

เทคนิคการซ้อนภาพแบบดิจิทัลจากรูปถ่ายพื้นหลังธรรมชาติ

DIGITAL MATTING TECHNIQUE FROM IMAGES WITH NATURAL
BACKGROUND

ชัยพิชิต คำพิมพ์
CHAIPICHIT CUMPIM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

KMITL-2007-IT-M-001-134

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เทคนิคการซ้อนภาพแบบดิจิทัลจากรูปถ่ายพื้นหลังธรรมชาติ

DIGITAL MATTING TECHNIQUE FROM IMAGES WITH NATURAL
BACKGROUND



ชัยพิชิต คำพิมพ์

CHAIPICHIT CUMPIM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2550

KMITL-2007-IT-M-001-134

**DIGITAL MATTING TECHNIQUE FROM IMAGES WITH NATURAL
BACKGROUND**

CHAIPICHIT CUMPIM

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN INFORMATION TECHNOLOGY
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2007

KMITL-2007-IT-M-001-134

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เทคนิคการซ้อนภาพแบบดิจิทัลจากรูปถ่ายพื้นหลังธรรมชาติ
นักศึกษา	นายชัยพิชิต คำพิมพ์
รหัสประจำตัว	45061519
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสารสนเทศ
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.นพพร โชติกกำธร

บทคัดย่อ

เทคนิคการซ้อนภาพของวัตถุกับฉากหลัง คือการเปลี่ยนแปลงฉากหลังของวัตถุในภาพที่ถ่าย โดยการแทนที่ฉากหลังเดิมในภาพด้วยภาพฉากหลังใหม่ โดยอาศัยค่าความโปร่งแสงบริเวณรอยต่อระหว่างวัตถุกับฉากหลังในการประสานภาพวัตถุกับฉากหลังให้มีความกลมกลืนกัน งานวิจัยของชุงได้ใช้ทฤษฎีของเบย์มาคำนวณหาค่าความโปร่งแสง สีของวัตถุและฉากหลัง โดยกำหนดให้ค่าสีของพิกเซลเกิดจากสององค์ประกอบคือการผสมกันระหว่างค่าสีของวัตถุและฉากหลัง และมีค่าความโปร่งแสงควบคุมสัดส่วนการผสมกัน ส่วนองค์ประกอบที่สองคือค่าความผิดพลาดของกล้อง คุณภาพของภาพที่ได้จากงานวิจัยนี้จะขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าความผิดพลาดของกล้อง ซึ่งค่าความผิดพลาดที่ให้ผลดีที่สุดในแต่ละภาพจะไม่เท่ากัน จึงเป็นข้อเสียที่จะต้องเลือกค่าความผิดพลาดของกล้องที่เหมาะสมมาใช้ ในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการซ้อนภาพโดยใช้ทฤษฎีของเบย์ในการคำนวณหาค่าสีของวัตถุ หากแต่ไม่จำเป็นต้องมีองค์ประกอบของค่าความผิดพลาดของกล้อง และได้ทำการพัฒนาอัลกอริทึมในการแก้สมการเพื่อหาค่าสีวัตถุ สีฉากหลัง และค่าความโปร่งแสง จากผลการทดลองพบว่า ค่าความโปร่งแสงที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกับวิธีการเดิมของชุง โดยคุณภาพของภาพที่ได้เมื่อนำค่าความโปร่งแสงและสีของวัตถุที่คำนวณได้ไปซ้อนทับกับฉากหลังภาพใหม่ให้ผลไม่แตกต่างจากวิธีการของชุง แต่อัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นช่วยลดความซับซ้อนของการคำนวณได้น้อยกว่าวิธีการของชุง

Thesis	Digital Matting Technique from Images with Natural Background
Student	Mr. Chaipichit Cumpim
Student ID.	45061519
Degree	Master of Science
Program	Information Technology
Year	2007
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Nopporn Chotikakamthorn

ABSTRACT

Image composition techniques are used to change 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 varies from one image to 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 give similar alpha channel values to those obtained by Chuang's method. The quality of image when composited with a new natural background is not different from Chuang's method. However, the proposed method reduced the computational complexity to that of Chuang's method.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร. นพพร โชติกคำธร ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาชี้แนะวิธีการและแนวทางในการทำวิจัย คอยให้เทคนิคและวิธีการใหม่ๆที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาการทำวิจัย จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของท่าน

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆท่านที่อำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณสมาชิก MV Lab และ IME Lab ทุกๆท่าน ที่เป็นที่ปรึกษาและคอยให้กำลังใจเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณเพื่อนๆที่ๆนึ่งๆในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกคนที่เป็นกำลังใจและให้คอยคำแนะนำเวลาารู้สึกท้อเสอมมา

อนึ่งงานวิจัยที่นำเสนอในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ส่วนหนึ่งกระทำภายใต้ห้องปฏิบัติการ สื่อประสมและระบบเสมือน (Multimedia and Virtual Research Laboratory: MVLab) สำนักวิจัย การสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกๆเรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่บุพการี บุรพคณาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน

ชัยพิชิต คำพิมพ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทยสารบัญ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การวัดประสิทธิภาพของวิธีการประมาณค่า	3
2.2 เทคนิคการซ้อนภาพจากหลังแบบบลูสกรีน (Blue Screen Matting).....	4
2.2.1 วิธีแบบฉากหลังไม่มีสีน้ำเงิน (No Blue Matting)	5
2.2.2 วิธีแบบสีของภาพวัตถุเป็นสีเทา (Gray)	6
2.2.3 วิธีแบบไตรแองกูลേഷัน (Triangulation Matting)	6
2.3 การประมาณค่าความโปร่งแสง (Alpha) ในภาพแบบธรรมชาติ.....	8
2.4 การประมาณค่าความโปร่งแสง (Alpha) โดยใช้วิธีการของชุง (Chuang's method)	11
บทที่ 3 ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัยและวิธีการคำนวณหาค่าสีจากภาพ.....	16
3.1 ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย.....	16
3.1.1 แบบจำลองอาร์จีบี (RGB Color Model)	16
3.1.2 พื้นฐานของภาพ (Principle of Image).....	17
3.1.2.1 ภาพสีเทา (Grayscale Images).....	17

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.1.2.2 ภาพสี (True Color Images).....	18
3.1.3 ทฤษฎีการซ้อนภาพ (Image Compositing)	19
3.1.4 การแจกแจงแบบปกติหลายตัวแปร (Multivariate Gaussian Distribution)	19
3.1.5 เวกเตอร์ (Vector)	20
3.1.6 การแบ่งกลุ่มสี (Clustering).....	20
3.1.7 เบย์เซียนอินฟอร์เมชัน ไคทีเรีย (Bayesian Information Criteria).....	21
3.1.8 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอัลกอริทึม.....	22
3.2 วิธีการคำนวณหาค่าสีวัตถุและความโปร่งแสง (Alpha).....	24
3.3 การวิเคราะห์ความซับซ้อนในการคำนวณของอัลกอริทึม.....	29
บทที่ 4 อุปกรณ์และข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง.....	31
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล.....	31
4.2 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง	31
4.2.1 สภาพแวดล้อมขณะเก็บข้อมูล.....	31
4.2.2 ภาพที่ใช้ในการทดลอง	33
บทที่ 5 วิธีการทดลองและผลการทดลอง.....	54
5.1 การทดลองกับภาพฉากหลังที่สร้างขึ้น	54
5.2 การทดลองกับภาพฉากหลังธรรมชาติสาร.....	61
5.3 การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม.....	70
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	73
เอกสารอ้างอิง	75
ภาคผนวก.....	76
ภาคผนวก ก. บทความและผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	77
ประวัติผู้เขียน.....	82

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตารางแสดงค่าของ Operation Count ของวิธีการของซุง	29
3.2 ตารางแสดงค่าของ Operation Count ของวิธีการของงานวิจัยนี้	30
4.1 ภาพค่าความโปร่งแสงและสีของวัตถุ.....	31
4.2 ภาพค่าความโปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุซ้อนทับกับฉากหลังที่สร้างขึ้น	33
4.3 ภาพฉากหลังแบบธรรมชาติ.....	41
4.4.1 ภาพค่าความ โปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุซ้อนทับรูปที่ 2 ทับกับฉากหลังแบบธรรมชาติ.....	45
4.4.2 ภาพค่าความ โปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุซ้อนทับรูปที่ 3 กับฉากหลังแบบธรรมชาติ	47
4.4.3 ภาพค่าความ โปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุซ้อนทับรูปที่ 4 กับฉากหลังแบบธรรมชาติ	49
4.4.4 ภาพค่าความ โปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุซ้อนทับรูปที่ 5 กับฉากหลังแบบธรรมชาติ	51
4.5 ภาพที่กำหนดบริเวณของวัตถุและภาพที่กำหนดบริเวณของฉากหลัง.....	53
5.1 ค่าเฉลี่ยกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนรอบของการคำนวณที่เกิดการลู่เข้า.....	72
5.2 จำนวนพิกเซลที่ทำการคำนวณของทั้ง 2 วิธีการแล้วไม่เกิดการลู่เข้า	72

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เส้นทแยงมุมของ โมเดลสี่แบบอาร์จีบี.....	6
2.2 ตัวอย่างภาพวัตถุที่มีฉากหลังเป็นสีน้ำเงิน ภาพที่เกิดจากการซ้อนทับกันกับฉากหลังใหม่.....	7
2.3 ส่วนของวัตถุ, ส่วนของฉากหลัง และส่วนที่เกิดจากการซ้อนทับกัน.....	8
2.4 ลักษณะการจับคู่คลัสเตอร์เพื่อคำนวณหาค่าความโปร่งแสง.....	9
2.5 ลักษณะของเวกเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณหาวัตถุและฉากหลังใหม่.....	10
2.6 การคำนวณหาค่าความโปร่งแสง, สีของวัตถุและฉากหลัง.....	13
2.7 ผลของ $RMSE_{wf}$ จากการกำหนดค่าความโปร่งแสงเริ่มต้นให้ต่างจากค่าจริง 0.05 และ 0.5.....	14
2.8 ผลที่เกิดจากการกำหนดค่าผิดพลาดของกล้องมาใช้ในการคำนวณไม่เหมาะสม.....	15
3.1 แบบจำลองสี RGB.....	16
3.2 ตัวอย่างภาพสีเทา.....	17
3.3 ตัวอย่างภาพสี.....	18
3.4 ให้เวกเตอร์ของสีวัตถุและฉากหลังใหม่.....	26
4.1 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีแดงของฉากหลังรูปที่ 1 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1.....	34
4.2 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีเขียวของฉากหลังรูปที่ 1 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1.....	35
4.3 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีน้ำเงินของฉากหลังรูปที่ 1 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1.....	35
4.4 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีแดงของฉากหลังรูปที่ 2 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1.....	35
4.5 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีเขียวของฉากหลังรูปที่ 2 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1.....	36
4.6 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีน้ำเงินของฉากหลังรูปที่ 2 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1.....	36
4.7 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีแดงของฉากหลังรูปที่ 3 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1.....	36
4.8 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีเขียวของฉากหลังรูปที่ 3 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1.....	37
4.9 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีน้ำเงินของฉากหลังรูปที่ 3 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1.....	37
4.10 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีแดงของฉากหลังรูปที่ 4 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1.....	37
4.11 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีเขียวของฉากหลังรูปที่ 4 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1.....	38
4.12 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีน้ำเงินของฉากหลังรูปที่ 4 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1.....	38
4.13 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีแดงของฉากหลังรูปที่ 5 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1.....	38
4.14 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีเขียวของฉากหลังรูปที่ 5 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1.....	39
4.15 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีน้ำเงินของฉากหลังรูปที่ 5 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1.....	39
4.16 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีแดงของฉากหลังรูปที่ 6 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1.....	39

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสี่เหลี่ยมของฉากหลังรูปที่ 6 กับกลุ่มสี่ของวัตถุรูปที่ 1.....	40
4.18 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสี่น้ำเงินของฉากหลังรูปที่ 6 กับกลุ่มสี่ของวัตถุรูปที่ 1	40
4.19 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสี่แดงของฉากหลังธรรมชาติรูปที่ 2	43
4.20 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสี่เหลี่ยมของฉากหลังธรรมชาติรูปที่ 2	43
4.21 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสี่น้ำเงินของฉากหลังธรรมชาติรูปที่ 2.....	43
4.22 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสี่แดงของฉากหลังธรรมชาติรูปที่ 3	44
4.23 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสี่เหลี่ยมของฉากหลังธรรมชาติรูปที่ 3	44
4.24 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสี่น้ำเงินของฉากหลังธรรมชาติรูปที่ 3.....	44
5.1 ภาพการกำหนดบริเวณของวัตถุ ฉากหลัง และส่วนที่เกิดการซ้อนทับกัน.....	54
5.2 กราฟแสดง $RMSE_{wf}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 1 ในตารางที่ 4.2	55
5.3 กราฟแสดง $RMSE_{\alpha}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 1 ในตารางที่ 4.2	55
5.4 กราฟแสดง $RMSE_{wf}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 2 ในตารางที่ 4.2	56
5.5 กราฟแสดง $RMSE_{\alpha}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 2 ในตารางที่ 4.2	56
5.6 กราฟแสดง $RMSE_{wf}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 3 ในตารางที่ 4.2	57
5.7 กราฟแสดง $RMSE_{\alpha}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 3 ในตารางที่ 4.2	57
5.8 กราฟแสดง $RMSE_{wf}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 4 ในตารางที่ 4.2	58
5.9 กราฟแสดง $RMSE_{\alpha}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 4 ในตารางที่ 4.2	58
5.10 กราฟแสดง $RMSE_{wf}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 5 ในตารางที่ 4.2	59
5.11 กราฟแสดง $RMSE_{\alpha}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 5 ในตารางที่ 4.2	59
5.12 กราฟแสดง $RMSE_{wf}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 6 ในตารางที่ 4.2	60
5.13 กราฟแสดง $RMSE_{\alpha}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 6 ในตารางที่ 4.2	60
5.14 ภาพการกำหนดบริเวณของวัตถุ ฉากหลัง และส่วนที่เกิดการซ้อนทับกัน	61
5.15 การแบ่งบริเวณที่เกิดการซ้อนทับกันออกเป็นส่วนๆ	62
5.16 การแบ่งบริเวณของวัตถุกับฉากหลังรอบส่วนที่เกิดการซ้อนทับกัน	62
5.17 กราฟของ $RMSE_{wf}$ ของภาพวัตถุภาพที่ 2 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ	63
5.18 กราฟของ $RMSE_{\alpha}$ ของภาพวัตถุภาพที่ 2 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ	64
5.19 กราฟของ σ_c ของภาพวัตถุภาพที่ 2 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ	64
5.20 กราฟของ $RMSE_{wf}$ ของภาพวัตถุภาพที่ 3 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ	65

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.21 กราฟของ $RMSE_{\alpha}$ ของภาพวัตถุภาพที่ 3 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ	65
5.22 กราฟของ σ_c ของภาพวัตถุภาพที่ 3 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ	66
5.23 กราฟของ $RMSE_{wf}$ ของภาพวัตถุภาพที่ 4 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ	67
5.24 กราฟของ $RMSE_{\alpha}$ ของภาพวัตถุภาพที่ 4 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ	67
5.25 กราฟของ σ_c ของภาพวัตถุภาพที่ 4 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ	68
5.26 กราฟของ $RMSE_{wf}$ ของภาพวัตถุภาพที่ 5 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ	69
5.27 กราฟของ $RMSE_{\alpha}$ ของภาพวัตถุภาพที่ 5 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ	69
5.28 กราฟของ σ_c ของภาพวัตถุภาพที่ 5 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ	70

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตภาพยนตร์หรือสื่อโฆษณาทางโทรทัศน์ นิยมนำเอาวิธีการซ้อนภาพของวัตถุ (Foreground) กับภาพฉากหลัง (Background) มาใช้กันอย่างแพร่หลาย การซ้อนภาพแบบบลูสกรีน (Blue screen) เป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้กัน โดยภาพของวัตถุที่จะนำไปซ้อนทับกับฉากหลังใหม่จะถูกถ่ายให้มีฉากหลังสีน้ำเงิน จากนั้นจึงนำภาพของวัตถุที่ถ่ายนั้น ไปใช้ซ้อนทับกับฉากหลังใหม่ตามวิธีการของบลูสกรีน

ปัจจุบันได้มีความพยายามที่นำเอาภาพของวัตถุ ออกจากภาพฉากหลังธรรมชาติที่มีความหลากหลายมากขึ้น ซึ่งภาพฉากหลังที่มีความหลากหลายของสีมักจะไม่สามารถนำวิธีการแบบบลูสกรีนมาใช้ได้ ถึงแม้จะมีวิธีการที่สามารถนำมาใช้หลายวิธี แต่ก็ยังไม่มีวิธีการใดที่ใช้ได้ดีที่สุด โดยปัญหาที่เกิดขึ้นกับทุกวิธีการก็คือ ผลที่เกิดขึ้นบริเวณขอบของวัตถุ โดยภาพของวัตถุที่ทำการแยกออกมา อาจมีส่วนหนึ่งส่วนใดของฉากหลังติดรวมออกมาด้วย วิธีการที่นำมาใช้จึงไม่สามารถใช้ได้ดีการทุกภาพ ซึ่งผลที่ได้เมื่อไปทำการซ้อนทับกับภาพฉากหลังใหม่ บางภาพที่ทำการซ้อนทับตรงส่วนบริเวณขอบของภาพ อาจมองแล้วดูกลมกลืน แต่ถ้านำไปใช้กับฉากหลังที่มีแตกต่างจากเดิมหลายๆภาพมากขึ้น ก็อาจจะไม่ได้ผลดีเสมอไป

ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอผลการศึกษาปัญหาการซ้อนภาพ และวิธีการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น และนำเสนอวิธีการใหม่ที่ใช้วิธีการทางสถิติมาใช้ในการคำนวณหาภาพของวัตถุที่เกิดจากการซ้อนทับกับภาพฉากหลังแล้ว เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้ในการซ้อนทับกับภาพฉากหลังใหม่

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการทางสถิติในการประมาณค่าสีของวัตถุที่ซ้อนอยู่บนฉากหลัง
2. เพื่อลดปัญหาของวิธีการทางสถิติเดิมที่ต้องเลือกกำหนดค่าผิดพลาดของกล้องเป็นค่าเริ่มต้นของวิธีการ
3. เพื่อศึกษาหาข้อจำกัดของวิธีการที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถที่จะเลือกนำวิธีการที่พัฒนาขึ้นไปใช้ได้เหมาะสม

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะนำเอาภาพที่ทำการถ่ายจากกล้องดิจิทัลมาทำการค่าสีของวัตถุ โดยอาศัยทฤษฎีของเบย์ซึ่งเป็นทฤษฎีทางสถิติกับทฤษฎีการประมวลผลของภาพ (Image processing) จากนั้นจึงนำไปใช้ซ้อนทับกับภาพจากหลังที่มีความแตกต่างกันหลายๆภาพ เพื่อนำภาพที่ถูกซ้อนทับเหล่านี้ไปใช้ในการคำนวณตามวิธีการที่ได้ศึกษาในงานวิจัยนี้เพื่อเปรียบเทียบผลกับวิธีการ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะนำเอาภาพที่เกิดจากการซ้อนทับกันของวัตถุกับฉากหลัง ที่ถูกกำหนดบริเวณของภาพออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนของวัตถุ, ส่วนของฉากหลังและบริเวณที่เกิดการซ้อนทับกันของวัตถุกับฉากหลังมาแล้วมาทำการคำนวณตามวิธีการของงานวิจัย

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

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

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงกระบวนการ วิธีการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้
2. สามารถนำวิธีการไปพัฒนาต่อยอดเพื่อให้สามารถนำไปใช้ปรับปรุงเพื่อประยุกต์ใช้ในงานสื่อสิ่งพิมพ์หรืองานโฆษณา

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การแยกเอาภาพของวัตถุและภาพพื้นหลังจากภาพเดิมที่เกิดจากการซ้อนกัน ทำได้โดยการประมาณค่าของสีและความขุ่นมัวที่แต่ละตำแหน่งพิกเซล (Pixel) ในภาพ โดยค่าความโปร่งแสงที่แต่ละตำแหน่งพิกเซลในภาพจะเรียกว่าค่า ความ โปร่งแสง (Alpha) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 โดยค่านี้จะมีความสำคัญในการนำไปใช้ร่วมกับภาพวัตถุที่ได้จากการประมาณค่าสีไปใช้ซ้อนทับกับภาพพื้นหลังใหม่ ดังสมการ (2.1) ของ Porter and Duff [1] ด้านล่าง

$$u_c = \alpha u_f + (1 - \alpha)u_b \quad (2.1)$$

โดยที่

u_f คือภาพของวัตถุ (Foreground)

u_b คือภาพของฉากหลัง (Background)

u_c คือภาพที่ซ้อนกันของวัตถุกับฉากหลัง

α คือค่าความโปร่งแสง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1

ซึ่งวิธีการที่กล่าวมาได้ถูกนำมาใช้อย่างมากในอุตสาหกรรมภาพยนตร์ และมีงานวิจัยอีกหลายงานที่ได้นำเสนอวิธีการในการซ้อนภาพและการประมาณค่าของพิกเซลกับค่าความโปร่งแสง ดังจะได้กล่าวในหัวข้อต่อจากนี้

2.1 การวัดประสิทธิภาพของวิธีการประมาณค่า

การวัดค่าประสิทธิภาพของวิธีประมาณค่านั้น จะให้ความสำคัญกับค่าความโปร่งแสงและค่าสีของวัตถุเพราะว่า จากสมการการซ้อนภาพที่กล่าวผ่านมา ค่าที่ต้องนำมาใช้เมื่อต้องการซ้อนภาพวัตถุกับฉากหลังใหม่ จะใช้เฉพาะค่าผลคูณของค่าความ โปร่งแสงและสีของวัตถุเท่านั้น โดยส่วนของสีฉากหลังจะไม่ถูกนำไปใช้ ดังนั้นการวัดประสิทธิภาพของวิธีการจะใช้ค่า 2 ค่าคือ $RMSE_{\alpha}$ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าของผลคูณของค่าความ โปร่งแสงกับค่าสีของวัตถุที่คำนวณได้กับค่าความ โปร่งแสงและค่าสีของวัตถุของภาพจริง ส่วนอีกค่าคือ $RMSE_c$ เป็นการเปรียบเทียบ

ของค่าความโปร่งแสงที่คำนวณได้กับค่าความโปร่งแสงของภาพจริง โดยคำนวณได้จากสมการที่ (2.2) และ (2.3)

$$\text{RMSE}_{\text{wf}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{h=1}^n (\alpha_h \mathbf{u}_{F,h} - \hat{\alpha}_h \hat{\mathbf{u}}_{F,h})^2} \quad (2.2)$$

$$\text{RMSE}_{\alpha} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{h=1}^n (\alpha_h - \hat{\alpha}_h)^2} \quad (2.3)$$

โดยที่

RMSE_{wf} คือค่าผิดพลาดของผลคูณของค่าความโปร่งแสงกับสีของวัตถุที่ได้จากวิธีประมาณค่าเทียบกับค่าจากภาพจริง

RMSE_{α} คือค่าผิดพลาดของค่าความโปร่งแสงของวิธีประมาณค่าเมื่อเทียบกับจากภาพจริง

$\mathbf{u}_{F,h}$ คือค่าสีของวัตถุจริงจากภาพ

$\hat{\mathbf{u}}_{F,h}$ คือค่าสีของวัตถุที่ได้จากวิธีการประมาณค่า

α_h คือค่าความโปร่งแสงจริงจากภาพ

$\hat{\alpha}_h$ คือค่าความโปร่งแสงที่ได้จากวิธีการประมาณค่า

n คือจำนวนพิกเซลของภาพทั้งหมด

2.2 เทคนิคการซ้อนภาพฉากหลังแบบบลูสกรีน (Blue Screen Matting)

การซ้อนภาพแบบบลูสกรีน (Blue screen matting) [2] เป็นวิธีการแรกที่น่าเอาค่าความโปร่งแสงมาใช้ร่วมในการซ้อนภาพ โดยมีสมการการซ้อนภาพดังสมการ (2.4) (2.5) (2.6) และ (2.7)

$$\mathbf{u}_c = \mathbf{u}_o + (1 - \alpha_o) \mathbf{u}_k \quad (2.4)$$

$$\mathbf{u}_o = [\alpha_o R_o \quad \alpha_o G_o \quad \alpha_o B_o] \quad (2.5)$$

$$\mathbf{u}_k = [R_k \quad G_k \quad B_k] \quad (2.6)$$

$$\mathbf{u}_c = [R_c \quad G_c \quad B_c] \quad (2.7)$$

โดยที่

- u_c คือสีพิกเซลของวัตถุที่ซ้อนทับกับฉากหลัง
- u_o คือสีพิกเซลของวัตถุ
- 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)

2.2.1 วิธีแบบฉากหลังไม่มีสีน้ำเงิน (No Blue Matting)

วิธีการนี้ได้กำหนดเงื่อนไขไว้ว่าภาพของวัตถุจะต้องไม่มีส่วนประกอบของสีน้ำเงิน ซึ่งในความเป็นจริงไม่มีความเป็นไปได้ที่ภาพแบบธรรมชาติจะไม่มีส่วนของสีน้ำเงิน โดยจะใช้สมการที่ (2.8) (2.9) และ (2.10)

$$R = \alpha_o R_o + (1 - \alpha_o) R_k \quad (2.8)$$

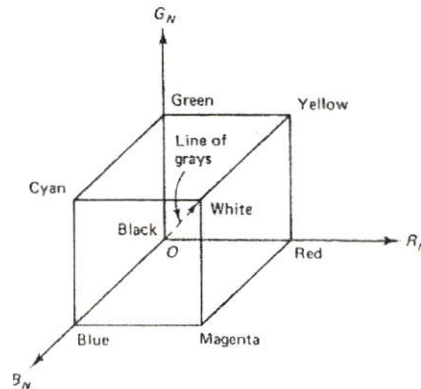
$$G = \alpha_o G_o + (1 - \alpha_o) G_k \quad (2.9)$$

$$B = (1 - \alpha_o) B_k \quad (2.10)$$

โดยที่ $B_o = 0$

2.2.2 วิธีแบบสีของภาพวัตถุเป็นสีเทา (Gray)

วิธีการนี้ได้กำหนดเงื่อนไขไว้ว่าภาพของวัตถุจะต้องเป็นภาพแบบสีเทา (Grayscale) ซึ่งจะทำให้ค่าสีของ $R_o = B_o = G_o$ ดูจากเส้นทแยงมุมของโมเดลสีแบบ แดง เขียว และ น้ำเงิน ดังรูปที่ 2.1 ทำให้สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.11) (2.12) และ (2.13)



รูปที่ 2.1 เส้นทแยงมุมของ โมเดลสีแบบ แดง เขียว และ น้ำเงิน

$$R = \alpha_o R_o + (1 - \alpha_o) R_K \quad (2.11)$$

$$G = \alpha_o R_o + (1 - \alpha_o) G_K \quad (2.12)$$

$$B = \alpha_o R_o + (1 - \alpha_o) B_K \quad (2.13)$$

2.2.3 วิธีแบบไตรแองกูเลชัน (Triangulation Matting)

วิธีการนี้จะใช้กับภาพของวัตถุที่ซ้อนทับกับฉากหลังที่รู้ค่าสี 2 ภาพ โดยภาพที่เกิดจากการซ้อนทับได้แสดงไว้ดังสมการ (2.14) และ (2.15)

$$\mathbf{u}_{c_1} = \mathbf{u}_o + (1 - \alpha_o) \mathbf{u}_{k_1} \quad (2.14)$$

$$\mathbf{u}_{c_2} = \mathbf{u}_o + (1 - \alpha_o) \mathbf{u}_{k_2} \quad (2.15)$$

จากทั้ง 2 สมการทำให้สามารถคำนวณหาค่าของความโปร่งแสงได้ดังสมการ (2.16)

$$\alpha_o = \frac{B_{c_1} - B_{c_2}}{B_{k_1} - B_{k_2}} \quad (2.16)$$

ในงานวิจัยนี้ได้แสดงวิธีการในการหาค่าความโปร่งแสงที่สำคัญเพิ่ม 2 แบบคือ

$$1. (R_{K_1} - R_{K_2}) + (G_{K_1} - G_{K_2}) + (B_{K_1} - B_{K_2}) \neq 0$$

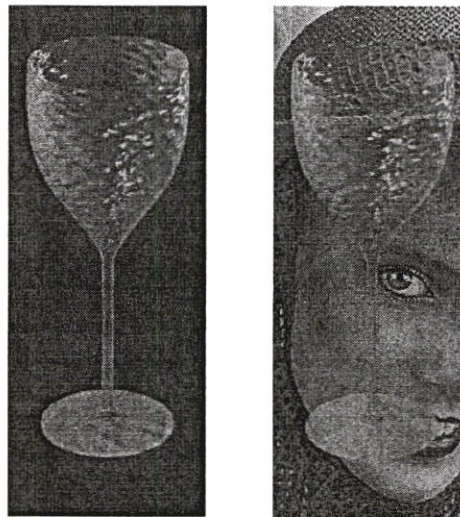
$$\alpha_0 = 1 - \frac{(R_{C_1} - R_{C_2}) + (G_{C_1} - G_{C_2}) + (B_{C_1} - B_{C_2})}{(R_{K_1} - R_{K_2}) + (G_{K_1} - G_{K_2}) + (B_{K_1} - B_{K_2})} \quad (2.17)$$

$$2. (R_{K_1} - R_{K_2})^2 + (G_{K_1} - G_{K_2})^2 + (B_{K_1} - B_{K_2})^2 \neq 0$$

$$A = \frac{(R_{C_1} - R_{C_2})(R_{K_1} - R_{K_2}) + (G_{C_1} - G_{C_2})(G_{K_1} - G_{K_2}) + (B_{C_1} - B_{C_2})(B_{K_1} - B_{K_2})}{(R_{K_1} - R_{K_2})^2 + (G_{K_1} - G_{K_2})^2 + (B_{K_1} - B_{K_2})^2} \quad (2.18)$$

$$\alpha_0 = 1 - A \quad (2.19)$$

งานวิจัยนี้ได้ถูกนำมาใช้ในการหาค่าความโปร่งแสงและสีของวัตถุ เพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากหลายๆงานวิจัยในเวลาต่อมา สำหรับตัวอย่างผลที่ได้จากวิธีการในงานวิจัยนี้ดูได้จากรูปที่ 2.2 (a) สำหรับรูปที่ 2.2(b) เป็นภาพที่เกิดจากการซ้อนทับกันภาพวัตถุกับภาพฉากหลังใหม่

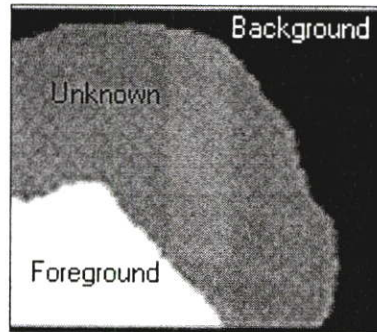


(a)

(b)

รูปที่ 2.2 รูป (a) คือตัวอย่างภาพวัตถุที่มีฉากหลังเป็นสีน้ำเงิน รูป (b) ภาพที่เกิดจากการซ้อนทับกันกับฉากหลังใหม่

2.3 การประมาณค่าความโปร่งแสงในภาพแบบธรรมชาติ



รูปที่ 2.3 ส่วนของวัตถุ (Foreground) ส่วนของฉากหลัง (Background) และส่วนที่เกิดจากการซ้อนทับกันของวัตถุกับฉากหลัง (Unknown)

วิธีการนี้ถูกนำเสนอโดย Ruzon [3] การทำงานของวิธีการนี้จะนำภาพที่ต้องการคำนวณหาค่าความโปร่งแสงและสีวัตถุ มากำหนดบริเวณออกเป็น 3 ส่วนคือส่วนของวัตถุ (Foreground) ส่วนของฉากหลัง (Background) และส่วนที่เกิดจากการซ้อนทับกันของวัตถุกับฉากหลัง (Unknown) ดังรูปที่ 2.3 ในส่วนที่กำหนดบริเวณของวัตถุและฉากหลัง จะนำมาแบ่งคลัสเตอร์ (Cluster) เพื่อแยกกลุ่มสีที่มีความใกล้เคียงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความแปรปรวน (Covariance) ของแต่ละกลุ่มสี ต่อมาทำการจับคู่กลุ่มสีของวัตถุกับกลุ่มสีของฉากหลัง เมื่อกำหนดคู่ของคลัสเตอร์ กลุ่มสีของวัตถุกับฉากหลัง ต่อมำกำหนดค่าของความโปร่งแสงขึ้นมาโดยกำหนดค่าความละเอียดไว้ที่ 0.01 จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1 นำค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของภาพวัตถุและฉากหลังในแต่ละคู่คลัสเตอร์ มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนใหม่ตามสมการ (2.20) และ (2.21)

$$\mu_{C,\alpha_n} = \alpha_n \mu_{F,\alpha_n} + (1 - \alpha_n) \mu_{B,\alpha_n} \quad (2.20)$$

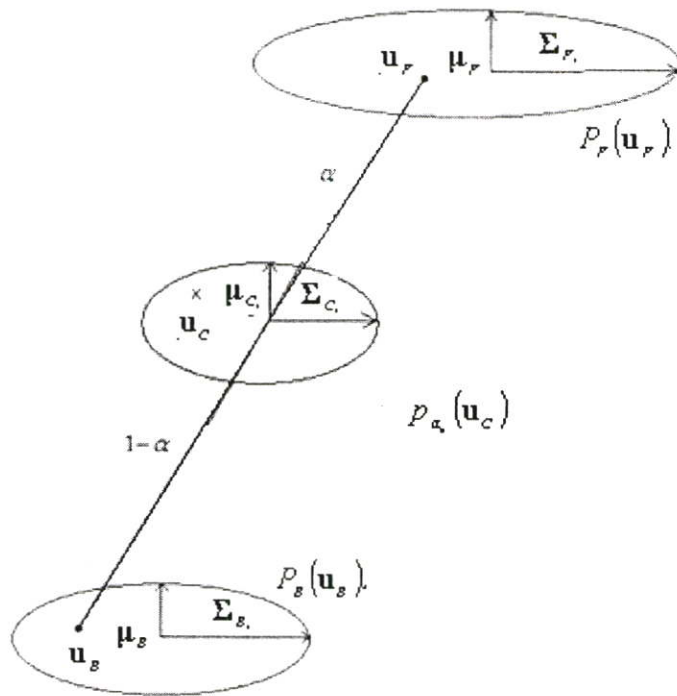
$$\Sigma_{C,\alpha_n} = \alpha_n \Sigma_{F,\alpha_n} + (1 - \alpha_n) \Sigma_{B,\alpha_n} \quad (2.21)$$

โดยที่

- μ_{F,α_n} คือค่าเฉลี่ยของสีวัตถุ
- Σ_{F,α_n} คือค่าแปรปรวนสีวัตถุ
- μ_{B,α_n} คือค่าเฉลี่ยของสีฉากหลัง
- Σ_{B,α_n} คือค่าแปรปรวนสีฉากหลัง
- μ_{C,α_n} คือค่าเฉลี่ยของสีบริเวณที่ภาพเกิดการซ้อนกัน

- $\Sigma_{c,\alpha}$ คือค่าแปรปรวนสี่บริเวณที่ภาพเกิดการซ้อนกัน
- α_n คือค่าของความโปร่งแสงมีจำนวน n ค่าและมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1
- n คือจำนวนค่าของความโปร่งแสงที่ได้กำหนดขึ้น

โดยในแต่ละคู่คลัสเตอร์จะมีค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนตามจำนวนของค่าความโปร่งแสงที่ได้กำหนดในตอนแรก สามารถลักษณะการจับคู่คลัสเตอร์ เพื่อคำนวณหาค่าความโปร่งแสงได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะการจับคู่คลัสเตอร์เพื่อคำนวณหาค่าความโปร่งแสง

นำเอาค่าสี่ในบริเวณที่ภาพซ้อนทับกันไปคำนวณหาความน่าจะเป็นที่แต่ละคู่คลัสเตอร์ที่เกิดจากค่าความโปร่งแสงแต่ค่า นำเอาความน่าจะเป็นที่เกิดจากค่าความโปร่งแสงค่าเดิมของแต่ละคลัสเตอร์มารวมกันดังสมการ (2.22)

$$p_{\alpha_n}(u_c) = \sum_{i=1}^m N_i(\mu_{c,\alpha_n}, \Sigma_{c,\alpha_n}) \tag{2.22}$$

โดยที่

p_{α_n} คือผลรวมของค่าความน่าจะเป็น

N_i คือค่าความน่าจะเป็นที่เกิดจากการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution)

m คือจำนวนคู่คลัสเตอร์

สุดท้ายทำการเลือกค่าความโปร่งแสงโดยเลือกจากผลรวมของความน่าจะเป็นของแต่ละคู่คลัสเตอร์ ที่เกิดจากความโปร่งแสงแต่ค่า ค่าไหนให้ค่ามากที่สุดแสดงว่าค่าความโปร่งแสงที่ใช้ในทุกคู่คลัสเตอร์ เพื่อคำนวณความน่าจะเป็นก็จะถูกเลือกดังสมการ (2.23)

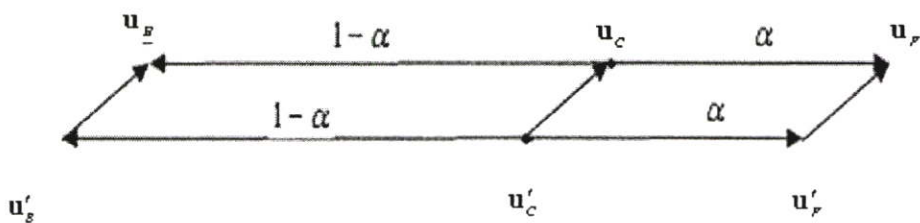
$$\alpha_n = \arg \max_{\alpha_n} p_{\alpha_n}(\mathbf{u}_C) \quad (2.23)$$

เมื่อได้ค่าความโปร่งแสงจากนั้นจะสามารถคำนวณหาค่าสีของวัตถุและฉากหลังที่ตำแหน่งสีนั้นๆ โดยใช้สมการ (2.24) และ (2.25)

$$\mathbf{u}'_F = \frac{\sum_{i=1}^m N_i(\boldsymbol{\mu}_{C_i, \alpha_n}, \boldsymbol{\Sigma}_{C_i, \alpha_n}) \boldsymbol{\mu}_{F_i, \alpha_n}}{\sum_{i=1}^m N_i(\boldsymbol{\mu}_{C_i, \alpha_n}, \boldsymbol{\Sigma}_{C_i, \alpha_n})} \quad (2.24)$$

$$\mathbf{u}'_B = \frac{\sum_{i=1}^m N_i(\boldsymbol{\mu}_{C_i, \alpha_n}, \boldsymbol{\Sigma}_{C_i, \alpha_n}) \boldsymbol{\mu}_{B_i, \alpha_n}}{\sum_{i=1}^m N_i(\boldsymbol{\mu}_{C_i, \alpha_n}, \boldsymbol{\Sigma}_{C_i, \alpha_n})} \quad (2.25)$$

สำหรับการคำนวณหาค่าสีวัตถุและฉากหลังสามารถพิจารณารูปที่ 2.5 ที่แสดงเวกเตอร์ของสีวัตถุกับฉากหลัง ทำให้คำนวณหาสีของวัตถุและฉากหลังได้ดังสมการ (2.27) และ (2.28)



รูปที่ 2.5 ลักษณะของเวกเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณหาวัตถุและฉากหลังใหม่

$$\mathbf{u}'_C = \alpha_n \mathbf{u}'_F + (1 - \alpha_n) \mathbf{u}'_B \quad (2.26)$$

$$\mathbf{u}_B = \mathbf{u}_C - \mathbf{u}'_C + \mathbf{u}'_B \quad (2.27)$$

$$\mathbf{u}_F = \mathbf{u}_C - \mathbf{u}'_C + \mathbf{u}'_F \quad (2.28)$$

2.4 การประมาณค่าความโปร่งแสงโดยใช้วิธีการของชุง (Chuang's method)

วิธีการของชุง (Chuang's method) [4] จะมีวิธีการเริ่มต้นเหมือนกับวิธีการที่ผ่านมา คือ จะภาพออกเป็นสามส่วนจากนั้นหาค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวน แล้วจับคู่คลัสเตอร์ สำหรับพื้นฐานของทฤษฎีของเบย์จะอธิบายต่อจากนี้

$$P(x|y) = \frac{P(y|x)P(x)}{P(y)} \quad (2.29)$$

โดยที่ x คือค่าเราต้องประมาณค่า

y คือค่าที่ได้จากการทดลองหรือสังเกต

เมื่อแทนค่าของ y ด้วย \mathbf{u}_c จะได้สมการใหม่ดังนี้

$$P(x|\mathbf{u}_c) = \frac{P(\mathbf{u}_c|x)P(x)}{P(\mathbf{u}_c)} \quad (2.30)$$

แต่ค่าที่ต้องการประมาณค่าคือ $\mathbf{u}_f, \mathbf{u}_b, \alpha$ โดยนำไปแทนใน x จะได้สมการใหม่ดังนี้

$$P(\mathbf{u}_f, \mathbf{u}_b, \alpha|\mathbf{u}_c) = \frac{P(\mathbf{u}_c|\mathbf{u}_f, \mathbf{u}_b, \alpha)P(\mathbf{u}_f, \mathbf{u}_b, \alpha)}{P(\mathbf{u}_c)} \quad (2.31)$$

เนื่องจาก

$$P(\mathbf{u}_f, \mathbf{u}_b, \alpha) = P(\mathbf{u}_f)P(\mathbf{u}_b)P(\alpha) \quad (2.32)$$

ดังนั้น

$$P(\mathbf{u}_f, \mathbf{u}_b, \alpha|\mathbf{u}_c) = \frac{P(\mathbf{u}_c|\mathbf{u}_f, \mathbf{u}_b, \alpha)P(\mathbf{u}_f)P(\mathbf{u}_b)P(\alpha)}{P(\mathbf{u}_c)} \quad (2.33)$$

สำหรับแนวคิดของวิธีการก็คือค่าของสีวัตถุ ฉากหลังและความโปร่งแสงสามารถคำนวณได้จากการแจกแจงแบบปกติของคู่คัลัสเตอร์ ที่ให้ค่าน่าจะเป็นสูงสุดเท่านั้นดังสมการที่ (2.34) และ (2.35)

$$\arg \max_{\mathbf{u}_F, \mathbf{u}_B, \alpha} (P(\mathbf{u}_F, \mathbf{u}_B, \alpha | \mathbf{u}_C)) = \arg \max_{\mathbf{u}_F, \mathbf{u}_B, \alpha} \left(\frac{P(\mathbf{u}_C | \mathbf{u}_F, \mathbf{u}_B, \alpha) P_F(\mathbf{u}_F) P_B(\mathbf{u}_B) P_\alpha(\alpha)}{P(\mathbf{u}_C)} \right) \quad (2.34)$$

$$\arg \max_{\mathbf{u}_F, \mathbf{u}_B, \alpha} (P(\mathbf{u}_F, \mathbf{u}_B, \alpha | \mathbf{u}_C)) = \arg \max_{\mathbf{u}_F, \mathbf{u}_B, \alpha} (L(\mathbf{u}_C | \mathbf{u}_F, \mathbf{u}_B, \alpha) + L_F(\mathbf{u}_F) + L_B(\mathbf{u}_B) + L_\alpha(\alpha)) \quad (2.35)$$

เนื่องจากเทอมของ $P(\mathbf{u}_C)$ เป็นค่าคงที่เมื่อนำมาหาค่าสูงสุดจึงไม่นำมาคิดได้ และสัญลักษณ์ $L(\cdot)$ ใช้แทนการหาล็อกไลทิฮูด (Log likelihood) .ในงานวิจัยได้กำหนดรูปแบบของ $L(\mathbf{u}_C | \mathbf{u}_F, \mathbf{u}_B, \alpha)$ ไว้ดังสมการที่ (2.36)

$$L(\mathbf{u}_F, \mathbf{u}_B, \alpha | \mathbf{u}_C) = \frac{\|\mathbf{u}_C - \alpha \mathbf{u}_F - (1 - \alpha) \mathbf{u}_B\|^2}{\sigma_c^2} \quad (2.36)$$

สำหรับ $L_F(\mathbf{u}_F)$ และ $L_B(\mathbf{u}_B)$ คือค่าหาล็อกไลทิฮูดของค่าสีวัตถุและฉากหลัง สามารถหาได้จากสมการ (2.37) และ (2.38)

$$L_F(\mathbf{u}_F) = (\mathbf{u}_F - \boldsymbol{\mu}_F) \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} (\mathbf{u}_F - \boldsymbol{\mu}_F)^T \quad (2.37)$$

$$L_B(\mathbf{u}_B) = (\mathbf{u}_B - \boldsymbol{\mu}_B) \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} (\mathbf{u}_B - \boldsymbol{\mu}_B)^T \quad (2.38)$$

เมื่อจะคำนวณหาค่าสูงสุดในงานวิจัยนี้จะนำสมการที่ (2.36) (2.37) และ (2.38) ไปแทนในสมการ (2.35) ส่วนเทอม $L_\alpha(\alpha)$ คือหาล็อกไลทิฮูดของค่าความโปร่งแสงจะสมมุติให้เป็นค่าคงที่ จากนั้นจึงดำเนินการคำนวณได้สมการ (2.39) โดยมีข้อดีตรงที่สามารถประมาณค่าของสีของวัตถุและฉากหลังออกมาได้เลยโดยไม่ต้องไปคำนวณค่าความน่าจะเป็นเหมือนวิธีการของรูซอน (Ruzon's method)

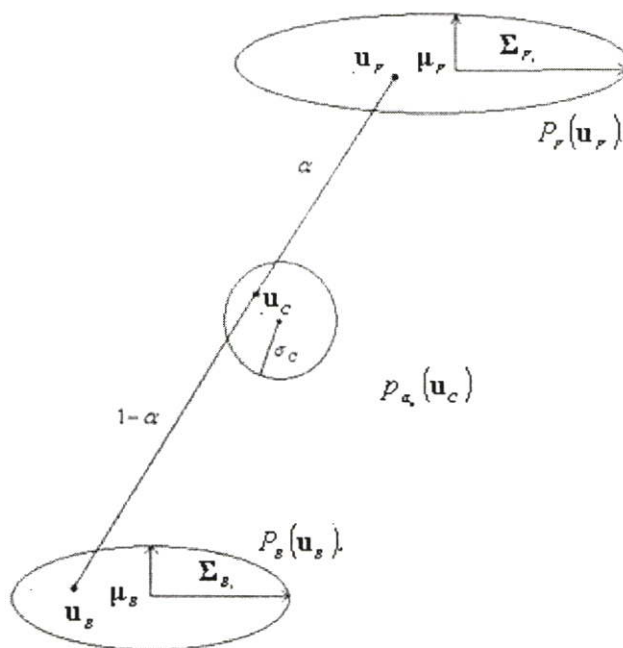
$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} + \frac{I_s \alpha^2}{\sigma_c^2} & \frac{I_s \alpha (1 - \alpha)}{\sigma_c^2} \\ \frac{I_s \alpha (1 - \alpha)}{\sigma_c^2} & \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} + \frac{I_s (1 - \alpha)^2}{\sigma_c^2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{u}_F \\ \mathbf{u}_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} \boldsymbol{\mu}_F + \frac{\alpha \mathbf{u}_C}{\sigma_c^2} \\ \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} \boldsymbol{\mu}_B + \frac{(1 - \alpha) \mathbf{u}_C}{\sigma_c^2} \end{bmatrix} \quad (2.39)$$

จากนั้นนำค่าสัปดาห์และจากหลังที่คำนวณได้ไปคำนวณหาค่าความโปร่งแสงดังสมการ (2.40)

$$\alpha = \frac{(\mathbf{u}_F - \mathbf{u}_B) \cdot (\mathbf{u}_C - \mathbf{u}_B)}{\|\mathbf{u}_F - \mathbf{u}_B\|^2} \quad (2.40)$$

โดยที่ $(\mathbf{u}_F - \mathbf{u}_B) \cdot (\mathbf{u}_C - \mathbf{u}_B)$ คือ dot operation vector

นำค่าความโปร่งแสงที่ได้ไปคำนวณหาค่าสัปดาห์และจากหลังอีกและนำผลลัพธ์ที่ได้มาหาค่าความโปร่งแสงอีกทีจนค่าที่คำนวณได้มีการลู่เข้า นั่นแสดงว่าได้ค่าของความโปร่งแสง สีของวัตถุและจากหลังของกลุ่มคลัสเตอร์ นั้น สามารถดูรูปที่ 2.6 ประกอบเพื่อทำความเข้าใจในวิธีการคำนวณตามวิธีการนี้



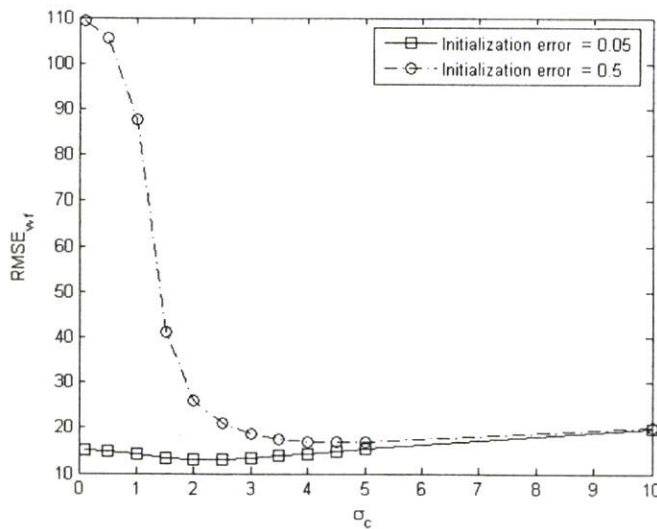
รูปที่ 2.6 การคำนวณหาค่าความโปร่งแสง สีของวัตถุและจากหลัง

ความแตกต่างของวิธีการนี้กับวิธีการที่กล่าวผ่านมาก็คือ ค่าของสัปดาห์และจากหลังที่คำนวณได้จะไม่เกิดจากทุกกลุ่มคลัสเตอร์ แต่จะเกิดจากกลุ่มคลัสเตอร์ เดียวเท่านั้น โดยใช้วิธีเลือกเอา กลุ่มคลัสเตอร์ ที่ให้ค่าผลรวมของล็อกไลกelihood (Log likelihood) ของวัตถุและจากหลังสูงสุดตามสมการ (2.41)

$$\arg \max_{u_f, u_b} (L(u_f, u_b)) = \arg \max_{u_f, u_b} (L_F(u_f) + L_B(u_b)) \quad (2.41)$$

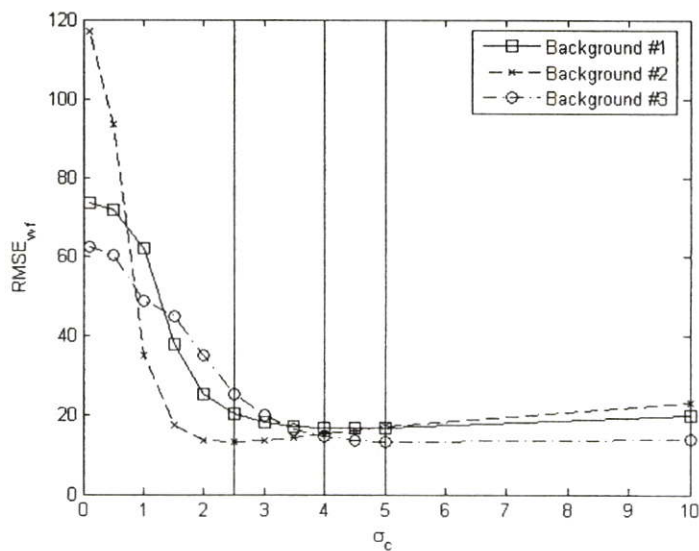
ข้อเสียของวิธีการนี้ก็คือการกำหนดค่าเริ่มต้นของค่าความโปร่งแสงและค่าความผิดพลาดของกล้อง (σ_c) ผลที่เกิดขึ้นจากการกำหนดค่าเริ่มต้นทั้งสองอย่างไม่เหมาะสม จะถูกนำเสนอต่อจากนี้

ดูรูปที่ 2.7 เป็นการแสดงผลของค่า $RMSE_{wf}$ ที่เกิดจากการกำหนดค่าความโปร่งแสงเริ่มต้นให้กับวิธีการนี้ 2 ค่าโดยให้ให้มีค่าแตกต่างจากค่าความโปร่งแสงจริง ณ ตำแหน่งพิกเซลนั้น คือ 0.05 และ 0.5 จากนั้นให้เริ่มคำนวณเปลี่ยนค่าความผิดพลาดของกล้อง (σ_c) แล้วเปรียบเทียบค่าที่ได้ จะเห็นได้ว่าถ้ากำหนดค่าเริ่มต้นได้ใกล้เคียงกับค่าจริงมาก ก็จะทำให้การประมาณค่าสีของวัตถุกับความโปร่งแสงใกล้เคียงค่าจริงมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.7 ผลของค่า $RMSE_{wf}$ ที่เกิดจากการกำหนดค่าความโปร่งแสงเริ่มต้นให้แตกต่างจากค่าจริง 0.05 และ 0.5

สำหรับผลที่เกิดจากการกำหนดของผิดพลาดของกล้องไม่เหมาะสมดูได้จากรูปที่ 2.8 โดยเป็นผลการทดลองที่ได้กำหนดค่าความโปร่งแสงเริ่มต้นให้มีค่าเท่ากับ 0.5 จากนั้นทำการคำนวณตามวิธีการ โดยเปลี่ยนค่าความผิดพลาดของกล้อง ให้มีค่า 0.5 ถึง 10 แล้วจากนั้นเปลี่ยนภาพจากหลังที่ซ้อนทับกับภาพวัตถุ แล้วคำนวณหาค่า $RMSE_{wf}$ จะเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดของกล้องที่ทำให้ค่า $RMSE_{wf}$ มีค่าต่ำมีค่าไม่เท่าเดิมซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้าเลือกใช้ค่าที่จะทำให้ได้ค่าที่คำนวณได้ใกล้เคียงกับค่าจริงมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.8 ผลที่เกิดจากการกำหนดค่า σ_c ที่แตกต่างกัน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาและพัฒนาวิธีการคำนวณใหม่ เพื่อลดปัญหาของวิธีการเดิม จากที่กล่าวผ่านมา โดยจะอธิบายรายละเอียดไว้ในบทที่ 3 ต่อไป

บทที่ 3

ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณหาค่าสีจากภาพ

3.1 ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย

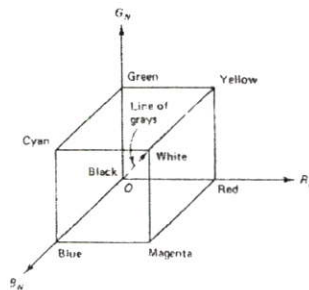
จากบทที่ 2 ที่ได้กล่าวถึงปัญหาของวิธีการทางสถิติเดิมนั้นในเนื้อหาส่วนจะกล่าวถึงทฤษฎีที่จะนำมาใช้ในการแก้ปัญหาที่กล่าวผ่านมาและนำมาใช้ในการออกแบบวิธีการใหม่ โดยมีเนื้อหาดังนี้คือ

- 3.1.1 แบบจำลองสี RGB
- 3.1.2 พื้นฐานของภาพ (Principle of Image)
- 3.1.3 ทฤษฎีการซ้อนภาพ (Image Compositing)
- 3.1.4 การแจกแจงแบบปกติหลายตัวแปร (Multivariate Gaussian Distribution)
- 3.1.5 เวกเตอร์ (Vector)
- 3.1.6 การแบ่งกลุ่มสี (Clustering)
- 3.1.7 เบย์เซียนอินฟอร์เมชัน ไคทีเรีย (Bayesian Information Criteria)
- 3.1.8 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอัลกอริทึม

แต่หัวข้อที่กล่าวมาจะเริ่มกล่าวถึงรายละเอียดต่อจากนี้ แต่หัวข้อจะกล่าวถึงแค่พื้นฐานเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้ โดยจะไม่อธิบายแต่เรื่องอย่างละเอียด

3.1.1 แบบจำลองสีอาร์จีบี (RGB Color Model)

เทคโนโลยีจำนวนมากที่ใช้ในการแสดงสีจะอยู่บนพื้นฐานของการผสมกันระหว่างสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ด้วยเหตุผลนี้สีเหล่านี้จึงถูกนำมากำหนดเป็นระบบสีขึ้นเพื่อใช้อธิบายสีที่คนมองเห็น แต่ก็ไม่สามารถใช้แทนได้ทุกสีเสมอไป



รูปที่ 3.1 แบบจำลองสี RGB

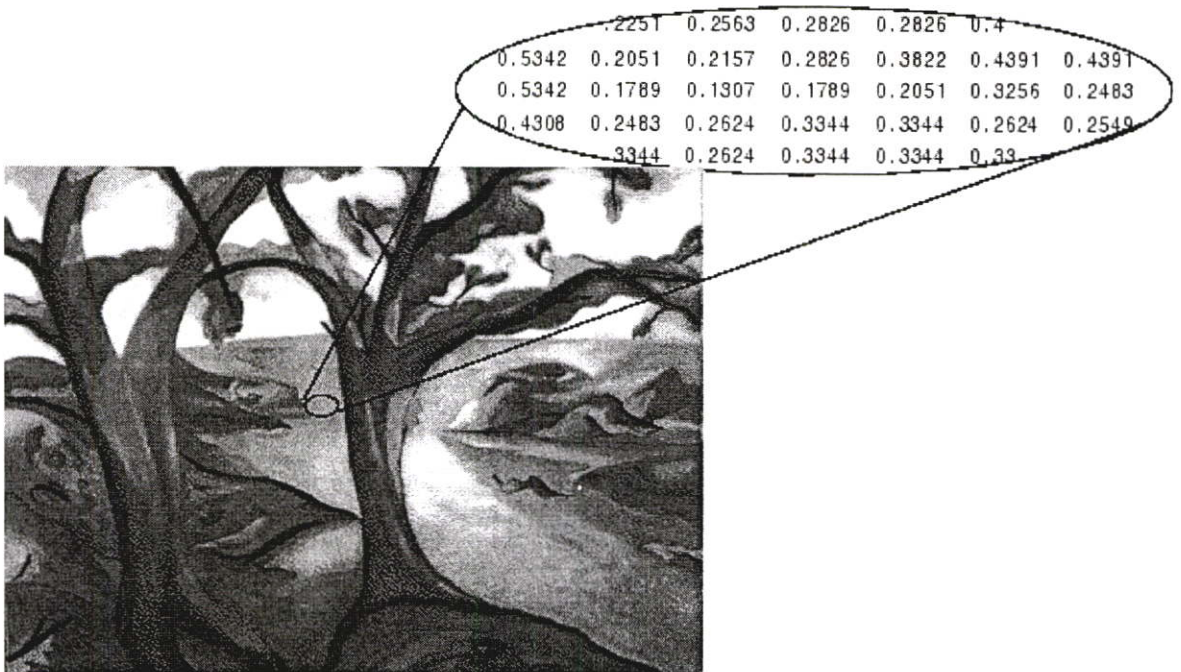
ในภาพสีจะมีความสอดคล้องกับแบบจำลองสี RGB โดยค่าสีในตำแหน่งพิกเซลสีหนึ่งๆ ในภาพก็คือเวกเตอร์ที่ 3 ส่วนที่สอดคล้องกับสี แดง, เขียวและน้ำเงิน แต่พิกเซลสามารถนำมา กำหนดลงในกล่องสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ดังรูปที่ 3.1 ความละเอียดของสีขึ้นอยู่กับค่าของสีใน 3 ส่วน โดยปกติแต่ละส่วนจะมีจำนวนบิต 8 บิต เท่ากับว่าเมื่อรวมทั้ง 3 ส่วนจะสามารถแทนสีได้ทั้งหมด 16 ล้านสี

3.1.2 พื้นฐานของภาพ (Principle of Image)

ภาพที่นำมาใช้ในการวิจัยจะมี 2 แบบคือภาพสีเท่ากับภาพสีโดยจะอธิบายรายละเอียดใน แต่ละชนิดของภาพดังนี้

3.1.2.1 ภาพสีเทา (Grayscale Images)

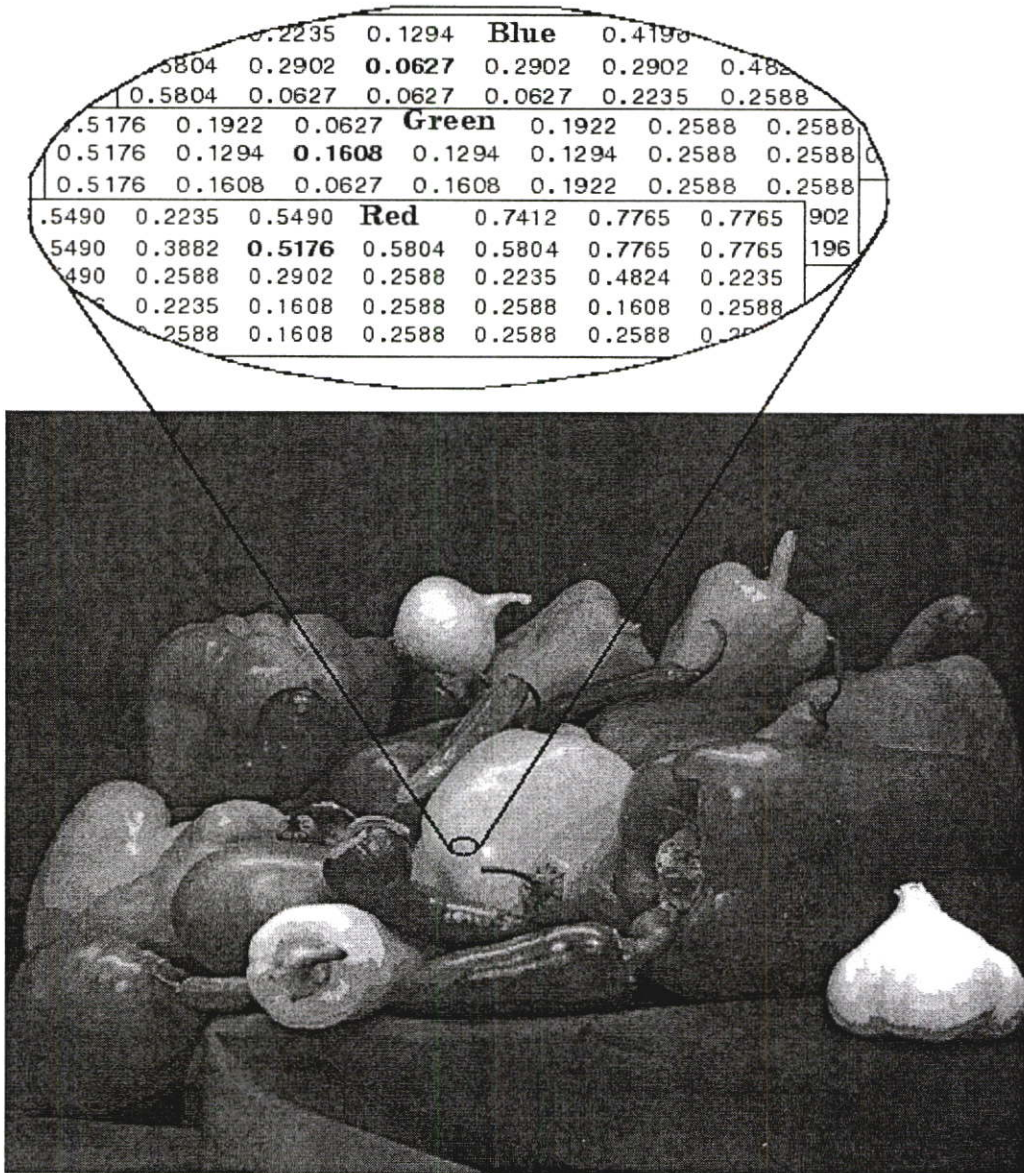
ภาพแบบนี้จะมีส่วนประกอบเดียว โดยเมื่อมองเป็นเมตริกซ์ก็เทียบเท่ากับเมตริกซ์ 2 มิติ คือมีด้านกว้างกับด้านยาวเท่านั้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1 เท่านั้น สำหรับตัวอย่างภาพสีเทาที่ได้ จากรูปที่ 3.2 โดยได้แสดงค่าสีบางจุด



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างภาพสีเทา

3.1.2.2 ภาพสี (True Color Images)

ภาพแบบนี้จะมีส่วนประกอบ 3 ส่วน โดยเมื่อมองเป็นเมตริกซ์ก็เทียบเท่ากับเมตริกซ์ 3 มิติ คือมีด้านกว้าง, ด้านยาวและด้านลึก แต่ละมิติจะแทนสีแดง, เขียวและน้ำเงิน ตามลำดับ หากพิจารณาที่แต่ละพิกเซล จะเทียบได้กับเวกเตอร์ 1 เวกเตอร์ ค่าของสีแต่ละส่วนมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 255 หรือ 0-1 ดังตัวอย่างภาพสีจากรูปที่ 3.3 โดยได้แสดงค่าสีบางพิกเซล



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างภาพสี

3.1.3 ทฤษฎีการซ้อนภาพ (Image Compositing)

ในงานวิจัยนี้จะใช้สมการการซ้อนภาพ ดังที่ได้กล่าวในช่วงต้นของบทที่ 2 ดังนั้นในส่วนนี้จึงขอข้ามไปอธิบายในหัวข้อถัดไป

3.1.4 การแจกแจงปกติแบบหลายตัวแปร (Multivariate Gaussian Distribution)

การคำนวณหาความน่าจะเป็นของการแจกแจงแบบปกติหลายตัวแปร สามารถทำได้โดยใช้สูตร (3.1)

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^m |\Sigma|}} e^{-\frac{1}{2}(x-\mu)\Sigma^{-1}(x-\mu)^T} \quad (3.1)$$

โดยที่

x คือเวกเตอร์ที่มีส่วนประกอบมีค่าเป็นจำนวนจริง

Σ คือค่าโควาเรียน (Covariance) ของการแจกแจง

μ คือค่าเฉลี่ย (Mean) ของการแจกแจง

m คือจำนวนมิติของเวกเตอร์

จากสูตรด้านบนสามารถปรับใช้กับงานวิจัยได้โดยนำไปใช้หาค่าความน่าจะเป็นของพิกเซลเมื่อเทียบกับกลุ่มสีที่ถูกแบ่งกลุ่มไว้ คือพิกเซลที่ต้องการหาความน่าจะเป็น ส่วน μ และ Σ คือค่าเฉลี่ยและโควาเรียนของแต่ละกลุ่มสีตามลำดับ

บางครั้งการคำนวณด้วยสูตรหาความน่าจะเป็นด้านบนอาจจะสามารถใช้เพียงส่วนที่ยกกำลังของเอกซ์โปเนนเชียลก็พอ เพราะบางครั้งในการคำนวณด้วยโปรแกรมอาจเกิดความผิดในการคำนวณเพราะค่าที่จะหาอาจมีค่าสูงเกินช่วงของชนิดตัวแปรที่ได้กำหนดในโปรแกรม ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้ สามารถคำนวณโดยการแปลงสมการด้านเป็นลอการิทึม (Logarithm) ซึ่งได้สมการ (3.2) ที่พอประมาณค่าได้ดังด้านล่าง

$$\ln(P(x)) \cong -\frac{1}{2}(x-\mu)\Sigma^{-1}(x-\mu)^T \quad (3.2)$$

3.1.5 เวกเตอร์ (Vector)

ในงานวิจัยนี้ได้นำเวกเตอร์แบบ 3 มิติ มาใช้ โดยการแทนตำแหน่งพิกเซลที่มีสีแดง เขียวและน้ำเงินให้เป็นเวกเตอร์ เพื่อใช้ในการบวกลบสีของพิกเซล และสูตรที่ใช้ในงานวิจัยก็คือ การหาผลคูณสเกลาร์ของเวกเตอร์ โดยได้กำหนดสูตรที่จำเป็นในการใช้งานไว้ด้านล่าง

กำหนดให้

$$\mathbf{u} = u_r \mathbf{r} + u_g \mathbf{g} + u_b \mathbf{b} \quad (3.3)$$

$$\mathbf{v} = v_r \mathbf{r} + v_g \mathbf{g} + v_b \mathbf{b} \quad (3.4)$$

สามารถหาผลคูณสเกลาร์ได้ดังนี้

$$\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = (u_r v_r) + (u_g v_g) + (u_b v_b) \quad (3.5)$$

$$\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = |\mathbf{u}| |\mathbf{v}| \cos \theta \quad (3.6)$$

โดยที่ θ คือมุมระหว่าง 2 เวกเตอร์

3.1.6 การจัดกลุ่มสี (Clustering)

ในงานวิจัยนี้จะทำการจัดกลุ่มสีโดยใช้วิธีการของ K-Mean โดยมีขั้นตอนในการคำนวณ ดังนี้

1. กำหนดจำนวนกลุ่มสีและจุดศูนย์กลางของแต่ละกลุ่มสี
2. นำสีของแต่ละพิกเซลมาคำนวณหาระยะทางเทียบกับจุดศูนย์กลางที่เลือกไว้ในขั้นตอนที่ 1
3. พิจารณาว่าระยะทางเทียบกับจุดศูนย์กลางใดน้อยที่สุด แสดงว่าพิกเซลนั้นจะถูกจัดเข้ารวมกลุ่มกับจุดศูนย์กลางนั้น
4. เมื่อเลือกกลุ่มให้กับพิกเซลได้แล้ว จากนั้นให้คำนวณหาจุดศูนย์กลางใหม่ โดยการนำกลุ่มที่ถูกเลือกมาหาค่าเฉลี่ยใหม่
5. ทำขั้นตอนที่ 2 ถึง 4 กับทุกพิกเซล
6. นำทุกพิกเซลมาทำตามขั้นตอนที่ 2 ถึง 4 ใหม่จนค่าจุดศูนย์กลางที่คำนวณได้ มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด แสดงว่าได้ทำการจัดกลุ่มสีเสร็จ

7. จะทำให้ได้กลุ่มสี่แต่กลุ่มที่มีจุดศูนย์กลางเป็นตัวแทนกลุ่มสี่

3.1.7 เบย์เซียนอินฟอร์เมชันไคทีเรีย (Bayesian Information Criteria)

ในงานวิจัยนี้ได้นำทฤษฎีของ เบย์เซียนอินฟอร์เมชันไคทีเรีย (BIC) [5] มาใช้ในการเลือกจำนวนกลุ่มสี่ที่เหมาะสมสำหรับ Gaussian Mixture Model

ในการเลือกจำนวนของกลุ่มข้อมูลที่เหมาะสมที่สุดของข้อมูล กำหนดให้ $\{x_1, \dots, x_n\}$ คือเซตของข้อมูล D , โดยที่แต่ละ x_i ต้องมีค่ามิติมากกว่า 2 และ D สามารถแบ่งเป็นเป็นเซตที่แต่ละเซตไม่มีการอินเตอร์เซกกันคั้งนี้คือ C_1, \dots, C_h ในการแบ่งกลุ่มข้อมูลแต่ละครั้งจะแทนด้วยโมเดล M_i , เบย์เซียนอินฟอร์เมชันไคทีเรียได้กำหนดค่าของ BIC ของแต่ละการแบ่งกลุ่มข้อมูลไว้คั้งนี้

$$BIC(M_i) = \hat{l}_i(D) - \frac{k_i}{2} \log(n) \quad (3.7)$$

โดยที่

$\hat{l}_i(D)$ คือค่าของล็อกไลกลิตูดของข้อมูลในโมเดล M_i

k_i คือจำนวนของพารามิเตอร์อิสระในโมเดล M_i

n คือจำนวนของข้อมูลทั้งหมดในโมเดล M_i

i คือจำนวนของโมเดล

C_h คือกลุ่มข้อมูลที่ถูกแบ่งในแต่โมเดล M_i

h คือจำนวนกลุ่มข้อมูลที่ถูกแบ่งในแต่โมเดล M_i

เมื่อนำมาใช้ร่วมกับการหาค่าความน่าจะเป็นของการแจกแจงปกติแบบหลายตัวแปรของแต่ละข้อมูล x_i ในแต่กลุ่มข้อมูล C_j สมการที่ (3.8)

$$P(x_i) = \frac{n_j}{n} \cdot \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^d |\Sigma|}} e^{\left[-\frac{1}{2}(x_i - \mu_j)^T \Sigma^{-1} (x_i - \mu_j)\right]} \quad (3.8)$$

สามารถคำนวณหาค่าสูงสุดของล็อกไลกลิตูดของข้อมูลในแต่กลุ่มข้อมูลได้คั้งสมการที่ (3.14)

$$\hat{l}(C_j) = \log \prod_{i \in C_j} \hat{P}(x_i) \quad (3.9)$$

$$\hat{l}(C_j) = \sum_{i \in C_j} \left(\log \left(\frac{1}{\sqrt{(2\pi)^d |\Sigma_j|}} \right) - \left(\frac{1}{2} (x_i - \mu_j)^T \Sigma_j^{-1} (x_i - \mu_j) \right) + \log \left(\frac{n_j}{n} \right) \right) \quad (3.10)$$

$$A_1 = \sum_{i \in C_j} \left(-\frac{1}{2} \log(2\pi^d) - \frac{1}{2} \log(|\Sigma_j|) + \log(n_j) - \log(n) \right) \quad (3.11)$$

$$A_1 = n_j \left(-\frac{1}{2} \log(2\pi^d) - \frac{1}{2} \log(|\Sigma_j|) + \log(n_j) - \log(n) \right) \quad (3.12)$$

$$A_2 = \sum_{i \in C_j} \left(-\left(\frac{1}{2} (x_i - \mu_j)^T \Sigma_j^{-1} (x_i - \mu_j) \right) \right) \quad (3.13)$$

$$\hat{l}(C_j) = A_1 + A_2 \quad (3.14)$$

สามารถคำนวณหาค่าของ BIC ของแต่ละโมเดล M_i ได้ดังสมการที่ (3.16)

$$k = ((d + (d^2)) \cdot n_j) + (n_j - 1) \quad (3.15)$$

$$BIC(M_i) = \sum_{j=1}^k \hat{l}(C_j) - \frac{k_i}{2} \log(n) \quad (3.16)$$

ในการเลือกโมเดลที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ นั้นให้พิจารณาโมเดลที่ให้ค่าของ $BIC(M_i)$ มากที่สุด ดังนั้นเมื่อพิจารณาในโมเดลที่เลือกก็จะรู้ได้ว่าจะกำหนดจำนวนของกลุ่มข้อมูลที่แบ่งกี่กลุ่ม

3.1.8 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอัลกอริทึม

ลักษณะสำคัญของอัลกอริทึมที่ดีไม่ควรใช้เวลาในการประมวลผลนานจนเกินไป ซึ่งการที่จะทำให้อัลกอริทึมลดเวลาในการประมวลผลลงได้นั้น จะต้องออกแบบอัลกอริทึมให้มีประสิทธิภาพ

ประสิทธิภาพของอัลกอริทึม จะพิจารณาอยู่ 2 ส่วนหลักๆ ดังนี้

1. หน่วยความจำ (Memory) ที่จะต้องใช้ในการประมวลผล
2. เวลา (Time) ที่จะต้องใช้ในการประมวลผล

โดยทั้ง 2 สิ่งมักถูกใช้เป็นตัวตัดสินประสิทธิภาพของอัลกอริทึมว่ามีประสิทธิภาพมากหรือน้อยเพียงใด ดังนั้นถ้าจำเป็นจะต้องดำเนินการแก้ไขปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของอัลกอริทึม จำเป็นจะต้องพิจารณาก่อนว่าจะสามารถดำเนินการแก้ไขกับส่วนใดได้บ้าง และส่งผลกระทบต่ออีกหรือไม่

การประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึมแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ โดยการวิเคราะห์ (Analysis) และ โดยการวัดผล (Measure) ดังนี้

1. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอัลกอริทึม (Performance Analysis) จะใช้วิธีการวิเคราะห์วิธีการทำงาน (Method) ของอัลกอริทึม
2. การวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึม (Performance Measure) จะเป็นการวัดผลจากการทดลองจริง

แต่จะอธิบายรายละเอียดเฉพาะวิธีการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. การวิเคราะห์หน่วยความจำที่ต้องใช้ในการประมวลผลหรือจะเรียกว่าการวิเคราะห์ Space Complexity
2. การวิเคราะห์เวลาที่ต้องใช้ในการประมวลผลหรือจะเรียกว่า Time Complexity

แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้การวิเคราะห์เวลา Time Complexity เพื่อวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึม ซึ่งมุ่งเน้นไปที่เวลาในการประมวลผลของอัลกอริทึม โดยวิธีที่นิยมใช้กันก็คือ การนับตัวดำเนินการ (Operation Count) ในอัลกอริทึม โดยพิจารณาลักษณะของตัวดำเนินการควบคู่ไป ซึ่งจะมุ่งประเด็นการพิจารณาไปที่ตัวดำเนินการว่าตัวดำเนินการนั้นมีพฤติกรรมของการถูกประมวลผลเป็นอย่างไรและมากน้อยเพียงใด สามารถพิจารณาได้จากตัวอย่างต่อไปนี้

$I = 1$

Loop ($I \leq 2000$)

another code

$I = I + 1$

จะเห็นว่าตัวแปรที่ใช้ในการวน Loop คือ I จะถูกกำหนดให้มามีค่าตั้งแต่ 1-2000 ซึ่งจะต้องวน Loop ทั้งหมด 2000 ครั้ง โดยค่าของของ Time Complexity ก็คือจำนวนรอบของการวน Loop นั้นเอง ยิ่งจำนวนรอบของ Loop ยิ่งมากประสิทธิภาพของอัลกอริทึมก็ยิ่งลดลง

3.2 วิธีการคำนวณหาค่าสีวัตถุและความโปร่งแสง (Alpha)

วิธีการคำนวณที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะมีวิธีการเริ่มต้นที่เหมือนกับงานของ Ruzon [1] โดยกำหนดบริเวณออกเป็น 3 ส่วนคือส่วนของวัตถุ (Foreground) ส่วนของฉากหลัง (Background) และส่วนที่เกิดจากการซ้อนทับกันของวัตถุกับฉากหลัง (Unknown) โดยนำส่วนที่กำหนดบริเวณของวัตถุและฉากหลัง มาแบ่งกลุ่มสีหรือทำคลัสเตอร์ (Cluster) เพื่อแยกกลุ่มสีที่มีความใกล้เคียงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความแปรปรวน (Covariance) ของแต่ละกลุ่มสี จะได้สมการการแจกแจงแบบปกติของภาพวัตถุกับฉากหลังดังสมการ (3.17) และ (3.18)

$$P_F(\mathbf{u}_F) = N_F(\mathbf{u}_F, \boldsymbol{\mu}_F, \boldsymbol{\Sigma}_F) \quad (3.17)$$

$$P_B(\mathbf{u}_B) = N_B(\mathbf{u}_B, \boldsymbol{\mu}_B, \boldsymbol{\Sigma}_B) \quad (3.18)$$

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 (3.19) (3.20) (3.21) และ (3.22)

$$P(\mathbf{u}_C) = P_B(\mathbf{u}_B | \mathbf{u}_F, \alpha) P_F(\mathbf{u}_F) P_\alpha(\alpha) \quad (3.19)$$

$$P(\mathbf{u}_C) = P_B\left(\frac{\mathbf{u}_B - \alpha \mathbf{u}_F}{1 - \alpha} | \mathbf{u}_F, \alpha\right) P_F(\mathbf{u}_F) P_\alpha(\alpha) \quad (3.20)$$

$$\arg \max P(\mathbf{u}_C, \mathbf{u}_F, \alpha) = \arg \max_{\mathbf{u}_F, \alpha} \left(P_B \left(\frac{\mathbf{u}_B - \alpha \mathbf{u}_F}{1 - \alpha} \mid \mathbf{u}_F, \alpha \right) P_F(\mathbf{u}_F) P_\alpha(\alpha) \right) \quad (3.21)$$

$$= \arg \max_{\mathbf{u}_F, \alpha} \left(L_B \left(\frac{\mathbf{u}_C - \alpha \mathbf{u}_F}{1 - \alpha} \right) + L_F(\mathbf{u}_F) + L_\alpha(\alpha) \right) \quad (3.22)$$

โดยที่ $L_F(\mathbf{u}_F)$ $L_B(\mathbf{u}_B)$ และ $L_\alpha(\alpha)$ คือค่าหาถ้อยทีของสี่ของวัตถุ ฉากหลัง และค่าความโปร่งแสงตามลำดับ สำหรับเทอมของ $L_\alpha(\alpha)$ ได้กำหนดให้มาจากการแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม (Uniform Distribution) ดังนั้นเมื่อนำมาหาค่าสูงสุดเทอมนี้จึงสามารถตัดออกจากสมการได้ ทำให้ได้สมการใหม่ดังสมการที่ (3.23)

$$\arg \max_{\mathbf{u}_F, \alpha} (L_B(\mathbf{u}_F, \alpha \mid \mathbf{u}_C)) = \arg \max_{\mathbf{u}_F, \alpha} \left(L_B \left(\frac{\mathbf{u}_C - \alpha \mathbf{u}_F}{1 - \alpha} \right) + L_F(\mathbf{u}_F) \right) \quad (3.23)$$

ดังนั้นเมื่อทำการแก้สมการแล้วจะสามารถหาค่าสี่ของวัตถุได้ดังสมการ (3.24)

$$\begin{aligned} L_B(\mathbf{u}_F, \alpha \mid \mathbf{u}_C) &= \left(\frac{\mathbf{u}_C - \alpha \mathbf{u}_F}{1 - \alpha} - \boldsymbol{\mu}_B \right) \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} \left(\frac{\mathbf{u}_C - \alpha \mathbf{u}_F}{1 - \alpha} - \boldsymbol{\mu}_B \right)^T + (\mathbf{u}_F - \boldsymbol{\mu}_F) \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} (\mathbf{u}_F - \boldsymbol{\mu}_F)^T \\ A_1 &= \left(\frac{\mathbf{u}_C - \alpha \mathbf{u}_F}{1 - \alpha} - \boldsymbol{\mu}_B \right) \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} \left(\frac{\mathbf{u}_C - \alpha \mathbf{u}_F}{1 - \alpha} - \boldsymbol{\mu}_B \right)^T \\ A_2 &= (\mathbf{u}_F - \boldsymbol{\mu}_F) \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} (\mathbf{u}_F - \boldsymbol{\mu}_F)^T \\ L(\mathbf{u}_F, \alpha \mid \mathbf{u}_C) &= A_1 + A_2 \end{aligned} \quad (3.24)$$

จัดรูปของสมการ (3.24) ใหม่ให้อยู่ในรูปของ $L(\mathbf{u}_F, \alpha \mid \mathbf{u}_C) = \mathbf{u}_F A \mathbf{u}_F^T + \mathbf{u}_F B + C$ จะ
ได้

$$A = \left(\left(\frac{\alpha}{1 - \alpha} \right)^2 \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} + \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} \right) \quad (3.25)$$

$$B_1 = 2 \left(\left(\frac{\alpha \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} \mathbf{u}_B^T}{1 - \alpha} \right) - \left(\frac{\alpha}{1 - \alpha} \right) \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} \left(\frac{\mathbf{u}_C}{1 - \alpha} \right)^T - \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} \mathbf{u}_F^T \right) \quad (3.26)$$

$$C = \left(\frac{\mathbf{u}_C}{1 - \alpha} \right) \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} \left(\frac{\mathbf{u}_C}{1 - \alpha} \right)^T - 2 \left(\frac{\mathbf{u}_B \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} \mathbf{u}_C^T}{1 - \alpha} \right) + \mathbf{u}_B \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} \mathbf{u}_B^T + \mathbf{u}_F \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} \mathbf{u}_F^T \quad (3.27)$$

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

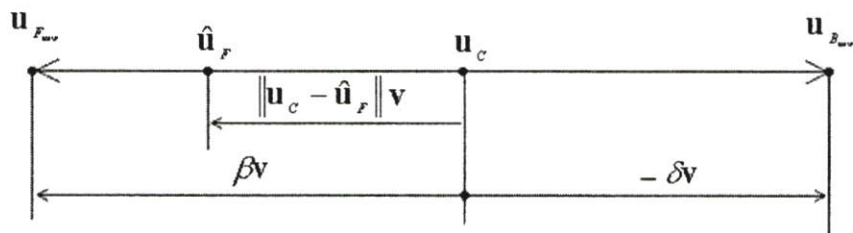
$$\frac{\partial L(\mathbf{u}_F, \alpha \mid \mathbf{u}_C)}{\partial \mathbf{u}_F} = \frac{\partial}{\partial \mathbf{u}_F} [\mathbf{u}_F A \mathbf{u}_F^T + \mathbf{u}_F B_1 + C]$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial L(\mathbf{u}_F, \alpha | \mathbf{u}_C)}{\partial \mathbf{u}_F} &= 2A\mathbf{u}_F + B_1 = 0 \\
\mathbf{u}_F &= \frac{-(A)^{-1} B_1}{2} \\
\mathbf{u}_F &= -(A)^{-1} B \\
B &= \frac{B_1}{2} \\
\hat{\mathbf{u}}_F &= -\left(\Sigma_F^{-1} + \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^2 \Sigma_B^{-1} \right)^{-1} \frac{1}{2} \left(2 \left(\left(\frac{\alpha \Sigma_B^{-1} \boldsymbol{\mu}_B^T}{1-\alpha} \right) - \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right) \Sigma_B^{-1} \left(\frac{\mathbf{u}_C}{1-\alpha} \right)^T - \Sigma_F^{-1} \boldsymbol{\mu}_F^T \right) \right) \\
\hat{\mathbf{u}}_F &= \left(\Sigma_F^{-1} + \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^2 \Sigma_B^{-1} \right)^{-1} \left(\left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right) \Sigma_B^{-1} \left(\frac{\mathbf{u}_C}{1-\alpha} \right)^T + \Sigma_F^{-1} \boldsymbol{\mu}_F^T - \left(\frac{\alpha \Sigma_B^{-1} \boldsymbol{\mu}_B^T}{1-\alpha} \right) \right) \\
\hat{\mathbf{u}}_F &= \left[\Sigma_F^{-1} + \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^2 \Sigma_B^{-1} \right]^{-1} \left[\Sigma_F^{-1} \boldsymbol{\mu}_F^T + \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right) \Sigma_B^{-1} \left(\frac{\mathbf{u}_C^T}{1-\alpha} - \boldsymbol{\mu}_B^T \right) \right] \quad (3.28)
\end{aligned}$$

เมื่อกำหนดหาค่าสัปดาห์ได้จากสมการ (3.28) โดยค่า $\hat{\mathbf{u}}_F$ \mathbf{u}_C $\boldsymbol{\mu}_F$ และ $\boldsymbol{\mu}_B$ คือค่าเฉลี่ยของสัปดาห์และจากหลังตามลำดับ ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด 1 แถว 3 หลัก และ Σ_F^{-1} กับ Σ_B^{-1} คือค่าความแปรปรวนร่วมของสัปดาห์และจากหลังตามลำดับ ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด 3 แถว 3 หลัก จากนั้นคำนวณหาเวกเตอร์หน่วยที่มีทิศทางจากเวกเตอร์สี่ของวัตถุไปยังเวกเตอร์สี่บริเวณที่เกิดการซ้อนทับกัน ดังสมการ (3.29)

$$\mathbf{v} = \frac{\mathbf{u}_C - \hat{\mathbf{u}}_F}{\|\mathbf{u}_C - \hat{\mathbf{u}}_F\|} \quad (3.29)$$

เมื่อได้เวกเตอร์หน่วย จะทำให้สามารถคำนวณหาสี่ของวัตถุและจากหลังใหม่โดยพิจารณาได้จากรูปที่ 3.4 ซึ่งจะทำให้สามารถคำนวณค่าสี่ของจากหลังได้จากสมการ (3.30) และ (3.31)



รูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นเวกเตอร์ของสี่วัตถุและจากหลังใหม่

$$\mathbf{u}_{F_{new}} = \mathbf{u}_C + \beta \mathbf{v} \quad (3.30)$$

$$\mathbf{u}_{B_{new}} = \mathbf{u}_C - \delta \mathbf{v} \quad (3.31)$$

โดยค่าของ β สามารถคำนวณได้จากสมการ (3.32)

$$\beta = \arg \max_{\beta} (L_F(\mathbf{u}_c + \beta \mathbf{v})) \quad (3.32)$$

$$\begin{aligned} L(\mathbf{u}_c + \beta \mathbf{v}) &= (\mathbf{u}_c + \beta \mathbf{v} - \boldsymbol{\mu}_F) \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} (\mathbf{u}_c + \beta \mathbf{v} - \boldsymbol{\mu}_F)^T \\ L(\mathbf{u}_c + \beta \mathbf{v}) &= (\beta \mathbf{v} + \mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_F) \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} (\beta \mathbf{v} + \mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_F)^T \\ L(\mathbf{u}_c + \beta \mathbf{v}) &= \beta \mathbf{v} \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} (\beta \mathbf{v})^T + 2\beta \mathbf{v} \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_F)^T + (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_F) \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_F)^T \\ L(\hat{\mathbf{u}}_c + \beta \mathbf{v}) &= \beta^2 \mathbf{v} \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} (\mathbf{v})^T + 2\beta \mathbf{v} \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_F)^T + (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_F) \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_F)^T \end{aligned} \quad (3.33)$$

หาค่าสูงสุดของล๊อคไลติฮูดเทียบกับ β จากสมการ (3.33)

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \beta} L(\mathbf{u}_c + \beta \mathbf{v}) &= 2\beta \mathbf{v} \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} \mathbf{v}^T + 2\mathbf{v} \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_F)^T \\ \frac{\partial}{\partial \beta} L(\mathbf{u}_c + \beta \mathbf{v}) &= 0 \\ \beta \mathbf{v} \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} \mathbf{v} &= -\mathbf{v} \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_F)^T \\ \beta \mathbf{v} \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} \mathbf{v}^T &= (\boldsymbol{\mu}_F - \mathbf{u}_c) \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} \mathbf{v}^T \\ \beta &= \frac{(\boldsymbol{\mu}_F - \mathbf{u}_c) \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} \mathbf{v}^T}{\mathbf{v} \boldsymbol{\Sigma}_F^{-1} \mathbf{v}^T} \end{aligned} \quad (3.34)$$

โดยค่าของ δ สามารถคำนวณได้จากสมการ (3.35)

$$\delta = \arg \max_{\delta} (L_B(\mathbf{u}_c - \delta \mathbf{v})) \quad (3.35)$$

$$\begin{aligned} L(\mathbf{u}_c - \delta \mathbf{v}) &= (\mathbf{u}_c - \delta \mathbf{v} - \boldsymbol{\mu}_B) \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} (\mathbf{u}_c - \delta \mathbf{v} - \boldsymbol{\mu}_B)^T \\ L(\mathbf{u}_c - \delta \mathbf{v}) &= (-\delta \mathbf{v} + \mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_B) \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} (-\delta \mathbf{v} + \mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_B)^T \\ L(\mathbf{u}_c - \delta \mathbf{v}) &= \delta \mathbf{v} \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} (\delta \mathbf{v})^T - 2\delta \mathbf{v} \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_B)^T + (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_B) \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_B)^T \\ L(\mathbf{u}_c - \delta \mathbf{v}) &= \delta^2 \mathbf{v} \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} (\mathbf{v})^T - 2\delta \mathbf{v} \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_B)^T + (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_B) \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_B)^T \end{aligned} \quad (3.36)$$

หาค่าสูงสุดของล๊อคไลติฮูดเทียบกับ δ จากสมการ (3.36)

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \delta} L(\mathbf{u}_c - \delta \mathbf{v}) &= 2\delta \mathbf{v} \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} \mathbf{v}^T - 2\mathbf{v} \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_B)^T \\ \frac{\partial}{\partial \delta} L(\mathbf{u}_c - \delta \mathbf{v}) &= 0 \\ \delta \mathbf{v} \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} \mathbf{v} &= \mathbf{v} \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} (\mathbf{u}_c - \boldsymbol{\mu}_B)^T \\ \delta \mathbf{v} \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} \mathbf{v}^T &= (\boldsymbol{\mu}_B - \mathbf{u}_c) \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} \mathbf{v}^T \\ \delta &= \frac{(\boldsymbol{\mu}_B - \mathbf{u}_c) \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} \mathbf{v}^T}{\mathbf{v} \boldsymbol{\Sigma}_B^{-1} \mathbf{v}^T} \end{aligned} \quad (3.37)$$

เมื่อคำนวณค่าสีของวัตถุและฉากหลังได้แล้ว ต่อมาก็ทำการคำนวณหาค่าความโปร่งแสงโดยใช้สมการ (3.38)

$$\alpha = \frac{\delta}{\beta + \delta} \quad (3.38)$$

การคำนวณของงานวิจัยนี้จะเหมือนกับวิธีการของซุงก็จะต้องนำค่าความโปร่งแสงที่คำนวณได้กลับไปคำนวณหาค่าสีใหม่ แต่วิธีการของงานวิจัยนี้จะนำค่าความโปร่งแสงที่ได้กลับไปคำนวณในสมการ (3.28) และทำการคำนวณเวกเตอร์หน่วยตามสมการ (3.29) จากนั้นคำนวณตามสมการ (3.33) และสมการ (3.36) เพื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าสีของวัตถุและฉากหลังใหม่ตามสมการ (3.30) และ (3.31) สุดท้ายจึงคำนวณหาค่าความโปร่งแสงตามสมการ (3.38) จากนั้นย้อนกลับไปคำนวณตั้งแต่สมการที่ (3.28) ใหม่จนค่าของสีของวัตถุและฉากหลังที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าจึงหยุดการคำนวณ

ปัญหาของการคำนวณตามวิธีการนี้และวิธีการแก้ไข

1. เมื่อค่าที่คำนวณได้จากสมการ (3.27) มีค่าดังนี้ $\hat{\mathbf{u}}_F = \mathbf{u}_C$ จะกำหนดให้

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

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

$$\alpha = 1$$

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

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

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

$$\alpha = 1$$

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

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

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

$$\alpha = 0$$

3.3 การวิเคราะห์ความซับซ้อนในการคำนวณของอัลกอริธึม

ในส่วนนี้จะแสดงให้เห็นความแตกต่างของอัลกอริธึมของงานวิจัยนี้กับวิธีการของซุง โดยจะใช้การนับตัวดำเนินการ (Count Operation) ในการเปรียบเทียบ โดย Operation count จะคิดจากการใช้ $+$ $-$ $*$ $/$ และ $\sqrt{\quad}$ ในสมการแต่ละครั้ง เนื่องจากวิธีการประมาณค่าสี่ในงานวิจัยนี้กับวิธีการของซุงได้นำเอาวิธีของ 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	$\begin{bmatrix} \Sigma_F^{-1} + \frac{I_s \alpha^2}{\sigma_c^2} & \frac{I_s \alpha(1-\alpha)}{\sigma_c^2} \\ \frac{I_s \alpha(1-\alpha)}{\sigma_c^2} & \Sigma_B^{-1} + \frac{I_s(1-\alpha)^2}{\sigma_c^2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{u}_F \\ \mathbf{u}_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma_F^{-1} \boldsymbol{\mu}_F + \frac{\alpha \mathbf{u}_C}{\sigma_c^2} \\ \Sigma_B^{-1} \boldsymbol{\mu}_B + \frac{(1-\alpha) \mathbf{u}_C}{\sigma_c^2} \end{bmatrix}$	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	$\hat{\mathbf{u}}_{F_{\text{new}}} = \mathbf{u}_C + \beta\mathbf{v}$	6
6	$\hat{\mathbf{u}}_{B_{\text{new}}} = \mathbf{u}_C + \delta\mathbf{v}$	6
7	$\alpha = \frac{\delta}{\beta + \delta}$	2
Total Operation Count		100

โดยที่

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

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

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

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

บทที่ 4

อุปกรณ์และข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลประกอบด้วย

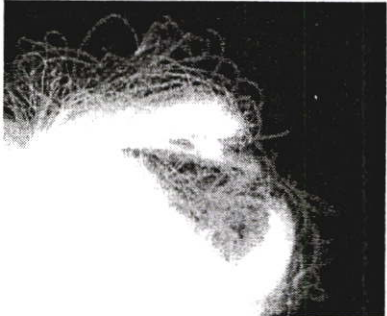

- เครื่องคอมพิวเตอร์ PC Intel Pentium IV 1.8 GHz
- กล้องดิจิทัล
- ฉากหลังสีน้ำเงินและสีแดง

4.2 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง


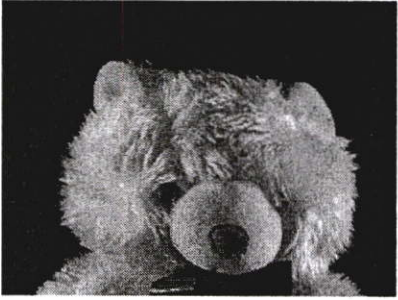

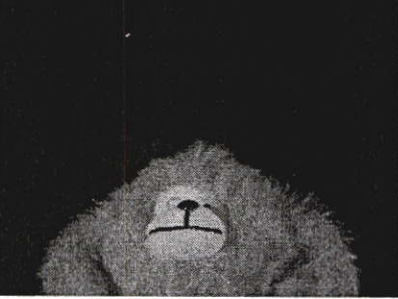



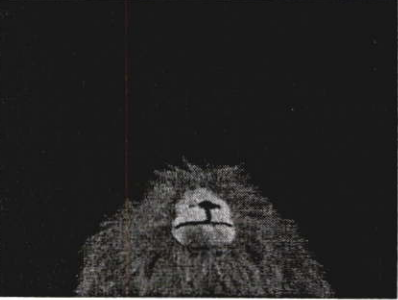
4.2.1 สภาพแวดล้อมขณะเก็บข้อมูล

การถ่ายภาพของภาพวัตถุที่ได้เตรียมไว้ จะต้องทำในห้องที่ไม่มีแสงจากภายนอกเข้ามารบกวน โดยการถ่ายภาพจะใช้วิธีของบลูสกรีน (Blue screen matting) [2] โดยถ่ายภาพทั้งหมด 5 ภาพคือ ภาพของฉากหลังสีน้ำเงินและสีแดงอย่างภาพ และภาพของวัตถุที่ซ้อนทับฉากหลังสีน้ำเงินและสีแดงอย่างภาพ จากนั้นนำภาพทั้งสี่ไปคำนวณหาค่าความโปร่งแสงและสีของวัตถุตามสมการที่ (2.19) ตามวิธีการของบลูสกรีน เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณตามวิธีการของงานวิจัยนี้ โดยได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ภาพค่าความโปร่งแสงและสีของวัตถุ

ลำดับที่	ภาพของความโปร่งแสง	ภาพของความโปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุ
1		

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)



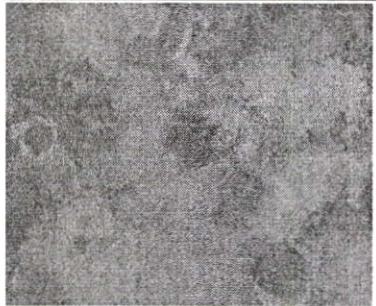
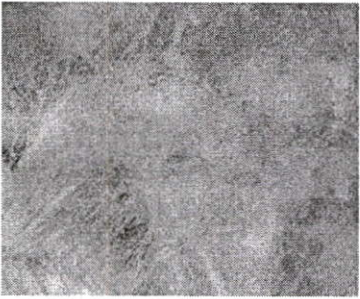
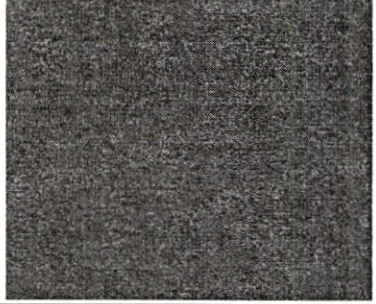

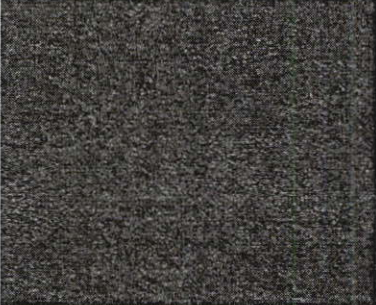

2	 A binary mask of a bear's head, showing the white fur against a black background. The mask is centered and covers the entire head area.	 The original grayscale image of a bear's head, showing the texture of the fur and the bear's features.
3	 A binary mask of a bear's head, showing the white fur against a black background. The mask is centered and covers the entire head area.	 The original grayscale image of a bear's head, showing the texture of the fur and the bear's features.
4	 A binary mask of a bear's head, showing the white fur against a black background. The mask is centered and covers the entire head area.	 The original grayscale image of a bear's head, showing the texture of the fur and the bear's features.
5	 A binary mask of a bear's head, showing the white fur against a black background. The mask is centered and covers the entire head area.	 The original grayscale image of a bear's head, showing the texture of the fur and the bear's features.

4.2.2 ภาพที่ใช้ในการทดลอง



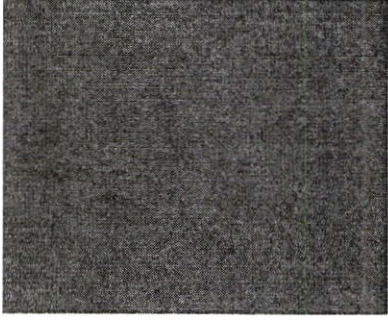

ภาพที่ใช้ในการทดลองสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทดังต่อไปนี้

- ภาพที่เกิดจากการซ้อนทับระหว่างค่าความโปร่งแสงและสีของวัตถุในหัวข้อ 4.2.1 กับฉากหลังที่ทำการสังเคราะห์ขึ้นจำนวน 6 ภาพดังตารางที่ 4.2

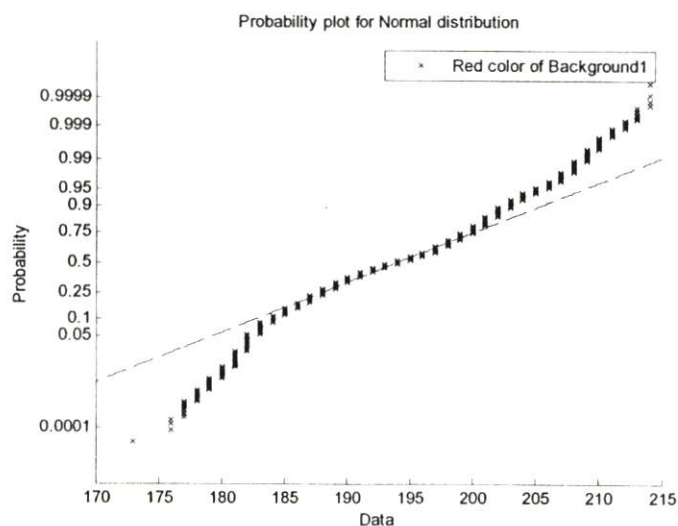
ตารางที่ 4.2 ภาพค่าความโปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุซ้อนทับกับฉากหลังที่สร้างขึ้น

ลำดับที่	ภาพของฉากหลังที่สร้างขึ้น	ภาพของความโปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุซ้อนทับกับฉากหลัง
1		
2		
3		
4		

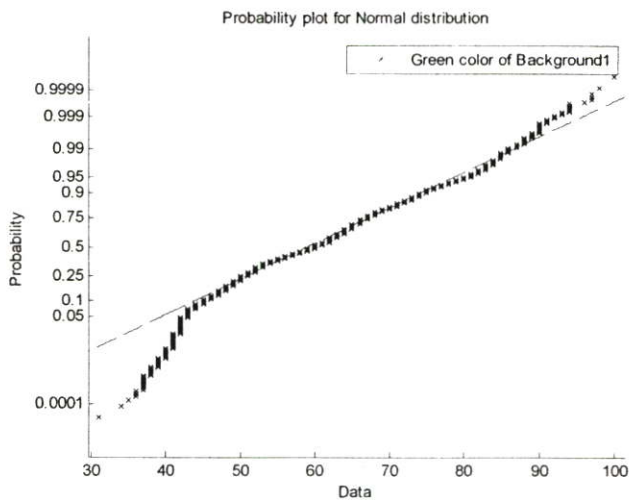
ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

5		
6		

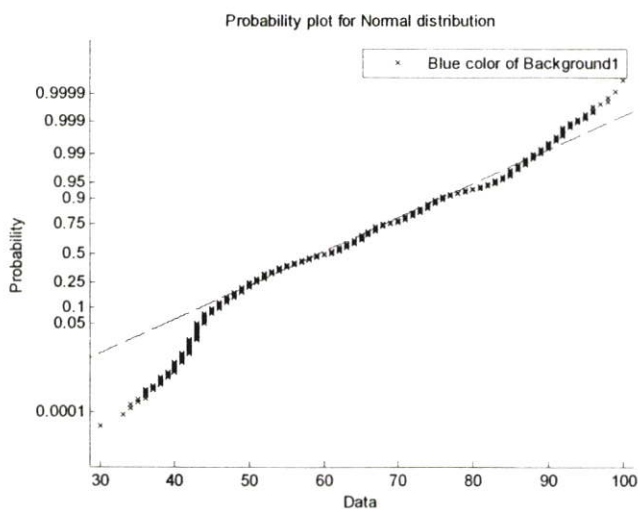
โดยกลุ่มสีของแต่ละสีของฉากหลังจะเป็นมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติดังรูปที่ 4.1 – 4.18 ซึ่งเป็นการแสดงเทียบกลุ่มสีของวัตถุ กลุ่มสีของฉากหลังที่สร้างขึ้นจะไม่ให้กลุ่มสีของฉากหลังกับวัตถุใกล้เคียงกันมากดังจะสังเกตได้ในแต่ละภาพ



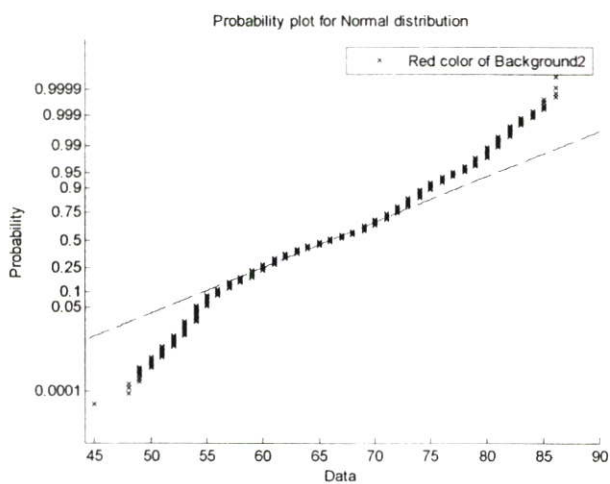
รูปที่ 4.1 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีแดงของฉากหลังรูปที่ 1 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1



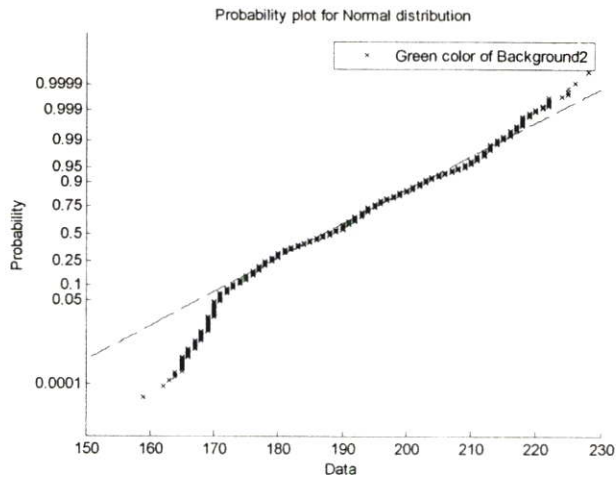
รูปที่ 4.2 แจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีเขียวของฉากหลังรูปที่ 1 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1



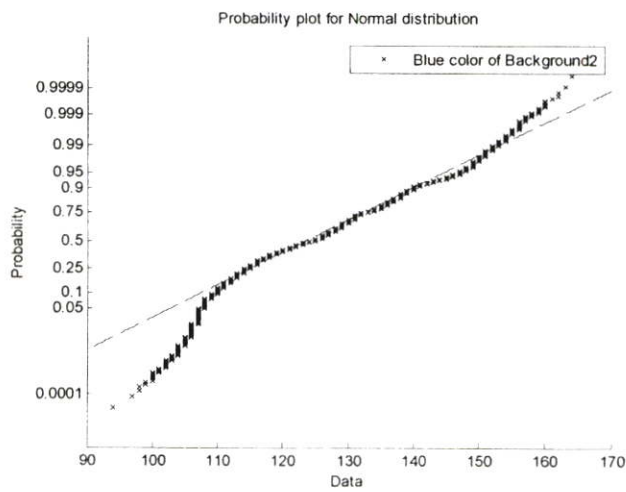
รูปที่ 4.3 แจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีน้ำเงินของฉากหลังรูปที่ 1 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1



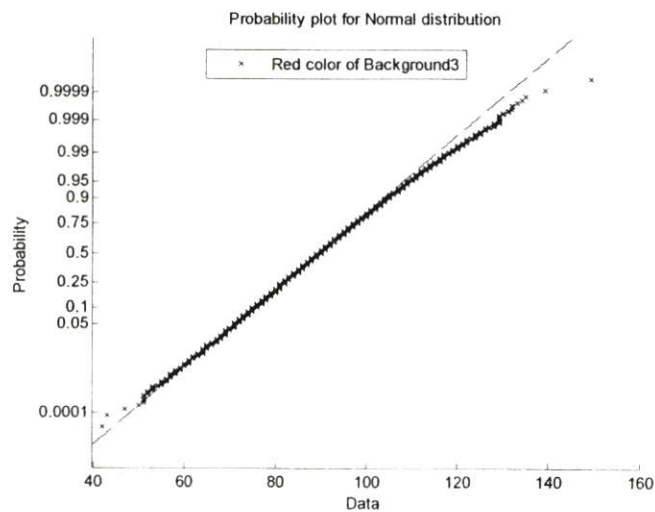
รูปที่ 4.4 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีแดงของฉากหลังรูปที่ 2 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1



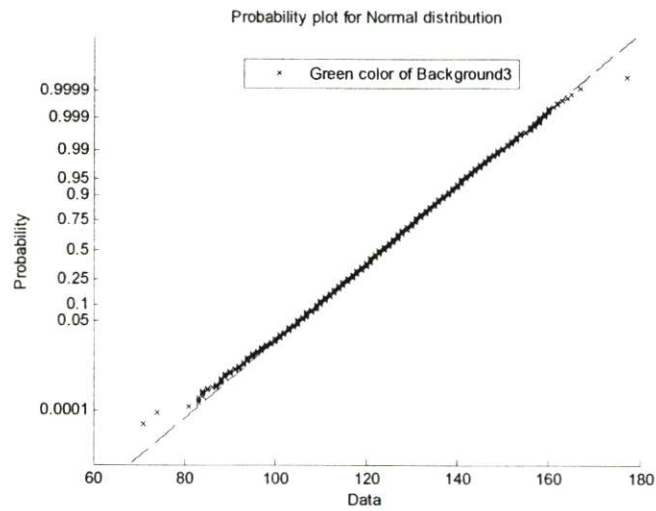
รูปที่ 4.5 แจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีเขียวของฉากหลังรูปที่ 2 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1



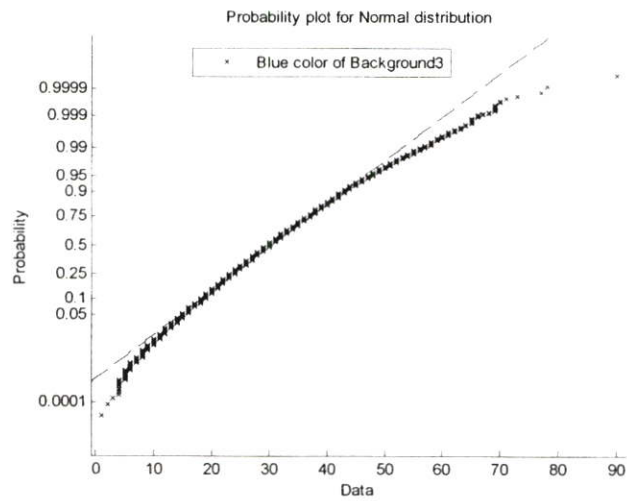
รูปที่ 4.6 แจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีน้ำเงินของฉากหลังรูปที่ 2 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1



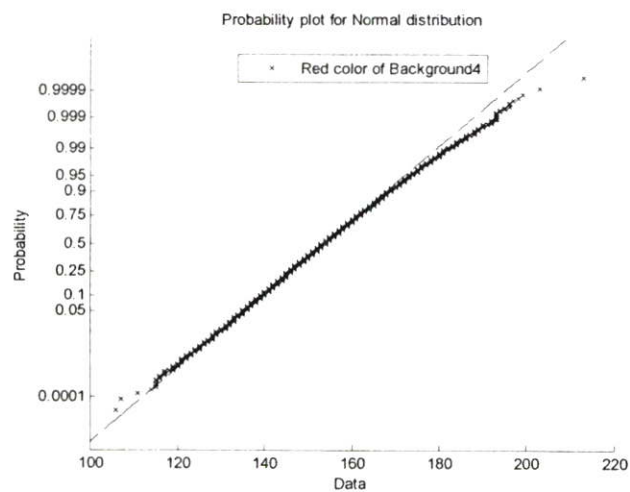
รูปที่ 4.7 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีแดงของฉากหลังรูปที่ 3 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1



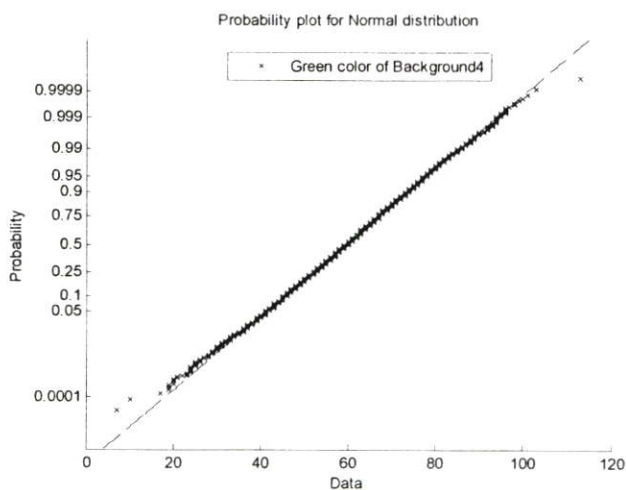
รูปที่ 4.8 แจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีเขียวของฉากหลังรูปที่ 3 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1



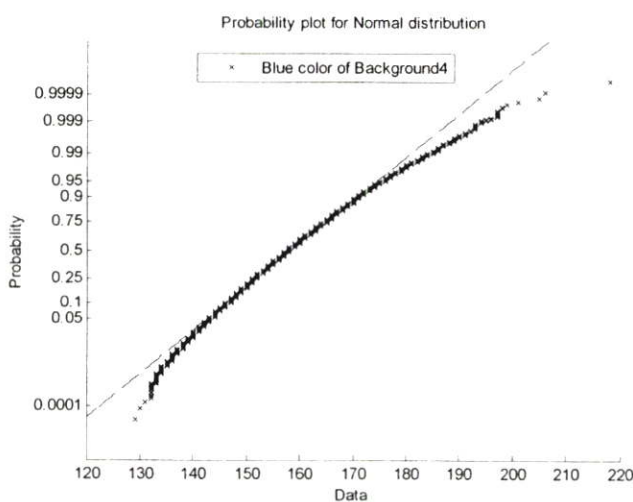
รูปที่ 4.9 แจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีน้ำเงินของฉากหลังรูปที่ 3 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1



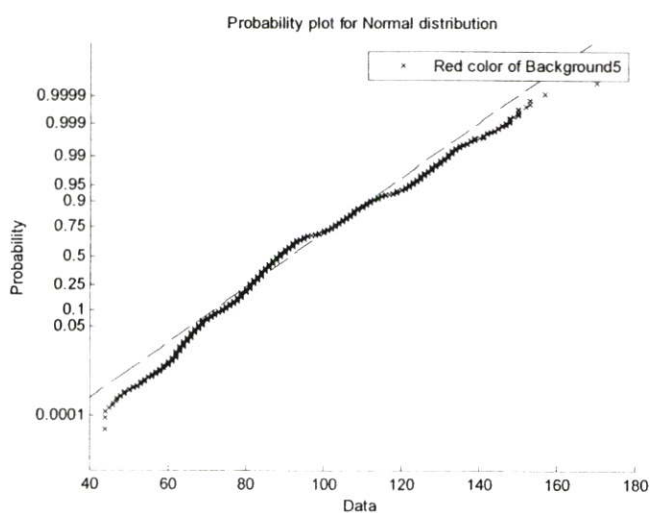
รูปที่ 4.10 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีแดงของฉากหลังรูปที่ 4 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1



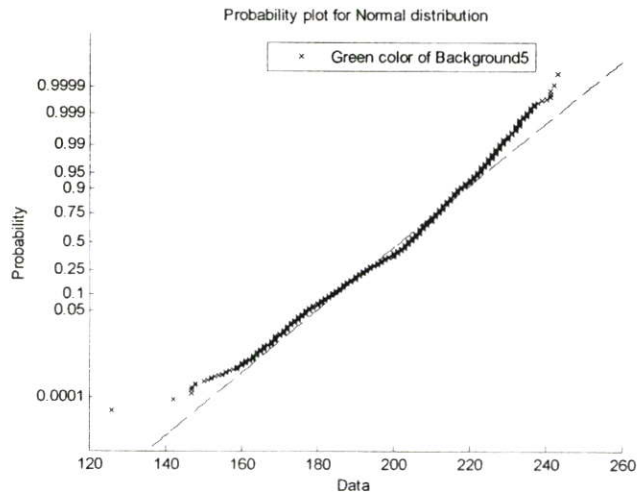
รูปที่ 4.11 แจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีเขียวของฉากหลังรูปที่ 4 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1



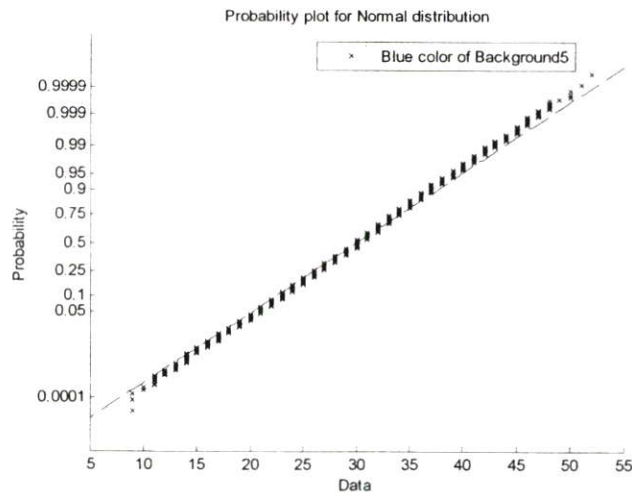
รูปที่ 4.12 แจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีน้ำเงินของฉากหลังรูปที่ 4 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1



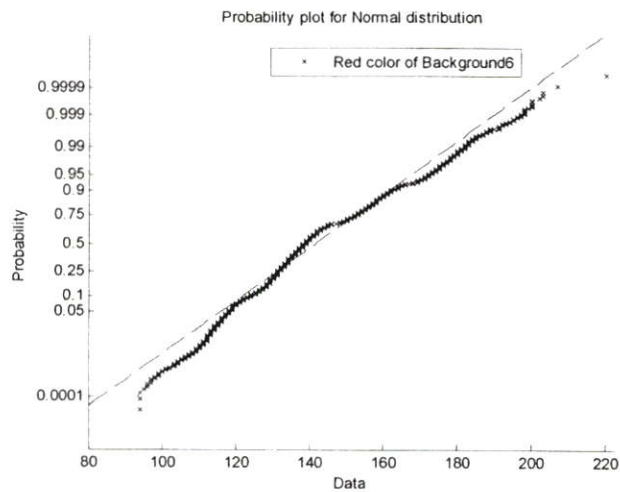
รูปที่ 4.13 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีแดงของฉากหลังรูปที่ 5 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1



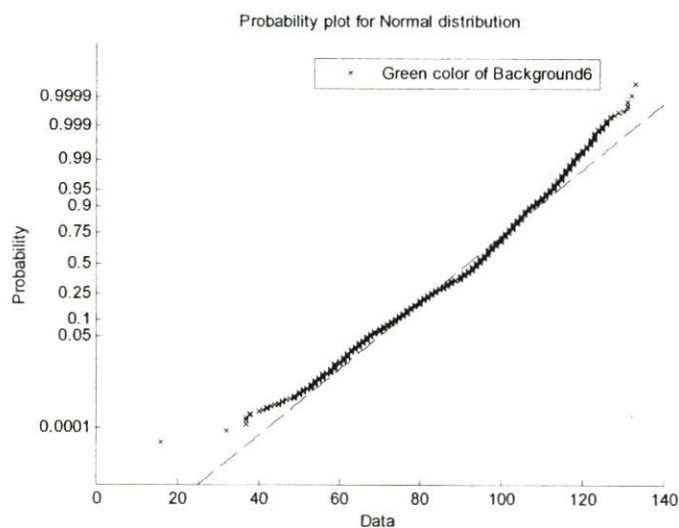
รูปที่ 4.14 แจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีเขียวของฉากหลังรูปที่ 5 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1



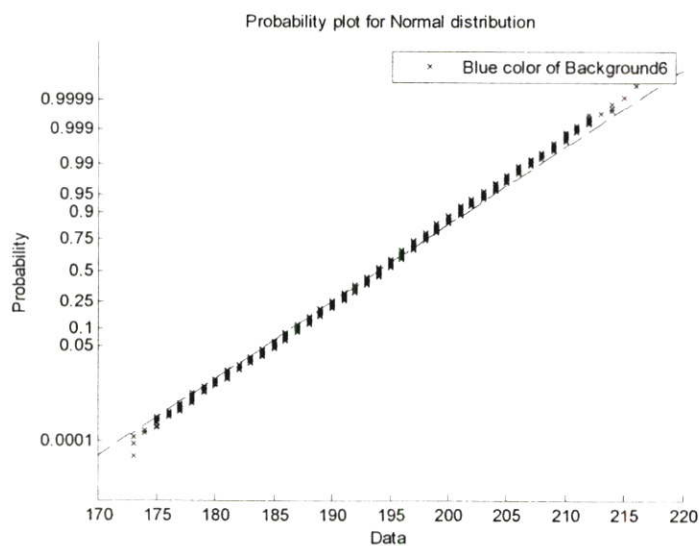
รูปที่ 4.15 แจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีน้ำเงินของฉากหลังรูปที่ 5 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1



รูปที่ 4.16 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีแดงของฉากหลังรูปที่ 6 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1






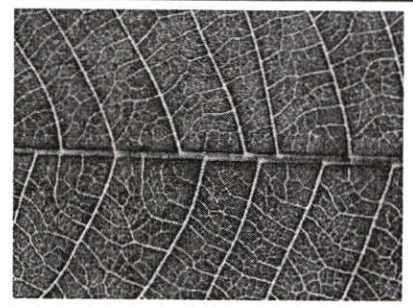

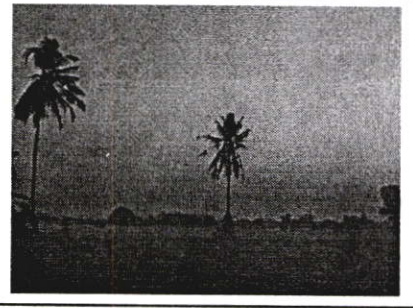
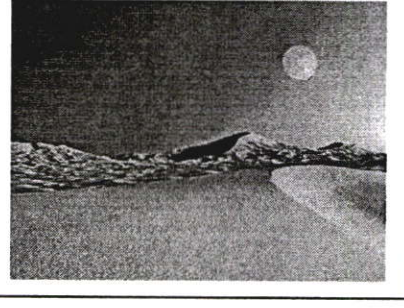

รูปที่ 4.17 แจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีเขียวของฉลากหลังรูปที่ 6 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1











รูปที่ 4.18 แจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีน้ำเงินของฉลากหลังรูปที่ 6 กับกลุ่มสีของวัตถุรูปที่ 1

- ภาพที่เกิดจากการซ้อนทับระหว่างค่าความโปร่งแสงและสีของวัตถุในหัวข้อ 4.2.1 กับฉากหลังแบบธรรมชาติจำนวน 16 ภาพตามตารางที่ 4.3 โดยภาพที่ซ้อนทับกันจะทั้งหมด 4 ชุดตามจำนวนภาพของวัตถุ 4 รูป ชุด 16 รูป ตามที่แสดงในตารางที่ 4.4.1 4.4.2 4.4.3 และ 4.4.4

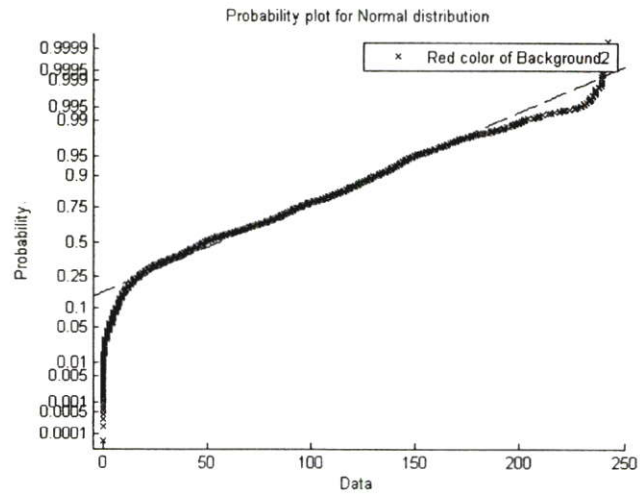
ตารางที่ 4.3 ภาพฉากหลังแบบธรรมชาติ

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

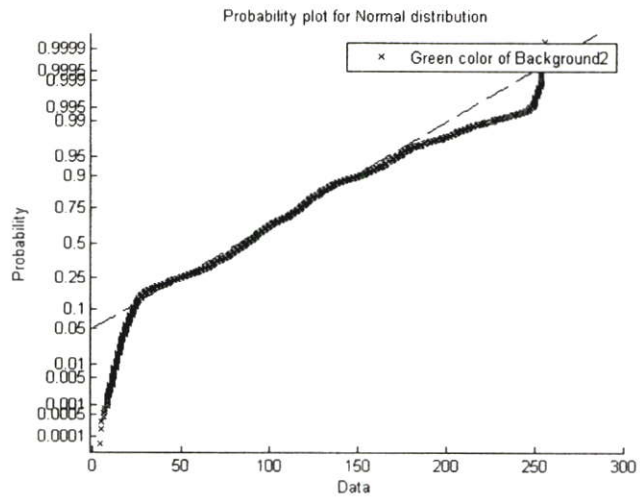
ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

9		13	
10		14	
11		15	
12		16	

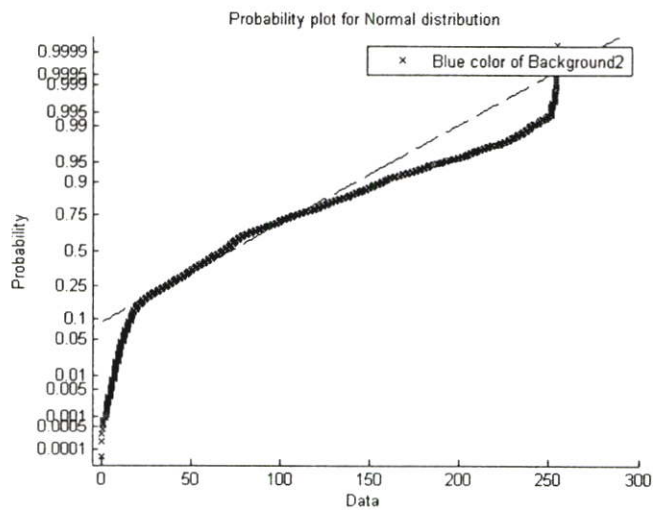
โดยกลุ่มสีของแต่ละของฉากหลังแบบธรรมชาติได้นำแสดงเป็นตัวอย่างเฉพาะรูปที่ 2 และ 3 ซึ่งจะมีลักษณะการแจกแจงที่ใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบปกติดังกราฟรูปที่ 4.19 – 4.24



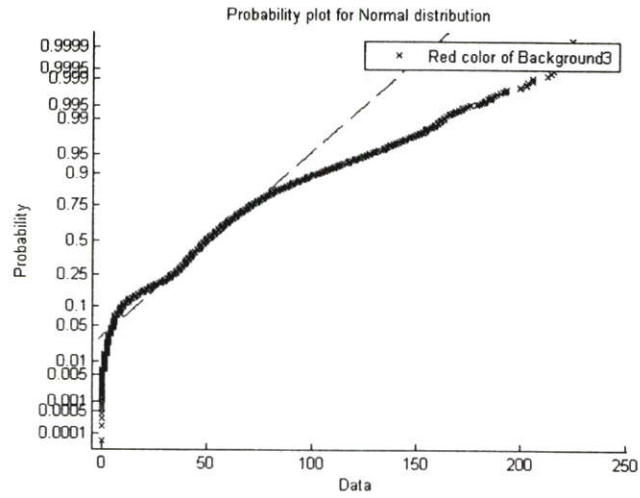
รูปที่ 4.19 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีแดงของฉากหลังรูปที่ 2



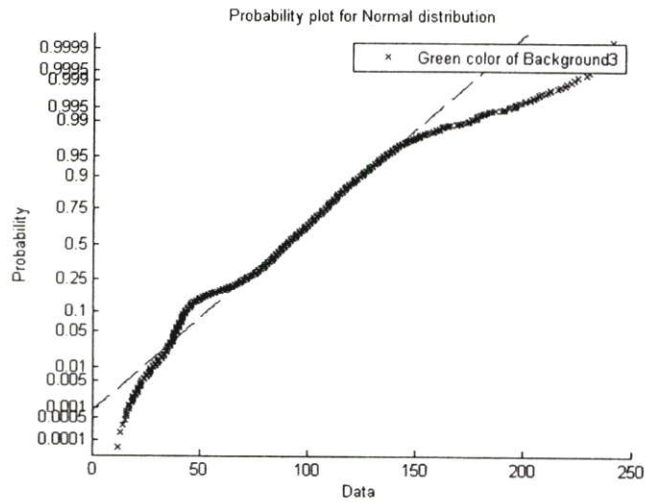
รูปที่ 4.20 แจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีเขียวของฉากหลังรูปที่ 2



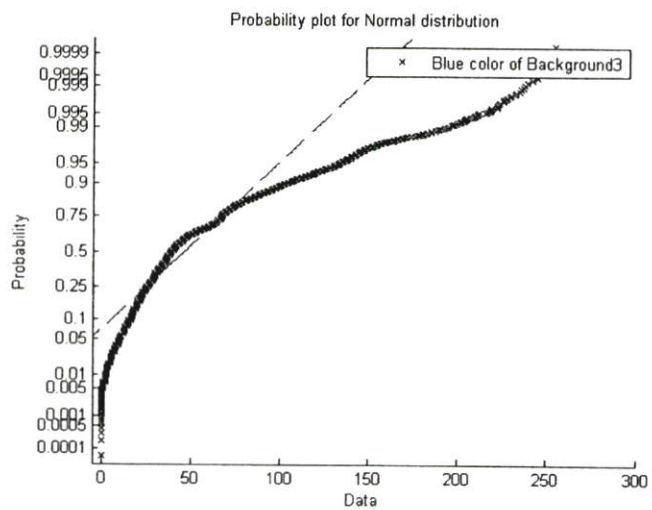
รูปที่ 4.21 แจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีน้ำเงินของฉากหลังรูปที่ 2



รูปที่ 4.22 การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีแดงของฉากหลังรูปที่ 3

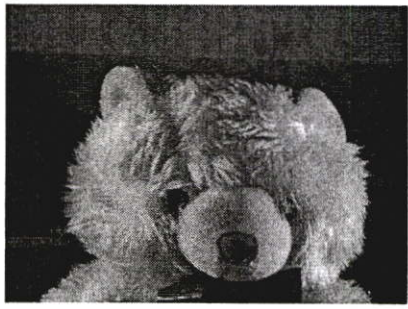
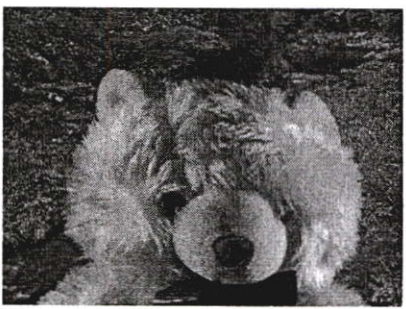

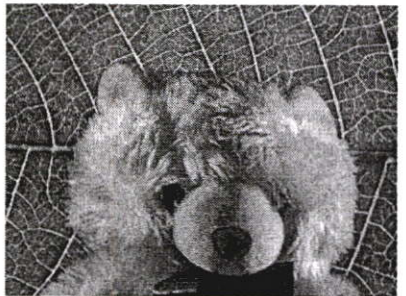

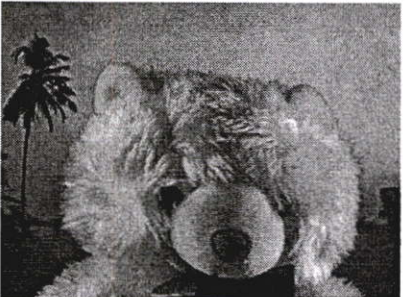
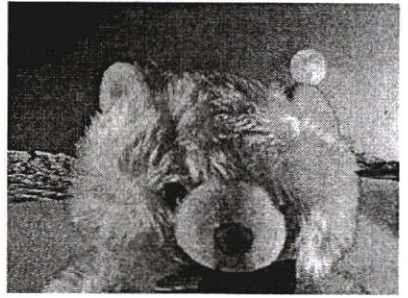



รูปที่ 4.23 แจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีเขียวของฉากหลังรูปที่ 3

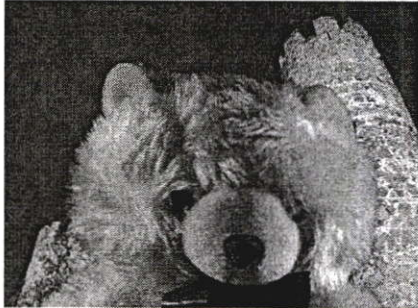
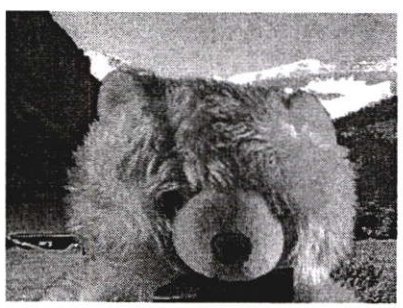


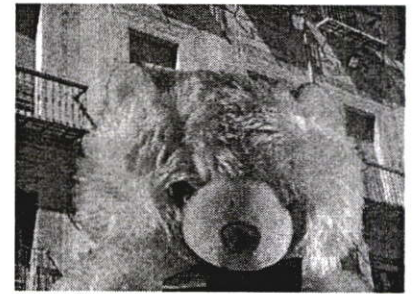
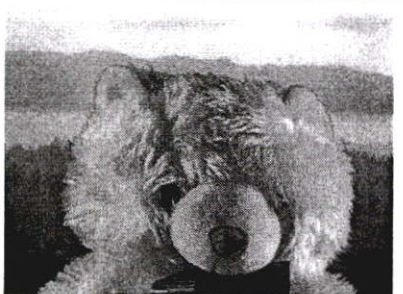
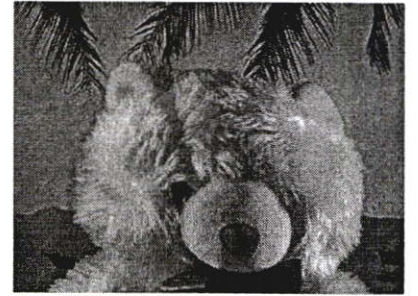
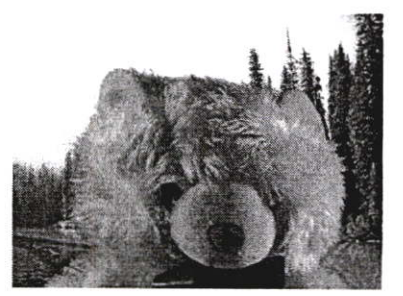


รูปที่ 4.24 แจกแจงแบบปกติของกลุ่มสีน้ำเงินของฉากหลังรูปที่ 3

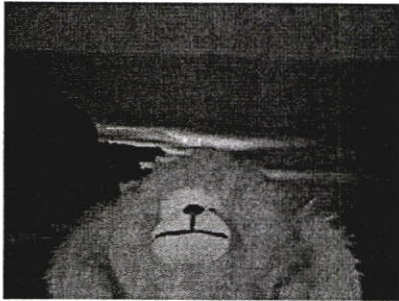
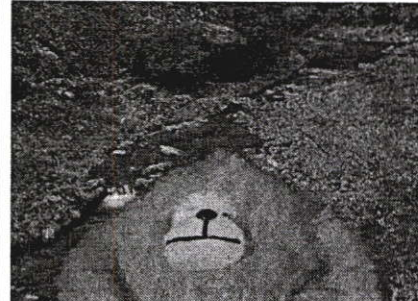
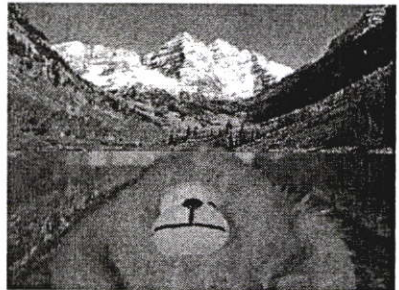
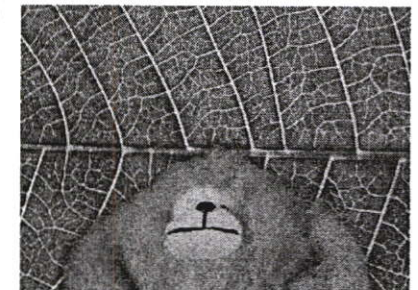
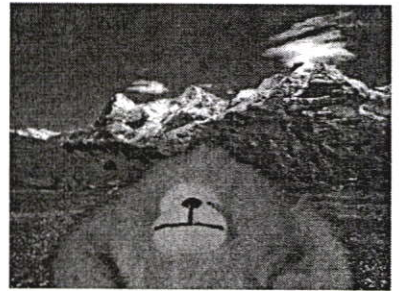


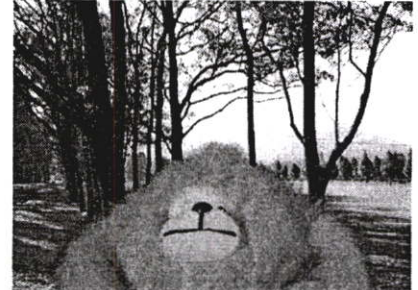
ตารางที่ 4.4.1 ภาพค่าความโปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุชิ้นรูปที่ 2 ทับกับฉากหลังแบบธรรมชาติ

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

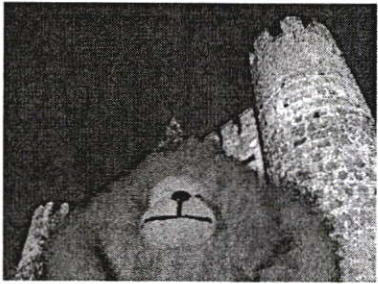
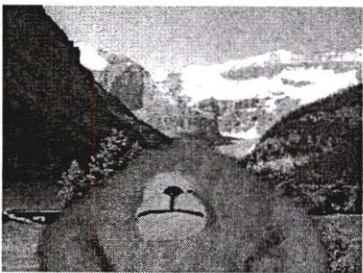



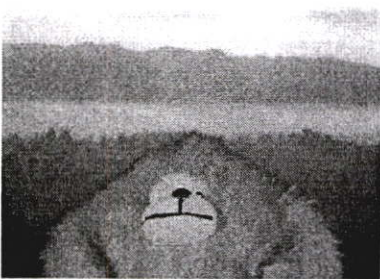


ตารางที่ 4.4.1 (ต่อ)

9		13	
10		14	
11		15	
12		16	

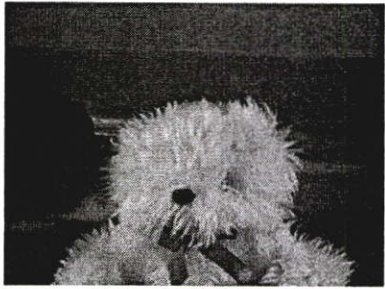


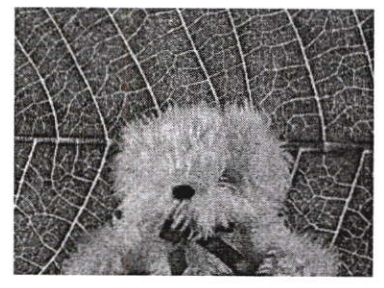




ตารางที่ 4.4.2 ภาพค่าความโปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุซ้อนรูปที่ 3 ทับกับฉากหลังแบบธรรมชาติ

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

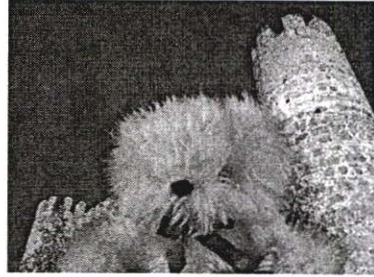

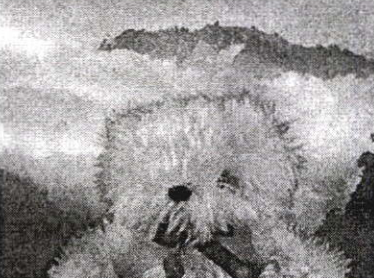


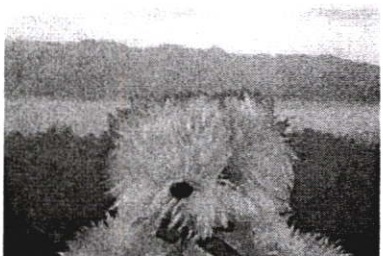


ตารางที่ 4.4.2 (ต่อ)

9		13	
10		14	
11		15	
12		16	


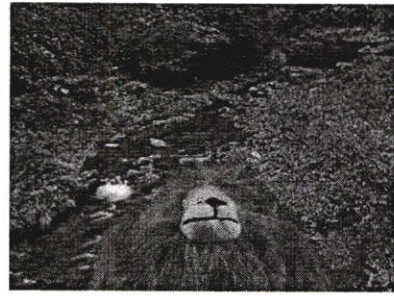

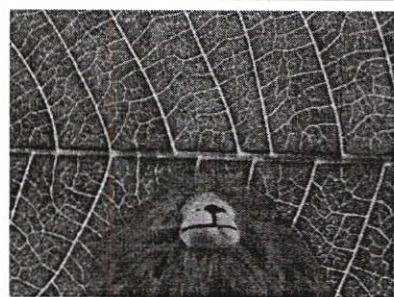

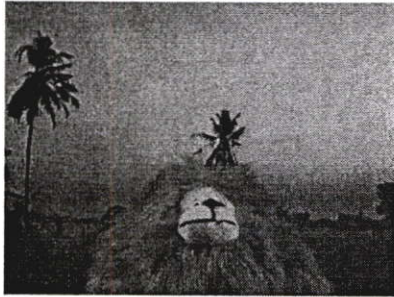


ตารางที่ 4.4.3 ภาพค่าความโปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุซ้อนรูปที่ 4 ทับกับฉากหลังแบบธรรมชาติ

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

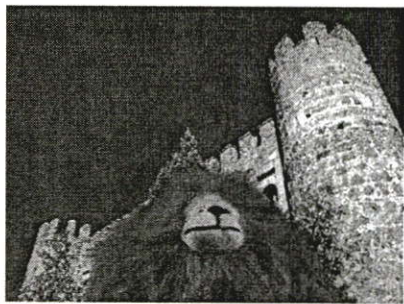
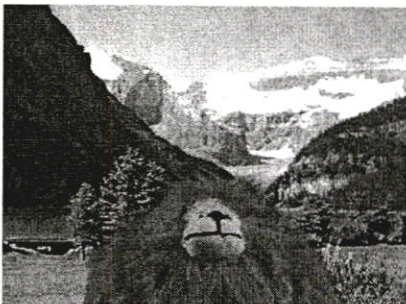
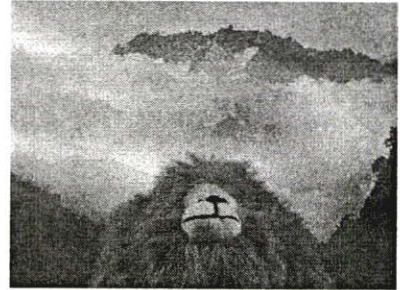





ตารางที่ 4.4.3 (ต่อ)

9		13	
10		14	
11		15	
12		16	

ตารางที่ 4.4.4 ภาพค่าความโปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุซ้อนรูปที่ 5 ทับกับฉากหลังแบบธรรมชาติ



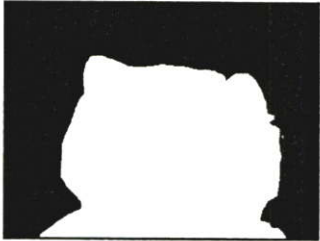
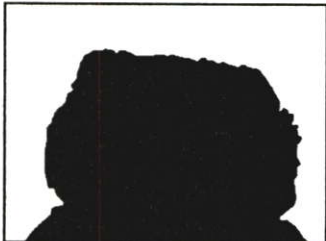

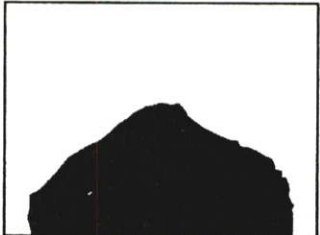


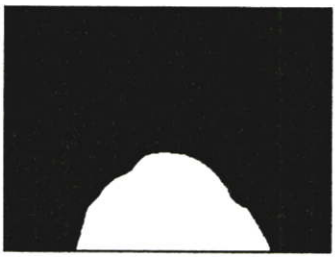
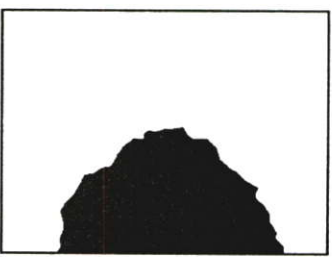
ลำดับที่	ภาพของฉากแบบธรรมชาติ	ลำดับที่	ภาพของความโปร่งแสงผสมกับสีของวัตถุซ้อนทับกับฉากหลัง
1		5	
2		6	
3		7	
4		8	

ตารางที่ 4.4.4 (ต่อ)

9		13	
10		14	
11		15	
12		16	

- ภาพที่ทำกรกำหนดบริเวณของวัตถุและภาพที่กำหนดบริเวณของฉากหลังจากภาพที่ซ้อนทับกับฉากหลังอย่าง 5 ภาพโดยภาพเหล่านี้จะถูกสร้างโปรแกรมแก้ไขภาพเช่น Paint หรือ Photoshop ก็ได้ โดยพิจารณาบริเวณของภาพที่ซ้อนทับกัน โดยหากต้องการกำหนดบริเวณของสีวัตถุ ให้พิจารณาบริเวณไหนที่มีความแน่นอนว่าเป็นส่วนของสีวัตถุ ก็ให้กำหนดเป็นสีขาว สำหรับส่วนของฉากหลังก็ทำในลักษณะเดียวกัน โดยรูปที่กำหนดและใช้ในงานวิจัยนี้ดูได้จากตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ภาพที่กำหนดบริเวณของวัตถุและภาพที่กำหนดบริเวณของฉากหลัง

ลำดับที่	ภาพที่กำหนดบริเวณของวัตถุ	ภาพที่กำหนดบริเวณของฉากหลัง
1		
2		
3		
4		
5		

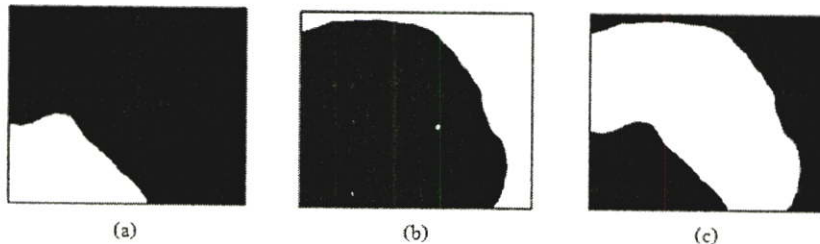
บทที่ 5

วิธีการทดลองและผลการทดลอง

การทดลองในงานวิจัย จะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 แบบ คือ การทดลองกับภาพฉากหลังที่สร้างขึ้นตามตารางที่ 4.2 มีทั้งหมด 6 การทดลองและการทดลองกับภาพฉากหลังธรรมชาติตามตารางที่ 4.4.1 4.4.2 4.4.3 และ 4.4.4 มีทั้งหมด 64 การทดลอง การทดลองทั้งหมดจะนำผลที่ได้คือค่าความโปร่งแสงและค่าสีของวัตถุกับภาพที่หาค่าสีของวัตถุและความโปร่งแสงตามวิธีการของบูลสกรีน [2] เพื่อหาค่าความผิดพลาดตามสมการที่ 2.2 และ 2.3 โดยจะได้อธิบายรายละเอียดของวิธีการทดลองแต่ละแบบในส่วนต่อจากนี้

5.1 การทดลองกับภาพฉากหลังที่สร้างขึ้น

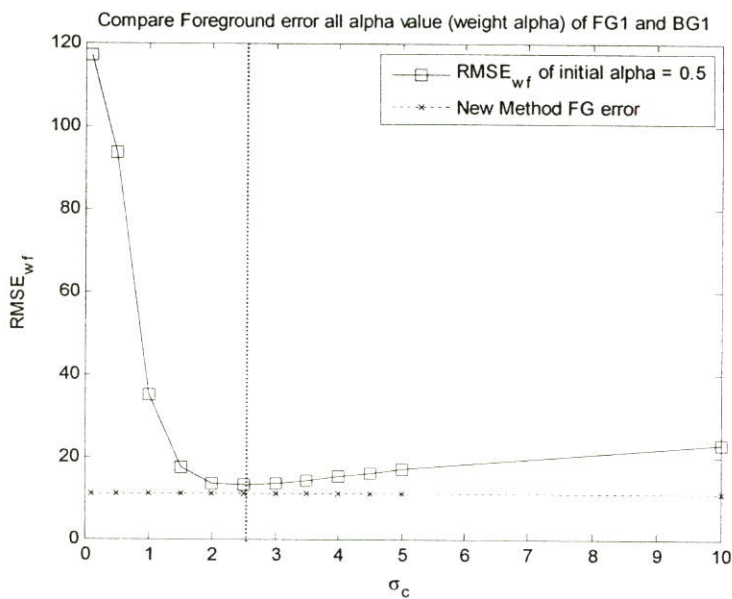
นำภาพที่ซ้อนทับกับฉากหลังใหม่ตามตารางที่ 4.2 มากำหนดบริเวณส่วนของวัตถุ, ฉากหลังและส่วนที่เกิดการซ้อนทับกัน โดยบริเวณที่กำหนดจะแสดงเป็นสีขาวดังรูปที่ 5.1 (a) เป็นภาพการกำหนดบริเวณของวัตถุ ส่วนรูปที่ 5.1 (b) เป็นภาพการกำหนดบริเวณของฉากหลัง และรูปที่ 5.1 (c) เป็นภาพการกำหนดบริเวณส่วนที่เกิดการซ้อนทับกัน



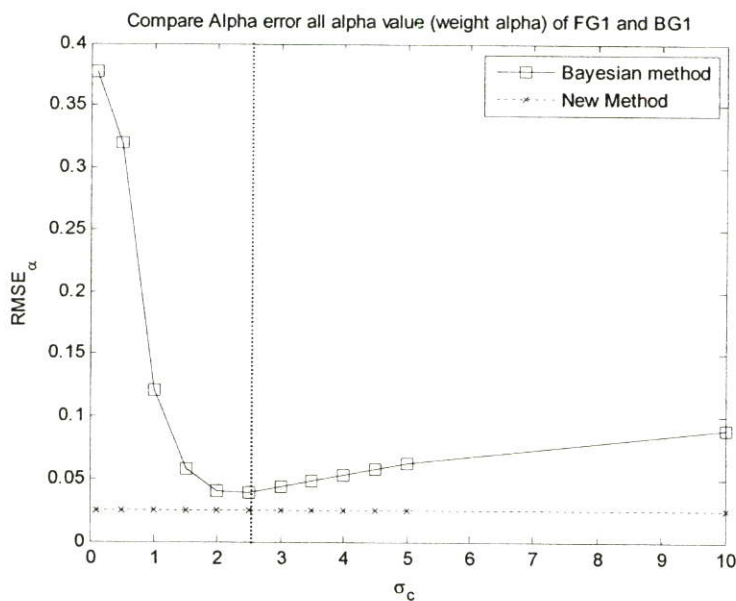
รูปที่ 5.1 (a) – (c) ภาพการกำหนดบริเวณของวัตถุ ฉากหลัง และส่วนที่เกิดการซ้อนทับกัน

บริเวณส่วนของวัตถุและฉากหลัง จะนำมาใช้ในการสร้างการแจกแจงแบบปกติของวัตถุและฉากหลังตามลำดับ โดยก่อนจะหาค่าที่จะใช้ในการแจกแจงแบบปกติของแต่ละบริเวณนั้นจะต้องนำแต่ละส่วนไปทำคลัสเตอร์เพื่อแบ่งกลุ่มสีก่อน แต่เนื่องจากสีของวัตถุไม่แตกต่างกันมาก การทดลองนี้จึงใช้การจัดกลุ่มสีเพียง 1 กลุ่ม โดยฉากหลังก็ใช้การจัดแบบเดียวกัน สำหรับส่วนที่เกิดการซ้อนทับกันจะนำมาใช้ในการคำนวณค่าของวัตถุและความโปร่งแสงในแต่ละพิกเซลของบริเวณส่วนนี้ ซึ่งการทดลองจะเปรียบเทียบกับวิธีการของซุง [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

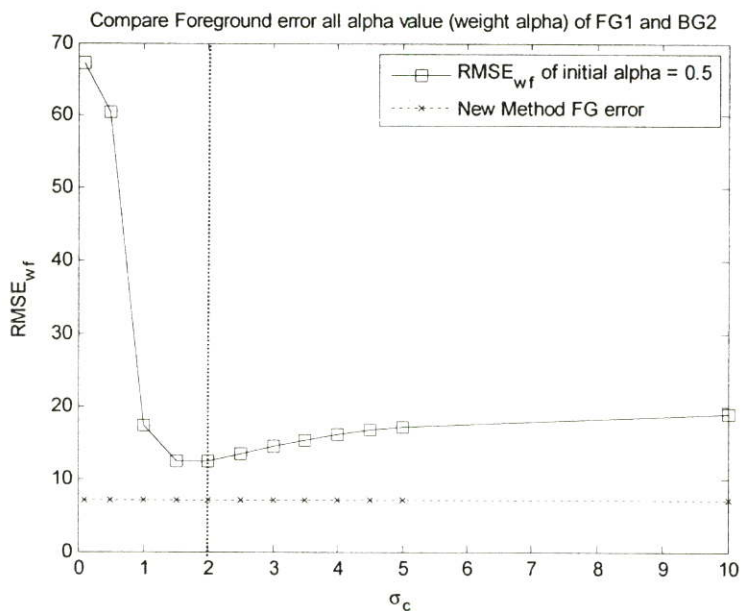


รูปที่ 5.2 กราฟแสดง $RMSE_{wf}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 1 ในตารางที่ 4.2

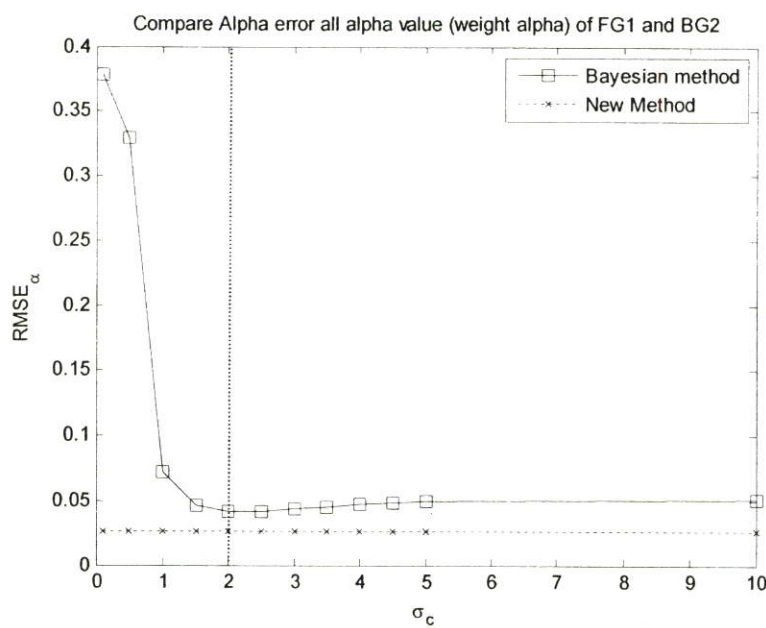


รูปที่ 5.3 กราฟแสดง $RMSE_{\alpha}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 1 ในตารางที่ 4.2

จากกราฟในรูปที่ 5.2 และ 5.3 ได้แสดงค่าของ $RMSE_{wf}$ และ $RMSE_{\alpha}$ จากวิธีการของหุงที่ค่า $\sigma_c = 2.5$ สังเกตได้ตามแนวเส้นปะเทียบกับผลของวิธีการในงานวิจัยนี้ จะเห็นว่ามีค่ามากกว่า

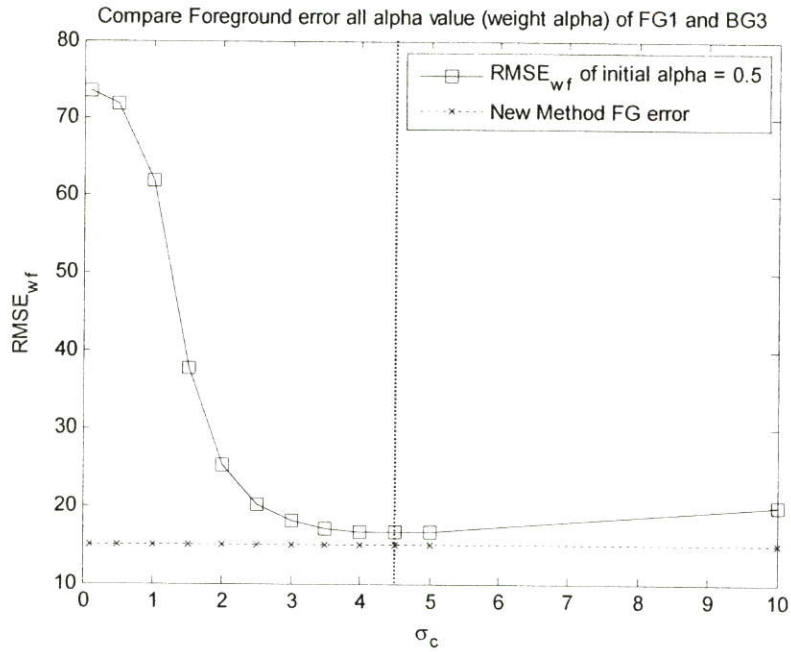


รูปที่ 5.4 กราฟแสดง $RMSE_{wf}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 2 ในตารางที่ 4.2

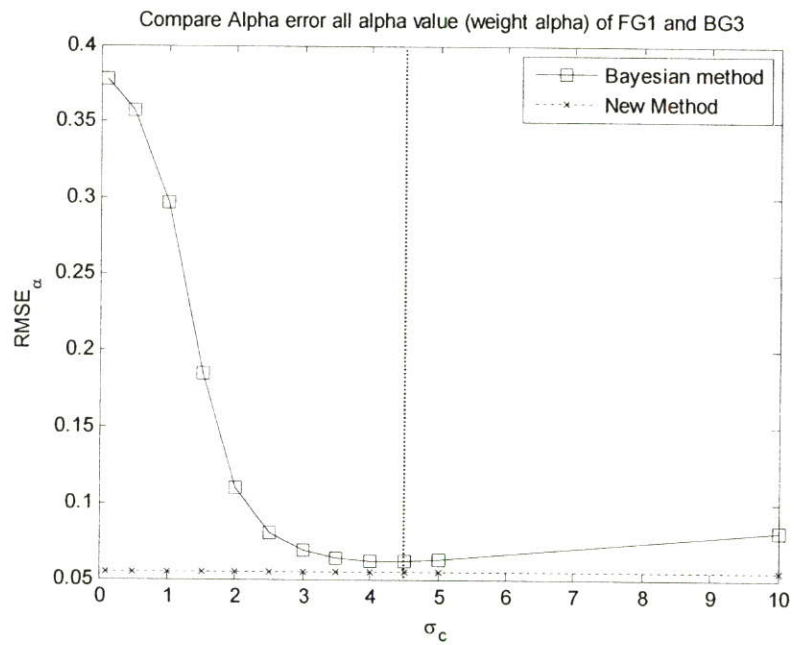


รูปที่ 5.5 กราฟแสดง $RMSE_\alpha$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 2 ในตารางที่ 4.2

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

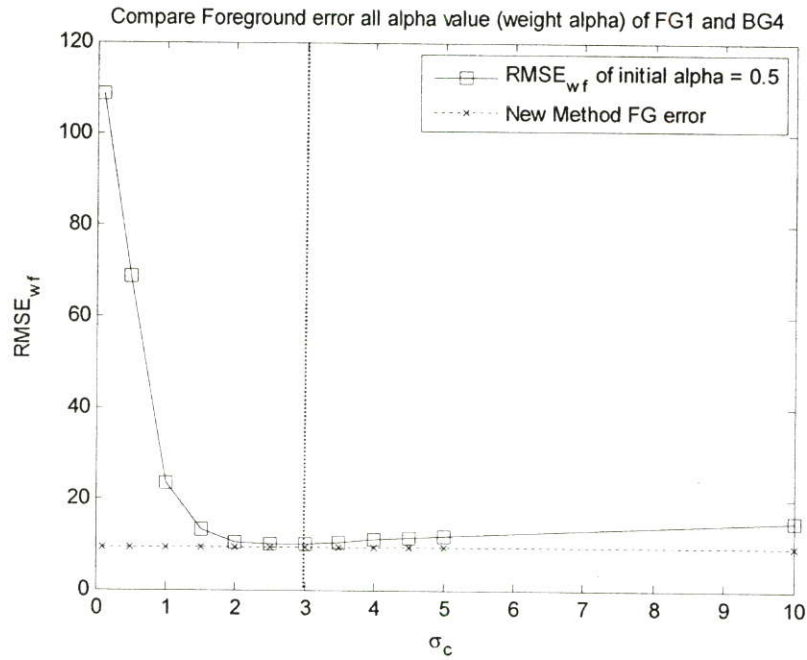


รูปที่ 5.6 กราฟแสดง $RMSE_{wf}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 3 ในตารางที่ 4.2

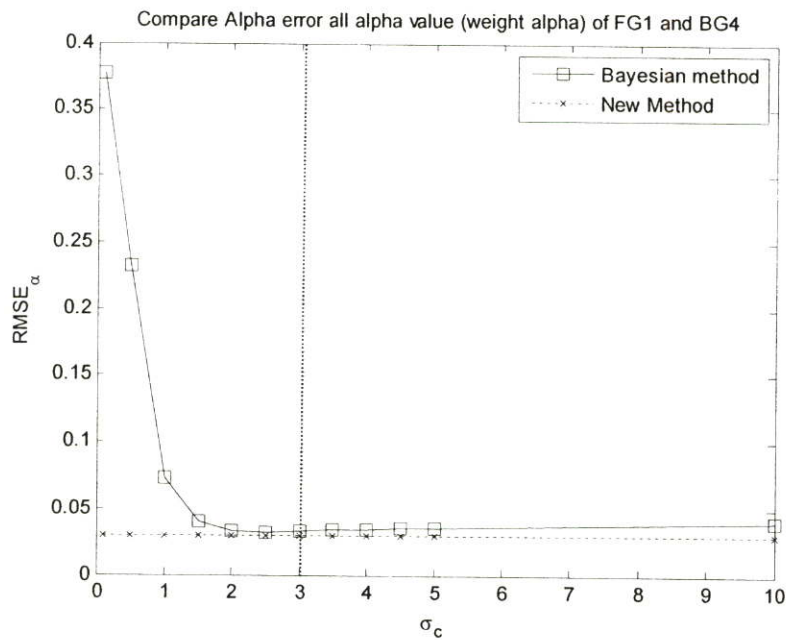


รูปที่ 5.7 กราฟแสดง $RMSE_{\alpha}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 3 ในตารางที่ 4.2

จากกราฟในรูปที่ 5.6 และ 5.7 ได้แสดงค่าของ $RMSE_{wf}$ และ $RMSE_{\alpha}$ จากวิธีการของหุง ที่ค่า $\sigma_c = 4.5$ สังกัดได้ตามแนวเส้นปะเทียบกับผลของวิธีการในงานวิจัยนี้ จะเห็นว่ามีค่ามากกว่า

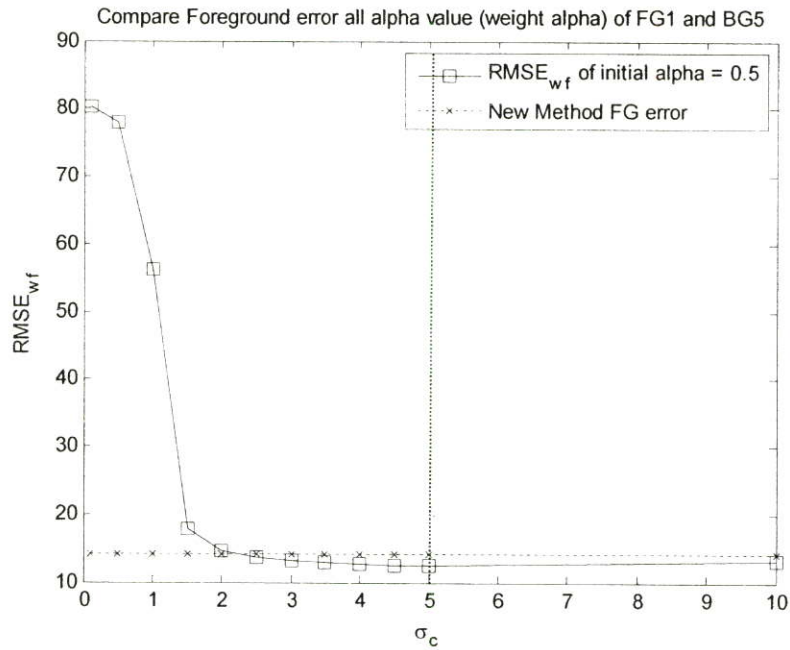


รูปที่ 5.8 กราฟแสดง $RMSE_{wf}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 4 ในตารางที่ 4.2

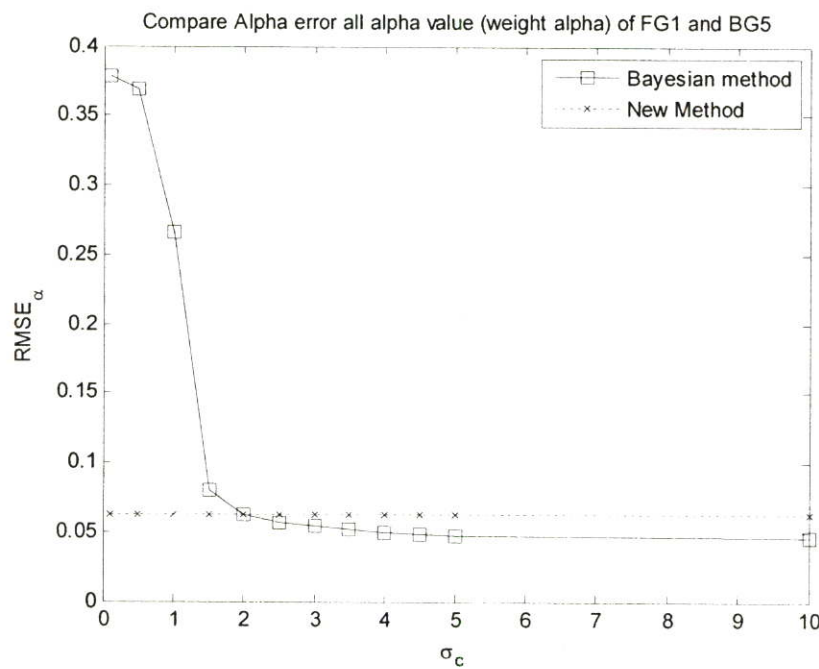


รูปที่ 5.9 กราฟแสดง $RMSE_\alpha$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 4 ในตารางที่ 4.2

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

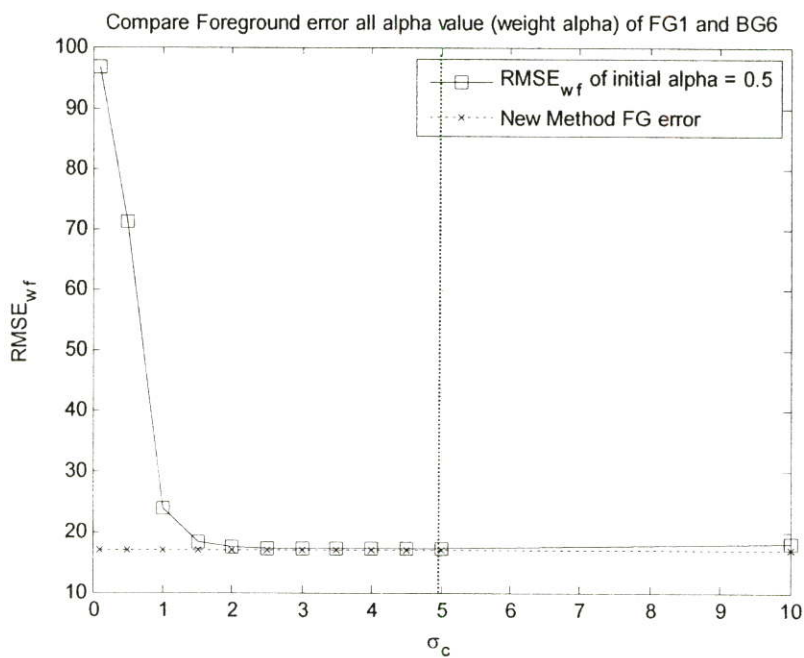


รูปที่ 5.10 กราฟแสดง $RMSE_{wf}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 5 ในตารางที่ 4.2

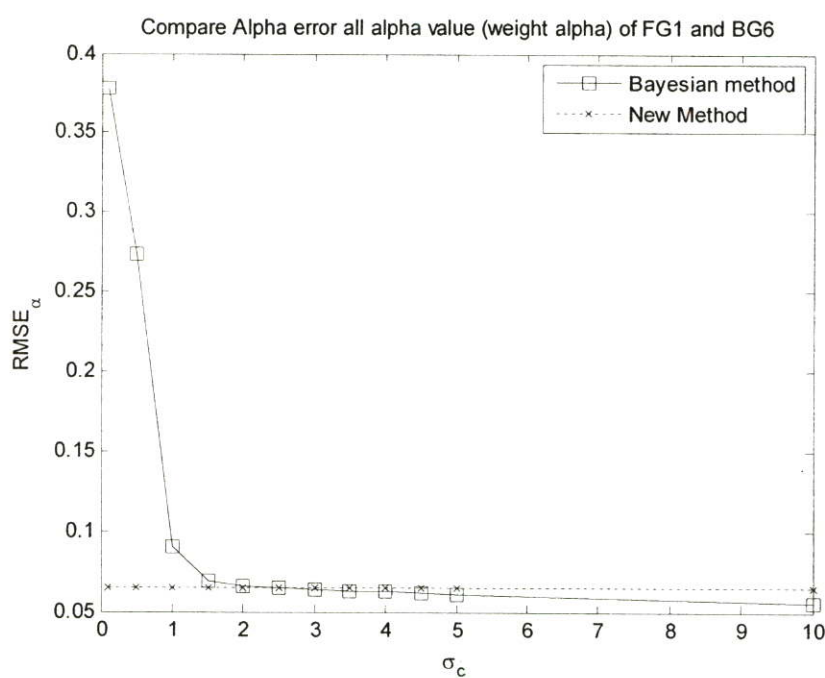


รูปที่ 5.11 กราฟแสดง $RMSE_{\alpha}$ ของทั้ง 2 วิธีจากภาพที่ 5 ในตารางที่ 4.2

จากกราฟในรูปที่ 5.10 และ 5.11 ได้แสดงค่าของ $RMSE_{wf}$ และ $RMSE_{\alpha}$ จากวิธีการของ ชุงที่ค่า $\sigma_c = 5$ สังเกตได้ตามแนวเส้นปะเทียบกับผลของวิธีการในงานวิจัยนี้ จะเห็นว่ามีค่าน้อยกว่า



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 $RMSE_{\alpha}$ จากวิธีการของ ชุงที่ค่า $\sigma_c = 5$ สังเกตได้ตามแนวเส้นปะเทียบกับผลของวิธีการในงานวิจัยนี้ จะเห็นว่ามามีค่าน้อยกว่า หรือใกล้เคียงกัน

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

5.2 การทดลองกับภาพฉากหลังธรรมชาติ

ภาพที่ซ้อนทับกับฉากหลังธรรมชาติตามตารางที่ 4.4.1 4.4.2 4.4.3 และ 4.4.4 จะถูกนำมากำหนดบริเวณส่วนของวัตถุ, ฉากหลังและส่วนที่เกิดการซ้อนทับกัน ดูได้จากตารางที่ 4.5 ตั้งแต่รูปที่ 2 ถึง 5 ตามตัวอย่างโดยบริเวณที่กำหนดจะแสดงเป็นสีขาวดังรูปที่ 5.14 (a) เป็นภาพการกำหนดบริเวณของวัตถุ ส่วนรูปที่ 5.14 (b) เป็นภาพการกำหนดบริเวณของฉากหลัง และรูปที่ 5.14 (c) เป็นภาพการกำหนดบริเวณส่วนที่เกิดการซ้อนทับกัน ส่วนของบริเวณที่เกิดการซ้อนทับกันจะสามารถหาได้โดยการนำภาพการกำหนดบริเวณของฉากหลังกับภาพการกำหนดบริเวณของวัตถุมากระทำทางลอจิกแบบพิกเซลต่อพิกเซล ดังสมการที่ 5.1

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

โดยที่

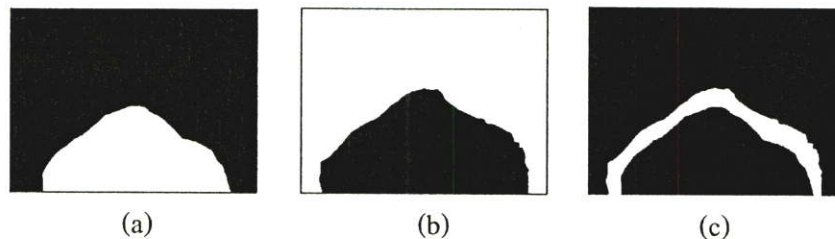
Mask_U คือภาพการกำหนดบริเวณส่วนที่เกิดการซ้อนทับกัน

Mask_F คือภาพการกำหนดบริเวณของวัตถุ

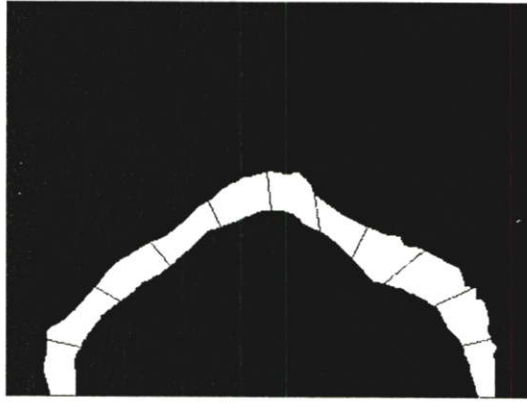
Mask_B คือภาพการกำหนดบริเวณของฉากหลัง

NOT คือการกระทำทางลอจิกแบบน็อท (NOT)

XOR คือการกระทำทางลอจิกแบบเอ็กคลูซีฟอออร์ (Exclusive-OR)

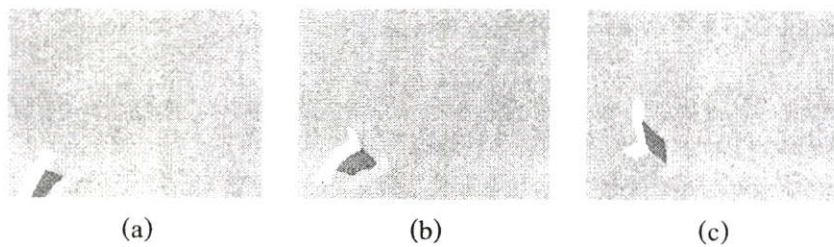


รูปที่ 5.14 (a) – (c) ภาพการกำหนดบริเวณของวัตถุ ฉากหลัง และส่วนที่เกิดการซ้อนทับกัน



รูปที่ 5.15 การแบ่งบริเวณที่เกิดการซ้อนทับกันออกเป็นส่วนๆ

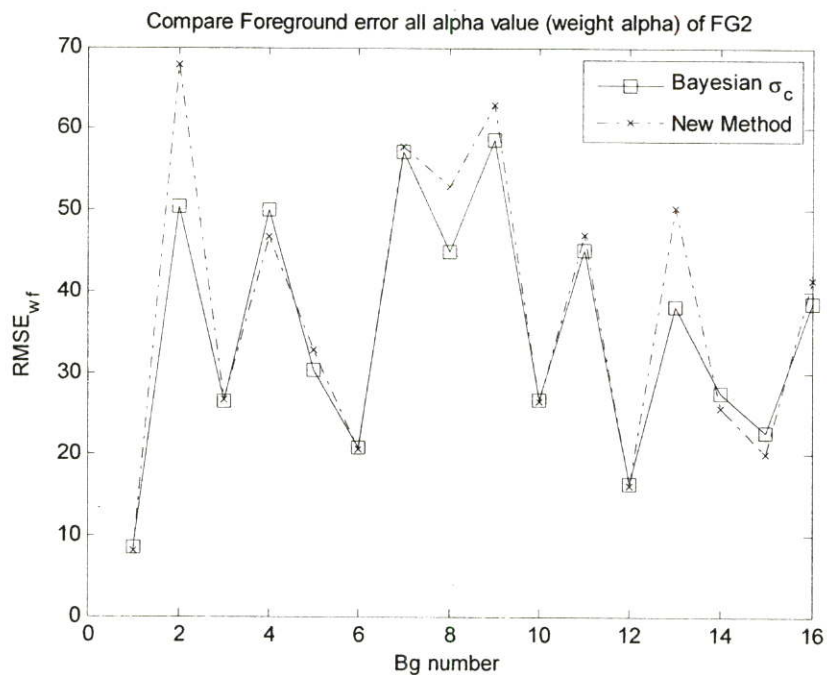
เนื่องจากบริเวณส่วนของภาพที่กำหนดให้เป็นส่วนที่เกิดการซ้อนทับกัน เป็นบริเวณที่อยู่รอบวัตถุ ดังนั้นจึงนำส่วนของฉากหลังและส่วนของวัตถุที่อยู่ใกล้กันกับส่วนที่เกิดการซ้อนทับกันมาใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดการแจกแจงแบบปกติ โดยจะแบ่งบริเวณส่วนที่เกิดการซ้อนทับกันออกเป็นส่วนๆ โดยส่วนที่แบ่งจะถูกกั้นไว้ด้วยเส้นสีแดงดังรูปที่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



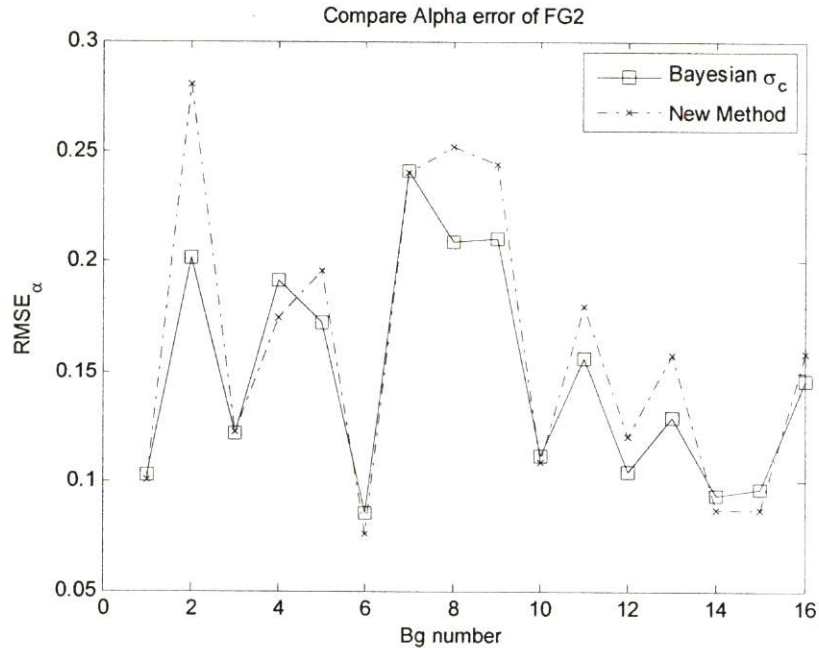
รูปที่ 5.16 การแบ่งบริเวณของวัตถุกับฉากหลังรอบส่วนที่เกิดการซ้อนทับกัน

บริเวณส่วนของวัตถุและฉากหลังที่ถูกแบ่ง จะนำมาใช้ในการสร้างการแจกแจงแบบปกติของวัตถุและฉากหลังตามลำดับ โดยก่อนที่จะหาค่าที่จะใช้ในการแจกแจงแบบปกติของแต่ละบริเวณนั้น จะต้องนำแต่ละส่วนไปทำคลัสเตอร์เพื่อแบ่งกลุ่มสีก่อน การทำคลัสเตอร์ในส่วนของฉากหลังหรือวัตถุที่ได้แบ่งมาแล้ว จะลองกำหนดจำนวนของการแบ่งคลัสเตอร์ ตั้งแต่ 1 ถึง 4 เนื่องจากจำนวนสีของบริเวณที่ถูกแบ่งมีจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับทั้งบริเวณที่ยังไม่ถูกแบ่ง จากนั้นคำนวณหาค่าตามสมการที่ (3.16) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกว่าจะใช้จำนวนคลัสเตอร์กี่กลุ่ม โดยเลือกการแบ่งที่ได้

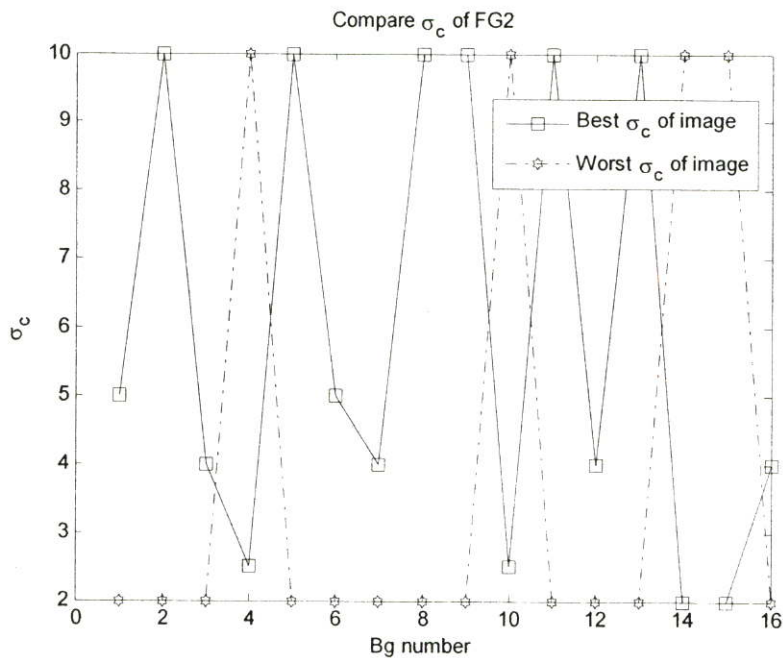
ค่าสูงสุด เมื่อเลือกแบ่งกลุ่มสีตามค่าการแบ่งกลุ่มที่เหมาะสมแล้ว จากนั้นจึงสร้างการแจกแจงแบบปกติตามข้อมูลที่ได้ในแต่ละคลัสเตอร์ สำหรับส่วนที่เกิดการซ้อนทับกันจะนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าของวัตถุและความโปร่งแสงในแต่ละพิกเซลของบริเวณส่วนนี้ ซึ่งขั้นตอนต่อจากนี้จะเหมือนกับการทดลองในหัวข้อ 5.1 ทุกขั้นตอน โดยจะนำผลที่ได้จากวิธีการของซุง [3] ไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้ของงานวิจัยนี้ เนื่องจำนวนของภาพที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนมาก ดังนั้นผลการทดลองที่ได้จากวิธีการของซุง จะเลือกเอาเฉพาะค่า $RMSE_{wf}$ น้อยที่สุดกับมากที่สุดที่พร้อมกับค่า σ_c ที่ใช้ทดลองมาเปรียบเทียบ ผลการทดลองจะมีทั้งหมด 4 ชุด ชุด 3 กราฟกราฟแรกจะเป็นกราฟของ $RMSE_{wf}$ เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ โดยแกนตั้งของกราฟจะเป็นค่าของ $RMSE_{wf}$ ส่วนแกนนอนจะเป็นภาพของฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ ส่วนกราฟที่ 2 จะเป็นกราฟของ $RMSE_{wf}$ โดยแกนตั้งของกราฟจะเป็นค่าของ $RMSE_{wf}$ 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

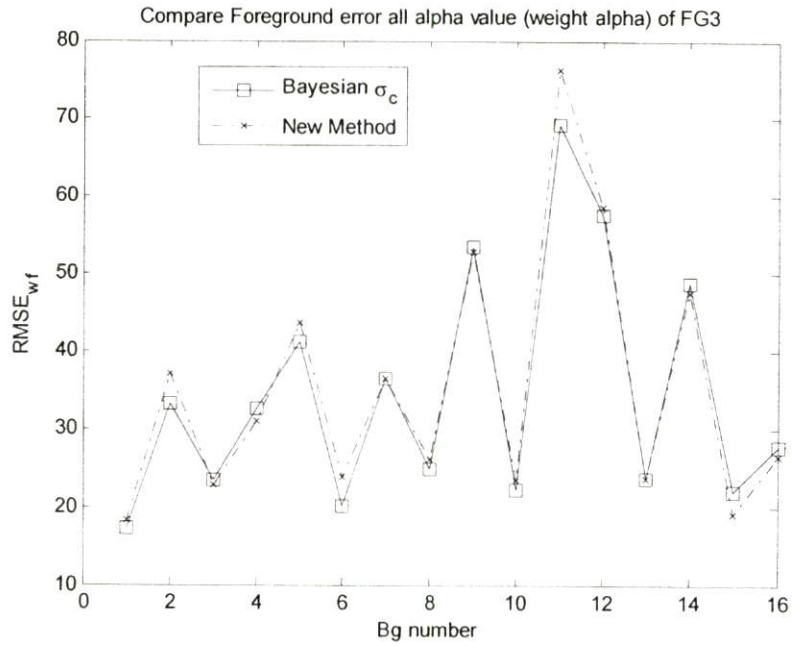


รูปที่ 5.18 กราฟของ $RMSE_\alpha$ ของภาพวัตถุภาพที่ 2 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ

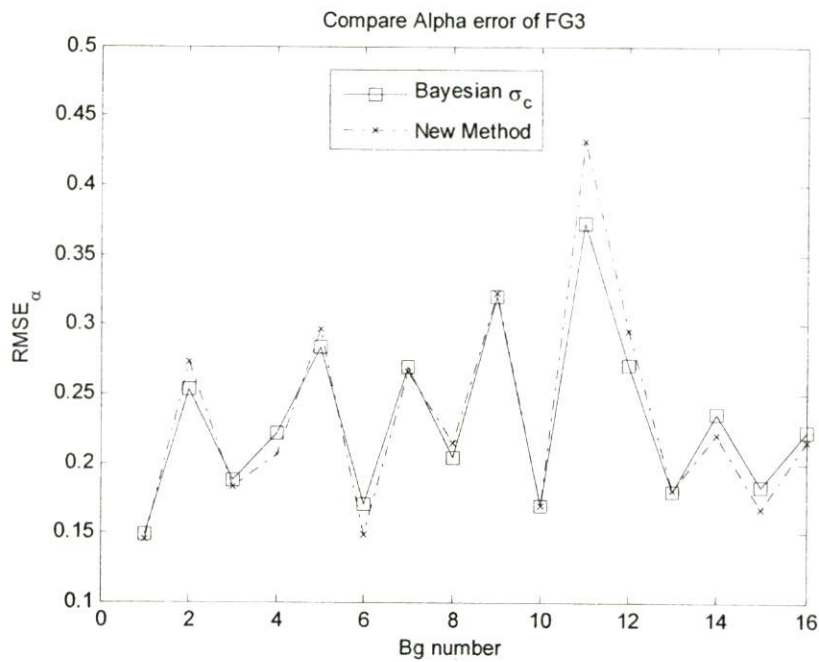


รูปที่ 5.19 กราฟของ σ_c ของภาพวัตถุภาพที่ 2 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ

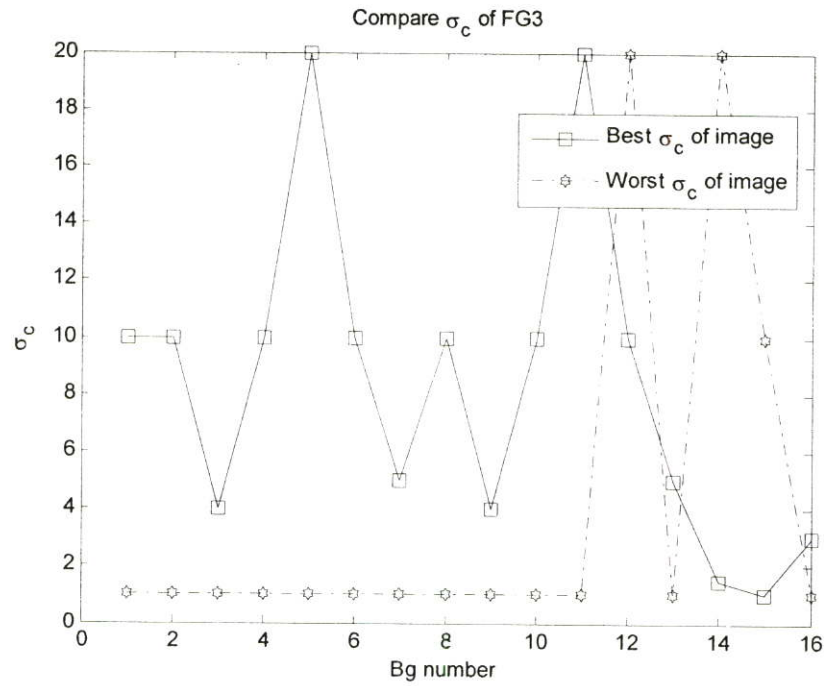
จากกราฟรูปที่ 5.17 แสดงให้เห็นว่าผลของ $RMSE_{wf}$ จากการคำนวณของวิธีการของ ชุงกับของงานวิจัยนี้มีความใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มไปตามทิศทางของค่า $RMSE_\alpha$ ตามกราฟ รูปที่ 5.18 โดยค่าของ σ_c ที่ใช้ในวิธีการของชุงที่ทำให้ $RMSE_{wf}$ มีค่าต่ำสุด (Best σ_c) จะมีค่าอยู่ในช่วง 2 ถึง 10 ดูได้จากกราฟรูปที่ 5.19



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

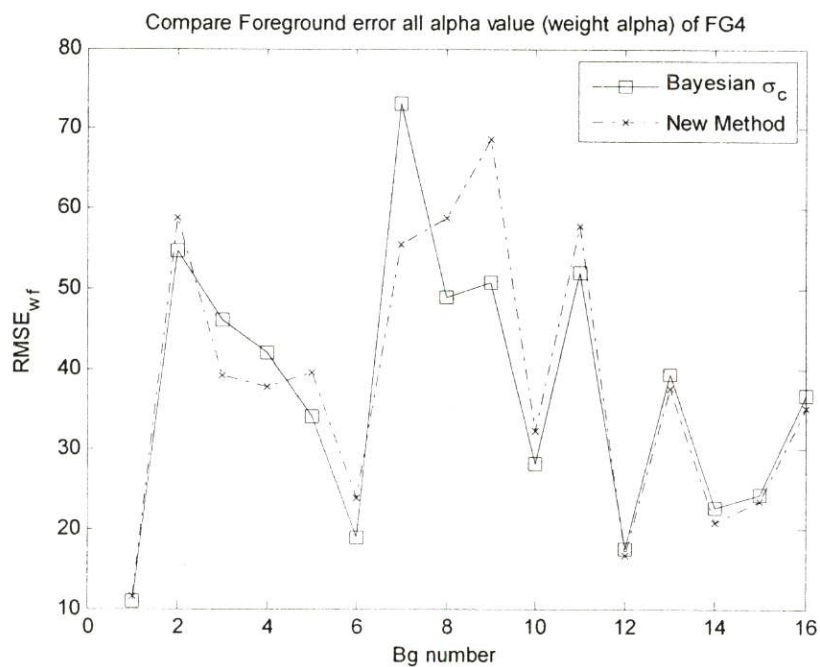


รูปที่ 5.21 กราฟของ $RMSE_{\alpha}$ ของภาพวัตถุภาพที่ 3 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ

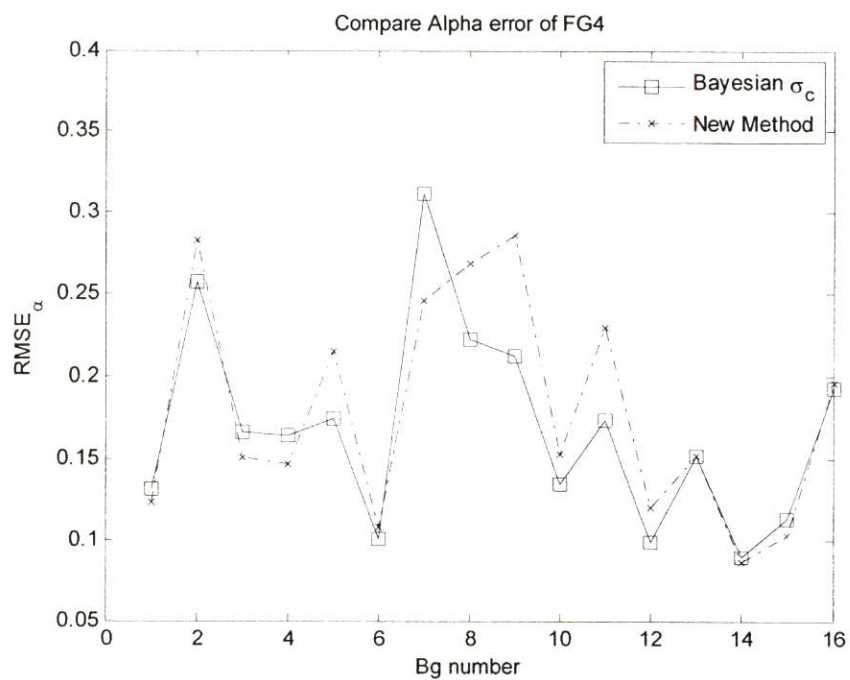


รูปที่ 5.22 กราฟของ σ_c ของภาพวัตถุภาพที่ 3 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ

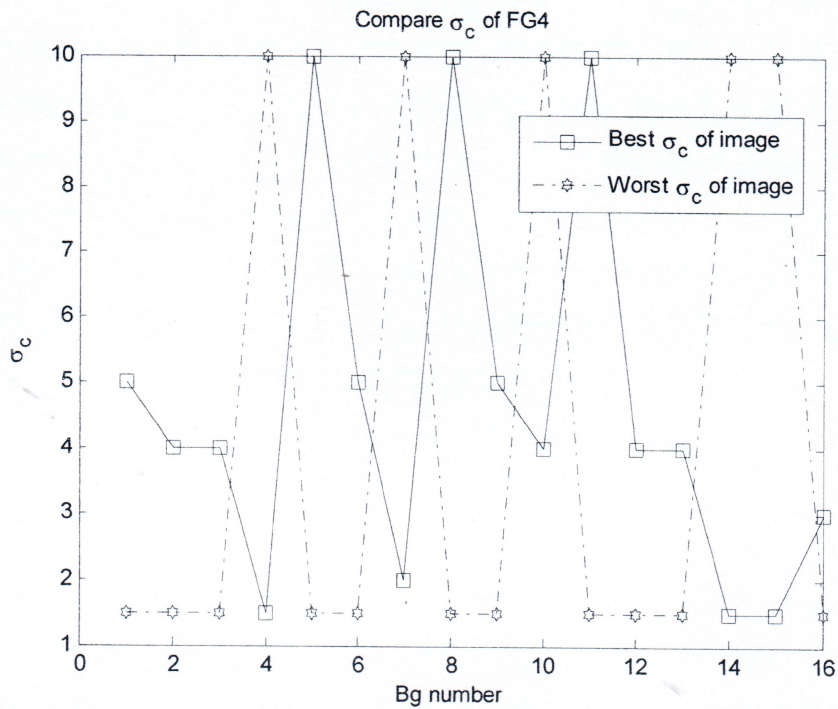
จากกราฟรูปที่ 5.20 แสดงให้เห็นว่าค่าของ $RMSE_{wf}$ จากการคำนวณของวิธีการของ ซุงกับของงานวิจัยนี้มีความใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มไปตามทิศทางของค่า $RMSE_d$ ตามกราฟ รูปที่ 5.21 โดยค่าของ σ_c ที่ใช้ในวิธีการของซุงที่ทำให้ $RMSE_{wf}$ มีค่าต่ำสุด (Best σ_c) จะมีค่าอยู่ในช่วง 1 ถึง 20 ดูได้จากกราฟรูปที่ 5.22



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

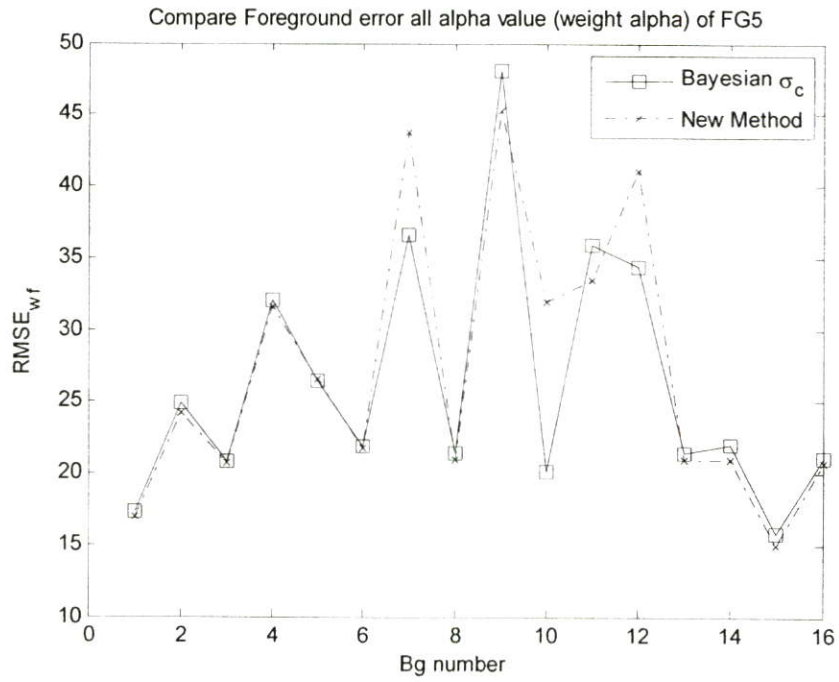


รูปที่ 5.24 กราฟของ $RMSE_\alpha$ ของภาพวัตถุภาพที่ 4 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ

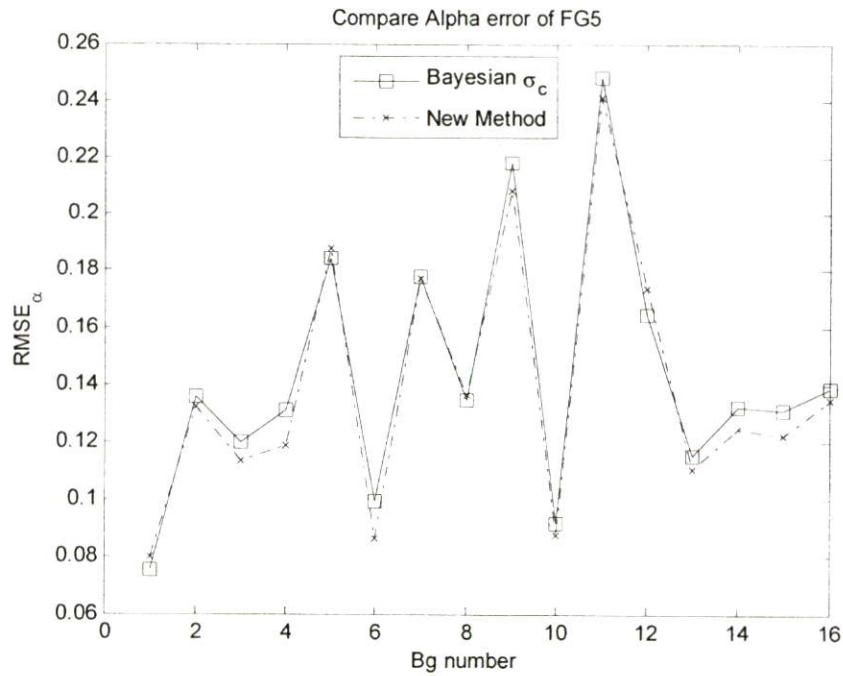


รูปที่ 5.25 กราฟของ σ_c ของภาพวัตถุภาพที่ 4 เทียบกับฉากหลังที่นำมาซ้อนทับ

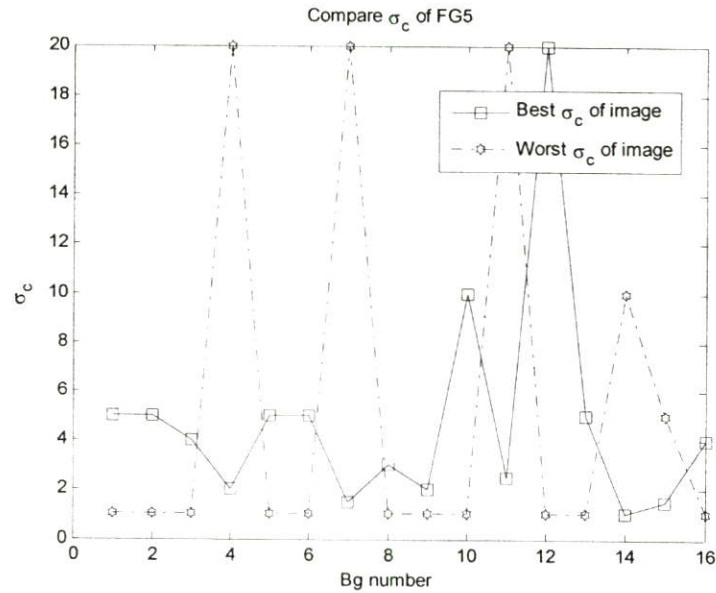
จากกราฟรูปที่ 5.23 แสดงให้เห็นว่าผลของ $RMSE_{wf}$ จากการคำนวณของวิธีการของ ซุงกับของงานวิจัยนี้มีความใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มไปตามทิศทางของค่า $RMSE_{\alpha}$ ตามกราฟ รูปที่ 5.24 โดยค่าของ σ_c ที่ใช้ในวิธีการของซุงที่ทำให้ $RMSE_{wf}$ มีค่าต่ำสุด (Best σ_c) จะมีค่าอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 10 ดูได้จากกราฟรูปที่ 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 $RMSE_{\sigma_c}$ ตามกราฟรูปที่ 5.27 โดยค่าของ σ_c ที่ใช้ในวิธีการของซุงที่ทำให้ $RMSE_{wf}$ มีค่าต่ำสุด (Best σ_c) จะมีค่าอยู่ในช่วง 1 ถึง 20 คูได้จากกราฟรูปที่ 5.28

5.2 การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมกับวิธีการของซุง

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 จากนั้นจึงนำมาหาค่าเฉลี่ยของทุกพิกเซลที่ถูกนำมาใช้ในการคำนวณ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกัน วิธีการใดที่มีค่าเฉลี่ยของจำนวนรอบของการคำนวณน้อยกว่าแสดงว่าเป็นวิธีการที่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยที่สุด โดยได้ทำการทดลองกับภาพในตารางที่ 4.2 ทั้ง 6 รูปแล้วหาค่าเฉลี่ยกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนรอบของการคำนวณที่เกิดการลู่เข้าในทุกๆพิกเซลที่นำมาใช้ในการคำนวณได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.1 ส่วนตารางที่ 5.2 ได้แสดงจำนวนของพิกเซลที่นำมาคำนวณแล้วเกิดการลู่เข้าแล้วไม่ลู่เข้า

ตารางที่ 5.1 ค่าเฉลี่ยกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนรอบของการคำนวณที่เกิดการลู่เข้า

ภาพฉากหลังที่สร้างขึ้นแล้วซ้อนทับกับภาพวัตถุรูปที่ 1	วิธีการของงานวิจัยนี้		วิธีการของซุง	
	ค่าเฉลี่ยของจำนวนรอบของการคำนวณที่เกิดการลู่เข้า	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนรอบของการคำนวณที่เกิดการลู่เข้า	ค่าเฉลี่ยของจำนวนรอบของการคำนวณที่เกิดการลู่เข้า	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนรอบของการคำนวณที่เกิดการลู่เข้า
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

ภาพฉากหลังที่ สร้างขึ้นแล้ว ซ้อนทับกับ ภาพวัตถุรูปที่ 1	วิธีการของงานวิจัยนี้		วิธีการของซุง	
	จำนวนพิกเซลที่ เกิดการลู่เข้า (%)	จำนวนพิกเซลที่ ไม่เกิดการลู่เข้า (%)	จำนวนพิกเซล ที่เกิดการลู่เข้า (%)	จำนวนพิกเซลที่ ไม่เกิดการลู่เข้า (%)
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 วิธีการของงานวิจัยนี้มีค่าเฉลี่ยของจำนวนรอบของการลู่เข้าที่น้อยกว่าวิธีการของซุงและมีความซับซ้อนของอัลกอริทึมเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนของ Operation Count ดังนั้นวิธีการของงานวิจัยนี้จึงใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าทุกภาพที่นำมาทดลองเมื่อเทียบกับวิธีการของซุง ถึงแม้ว่าเมื่อพิจารณาที่ตารางที่ 5.2 เปอร์เซ็นของจำนวนของพิกเซลที่นำมาคำนวณของงานวิจัยนี้แล้วไม่เกิดการลู่เข้าจะมีค่าสูงกว่าเปอร์เซ็นของจำนวนของพิกเซลที่นำมาคำนวณแล้วไม่เกิดการลู่เข้าตามวิธีการของซุงก็ตาม เพราะว่าเมื่อดูค่าของ $RMSE_{wf}$ จากกราฟรูปที่ 5.2 ค่าที่ได้ของทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกันซึ่งจำนวนของพิกเซลที่ไม่เกิดการลู่เข้าไม่ได้มีผลทำให้ค่าของ $RMSE_{wf}$ ของงานวิจัยนี้มีค่ามากกว่าวิธีการของซุง

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัยและปัญหาที่พบ

จากผลการทดลองในบทที่ 5 ในส่วนแรกจะเป็นการทดลองกับภาพของวัตถุที่หาค่าสี และค่าความโปร่งแสงจากวิธีการของบลูสกรีนที่ซ้อนทับกับภาพของฉากหลังที่สร้างขึ้น เพื่อหาค่าของ $RMSE_{wf}$ และ $RMSE_{\sigma}$ ของวิธีการของซุงและวิธีการของงานวิจัยนี้ เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะมีค่าของ $RMSE_{wf}$ และ $RMSE_{\sigma}$ ที่น้อยกว่าหรือใกล้เคียงกับวิธีการของซุงและส่วนการทดลองกับภาพของวัตถุที่หาค่าสีของวัตถุและค่าความโปร่งแสงที่ซ้อนทับกับภาพของฉากหลังแบบธรรมชาตินั้น จะให้ผลที่ใกล้เคียงกับวิธีการของซุง ซึ่งในทางปฏิบัติวิธีการของงานวิจัยนี้จะมีข้อดีกว่าวิธีการของซุงตรงที่ไม่ต้องเลือกค่า σ_c โดยทั้ง 2 วิธีได้ผลที่ใกล้เคียงกันและข้อดีของงานวิจัยนี้ก็คือวิธีการที่เสนอจะใช้เวลาในการคำนวณที่น้อยกว่าวิธีการของซุงเพราะมีค่าเฉลี่ยของจำนวนรอบของการคำนวณที่เกิดการลู่เข้าและมีความซับซ้อนของอัลกอริทึมที่วัดจาก Operation Count น้อยกว่าวิธีการของซุง

จากการทดลองสรุปปัญหาที่พบได้ดังต่อไปนี้

- จากการทดลองในส่วนของภาพที่ซ้อนทับกับฉากหลังแบบธรรมชาติ ได้ค่าของ $RMSE_{wf}$ ที่สูงกว่าการทดลองกับภาพที่ซ้อนทับกับฉากหลังที่สร้างขึ้น เนื่องจากฉากหลังแบบธรรมชาติหลายๆแบบมีบางบริเวณในภาพที่มีค่าสีที่ใกล้เคียงกับค่าสีของวัตถุ ซึ่งทำให้การคำนวณตามวิธีการของซุงกับของงานวิจัยนี้ได้ผลที่ไม่ถูกต้องด้วย
- ความกว้างของส่วนที่เกิดการซ้อนทับกันถ้ามีค่ามากจะทำให้ความผิดพลาดของการคำนวณและเวลาในการคำนวณมีค่ามากตามไปด้วยเมื่อถูกนำไปใช้กับการคำนวณกับฉากหลังแบบธรรมชาติ

6.2 ข้อเสนอแนะ

จากปัญหาที่พบในงานวิจัย มีข้อเสนอแนะในการปรับปรุงคุณภาพของภาพที่ได้ดังนี้

- ส่วนของการกำหนดบริเวณที่เกิดการซ้อนทับกันให้พยายามกำหนดบริเวณให้มีความกว้างน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อลดความผิดพลาดในการคำนวณและเวลาในการคำนวณ
- ส่วนของการทำคลัสเตอร์ตรงบริเวณส่วนย่อยของภาพวัตถุกับฉากหลังนั้น ในงานวิจัยนี้ยังใช้วิธีการของ k-mean มาใช้ในการแบ่งกลุ่มสีซึ่งอาจได้การแจกแจงแบบปกติของกลุ่ม

สีที่ไม่ถูกต้อง ดังนั้นอาจสามารถนำเอาวิธีการทำคลัสเตอร์ที่มีความถูกต้องมากกว่าเช่นวิธีการ 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.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

บทความและผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

1. Chaipichit Cumpim, Nopporn Chotikakamthorn. "Performance of Bayesian-based Digital Matting Techniques" 9th International Symposium on Signal Processing and its Applications (ISSPA 2007), Sharjah, United Arab Emirates, February 12-15, 2007






ISSPA 2007

International Symposium on Signal Processing and its Applications

*in conjunction with the International Conference on
Information Sciences, Signal Processing and their Applications*

12 – 15 February 2007, Millennium Hotel, Sharjah, U.A.E.

ISSPA General Chair & Steering Committee Chair
B. Boashash
University of Sharjah, UAE
The University of Queensland, Australia

Conference Chair
M. Bettayeb
University of Sharjah, UAE

Conference Vice-Chair
S. Al-Araji
Ezraat University College, UAE

Technical Program Co-Chairs
K. Assaleh
American University of Sharjah, UAE
M. IbnKhalil
Queen's University, Canada
I. Tabus
Tampere University of Technology, Finland

Plenary Sessions
S. Mitra
University of California, Santa Barbara, USA

Special Sessions
M. Cheriet, Chair
University of Quebec, Canada
M. Barkat, Co-Chair
American University of Sharjah, UAE
L. Karam, Co-Chair
Arizona State University, USA

Tutorials
M. El-Tarhuni
American University of Sharjah, UAE

Industry Liaison
H. Al-Ahmad
Ezraat University College, UAE

Publications
M. Al-Qutayri
Ezraat University College, UAE

Publicity
M. Al-Nualla
Ezraat University College, UAE

Sponsorship & Exhibits
K. Al-Midfa
Ezraat University College, UAE

Student Sessions
A. Elwakil
University of Sharjah, UAE

Finance & Registration
C. B. Yahya and A. Darwish
University of Sharjah, UAE

Local Arrangements
I. Kamel
University of Sharjah, UAE

Social Events
I. Shabih
University of Sharjah, UAE
H. A. Al-Hammady
Ezraat University College, UAE

Web and IT
B. Soudan
University of Sharjah, UAE

International Liaisons
S. Anderson, Australia
DGO, Australia
S. Furu, Asia and Pacific
Toyo Institute of Technology, Japan
M. Gabbouj, Europe
Tampere University of Technology, Finland
M. Jaidane, Africa
ENIT, Tunisia
Y. Zhang, America
Vilanova University, USA

Final Call For Papers

ISSPA 2007 marks the 20th anniversary of launching the first ISSPA in 1987 in Brisbane, Australia. Since its inception, ISSPA has provided, through a series of 5 symposia, a high quality forum for engineers and scientists engaged in research and development of Signal and Image Processing theory and applications. Effective 2007, ISSPA will extend its scope to add the new track of information sciences. Hence, the intention that the previous full name of ISSPA is replaced after 2007 by the following new full name:
International Conference on Information Sciences, Signal Processing and their Applications. ISSPA is an IEEE indexed conference.

ISSPA 2007 will be organized by three prominent institutions located in Sharjah in the United Arab Emirates: University of Sharjah, American University of Sharjah, and Ezraat University College.

The regular technical program will run for three days along with an exhibition of signal processing and information sciences products. In addition, tutorial sessions will be held on the first day of the symposium. Papers are invited in, but not limited to, the following topics:

1. Filter Design Theory and Methods	11. Multimedia Signal Processing	21. Signal Processing for Bioinformatics
2. Multirate Filtering & Wavelets	12. Nonlinear signal processing	22. Signal Processing for Geoinformatics
3. Adaptive Signal Processing	13. Biomedical Signal and Image Processing	23. Biometric Systems and Security
4. Time-Frequency/Time-Scale Analysis	14. Image and Video Processing	24. Machine Vision
5. Statistical Signal & Array Processing	15. Image Segmentation and Scene Analysis	25. Data visualization
6. Radar & Sonar Processing	16. VLSI for Signal and Image Processing	26. Data mining
7. Speech Processing & Recognition	17. Cryptology, Steganography, and Digital Watermarking	27. Sensor Networks and Sensor Fusion
8. Fractals and Chaos Signal Processing	18. Image indexing & retrieval	28. Signal Processing and Information Sciences Education
9. Signal Processing in Communications	19. Soft Computing & Pattern Recognition	29. Others
10. Signal processing in Networking	20. Natural Language Processing	30. Special Sessions

Prospective authors are invited to submit full length (four pages) papers via the conference website for presentation in any of the areas listed above (indicate area in your submission). Submission of proposals for student session, tutorials and sessions on special topics should be sent to the conference secretary. All articles submitted to ISSPA 2007 will be peer-reviewed using a blind review process.

For more details see
www.isspa2007.org/

Important Deadlines:

Full Paper Submission:
October 14, 2006



Tutorials/Special Sessions Submission:
October 14, 2006

Notification of Acceptance:
December 3, 2006

Final Accepted Paper Submission:
December 19, 2006

Conference Secretary

A-K. Hamid
University of Sharjah, UAE
Tel : +971 6 5050932
Fax : +971 6 5050872
E-mail: akhamid@sharjah.ac.ae

PERFORMANCE OF BAYESIAN-BASED DIGITAL MATTING TECHNIQUES

Chaipichit Cumpim and Nopporn Chotikakamthorn

Faculty of Information Technology & Research Center of Communications and Information Technology
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
s5061519@kmitl.ac.th

ABSTRACT

Statistical-based digital matting of natural background is considered in this paper. Performance of the original Bayesian-based matting method has been studied. It is shown that the performance depends on the algorithm initial condition as well as a noise variance parameter. Two initialization methods have been considered. The first one obtains initial value from Ruzon's maximum likelihood method, while the second one employs the centers of foreground and background color clusters as the initial value. Both methods were found to offer improved performance. In addition, optimum choice of the noise variance was found to vary from one image to another. An alternative formulation of a Bayesian-based digital matting technique which does not contain the noise variance parameter is described. It was found to yield results comparable to the original method for most of the test cases.

1. INTRODUCTION

Digital matting is a technique to extract foreground objects from the image of mixed foreground-background objects. The problem can be described by referring to the following basic composition equation:

$$u_C = \alpha u_F + (1 - \alpha)u_B \quad (1)$$

where u_C , u_F and u_B refer to the composite, foreground, and background images respectively. From the above equation, the composite image is obtained as a combination of the foreground and background images, weighted by a blending factor α , known also as the alpha value. The value of α ranges from 0 to 1. With known foreground and background, the blending factor can be easily calculated. This requirement is practically achieved by using a background of known color, which is also quite different from foreground color. For example, a so-called blue screen technique uses a blue-color background and avoids the foreground with blue color, to meet such requirement. For a picture taken outdoor, however, such studio-setting solution can not be applied.

Recently, methods have been developed to perform digital matting with arbitrary natural background. These include methods such as Knockout [1], Ruzon and Tomasi [2], Bayesian Matting [3], Hillman [4], Poisson matting [5] and Shengyou [6]. These methods require that the trimap (see Figure 1), which is a segmentation information used to separate an image into foreground, background, and boundary regions, is given (e.g., by a user), before certain statistical methods can be applied to estimate α , u_F , and perhaps u_B also.

While the maximum likelihood method in [2] is optimal for estimating α , its estimation of u_F is suboptimal. The problem is addressed in [3], where a Bayesian framework is applied to give a joint alpha and foreground-background estimator. Although this Bayesian-based method provides an optimal solution to the estimation of α and u_F , it depends on a user-supplied color noise variance parameter. In addition, as later shown, the performance of the iterative version of the method depends greatly on the choice of this parameter, as well as on how good the initialization is.

In this paper, the performance of the method in [3] is studied. It is shown that the method can perform badly if the noise variance parameter is not carefully chosen. In addition, the optimal noise variance parameter is shown to be image dependent. Improvement to the method is suggested. Two initialization methods are considered, and then shown to offer performance improvement. In addition, an alternative formulation of the original Bayesian-based method, which does not depend on this user-supplied noise variance parameter, is described.

This paper is organized as follows: In Part 2, the original Bayesian-based digital matting method [3] is reviewed. Next, performance study of the method is described. In Part 4, two initialization methods are proposed. Also, an alternative formulation of the Bayesian-based method is detailed. Conclusion is provided in Part 5.



Figure 1. Trimap is used to segment the image into three different regions.

2. REVIEW OF THE BAYESIAN-BASED DIGITAL MATTING TECHNIQUE

The Bayesian matting method [3] performs the estimation of all three unknown parameters in Eq. (1) iteratively. First, given the initial guess on the alpha value, the estimates of the foreground and background colors are obtained by solving the following linear equation.

$$\begin{bmatrix} \Sigma_F^{-1} + I_3 \alpha^2 / \sigma_c^2 & I_3 \alpha(1-\alpha) / \sigma_c^2 \\ I_3 \alpha(1-\alpha) / \sigma_c^2 & \Sigma_B^{-1} + I_3 (1-\alpha)^2 / \sigma_c^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{u}_F \\ \mathbf{u}_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma_F^{-1} \mu_F + \{\alpha / \sigma_c^2\} \mathbf{u}_C \\ \Sigma_B^{-1} \mu_B + \{(1-\alpha) / \sigma_c^2\} \mathbf{u}_C \end{bmatrix} \quad (2)$$

where \mathbf{u}_F , \mathbf{u}_B , and \mathbf{u}_C are 3×1 vectors of the foreground, background, and boundary-pixel colors, respectively. Here, I_3 refers to the 3×3 identity matrix.

In addition, Σ_F and Σ_B are the covariance matrices of the foreground and background color distributions, respectively. From the same equation, μ_F is the foreground color mean, μ_B is the background color mean. The term σ_c^2 is the noise variance. In [3], this is the variance parameter of a camera noise. However, we note that even if the camera used to take a picture is noise-free, this term must still be included in the equation so that the iteration can be progressed.

Based on the so-obtained estimates of \mathbf{u}_F and \mathbf{u}_B , a new estimate of α is obtained from

$$\alpha = \{(\mu_F - \mu_B)^T (\mathbf{u}_C - \mu_B)\} / \|\mu_F - \mu_B\|^2 \quad (3)$$

The method then iterates between the above two equations, to get the better estimates of these three unknown parameters.

3. PERFORMANCE STUDY

To study the performance of the method, let's define RMSE by

$$\text{RMSE}_{\text{wf}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{h=1}^n (\hat{\mathbf{u}}_{F,h} \hat{\alpha}_h - \tilde{\mathbf{u}}_{F,h} \tilde{\alpha}_h)^2} \quad (4)$$

Here, RMSE_{wf} is the root mean square error of the estimate of a weighted foreground color. The true and estimated weighted foreground colors, as denoted by $\tilde{\mathbf{u}}_{F,h} \tilde{\alpha}_h$ and $\hat{\mathbf{u}}_{F,h} \hat{\alpha}_h$ respectively, are obtained by multiplying the true (estimated) foreground color with the true (estimated) alpha value at each pixel h . The average is performed over n pixels located in the boundary region. Some of the test images used in the experiments are shown in Figure 2. Note all method use one cluster for foreground and background.

Performance of the method was studied to investigate the effect of the initial alpha value and the choice of the camera noise σ_c^2 . The results are described next.

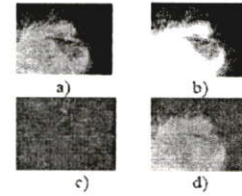


Figure 2. a) foreground image, b) alpha channel, c) background image, d) the blended image.

3.1. Effect of the camera noise variance (σ_c^2)

First, the effect of the camera noise variance to the performance of the Bayesian-based method described in the previous section is considered. Experiment was carried out using the initial alpha value of 0.5. The noise parameter (standard deviation, σ_c) was varied from 0.5 to 10. The experiment was repeated using three different backgrounds. The resulting RMSE_{wf} plotted against the noise parameter, is shown in Figure 3.

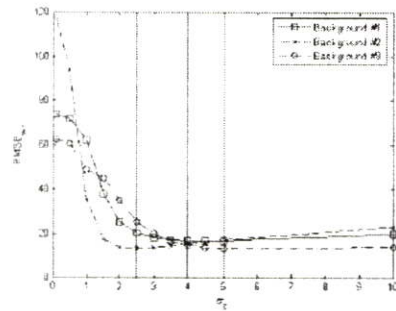


Figure 3. The weighted foreground estimation error at different values of the noise parameter, for three different background

From the figure, notice dependence of the performance for all images on the choice of σ_c^2 . In addition, it should be noted also that the best value of σ_c^2 , i.e. the one that yields the lowest RMSE_{wf} , differs from one background to another.

3.2. Effect of the initial alpha value (α)

The sensitivity of the method to the initial alpha value is next considered. The Bayesian matting method was performed for three different initial alpha values. Each of them differed from the true alpha value by 0.05 and 0.5. The results are shown in Figures 4. From the figure, it is seen that the optimum choice of the noise parameter depends on how close the initial alpha value is to the actual value.

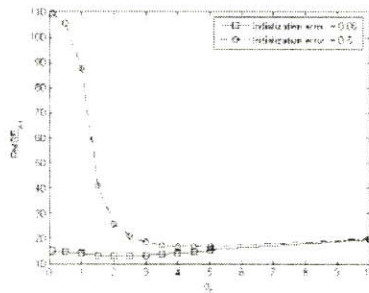


Figure 4. $RMSE_{wf}$ at two different initialization error values

4. PERFORMANCE IMPROVEMENT

This section will describe methods to improve the performance of the Bayesian matting technique.

4.1. Initialization methods

Two methods that provide the initial alpha value are considered. First, the maximum likelihood method [2] for estimating the alpha value is considered. In [2], one dimensional search is performed to estimate the alpha value. Here, to reduce computational requirement, the coarse search with a step of 0.1 is performed instead of a fine search as suggested in [2]. The second method for providing a better initial alpha value is the use of the foreground and background means, μ_F and μ_B , to compute α . Here, we suggest that the initial value of α should be obtained from the following equation Eq. (3).

Experiment was performed using three different initialization methods. The first method uses the initial alpha value of 0.5. The second method uses the estimate of α as obtained from the maximum likelihood method. The third method obtains the initial value from Eq. (3). The result is shown in Figure 5. From the figure, the methods initialized by Eq. (3) and the maximum likelihood estimate slightly improved the performance. Note, however, that the method initialized by Eq. (3) was found to exhibit relatively insensitivity to the choice of

σ_c , as compared with the case where α was first initialized to 0.5.

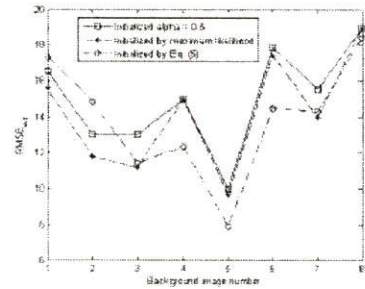


Figure 5. Weighted foreground errors using three initialization methods, with different background images

4.2. A noise-free formulation of the Bayesian matting method

In the original Bayesian method, σ_c needs to be supplied. To avoid the need to choose an appropriate value of the noise parameter, here a noise-free formulation of the Bayesian method is described for the single cluster case. Extension to the multiple cluster case is straightforward. The method is based on a Bayesian-based maximum a posteriori (MAP) estimator. The MAP estimator for $\hat{\Psi} \Delta[\alpha \quad \mathbf{u}_F]^T$ is estimated from

$$\hat{\Psi} = \arg \max_{\Psi \in \mathcal{N}_\Psi} p_t \quad (5)$$

$$p_t = p_B \left(\frac{\mathbf{u}_C - \mu_F}{1 - \alpha} \right) p_F(\mu_F) p_\alpha(\alpha) \quad (6)$$

where \mathcal{N}_Ψ is a set of all feasible solutions. p_B is a Gaussian distribution function of background. p_F is a Gaussian distribution function of foreground. p_α is assumed to be uniformly distributed and can be omitted. An iterative algorithm to solve Eq. (5) is explained below.

- 1) An initial value $\hat{\alpha}_0$ is first obtained by Eq. (3).
- 2) Given $\hat{\alpha}_j$, where j is the iteration number (≥ 1), the

estimate of \mathbf{u}_F is given by

$$\hat{\mathbf{u}}_{F,j} = \mathbf{E}_{\mathcal{S}_j}^{-1} \left\{ \Sigma_F^{-1} \mu_F + \frac{\hat{\alpha}_j}{(1 - \hat{\alpha}_j)} \mathbf{D}_{e_1} \right\} \quad (7)$$

$$\mathbf{D}_{e_1} = \Sigma_B^{-1} \left\{ \frac{1}{(1 - \hat{\alpha}_j)} \mathbf{u}_C - \mu_B \right\} \quad (8)$$

$$E \hat{\alpha}_j = \Sigma_F^{-1} + \frac{\hat{\alpha}_j^2}{(1 - \hat{\alpha}_j)^2} \Sigma_B^{-1} \quad (9)$$

In addition, the estimate of the background color can be obtained from

$$\hat{\mathbf{u}}_{B,j} = \frac{1}{(1 - \hat{\alpha}_j)} (\mathbf{u}_C - \hat{\alpha}_j \hat{\mathbf{u}}_{F,j}) \quad (10)$$

3) From the estimate $\hat{\mathbf{u}}_{F,j}$, compute the direction vector

$$\mathbf{v}_j = (\mathbf{u}_C - \hat{\mathbf{u}}_{F,j}) / \|\mathbf{u}_C - \hat{\mathbf{u}}_{F,j}\| \quad (11)$$

Then, given $\hat{\mathbf{u}}_{B,j}$, a new estimate of α is obtained from

$$\hat{\alpha}_{j+1} = (\mathbf{q}_{j+1}^T \mathbf{r}_{j+1}) / \|\mathbf{q}_{j+1}\|^2 \quad (12)$$

$$\mathbf{q}_{j+1} = \hat{\mathbf{u}}_{F,j} - \hat{\mathbf{u}}_{B,j} + (\beta_{j+1} - \delta_{j+1}) \mathbf{v}_j \quad (13)$$

$$\mathbf{r}_{j+1} = \hat{\mathbf{u}}_C - \hat{\mathbf{u}}_{B,j} - \delta_{j+1} \mathbf{v}_j \quad (14)$$

$$\beta_{j+1} = \arg \max_{\beta} p_F(\hat{\mathbf{u}}_{F,j} + \beta \mathbf{v}_j) \quad (15)$$

$$\delta_{j+1} = \arg \max_{\delta} p_F(\hat{\mathbf{u}}_{B,j} + \delta \mathbf{v}_j) \quad (16)$$

Step 2 is then repeated with $j = j + 1$ to get the new estimates of foreground and background colors. That completes one iteration of the algorithm. The next iteration is performed by repeating Step 3 and Step 2 until these estimate values are converge. All of estimates are converged, then loop of iteration are stopped. For the case where a Gaussian mixture model is applied to model foreground and background distributions, the final estimates of α and \mathbf{u}_F are obtained by repeating the above algorithm for each mixture pair and, from all candidate solutions, choose the one which maximizes the following log likelihood function

$$L(p_B^* \left(\frac{\mathbf{u}_C - \alpha \mathbf{u}_{F,j}}{1 - \alpha} \right)) p_F^*(\mathbf{u}_{F,j}) = L(\mathbf{u}_{F,j}) + L(\mathbf{u}_{B,j}) \quad (17)$$

where the simplified log-likelihood functions of the foreground and background colors are defined as

$$L(\mathbf{u}_{F,j}) = -(\mathbf{u}_{F,j} - \boldsymbol{\mu}_F) \Sigma_F^{-1} (\mathbf{u}_{F,j} - \boldsymbol{\mu}_F) / 2 \quad (18)$$

$$L(\mathbf{u}_{B,j}) = -(\mathbf{u}_{B,j} - \boldsymbol{\mu}_B) \Sigma_B^{-1} (\mathbf{u}_{B,j} - \boldsymbol{\mu}_B) / 2 \quad (19)$$

Experiment was performed to compare the original Bayesian method with this alternative formulation. The foreground image of Figure 2.a) was blended with 5 different background images. The resulting blended images were used for the estimation of α and \mathbf{u}_F . The resulting averaged error is shown in Figure 6. From the

figure, at low error level, performance of the new formulation is comparable to the best result (using optimal noise variance) of the original method. At comparatively high error level, however, the proposed method yielded poorer performance.

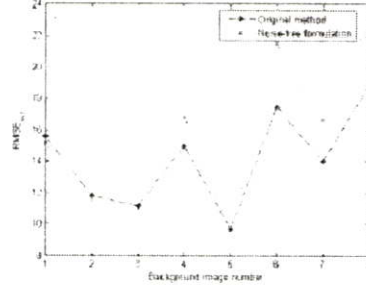


Figure 6. Performance of the original Bayesian matting technique using initialized by maximum likelihood, and the noise-free matting method.

5. CONCLUSIONS

In this paper, performance of the Bayesian-based digital matting technique has been studied. It has been shown that its performance depends on the choice of the initial alpha value, as well as the noise variance parameter. Two initialization methods have been described. In addition, a noise-free formulation of the Bayesian method has been provided. The new formulation offers performance comparable to the original method using the optimal noise variance parameter.

REFERENCES

- [1] G. A. Berman, P. Vlahos, and A. Dadourian, "Comprehensive method for removing from an image the background surrounding a selected object." U.S. Patent 6,134,345, 2000.
- [2] M. Ruzon and C. Tomasi, "Alpha estimation in natural images," *In Proceedings of CVPR 2000*, pages 18-25, Jun. 2000.
- [3] Y. Y. Chuang, B. Curless, D. Salesin and R. Szeliski, "A Bayesian approach to digital matting," *In Proceedings of CVPR 2001*, pages 264-271, Dec. 2001.
- [4] P. Hillman, J. Hamah, and D. Renshaw, "Alpha channel estimation in high resolution images and image sequences," *In Proceedings of IEEE CVPR 2001*, pages 1063-1068, Dec. 2001.
- [5] J. Sun, J. Jia, C.-K. Tang, and H.-Y. Shum, "Poisson matting," *In Proceedings of ACM SIGGRAPH 2004*, vol. 23, no. 3, ACM, pp. 315-321, 2004.
- [6] Shengyou Lin, and Jiaoying Shi "Perception based alpha estimation in natural image matting," *In Proceedings of IEEE ICME 2004*, pages 1407-1410, Jun. 2004.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน

นายชัยพิชิต คำพิมพ์

วัน เดือน ปีเกิด

วันที่ 17 มีนาคม พ.ศ. 2516

วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี

อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยี
ไฟฟ้าอุตสาหกรรม

สถานที่สำเร็จการศึกษา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีที่สำเร็จการศึกษา

2540

ประสบการณ์การทำงาน

เมษายน – กันยายน 2550 ตำแหน่งผู้ช่วยนักวิจัย
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง