

ขั้นตอนวิธีต้นแบบในการกำหนดสีพื้นเทียมด้วยภาพถ่ายดิจิทัล



นายธนพงศ์ อินทระ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A PROTOTYPE ALGORITHM OF DENTURE COLOR SPECIFICATION BY DIGITAL
IMAGE.



Mr. Thanapong Intharah

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Computer Science

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ขั้นตอนวิธีต้นแบบในการกำหนดสีพื้นเทียมด้วยภาพถ่ายดิจิทัล

โดย

นาย ธนพงศ์ อินทระ

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ นางลักษณ โควาวิสารัช


อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

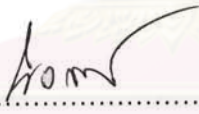
รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. แมนสรวง อักษรนุกิจ

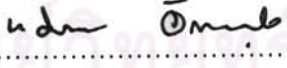
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศนิริฎวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ประภาส จงสถิตยวัฒนา)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ นางลักษณ โควาวิสารัช)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. แมนสรวง อักษรนุกิจ)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ วิฒนาวุฒิมิ)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุเทพ มาดาร์ศรี)

ธนพงศ์ อินทระ : ขั้นตอนวิธีต้นแบบในการกำหนดสีฟันเทียมด้วยภาพถ่ายดิจิทัล (A PROTOTYPE ALGORITHM OF DENTURE COLOR SPECIFICATION BY DIGITAL IMAGE.) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.นงลักษณ์ โคควาวิสารัช, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : รศ.ทพ.ดร.แมนสรวง อักษรนุกิจ, 62 หน้า.

งานวิจัยนี้นำเสนอขั้นตอนวิธีในการกำหนดสีฟันเทียมด้วยการวิเคราะห์ภาพถ่ายดิจิทัล โดยการนำเสนอแบ่งออกเป็นสองหัวข้อใหญ่ๆ คือ ปัญหาเกี่ยวกับแสงที่มีผลต่อความแม่นยำในการกำหนดสีและขั้นตอนวิธีกำหนดสีฟันเทียมที่มีการแก้ปัญหาดังกล่าว

ปัญหาเกี่ยวกับแสงที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยความไม่เสถียรของแสงตกกระทบและความไม่เป็นเอกรูปของการตกกระทบของแสง ความไม่เสถียรของแสงเกิดจากปริมาณแสงที่ไม่คงที่เมื่อเวลาเปลี่ยนไป ส่วนความไม่เป็นเอกรูปของการตกกระทบของแสงเกิดจากการที่แสงที่ตกกระทบในแต่ละบริเวณมีปริมาณไม่เท่ากัน นอกจากการนำเสนอปัญหาดังกล่าวแล้ว งานวิจัยนี้ยังนำเสนอมาตรวัดที่สามารถใช้แสดงการเกิดขึ้นของปัญหาทั้งสองนี้ด้วย

ขั้นตอนวิธีกำหนดสีฟันเทียมที่นำเสนอคือเก็บภาพของฟันที่ต้องการกำหนดสี ชุดพอร์ซเลนสีมาตรฐานและอุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับเทียบแสงในภาพเดียวกันเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาความไม่เสถียรของแสงตกกระทบ หลังจากนั้นคำนวณการตกกระทบของแสงแบบสัมพัทธ์ในแต่ละบริเวณของอุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับเทียบแสงเพื่อสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงด้วยวิธีการ Ordinary Kriging แล้วใช้แบบจำลองดังกล่าวปรับเทียบแสงเพื่อลดปัญหาความไม่เสถียรของแสงตกกระทบของแสงแล้วจึงเปรียบเทียบคู่สีโดยวัดระยะห่างของค่าสีในแบบจำลองสี HSV

การทดสอบขั้นตอนวิธีกำหนดสีฟันเทียมที่นำเสนอนั้นใช้การวัดความถูกต้องในการกำหนดสีพอร์ซเลนที่รู้สีและใช้มาตรวัดที่นำเสนอเป็นตัววัดประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี จากผลการทดลองแสดงว่าขั้นตอนวิธีที่นำเสนอสามารถปรับปรุงความถูกต้องในการกำหนดให้ผลดีที่สุดเมื่อเทียบกับการกำหนดสีด้วยตามนุษย์และการกำหนดสีโดยใช้คอมพิวเตอร์เปรียบเทียบคู่สีโดยตรงโดยไม่ใช้การปรับเทียบแสงที่นำเสนอ

ภาควิชา.....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์..... ลายมือชื่อนิสิต..... *ธนพงศ์*
 สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์..... ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก..... *นงลักษณ์*
 ปีการศึกษา...2553..... ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม..... *แมนสรวง*

5070291121 : MAJOR COMPUTER SCIENCE

KEYWORDS : DENTURE COLOR SPECIFICATION / LIGHT CALIBRATION / COLOR MATCHING

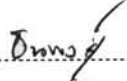
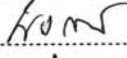

THANAPONG INTHARAH : A PROTOTYPE ALGORITHM OF DENTURE COLOR SPECIFICATION BY DIGITAL IMAGE. ADVISOR : ASSOC. PROF. NONGLUK COVAVISARUCH, CO-ADVISOR : ASSOC. PROF. MANSUANG ARKSORNNUKIT, Ph.D., D.D.S., 62 pp.

This research proposes an algorithm to specify a denture color based on image analysis. Details of the research are divided into two parts: light problems which highly affect the accuracy of color specification procedure and the algorithm for dealing with the problems.

The light problems presented in this research are the instability of incident light and the non-uniform light incidence. The former causes a problem in that the amount of light over an area changes over time. The latter deals with the fact that light illuminate unevenly on different areas. In addition, this research proposes a metric used to illustrate the occurrence of these problems.

The proposed algorithm of denture color specification to lessen the light problems is as follows. Firstly, to avoid the problem of instability of incident light, only one image consisting of an unknown color, a set of porcelain reference colors, and a light calibration tool should be taken. Secondly, to lessen non-uniform light incidence, the particular non-uniform light incidence is modeled by Ordinary Kriging using the relative light incidence values measured from the light calibration tool. The model is then use for calibrating the image before color matching with HSV color model is performed.

Results from the proposed algorithm are compared with human process as well as the computerized process without light calibration. Experimental results reveal that the proposed algorithm outperforms among all these processes.

Department : Computer Engineering	Student's Signature : 
Field of Study : Computer Science	Advisor's Signature : 
Academic Year : 2010	Co-advisor's Signature : 

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีเพราะความช่วยเหลือและสนับสนุนจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.นงลักษณ์ โควาวีสารัช และรศ.ทพ.ดร.แมนสรวง อักษรนุกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งได้สละเวลาให้คำแนะนำปรึกษา เสนอแนะแนวทางการวิจัย และได้ให้ความช่วยเหลือดูแลในด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดี ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ศ.ดร.ประภาส จงสฤษดิ์วิวัฒนา ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ และ รศ.ดร.สุเทพ มาตารัตน์ ที่ให้ความกรุณาเสนอคำแนะนำ ข้อคิดเห็น และแนะแนวทางในการพัฒนางานวิจัยนี้ ตลอดจนจนถึงตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ สมาชิกภายในห้องปฏิบัติการวิจัย CGCI ที่น่ารักทุกคนที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และดูแลเอาใจใส่ตลอดการวิจัยและการศึกษา

ขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ สมาชิกภายในห้องปฏิบัติการวิจัย 18-01 ที่น่ารักทุกคนที่คอยให้คำแนะนำ และเป็นกำลังใจตลอดการวิจัย

ขอขอบคุณ ทพญ.หทัยรัตน์ เลษะธนะ ที่ให้ความอนุเคราะห์เรื่องอุปกรณ์ทางทันตแพทย์ที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือและให้กำลังใจทุกท่านที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

และท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว และญาติพี่น้องทุกท่าน ที่อุปการะเลี้ยงดู เป็นกำลังใจ สนับสนุนในด้านการศึกษาและในด้านต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
1.2.1 การเก็บภาพ.....	2
1.2.2 การเตรียมการก่อนการประมวลผลภาพ.....	2
1.2.3 การประมวลผลภาพ.....	3
1.2.4 การวัดความถูกต้องของระบบ.....	6
1.3 วัตถุประสงค์.....	6
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	6
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	6
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	7
1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	7
2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 แบบจำลองสี.....	8
2.1.1 แบบจำลองสี RGB.....	8
2.1.2 แบบจำลองสี HSV (HSB).....	9
2.1.3 แบบจำลองสี HSL (HSI).....	10
2.1.4 แบบจำลองสี CIE L*a*b*.....	11

บทที่	หน้า
2.2 ขั้นตอนการผลิตพื้นเทียม.....	13
2.2.1 ขั้นตอนที่เกิดขึ้นโดยทันตแพทย์.....	13
2.2.2 ขั้นตอนที่เกิดขึ้นโดยช่างทันตกรรม.....	14
2.3 การบันทึกข้อมูลภาพของกล้องดิจิทัล.....	14
2.3.1 ไดนามิคเรนจ์.....	15
2.3.2 โทนัลเรนจ์.....	15
2.4 ข่ายงานประสาทเทียม.....	15
2.4.1 เพอร์เซ็ปทรอนส์.....	16
2.4.2 ขั้นตอนการเรียนรู้ของข่ายงานประสาทเทียม.....	16
2.4.3 วิธีการเรียนรู้แบบแพร่กระจายย้อนกลับ.....	17
2.5 วิธีการ Ordinary Kriging.....	18
3 อุปสรรคสำคัญเบื้องต้นในงานวิจัย.....	20
3.1 ความไม่เสถียรของแสงตกกระทบ.....	20
3.2 ความไม่เป็นเอกรูปของการตกกระทบของแสง.....	20
3.3 มาตรฐาน.....	22
3.3.1 ความไม่ต้องการของลำดับความเหมือนของสี.....	22
3.3.2 ระยะห่างของการสลับลำดับ.....	23
4 ขั้นตอนในการวิเคราะห์สีพื้น.....	26
4.1 ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ.....	26
4.2 การเก็บภาพ.....	27
4.3 การเลือกตัวแทนสี.....	28
4.4 การสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงและการปรับเทียบแสงของภาพ.....	29
4.4.1 การสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงด้วยวิธีการ Ordinary Kriging.....	29
4.4.2 การปรับเทียบแสงของภาพ.....	31
4.5 การเปรียบเทียบคู่สี.....	31
5 การทดลองและผลการทดลอง.....	33
5.1 การทดลองเบื้องต้น.....	33

บทที่	หน้า
5.1.1 การทดลองและผลการทดลองความเสถียรของแสงตกกระทบ.....	33
5.1.1.1 ข้อมูลภาพที่ใช้ในการทดลอง.....	33
5.1.1.2 วิธีการทดลอง.....	34
5.1.1.3 ผลการทดลอง.....	35
5.1.1.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	36
5.1.2 การทดลองและผลการทดลองการเปรียบเทียบคู่สี.....	36
5.1.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง.....	36
5.1.2.2 วิธีการทดลอง.....	38
5.1.2.3 ผลการทดลอง.....	38
5.1.2.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	40
5.1.3 การทดลองและผลการทดลองการปรับเทียบแสง.....	40
5.1.3.1 การทดลองและผลการทดลองการสร้างแบบจำลองการตกกระทบ ของแสง.....	41
5.1.3.1.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง.....	41
5.1.3.1.2 วิธีการทดลอง.....	41
5.1.3.1.3 ผลการทดลอง.....	43
5.1.3.1.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	46
5.1.3.2 การทดลองและผลการทดลองการปรับเทียบแสง.....	47
5.1.3.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง.....	47
5.1.3.2.2 วิธีการทดลอง.....	47
5.1.3.2.3 ผลการทดลอง.....	48
5.1.3.2.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	52
5.2 การทดลองและผลการทดลองการใช้ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอในงานวิจัย.....	52
5.2.1 ข้อมูลภาพที่ใช้ในการทดลอง.....	53
5.2.2 วิธีการทดลอง.....	53
5.2.3 ผลการทดลอง.....	53
5.2.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	53

บทที่	หน้า
5.3 การทดลองและผลการทดลองการใช้น้ำร้อนวิธีที่นำเสนอในงานวิจัย.....	55
5.3.1 ข้อมูลภาพที่ใช้ในการทดลอง.....	55
5.3.2 วิธีการทดลอง.....	55
5.3.3 ผลการทดลอง.....	56
5.3.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	57
6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	58
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	58
6.2 ปัญหา อุปสรรคและการแก้ปัญหาในงานวิจัย.....	59
6.3 ข้อเสนอแนะ.....	59
รายการอ้างอิง.....	60
ภาคผนวก.....	62
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	63



 ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	รหัสเทียมแสดงการทำ Floyd-Steinberg Dithering.....	5
2.1	ตัวอย่างค่าของเมทริกซ์ M ต่าง ๆ.....	12
3.1	รหัสเทียมแสดงการคำนวณหาค่าระยะห่างของการสลับลำดับ.....	24
3.2	ตัวอย่างการคำนวณหาค่าระยะห่างของการสลับลำดับ.....	24
5.1	ค่าความไม่ตึงกันของลำดับความเหมือนของสีของเซตรูปภาพ.....	35
5.2	ความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีของแต่ละแบบจำลองสีของเซตรูปภาพที่ 1 เปิดไฟปกติจำนวน 32 รูป.....	39
5.3	ความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีของแต่ละแบบจำลองสีของเซตรูปภาพที่ 2 เปิดไฟเฉพาะด้านขวาของรูปจำนวน 32 รูป.....	39
5.4	ความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีของแต่ละแบบจำลองสีของเซตรูปภาพที่ 3 เปิดไฟเฉพาะด้านซ้ายของรูปจำนวน 32 รูป.....	39
5.5	การเปรียบเทียบค่า ICSR ของการปรับเทียบแสงด้วยแบบจำลองการตกกระทบของแสงต่างๆ.....	44
5.6	ลำดับค่า ICSR ของการปรับเทียบแสงด้วยแบบจำลองการตกกระทบของแสงต่างๆ.....	45
5.7	การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสง.....	46
5.8	เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดค่าความไม่ตึงกันของลำดับความเหมือนของสีของวิธีการสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงแต่ละวิธี 5 อันดับแรก.	47
5.9	เปรียบเทียบความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีของเซตรูปภาพที่ 1 โดยใช้แบบจำลองสี RGB เปิดไฟปกติของรูปจำนวน 32 รูป.....	49
5.10	เปรียบเทียบความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีของเซตรูปภาพที่ 2 โดยใช้แบบจำลองสี RGB เปิดไฟเฉพาะด้านขวาของรูปจำนวน 32 รูป.....	49
5.11	เปรียบเทียบความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีของเซตรูปภาพที่ 3 โดยใช้แบบจำลองสี RGB เปิดไฟเฉพาะด้านซ้ายของรูปจำนวน 32 รูป.....	49
5.12	เปรียบเทียบความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีของเซตรูปภาพที่ 1 โดยใช้แบบจำลองสี CIE L*a*b* เปิดไฟปกติของรูปจำนวน 32 รูป.....	50

ตารางที่		หน้า
5.13	เปรียบเทียบความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีของเซตรูปภาพที่ 2 โดยใช้แบบจำลองสี CIE L*a*b* เปิดไฟเฉพาะด้านขวาของรูปจำนวน 32 รูป.....	50
5.14	เปรียบเทียบความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีของเซตรูปภาพที่ 3 โดยใช้แบบจำลองสี CIE L*a*b* เปิดไฟเฉพาะด้านซ้ายของรูปจำนวน 32 รูป.....	50
5.15	เปรียบเทียบความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีของเซตรูปภาพที่ 1 โดยใช้แบบจำลองสี HSV เปิดไฟปกติของรูปจำนวน 32 รูป.....	51
5.16	เปรียบเทียบความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีของเซตรูปภาพที่ 2 โดยใช้แบบจำลองสี HSV เปิดไฟเฉพาะด้านขวาของรูปจำนวน 32 รูป.....	51
5.17	เปรียบเทียบความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีของเซตรูปภาพที่ 3 โดยใช้แบบจำลองสี HSV เปิดไฟเฉพาะด้านซ้ายของรูปจำนวน 32 รูป.....	51
5.18	ความถูกต้องของการกำหนดสีพอร์ชเลนที่รู้ค่าด้วยขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ.....	54
5.19	เปรียบเทียบความถูกต้องของการกำหนดสีพอร์ชเลนด้วยตามมนุษย์และการกำหนดสีด้วยขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ.....	56

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	แบบจำลองสี RGB..... 8
2.2	แบบจำลองสี HSV..... 9
2.3	แบบจำลองสี HSL..... 10
2.4	แบบจำลองสี CIE L*a*b*..... 11
2.5	ชุดเทียบสีพื้นเทียม..... 13
2.6	ตัวอย่างแผนภาพแสดงการกำหนดการกระจายของเฉดสี A2 และ A3 ในแต่ละ บริเวณของสีพื้น (Shade Distribution Chart)..... 14
2.7	ตัวอย่างการเรียงตัวของตัวกรองในรูปแบบต่างๆ 15
2.8	เพอร์เซปตรอน (Perceptron)..... 16
2.9	ข่ายงานประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multilayer Network)..... 17
3.1	ผลจากความไม่เป็นเอกรูปของการตกกระทบของแสง..... 21
4.1	ขั้นตอนวิธีในการกำหนดสีพื้นเทียม..... 27
4.2	อุปกรณ์ที่ใช้ถ่ายภาพร่วมกับพื้นที่ต้องการกำหนดสี..... 27
4.3	บริเวณที่ใช้ในการคำนวณค่าตัวแทนสี..... 28
4.4	ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงด้วยวิธี Ordinary Kriging... 30
4.5	ภาพผลลัพธ์จากการปรับเทียบแสง..... 31
4.6	ขั้นตอนการเปรียบเทียบคู่สี..... 32
5.1	ภาพที่ใช้ในการทดลองความเสถียรของแสงตกกระทบ..... 34
5.2	สภาพแวดล้อมในการเก็บภาพ..... 34
5.3	ภาพที่ใช้ในการทดลองการเปรียบเทียบคู่สี..... 37
5.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีของแบบจำลองสี ต่างๆ โดยใช้เกณฑ์แบบเข้มกำหนดสี..... 40
5.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีของแบบจำลองสี ต่างๆ โดยใช้เกณฑ์แบบผ่อนปรนกำหนดสี..... 40
5.6	ลักษณะการเลือกจุดที่จะนำไปสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงแบบต่างๆ 42
5.7	ลักษณะของข่ายงานประสาทเทียมที่ใช้ในการทดลอง..... 43
5.8	การกำหนดสีด้วยตามนุษย์..... 55

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การทำฟันเทียมมีจุดประสงค์หลักเพื่อการใช้งานทดแทนฟันเดิมและเพื่อความสวยงาม ดังนั้นการสร้างฟันเทียมจึงต้องคำนึงถึงความแข็งแรงของวัสดุและสีของวัสดุที่จะนำมาสร้างฟันเทียม ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้พอร์ซเลน (Porcelain) เนื่องจากมีลักษณะพื้นผิวใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ อีกทั้งยังมีความแข็งแรง ทนต่อการสึกกร่อนได้ดีและยังสามารถเลียนแบบสีฟันตามธรรมชาติได้ สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการสร้างฟันเทียมนั้นก็คือรูปร่างและสีของฟันซึ่งต้องสร้างออกมาให้เข้ากับฟันที่อื่นที่อยู่ในช่องปากมากที่สุด ดังนั้น วิธีการกำหนดสีฟันเทียมที่แม่นยำจึงมีความจำเป็นอย่างมากในการทำฟันเทียม

ในปัจจุบัน การกำหนดสีของฟันเทียมแบ่งออกเป็นสองวิธีหลัก ๆ วิธีแรกเป็นการกำหนดสีด้วยตา ทันตแพทย์จะเป็นผู้กำหนดโดยดูสีฟันของผู้ป่วยเปรียบเทียบกับชุดเทียบสีฟันเทียม (Shade Guide) ซึ่งจำลองสีของฟันเป็นสีมาตรฐาน วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้ในคลินิกเนื่องจากมีความสะดวกและเสียค่าใช้จ่ายน้อย แต่ก็ยังคงมีปัญหาสำคัญคือเรื่องของความไม่แม่นยำ ความไม่แน่นอนรวมถึงความไม่ละเอียดในการกำหนดสีของทันตแพทย์ เนื่องมาจากปัญหาหลายอย่างเช่น ความเหนื่อยล้า ประสบการณ์ อารมณ์ รวมถึงสภาพของความสว่างในขณะทำการกำหนดสีฟัน

สำหรับวิธีที่สองเป็นการกำหนดสีฟันเทียมด้วยเครื่องมือซึ่งนิยมวิเคราะห์โดยใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometers) และคัลเลอร์มิเตอร์ (Colorimeters) ซึ่งสามารถบอกค่าสีได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ แต่เครื่องมือราคาสูงจึงนิยมใช้เฉพาะในงานวิจัยเท่านั้น อีกทั้งเครื่องมือเหล่านี้ยังสามารถตรวจสอบและทำซ้ำได้แม่นยำเฉพาะบนพื้นผิวที่เรียบและทึบแสงเท่านั้น [1-3] ในขณะที่ฟันของมนุษย์นั้นมีลักษณะโค้ง โปร่งแสงและอาจมีพื้นผิวขรุขระจึงทำให้ได้ผลไม่ดีเท่าที่ควร

เนื่องจากกล้องดิจิทัลในปัจจุบันมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเรื่อย ๆ แต่ราคากลับลดลงจากในอดีตมากประกอบกับสามารถใช้งานได้ง่าย ทำให้มีการใช้ภาพจากกล้องดิจิทัลช่วยอำนวยความสะดวกในงานด้านต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย รวมถึงงานด้านทันตกรรมด้วย ประกอบกับงานวิจัยด้านการประมวลผลภาพดิจิทัลก็มีความสามารถในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ได้ หลากหลาย งานวิจัยนี้จึงเสนอการกำหนดสีฟันเทียมโดยการวิเคราะห์ภาพที่ได้จากกล้องดิจิทัล

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้จะแบ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องออกเป็น 4 กลุ่มคือ การเก็บภาพ การเตรียมการก่อนการประมวลผลภาพ การประมวลผลภาพ การวัดความถูกต้องของระบบ

1.2.1 การเก็บภาพ (Image Acquisition)

การใช้ภาพถ่ายเพื่อประมวลผลเกี่ยวกับการแพทย์นั้น งานวิจัยส่วนใหญ่จะมีอุปกรณ์ที่เสริมเพื่อช่วยให้การประมวลผลมีความแม่นยำมากขึ้น ดังนี้ Bentley และคณะ [4] (ค.ศ. 1999) ใช้กล้องแบบใช้ฟิล์มในการเก็บภาพฟันและได้นำเข้าคอมพิวเตอร์ด้วยการใช้เครื่องสแกนเนอร์สำหรับสแกนสไลด์ โดยในขณะที่เก็บภาพจะใช้เฉดสีในชุดเทียบสีฟันทาบไว้คล้ายกับการเทียบสีโดยใช้ตาเปล่าทีละ 3 เฉดสีโดยจะทำการเก็บภาพ 2 ภาพโดยแบ่งเป็นแบบมีพื้นหลังสีขาวและพื้นหลังสีเขียว Cai [5] (ค.ศ. 2002) ใช้กล้องดิจิทัลเก็บภาพลิ้นโดยเก็บภาพร่วมกับอุปกรณ์เทียบสี (Color Checker) Munsell ColorChecker เพื่อใช้ในการปรับภาพสีให้ได้มาตรฐาน (Image Calibration) Carollo และคณะ [6] (ค.ศ. 2003) ใช้กล้องดิจิทัลเก็บภาพฟันเพื่อนำไปเทียบสีฟันด้วยโปรแกรม ClearMatch™ โดยเก็บภาพร่วมกับเฉดสี A2 ของชุดเทียบสี VITA® และแผ่นสีดำ - ขาว ClearMatch™ Zhang และคณะ [7] (ค.ศ. 2005) ใช้กล้องดิจิทัลเก็บภาพลิ้นร่วมกับอุปกรณ์เทียบสีที่พัฒนาขึ้นมาเองเพื่อใช้สำหรับลิ้นโดยเฉพาะ

Dagg และคณะ [8] ทำการทดลองเรื่องปัจจัยที่มีผลต่อความแม่นยำในการเลือกเฉดสี โดยศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อความแม่นยำในการจับคู่สี ได้แก่ ชนิดของฟอร์ชเลน คุณภาพแสง ความหนาของฟอร์ชเลน และประสบการณ์ของผู้สังเกต ผลการทดลองสรุปว่า คุณภาพแสงมีผลต่อความแม่นยำในการจับคู่สีมากที่สุด และแสงแดดทางทิศเหนือ (Northern Daylight) เป็นลักษณะของแสงแดดมาตรฐานมีอุณหภูมิสี 5,500 เคลวิน ซึ่งเป็นแสงในอุดมคติซึ่งคงที่ที่สุดตลอดทั้งปี

1.2.2 การเตรียมการก่อนการประมวลผลภาพ (Image Pre-processing)

การเตรียมการก่อนการประมวลผลภาพนั้นมีจุดประสงค์เพื่อช่วยให้การประมวลผลภาพมีประสิทธิภาพมากขึ้น การเตรียมการก่อนประมวลผลภาพนั้นจะประกอบด้วยการสกัดเอาแต่ส่วนที่จำเป็นต้องใช้ในการประมวลผลเพื่อลดเวลาในการประมวลผลภาพ การลบส่วนที่เป็นจุดรบกวนในภาพออกไปเพื่อลดความผิดพลาดในการประมวลผลภาพ การปรับเทียบสีของแต่ละภาพให้เป็นสีมาตรฐานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผลด้านสี

Bentley และคณะ [4] (ค.ศ. 1999) ใช้เครื่องมือ Magic Wand ในโปรแกรม Photoshop® ในการกำจัดส่วนที่เกิดจากการสะท้อนของแสงกับผิวเคลือบฟันที่เปียกและส่วนที่ไม่

เกี่ยวข้องกับกระบวนการประมวลผลโดยเลือกส่วนที่ต้องการกำจัดแล้วระบายทับส่วนนั้นด้วยสีดำ Cai [5] (ค.ศ. 2002) ใช้ Munsell ColorChecker ในการเทียบมาตรฐานสีโดยใช้ Linear Color Caribration Model หลังจากนั้นใช้ Snake Active Contour [9] ตัดเอาแต่ส่วนที่เป็นลื่นออกมาจากภาพ Carollo และคณะ [6] (ค.ศ. 2003) ใช้โปรแกรม ClearMatch™ ช่วยในการเลือกสีพื้น โดยโปรแกรม ClearMatch™ ใช้สีดำ สีขาว และสี A2 ของชุดเทียบสี VITA® เป็นมาตรฐานในการอ้างอิงมาตรฐานสีแต่ไม่ได้เปิดเผยวิธีการที่ใช้ในการเทียบมาตรฐานสีเนื่องจากเป็นโปรแกรมที่ใช้ในเชิงพาณิชย์

Jianfeng และคณะ [10] (ค.ศ. 2003) ใช้การตรวจจับขอบของ Sobel ในการหาขอบทั้งหมดของภาพเพื่อหาแผ่นป้ายทะเบียนรถและแทนจุดที่เป็นขอบด้วยเลข '1' และจุดที่ไม่ใช่ขอบด้วยเลข '0' โดยถือว่าส่วนที่เป็นแผ่นป้ายทะเบียนรถที่ต้องการหาที่มีความหนาแน่นของขอบสูง ดังนั้นหาส่วนของภาพที่มีความหนาแน่นของขอบสูงโดยใช้สมการที่ 1.1

$$R[i, j] = \sum_{m=0}^H \sum_{n=0}^W E[m+i, n+j] \quad (1.1)$$

โดยที่ $R[i, j]$ แทนจำนวนจุดที่เป็นขอบในหน้าต่างที่ใช้ตรวจสอบสูง H และกว้าง W ถ้าจำนวนจุดเกินค่าขีดแบ่ง (Threshold) ที่ตั้งไว้ ก็จะใช้พื้นที่นั้นในการประมวลผลต่อไป

Zhang และคณะ [7] (ค.ศ. 2005) ใช้ขั้นตอนวิธี Regularized Color Clustering ของ Li [11] ในการสร้างอุปกรณ์เทียบสีและใช้ Support Vector Regression ในการปรับมาตรฐานสี

1.2.3 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

งานการประมวลผลภาพจะให้ความสำคัญกับการเลือกใช้แบบจำลองสี (Color Model) และการเปรียบเทียบสีที่ใกล้เคียงกัน (Color Matching) ซึ่งมีงานวิจัยที่น่าสนใจดังนี้

Okubo และคณะ [12] (ค.ศ. 1998) เลือกใช้แบบจำลองสี CIE $L^*a^*b^*$ เนื่องจากเป็นค่าที่อ่านได้จากคัลเลอริมิเตอร์ในการวัดความใกล้เคียงกันของเฉดสีเพื่อวัดความแม่นยำในการเปรียบเทียบสีของเครื่องมือ (คัลเลอริมิเตอร์) โดยใช้ค่า ΔE ดังสมการที่ 1.2 เป็นเกณฑ์ในการวัดความใกล้เคียงกันของสี ระหว่างเฉดสีแต่ละเฉด

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_1 - L^*_2)^2 + (a^*_1 - a^*_2)^2 + (b^*_1 - b^*_2)^2} \quad (1.2)$$

โดยที่ L^*_1, a^*_1, b^*_1 แทนค่า L^*, a^*, b^* ของจุดที่ 1
 L^*_2, a^*_2, b^*_2 แทนค่า L^*, a^*, b^* ของจุดที่ 2

นงลักษณ์ และคณะ [13] (ค.ศ. 1998 (พ.ศ. 2541)) เลือกใช้แบบจำลองสี RGB และ HSV ในการทดลองการเปรียบเทียบคู่สีเพื่อแทนสีเดิมของภาพด้วยสีที่มีอยู่อย่างจำกัด โดยพิจารณาความใกล้เคียงกันของสีจากระยะห่างระหว่างจุดสีโดยใช้การวัดระยะทางแบบยูคลิด (Euclidean Distance) ดังสมการที่ 1.3

$$V = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad (1.3)$$

โดยที่ V แทนระยะห่างระหว่างจุด 2 จุด

x_1, y_1, z_1 แทนพิกัดของจุดที่ 1 ในแบบจำลองสี

x_2, y_2, z_2 แทนพิกัดของจุดที่ 2 ในแบบจำลองสี

ในแบบจำลองสี RGB และคำนวณระยะห่างของแบบจำลองสี HSV ดังสมการที่ 1.4

$$V = \sqrt{(V_1 - V_2)^2 + (\sin(H_1)S_1 - \sin(H_2)S_2)^2 + (\cos(H_1)S_1 - \cos(H_2)S_2)^2} \quad (1.4)$$

โดยที่ V แทนระยะห่างระหว่างจุด 2 จุด

H_1, S_1, V_1 แทนค่า H, S, V ของจุดที่ 1

H_2, S_2, V_2 แทนค่า H, S, V ของจุดที่ 2

และใช้ Floyd-Steinberg Dithering [14] ดังรหัสเทียมที่ 1.1 เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้ใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับมากขึ้น

โดยกำหนดให้ oldpixel เป็นค่าสีที่พิกัด (x, y)

newpixel เป็นค่าสีที่มีระยะห่างน้อยที่สุด

quant_error เป็นค่าความแตกต่างของสีโดยคำนวณแยก

ออกเป็น error ของ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน

ตารางที่ 1.1 รหัสเทียมแสดงการทำ Floyd-Steinberg Dithering

Work = FSDithering(seq1, seq2)	
01	for each y from top to bottom
02	for each x from left to right
03	oldpixel := pixel[x][y]
04	newpixel := find_closest_palette_color(oldpixel)
05	pixel[x][y] := newpixel
06	quant_error := oldpixel - newpixel
07	pixel[x+1][y] := pixel[x+1][y] + 7/16 * quant_error
08	pixel[x-1][y+1] := pixel[x-1][y+1] + 3/16 * quant_error
09	pixel[x][y+1] := pixel[x][y+1] + 5/16 * quant_error
10	pixel[x+1][y+1] := pixel[x+1][y+1] + 1/16 * quant_error
11	end
12	end

นงลักษณ์ [15] (ค.ศ. 1999 (พ.ศ. 2542)) ได้พัฒนาโปรแกรม Xtch ขึ้นมาเพื่อจัดทำลายปักโครสสติชจากภาพ เลือกลงใช้แบบจำลองสี RGB ในการเปรียบเทียบคู่สีของสีในรูปภาพกับสีของด้ายที่ใช้ในการปักโครสสติช โดยพิจารณาความใกล้เคียงกันของสีจากระยะห่างระหว่างจุดสีโดยใช้การวัดระยะทางแบบยูคลิด (Euclidean Distance) และเพิ่มความเร็วในการทำงานของโปรแกรมด้วยการใช้ตารางแฮช (Hash Table)

Jianfeng และคณะ [10] (ค.ศ. 2003) เลือกลงใช้แบบจำลองสี RGB ในการจำแนกสีของจุดภาพ (Pixel) แต่จะจุดว่าเป็นสีอะไร เพื่อให้ในการตรวจหาป้ายทำเบียร์รถในภาพ งานวิจัยนี้จำแนกจุดภาพโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neuron Network) ในการจำแนกสีของแต่ละจุดภาพ รายละเอียดของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้เป็นดังนี้ โครงข่ายประสาทเทียมนี้จะรับค่า 3 ค่าในชั้นอินพุต (Input Layer) ซึ่งเป็นค่าของ R G B ของแต่ละจุดภาพ แล้วผ่านชั้นซ่อน (Hidden Layer) ซึ่งมี 1 ชั้น และส่งต่อไปยังชั้นเอาต์พุต (Output Layer) ซึ่งมี 5 ปม (Nodes) โดยแต่ละปมจะตัดสินใจว่า เป็นสีขาว สีดำ สีฟ้า สีเหลือง หรือสีอื่นๆ แล้วใช้ในการเรียนรู้โดยใช้ขั้นตอนวิธีการแพร่กระจายย้อนกลับ (Backpropagation Algorithm) สัจชัย [16] (ค.ศ. 2003 (พ.ศ. 2546)) เลือกลงใช้แบบจำลองสี HSL ในการเทียบความใกล้เคียงกันของสี ในงานออกแบบสถาปัตยกรรม โดยงานวิจัยชิ้นนี้ใช้วิธีการเลือกตัวแทนของสีในพื้นที่นั้นโดยให้เลือกจุดสีหนึ่งจุดที่

อยู่ในพื้นที่นั้นขึ้นมาแล้วใช้จุดนั้นเป็นตัวแทนของสีในพื้นที่นั้น และเปรียบเทียบความใกล้เคียงกันของสีที่เลือกมากับสีในฐานข้อมูล โดยใช้การวัดระยะทางแบบยูคลิด (Euclidean Distance)

1.2.4 การวัดความถูกต้องของระบบ (Evaluation)

Okubo และคณะ [12] (ค.ศ. 1998) คิดค้นวิธีการตรวจสอบความถูกต้องในการเลือกสีพื้นที่ที่มีชื่อว่า Vita-Vita โดยวิธีการคือ ให้ทันตแพทย์จับคู่เฉดสีที่ละเฉดในชุดเทียบสีฟันเทียมจากบริษัทเดียวกันสองชุดโดยไม่จำกัดเวลาในการจับคู่แล้ววัดความถูกต้องในการจับคู่เฉดสีแต่ละเฉดของทันตแพทย์ และวัดความถูกต้องในการเลือกสีฟันของเครื่องมือ (คัลเลอร์มิเตอร์) โดยใช้การอ่านค่าสี CIE L*a*b* ของเฉดสีแต่ละเฉดที่เครื่องมืออ่านได้ของแต่ละชุดเทียบสีฟันแล้วตัดสินว่าเครื่องมือจับคู่เฉดสีได้ตรงหรือไม่ โดยใช้ค่า ΔE ซึ่งเฉดในแต่ละชุดถ้ามีค่า ΔE น้อยที่สุดจะหมายความว่าเฉดสองอันนั้นถูกจับคู่กัน

1.3 วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอขั้นตอนวิธีในการกำหนดสีฟันเทียมโดยใช้การวิเคราะห์จากภาพถ่ายดิจิทัล

1.4 ขอบเขตการวิจัย

ข้อมูลที่เก็บมาอยู่ในรูปแบบแฟ้มข้อมูลแบบ RAW และข้อมูลที่น่ามาประมวลผล อยู่ในรูปแบบแฟ้มข้อมูลแบบทีไอเอฟเอฟ (TIFF File)

ใช้กล้อง Digital Single Lens Reflex (DSLR)

ใช้ฟอร์ชเลนของบริษัท Noritake จำนวน 16 สี ประกอบด้วยสี A₁, A₂, A₃, A_{3.5}, A₄, B₁, B₂, B₃, B₄, C₁, C₂, C₃, C₄, D₂, D₃, D₄ ไม่รวมสีโปร่งแสง (Transparence)

วัสดุที่นำมาทดลองไม่มีการเคลือบเงา

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาในการจับคู่สี
2. ศึกษาความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ
3. ศึกษาและพัฒนาวิธีการในการวัดความถูกต้องของการปรับเทียบสีภาพ
4. ศึกษาและพัฒนาทฤษฎีในการจับคู่สี
5. ทดลองนำความรู้ที่ได้ศึกษามาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย
6. ออกแบบขั้นตอนวิธีการที่ใช้ในการจับคู่สี
7. ทดลองสร้างระบบที่ใช้ในการจับคู่สีและวัดประสิทธิภาพ
8. วิเคราะห์ผล

9. สรุปและวิจารณ์ผล

10. จัดทำรายงาน

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. วิธีการในการกำหนดสีพื้นเทียม จากภาพถ่ายดิจิทัล
2. ขั้นตอนวิธีในการปรับเทียบสีของภาพ
3. ขั้นตอนวิธีในการเลือกตัวแทนสีของพื้นที่สี และจับคู่พื้นที่สีที่มีความใกล้เคียงกันมาก

1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีทั้งหมด 6 บท แต่ละบทประกอบด้วยเนื้อหา ดังนี้ บทที่ 1 กล่าวถึงความ เป็นมาและความสำคัญหาของปัญหา งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วัตถุประสงค์ ขอบเขตของ งานวิจัย ขั้นตอนการวิจัย และประโยชน์ที่ได้รับ ดังที่กล่าวไว้แล้ว สำหรับบทที่ 2 กล่าวถึงหลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย บทที่ 3 กล่าวถึงปัญหาเกี่ยวกับแสงที่ทำให้ความแม่นยำในการ กำหนดสีลดลง รวมถึงรายละเอียดของมาตรวัดที่ใช้แสดงปัญหาดังกล่าว บทที่ 4 เป็นการ รายละเอียดของขั้นตอนวิธีในการกำหนดสีพื้นเทียมที่นำเสนอในงานวิจัย บทที่ 5 เป็นการทดลอง การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง และบทสุดท้ายบทที่ 6 เป็นการสรุปผลการวิจัยและ ข้อเสนอแนะต่าง ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

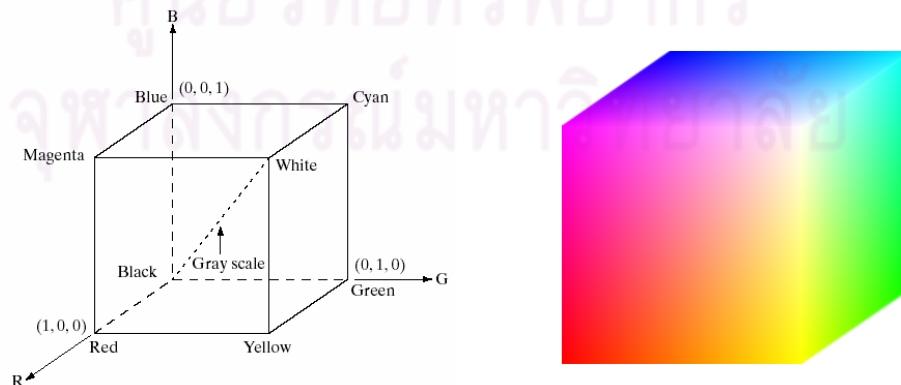
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องที่จะอธิบายในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยแบบจำลองสี ขั้นตอนในการผลิตพื้นเทียม การบันทึกข้อมูลภาพของกล้องดิจิทัล การสร้างแบบจำลองสามมิติ ด้วยวิธีการใช้ข่างานประสาทเทียม และการสร้างแบบจำลองสามมิติโดยใช้วิธีการคริกกิง (Kriging) ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนต่างๆ ของระบบ เช่น ขั้นตอนการเตรียมการก่อนการประมวลผลภาพ (Image Pre-processing) เพื่อปรับปรุงข้อมูลภาพให้เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในขั้นตอนถัดไปได้ หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 5 ส่วน คือ แบบจำลองสี ขั้นตอนการผลิตพื้นเทียม การบันทึกข้อมูลภาพของกล้องดิจิทัล ข่างานประสาทเทียม และวิธีการคริกกิง

2.1 แบบจำลองสี

แบบจำลองสีมีจุดประสงค์หลักคือเพื่อให้เกิดความสะดวกในการระบุสีแต่ละสี โดยการกำหนดมาตรฐานในการระบุสีขึ้นมา หลักการสำคัญคือการใช้ระบบพิกัดซึ่งแทนจุดแต่ละจุดในปริภูมิด้วยสีแต่ละสี แบบจำลองสีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันมีดังนี้

2.1.1 แบบจำลองสี RGB

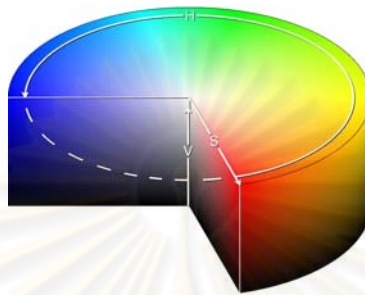
ในแบบจำลองสีแต่ละสีจะถูกแทนด้วยค่าของสีหลัก 3 สีคือสีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) โดยแสดงเป็นลูกบาศก์ของสีบนระบบพิกัดคาร์ทีเซียน ดังรูปที่ 2.1 โดยแต่ละสีหลักจะมีพิสัย (range) เท่ากัน และแบบจำลองสีนี้ใช้เป็นมาตรฐานในการแสดงผลของจอภาพ และการบันทึกข้อมูลของกล้องดิจิทัลอีกด้วย



รูปที่ 2.1 แบบจำลองสี RGB

2.1.2 แบบจำลองสี HSV (HSB)

สีในแบบจำลองนี้จะถูกสร้างขึ้นด้วยองค์ประกอบ 3 อย่างที่แสดงค่าสีโดยไม่ได้เกิดจากการนำ 3 สีหลักมาผสมกันเหมือนกับแบบจำลองสี RGB แต่ประกอบด้วยองค์ประกอบดังนี้ รงค์ (Hue) เป็นตัวแทนของสี ความอิ่มตัว (Saturation) เป็นตัวแทนของความเข้มของสี และความสว่าง (Value หรือ Brightness) เป็นตัวแทนของความสว่าง ซึ่งแบบจำลองสี HSV เป็นดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แบบจำลองสี HSV

การนำแบบจำลองสี HSV มาใช้นั้นต้องแปลงค่าจาก แบบจำลองสี RGB เป็น HSV โดยใช้สมการที่ 2.1

$$r = R / 255$$

$$g = G / 255$$

$$b = B / 255$$

$$H = \begin{cases} 0, & \text{if } \max(r, g, b) = \min(r, g, b) \\ 60^\circ \times \frac{g-b}{\max(r, g, b) - \min(r, g, b)} + 0^\circ, & \text{if } \max(r, g, b) = r \text{ and } g \geq b \\ 60^\circ \times \frac{g-b}{\max(r, g, b) - \min(r, g, b)} + 360^\circ, & \text{if } \max(r, g, b) = r \text{ and } g < b \\ 60^\circ \times \frac{b-r}{\max(r, g, b) - \min(r, g, b)} + 120^\circ, & \text{if } \max(r, g, b) = g \\ 60^\circ \times \frac{r-g}{\max(r, g, b) - \min(r, g, b)} + 240^\circ, & \text{if } \max(r, g, b) = b \end{cases}$$

$$S = \begin{cases} 0, & \text{if } \max(r, g, b) = 0 \\ \frac{\max(r, g, b) - \min(r, g, b)}{\max(r, g, b)}, & \text{if otherwise} \end{cases}$$

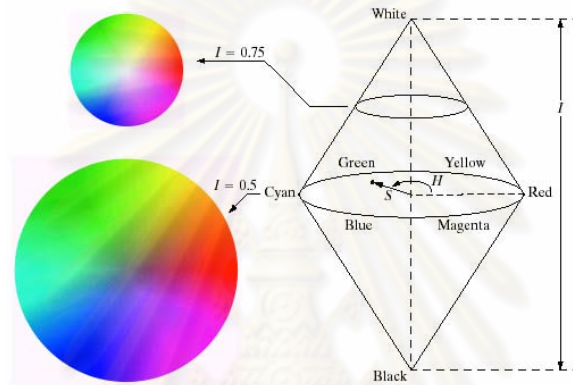
$$V = \max(r, g, b)$$

สมการที่ 2.1 การแปลงค่าสีจากแบบจำลองสี RGB เป็น HSV

2.1.3 แบบจำลองสี HSL (HSI)

แบบจำลองสีนี้จะคล้ายกับแบบจำลองสี HSV แต่จะแตกต่างกันตรงค่าความอิ่มตัว (Saturation) ซึ่งแบบจำลองสี HSV จะมีค่าที่เป็นไปได้ของค่าความอิ่มตัวเท่ากันตลอดไม่ขึ้นกับความเข้มแสง แต่แบบจำลองสี HSL จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความอิ่มตัวกับความสว่างอีกแบบหนึ่งโดยความอิ่มตัวจะมีค่าที่เป็นไปได้น้อยลงเมื่อความสว่างเข้าใกล้สีขาวหรือสีดำ ตัวอักษรแต่ละตัวในชื่อแบบจำลองสี HSL นั้นจะแทนองค์ประกอบของแบบจำลองสีดังนี้ รงค์ (Hue) ความอิ่มตัว (Saturation) ความสว่าง (Lightness หรือ Intensity) ซึ่งแบบจำลองสี HSL จะเป็นดังรูปที่

2.3



รูปที่ 2.3 แบบจำลองสี HSL

การนำแบบจำลองสี HSL มาใช้นั้นต้องแปลงค่าจาก แบบจำลองสี RGB เป็น HSL ได้ดังสมการที่

2.2

$$H = \begin{cases} 0, & \text{if } \max(r,g,b) = \min(r,g,b) \\ 60^\circ \times \frac{g-b}{\max(r,g,b) - \min(r,g,b)} + 0^\circ, & \text{if } \max(r,g,b) = r \text{ and } g \geq b \\ 60^\circ \times \frac{g-b}{\max(r,g,b) - \min(r,g,b)} + 360^\circ, & \text{if } \max(r,g,b) = r \text{ and } g < b \\ 60^\circ \times \frac{b-r}{\max(r,g,b) - \min(r,g,b)} + 120^\circ, & \text{if } \max(r,g,b) = g \\ 60^\circ \times \frac{r-g}{\max(r,g,b) - \min(r,g,b)} + 240^\circ, & \text{if } \max(r,g,b) = b \end{cases}$$

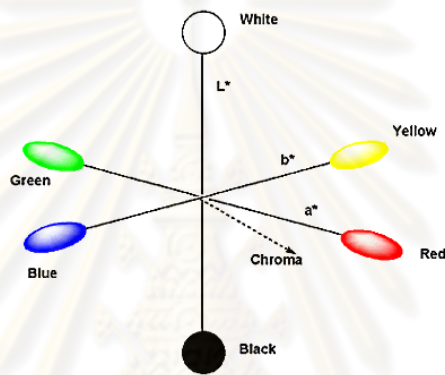
$$S = \begin{cases} 0, & \text{if } \max(r,g,b) = \min(r,g,b) \\ \frac{\max(r,g,b) - \min(r,g,b)}{\max(r,g,b) - \min(r,g,b)}, & \text{if } L \leq 1/2 \\ \frac{2L}{2 - 2L}, & \text{if } L > 1/2 \end{cases}$$

$$L = \frac{1}{2}(\max(r,g,b) + \min(r,g,b))$$

สมการที่ 2.2 การแปลงค่าสีจากแบบจำลองสี RGB เป็น HSL

2.1.4 แบบจำลองสี CIE L*a*b*

แบบจำลองสี CIE L*a*b* เป็นแบบจำลองสีที่ถูกคิดค้นขึ้นมาโดย Commission Internationale d'Eclairage (CIE) แบบจำลองสีนี้ถูกออกแบบมาเพื่อแทนสีให้ใกล้เคียงกับประสาทสัมผัสของมนุษย์โดยมีองค์ประกอบ 3 อย่าง คือ L* บ่งบอกถึงความสว่าง (Luminosity) ได้แก่สีขาวไล่ระดับจนถึงสีดำ a* และ b* จะบ่งบอกถึงความเป็นสี (Chromaticity) ซึ่ง a*, b* เป็นชื่อแกน โดยที่ +a* แสดงถึงทิศทางของความเป็นสีแดง -a* แสดงถึงทิศทางความเป็นสีเขียว +b* แสดงถึงทิศทางความเป็นสีเหลือง -b* แสดงถึงทิศทางความเป็นสีฟ้า และที่จุดกำเนิด (Origin) เป็นสีเทา ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แบบจำลองสี CIE L*a*b*

การนำแบบจำลองสี CIE L*a*b* มาใช้นั้นต้องแปลงค่าจาก แบบจำลองสี RGB เป็น CIE XYZ โดยใช้สมการที่ 2.3 แล้วจึงแปลงแบบจำลองสี CIE XYZ เป็น CIE L*a*b* อีกขั้นตอนหนึ่งดังสมการที่ 2.4

$$r = R / 255$$

$$g = G / 255$$

$$b = B / 255$$

$$[X \ Y \ Z] = [r \ g \ b][M]$$

สมการที่ 2.3 การแปลงค่าสีจากแบบจำลองสี RGB เป็น CIE XYZ

$$L^* = 116f_y - 16$$

$$a^* = 500(f_x - f_y)$$

$$b^* = 200(f_y - f_z)$$

where

$$f_x \begin{cases} \sqrt[3]{x_r}, & x_r > \varepsilon \\ \frac{\kappa x_r + 16}{116}, & x_r \leq \varepsilon \end{cases} \quad \begin{aligned} x_r &= \frac{X}{X_r} \\ y_r &= \frac{Y}{Y_r} \\ z_r &= \frac{Z}{Z_r} \end{aligned}$$

$$f_y \begin{cases} \sqrt[3]{y_r}, & y_r > \varepsilon \\ \frac{\kappa y_r + 16}{116}, & y_r \leq \varepsilon \end{cases}$$

$$f_z \begin{cases} \sqrt[3]{z_r}, & z_r > \varepsilon \\ \frac{\kappa z_r + 16}{116}, & z_r \leq \varepsilon \end{cases} \quad \begin{aligned} \varepsilon &= 0.008856 \\ \kappa &= 903.3 \end{aligned}$$

เมื่อ X_r, Y_r, Z_r เป็นค่าอ้างอิงที่ขึ้นกับสีขาวที่ใช้อ้างอิง (Reference White)

สมการที่ 2.4 การแปลงค่าสีจากแบบจำลองสี CIE XYZ เป็น CIE L*a*b*

เนื่องจาก CIE XYZ เป็นแบบจำลองสีซึ่งพัฒนามาจากการทดลองเกี่ยวกับการมองเห็นของตามนุษย์ ค่าของเมทริกซ์ M ในสูตรที่ 2.3 จะแตกต่างกันไปตามการกำหนดค่า RGB ของแต่ละกลุ่มผู้ใช้ (RGB Working Space) และสีขาวที่ใช้อ้างอิง (Reference White) ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างค่าของเมทริกซ์ M ต่าง ๆ

RGB Working Space	Reference White	RGB to XYZ [M]		
Adobe RGB (1998)	D65	0.576700	0.297361	0.0270328
		0.185556	0.627355	0.0706879
		0.188212	0.0752847	0.991248
sRGB	D65	0.412424	0.212656	0.0193324
		0.357579	0.715158	0.119193
		0.180464	0.0721856	0.950444
WideGamut	D50	0.716105	0.258187	0.000000
		0.100930	0.724938	0.0517813
		0.147186	0.0168748	0.773429

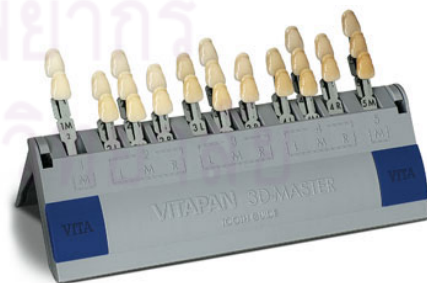
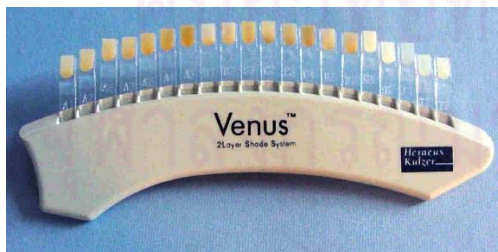
2.2 ขั้นตอนการผลิตฟันเทียม [17]

ขั้นการผลิตฟันเทียมนั้นสามารถแบ่งได้ออกเป็นสองส่วนใหญ่ ๆ คือ ขั้นตอนที่เกิดขึ้นโดยทันตแพทย์ และขั้นตอนที่เกิดขึ้นโดยช่างทันตกรรม

2.2.1 ขั้นตอนที่เกิดขึ้นโดยทันตแพทย์

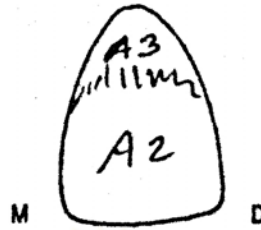
หลังจากที่ทันตแพทย์ตกแต่งฟันของคนไข้ที่ต้องการจะทำฟันเทียมเรียบร้อยแล้ว ทันตแพทย์จะพิมพ์ปากขั้นสุดท้าย (Final Impression) เมื่อได้รอยพิมพ์แล้วก็จะนำรอยพิมพ์นั้นไปเทปูนเพื่อขึ้นรูปแล้วส่งให้ช่างทันตกรรมเพื่อสร้างขึ้นฟันเทียมที่มีรูปร่างที่ถูกต้องสวยงามโดยพิจารณาจากลักษณะของฟันข้างเคียงและฟันคู่สบในขั้นตอนของช่างทันตกรรมต่อไป และขั้นตอนสำคัญอีกอย่างหนึ่งที่ทันตแพทย์จะต้องทำก็คือการเลือกสีฟันเทียม การเลือกสีฟันเทียมสามารถทำได้สองวิธีคือการเลือกสีด้วยตาเปล่าโดยใช้ชุดเทียบสีฟันเทียมที่เป็นมาตรฐานเฉพาะของแต่ละบริษัทดังตัวอย่างในรูปที่ 2.5 และการเลือกสีโดยใช้เครื่องมือ วิธีการเลือกสีด้วยตาเปล่าคือทันตแพทย์จะเทียบฟันที่ยังเหลืออยู่ในตำแหน่งสมมาตรกับฟันที่หายไป กับเฉดสีในชุดเทียบสีฟันเทียมที่ละเอียดซึ่งจะมีการกำหนดชื่อให้สีที่ใช้เป็นมาตรฐานในการเทียบแต่ละเฉดสี เช่น สี A1 สี A2 สี B3 เป็นต้น โดยระหว่างที่เปลี่ยนเฉดทันตแพทย์ต้องหันไปมองฉากที่มีสีฟ้าหรือเทาเพื่อปรับสภาพสายตาให้พร้อมสำหรับการแยกแยะอีกครั้งหนึ่ง แล้วบันทึกชื่อของแต่ละเฉดลงในรูปแบบของภาพวาดของฟันซึ่งแบ่งบริเวณฟันออกเป็นสีต่าง ๆ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.6

สำหรับการเลือกสีฟันเทียมโดยใช้เครื่องมือช่วยอ่านค่าสีของฟันซึ่งได้ผลเป็นค่าของสีฟันบริเวณนั้นออกมา และบางเครื่องมือจะระบุชื่อของเฉดสีของชุดเทียบสีฟันมาตรฐานของบริษัทนั้น ๆ โดยเครื่องมือที่ใช้คือ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometers) และคัลเลอร์มิเตอร์ (Colorimeters) ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 1



รูปที่ 2.5 ชุดเทียบสีฟันเทียม

รายละเอียดของสีฟัน



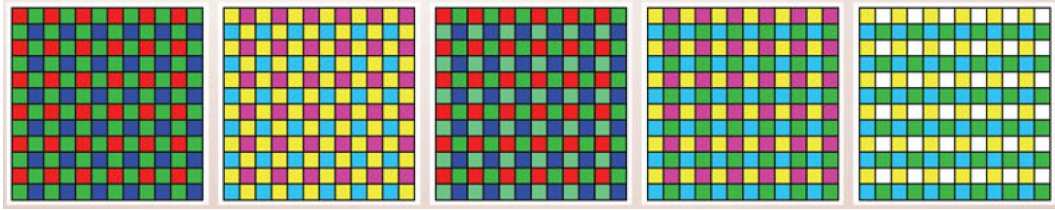
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างแผนภาพแสดงการกำหนดการกระจายของเฉดสี A2 และ A3 ในแต่ละบริเวณของซี่ฟัน (Shade Distribution Chart)

2.2.2 ขั้นตอนที่เกิดขึ้นโดยช่างทันตกรรม

เมื่อช่างทันตกรรมได้รับรอยพิมพ์ปากและรายละเอียดของการกำหนดสีฟันจากทันตแพทย์แล้ว ช่างทันตกรรมจะตัดปูนที่ขึ้นรูปจากรอยพิมพ์ส่วนที่จะทำฟันเทียมครอบทับมาแต่งด้วยซี่ผึ้งให้มีลักษณะเหมือนฟันจริงและตัดแต่งให้มีขนาดเล็กกว่าฟันจริงเล็กน้อย ขั้นตอนต่อมาคือนำซี่ผึ้งที่ได้ใส่ลงในปูนเพื่อเป็นแบบพิมพ์ของฟันเทียม จากนั้นนำโลหะมาเหวี่ยง (หล่อ) (Casting) ในแบบพิมพ์ที่ได้ ก็จะได้ครอบฟันที่มีรูปร่างคล้ายกับฟันจริง หลังจากนั้น ช่างทันตกรรมจะศึกษารายละเอียดของสีฟันในบริเวณต่าง ๆ จากแผนภาพแสดงการกระจายตัวของเฉดสี (Shade Distribution Chart) ดังรูปที่ 2.6 แล้วนำสีมาพอก (Bake) ทับโลหะนั้นและเผาเป็นชั้น ๆ จำนวน 3 ชั้น คือ ชั้นทึบแสง (Opaque Layer) ชั้นเนื้อฟัน (Dentin Layer) และชั้นเคลือบฟัน (Enamel Layer) เพื่อให้ได้สีตามที่ทันตแพทย์กำหนด เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนนี้ก็จะได้ฟันเทียมที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับฟันจริงมากทั้งสี ขนาด และรูปร่างของฟัน

2.3 การบันทึกข้อมูลภาพของกล้องดิจิทัล

การบันทึกข้อมูลภาพของกล้องดิจิทัลนั้นจะมีตัวรับรู้ (Sensor) ที่บรรจุอุปกรณ์ตรวจจับแสงหรือโฟโตไดโอด (Photodiode) อยู่จำนวนมาก ซึ่งโฟโตไดโอดนี้จะทำหน้าที่บันทึกปริมาณแสงที่ได้รับในแต่ละจุด เนื่องจากตัวโฟโตไดโอดเองนั้นจะไม่สามารถแยกแยะสีได้ เพื่อที่จะบันทึกภาพสีจึงต้องมีตัวกรอง (filter) กรองสีเพื่อให้โฟโตไดโอดแต่ละตัวรับรู้เฉพาะสีเพียง 1 สีเท่านั้น การเรียงตัวของตัวกรองจะมีรูปแบบต่างๆ ตามแต่ละบริษัทผู้ผลิตตั้งตัวอย่างในรูปที่ 2.7 เมื่อจบขั้นตอนการถ่ายภาพปริมาณแสงที่โฟโตไดโอดบันทึกได้จะถูกแปลงจากสัญญาณแบบแอนะล็อก (Analog) ให้เป็นสัญญาณแบบดิจิทัล (Digital) ด้วย ADC (Analog to Digital Converter) แล้วจึงนำไปเก็บไว้ในอุปกรณ์เก็บข้อมูล



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างการเรียงตัวของตัวกรองในรูปแบบต่างๆ [18]

ปัจจัยที่มีความสำคัญเกี่ยวกับการประมวลผลภาพสีสำหรับกล้องดิจิทัลมี 2 ปัจจัยดังต่อไปนี้

2.3.1 ไดนามิคเรนจ์ (Dynamic range)

ไดนามิคเรนจ์ของกล้องดิจิทัล คือ ส่วนต่างของปริมาณแสงที่มากที่สุดที่โฟโตไดโอดในตัวรับรู้ (Sensor) สามารถรับได้ กับปริมาณแสงที่น้อยที่สุดที่สามารถรับได้ ซึ่งค่านี้ขึ้นอยู่กับความจุในการรับแสงของโฟโตไดโอด ยกตัวอย่างเช่น ถ้าโฟโตไดโอดมีความจุน้อยได้รับแสงที่มีปริมาณมากกว่าความจุที่โฟโตไดโอดสามารถรับได้ ค่าที่อ่านได้จากโฟโตไดโอดตัวนั้นก็จะมีค่าเท่ากับความจุที่โฟโตไดโอดมี นั่นคือไม่สามารถเก็บรายละเอียดความแตกต่างของแสงที่มีปริมาณเกินกว่าความจุของโฟโตไดโอดได้ ซึ่งปัจจัยนี้จะเป็นปัจจัยที่บ่งบอกว่ากล้องนั้นสามารถบันทึกรายละเอียดของช่วงสีที่ต้องการนำมาประมวลผลได้หรือไม่

2.3.2 โทนัลเรนจ์ (Tonal range)

โทนัลเรนจ์ของกล้องดิจิทัล คือ จำนวนระดับของสัญญาณสีที่สามารถแสดงในไดนามิคเรนจ์ของกล้องนั้นๆ ค่าดังกล่าวนี้สามารถแสดงได้ด้วยขนาดของ ADC ตัวอย่างเช่น ADC ขนาด 8 บิต จะมีโทนัลเรนจ์ 256 ระดับ (2^8) ปัจจัยนี้เป็นปัจจัยที่บ่งบอกถึงความละเอียดที่กล้องนั้นสามารถแยกแยะความแตกต่างของสีที่จะนำมาประมวลผลได้ละเอียดเท่าใด

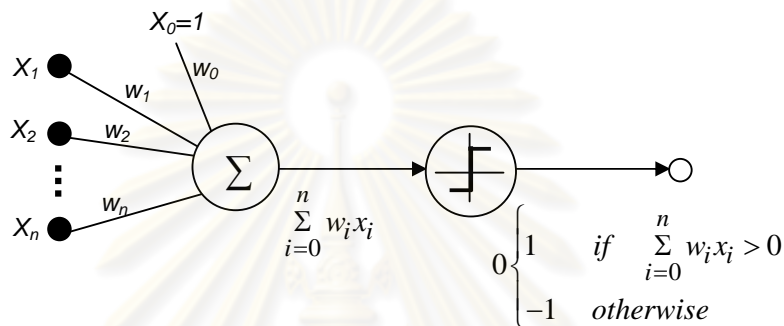
2.4 ข่ายงานประสาทเทียม (Artificial Neural Network) [19]

การเรียนรู้โดยใช้ข่ายงานประสาทเทียมนั้น มีประสิทธิภาพในการประมาณค่าข้อมูลทั้งที่เป็นจำนวนจริง (Real-Valued) ค่าที่เป็นจำนวนวิฤต (Discrete-Valued) และค่าที่เป็นเวกเตอร์ (Vector-Valued) ของฟังก์ชันที่ต้องการ ข่ายงานประสาทเทียมนี้สามารถทำงานได้ดีกับข้อมูลได้หลากหลายประเภทรวมถึงข้อมูลที่มีสิ่งรบกวน และข้อมูลที่รับมาจากตัวรับรู้ (Sensor) ที่มีความซับซ้อน เช่น กล้องถ่ายภาพ หรือไมโครโฟน เพื่อที่จะเข้าใจการทำงานของข่ายงานประสาทเทียมได้ง่ายขึ้น การอธิบายจะถูกแบ่งออกเป็นสามส่วนใหญ่ๆ คือ เพอร์เซปตรอนส์ (Perceptrons) ซึ่งเป็นหน่วยพื้นฐานที่มีความซับซ้อนน้อยที่สุดของข่ายงานประสาทเทียม ขั้นตอนการเรียนรู้ของข่ายงานประสาทเทียม ซึ่งจะอธิบายถึงวิธีในการเลือกค่าน้ำหนัก (Weight) ที่เหมาะสม และวิธีการเรียนรู้

แบบแพร่ย้อนกลับ (Backpropagation) ซึ่งเป็นข่างานประสาทเทียมที่มีความสามารถในการเรียนรู้และประมาณค่าของปัญหาที่มีความซับซ้อน

2.4.1 เพอร์เซปตรอนส์ (Perceptrons)

เพอร์เซปตรอน ดังรูป 2.8 นำเข้าข้อมูลที่เป็นเวกเตอร์ของจำนวนจริง จากนั้นคำนวณผลรวมเชิงเส้น (Linear Combination) ของข้อมูลนำเข้า (Inputs) เหล่านั้น แล้วจึงให้คำตอบเป็น 1 เมื่อผลลัพธ์มีค่าเกินค่าขีดแบ่ง หรือเป็น -1 ในกรณีอื่นๆ



รูปที่ 2.8 เพอร์เซปตรอน (Perceptron) [19]

เพอร์เซปตรอนสามารถแสดงได้ในรูปของสมการได้ดังสมการที่ 2.5 โดยที่ x_i คือข้อมูลนำเข้าตัวที่ i และ w_i คือน้ำหนัก (Weight) ที่ใช้ในการตัดสินความสำคัญของ ข้อมูลรับเข้าแต่ละตัว

$$o(x_1, \dots, x_n) = \begin{cases} 1 & \text{if } w_0 + w_1 x_1 + w_2 x_2 + \dots + w_n x_n > 0 \\ -1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.5)$$

เป้าหมายในการเรียนรู้ของเพอร์เซปตรอน และข่างานประสาทเทียมอื่นๆ นั้น คือการการเลือกค่าน้ำหนักที่ทำให้คำตอบของข่างานประสาทเทียมอื่นๆ ใกล้เคียงกับค่าที่เป็นค่าคำตอบของฟังก์ชันที่ต้องการมากที่สุด

2.4.2 ขั้นตอนการเรียนรู้ของข่างานประสาทเทียม

แม้ว่างานวิจัยนี้จะสนใจการเรียนรู้ของข่างานที่ประกอบไปด้วยส่วนย่อยหลายๆ ส่วน เพื่อง่ายต่อการทำความเข้าใจขั้นตอนของการเรียนรู้ของข่างานประสาทเทียม ในที่นี้จะอธิบายถึงขั้นตอนการเรียนรู้เพอร์เซปตรอนซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญของการเรียนรู้โครงข่ายที่ประกอบไปด้วยส่วนย่อยหลายๆ ส่วน การเรียนรู้ของเพอร์เซปตรอนนั้นเป็นการเรียนรู้เพื่อหาน้ำหนักที่เหมาะสมในการสร้างคำตอบ +1 หรือ -1 ของเพอร์เซปตรอนที่ถูกต้องสำหรับแต่ละตัวอย่างที่นำมาเรียนรู้ ขั้นตอนในการเรียนรู้ของเพอร์เซปตรอนเป็นดังนี้

- สุ่มค่าน้ำหนักเริ่มต้น
- สำหรับแต่ละตัวอย่างที่ใช้เรียนรู้
 - ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด
 - คำนวณหาคำตอบโดยใช้เพอร์เซปตรอน
 - เปลี่ยนค่าน้ำหนักโดยใช้สมการที่ 2.6

$$w_i \leftarrow w_i + \Delta w_i$$

$$\text{where } \Delta w_i = \eta(t - o)x_i \quad (2.6)$$

เมื่อ w_i คือ น้ำหนักแต่ละตัว

η คือ อัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) ซึ่งจะใช้ค่าที่น้อยๆ เช่น 0.1

t คือ ค่าตอบจริงที่ต้องการ

o คือ คำตอบที่ได้จากเพอร์เซปตรอน

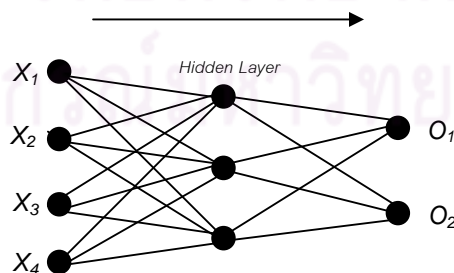
x_i คือ ค่านำเข้า

ซึ่งเงื่อนไขในการหยุดที่ใช้คือมีค่าความผิดพลาดรวมเป็นค่าศูนย์หรือทำไม่เกินจำนวนรอบที่กำหนด

จะเห็นได้ว่าการเรียนรู้ของเพอร์เซปตรอนนั้นจะน้ำหนักจะถูกเปลี่ยนแปลงไปทุกๆตัวอย่างที่รับเข้ามาเพื่อใช้ในการเรียนรู้ โดยแต่ละการเปลี่ยนแปลงนั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) ที่กำหนด

2.4.3 วิธีการเรียนรู้แบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Backpropagation Algorithm)

การใช้เฉพาะแค่การเรียนรู้โดยใช้เพอร์เซปตรอนเพียงตัวเดียวสามารถเรียนรู้ได้เพียงแต่พื้นผิวการตัดสินใจที่เป็นเชิงเส้น (Linear Decision Surface) การเรียนรู้ปัญหาที่ซับซ้อนขึ้นจะใช้ข่ายงานแบบหลายชั้น (Multilayer Network) ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนรับข้อมูล (Input) X_i ส่วนคำตอบ (Output) O_j และส่วนที่เป็น ชั้นซ่อน (Hidden Layer)



รูปที่ 2.9 ข่ายงานประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multilayer Network)

การเรียนรู้ของข่ายงานแบบหลายชั้นนั้นนิยมใช้วิธีการเรียนรู้แบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Backpropagation) ในการเรียนรู้ ซึ่งมีขั้นตอนวิธีดังนี้

- กำหนดลักษณะของข่ายงาน
- กำหนดน้ำหนักเริ่มต้นให้แต่ละหน่วยย่อย นิยมเลือกใช้ค่าระหว่าง -0.05 ถึง 0.05
- สำหรับแต่ละตัวอย่างที่ใช้ในการเรียนรู้
 - ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด
 - คำนวณหาค่าผลลัพธ์ของแต่ละหน่วยย่อย (Unit)
 - สำหรับแต่ละหน่วยย่อยที่เป็นคำตอบ (Output Unit) คำนวณหาค่าความผิดพลาดของแต่ละหน่วยย่อยที่เป็นคำตอบ δ_k ดังสมการที่ 2.7

$$\delta_k \leftarrow o_k(1-o_k)(t_k - o_k) \quad (2.7)$$

- สำหรับแต่ละหน่วยย่อยที่อยู่ในชั้นซ่อน (Hidden Unit) คำนวณหาค่าความผิดพลาดของแต่ละหน่วยย่อยในชั้นซ่อน δ_h ดังสมการที่ 2.8

$$\delta_h \leftarrow o_h(1-o_h) \sum_{k \in \text{outputs}} w_{kh} \delta_k \quad (2.8)$$

- เปลี่ยนแปลงน้ำหนักของแต่ละหน่วยย่อยดังสมการที่ 2.9

$$w_{ji} \leftarrow w_{ji} + \Delta w_{ji} \quad (2.9)$$

where $\Delta w_{ji} = \eta \delta_j x_{ji}$

2.5 วิธีการ Ordinary Kriging [20-21]

วิธีการ Ordinary Kriging เป็นวิธีการทางสถิติเชิงพื้นที่ (Spatial Statistics) ที่ใช้ในการประมาณค่าจุดบนการกระจายตัวของจุดที่เป็นเชิงพื้นที่ วิธีการ Ordinary Kriging นั้นมักถูกเรียกว่าเป็น ตัวประมาณเชิงเส้นที่ดีที่สุดและไม่มีความลำเอียง (Best Linear Unbiased Estimator) เนื่องจาก Ordinary Kriging นั้นเป็นตัวประมาณที่เป็นเชิงเส้น (Linear) เพราะการประมาณค่าของ Ordinary Kriging เป็นผลจากการถ่วงน้ำหนักแบบผลรวมเชิงเส้น (Linear Combination) ของจุดที่ทราบค่า นอกจากนี้ Ordinary Kriging ยังเป็นตัวประมาณที่ไม่มีความลำเอียง (Unbiased) เนื่องจากมันพยายามปรับให้ค่าน้ำหนักรวมเป็นหนึ่ง และค่าความผิดพลาด

ของการประมาณเป็นศูนย์ และอีกคุณสมบัติหนึ่งสำคัญคือการเป็นตัวประมาณที่ดีที่สุด (Best) เพราะวิธีการ Ordinary Kriging นั้นพยายามหาน้ำหนัก (λ) ที่เหมาะสมที่ทำให้ ค่าความแปรปรวนมีค่าน้อยที่สุด ขั้นตอนการทำ Ordinary Kriging มีดังนี้

กำหนดให้ $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ คือ เวกเตอร์บอกตำแหน่งของจุดที่เราทราบค่า
 $z(X_1), z(X_2), z(X_3), \dots, z(X_n)$ คือ ค่าของจุดนั้นๆ
 X_0 คือ จุดที่เราไม่ทราบค่า

วิธีการ Ordinary Kriging มีจุดประสงค์คือประมาณค่า $z(X_0)$ ด้วยค่าของ $\hat{Z}(X_0)$ จากสมการที่ 2.10

$$\hat{Z}(X_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(X_i) \quad (2.10)$$

เมื่อ λ_i คือน้ำหนักของจุด i วิธีการหาค่า $\hat{Z}(X_0)$ ที่เหมาะสมที่สุดคือพยายามหาน้ำหนักที่ทำให้ ค่า $\text{var}[\hat{Z}(X_0)]$ มีค่าน้อยที่สุด โดยพยายามให้สมการที่ 2.11 และ 2.12 เป็นจริง

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (2.11)$$

$$\text{var}[\hat{Z}(X_0)] = 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(X_i, X_0) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(X_i, X_j) \quad (2.12)$$

เมื่อ $\gamma(X_i, X_j)$ คือ Semivariance ของ Z ระหว่างจุด X_i กับจุด X_j ในการคำนวณหาค่า Semivariance นั้นสามารถคำนวณได้จากแบบจำลอง Variogram ซึ่งตัวอย่างของแบบจำลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือแบบจำลอง Spherical Variogram ซึ่งมีสมการที่ 2.13 คือสมการมาตรฐานของแบบจำลอง

$$\gamma(h) = \begin{cases} \frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} & ; h \leq a \\ 1 & ; \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.13)$$

เมื่อ h คือ ระยะทางระหว่างสองจุด

a คือ พิสัย (Range) ของแบบจำลอง

บทที่ 3

อุปสรรคสำคัญเบื้องต้นในงานวิจัย

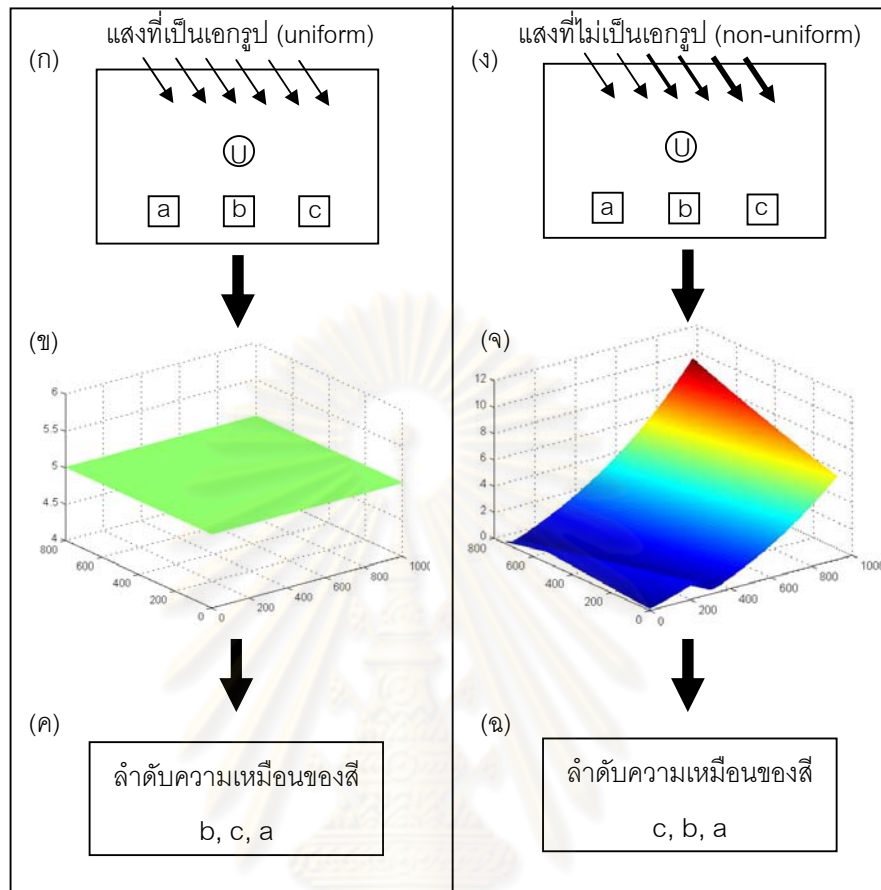
ความไม่เสถียรของแสงและความไม่เป็นเอกรูปของการตกกระทบของแสงเป็นอุปสรรคหลักที่พบในงานวิจัยนี้ อุปสรรคดังกล่าวทำให้ความถูกต้องในการกำหนดสีพื้นด้วยภาพถ่ายดิจิทัลลดลง ในบทนี้จะอธิบายถึงรายละเอียดและแนวทางการแก้ไขปัญหาความไม่เสถียรของแสงตกกระทบ และปัญหาความไม่เป็นเอกรูปของการตกกระทบของแสง ตลอดจนรายละเอียดของมาตรวัดที่ใช้ในการแสดงการเกิดขึ้นของปัญหาในการกำหนดสีพื้นด้วยภาพถ่ายดิจิทัล

3.1 ความไม่เสถียรของแสงตกกระทบ (Instability of Incident Light)

ความไม่เสถียรของแสงตกกระทบเกิดจากการที่ปริมาณแสงจากแหล่งกำเนิดแสงไม่คงที่ตลอดเวลา ทำให้ภาพที่เก็บในเวลาต่างกัันมีปริมาณแสงและลักษณะการตกกระทบของแสงในบริเวณหนึ่งๆ ต่างกัน เนื่องจากปัญหาลักษณะนี้อยู่นอกเหนือการควบคุมปัจจัยในการถ่ายภาพ แม้ว่าจะควบคุมการวัดแสงและสภาวะแวดล้อมให้เหมือนกัน ก็ทำให้ภาพที่ถ่ายในเวลาต่างกัันไม่เหมือนกันได้ จึงทำให้การกำหนดสีพื้นด้วยภาพถ่ายดิจิทัลจำเป็นต้องกระทำภายในภาพถ่ายเดียวไม่สามารถนำภาพที่ถ่ายต่างเวลากันมาเปรียบเทียบกันได้แม้ว่าจะถ่ายในเวลาใกล้เคียงกันก็ตาม

3.2 ความไม่เป็นเอกรูปของการตกกระทบของแสง (Non-Uniform Light Incidence)

ความไม่เป็นเอกรูปของการตกกระทบของแสงเป็นปัญหาสำคัญต่อการเปรียบเทียบสี โดยเฉพาะกับการเปรียบเทียบสีที่คู่เปรียบมีสีแตกต่างกันน้อยมาก ความแตกต่างของปริมาณการตกกระทบของแสงในแต่ละพื้นเป็นสาเหตุให้ค่าสีของวัตถุที่อยู่ต่างบริเวณกันเปลี่ยนไปไม่เท่ากัน ค่าสีของวัตถุในแต่ละบริเวณซึ่งเปลี่ยนแปลงไม่เท่ากันนั้นทำให้ระยะห่างระหว่างค่าสีของพื้นที่ต้องการกำหนดสีกับสีมาตรฐานแต่ละสีเปลี่ยนแปลงไปด้วย ปรากฏการณ์นี้เป็นผลให้ความแม่นยำในการเปรียบเทียบสีลดลงดังแสดงใน รูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ผลจากความไม่เป็นเอกกรุปของการตกกระทบของแสง

จากรูปที่ 3.1 ให้ a, b และ c แทน สีมาตรฐาน

U แทน สีที่ต้องการนำมาเปรียบคู่สีกับสีมาตรฐาน

รูปที่ 3.1 แสดงผลจากความไม่เป็นเอกกรุปของการตกกระทบของแสงจะเห็นได้ว่าเมื่อวัตถุที่ต้องการนำมาเปรียบคู่สีได้รับแสงแบบเป็นเอกกรุป (รูปที่ 3.1 (ก)) ซึ่งแสดงได้ด้วยแบบจำลองการตกกระทบของแสงรูปที่ 3.1 (ข) ค่าความต่างสีของวัตถุแต่ละชิ้นจะยังเหมือนกับลำดับความเหมือนของสี (รูปที่ 3.1 (ค)) ที่แท้จริงเนื่องจากค่าสีเปลี่ยนไปเท่าๆ กัน

ในทางตรงข้ามถ้าวัตถุที่ต้องการนำมาเปรียบคู่สีได้รับแสงไม่แบบไม่เป็นเอกกรุป (รูปที่ 3.1 (ง)) และมีการตกกระทบของแสงดังรูปที่ 3.1 (จ) ค่าความต่างสีของวัตถุแต่ละชิ้นจะเปลี่ยนไปไม่เท่ากันทำให้ลำดับความเหมือนของสีมีการเปลี่ยนแปลงไปจากความเป็นจริง

เพื่อลดปัญหาดังกล่าวจำเป็นต้องสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงในแต่ละบริเวณของภาพนั้นๆ เพื่อทำการปรับแก้ ซึ่งจุดมุ่งหมายของการปรับแก้คือการทำให้ทุกบริเวณในภาพมีการตกกระทบของแสงเป็นแบบเอกรูป

3.3 มาตรการวัด

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าภาพที่ถ่ายในสภาพแวดล้อมที่ควบคุมเดียวกันจะมีลำดับความเหมือนของสีเหมือนกันถ้าแสงตกกระทบมีความเสถียร และในภาพทุกภาพต้องมีลำดับความเหมือนของสีเหมือนกันถ้าการตกกระทบของแสงเป็นเอกรูป ดังนั้นจะเห็นว่าลำดับความเหมือนของสีสามารถแสดงความไม่เสถียรของแสงตกกระทบ และความไม่เป็นเอกรูปของการตกกระทบของแสงได้ งานวิจัยนี้จึงเสนอมาตรการวัดที่แสดงความไม่ต้องการกันของลำดับที่ชื่อว่าการวัดความไม่ต้องการกันของลำดับความเหมือนของสี (Inconsistency of Color-Similarity Ranks) ซึ่งใช้ระยะห่างของการสลับลำดับ (Sequence Swapping Distance) เป็นพื้นฐานในการวัดความเหมือนของลำดับ

3.3.1 ความไม่ต้องการกันของลำดับความเหมือนของสี

ความไม่ต้องการกันของลำดับความเหมือนของสี (Inconsistency of Color-Similarity Ranks) เป็นการวัดความปริมาณความแตกต่างของลำดับความเหมือนของสีของแต่ละภาพในเซตรูปภาพที่มีการจัดแสงในแบบต่าง ความไม่ต้องการกันของลำดับความเหมือนของสีอาศัยแนวคิดที่ว่า “ในการเทียบความเหมือนของวัตถุใดๆ กับชุดสีมาตรฐานชุดใดๆ จะมีเพียงลำดับความเหมือนของสี (Color-Similarity Rank) ที่แท้จริงเพียงหนึ่งลำดับเท่านั้น” ซึ่งลำดับความเหมือนของสีของรูปภาพแต่ละภาพสามารถหาได้จากสมการที่ 3.1

$$\text{color_similarity_rank} = a_1, a_2, a_3, \dots, a_n \quad (3.1)$$

เมื่อ $\text{diff}(U, a_i) < \text{diff}(U, a_{i+1})$

และ $\text{diff}(x, y)$ คือ ความแตกต่างของสี x และสี y

U คือ สีของวัตถุใดๆ

a_i คือ สีมาตรฐาน

ค่าความไม่ต้องการกันของลำดับความเหมือนของสีสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.2

$$\text{inconsistency of color_similarity_rank} = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \text{dist}(i, j)}{n(n-1)} \quad (3.2)$$

เมื่อ n คือ จำนวนของภาพในเซตรูปภาพ
 $dist(i, j)$ คือ ความแตกต่างของลำดับความเหมือนของสี
 ของภาพ i และภาพ j

ค่าความไม่ต้องการของลำดับความเหมือนของสีมีค่าเป็นค่าศูนย์ก็ต่อเมื่อภาพทุกภาพมีลำดับความเหมือนของสีเหมือนกัน

การวัดความแตกต่างของลำดับความเหมือนของสีในงานวิจัยนี้เลือกใช้ระยะห่างของการสลับลำดับ (Sequence Swapping Distance) ซึ่งจะอธิบายต่อไปในหัวข้อ 3.3.2 เป็นตัววัดความแตกต่าง ($dist(i, j)$)

ค่าความไม่ต้องการของลำดับความเหมือนของสีสามารถใช้แสดงความไม่เสถียรของแสงตกกระทบโดยการถ่ายภาพที่ประกอบด้วยสีที่ไม่รู้ค่า (Unknown Color) กับชุดสีมาตรฐาน (Reference Color) ในเวลาใกล้เคียงกันหลายๆ ภาพโดยความคุมแสงให้คงที่ในทุกภาพ จากนั้นวัดลำดับความเหมือนของสี (Color-Similarity Rank) ของแต่ละภาพ แล้วนำลำดับดังกล่าวมาหาคำนวนหาค่าความไม่ต้องการของลำดับความเหมือนของสี ค่าดังกล่าวจะแสดงถึงความไม่เสถียรของแสงตกกระทบที่เกิดจากการถ่ายภาพคนละเวลาเนื่องจากถ้าแสงตกกระทบมีความเสถียรค่าดังกล่าวจะเป็นค่าศูนย์ ในทำนองเดียวกันค่าความไม่ต้องการของลำดับความเหมือนของสียังสามารถใช้แสดงความไม่เป็นเอกรูปของแสงตกกระทบได้ด้วยเพราะว่าถ้าการตกกระทบของแสงเป็นเอกรูปค่าความไม่ต้องการของลำดับความเหมือนของสีต้องเป็นค่าศูนย์เช่นกัน ซึ่งหมายถึงลำดับความเหมือนของสีของแต่ละภาพต้องเหมือนกัน

นอกจากนี้ค่าความไม่ต้องการของลำดับความเหมือนของสียังถูกใช้เป็นตัววัดประสิทธิภาพของการปรับเทียบแสง (Light Calibration) ในงานวิจัยนี้อีกด้วย ซึ่งการปรับเทียบแสงที่ดีนั้นคือการปรับเทียบแสงที่สามารถทำให้ค่าความไม่ต้องการของลำดับความเหมือนของสีเข้าสู่ค่าศูนย์ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือไม่ว่าสภาพแสงเป็นอย่างไร การปรับเทียบแสงที่มีประสิทธิภาพจะทำให้ลำดับความเหมือนของสีของภาพแต่ละภาพในเซตรูปภาพเป็นลำดับเดียวกัน

3.3.2 ระยะห่างของการสลับลำดับ

ระยะห่างของการสลับลำดับ (Sequence Swapping Distance, SSD) เป็นค่าที่บอกว่าลำดับคู่ที่ถูกนำมาเทียบกันนั้นมีความแตกต่างกันมากน้อยเท่าไร ระยะห่างนี้ได้ทำการปรับปรุงมาจากระยะห่างของ Damerau-Levenshtein ซึ่ง SSD นั้นจะคำนวณเฉพาะงานในการสลับสมาชิกตัวที่ติดกันของลำดับที่นำมาเทียบให้เหมือนกับลำดับที่ถูกเทียบ การคำนวณหาค่า SSD เป็นไปดังรหัสเทียมในตารางที่ 3.1 และตัวอย่างการคำนวณหาค่า SSD เป็นไปดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 รหัสเทียมแสดงการคำนวณหาค่าระยะห่างของการสลับลำดับ

Work = SSD(seq1, seq2)	
01	for (k = 0; k < seq1.Length; k++)
02	{score = 0;
03	if (seq1[k] != seq2[k])
04	{ runnum = 0;
05	do runnum++;
06	while (seq1[k] != seq2[k + runnum]);
07	for (swap = runnum; swap > 0; swap--)
08	{score++;
09	Swap(seq2[k + swap], seq2[k + swap - 1]) }
10	work = work + score; }
11	return work

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าระยะห่างของการสลับลำดับ

Seq1	Seq2	งาน	หมายเหตุ
"abc"	"bca"	-	ตัวอย่างที่ 1
	"bc <u>a</u> "	0	หา 'a' ใน Seq2
	"bac"	1	สลับ 'a' กับ 'c'
	"abc"	1	สลับ 'a' กับ 'b'
	งานรวม	2	SSD
"abc"	"cba"	-	ตัวอย่างที่ 2
	"cb <u>a</u> "	0	หา 'a' ใน Seq2
	"cab"	1	สลับ 'a' กับ 'b'
	"acb"	1	สลับ 'a' กับ 'c'
	"ac <u>b</u> "	0	หา 'b' ใน Seq2
	"abc"	1	สลับ 'b' กับ 'c'
	งานรวม	3	SSD

ลำดับคู่ใดๆ ที่จะนำมาคำนวณหาค่า SSD นั้นต้องมีสมาชิกเหมือนกัน แต่แตกต่างกันในการเรียงลำดับของสมาชิก

กรณีเลวร้ายที่สุด (Worst Case) ของ SSD คือ ลำดับที่ผกผันกัน (Inverse Sequence) ตัวอย่างเช่น ลำดับที่มีค่า SSD เทียบกับลำดับ 'abcdef' คือลำดับ 'fedcba' ซึ่งค่า SSD ที่แย่ที่สุดของลำดับคู่ใดๆ ที่มีจำนวนสมาชิก n ตัวสามารถหาได้จาก สมการที่ 3.3

$$\text{Worst case SSD} = \sum_{i=1}^{n-1} i = \frac{n(n-1)}{2} \quad (3.3)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

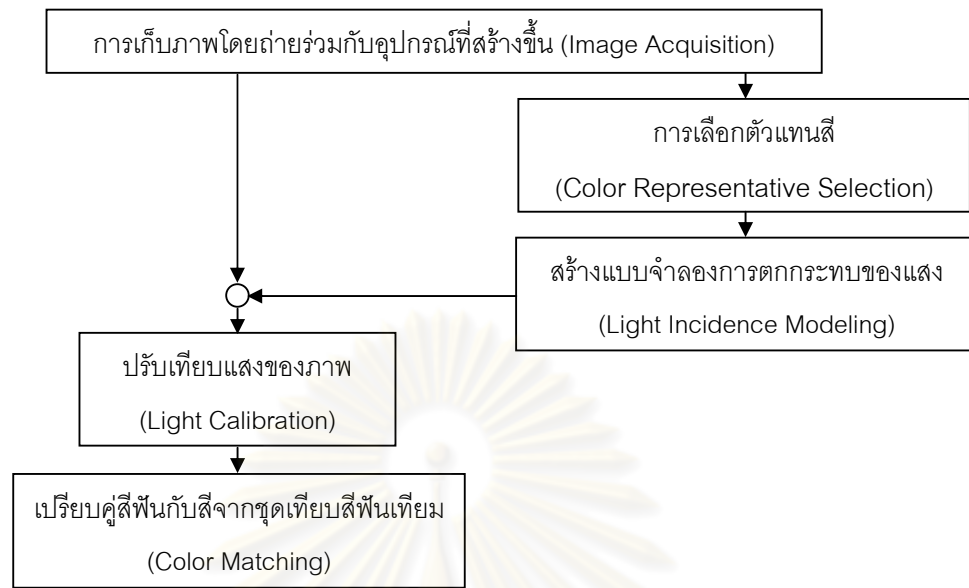
ขั้นตอนวิธีในการกำหนดสีพื้น

งานวิจัยนี้นำเสนอขั้นตอนวิธีในการกำหนดสีพื้นผ่านภาพถ่ายดิจิทัล โดยนำวิธีการทางการประมวลผลภาพ (Image Processing) มาช่วยแก้ปัญหา จุดประสงค์หลักของงานวิจัยคือเลือกสีที่ใช้ในการพิมพ์ให้มีใกล้เคียงกับสีของจริงมากที่สุด งานวิจัยนี้ได้ออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับการถ่ายภาพพื้นเพื่อแก้ปัญหาค่าความไม่เสถียรของแสง และช่วยลดความคลาดเคลื่อนในการเปรียบเทียบสี ขั้นตอนวิธีและอุปกรณ์ที่นำเสนอนี้เป็นขั้นตอนวิธีที่เป็นต้นแบบในการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการกำหนดสีพื้นด้วยภาพถ่ายดิจิทัลต่อไป ในบทนี้จะแบ่งการอธิบายออกเป็น ส่วนๆ ดังนี้

- 4.1 ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ (Proposed Algorithm)
 - 4.2 การเก็บภาพ (Image acquisition)
 - 4.3 การเลือกตัวแทนสี (Color Representative Selection)
 - 4.4 การสร้างแบบจำลองของการตกกระทบของแสง และการปรับเทียบแสงของภาพ (Light Incidence Modeling and Light Calibration)
 - 4.5 การเปรียบเทียบสี (Color Matching)
- โดยรายละเอียดของแต่ละหัวข้อมีดังนี้

4.1 ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ

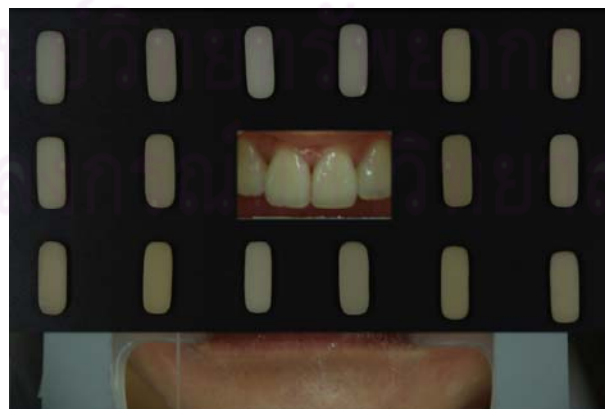
ขั้นตอนวิธีในการกำหนดสีพื้นเทียบที่นำเสนอเป็นดังแผนภาพในรูปที่ 4.1 โดยขั้นแรกต้องถ่ายภาพของพื้นที่ต้องการกำหนดสีคู่พร้อมกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับเทียบแสง และเปรียบเทียบสีเมื่อถ่ายภาพคู่กับอุปกรณ์ที่กำหนดให้แล้วภาพจะถูกนำมาเลือกตัวแทนสีของพื้นหลัง (Color Representative Selection) ตัวแทนของสีดังกล่าวจะถูกนำไปสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสง หลังจากนั้นใช้แบบจำลองการตกกระทบของแสงในการปรับเทียบแสง (Light Calibration) ของภาพเพื่อแก้ปัญหาค่าความไม่เป็นเอกรูปของการตกกระทบของแสง (Non-Uniform light Incidence) ภาพที่ได้รับการปรับเทียบแสงแล้วจะถูกนำมาใช้ในการเลือกตัวแทนสีของสีมาตรฐาน และสีของพื้นที่ต้องการกำหนดสี แล้วจึงนำตัวแทนสีเหล่านั้นไปทำการเปรียบเทียบสี (Color Matching) เพื่อกำหนดสีให้กับพื้น



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนวิธีในการกำหนดสีฟันเทียม

4.2 การเก็บภาพ (Image Acquisition)

ในงานวิจัยนี้จะทำการเก็บภาพของฟันที่ต้องการกำหนดสีคู่กับอุปกรณ์ในรูปที่ 4.2 ไว้ในภาพเดียวกันเพื่อแก้ปัญหาความไม่เสถียรของแสงตกกระทบ (Instability of Incident Light) อุปกรณ์นี้ประกอบด้วยแผ่นพื้นหลังที่มีสีเดียวซึ่งมีลักษณะเรียบและไม่เป็นมันเงาเพื่อใช้ในการปรับเทียบแสงและชิ้นงานพอร์ซเลนสีมาตรฐานที่ใช้การเทียบคู่สีฟันในการทำฟันเทียม งานวิจัยนี้ใช้พอร์ซเลนของบริษัท Noritake จำนวน 16 สี ประกอบด้วยสี A1, A2, A3, A3.5, A4, B1, B2, B3, B4, C1, C2, C3, C4, D2, D3, D4 และไม่รวมสีโปร่งแสง (Transparency)



รูปที่ 4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ถ่ายภาพร่วมกับฟันที่ต้องการกำหนดสี

งานวิจัยนี้เก็บภาพภายใต้การควบคุมสภาวะแวดล้อมโดยถ่ายในห้องปิดไฟมืด มีเพียงแสงไฟจากหลอดไฟ VITA-LITE 5500K สองชุด

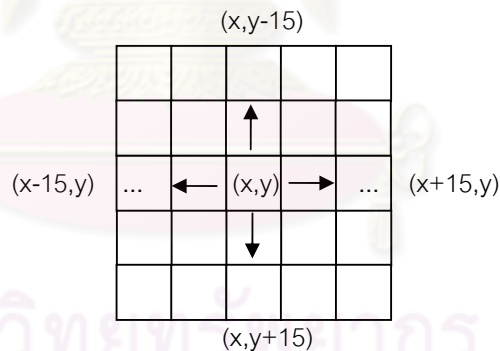
อุปกรณ์เก็บภาพคือกล้อง Nikon D300 DSLR พร้อมกับเลนส์ AF-S Micro NIKKOR 60mm f/2.8G ถ่ายภาพโดยการใส่รีโมทสั่งงาน บันทึกภาพด้วยแฟ้มข้อมูลชนิด RAW เพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาดจากการบีบอัดภาพ ภาพที่ได้มีขนาด 4288x2848 จุดภาพ (Pixels)

4.3 การเลือกตัวแทนสี (Color Representative Selection)

ภาพที่ถ่ายได้นั้นอาจมีสัญญาณรบกวนซึ่งเป็นจุดเล็กๆที่เกิดจากตัวรับรู้ (Sensor) ของกล้องทำงานไม่สมบูรณ์หรือสีของพื้นหลังที่ถ่ายไม่เป็นสีเดียวอย่างแท้จริง การเลือกตัวแทนสีโดยใช้แค่จุดสีเพียงจุดเดียวหรือค่าเฉลี่ยสีของพื้นที่อาจไม่ใช่ตัวแทนสีที่ถูกต้องของบริเวณนั้น ดังนั้นการเลือกตัวแทนสีของงานวิจัยนี้จึงเลือกตัวแทนสีไปพร้อมกับการกำจัดสัญญาณรบกวนเพื่อลดเวลาในการประมวลผลการกำจัดสัญญาณรบกวนในบริเวณที่ไม่ใช่บริเวณที่สนใจ

การเลือกตัวแทนสีของงานวิจัยนี้มีขั้นตอนดังนี้

1. เลือกจุด (x, y) ที่ต้องการหาค่าตัวแทนสีแล้วกำหนดบริเวณเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 31×31 จุดภาพ ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 บริเวณที่ใช้ในการคำนวณค่าตัวแทนสี

2. แยกคำนวณทีละ ช่องสี (Channel)

- คำนวณหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต μ (Mean) และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ (Standard Deviation)
- เลือกใช้เฉพาะจุดที่มีค่าอยู่ระหว่าง $\mu \pm 2\sigma$
- คำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิตของจุดที่ถูกเลือกให้เพื่อใช้เป็นตัวแทนสี

ค่าตัวแทนของสียังสามารถคำนวณได้จากสมการสมการที่ 4.1 ด้วย

$$\text{color representative of color value in channel } j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i^j \quad (4.1)$$

เมื่อ z_i^j คือค่าสีของช่องสีที่ j ของจุดสีที่ i ซึ่ง $\mu^j - 2\sigma^j \leq z_i^j \leq \mu^j + 2\sigma^j$
 n คือจำนวนของ z_i^j

4.4 การสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงและการปรับเทียบแสงของภาพ (Light Incidence Modeling and Light Calibration)

ขั้นตอนการปรับเทียบแสงของภาพเป็นขั้นตอนที่ช่วยลดความผิดพลาดในการเปรียบเทียบสีเนื่องจากเซตของสีที่นำมาเปรียบเทียบสีนั้นมีความแตกต่างกันน้อย การเปรียบเทียบสีโดยตรงอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้มากเนื่องจากปริมาณแสงที่ตกกระทบในแต่ละพื้นที่ไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นขั้นตอนนี้จึงเป็นขั้นตอนที่ช่วยลดปัญหาการตกกระทบของแสงแบบไม่สม่ำเสมอในพื้นที่แต่ละส่วนของภาพทำได้โดยการสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงในแต่ละบริเวณ แล้วนำมาปรับเทียบแสงในบริเวณต่างๆให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสง และการปรับเทียบแสงมีรายละเอียดดังนี้

4.4.1 การสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงโดยใช้วิธีการ Ordinary Kriging

งานวิจัยนี้เลือกใช้การสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงจากรูปภาพรูปเดียวกับที่ใช้ในการเทียบสี เพื่อลดปัญหาความไม่เสถียรของแสง (Instability of Incidence Light) ในแต่ละช่วงเวลา ดังนั้น การสร้างแบบจำลองจึงจำเป็นต้องใช้การประมาณค่าการตกกระทบของแสงในบริเวณที่มีพอร์ชเลนอยู่

การใช้วิธีการ Ordinary Kriging ในการสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงมีขั้นตอนดังนี้

1. เลือกจุดข้อมูลที่จะนำมาสร้างแบบจำลองจากพื้นที่หลังที่มีสีเดียวกันเพื่อให้จุดข้อมูลแต่ละจุดมีสมบัติในการตกกระทบและสะท้อนแสงคล้ายกัน การเลือกจุดเป็นดังภาพ 4.4 (ก) คือเลือกจุดจากบริเวณที่มีพอร์ชเลนอยู่โดยเลือกทุกๆ 100 จุด
2. คำนวณหาค่าตัวแทนสีของแต่ละจุดตามสมการที่ 4.1
3. นำข้อมูลจากแต่ละช่องสีมาสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงด้วยวิธีการ Ordinary Kriging ดังหัวข้อ 2.5 โดยกำหนด $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ คือ พิกัด (x, y) ของจุดสีบนภาพ

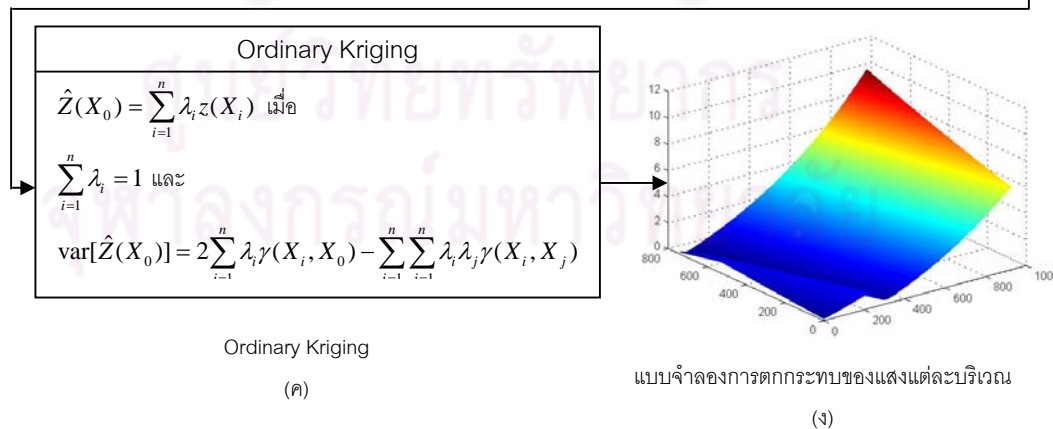
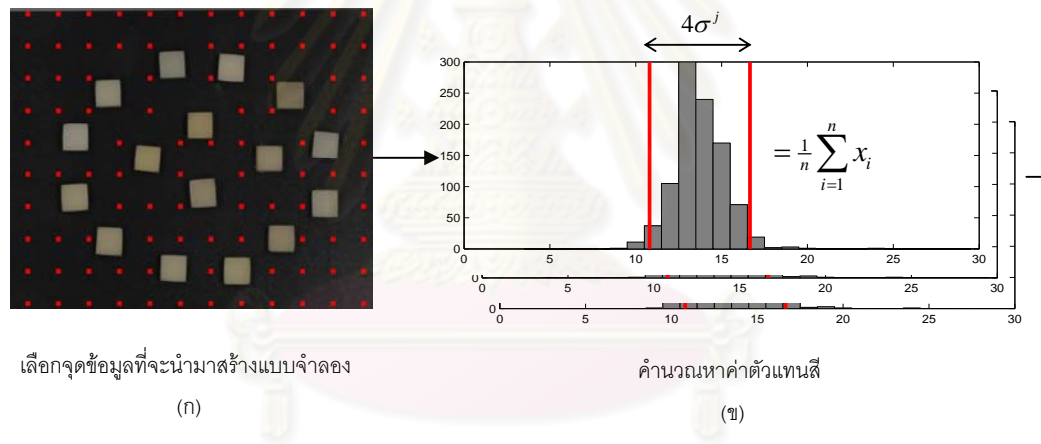
และ $z(X_1), z(X_1), z(X_1), \dots, z(X_n)$ คือ การตกกระทบของแสงแบบสัมพัทธ์ (Relative Incidence of Light) ของแต่ละช่องสี่ของจุดนั้นๆ ซึ่งหาได้จากค่าความต่างระหว่างค่าตัวแทนสี่ของจุดสี่ที่พิกัด (x, y) และค่าตัวแทนสี่ของจุดสี่ที่มีค่าน้อยที่สุดโดยแยกคิดแต่ละช่องสี่ดังสมการที่ 4.2

$$\text{relative incidence of light of } p(x, y)^i = p(x, y)^i - \min(P^i) \quad (4.2)$$

เมื่อ $p(x, y)^i$ คือ ค่าตัวแทนสี่ของช่องสี่ที่ i

P^i คือ เซตของจุดสี่ที่นำมาสร้างแบบจำลอง

4. สร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงโดยนำค่าพิกัดของทุกตำแหน่งในพื้นที่ที่สนใจ (Region of Interest) มาคำนวณหาค่า $\hat{Z}(X_0)$ จากวิธีการ Ordinary Kriging เพื่อหาค่าการตกกระทบของแสงแบบสัมพัทธ์ของจุดข้อมูลนั้นๆ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ของแบบจำลองดังรูปที่ 4.4 (ง)



รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงด้วยวิธีการ

Ordinary Kriging

4.4.2 การปรับเทียบแสงของภาพ (Light Calibration)

การปรับเทียบแสงของภาพสามารถทำได้โดยใช้แบบจำลองการตกกระทบของแสงจากหัดข้อที่ผ่านมาในการปรับเทียบ การปรับเทียบแสงนั้นสามารถทำได้ดังสมการที่ 4.3 ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับเทียบแสงจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.5

$$\text{color value}(x, y) = \text{color value}(x, y) - \hat{Z}(x, y) \quad (4.3)$$

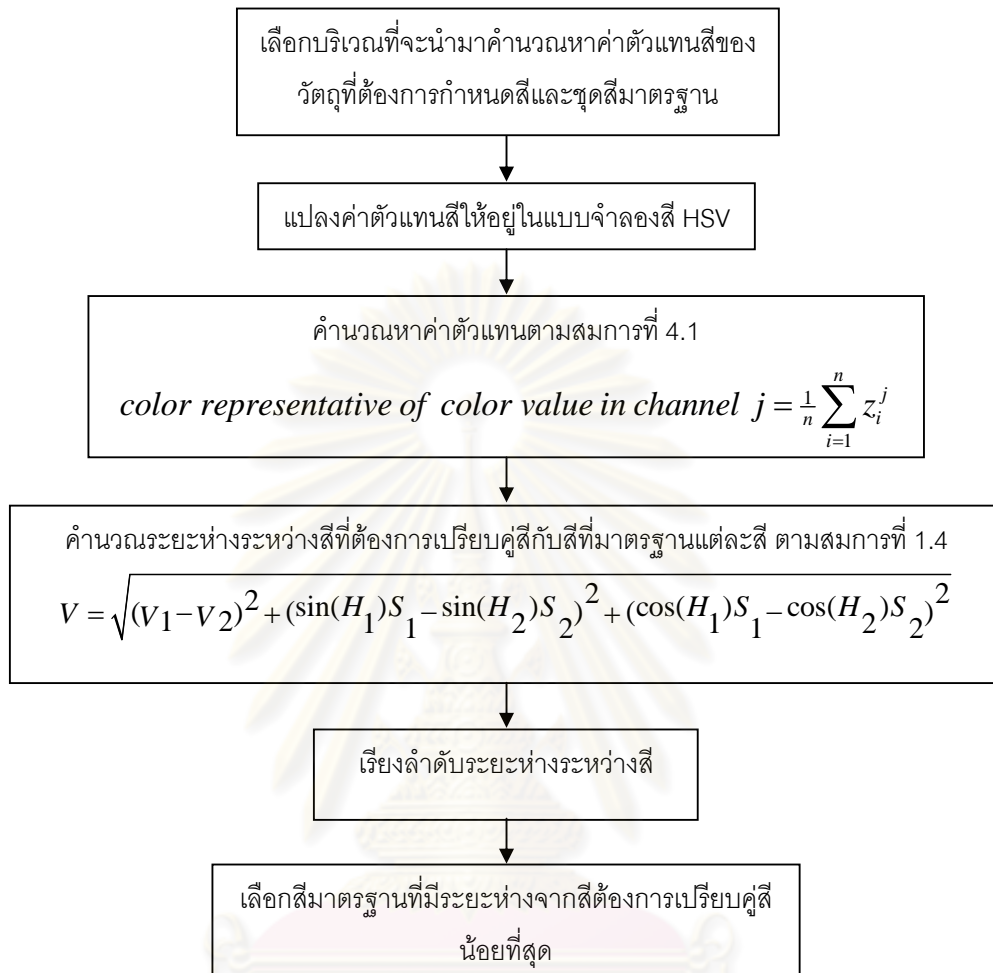
เมื่อ $\hat{Z}(x, y)$ คือ ค่าการตกกระทบของแสงแบบสัมพัทธ์ในแต่ละจุดที่ได้จากแบบจำลองการตกกระทบของแสง



รูปที่ 4.5 ภาพผลลัพธ์จากการปรับเทียบแสง

4.5 การเปรียบเทียบคู่สี (Color Matching)

การเปรียบเทียบคู่สีเป็นการหาสีมาตรฐานที่มีความแตกต่างกับสีพื้นที่ต้องการกำหนดสีน้อยที่สุด การเปรียบเทียบคู่สีทำโดยเลือกตัวแทนสีของวัตถุแต่ละชิ้นซึ่งงานวิจัยนี้เลือกตัวแทนสีตามสมการที่ 4.1 และเลือกใช้บริเวณกึ่งกลางของพอร์ซเลน แล้วเปรียบเทียบระยะห่างของค่าสีของตัวแทนสีนั้นๆ ในแบบจำลองสี HSV ด้วยระยะห่างแบบยูคลิดดังสมการที่ 1.4 แล้วคำนวณหาวัตถุที่มีระยะห่างน้อยที่สุด ขั้นตอนการเปรียบเทียบคู่สีเป็นไปดังแผนภาพในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ขั้นตอนการเปรียบเทียบสี

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

งานวิจัยนี้นำเสนอขั้นตอนในการกำหนดสีพื้นโดยใช้ภาพถ่ายดิจิทัล ในบทนี้ได้นำเสนอ โดยได้แบ่งการทดลองและผลการทดลองออกเป็น 3 ส่วนเพื่ออำนวยความสะดวกในการทำความเข้าใจ ส่วนแรก คือการทดลองเบื้องต้น เรื่องความเสถียรของแสงตกกระทบ (Instability of Incident Light) การเปรียบเทียบคู่สีและการปรับเทียบแสง อีกส่วนหนึ่งคือการทดลองใช้ขั้นตอนที่เสนอในงานวิจัยเพื่อกำหนดสีตัวแทนของพื้นซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้พอร์ชเลนที่รู้ค่าสีและส่วนสุดท้ายผลการทดสอบการกำหนดสีด้วยตามมนุษย์ โดยที่แต่ละส่วนได้อธิบายถึงข้อมูลที่ใช้ทดลอง วิธีทดลอง ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง ตามลำดับ

5.1 การทดลองเบื้องต้น

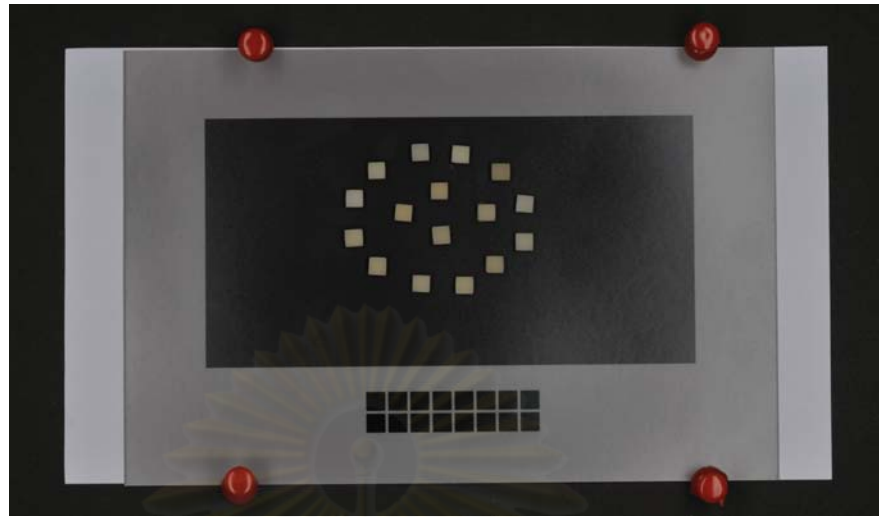
การทดลองเบื้องต้นนี้ประกอบด้วย การทดลอง 3 การทดลองย่อย คือ การทดลองเรื่อง ความเสถียรของแสงตกกระทบ การเปรียบเทียบคู่สีและการปรับเทียบแสง ซึ่งทั้งสามการทดลองมีส่วนสำคัญและนำไปสู่ขั้นตอนวิธีในการกำหนดสีพื้นที่นำเสนอในงานวิจัยนี้

5.1.1 การทดลองและผลการทดลองความเสถียรของแสงตกกระทบ

วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อแสดงการเกิดความไม่เสถียรของแสงตกกระทบแม้ว่าจะเก็บภาพในสภาวะที่มีการควบคุม หรือเก็บภาพในเวลาใกล้เคียงกันก็ตาม ในการทดลองนี้จะใช้ค่าความไม่ตรงกันของลำดับความเหมือนของสี (Inconsistency of Color-Similarity Ranks) เป็นค่าที่ใช้แสดงการเกิดความไม่เสถียรของแสงตกกระทบโดยยืนอยู่บนหลักการที่ว่า ถ้าแสงตกกระทบมีความเสถียร ลำดับความเหมือนของสีจากภาพแต่ละภาพที่เก็บในสภาวะเดียวกันจะต้องมีลำดับเหมือนกัน ดังนั้นถ้าเก็บภาพในสภาวะเดียวกันและในเวลาใกล้เคียงกัน เซตของรูปภาพดังกล่าวต้องมีค่าความไม่ตรงกันของลำดับความเหมือนของสีเป็นค่าศูนย์ รายละเอียดของการทดลองเป็นดังนี้

5.1.1.1 ข้อมูลภาพที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองนี้เก็บภาพของพอร์ชเลนที่เป็นเซตสีมาตรฐานจำนวน 16 สี ดังรูปที่ 5.1 โดยถ่ายภาพในห้องที่ปิดไฟมืดสนิทและใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดไฟ VITA-LITE จำนวนสีหลอด ดังการจัดสภาพแวดล้อมในการเก็บภาพเป็นดังรูปที่ 5.2 ถ่ายภาพโดยใช้กล้อง DSLR Nikon D300 และเลนส์ AF-S Micro NIKKOR 60mm f/2.8G เก็บภาพอัตโนมัติทุก 7 วินาทีด้วยเครื่องควบคุมระยะไกล (Remote Control) จำนวนสองเซต แต่ละเซตประกอบด้วยภาพทั้งหมด 50 ภาพ



รูปที่ 5.1 ภาพที่ใช้ในการทดลองความเสถียรของแสงตกกระทบ



รูปที่ 5.2 สภาพแวดล้อมในการเก็บภาพ

5.1.1.2 วิธีการทดลอง

ดังที่ได้กล่าวถึงแล้วว่า ถ้าแสงตกกระทบมีความเสถียร ลำดับความเหมือนของสีจากแต่ ละภาพที่เก็บในสภาวะเดียวกันต้องเหมือนกัน ดังนั้นการทดสอบความเสถียรของแสงตกกระทบใน งานวิจัยใช้ค่าความไม่ต่างกันของลำดับความเหมือนของสี ขั้นตอนการทดลองเป็นดังนี้

1. นำภาพแต่ละภาพในเซตรูปภาพมาคำนวณหาตัวแทนสี (Color Representative) ของพอร์ซเลนแต่ละชิ้นตามสมการที่ 4.1
2. นำค่าตัวแทนสีมาคำนวณหาลำดับความเหมือนของสี (Color-Similarity Ranks) ดังสมการที่ 3.1 โดยเลือกพอร์ซเลนชิ้นหนึ่งให้เป็นสีที่ไม่รู้ค่า และที่เหลือเป็นชุดสีมาตรฐาน
3. คำนวณหาค่าความไม่ตรงกันของลำดับความเหมือนของสี (ICSR-Inconsistency of Color-Similarity Ranks) ตามสมการที่ 3.2

5.1.1.3 ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าความไม่ตรงกันของลำดับความเหมือนของสีของเซตรูปภาพที่ทำการเก็บภาพในเวลาใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5.1 ค่าความไม่ตรงกันของลำดับความเหมือนของสีของเซตรูปภาพ

พอร์ซเลนที่ใช้ เป็นสีที่ไม่รู้ค่า	ICSR $\pm \sigma$	
	เซตรูปภาพที่ 1	เซตรูปภาพที่ 2
B ₁	2.8792 \pm 1.7570	2.9763 \pm 1.7688
A ₁	12.0441 \pm 5.8252	8.7347 \pm 3.9016
B ₂	18.1902 \pm 9.6695	15.1298 \pm 8.7146
D ₂	14.5845 \pm 8.0162	9.0106 \pm 6.1317
A ₂	11.3469 \pm 8.6343	6.8433 \pm 6.4935
C ₁	22.0016 \pm 13.5235	13.9404 \pm 9.3452
C ₂	27.4637 \pm 15.5116	19.4710 \pm 12.1169
D ₄	18.9510 \pm 13.0904	12.5853 \pm 9.0426
A ₃	18.6906 \pm 10.6619	15.0792 \pm 8.3461
D ₃	30.9739 \pm 17.5572	21.9045 \pm 12.9634
B ₃	27.94776 \pm 15.2129	19.8596 \pm 12.2492
A _{3.5}	40.8171 \pm 24.8171	26.4 \pm 17.0323
B ₄	20.9780 \pm 13.0378	13.6180 \pm 8.2084
C ₃	22.4841 \pm 13.8283	14.24 \pm 9.0052
A ₄	35.7584 \pm 23.7179	23.3233 \pm 15.482
C ₄	30.9976 \pm 24.4998	19.1755 \pm 1.7688

5.1.1.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าแต่ละเซตรูปภาพมีค่าความไม่ต้องการของลำดับความเหมือนของสีไม่เป็นค่าศูนย์แม้จะเก็บภาพในสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุมแสง และเก็บภาพในเวลาใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการตกกระทบของแสงมีความไม่เสถียร ทำให้ไม่สามารถทำการเปรียบเทียบของพอร์ชเลนที่มีสีใกล้เคียงกันโดยใช้รูปถ่ายหลายรูปได้

5.1.2 การทดลองและผลการทดลองการเปรียบเทียบคู่สี

การทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีด้วยแบบจำลองสีแบบต่างๆ ซึ่งวัดความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีจากความแตกต่างของสีในแบบจำลองสี RGB แบบจำลองสี CIE L*a*b* และ แบบจำลองสี HSV

ความถูกต้องจะดูจากความถูกต้องในการเลือกมาตรฐานว่าตรงกับพอร์ชเลนที่รู้สีหรือไม่ โดยใช้เกณฑ์คือเลือกสีมาตรฐานที่มีความแตกต่างจากสีที่ต้องการกำหนดน้อยที่สุด และสีมาตรฐานที่มีค่าความแตกต่างของสีต่างจากค่าความแตกต่างมาตรฐานที่มีความแตกต่างน้อยที่สุดเล็กน้อยโดยดูจากสมการที่ 5.1

$$\text{diff}(U, a_x) \leq \min_{i=1}^n (\text{diff}(U, a_i)) + 0.2\sigma_\Delta \quad (5.1)$$

เมื่อ
$$\sigma_\Delta = \text{stddev}(\text{diff}(U, a_i))$$

$\text{diff}(p, q)$ คือ ความแตกต่างของสี p และ q

U คือ สีของวัตถุที่ต้องการกำหนดสี

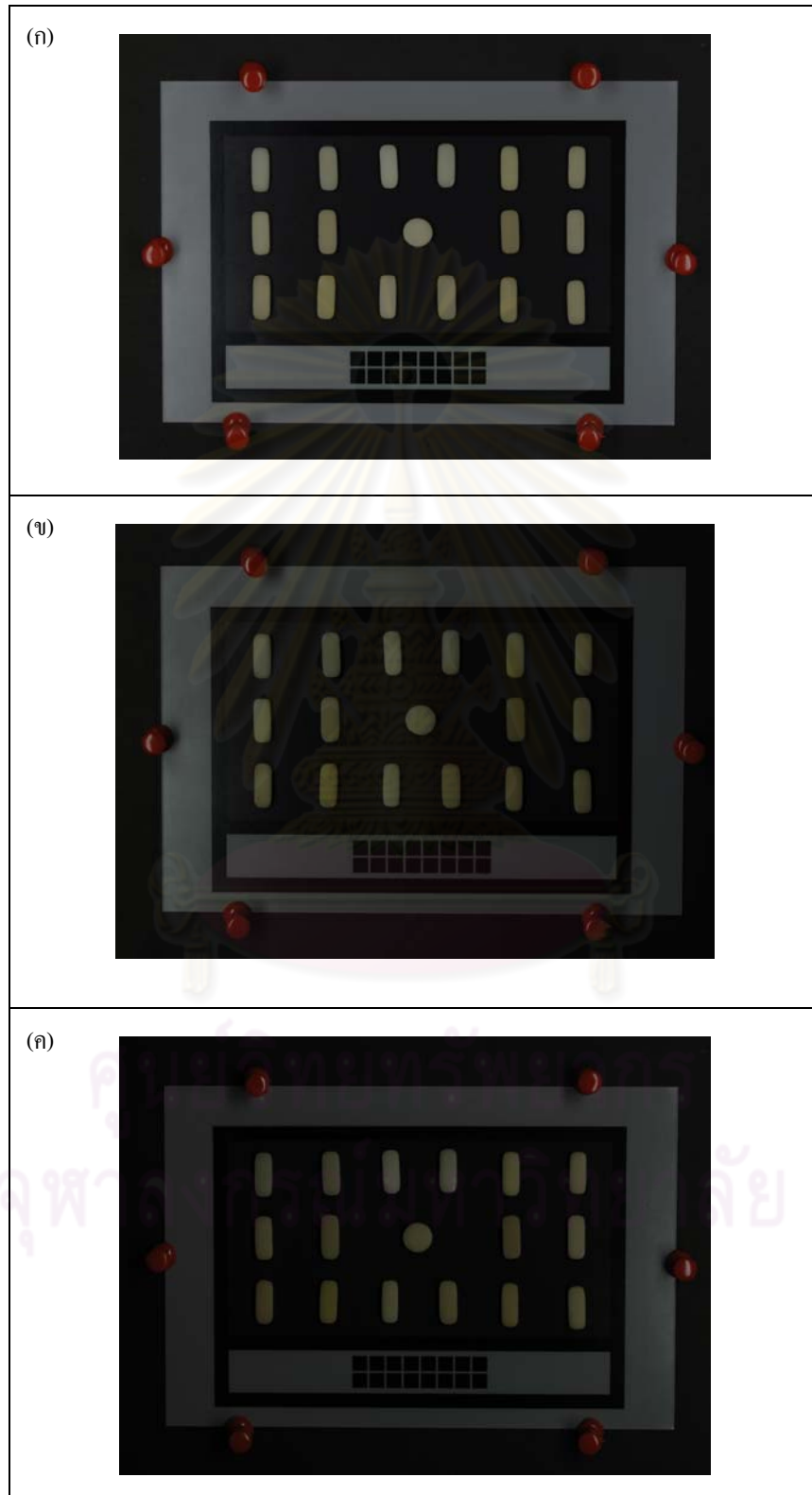
a_i คือ สีมาตรฐานที่ i

n คือ จำนวนสีมาตรฐาน

5.1.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองนี้เก็บภาพดังรูปที่ 5.3 ในห้องที่ปิดไฟมืดและจัดสภาพแวดล้อมเช่นเดียวกับการทดลองที่ 5.1 โดยแบ่งภาพออกเป็น 3 เซต คือเซตที่จัดแสงไฟแบบปกติ เซตที่เปิดเฉพาะไฟด้านขวาของภาพ และเซตที่เปิดเฉพาะไฟด้านซ้ายของภาพ ดังรูปที่ 5.3 (ก) (ข) และ (ค) ตามลำดับ

ภาพแต่ละเซตมี 32 ภาพ ภายในภาพประกอบด้วยพอร์ชเลนวงรีที่เป็นสีมาตรฐาน 16 สีและพอร์ชเลนวงกลมที่รู้สีทำหน้าที่เป็นวัตถุที่ต้องการกำหนดสี โดยการถ่ายภาพแต่ละครั้งต้องเปลี่ยนพอร์ชเลนวงกลมที่รู้สี 16 สีและถ่ายภาพซ้ำครั้งละ 2 ภาพ



รูปที่ 5.3 ภาพที่ใช้ในการทดลองการเปรียบเทียบคู่สี

5.1.2.2 วิธีการทดลอง

การทดลองการเปรียบเทียบคู่สีโดยใช้แบบจำลองสีแบบต่างๆ มีขั้นตอนการทดลองรายละเอียดดังนี้

1. นำภาพแต่ละภาพในเซตรูปภาพมากำหนดบริเวณที่จะคำนวณหาตัวแทนสีของพอร์ชเลนที่รู้สีและพอร์ชเลนสีมาตรฐาน

2. นำจุดสีในบริเวณในข้อ 1. มาแปลงปริภูมิสีแล้วคำนวณหาตัวแทนสีของบริเวณนั้นๆ โดยการทดลองถูกแบ่งเป็น 3 การทดลองย่อยดังนี้ การทดลองที่ใช้แบบจำลองสี RGB แบบจำลองสี CIE L*a*b* และแบบจำลองสี HSV

3. นำตัวแทนสีที่ได้มาคำนวณหาค่าความต่างของสีระหว่างพอร์ชเลนที่รู้สีกับพอร์ชเลนสีมาตรฐานแต่ละชั้นโดย

- แบบจำลองสี RGB คำนวณความต่างของสีด้วยระยะห่างแบบยูคลิดตามสมการที่ 1.3

- แบบจำลองสี CIE L*a*b* คำนวณความต่างของสีด้วยระยะห่างแบบยูคลิดตามสมการที่ 1.2

- แบบจำลองสี HSV คำนวณความต่างของสีด้วยระยะห่างแบบยูคลิดตามสมการที่ 1.4

4. หาสีมาตรฐานที่มีความต่างของสีกับพอร์ชเลนที่รู้สีน้อยที่สุด

$$diff(U, a_x) \leq \min_{i=1}^n (diff(U, a_i)) \text{ (เกณฑ์แบบเข้ม)}$$

5. หาสีมาตรฐานที่มีค่าความต่างของสีกับพอร์ชเลนที่รู้สีใกล้เคียงกับค่าความต่างของสีกับพอร์ชเลนที่รู้สีน้อยที่สุดโดยใช้สมการที่ 5.1 ที่สุด $diff(U, a_x) \leq \min_{i=1}^n (diff(U, a_i)) + 0.2\sigma_\Delta$ (เกณฑ์แบบผ่อนปรน)

5.1.2.3 ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.2 ถึง 5.4 แสดงความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีโดยใช้เกณฑ์ในการเปรียบเทียบคู่สี คือ เกณฑ์แบบเข้มและเกณฑ์แบบผ่อนปรน ของเซตรูปภาพที่ถ่ายโดยการจัดไฟแบบปกติ (เซตรูปภาพที่ 1) การจัดไฟแบบเปิดไฟเฉพาะด้านขวาของภาพ (เซตรูปภาพที่ 2) และการจัดไฟแบบเปิดไฟเฉพาะด้านซ้ายของภาพ (เซตรูปภาพที่ 3) ตามลำดับ รูปที่ 5.4 และ 5.5 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความถูกต้องในการเปรียบเทียบสีของแต่ละแบบจำลองสีในแต่ละเซตรูปภาพ โดยการใช้เกณฑ์ในการเปรียบเทียบคู่สีคือเกณฑ์แบบเข้มและเกณฑ์แบบผ่อนปรนตามลำดับ

ตารางที่ 5.2 ความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีของแต่ละแบบจำลองสีของเซตรูปภาพที่ 1 เปิดไฟปกติจำนวน 32 รูป

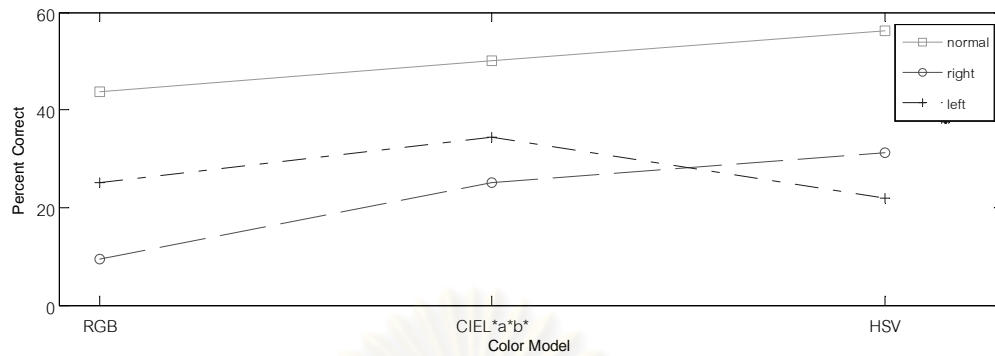
เกณฑ์ที่ใช้วัดความเหมือนของสี	จำนวนรูปที่กำหนดสีถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สี (ร้อยละ)		
	แบบจำลองสี RGB	แบบจำลองสี CIE L*a*b*	แบบจำลองสี HSV
เกณฑ์แบบเข้ม	14 (43.75)	16 (50.00)	18 (56.25)
เกณฑ์แบบอ่อนปรน	22 (68.75)	21 (65.63)	21 (65.63)

ตารางที่ 5.3 ความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีของแต่ละแบบจำลองสีของเซตรูปภาพที่ 2 เปิดไฟเฉพาะด้านขวาของรูปจำนวน 32 รูป

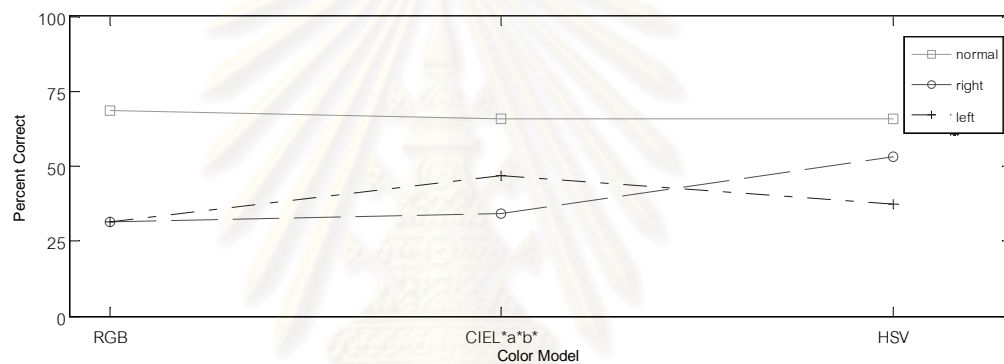
เกณฑ์ที่ใช้วัดความเหมือนของสี	จำนวนรูปที่กำหนดสีถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สี (ร้อยละ)		
	แบบจำลองสี RGB	แบบจำลองสี CIE L*a*b*	แบบจำลองสี HSV
เกณฑ์แบบเข้ม	3 (9.38)	8 (25.00)	10 (31.25)
เกณฑ์แบบอ่อนปรน	10 (31.25)	11 (34.38)	17 (53.13)

ตารางที่ 5.4 ความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีของแต่ละแบบจำลองสีของเซตรูปภาพที่ 3 เปิดไฟเฉพาะด้านซ้ายของรูปจำนวน 32 รูป

เกณฑ์ที่ใช้วัดความเหมือนของสี	จำนวนรูปที่กำหนดสีถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สี (ร้อยละ)		
	แบบจำลองสี RGB	แบบจำลองสี CIE L*a*b*	แบบจำลองสี HSV
เกณฑ์แบบเข้ม	8 (25.00)	10 (34.38)	7 (21.88)
เกณฑ์แบบอ่อนปรน	10 (31.25)	15 (46.88)	12 (37.50)



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีของแบบจำลองสีต่างๆ โดยใช้เกณฑ์แบบเข้มกำหนดสี



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีของแบบจำลองสีต่างๆ โดยใช้เกณฑ์แบบผ่อนปรนกำหนดสี

5.1.2.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองแสดงว่าการใช้แบบจำลองสี HSV ให้ความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีสูงกว่าการเปรียบเทียบคู่สีด้วยแบบจำลองสี RGB และ CIE L*a*b* ในเกือบทุกกรณี ดังนั้นการใช้แบบจำลองสี HSV จึงเหมาะแก่การเปรียบเทียบคู่สีพอร์ซเลนที่จะนำมาทำฟันเทียม

5.1.3 การทดลองและผลการทดลองการปรับเทียบแสง

การทดลองนี้แบ่งเป็น 2 การทดลองย่อย การทดลองแรกเพื่อวัดประสิทธิภาพของวิธีการสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงเพื่อปรับเทียบแสง 2 วิธีคือวิธี Ordinary Kriging และวิธีช่างงานประสาทเทียม การทดลองนี้วัดประสิทธิภาพของการสร้างแบบจำลองด้วย ค่าความไม่ตรงกันของลำดับความเหมือนของสี (Inconsistency of Color-Similarity Ranks) และอีกการทดลองย่อยหนึ่งคือการทดลองใช้การปรับเทียบแสงเพื่อเพิ่มความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สี

5.1.3.1 การทดลองและผลการทดลองการสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสง

การทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงเพื่อการปรับเทียบแสง 2 วิธี คือ Ordinary Kriging และ ซ้ายงานประสาทเทียม รวมถึงวิธีการเลือกจุดเพื่อสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสง ตัววัดประสิทธิภาพในการทดลองนี้คือค่าความไม่ตรงกันของลำดับความเหมือนของสี (ICSR)

5.1.3.1.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

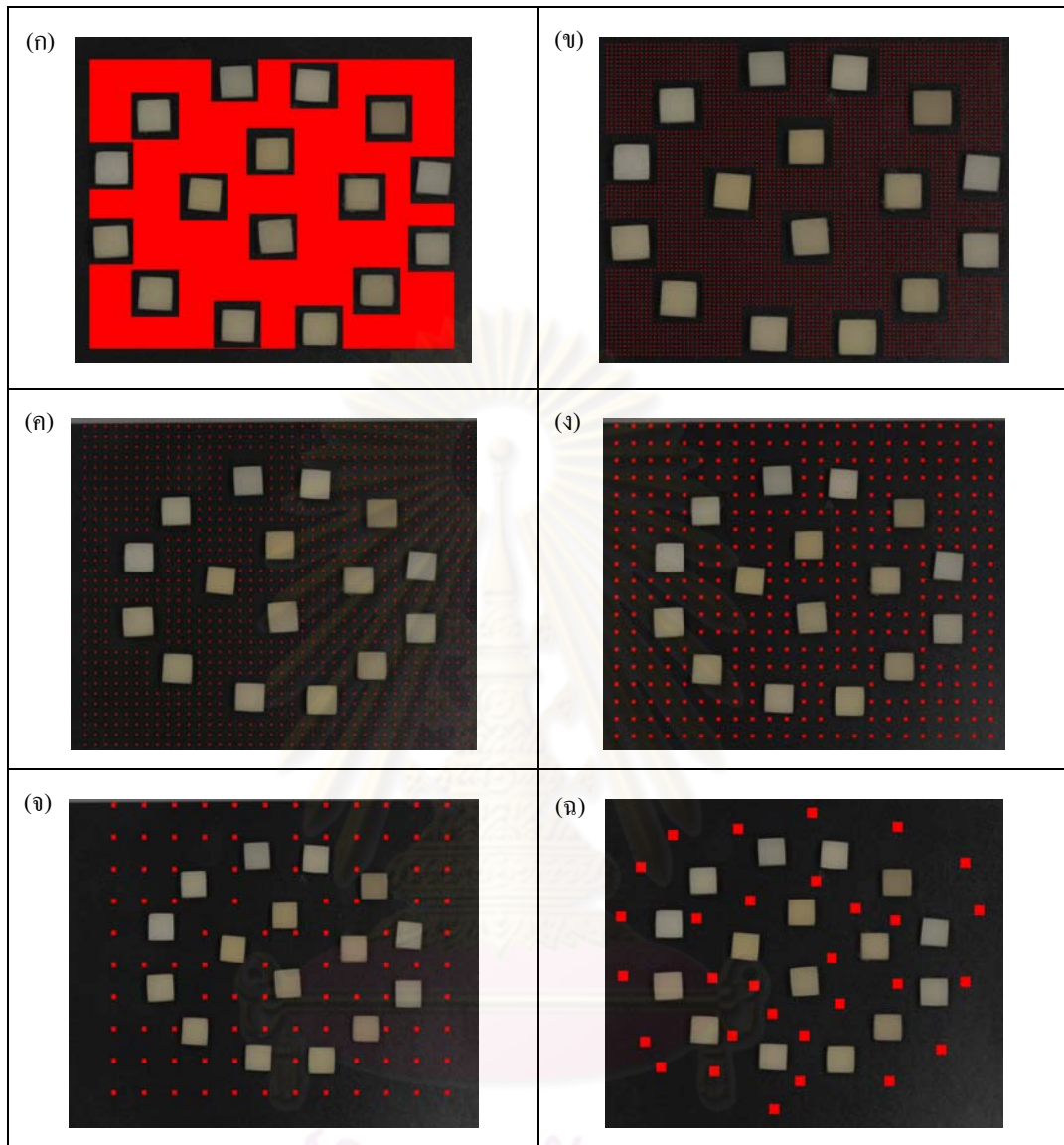
รูปภาพที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นข้อมูลชุดเดียวการทดลองที่ 5.1.1

5.1.3.1.2 วิธีการทดลอง

การทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงเพื่อการปรับเทียบแสง มีขั้นตอนดังนี้

1. นำแต่ละภาพมาเลือกจุดเพื่อสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงทั้งหมด 6 กลุ่มจุด โดยแต่ละกลุ่มจะเลือกจากพื้นที่ที่สนใจคือพื้นหลังที่นอกเหนือจากบริเวณที่มีพอร์ชเลนและบริเวณใกล้เคียงในระยะ 20 จุดสี 6 กลุ่มจุดมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- กลุ่มจุดที่ 1 ทุกจุดในพื้นที่ที่สนใจ มีจำนวนจุดทั้งหมด 468,278 จุด ดังรูปที่ 5.6 (ก)
- กลุ่มจุดที่ 2 ทุกๆ 10 จุดในพื้นที่ที่สนใจ มีจำนวนจุดทั้งหมด 4,671 ดังจุดรูปที่ 5.6 (ข)
- กลุ่มจุดที่ 3 ทุกๆ 30 จุดในพื้นที่ที่สนใจ มีจำนวนจุดทั้งหมด 948 จุด ดังรูปที่ 5.6 (ค)
- กลุ่มจุดที่ 4 ทุกๆ 50 จุดในพื้นที่ที่สนใจ มีจำนวนจุดทั้งหมด 344 จุด ดังรูปที่ 5.6 (ง)
- กลุ่มจุดที่ 5 ทุกๆ 100 จุดในพื้นที่ที่สนใจ มีจำนวนจุดทั้งหมด 95 จุด ดังรูปที่ 5.6 (จ)
- กลุ่มจุดที่ 6 จุดแบบสุ่มในพื้นที่ที่สนใจ มีจำนวนจุดทั้งหมด 30 จุด ดังรูปที่ 5.6 (ฉ)



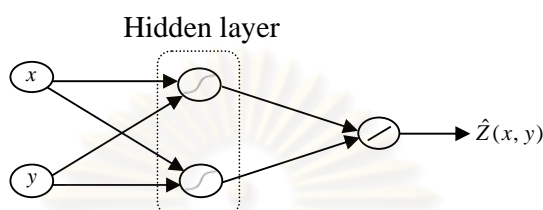
รูปที่ 5.6 ลักษณะการเลือกจุดที่จะนำไปสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงแบบต่างๆ

2. นำจุดที่เลือกมาสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงโดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 สร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงของภาพแต่ละภาพด้วยวิธีข่ายงานประสาทเทียมโดยใช้จุดกลุ่มที่ 1-6 ในการเรียนรู้ของข่ายงานประสาทเทียมซึ่งมีลักษณะจำเพาะดังนี้

- ข้อมูลนำเข้า (input) คือ พิกัดของจุดข้อมูล และ ผลลัพธ์ (output) คือ ค่าการตกกระทบของแสงแบบสัมพัทธ์ของจุดนั้น

- ชั้นซ่อน (Hidden layer) ประกอบด้วยหน่วยย่อย 2 หน่วย (2 Hidden nodes) โดยใช้ฟังก์ชันโอนถ่าย (Transfer function) เป็น ฟังก์ชันซิกมอยด์
- ใช้วิธีการเรียนรู้แบบแพร่กระจายย้อนกลับโดยยึดตามวิธีการ Levenberg-Marquardt [23] ในการฝึกสอน (Training)



รูปที่ 5.7 ลักษณะของข่ายงานประสาทเทียมที่ใช้ในการทดลอง

2.2 สร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงของภาพแต่ละภาพด้วยวิธีการ Ordinary Kriging (ตามวิธีการในหัวข้อ 4.4.1) โดยใช้จุดกลุ่มที่ 3-6 ในการสร้างแบบจำลอง เนื่องจากกลุ่มที่ 1 และ 2 มีจำนวนจุดมากเกินไปสำหรับการทำ Ordinary Kriging

3. นำแบบจำลองการตกกระทบของแสงมาทำการปรับเทียบแสง (ด้วยวิธีการที่นำเสนอในหัวข้อ 4.4.2)

4. นำภาพแต่ละภาพในเซตรูปภาพมาคำนวณหาตัวแทนสี (Color Representative) ของพอร์ชเลนแต่ละชิ้น (ดังสมการที่ 4.1)

5. นำค่าตัวแทนสีมาคำนวณหาลำดับความเหมือนของสี (Color-Similarity Ranks) (ดังสมการที่ 3.1) โดยเลือกพอร์ชเลนชิ้นหนึ่งให้เป็นสีที่ไม่รู้ค่า และที่เหลือเป็นชุดสีมาตรฐาน ทำซ้ำกับทุกพอร์ชเลนที่รู้สีทั้ง 16 สี

6. คำนวณหาค่าความไม่ตรงกันของลำดับความเหมือนของสี (Inconsistency of Color-Similarity Ranks) ดังสมการที่ 3.2

5.1.3.1.3 ผลการทดลอง

ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ตาราง โดยตารางที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความไม่ตรงกันของลำดับความเหมือนของสีในกรณีที่ใช้และไม่ได้ใช้การปรับเทียบแสง โดยการสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงแบบต่างๆ เมื่อกำหนดพอร์ชเลนสีใดๆ เป็นสีที่ไม่รู้ค่า ตารางที่ 5.6 แสดงลำดับค่า ICSR ของแต่ละวิธีการจากตารางที่ 5.5 ตารางที่ 5.7 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงของ 1 ช่องสี ของแต่ละวิธี

ตารางที่ 5.5 การเปรียบเทียบค่า ICSR ของการปรับเทียบแสงด้วยแบบจำลองการตกกระทบของแสงต่างๆ

วิธีการสร้าง แบบจำลอง	กลุ่ม จุด	ค่า ICSR															
		B ₁	A ₁	B ₂	D ₂	A ₂	C ₁	C ₂	D ₄	A ₃	D ₃	B ₃	A _{3,5}	B ₄	C ₃	A ₄	C ₄
ไม่ใช้การ ปรับเทียบ แสง	-	2.98	8.73	15.13	9.01	6.84	13.94	19.47	12.59	15.08	21.90	19.86	26.40	13.62	14.24	23.32	19.18
Ordinary Kriging	3	3.63	5.50	14.44	6.69	6.47	16.19	18.48	13.19	13.60	20.84	20.90	26.08	13.95	14.02	21.37	20.71
	4	3.07	3.83	13.90	6.05	5.61	16.37	16.06	11.09	13.87	21.95	22.57	25.36	15.45	14.66	20.21	20.41
	5	2.76	3.93	13.91	6.06	5.18	15.84	15.68	11.50	13.84	21.37	22.44	25.24	14.41	14.55	18.50	19.85
	6	2.51	4.94	14.22	7.01	6.09	15.57	16.06	11.84	13.34	21.00	22.31	24.94	19.61	13.61	19.63	20.57
ข่ายงาน ประสาท เทียม	1	2.69	5.51	14.21	7.03	6.04	15.65	16.73	12.17	13.41	22.40	21.86	25.11	15.00	14.07	19.78	20.54
	2	2.50	6.02	14.20	7.06	6.65	16.24	16.45	13.26	13.24	22.15	21.73	25.27	14.81	14.07	20.44	20.71
	3	2.59	5.41	14.26	6.60	6.29	16.49	16.38	12.79	12.93	22.08	21.43	25.57	14.62	13.50	19.81	20.79
	4	2.85	5.54	13.93	6.57	5.91	16.13	15.82	12.14	13.33	22.62	21.22	25.52	14.48	14.35	20.45	21.35
	5	3.01	5.62	14.50	6.99	6.32	16.22	15.09	12.55	13.20	22.27	21.01	26.02	13.98	13.89	20.02	21.22
	6	3.59	6.46	14.50	8.36	7.37	17.78	19.38	14.29	14.37	22.66	21.37	25.72	14.44	14.10	20.83	22.06

ตารางที่ 5.6 ลำดับค่า ICSR ของการปรับเทียบแสงด้วยแบบจำลองการตกกระทบของแสงต่างๆ

วิธีการสร้าง แบบจำลอง	กลุ่ม จุด	ลำดับของการเรียงค่า ICSR จากน้อยไปหามาก															
		B ₁	A ₁	B ₂	D ₂	A ₂	C ₁	C ₂	D ₄	A ₃	D ₃	B ₃	A _{3.5}	B ₄	C ₃	A ₄	C ₄
Ordinary Kriging	3	10	5	8	5	8	5	9	8	7	1	1	10	1	4	10	5
	4	8	1	1	1	2	8	4	1	9	4	10	5	9	10	6	2
	5	5	2	2	2	1	3	2	2	8	3	9	3	3	9	1	1
	6	2	3	6	7	5	1	5	3	5	2	8	1	10	2	2	4
ข่ายงาน ประสาท เทียม	1	4	6	5	8	4	2	8	5	6	8	7	2	8	6	3	3
	2	1	9	4	9	9	7	7	9	3	6	6	4	7	5	7	6
	3	3	4	7	4	6	9	6	7	1	5	5	7	6	1	4	7
	4	6	7	3	3	3	4	3	4	4	9	3	6	5	8	8	9
	5	7	8	10	6	7	6	1	6	2	7	2	9	2	3	5	8
	6	9	10	9	10	10	10	10	10	10	10	4	8	4	7	9	10

ตารางที่ 5.7 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสง

กลุ่มจุด	จำนวนจุด	เวลาที่ใช้สร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสง	
		Ordinary Kriging	ชายงานประสาทเทียม
1	468,278	-	876.423
2	4,671	-	2.150
3	948	2762.318	3.232
4	344	560.299	0.506
5	95	128.807	0.432
6	30	47.693	0.521

5.1.3.1.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าการใช้ชายงานประสาทเทียมใช้เวลาในการสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงน้อยกว่า Ordinary Kriging แต่การสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงด้วยวิธีการ Ordinary Kriging สามารถลดค่าความไม่ตรงกันของลำดับความเหมือนของสีได้ดีกว่าในเกือบทุกกรณี

นอกจากนี้จากการดูค่าความไม่ตรงกันของลำดับความเหมือนของสีที่น้อยที่สุดสามอันดับแรกแล้วนำมาให้คะแนนประสิทธิภาพของวิธีการสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงโดยวิธีการที่ทำให้ค่าความไม่ตรงกันของลำดับความเหมือนของสีมีค่าน้อยที่สุดได้ 3 คะแนน อันดับที่ 2 ได้ 2 คะแนน อันดับที่ 3 ได้ 1 คะแนนได้ผลสรุปดังตารางที่ 5.22

ตารางที่ 5.8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดค่าความไม่ตรงกันของลำดับความเหมือนของสีของวิธีการสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงแต่ละวิธี 5 อันดับแรก

อันดับที่	วิธีการสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสง และกลุ่มจุดที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง	คะแนนประสิทธิภาพ
1	สร้างแบบจำลองด้วยวิธีการ Ordinary Kriging ด้วยกลุ่มจุดที่ 5	22
2	สร้างแบบจำลองด้วยวิธีการ Ordinary Kriging ด้วยกลุ่มจุดที่ 6	16
3	สร้างแบบจำลองด้วยวิธีการ Ordinary Kriging ด้วยกลุ่มจุดที่ 4	16
4	สร้างแบบจำลองด้วยข่ายงานประสาทเทียม ด้วยกลุ่มจุดที่ 5	10
5	สร้างแบบจำลองด้วยวิธีการ Ordinary Kriging ด้วยกลุ่มจุดที่ 3	9

จากตารางสามารถสรุปได้ว่าวิธีสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงที่มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการอื่นคือการใช้วิธีการ Ordinary Kriging โดยใช้จุดที่เลือกทุกๆ 100 จุด นอกจากนี้ยังใช้เวลาในการสร้างแบบจำลองมากไม่เกินไปอีกด้วย สำหรับการสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงด้วยข่ายงานประสาทเทียม กลุ่มจุดที่ใช้สร้างแบบจำลองที่ดีที่สุดก็คือการเลือกจุดทุกๆ 100 จุดเช่นกัน

5.1.3.2 การทดลองและการผลการทดลองการปรับเทียบแสง

การทดลองนี้เป็นการทดลองการปรับเทียบแสงด้วยวิธีข่ายงานประสาทเทียม และ วิธีการ Ordinary Kriging เพื่อลดความผิดพลาดในการเปรียบเทียบสี โดยวัดความถูกต้องจากการเลือกสีมาตรฐานที่มีความแตกต่างของสีจากสีที่ต้องการกำหนดสีน้อยที่สุด และสีมาตรฐานที่มีค่าความแตกต่างของสีต่างจากค่าความแตกต่างของสีมาตรฐานที่มีความแตกต่างน้อยที่สุดเล็กน้อยโดยดูจากสมการที่ 5.1

5.1.3.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

รูปภาพที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นข้อมูลชุดเดียวการทดลองที่ 5.1.2

5.1.3.2.2 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองการใช้การปรับเทียบแสงเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการเปรียบเทียบสีเป็นดังนี้

1. นำภาพแต่ละภาพในเซตรูปภาพมาสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงตามวิธีการในขั้นตอนที่ 2 ของการทดลอง 5.1.3.1 และทำการปรับเทียบแสงตามวิธีการที่นำเสนอในหัวข้อ 4.4.2

2. นำภาพที่ทำปรับเทียบแสงแล้วมาแปลงปริภูมิสีแล้วคำนวณหาตัวแทนสีของบริเวณนั้นๆ โดยการทดลองถูกแบ่งเป็น 3 การทดลองย่อยดังนี้ การทดลองที่ใช้แบบจำลองสี RGB แบบจำลองสี CIE L*a*b* และแบบจำลองสี HSV

3. นำตัวแทนสีที่ได้มาคำนวณหาค่าความต่างของสีระหว่างพอร์ชเลนที่รู้สีกับพอร์ชเลนสีมาตรฐานแต่ละชิ้นโดย

- แบบจำลองสี RGB คำนวณความต่างของสีด้วยระยะห่างแบบยูคลิดตามสมการที่ 1.3

- แบบจำลองสี CIE L*a*b* คำนวณความต่างของสีด้วยระยะห่างแบบยูคลิดตามสมการที่ 1.2

- แบบจำลองสี HSV คำนวณความต่างของสีด้วยระยะห่างแบบยูคลิดตามสมการที่ 1.4

4. หาสีมาตรฐานที่มีความต่างของสีกับพอร์ชเลนที่รู้สีน้อยที่สุด

$$\text{diff}(U, a_x) \leq \min_{i=1}^n (\text{diff}(U, a_i)) \text{ (เกณฑ์แบบเข้ม)}$$

5. หาสีมาตรฐานที่มีค่าความต่างของสีกับพอร์ชเลนที่รู้สีใกล้เคียงกับค่าความต่างของสีกับพอร์ชเลนที่รู้สีน้อยที่สุดโดยใช้สมการที่ 5.1 ที่สุด $\text{diff}(U, a_x) \leq \min_{i=1}^n (\text{diff}(U, a_i)) + 0.2\sigma_\Delta$ (เกณฑ์แบบผ่อนปรน)

5.1.3.2.3 ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.9 ถึง 5.17 เปรียบเทียบความถูกต้องในการเปรียบเทียบคูสีโดยใช้แบบจำลองสี RGB แบบจำลองสี CIE L*a*b* และ แบบจำลองสี HSV ระหว่างการเปรียบเทียบแบบไม่ได้ปรับเทียบแสงและการเปรียบเทียบแบบมีการปรับเทียบแสงก่อน โดยใช้เกณฑ์ในการเปรียบเทียบคูสี คือ เกณฑ์แบบเข้มและเกณฑ์แบบผ่อนปรนของเซตรูปภาพที่ถ่ายโดยการจัดไฟแบบปกติ (เซตรูปภาพที่ 1) การจัดไฟแบบเปิดไฟเฉพาะด้านขวาของภาพ (เซตรูปภาพที่ 2) และการจัดไฟแบบเปิดไฟเฉพาะด้านซ้ายของภาพ (เซตรูปภาพที่ 3) ตามลำดับ

ตารางที่ 5.9 เปรียบเทียบความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีของเซตรูปภาพที่ 1 โดยใช้แบบจำลองสี RGB เปิดไฟปกติของรูปจำนวน 32 รูป

เกณฑ์ที่ใช้วัดความเหมือนของสี	จำนวนรูปที่กำหนดสีถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สี (ร้อยละ)		
	ไม่ปรับเทียบแสง	ถ่ายภาพประสาท เทียม	Ordinary Kriging
เกณฑ์แบบเข้ม	14(43.75)	12(37.50)	13(40.63)
เกณฑ์แบบอ่อนปรน	22(68.75)	20(62.50)	18(50.25)

ตารางที่ 5.10 เปรียบเทียบความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีของเซตรูปภาพที่ 2 โดยใช้แบบจำลองสี RGB เปิดไฟเฉพาะด้านขวาของรูปจำนวน 32 รูป

เกณฑ์ที่ใช้วัดความเหมือนของสี	จำนวนรูปที่กำหนดสีถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สี (ร้อยละ)		
	ไม่ปรับเทียบแสง	ถ่ายภาพประสาท เทียม	Ordinary Kriging
เกณฑ์แบบเข้ม	3(9.38)	4(12.50)	7(21.88)
เกณฑ์แบบอ่อนปรน	10(31.25)	6(18.75)	10(31.25)

ตารางที่ 5.11 เปรียบเทียบความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีของเซตรูปภาพที่ 3 โดยใช้แบบจำลองสี RGB เปิดไฟเฉพาะด้านซ้ายของรูปจำนวน 32 รูป

เกณฑ์ที่ใช้วัดความเหมือนของสี	จำนวนรูปที่กำหนดสีถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สี (ร้อยละ)		
	ไม่ปรับเทียบแสง	ถ่ายภาพประสาท เทียม	Ordinary Kriging
เกณฑ์แบบเข้ม	8(25.00)	7(21.88)	7(21.88)
เกณฑ์แบบอ่อนปรน	10(31.25)	13(40.63)	12(37.50)

ตารางที่ 5.12 เปรียบเทียบความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีของเซตรูปภาพที่ 1 โดยใช้แบบจำลองสี CIE L*a*b* เปิดไฟปกติของรูปจำนวน 32 รูป

เกณฑ์ที่ใช้วัดความเหมือนของสี	จำนวนรูปที่กำหนดสีถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สี (ร้อยละ)		
	ไม่ปรับเทียบแสง	ถ่ายภาพประสาท เทียม	Ordinary Kriging
เกณฑ์แบบเข้ม	16(50.00)	19(59.38)	17(53.13)
เกณฑ์แบบอ่อนปรน	21(65.63)	23(71.83)	21(65.63)

ตารางที่ 5.13 เปรียบเทียบความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีของเซตรูปภาพที่ 2 โดยใช้แบบจำลองสี CIE L*a*b* เปิดไฟเฉพาะด้านขวาของรูปจำนวน 32 รูป

เกณฑ์ที่ใช้วัดความเหมือนของสี	จำนวนรูปที่กำหนดสีถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สี (ร้อยละ)		
	ไม่ปรับเทียบแสง	ถ่ายภาพประสาท เทียม	Ordinary Kriging
เกณฑ์แบบเข้ม	8(25.00)	5(15.63)	7(21.88)
เกณฑ์แบบอ่อนปรน	11(34.38)	9(28.13)	14(43.75)

ตารางที่ 5.14 เปรียบเทียบความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีของเซตรูปภาพที่ 3 โดยใช้แบบจำลองสี CIE L*a*b* เปิดไฟเฉพาะด้านซ้ายของรูปจำนวน 32 รูป

เกณฑ์ที่ใช้วัดความเหมือนของสี	จำนวนรูปที่กำหนดสีถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สี (ร้อยละ)		
	ไม่ปรับเทียบแสง	ถ่ายภาพประสาท เทียม	Ordinary Kriging
เกณฑ์แบบเข้ม	10(31.25)	11(34.38)	12(37.50)
เกณฑ์แบบอ่อนปรน	15(46.88)	16(50.00)	16(50.00)

ตารางที่ 5.15 เปรียบเทียบความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีของเซตรูปภาพที่ 1 โดยใช้แบบจำลองสี HSV เปิดไฟปกติของรูปจำนวน 32 รูป

เกณฑ์ที่ใช้วัดความเหมือนของสี	จำนวนรูปที่กำหนดสีถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สี (ร้อยละ)		
	ไม่ปรับเทียบแสง	ถ่ายภาพประสาท เทียม	Ordinary Kriging
เกณฑ์แบบเข้ม	18(56.25)	17(53.13)	13(40.63)
เกณฑ์แบบอ่อนปรน	21(65.63)	24(75.00)	24(75.00)

ตารางที่ 5.16 เปรียบเทียบความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีของเซตรูปภาพที่ 2 โดยใช้แบบจำลองสี HSV เปิดไฟเฉพาะด้านขวาของรูปจำนวน 32 รูป

เกณฑ์ที่ใช้วัดความเหมือนของสี	จำนวนรูปที่กำหนดสีถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สี (ร้อยละ)		
	ไม่ปรับเทียบแสง	ถ่ายภาพประสาท เทียม	Ordinary Kriging
เกณฑ์แบบเข้ม	10(31.25)	4(15.63)	9(28.13)
เกณฑ์แบบอ่อนปรน	17(53.13)	12(28.13)	19(59.38)

ตารางที่ 5.17 เปรียบเทียบความถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สีของเซตรูปภาพที่ 3 โดยใช้แบบจำลองสี HSV เปิดไฟเฉพาะด้านซ้ายของรูปจำนวน 32 รูป

เกณฑ์ที่ใช้วัดความเหมือนของสี	จำนวนรูปที่กำหนดสีถูกต้องในการเปรียบเทียบคู่สี (ร้อยละ)		
	ไม่ปรับเทียบแสง	ถ่ายภาพประสาท เทียม	Ordinary Kriging
เกณฑ์แบบเข้ม	7(21.88)	7(21.88)	7(21.88)
เกณฑ์แบบอ่อนปรน	12(37.50)	13(40.63)	13(40.63)

5.1.3.2.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะเห็นว่าการปรับเทียบแสงด้วยแบบจำลองการตกกระทบของแสงที่สร้างด้วยวิธี Ordinary Kriging สามารถปรับปรุงความถูกต้องในการกำหนดสีด้วยเกณฑ์แบบเข้มได้ โดยเพิ่มความถูกต้องได้ 5.21% สำหรับแบบจำลองสี HSV และ 2.08% สำหรับแบบจำลองสี RGB แต่สำหรับแบบจำลองสี CIEL*a*b* ไม่สามารถปรับปรุงความถูกต้องได้ เมื่อเปลี่ยนเกณฑ์ในการกำหนดสีเป็นเกณฑ์แบบอ่อนปรนแล้ว สามารถปรับปรุงความถูกต้องในการกำหนดสีได้โดยเพิ่มความถูกต้องได้ 15.63% สำหรับแบบจำลองสี HSV นอกจากนี้ยังสรุปได้ว่าการใช้การปรับเทียบแสงร่วมกับการใช้แบบจำลองสี HSV ในการเปรียบเทียบสียังให้ความถูกต้องในการกำหนดสีดีกว่าการใช้การปรับเทียบแสงร่วมกับแบบจำลองสี RGB และ CIEL*a*b* ในการเปรียบเทียบสีด้วย นั่นคือมีความถูกต้องรวม 58.33%

นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าการใช้การปรับเทียบแสงด้วยแบบจำลองการตกกระทบของแสงที่สร้างจากวิธีการ Ordinary Kriging สามารถเพิ่มความถูกต้องในการเทียบสีได้ดีกว่าการสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงด้วยข่ายงานประสาทเทียมอีกด้วย

ดังนั้นจากผลการทดลอง 5.1.3.1 และ 5.1.3.2 งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีการ Ordinary Kriging ในการสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงในปรับเทียบแสง เนื่องจากสามารถปรับปรุงค่าความไม่ตรงกันของลำดับความเหมือนของสีและปรับปรุงความถูกต้องในการเปรียบเทียบสีได้ดีกว่าการใช้ข่ายงานประสาทเทียม นอกจากนี้การใช้ข่ายงานประสาทเทียมยังไม่มีคำแนะนำของคำตอบเนื่องจากการสุ่มค่าน้ำหนักในตอนเริ่มต้นของกระบวนการอีกด้วย อีกประการหนึ่งจะเห็นได้ว่าการวัดประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีในการปรับเทียบแสงด้วยความถูกต้องในการกำหนดสีอย่างเดียวนั้นไม่ละเอียดพอที่จะวัดความถูกต้องที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยได้ ดังนั้นการวัดความถูกต้องจึงจำเป็นต้องใช้ความไม่ตรงกันของลำดับความเหมือนของสีมาเป็นตัวช่วยในการวัดประสิทธิภาพของการปรับเทียบแสงด้วย

5.2 การทดลองและผลการทดลองการใช้ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอในงานวิจัย

ส่วนนี้อธิบายการทดลองเพื่อทดสอบความถูกต้องของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยชิ้นนี้ โดยวัดความถูกต้องจากการเลือกสีมาตรฐานที่มีความแตกต่างของสีจากสีที่ต้องการกำหนดสีน้อยที่สุด และสีมาตรฐานที่มีค่าความแตกต่างของสีต่างจากค่าความแตกต่างของสีมาตรฐานที่มีความแตกต่างน้อยที่สุดเล็กน้อยโดยดูจากสมการที่ 5.1

5.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

รูปภาพที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นข้อมูลชุดเดียวการทดลองที่ 5.1.2

5.2.2 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองการใช้ขั้นตอนวิธีเพื่อกำหนดสีพืชนำเสนอในงานวิจัยนี้เป็นดังนี้

1. นำภาพมาประมวลผลตามขั้นตอนที่นำเสนอในบทที่ 4
2. คำนวณหาสีมาตรฐานที่มีความต่างของสีกับพอร์ชเลนที่รู้สีน้อยที่สุด
3. คำนวณหาสีมาตรฐานที่มีค่าความต่างของสีกับพอร์ชเลนที่รู้สีใกล้เคียงกับค่าความต่างของสีกับพอร์ชเลนที่รู้สีน้อยที่สุดโดยใช้สมการที่ 5.1

5.2.3 ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.18 แสดงความถูกต้องของการใช้ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ โดยใช้เกณฑ์การวัดความถูกต้องคือวัดความถูกต้องจากการเลือกสีมาตรฐานที่มีความแตกต่างของสีจากสีที่ต้องการกำหนดสีน้อยที่สุด และสีมาตรฐานที่มีค่าความแตกต่างของสีต่างจากค่าความแตกต่างของสีมาตรฐานที่มีความแตกต่างน้อยที่สุดเล็กน้อยโดยดูจากสมการที่ 5.1

5.2.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองแสดงว่าขั้นตอนวิธีในการกำหนดสีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้สามารถกำหนดสีของพอร์ชเลนที่รู้สีได้ไม่ต่ำกว่า 50% ยกเว้นสี B₁, B₂ และ D₄ และสามารถปรับปรุงความถูกต้องของการกำหนดสีจากวิธีการกำหนดสีแบบปกติที่มีความถูกต้องมากที่สุดที่ไม่ได้ใช้การปรับเทียบแสงเพิ่มขึ้น 9.38% และจะเห็นได้ว่าการกำหนดสีนั้นมีสีมาตรฐานที่มีความแตกต่างของสีกับสีของพอร์ชเลนที่รู้ค่าใกล้เคียงกันมากอยู่หลายครั้งในการกำหนดสี ซึ่ง สถานการณ์ดังกล่าวแสดงว่าการเลือกสีที่ใกล้เคียงที่สุดเพียงสีเดียวอาจเกิดความผิดพลาดจากความแตกต่างเพียงเล็กน้อยของค่าสีได้

ตารางที่ 5.18 ความถูกต้องของการกำหนดสีพอร์ชเลนที่รู้ค่าด้วยขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ

พอร์ชเลน	สีที่กำหนดโดยขั้นตอนวิธีที่นำเสนอโดยใช้เกณฑ์แบบผ่อนปรน						ความถูกต้อง
	รูปที่ 1	รูปที่ 2	รูปที่ 3	รูปที่ 4	รูปที่ 5	รูปที่ 6	
B ₁	A ₂	A ₂	A ₃ C ₁ A ₂	A ₂ C ₁	A ₂	A ₂	0.00%
A ₁	A ₁	A ₁	A ₁ B ₁ D ₂	A ₁	D ₂	D ₂	66.67%
B ₂	A ₂ A ₃ B ₂	A ₃ A ₂ B ₂	A ₃ C ₁ A ₂ C ₂	A ₂	A _{3.5} D ₃ A ₃	A ₃ D ₃	33.33%
D ₂	B ₁ D ₂	B ₁ D ₂	C ₁	D ₂ C ₁ A ₂ B ₂	C ₁ A ₂ B ₁	B ₁ A ₂	50.00%
A ₂	A ₂ B ₂	A ₂ B ₂ A ₃	A ₂	A ₂	A ₃ D ₃	D ₃ A ₃	66.67%
C ₁	B ₂ A ₂	B ₂ A ₂ C ₁	A ₃ A ₂	A ₃ C ₁ D ₃ A ₂	A ₂ C ₁ D ₃	D ₃ C ₁ A ₃	66.67%
C ₂	D ₄ A _{3.5} C ₃	C ₃ D ₄	A _{3.5} C ₂ C ₃ D ₄	C ₂ A _{3.5}	C ₂	D ₄ C ₃	50.00%
D ₄	B ₃ D ₄	B ₃ D ₄ C ₃	B ₃ C ₃ A _{3.5}	B ₃ C ₃	A ₄ B ₄	B ₄ A ₄	33.33%
A ₃	A ₃	A _{3.5} A ₃	A ₃ A ₂	A ₃ A ₂	A _{3.5} B ₃	A _{3.5}	66.67%
D ₃	A ₃ C ₂	A ₃ D ₃ C ₂	D ₃	A ₃ D ₃ C ₂	D ₃ A _{3.5} B ₂ C ₂	D ₃ A ₃	83.33%
B ₃	B ₃ A ₄	B ₃	B ₄ A ₄	B ₄ B ₃ A ₄	A ₄	A ₄	50.00%
A _{3.5}	B ₃ D ₄	B ₃ A ₄	C ₃ A _{3.5}	C ₃ A _{3.5} D ₄	B ₃ C ₃ D ₄	D ₄ B ₃ C ₃ A _{3.5}	50.00%
B ₄	B ₄	B ₄	B ₄ A ₄	B ₄ A ₄	B ₄	B ₄	100%
C ₃	D ₄ C ₃	D ₄ C ₃	B ₃	B ₃	D ₄ C ₃	D ₄ C ₃ C ₄	66.67%
A ₄	A ₄	B ₄ A ₄	B ₄ A ₄	B ₄	A ₄ B ₄	A ₄ B ₄	83.33%
C ₄	C ₄ B ₄	C ₄ B ₄	A ₄ B ₄ C ₄	A ₄ B ₄ C ₄	B ₄	B ₄ A ₄ C ₄	83.33%

5.3 การทดลองและผลการทดลองการกำหนดสีด้วยตาของมนุษย์

ส่วนนี้อธิบายการทดลองเพื่อแสดงความแม่นยำในการกำหนดสีด้วยตามนุษย์สองวิธีคือการกำหนดสีจากการเปรียบเทียบสีของวัตถุจริงและการกำหนดสีจากรูปภาพชุดเดียวกับที่ใช้ในการทดลองการกำหนดสีด้วยขั้นตอนวิธีที่น่าเสนอ

5.3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

เก็บข้อมูลจากคนจำนวน 10 คนซึ่งเป็นนิสิตและอาจารย์จากภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3.2 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองแบ่งเป็นสองส่วนคือการกำหนดสีจากการเปรียบเทียบสีของวัตถุจริงและการกำหนดสีจากรูปภาพ

1. การกำหนดสีจากการเปรียบเทียบสีของวัตถุจริง ให้ผู้ร่วมทำการทดลองเลือกพอร์ชเลนรูปวงรีซึ่งเป็นสีมาตรฐานที่มีสีใกล้เคียงกับพอร์ชเลนรูปวงกลมที่กำหนดให้ที่ละชิ้นโดยไม่จำกัดเวลาในการกำหนดสี ดังรูปที่ 5.8 (ก)

2. การกำหนดสีจากรูปภาพซึ่งเป็นภาพเดียวกับที่ใช้ในการทดลอง 5.1.2 และ 5.2 โดยเลือกเอาเฉพาะรูปที่มีการจัดแสงไฟแบบปกติจำนวน 32 รูป โดยให้ผู้ร่วมทำการทดลองกำหนดสีผ่านจอภาพ SAMSUNG รุ่น SyncMaster 743NX ดังรูปที่ 5.8 (ข)



(ก) การกำหนดสีโดยเทียบจากวัตถุจริง



(ข) การกำหนดสีผ่านจอภาพ

รูปที่ 5.8 การกำหนดสีด้วยตามนุษย์

5.3.3 ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.19 แสดงความถูกต้องของการกำหนดสีด้วยตามนุษย์สองวิธีคือการกำหนดสีจากวัตถุจริง และการกำหนดสีผ่านจอภาพ เปรียบเทียบกับการกำหนดสีด้วยขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ

ตารางที่ 5.19 เปรียบเทียบความถูกต้องของการกำหนดสีพอร์ชเลนด้วยตามนุษย์และการกำหนดสีด้วยขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ

พอร์ชเลน	ความถูกต้องในการกำหนดสี		
	กำหนดสีจากวัตถุจริง	กำหนดสีจากรูปภาพ	การกำหนดสีด้วยขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ
B ₁	90%	10%	0%
A ₁	70%	100%	100%
B ₂	20%	50%	100%
D ₂	100%	30%	100%
A ₂	30%	50%	100%
C ₁	100%	10%	50%
C ₂	20%	0%	0%
D ₄	40%	30%	100%
A ₃	40%	10%	100%
D ₃	50%	40%	50%
B ₃	30%	40%	100%
A _{3.5}	60%	0%	0%
B ₄	100%	100%	100%
C ₃	80%	50%	100%
A ₄	100%	60%	100%
C ₄	80%	100%	100%

5.3.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองแสดงว่าการกำหนดสีด้วยตานั้นการกำหนดสีโดยการเปรียบเทียบกับวัตถุจริงที่ละชั้นมีความถูกต้องมากกว่าการกำหนดสีโดยดูจากภาพถ่ายเนื่องจากภาพถ่ายแต่ละภาพเกิดความไม่เป็นเอกรูปของแสงตกกระทบชั้น นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงอีกว่าการใช้ชั้นตอนวิธีที่นำเสนอมีความถูกต้องสูงกว่าการกำหนดสีด้วยตาเปล่า และจะเห็นได้ว่าสีที่มีการกำหนดสีถูกต้อง 0% นั้นเป็นไปในทำนองเดียวกันกับการกำหนดสีด้วยตามนุษย์โดยดูจากภาพถ่าย

นอกจากนี้จะเห็นว่าผลการทดลองกำหนดสีด้วยตามนุษย์โดยการเปรียบเทียบวัตถุจริงที่ละชั้นนั้นมีการทายถูกทุกสีดังนั้นทำให้เพิ่มความน่าเชื่อถือของพอร์ชเลนที่นำมาทำการทดลองทั้งสองชุดว่าสีที่ถูกกำหนดให้มีสีเหมือนกันนั้นมีสีเหมือนกันจริงๆ



ศูนย์วิทย์ทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทนี้เป็นการสรุปผลการวิจัยของขั้นตอนวิธีในการกำหนดสีพอร์ชเลนที่ใช้ทำฟันเทียม การเปรียบเทียบแสง ปัญหาและอุปสรรคที่พบในการวิจัย รวมถึงข้อเสนอแนะ และแนะนำแนวทางในการทำวิจัยต่อไปในอนาคต

6.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอขั้นตอนวิธีในการกำหนดสีฟันเทียมโดยใช้การเปรียบเทียบคู่สีระหว่างวัตถุที่ต้องการกำหนดสีกับของเซตพอร์ชเลนสีมาตรฐานซึ่งมีสีในโทนสีขาวและมีความคล้ายคลึงกันของสีสูง ในการกำหนดสีฟันเทียมประสบอุปสรรคสำคัญอย่างหนึ่งคือความไม่เสถียรของแสงตกกระทบหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือปริมาณของแสงตกกระทบในแต่ละบริเวณเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาและปัญหาสำคัญอีกอย่างหนึ่งคือปัญหาความไม่เป็นเอกรูปของการตกกระทบของแสง ซึ่งหมายถึงการที่แสงตกกระทบในแต่ละบริเวณของภาพมีปริมาณไม่เท่ากัน ปัญหาประการแรกสามารถหลีกเลี่ยงได้โดยการใช้ภาพเพียงภาพเดียวในการกำหนดสี ส่วนปัญหาความไม่เป็นเอกรูปของการตกกระทบของแสงนั้นสามารถบรรเทาได้ด้วยการปรับเทียบแสงดังนั้น เพื่อเป็นแก้ปัญหาข้างต้นงานวิจัยนี้จึงเสนอขั้นตอนวิธีในการกำหนดสีฟันเทียมดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เก็บภาพพื้นที่ที่ต้องการกำหนดสีพร้อมกับเซตสีมาตรฐานที่ใช้ในการทำฟันเทียม และอุปกรณ์สำหรับการปรับเทียบแสง (พื้นสีดำเรียบ)

ขั้นตอนที่ 2 นำภาพดังกล่าวมาทำการสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสง

2.1 เลือกตัวแทนสีของแต่ละจุดสีจากอุปกรณ์สำหรับการปรับเทียบแสง

2.2 นำค่าตัวแทนสีเหล่านั้นมาคำนวณหาความต่างของสีกับจุดสีที่มีค่าสีน้อยที่สุดเพื่อเป็นตัวแทนปริมาณแสงตกกระทบสัมพัทธ์ในแต่ละบริเวณ

2.3 นำข้อมูลปริมาณแสงตกกระทบสัมพัทธ์ในแต่ละบริเวณมาสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงด้วยวิธีการ Ordinary Kriging

ขั้นตอนที่ 3 นำแบบจำลองการตกกระทบของแสงมาปรับเทียบแสงโดยใช้การลบกันแบบจุดต่อจุด

ขั้นตอนที่ 4 เมื่อได้ภาพที่ทำการปรับเทียบแสงแล้วนำภาพนั้นมาแปลงปริภูมิสี โดยแปลงจากปริภูมิสีที่ใช้แบบจำลองสี RGB เป็น ปริภูมิสีที่ใช้แบบจำลองสี HSV เพื่อทำการเปรียบเทียบคู่สีจากนั้นเลือกสีมาตรฐานที่มีความแตกต่างของสีจากพื้นที่ที่ต้องการกำหนดสีน้อยที่สุด (เกณฑ์แบบ

เข้ม) และสีมาตรฐานที่มีความแตกต่างของสีจากพื้นที่ต้องการกำหนดสีใกล้เคียงกับความแตกต่างน้อยที่สุดมาเป็นสีคำตอบ (เกณฑ์แบบผ่อนปรน)

จากผลการทดลองจะพบว่าการใช้การเปรียบเทียบคู่สีด้วยแบบจำลองสี HSV มีความถูกต้องในการกำหนดสีสูงกว่าการใช้แบบจำลองสี RGB และ CIE L*a*b* สำหรับการเปรียบเทียบแสงด้วยวิธี Ordinary Kriging ยังสามารถเพิ่มความถูกต้องให้กับการสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงทั้งในแง่ความไม่ต้องการกันของลำดับความเหมือนของสีและความถูกต้องในการกำหนดสีอีกด้วย

6.2 ปัญหา อุปสรรคและการแก้ปัญหาในงานวิจัย

พอร์ชเลนที่ใช้ในงานวิจัยคือพอร์ชเลนรูปวงรีแทนสีมาตรฐานมีจำนวน 16 ชั้นและพอร์ชเลนรูปวงกลมแทนวัตถุที่ต้องการกำหนดสีอีก 16 ชั้น ได้มาจากทันตแพทย์ แต่ละพอร์ชเลนจะมีรหัสกำกับเพื่อบอกสี แต่ในความเป็นจริงผู้วิจัยไม่สามารถยืนยันได้ว่าพอร์ชเลนแต่ละชั้นมีสีถูกต้องตามที่กำกับหรือไม่

ผู้จัดทำได้พยายามแก้ปัญหาโดยใช้เครื่องวัดสี (Colorimeter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการอ่านค่าสีของ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดลในการอ่านค่าสีของพอร์ชเลนแต่ละชั้น แต่ไม่สามารถทำการอ่านค่าสีด้วยเครื่องดังกล่าวได้เนื่องจากพอร์ชเลนมีขนาดเล็กกว่าขนาดเล็กที่สุดที่เครื่องวัดสีสามารถอ่านค่าได้ ทำให้ไม่รู้ค่าสีจริงและไม่สามารถยืนยันค่าสีตามที่กำกับไว้กับพอร์ชเลนแต่ละชั้นได้

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงยึดตามข้อเท็จจริงที่มี คือ พอร์ชเลนที่มีรหัสเดียวกันต้องมีค่าสีเดียวกันหรือใกล้เคียงกันมากกว่าพอร์ชเลนที่มีรหัสสีอื่น อย่างไรก็ตามหากพอร์ชเลนที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่าสีต่างจากรหัสที่กำกับ ผู้วิจัยเชื่อว่าขั้นตอนวิธีที่เสนอเพื่อกำหนดสีพื้น ปัญหาความไม่เสถียรของแสงตกกระทบและปัญหาความไม่เป็นเอกรูปของการตกกระทบของแสงยังคงมีความน่าเชื่อถือ สิ่งที่คาดว่าจะเกิดปัญหาในกรณีที่พอร์ชเลนมีสีต่างจากรหัสที่กำกับไว้ น่าจะเป็นผลการเลือกแบบจำลองสีในการเปรียบเทียบคู่สีที่เหมาะสมกับการกำหนดสีของพอร์ชเลนและผลความถูกต้องของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ

6.3 ข้อเสนอแนะ

แม้ว่างานวิจัยนี้จะพบปัญหาความไม่เสถียรของแสงตกกระทบและความไม่เป็นเอกรูปของการตกกระทบของแสงและแนะนำขั้นตอนวิธีในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวที่ทำให้ความถูกต้องในการกำหนดสีเพิ่มขึ้นแล้ว ยังมีงานบางส่วนที่ยังสามารถปรับปรุงเพื่อเพิ่มความถูกต้องในการกำหนดสีดังนี้

- 1) ปรับปรุงอุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับเทียบแสงให้มีสมบัติในการสะท้อนแสงคล้ายกับพอร์ซเลนหรือพื้นจริงเพื่อเพิ่มความถูกต้องในการสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสง
- 2) ปรับปรุงวิธีการสร้างแบบจำลองการตกกระทบของแสงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] Seghi, R.R., Johnston, W.M., and O'Brien, W.J. Spectrophotometric Analysis of Color Difference Between Porcelain System. J. Prothet Dent 56 (1986) : 35-40 .
- [2] Seghi, R.R. Effect of Instrument-Measuring Geometry on Colorimetric Assessments of Dental Porcelains. J. Dent Res 69 (1990) : 1180-1183.
- [3] Haywood, V.B., Leonard, R.H., Nelson, C.F., and Brunson, W.D. Effectiveness, Side Effect and Long-Term Status of Nightguard Vital Bleaching. JADA 125 (1994) : 1219-1226.
- [4] Bentley, C., Leonard, R.H., Nelson, C.F., and Bentley, S.A. Quantitation of Vital Bleaching by Computer Analysis of Photographic Images. JADA 130 (1999).
- [5] Cai, Y. A Novel Imaging System For Tongue Inspection. Instrumentation and Measurement Technology (2002).
- [6] Carollo, J.A., Otsubo, Y., and Umeda, Y. The Use of Digital Photography, Shade Mapping Technology, and Proper Laboratory Communication to Achieve Predictable Shade Matching for Anterior Restorations. Contemporary Esthetics and Restorative Practice (2003).
- [7] Zhang, H.-Z., Wang, K.-Q., Jin, X.-S., and Zhang, D. SVR Based Colour Calibration for Tongue Image. International conference on machine learning and cybernetis (2005).
- [8] Dagg, H., O'Connell, B., Claffey, N., D.Byrne, and Gorman, C. The Influence of Some Different Factor on the Accuracy of Shade Selection. Journal of Oral Rehabilitation 31 (2004) : 900-904.
- [9] Kass, M., Witkin, A., and Terzopoulos, D. Snakes: Active Contour Model. International Journal of Computer Vision 1 (1987).
- [10] Jianfeng, X., Lishaofa, and Zhibin, C. Color Analysis for Chinese Car Plate Recognition. International Conference on Robotics, Intelligent Systems and Signal Processing (2003).

- [11] Li, C.H., and Yuen, P.C. Regularized Color Clustering in Medical Image Database. IEEE Transactions on Medical Imaging 19 (2000).
- [12] Okubo, S.R., Kanawati, A., Richards, M.W., and Childress, S. Evaluating of Visual and Instrument Shade Matching. The journal of prosthetic dentistry 80 (1998).
- [13] Covavisaruch, N., and Tanatipanon, T. Techniques to Substitute Colors From a Limited Pre-Defined Color Set. National Computer Science and Engineering Conference (1998).
- [14] Foley, J.D., Dam, A.V., Feiner, S.K., and Hughes, J.F. Computer graphics: principles and practice U.S.A.: Addison-Wesley (1992).
- [15] Covavisaruch, N. Xtch-Image to Cross-Strich Mapping Program. The 37th Kasetsart University Annual Conference (1999).
- [16] Santiwes, S: Computer Software for Color Matching and Mixing Color Pigment in Architectural Design. Master's Thesis, Department of Architecture, Faculty of Architecture, Chulalongkorn University (2003).
- [17] Rosentiel, F. S., Land, F. M., and Fujimoto, J. Contemporary Fixed Prosthodontics. Mosby ,Inc (2001).
- [18] Ron, W. How digital photography works. Que Publishing (2007).
- [19] Tom, M. Machine Learning. U.S.A.: McGraw Hill (1997).
- [20] Richard, W. and Margaret, A. O. Geostatistics for Environmental Scientists Second Edition. John Wiley & Sons Ltd. Press (2007).
- [21] Isaaks, E. H. and Srivastava, R. M. Applied Geostatistics. Oxford University Press (1989).
- [22] Damerau, F. J. A Technique for Computer Detection and Correction of Spelling Errors. Communications of the ACM 7 (1964) : 171-176
- [23] Hagan, T. M. and Menhaj, M. B. Training Feedforward Networks with Marquardt Algorithm. . IEEE Trans. on Neural Network 5 (1994) : 989-993

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธนพงศ์ อินทระ เกิดวันที่ 6 พฤศจิกายน พ.ศ. 2526 กรุงเทพมหานคร สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะ วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในปีการศึกษา 2548 หลังจากนั้นได้เข้ามาศึกษาต่อในหลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550

บทความที่นำเสนอในงานประชุมวิชาการ

1. บทความเรื่อง "A Novel Evaluation Method of Calibration Techniques for Color Matching" นำเสนอในงานประชุมวิชาการ The 2008 second International Symposium on Intelligent Information Technology Application จัดที่เมืองเชียงใหม่ ประเทศสาธารณรัฐ ประชาชนจีน ระหว่างวันที่ 20 - 22 ธันวาคม พ.ศ. 2551 บทความนี้ตีพิมพ์ไว้ใน Proceedings of the 2008 second International Symposium on Intelligent Information Technology Application หน้า 513-517

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย