mu}_B$$

$$\alpha = 1$$

2. เมื่อ $\delta > 0$ และ $\beta < 0$ หรือ $\delta < 0$ และ $\beta > 0$

- 2.1 ถ้า $P_F(\mathbf{u}_C) > P_B(\mathbf{u}_C)$ จะกำหนดให้

$$\hat{\mathbf{u}}_{F_{new}} = \mathbf{u}_C$$

$$\hat{\mathbf{u}}_{B_{new}} = \boldsymbol{\mu}_B$$

$$\alpha = 1$$

- 2.2 ถ้า $P_F(\mathbf{u}_C) < P_B(\mathbf{u}_C)$ จะกำหนดให้

$$\hat{\mathbf{u}}_{F_{new}} = \boldsymbol{\mu}_F$$

$$\hat{\mathbf{u}}_{B_{new}} = \mathbf{u}_C$$

$$\alpha = 0$$

3.2 การวิเคราะห์ความซับซ้อนในการคำนวณของอัลกอริธึม

ในส่วนนี้จะแสดงให้เห็นความแตกต่างของอัลกอริธึมของงานวิจัยนี้กับวิธีการของซุง โดยจะใช้การนับตัวดำเนินการ (Count Operation) ในการเปรียบเทียบ โดย Operation count จะคิดจาก

การใช้ + - * / และ $\sqrt{\quad}$ ในสมการแต่ครั้ง เนื่องจากวิธีการประมาณค่าสีในงานวิจัยนี้กับวิธีการของซุง ได้นำเอาวิธีของ Gaussain elimination มาใช้การแก้สมการ ซึ่งค่าโดยการประมาณของการนับตัวดำเนินการก็คือ $\frac{2n^3}{3}$ เมื่อ n คือค่าของมิติของเมตริกซ์จัตุรัส $n \times n$ ค่า n ของวิธีการของซุงมีค่าเท่ากับ 6 เพราะเป็นเมตริกซ์ 6×6 ส่วนของงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 3 เพราะเป็นเมตริกซ์ 3×3 ในการแสดงการเปรียบเทียบของ 2 อัลกอริธึม จะทำการเปรียบเทียบเพียง 1 รอบการคำนวณ โดยจำนวนรอบของการคำนวณของวิธีการของซุงได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 และของวิธีการของงานวิจัยนี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงค่าของ Operation Count ของวิธีการของซุง

Operation number	Operation	Operation count
1	$\begin{bmatrix} \Sigma_F^{-1} + \frac{I_s \alpha^2}{\sigma_c^2} & \frac{I_s \alpha(1-\alpha)}{\sigma_c^2} \\ \frac{I_s \alpha(1-\alpha)}{\sigma_c^2} & \Sigma_B^{-1} + \frac{I_s(1-\alpha)^2}{\sigma_c^2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{u}_F \\ \mathbf{u}_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma_F^{-1} \mathbf{u}_F + \frac{\alpha \mathbf{u}_C}{\sigma_c^2} \\ \Sigma_B^{-1} \mathbf{u}_B + \frac{(1-\alpha) \mathbf{u}_C}{\sigma_c^2} \end{bmatrix}$	144
2	$\alpha = \frac{(\mathbf{u}_F - \mathbf{u}_B) \bullet (\mathbf{u}_C - \mathbf{u}_B)}{\ \mathbf{u}_F - \mathbf{u}_B\ ^2}$	17
Total Operation Count		161

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงค่าของ Operation Count ของวิธีการของงานวิจัยนี้

Operation number	Operation	Operation count
1	$A\hat{\mathbf{u}}_F = -B$	18
2	$\mathbf{v} = \frac{\hat{\mathbf{u}}_C - \hat{\mathbf{u}}_F}{\ \hat{\mathbf{u}}_C - \hat{\mathbf{u}}_F\ }$	12
3	$\beta = \frac{(\boldsymbol{\mu}_F - \mathbf{u}_C)\boldsymbol{\Sigma}_F^{-1}\mathbf{v}^T}{\mathbf{v}\boldsymbol{\Sigma}_F^{-1}\mathbf{v}^T}$	28
4	$\delta = \frac{(\boldsymbol{\mu}_B - \mathbf{u}_C)\boldsymbol{\Sigma}_B^{-1}\mathbf{v}^T}{\mathbf{v}\boldsymbol{\Sigma}_B^{-1}\mathbf{v}^T}$	28
5	$\hat{\mathbf{u}}_{F_{new}} = \mathbf{u}_C + \beta\mathbf{v}$	6
6	$\hat{\mathbf{u}}_{B_{new}} = \mathbf{u}_C + \delta\mathbf{v}$	6
7	$\alpha = \frac{\delta}{\beta + \delta}$	2
Total Operation Count		100

โดยที่

$$A = \left(\left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^2 \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} + \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} \right)$$

$$B = \left(\left(\frac{\alpha\boldsymbol{\Sigma}_B^{-1}\boldsymbol{\mu}_B^T}{1-\alpha} \right) - \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right) \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} \left(\frac{\mathbf{u}_C}{1-\alpha} \right)^T - \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1}\boldsymbol{\mu}_F^T \right)$$

$$\frac{\partial L(\mathbf{u}_F, \alpha | \mathbf{u}_C)}{\partial \mathbf{u}_F} = A \hat{\mathbf{u}}_F + B = 0$$

จะเห็นว่าจำนวน Operation Count ของวิธีการของงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 100 ส่วนวิธีการของซุงจะมีค่าเท่ากับ 161 ซึ่งวิธีการของงานวิจัยนี้น้อยกว่าวิธีการของซุง สามารถสรุปได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบ Operation Count ของทั้ง 2 วิธีแล้ววิธีการของงานวิจัยนี้จะมีความเร็วในการประมวลน้อยกว่าวิธีการของซุงเพราะ Operation Count น้อยกว่า

บทที่ 4

การเตรียมการทดลอง

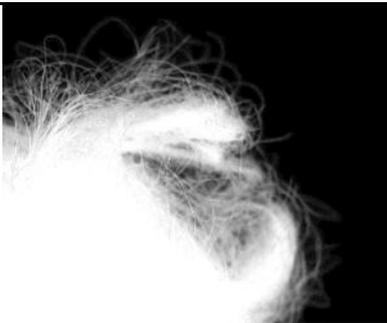
4.1 การสร้างและเตรียมภาพเพื่อการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลประกอบด้วย

- เครื่องคอมพิวเตอร์ PC Intel Pentium IV 1.8 GHz
- กล้องดิจิทัล
- ฉากหลังสีน้ำเงินและสีแดง

การถ่ายภาพของภาพวัตถุที่ได้เตรียมไว้ จะต้องทำในห้องที่ไม่มีแสงจากภายนอกเข้ามารบกวน โดยการถ่ายภาพจะใช้วิธีของบลูสกรีน (Blue screen matting) [2] โดยถ่ายภาพทั้งหมด 5 ภาพคือ ภาพของฉากหลังสีน้ำเงินและสีแดงอย่างภาพ และภาพของวัตถุที่ซ้อนกับฉากหลังสีน้ำเงินและสีแดงอย่างภาพ จากนั้นนำภาพทั้งสี่ไปคำนวณหาค่าความโปร่งแสงและสีของวัตถุตามสมการที่ (2.3) ตามวิธีการของบลูสกรีน เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณตามวิธีการของงานวิจัยนี้ โดยได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ภาพค่าความโปร่งแสงและสีของวัตถุ

ลำดับที่	ภาพของความโปร่งแสง	ภาพของความโปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุ
1		

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

2		
3		
4		
5		

ภาพที่ใช้ในการทดลองสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทดังต่อไปนี้

- 1) ภาพที่เกิดจากการซ้อนทับระหว่างค่าความโปร่งแสงและสีของวัตถุกับฉากหลังที่ทำการสังเคราะห์ขึ้นจำนวน 6 ภาพ โดยกลุ่มสีของแต่ละสีของฉากหลังจะเป็นมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ
- 2) ภาพที่เกิดจากการซ้อนทับระหว่างค่าความโปร่งแสงและสีของวัตถุกับฉากหลังแบบธรรมชาติจำนวน 16 ภาพ โดยภาพที่ซ้อนทับกันจะมีทั้งหมด 4 ชุดตามจำนวนภาพของวัตถุ 4 รูป
- 3) ภาพที่ทำการกำหนดบริเวณของวัตถุและภาพที่กำหนดบริเวณของฉากหลังจากภาพที่ซ้อนทับกับฉากหลังอย่าง 5 ภาพโดยภาพเหล่านี้จะถูกสร้างโปรแกรมแก้ไขภาพเช่น Paint หรือ Photoshop ก็ได้ โดยพิจารณาบริเวณของภาพที่ซ้อนทับกัน โดยหากต้องการกำหนดบริเวณของสีวัตถุ ให้พิจารณาบริเวณไหนที่มีความแน่นอนว่าเป็นส่วนของสีวัตถุ ก็ให้กำหนดเป็นสีขาว สำหรับส่วนของฉากหลังก็ทำในลักษณะเดียวกัน

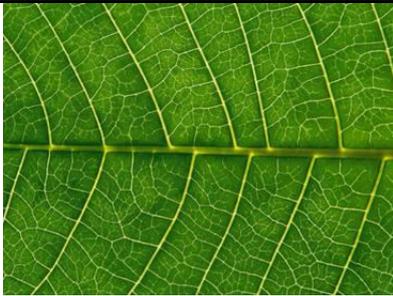
ตารางที่ 4.2 ภาพค่าความโปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุซ้อนทับกับฉากหลังที่สร้างขึ้น

ลำดับที่	ภาพของฉากหลังที่สร้างขึ้น	ภาพของความโปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุซ้อนทับกับฉากหลัง
1		
2		

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

3		
4		
5		
6		

ตารางที่ 4.3 ภาพฉากหลังแบบธรรมชาติ

ลำดับที่	ภาพของฉากแบบธรรมชาติ	ลำดับที่	ภาพของฉากแบบธรรมชาติ
1		5	
2		6	
3		7	
4		8	

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

9		13	
10		14	
11		15	
12		16	

ตารางที่ 4.4 ภาพค่าความโปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุซ้อนรูปที่ 2 ทับกับฉากหลังแบบธรรมชาติ

ลำดับที่	ภาพของฉากแบบธรรมชาติ	ลำดับที่	ภาพของความโปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุซ้อนทับกับฉากหลัง
1		5	
2		6	
3		7	
4		8	

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

9		13	
10		14	
11		15	
12		16	

ตารางที่ 4.5 ภาพค่าความโปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุซ้อนรูปที่ 3 ทับกับฉากหลังแบบธรรมชาติ

ลำดับที่	ภาพของฉากแบบธรรมชาติ	ลำดับที่	ภาพของความโปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุซ้อนทับกับฉากหลัง
1		5	
2		6	
3		7	
4		8	

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

9		13	
10		14	
11		15	
12		16	

ตารางที่ 4.6 ภาพค่าความโปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุซ้อนรูปที่ 4 ทับกับฉากหลังแบบธรรมชาติ

ลำดับที่	ภาพของฉากแบบธรรมชาติ	ลำดับที่	ภาพของความโปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุซ้อนทับกับฉากหลัง
1		5	
2		6	
3		7	
4		8	

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

9		13	
10		14	
11		15	
12		16	

ตารางที่ 4.7 ภาพค่าความโปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุซ้อนรูปที่ 5 ทับกับฉากหลังแบบธรรมชาติ

ลำดับที่	ภาพของฉากแบบธรรมชาติ	ลำดับที่	ภาพของความโปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุซ้อนทับกับฉากหลัง
1		5	
2		6	
3		7	
4		8	

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

9		13	
10		14	
11		15	
12		16	

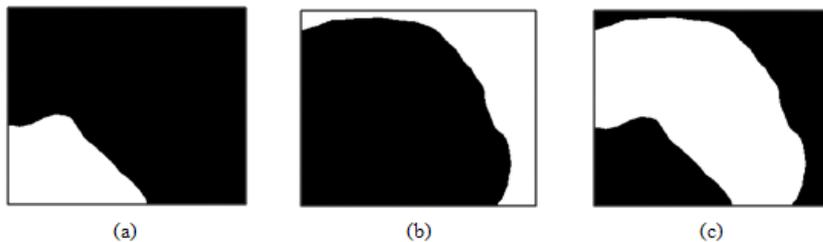
บทที่ 5

ผลการทดลอง

การทดลองในงานวิจัย จะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 แบบ คือ การทดลองกับภาพฉากหลังที่สร้างขึ้น มีทั้งหมด 6 การทดลองและการทดลองกับภาพฉากหลังธรรมชาติ มีทั้งหมด 64 การทดลอง การทดลองทั้งหมดจะนำผลที่ได้คือค่าความโปร่งแสงและค่าสีของวัตถุกับภาพที่หาค่าสีของวัตถุและความโปร่งแสงตามวิธีการของบูลสกรีน [2] เพื่อหาค่าความผิดพลาด $RMSE_{wf}$ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าของผลคูณของค่าความโปร่งแสงกับค่าสีของวัตถุที่คำนวณได้กับค่าความโปร่งแสงและค่าสีของวัตถุของภาพจริง ส่วนอีกค่าคือ $RMSE_{\alpha}$ เป็นการเปรียบเทียบของค่าความโปร่งแสงที่คำนวณได้กับค่าความโปร่งแสงของภาพจริง โดยจะได้อธิบายรายละเอียดของวิธีการทดลองแต่แบบในส่วนต่อจากนี้

5.1 การทดลองกับภาพฉากหลังที่สร้างขึ้น

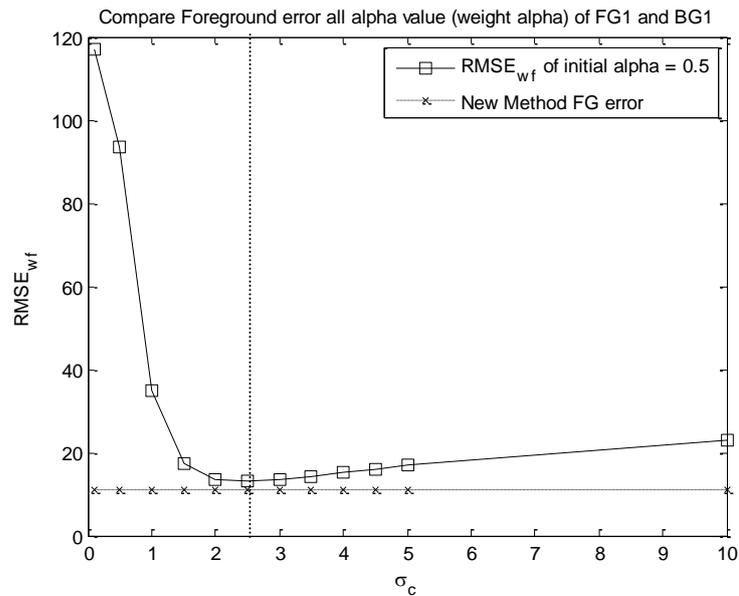
นำภาพที่ซ้อนทับกับฉากหลังใหม่ มากำหนดบริเวณส่วนของวัตถุ , ฉากหลังและส่วนที่เกิดการซ้อนทับกัน โดยบริเวณที่กำหนดจะแสดงเป็นสีขาวดังรูปที่ 5.1 (a) เป็นภาพการกำหนดบริเวณของวัตถุ ส่วนรูปที่ 5.1 (b) เป็นภาพการกำหนดบริเวณของฉากหลัง และรูปที่ 5.1 (c) เป็นภาพการกำหนดบริเวณส่วนที่เกิดการซ้อนทับกัน



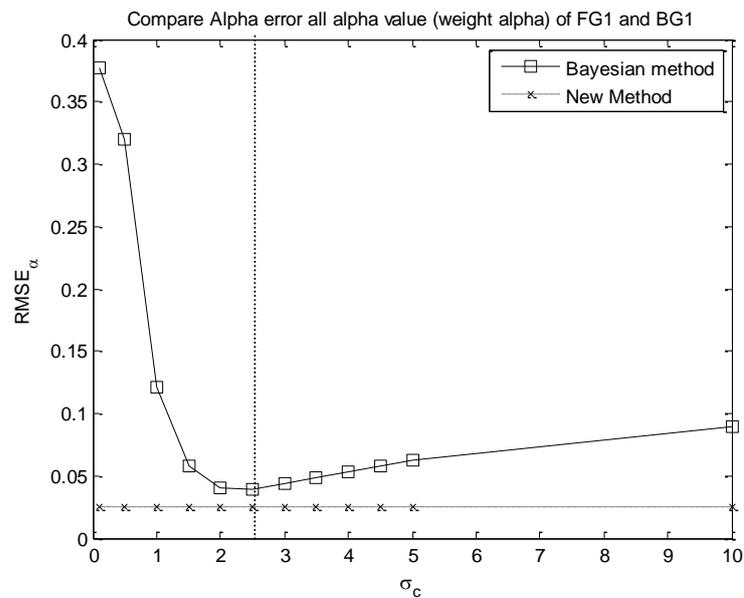
รูปที่ 5.1 (a) – (c) ภาพการกำหนดบริเวณของวัตถุ ฉากหลัง และส่วนที่เกิดการซ้อนทับกัน

บริเวณส่วนของวัตถุและฉากหลัง จะนำมาใช้ในการสร้างการแจกแจงแบบปกติของวัตถุและฉากหลังตามลำดับ โดยก่อนจะหาค่าที่จะใช้ในการแจกแจงแบบปกติของแต่ละบริเวณนั้น จะต้องนำแต่ละส่วนไปทำคลัสเตอร์เพื่อแบ่งกลุ่มสีก่อน แต่เนื่องจากสีของวัตถุไม่ความแตกต่างกันมาก การทดลองนี้จึงใช้การจัดกลุ่มสีเพียง 1 กลุ่ม โดยฉากหลังก็ใช้การจัดแบบเดียวกัน สำหรับส่วนที่เกิดการซ้อนทับกัน จะนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าของวัตถุและความโปร่งแสงในแต่พิกเซลของบริเวณส่วนนี้ ซึ่งการ

ทดลองจะเปรียบเทียบกับวิธีการของซุง [3] สำหรับการคำนวณตามวิธีการของซุงนั้นจะทำการคำนวณซ้ำตามจำนวนของ σ_c ซึ่งการทดลองในงานวิจัยนี้ได้กำหนดไว้ 12 ค่าคือ 0.1 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 และ 10 จากนั้นเลือกเอาค่าของ σ_c ที่มีค่าของ $RMSE_{wf}$ น้อยที่สุดตามจุดตัดของแนวเส้นปะที่ตัดกับกราฟทั้ง 2 เส้นเพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้ของงานวิจัยนี้ตามรูปที่ 5.2 ถึง 5.13

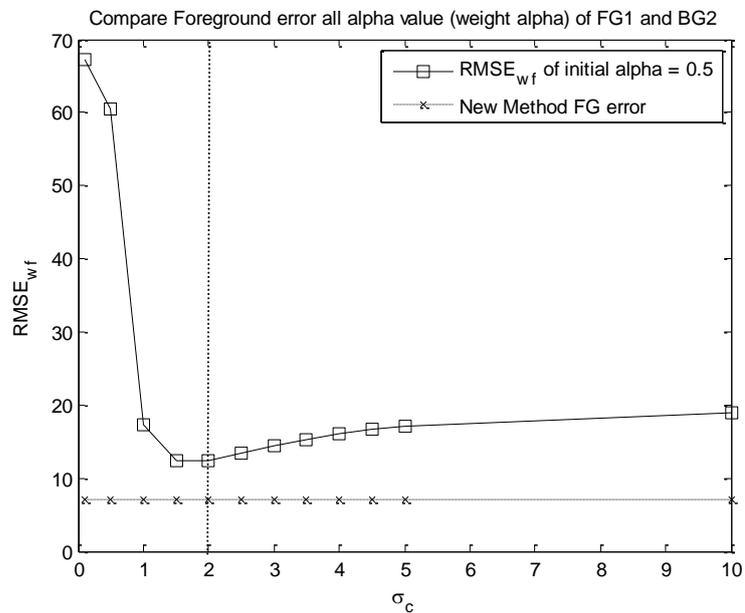


รูปที่ 5.2 กราฟแสดง $RMSE_{wf}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 1 ในตารางที่ 4.2

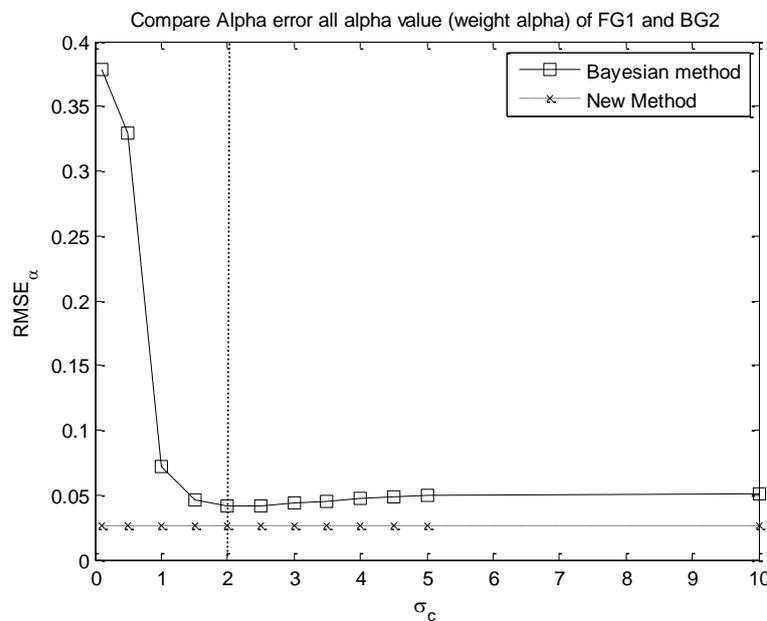


รูปที่ 5.3 กราฟแสดง $RMSE_{\alpha}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 1 ในตารางที่ 4.2

จากกราฟในรูปที่ 5.2 และ 5.3 ได้แสดงค่าของ $RMSE_{wf}$ และ $RMSE_{\alpha}$ จากวิธีการของซุง ที่ค่า $\sigma_c = 2.5$ สังเกตได้ตามแนวเส้นปะเทียบกับผลของวิธีการในงานวิจัยนี้ จะเห็นว่ามีความมากกว่า

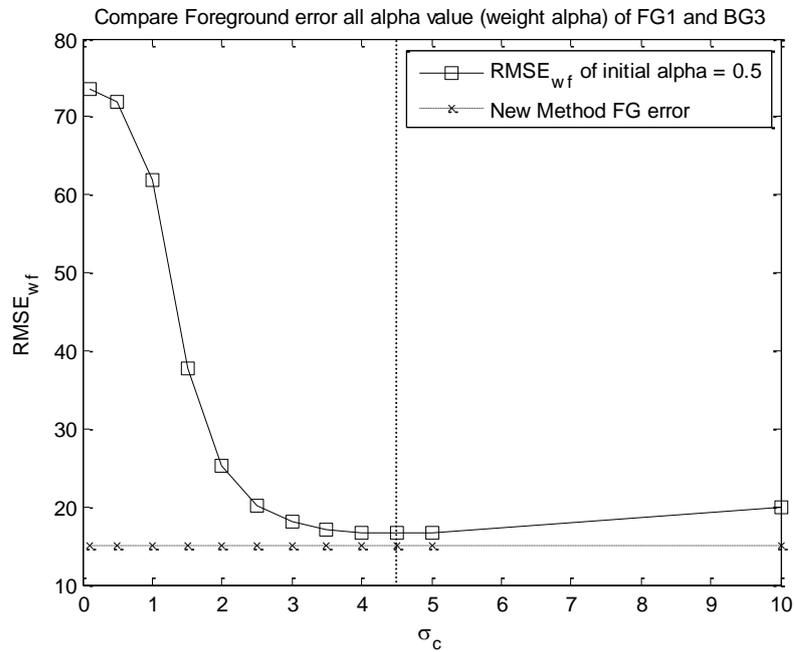


รูปที่ 5.4 กราฟแสดง $RMSE_{wf}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 2 ในตารางที่ 4.2

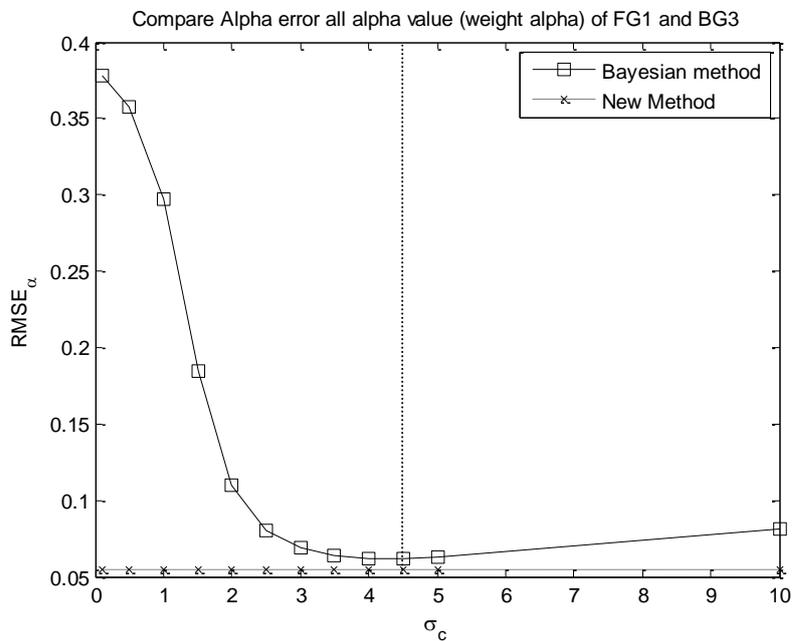


รูปที่ 5.5 กราฟแสดง $RMSE_{\alpha}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 2 ในตารางที่ 4.2

จากกราฟในรูปที่ 5.4 และ 5.5 ได้แสดงค่าของ $RMSE_{wf}$ และ $RMSE_{\alpha}$ จากวิธีการของซุงที่ค่า $\sigma_c = 2$ สังเกตได้ตามแนวเส้นปะเทียบกับผลของวิธีการในงานวิจัยนี้ จะเห็นว่ามีค่ามากกว่า

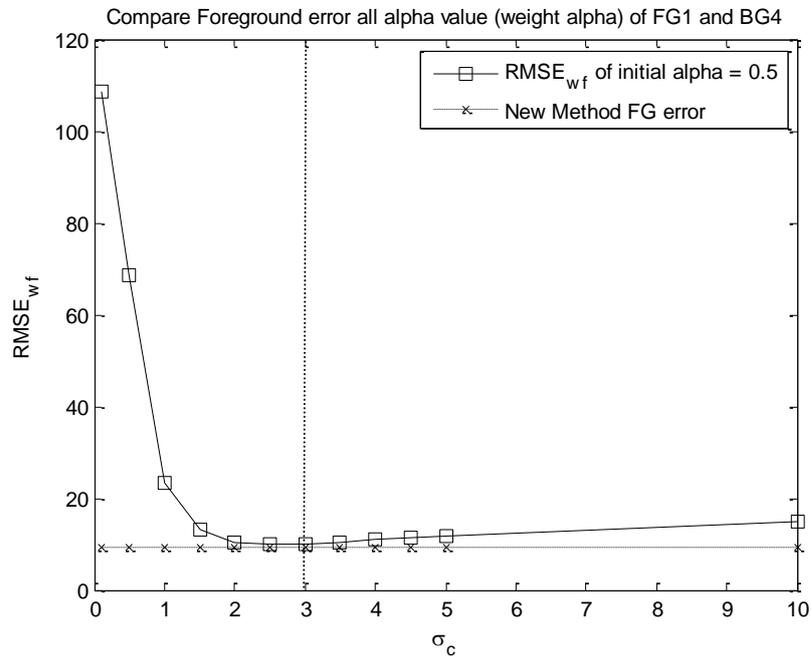


รูปที่ 5.6 กราฟแสดง $RMSE_{wf}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 3 ในตารางที่ 4.2

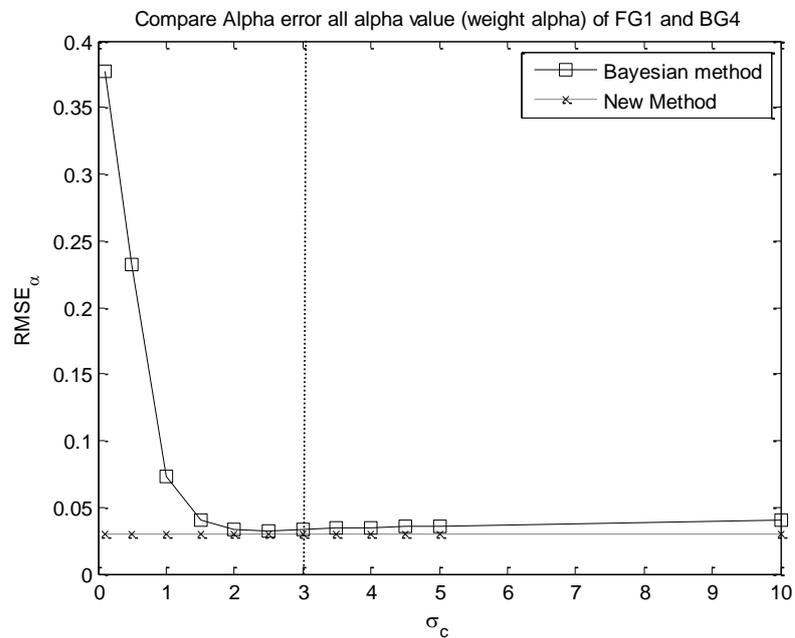


รูปที่ 5.7 กราฟแสดง $RMSE_{\alpha}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 3 ในตารางที่ 4.2

จากกราฟในรูปที่ 5.6 และ 5.7 ได้แสดงค่าของ $RMSE_{wf}$ และ $RMSE_{\alpha}$ จากวิธีการของชุงที่ค่า $\sigma_c = 4.5$ สังเกตได้ตามแนวเส้นปะเทียบกับผลของวิธีการในงานวิจัยนี้ จะเห็นว่ามีค่ามากกว่า

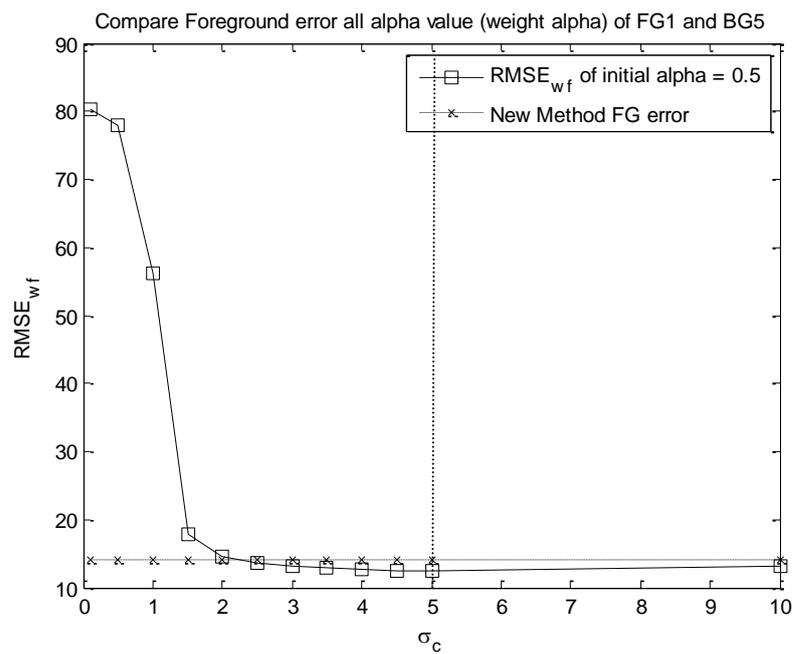


รูปที่ 5.8 กราฟแสดง $RMSE_{wf}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 4 ในตารางที่ 4.2

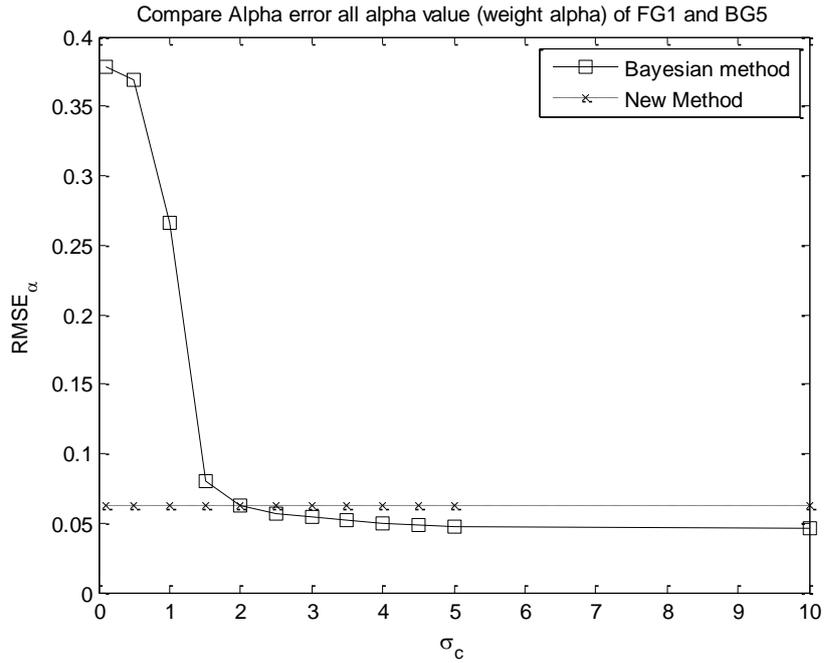


รูปที่ 5.9 กราฟแสดง $RMSE_{\alpha}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 4 ในตารางที่ 4.2

จากกราฟในรูปที่ 5.8 และ 5.9 ได้แสดงค่าของ $RMSE_{wf}$ และ $RMSE_{\alpha}$ จากวิธีการของซุงที่ค่า $\sigma_c = 3$ สังเกตได้ตามแนวเส้นปะเทียบกับผลของวิธีการในงานวิจัยนี้ จะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกันหรือเกือบเท่ากัน

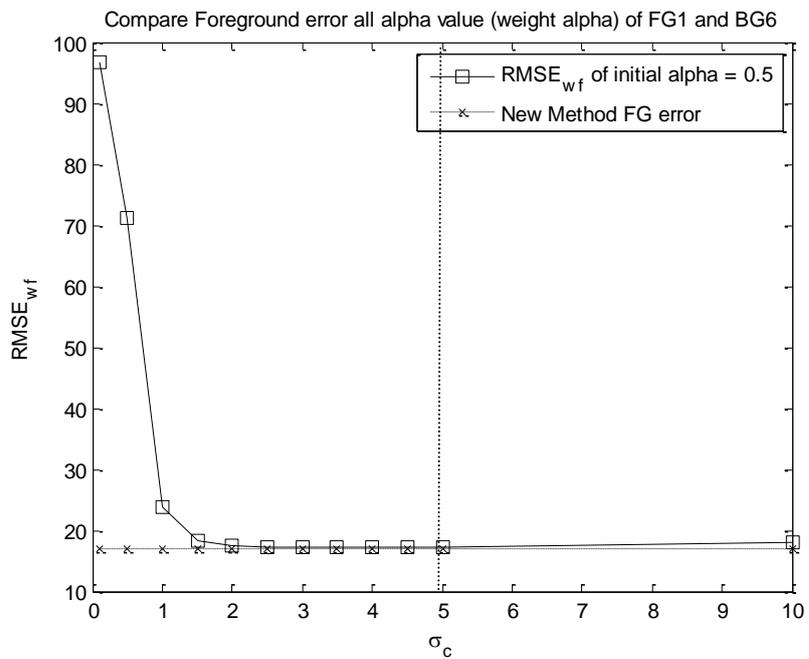


รูปที่ 5.10 กราฟแสดง $RMSE_{wf}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 5 ในตารางที่ 4.2

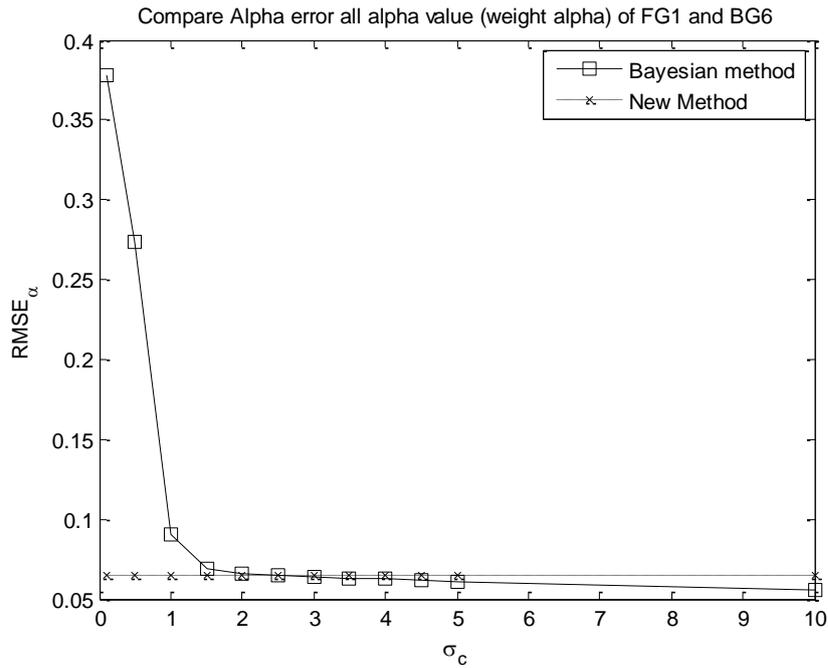


รูปที่ 5.11 กราฟแสดง $RMSE_{\alpha}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 5 ในตารางที่ 4.2

จากกราฟในรูปที่ 5.10 และ 5.11 ได้แสดงค่าของ $RMSE_{wf}$ และ $RMSE_{\alpha}$ จากวิธีการของซุง ที่ค่า $\sigma_c = 5$ สังเกตได้ตามแนวเส้นปะเทียบกับผลของวิธีการในงานวิจัยนี้ จะเห็นว่ามิต่ำน้อยกว่า



รูปที่ 5.12 กราฟแสดง $RMSE_{wf}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 6 ในตารางที่ 4.2



รูปที่ 5.13 กราฟแสดง $RMSE_\alpha$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 6 ในตารางที่ 4.2

จากกราฟในรูปที่ 5.12 และ 5.13 ได้แสดงค่าของ $RMSE_{wf}$ และ $RMSE_\alpha$ จากวิธีการของซุง ที่ค่า $\sigma_c = 5$ สังเกตได้ตามแนวเส้นปะเทียบกับผลของวิธีการในงานวิจัยนี้ จะเห็นว่ามีย่านน้อยกว่า หรือใกล้เคียงกัน

จากทั้ง 12 กราฟที่ผ่านมาจะเห็นว่าวิธีการของซุงจะต้องทดลองที่หลายๆค่าความผิดพลาดของกล้อง (σ_c) เพื่อเลือกใช้ค่าความผิดพลาดของกล้อง (σ_c) ที่ให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด ซึ่งทำไม่ได้ในทางปฏิบัติเพราะแต่รูปที่นำมาใช้ จะไม่รู้ค่าสีที่แท้จริงของวัตถุและความโปร่งแสง แต่สำหรับวิธีการของงานวิจัยนี้ซึ่งให้ผลที่ใกล้เคียงกับวิธีการเดิมสามารถคำนวณค่าสีโดยไม่ต้องเลือกค่าพารามิเตอร์ใดๆ ก็สามารถให้ผลที่ใกล้เคียงหรือดีกว่าวิธีการเดิม

5.2 การทดลองกับภาพฉากหลังธรรมชาติ

ภาพที่ซ้อนทับกับฉากหลังธรรมชาติตามตารางที่ 4.4 4.5 4.6 และ 4.7 จะถูกนำมากำหนดบริเวณส่วนของวัตถุ, ฉากหลังและส่วนที่เกิดการซ้อนทับกัน โดยบริเวณที่กำหนดจะแสดงเป็นสีขาว ดังรูปที่ 5.14 (a) เป็นภาพการกำหนดบริเวณของวัตถุ ส่วนรูปที่ 5.14 (b) เป็นภาพการกำหนดบริเวณของฉากหลัง และรูปที่ 5.14 (c) เป็นภาพการกำหนดบริเวณส่วนที่เกิดการซ้อนทับกัน ส่วนของบริเวณที่เกิดการซ้อนทับกันจะสามารถหาได้โดยการนำภาพการกำหนดบริเวณของฉากหลังกับภาพการกำหนดบริเวณของวัตถุ มากระทำทางลอจิกแบบพิกเซลต่อพิกเซล ดังสมการที่ 5.1

$$\text{Mask}_U = \text{NOT}(\text{Mask}_F \text{XOR} \text{Mask}_B) \quad (5.1)$$

โดยที่

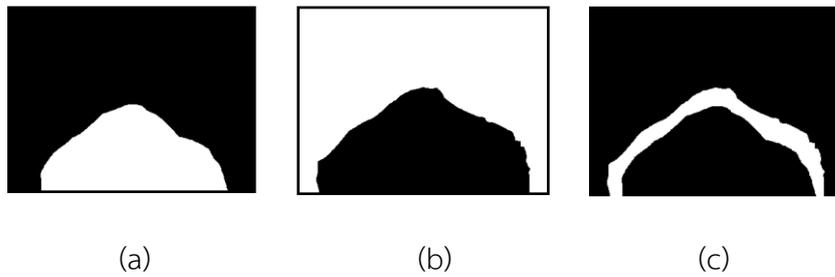
Mask_U คือภาพการกำหนดบริเวณส่วนที่เกิดการซ้อนทับกัน

Mask_F คือภาพการกำหนดบริเวณของวัตถุ

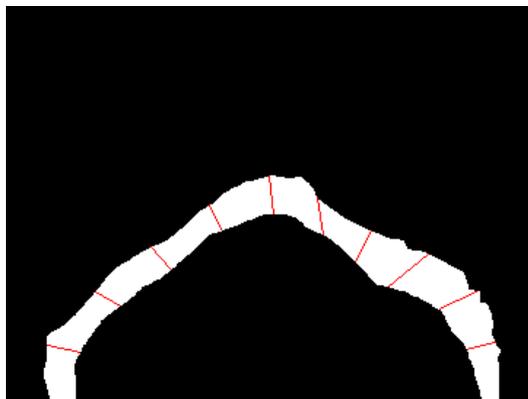
Mask_B คือภาพการกำหนดบริเวณของฉากหลัง

NOT คือการกระทำทางลอจิกแบบน็ือท (NOT)

XOR คือการกระทำทางลอจิกแบบเอ็กคลูซีฟอออร์ (Exclusive-OR)

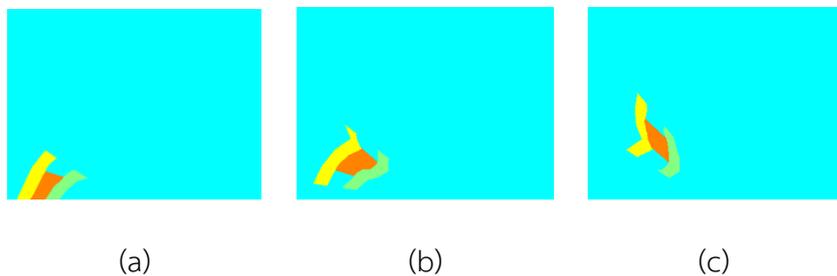


รูปที่ 5.14 (a) – (c) ภาพการกำหนดบริเวณของวัตถุ ฉากหลัง และส่วนที่เกิดการซ้อนทับกัน



รูปที่ 5.15 การแบ่งบริเวณที่เกิดการซ้อนทับกันออกเป็นส่วนๆ

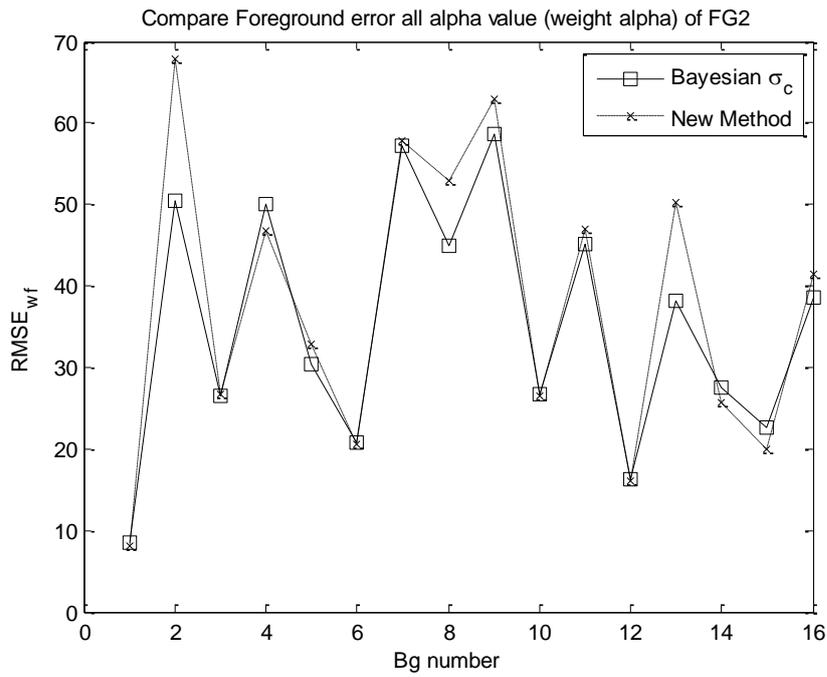
เนื่องจากบริเวณส่วนของภาพที่กำหนดให้เป็นส่วนที่เกิดการซ้อนทับกัน เป็นบริเวณที่อยู่รอบวัตถุ ดังนั้นจึงนำส่วนของฉากหลังและส่วนของวัตถุที่อยู่ใกล้กันกับส่วนที่เกิดการซ้อนทับกันมาใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดการแจกแจงแบบปกติ โดยจะแบ่งบริเวณส่วนที่เกิดการซ้อนทับกันออกเป็นส่วนๆ โดยส่วนที่แบ่งจะถูกกันไว้ด้วยเส้นสีแดงดังรูปที่ 5.15 บริเวณที่มีสีส้มก็คือบริเวณของส่วนที่เกิดการซ้อนทับกัน ส่วนบริเวณสีเหลืองคือส่วนของฉากหลัง และบริเวณสีเขียวคือส่วนของวัตถุ โดยบริเวณของวัตถุและฉากหลังจะถูกแบ่งให้เกินส่วนที่เกิดการซ้อนทับกัน เพื่อต้องการไม่ให้ขาดส่วนของบริเวณของฉากหลังและวัตถุที่ใกล้เคียงกับส่วนที่เกิดการซ้อนทับกัน และเพื่อลดจำนวนกลุ่มสีที่จะนำมาใช้ในการสร้างการแจกแจงแบบปกติในขั้นตอนต่อไปสังเกตได้จากรูปที่ 5.16 (a) – (c)



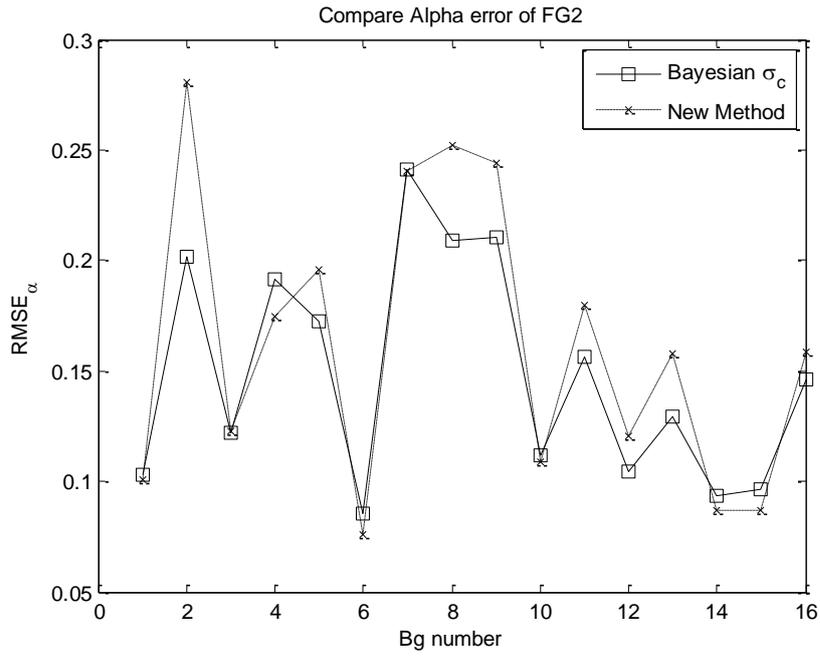
รูปที่ 5.16 การแบ่งบริเวณของวัตถุกับฉากหลังรอบส่วนที่เกิดการซ้อนทับกัน

บริเวณส่วนของวัตถุและฉากหลังที่ถูกแบ่ง จะนำมาใช้ในการสร้างการแจกแจงแบบปกติของวัตถุและฉากหลังตามลำดับ โดยก่อนที่จะหาค่าที่จะใช้ในการแจกแจงแบบปกติของแต่ละบริเวณนั้น จะต้องนำแต่ละส่วนไปทำคลัสเตอร์เพื่อแบ่งกลุ่มสีก่อน การทำคลัสเตอร์ในส่วนของฉากหลังหรือวัตถุที่ได้แบ่งมาแล้ว จะลองกำหนดจำนวนของการแบ่งคลัสเตอร์ ตั้งแต่ 1 ถึง 4 เนื่องจากจำนวนสีของบริเวณที่ถูกแบ่งมีจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับทั้งบริเวณที่ยังไม่ถูกแบ่ง จากนั้นคำนวณหาค่าตามสมการที่ (3.16) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกว่าจะใช้จำนวนคลัสเตอร์กี่กลุ่ม โดยเลือกการแบ่งที่ให้ค่าสูงสุด เมื่อเลือกแบ่งกลุ่มสีตามค่าการแบ่งกลุ่มที่เหมาะสมแล้ว จากนั้นจึงสร้างการแจกแจงแบบปกติตามข้อมูลที่ได้ในแต่ละคลัสเตอร์ สำหรับส่วนที่เกิดการซ้อนทับกันจะนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าของวัตถุและความโปร่งแสงในแต่ละพิกเซลของบริเวณส่วนนี้ ซึ่งขั้นตอนต่อจากนี้จะเหมือนกับการทดลองในหัวข้อ 5.1 ทุกขั้นตอน โดยจะนำผลที่ได้จากวิธีการของซุง [3] ไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้ของงานวิจัยนี้ เนื่องจากจำนวนของภาพที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนมาก ดังนั้นผลการทดลองที่ได้จากวิธีการของซุง จะเลือกเอาเฉพาะค่า $RMSE_{wf}$ น้อยที่สุดกับมากที่สุดที่พร้อมกันกับค่า σ_c ที่ใช้ทดลองมาเปรียบเทียบ ผลการทดลองจะมีทั้งหมด 4 ชุด ชุด 3 กราฟกราฟแรกจะเป็นกราฟของ $RMSE_{wf}$ เทียบกับฉากหลังที่

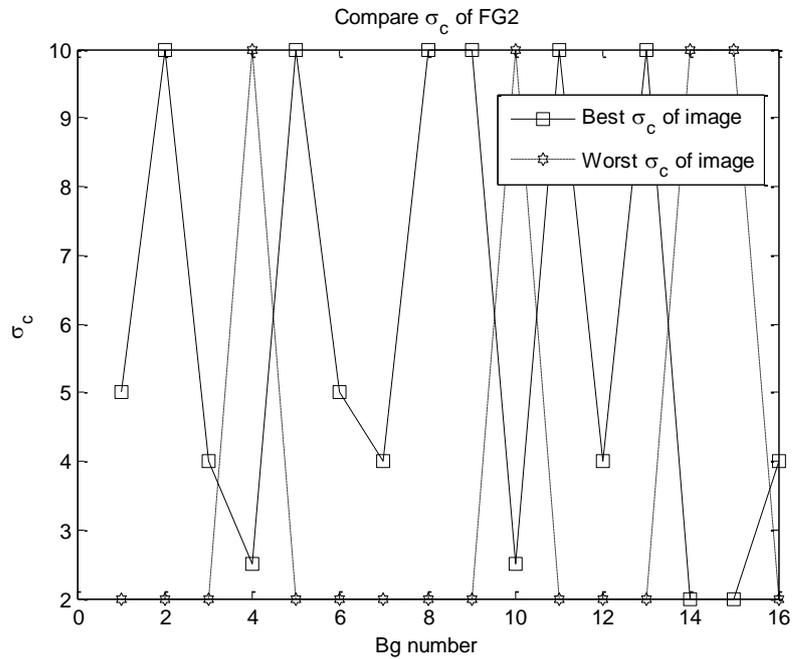
นำมาซ้อนทับ โดยแกนตั้งของกราฟจะเป็นค่าของ $RMSE_{wf}$ ส่วนแกนนอนจะเป็นภาพของฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ ส่วนกราฟที่ 2 จะเป็นกราฟของ $RMSE_{\alpha}$ โดยแกนตั้งของกราฟจะเป็นค่าของ $RMSE_{\alpha}$ ส่วนแกนนอนจะเป็นภาพของฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ และกราฟที่ 3 จะเป็นกราฟของ σ_c โดยแกนตั้งของกราฟจะเป็นค่าของ σ_c ส่วนแกนนอนจะเป็นภาพของฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ ดังแสดงไว้ตามรูปที่ 5.17 ถึง 5.28



รูปที่ 5.17 กราฟของ $RMSE_{wf}$ ของภาพวัตถุภาพที่ 2 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ

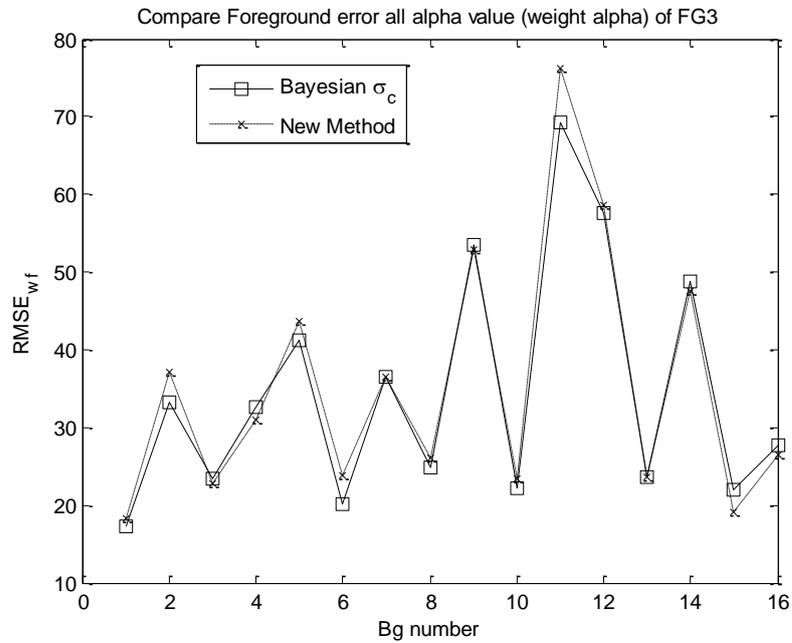


รูปที่ 5.18 กราฟของ $RMSE_{\alpha}$ ของภาพวัตถุภาพที่ 2 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ

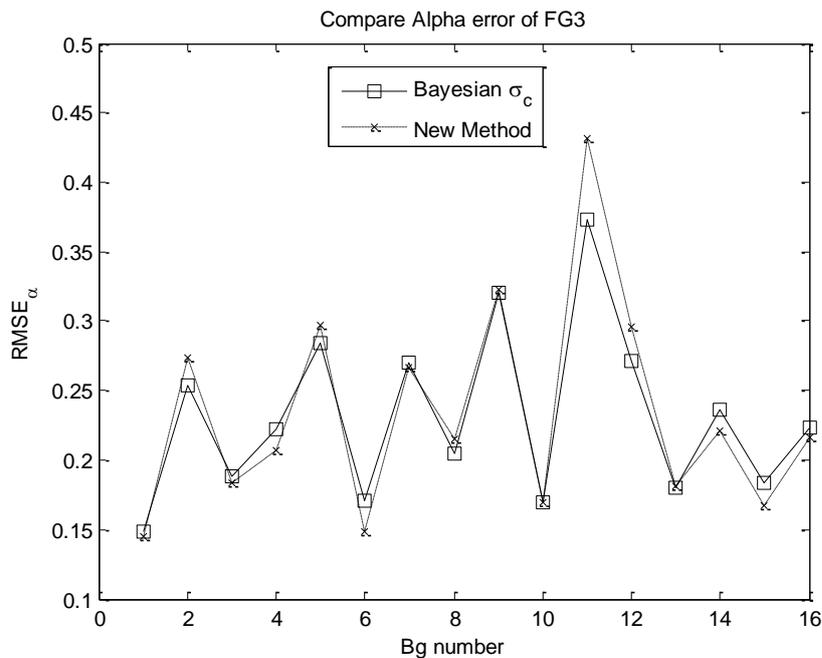


รูปที่ 5.19 กราฟของ σ_c ของภาพวัตถุภาพที่ 2 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ

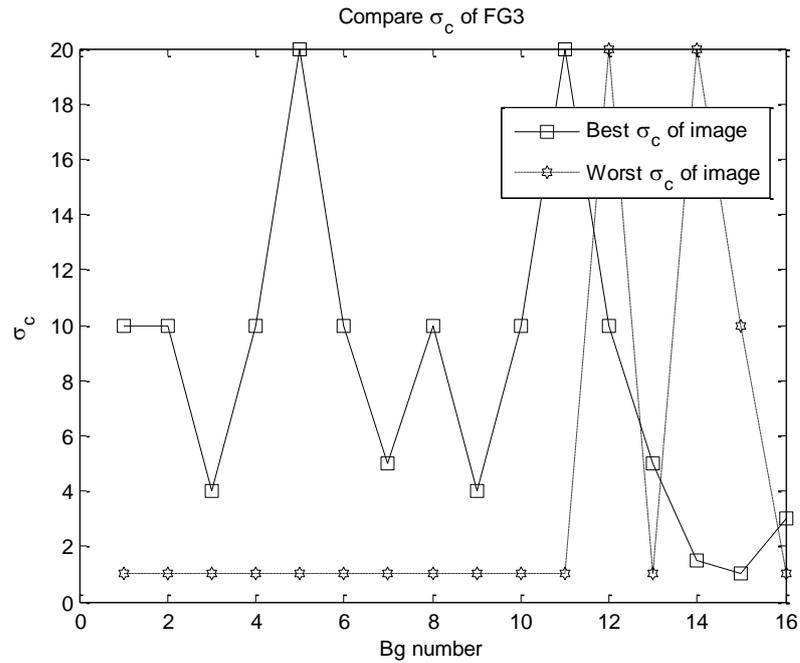
จากกราฟรูปที่ 5.17 แสดงให้เห็นว่าผลของ $RMSE_{wf}$ จากการคำนวณของวิธีการของซุงกับของงานวิจัยนี้มีความใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มไปตามทิศทางของค่า $RMSE_{\alpha}$ ตามกราฟรูปที่ 5.18 โดยค่าของ σ_c ที่ใช้ในวิธีการของซุงที่ทำให้ $RMSE_{wf}$ มีค่าต่ำสุด (Best σ_c) จะมีค่าอยู่ในช่วง 2 ถึง 10 ดูได้จากกราฟรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.20 กราฟของ $RMSE_{wf}$ ของภาพวัตถุภาพที่ 3 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ

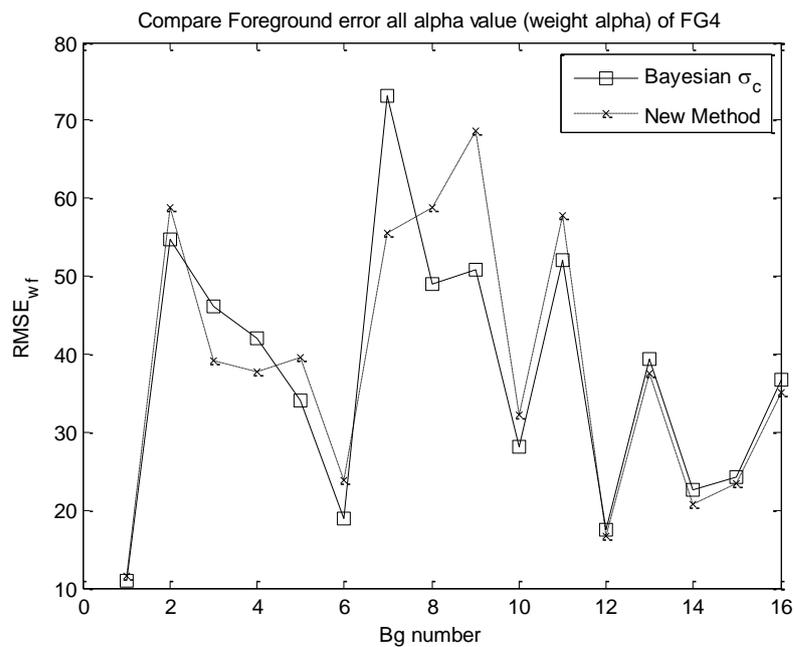


รูปที่ 5.21 กราฟของ $RMSE_{\alpha}$ ของภาพวัตถุภาพที่ 3 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ

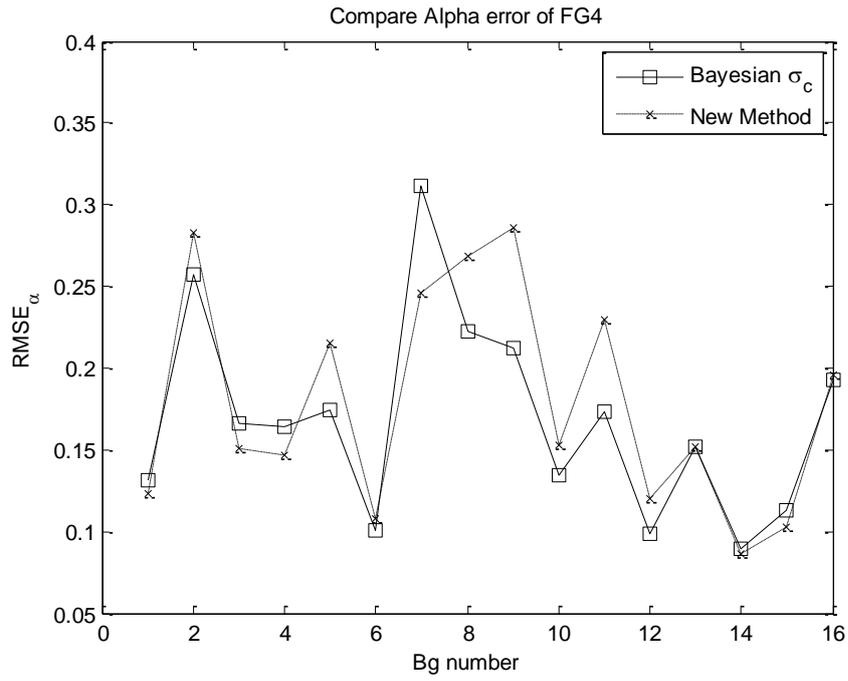


รูปที่ 5.22 กราฟของ σ_c ของภาพวัตถุภาพที่ 3 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ

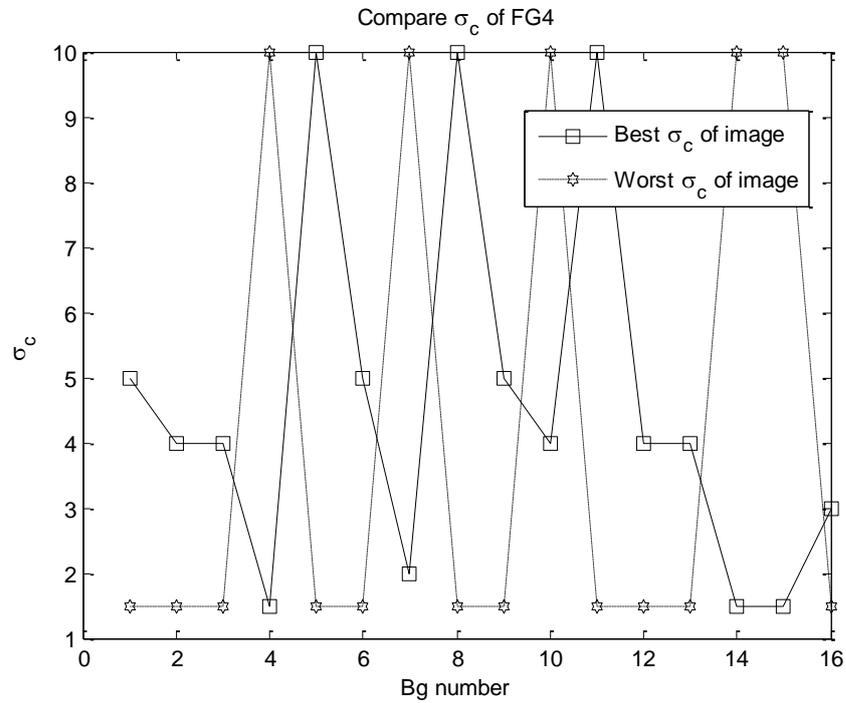
จากกราฟรูปที่ 5.20 แสดงให้เห็นว่าค่าของ $RMSE_{wf}$ จากการคำนวณของวิธีการของซุงกับของงานวิจัยนี้มีความใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มไปตามทิศทางของค่า $RMSE_{\alpha}$ ตามกราฟรูปที่ 5.21 โดยค่าของ σ_c ที่ใช้ในวิธีการของซุงที่ทำให้ $RMSE_{wf}$ มีค่าต่ำสุด (Best σ_c) จะมีค่าอยู่ในช่วง 1 ถึง 20 ดูได้จากกราฟรูปที่ 5.22



รูปที่ 5.23 กราฟของ $RMSE_{wf}$ ของภาพวัตถุภาพที่ 4 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ

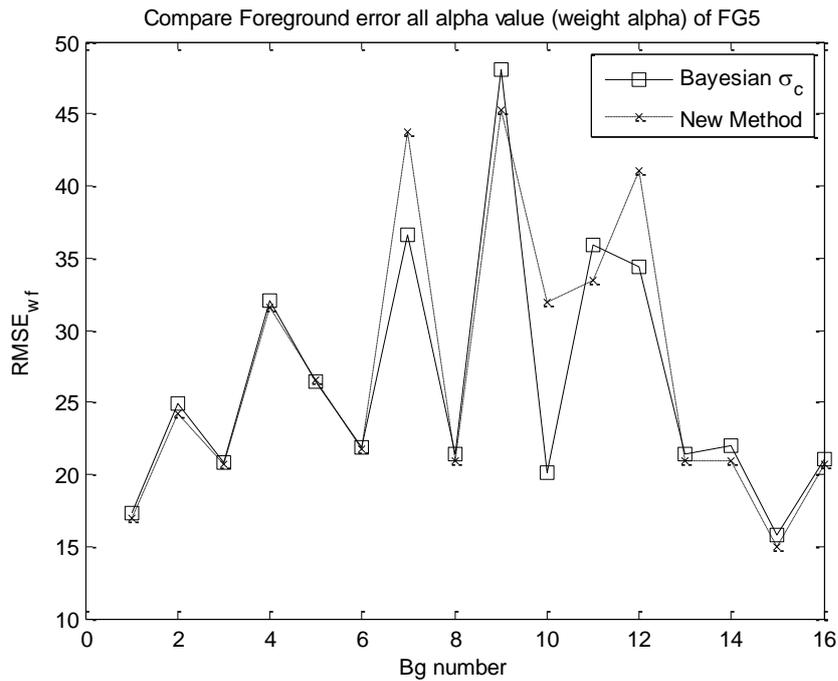


รูปที่ 5.24 กราฟของ $RMSE_{\alpha}$ ของภาพวัตถุภาพที่ 4 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ

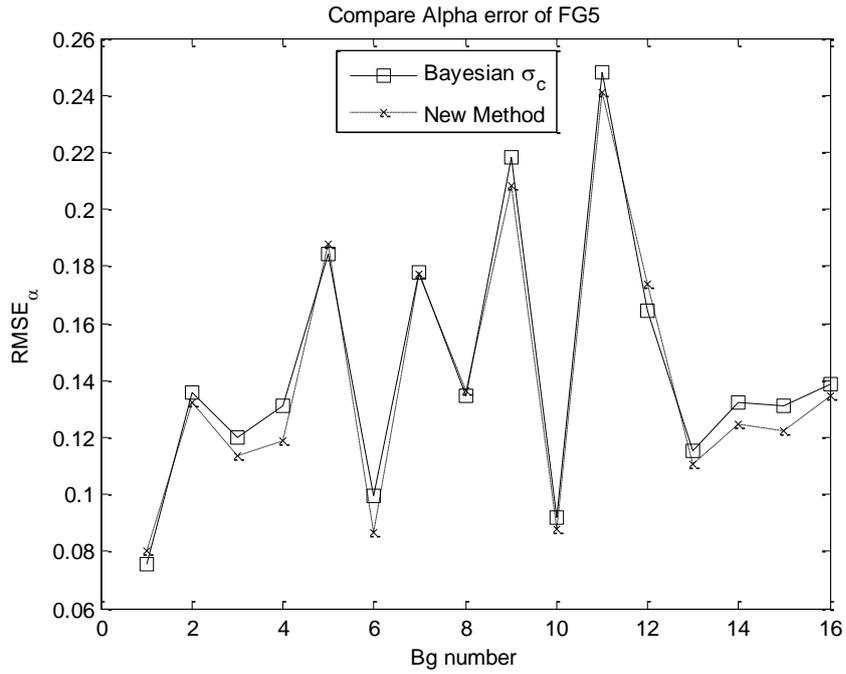


รูปที่ 5.25 กราฟของ σ_c ของภาพวัตถุภาพที่ 4 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ

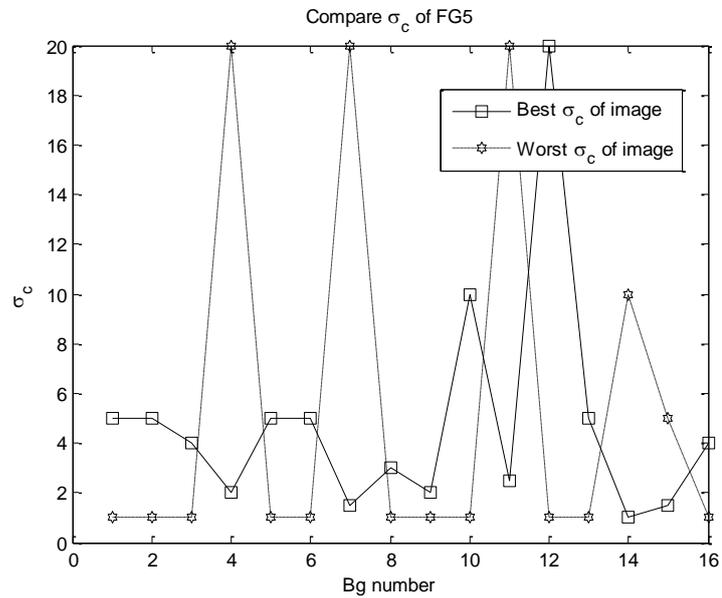
จากกราฟรูปที่ 5.23 แสดงให้เห็นว่าผลของ $RMSE_{wf}$ จากการคำนวณของวิธีการของซุงกับของงานวิจัยนี้มีความใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มไปตามทิศทางของค่า $RMSE_{\alpha}$ ตามกราฟรูปที่ 5.24 โดยค่าของ σ_c ที่ใช้ในวิธีการของซุงที่ทำให้ $RMSE_{wf}$ มีค่าต่ำสุด (Best σ_c) จะมีค่าอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 10 ดูได้จากกราฟรูปที่ 5.25



รูปที่ 5.26 กราฟของ $RMSE_{wf}$ ของภาพวัตถุภาพที่ 5 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ



รูปที่ 5.27 กราฟของ $RMSE_{\alpha}$ ของภาพวัตถุภาพที่ 5 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ



รูปที่ 5.28 กราฟของ σ_c ของภาพวัตถุภาพที่ 5 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ

จากกราฟรูปที่ 5.26 แสดงให้เห็นว่าผลของ $RMSE_{wf}$ จากการคำนวณของวิธีการของซุงกับของงานวิจัยนี้มีความใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มไปตามทิศทางของค่า $RMSE_{\alpha}$ ตามกราฟรูปที่ 5.27 โดยค่าของ σ_c ที่ใช้ในวิธีการของซุงที่ทำให้ $RMSE_{wf}$ มีค่าต่ำสุด (Best σ_c) จะมีค่าอยู่ในช่วง 1 ถึง 20 ดูได้จากกราฟรูปที่ 5.28

5.3 การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริธึมกับวิธีการของซุง

นำภาพที่ซ้อนทับกับฉากหลังใหม่ที่สร้างขึ้นมาทำการทดลองเปรียบเทียบผลการคำนวณกับวิธีการของซุง โดยให้ทำการประมาณค่าสีของวัตถุและค่าความโปร่งแสงในแต่ละพิกเซล โดยกำหนดให้มีจำนวนรอบของการคำนวณ 20 รอบเท่ากันทั้ง 2 วิธี แล้วพิจารณาว่าแต่่วิธีค่าของผลคูณของสีวัตถุกับค่าความโปร่งแสงที่ประมาณได้จะลู่เข้าที่จำนวนรอบของการคำนวณเท่าไร การลู่เข้าจะใช้การเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้ของรอบการคำนวณที่ติดกันภายในการคำนวณ 20 รอบตามสมการที่ (5.2)

$$D_{wF} = \sqrt{(\alpha_i R_i - \alpha_{i+1} R_{i+1})^2 + (\alpha_i G_i - \alpha_{i+1} G_{i+1})^2 + (\alpha_i B_i - \alpha_{i+1} B_{i+1})^2} \quad (5.2)$$

โดยที่

D_{wF} คือผลต่างของผลคูณของสีของวัตถุกับค่าความโปร่งแสงของรอบการคำนวณที่ i กับ $i+1$

α คือค่าความโปร่งแสงของการคำนวณในแต่ละรอบ

R คือค่าสีแดงของการคำนวณในแต่ละรอบ

G คือค่าสีเขียวของการคำนวณในแต่ละรอบ

B คือค่าสีน้ำเงินของการคำนวณในแต่ละรอบ

i คือรอบของการคำนวณ

เงื่อนไขของการลู่เข้าจะพิจารณาจากค่าของ D_{wF} โดยค่าจะต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 จึงจะแสดงว่าการคำนวณเกิดการลู่เข้า จากนั้นจึงนำมาหาค่าเฉลี่ยของทุกพิกเซลที่ถูกลำเอามาใช้ในการ

คำนวณ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกัน วิธีการใดที่มีค่าเฉลี่ยของจำนวนรอบของการคำนวณน้อยกว่า แสดงว่าเป็นวิธีการที่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยที่สุด โดยได้ทำการทดลองกับภาพในตารางที่ 4.2 ทั้ง 6 รูปแล้วหาค่าเฉลี่ยกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนรอบของการคำนวณที่เกิดการลู่เข้าในทุกๆ พิกเซลที่นำมาใช้ในการคำนวณได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.1 ส่วนตารางที่ 5.2 ได้แสดงจำนวนของ พิกเซลที่นำมาคำนวณแล้วเกิดการลู่เข้าแล้วไม่ลู่เข้า

ตารางที่ 5.1 ค่าเฉลี่ยกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนรอบของการคำนวณที่เกิดการลู่เข้า

ภาพฉากหลังที่สร้างขึ้น แล้วซ้อนทับกับภาพ วัตถุรูปที่ 1	วิธีการของงานวิจัยนี้		วิธีการของซุง	
	ค่าเฉลี่ยของจำนวน รอบของการคำนวณ ที่เกิดการลู่เข้า	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของจำนวนรอบของการ คำนวณที่เกิดการลู่เข้า	ค่าเฉลี่ยของจำนวน รอบของการคำนวณ ที่เกิดการลู่เข้า	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของจำนวนรอบของการ คำนวณที่เกิดการลู่เข้า
1	4.2498	4.3542	13.2776	5.5833
2	3.0815	1.2246	9.5736	5.6795
3	2.6591	2.3301	11.004	4.5272
4	3.0493	2.9493	10.495	4.0965
5	4.6708	2.9819	8.8338	3.0833
6	3.9895	2.8333	6.9481	2.4631

ตารางที่ 5.2 จำนวนพิกเซลที่ทำการคำนวณของทั้ง 2 วิธีการแล้วไม่เกิดการลู่เข้า

ภาพฉากหลังที่สร้าง ขึ้นแล้วซ้อนทับกับ ภาพวัตถุรูปที่ 1	วิธีการของงานวิจัยนี้		วิธีการของซุง	
	จำนวนพิกเซลที่เกิด การลู่เข้า (%)	จำนวนพิกเซลที่ไม่เกิด การลู่เข้า (%)	จำนวนพิกเซลที่เกิด การลู่เข้า (%)	จำนวนพิกเซลที่ไม่เกิด การลู่เข้า (%)
1	93.09279	6.907214	95.95414	4.045858
2	99.58852	0.411483	98.66803	1.33197
3	98.31839	1.681612	99.99049	0.009514
4	97.20762	2.792379	99.99286	0.007136
5	97.56916	2.430845	99.99049	0.009514
6	97.59016	2.40984	100	0

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 วิธีจากผลการทดลองทั้ง 6 ภาพจากตารางที่ 5.1 จะเห็นได้ว่า วิธีการของงานวิจัยนี้มีค่าเฉลี่ยของจำนวนรอบของการลู่เข้าที่น้อยกว่าวิธีการของซุงและมีความ

ซับซ้อนของอัลกอริธึมเมื่อเปรียบเทียบจากจำนวนของ Operation Count ดังนั้นวิธีการของงานวิจัยนี้จึงใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าทุกภาพที่นำมาทดลองเมื่อเทียบกับวิธีการของซุง ถึงแม้ว่าเมื่อพิจารณาที่ตารางที่ 5.2 เปอร์เซ็นของจำนวนของพิกเซลที่นำมาคำนวณของงานวิจัยนี้แล้วไม่เกิดการลู่เข้าจะมีค่าสูงกว่าเปอร์เซ็นของจำนวนของพิกเซลที่นำมาคำนวณแล้วไม่เกิดการลู่เข้าตามวิธีการของซุงก็ตาม เพราะว่าเมื่อดูค่าของ $RMSE_{wf}$ จากกราฟรูปที่ 5.2 ค่าที่ได้ของทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกันซึ่งจำนวนของพิกเซลที่ไม่เกิดการลู่เข้าไม่ได้มีผลทำให้ค่าของ $RMSE_{wf}$ ของงานวิจัยนี้มีค่ามากกว่าวิธีการของซุง

บทที่ 6

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากผลการทดลองในบทที่ 5 ในส่วนแรกจะเป็นการทดลองกับภาพของวัตถุที่หาค่าสีและค่าความโปร่งแสงจากวิธีการของบลูสกรีนที่ซ้อนทับกับภาพของฉากหลังที่สร้างขึ้น เพื่อหาค่าของ และของวิธีการของซุงและวิธีการของงานวิจัยนี้ เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะมีค่าของ และที่น้อยกว่าหรือใกล้เคียงกับวิธีการของซุงและส่วนการทดลองกับภาพของวัตถุที่หาค่าสีของวัตถุและค่าความโปร่งแสงที่ซ้อนทับกับภาพของฉากหลังแบบธรรมชาตินั้น จะให้ผลที่ใกล้เคียงกับวิธีการของซุง ซึ่งในทางปฏิบัติวิธีการของงานวิจัยนี้จะมีข้อดีกว่าวิธีการของซุงตรงที่ไม่ต้องเลือกค่า โดยทั้ง 2 วิธีได้ผลที่ใกล้เคียงกันและข้อดีของงานวิจัยนี้อีกอย่างก็คือวิธีการที่เสนอจะใช้เวลาในการคำนวณที่น้อยกว่าวิธีการของซุงเพราะมีค่าเฉลี่ยของจำนวนรอบของการคำนวณที่เกิดการลู่เข้าและมีความซับซ้อนของอัลกอริธึมที่วัดจาก Operation Count น้อยกว่าวิธีการของซุง

จากการทดลองสรุปปัญหาที่พบได้ดังต่อไปนี้

- จากการทดลองในส่วนของการซ้อนทับกับฉากหลังแบบธรรมชาติ ได้ค่าของ ที่สูงกว่าการทดลองกับภาพที่ซ้อนทับกับฉากหลังที่สร้างขึ้น เนื่องจากฉากหลังแบบธรรมชาติหลายๆแบบมีบางบริเวณในภาพที่มีค่าสีที่ใกล้เคียงกับค่าสีของวัตถุ ซึ่งทำให้การคำนวณตามวิธีการของซุงกับของงานวิจัยนี้ได้ผลที่ไม่ถูกต้องด้วย
- ความกว้างของส่วนที่เกิดการซ้อนทับกันถ้ามีค่ามากจะทำให้ความผิดพลาดของการคำนวณและเวลาในการคำนวณมีค่ามากตามไปด้วยเมื่อถูกนำไปใช้กับการคำนวณกับฉากหลังแบบธรรมชาติ

6.2 ข้อเสนอแนะ

จากปัญหาที่พบในงานวิจัย มีข้อเสนอแนะในการปรับปรุงคุณภาพของภาพที่ได้ดังนี้

- ส่วนของการกำหนดบริเวณที่เกิดการซ้อนทับกันให้พยายามกำหนดบริเวณให้มีความกว้างน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อลดความผิดพลาดในการคำนวณและเวลาในการคำนวณ
- ส่วนของการทำคลัสเตอร์ตรงบริเวณส่วนย่อยของภาพวัตถุกับฉากหลังนั้น ในงานวิจัยนี้ยังใช้วิธีการของ k-mean มาใช้ในการแบ่งกลุ่มสีซึ่งอาจได้การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีที่ไม่ถูกต้อง ดังนั้นอาจสามารถนำเอาวิธีการทำคลัสเตอร์ที่มีความถูกต้องมากกว่า เช่นวิธีการ EM algorithm มาใช้เพื่อแบ่งกลุ่มสีเพื่อให้ได้การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีที่มีความถูกต้องมากขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] T. Porter and T. Duff.: '*Compositing digital images*'. In SIGGRAPH 1984, pages 253–259, July 1984.
- [2] Smith, A., and Blinn, J.: '*Blue screen matting*'. In SIGGRAPH96, pages 259–268, Aug. 1996.
- [3] Ruzon, M., and Tomasi, C.: '*Alpha estimation in natural images*'. Proc. Int. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, 2000, pp. 18–25
- [4] Chuang, Y.Y., Curless, B., Salesin, D.H., and Szeliski, R.: '*A Bayesian approach to digital matting*'. Proc. Int. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, 2001, pp. 264–271
- [5] G. Schwartz.: '*Estimating the Dimension of a Model*'. The Annals of Statistics, Vol. 5, No. 2, 1978, pp 461-464.
- [6] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods .: **Digital Image Processing**. 2nd ed. New JERSEY : Prentice-Hall, Inc. 2002.