

การผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมบนจอภาพซีอาร์ที



นางสาว พรทิพย์ ถาวรยุติการต์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-53-1564-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1 พ.ย. 2549

12220734X

REPRODUCTION OF WATER COLOR IMAGES FROM SPECTRAL DATA ON CRT DISPLAYS

Ms. Pornthip Thavornyutikarn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Imaging Technology

Department of Imaging and Printing Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 947-53-1564-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมบนจอภาพซีอาร์ที

โดย

น.ส. พรทิพย์ ถาวรยุติการต์


สาขาวิชา

เทคโนโลยีทางภาพ

อาจารย์ที่ปรึกษา

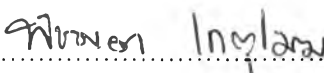
อาจารย์ ดร. พิชญดา เกตุเมฆ


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

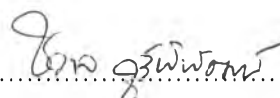

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมณะแสวด)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรัญ หาญสืบสาย)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. พิชญดา เกตุเมฆ)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สุจิตรา สื่อประसार)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ชวาล คุร์พิพัฒน์)

พรทิพย์ ถาวรยุติการต์ : การผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมบนจอภาพซีอาร์ที (REPRODUCTION OF WATER COLOR IMAGES FROM SPECTRAL DATA ON CRT DISPLAYS) อ.ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. พิชญดา เกตุเมฆ จำนวน 141 หน้า ISBN 974-53-1564-8

ระบบการจัดการสีเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการทำนายการผลิตซ้ำของสีบนอุปกรณ์ที่มีความหลากหลาย เช่น จอภาพ เครื่องพิมพ์ เป็นต้น การผลิตซ้ำของสีด้วยอุปกรณ์เหล่านี้มีการใช้ข้อมูลสีเพียงเล็กน้อยทำให้ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอกับการเทียบสีภายใต้แหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกัน ในทางตรงกันข้ามการใช้ข้อมูลสเปกตรัมในการผลิตซ้ำของสีสามารถให้สีที่เหมือนกัน แม้ว่าจะมีอุปกรณ์และแหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกัน จากเหตุผลดังกล่าวทำให้ได้ข้อมูลสีที่ไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษากระบวนการผลิตซ้ำสีบนจอภาพซีอาร์ที ด้วยข้อมูลสเปกตรัมของภาพศิลปะสีน้ำ โดยทำการสร้างแถบสีตัวอย่างขนาดเล็ก 679 สี ที่ได้จากการผสมแม่สี 35 สี ตั้งแต่ 1 สีถึง 3 สี โดยที่ค่าการสะท้อนแสงของแถบสีตัวอย่างเหล่านี้จะถูกวัดและนำไปใช้ในการหาจำนวนแผ่นกรองแสงชุดที่เหมาะสมที่สุดในการบันทึกภาพศิลปะสีน้ำของชุดแถบสีที่ใช้ศึกษา 176 สี ที่ถูกเลือกจากชุดแถบสีตัวอย่าง 679 สี ซึ่งจะได้แผ่นกรองแสงทั้งหมด 5 แผ่น ที่จะถูกใช้ในการบันทึกภาพ และภาพที่ได้จากการถ่ายภาพผ่านชุดแผ่นกรองแสงทั้ง 5 แผ่นจะถูกคำนวณเป็นค่าพิกเซลแล้วใช้วิธี Wiener Estimation ในการเลือกชนิดของแผ่นกรองแสงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการประมาณค่าการสะท้อนแสง โดยค่าการสะท้อนแสงที่ได้จะถูกแปลงไปเป็นค่าสี XYZ และ ค่าสี RGB ตามลำดับ เพื่อใช้ในการแสดงภาพบนจอภาพซีอาร์ที ทำการปรับตั้งค่ามาตรฐานและหาลักษณะเฉพาะของจอภาพเพื่อนำไปใช้ในการสร้างโปรไฟล์แล้วทำการเปรียบเทียบภาพที่ผลิตได้กับภาพต้นฉบับ ในส่วนของการวิเคราะห์ภาพในเชิงคุณภาพผลที่ได้คือ โทนสีเหลืองของภาพที่ผลิตได้จากข้อมูลสเปกตรัมมีน้ำหนักสีของภาพเหมือนกับภาพต้นฉบับมากกว่าภาพที่ผลิตได้จากกล้องดิจิทัลทั่วไป ส่วนการวิเคราะห์ภาพในเชิงปริมาณนั้นให้คำนวณจากความแตกต่างสีเฉลี่ยระหว่างค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการวัดกับค่าการสะท้อนที่ได้จากการประมาณของชุดข้อมูลทดสอบ ผลที่ได้คือ ภาพโทนสีผิวคน โทนสีใบไม้ และโทนสีท้องฟ้า ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{50} มีค่าเท่ากับ 8.74, 10.15 และ 6.88 ตามลำดับ ส่วนภาพที่อยู่ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{65} จะมีค่าเท่ากับ 8.88, 10.16 และ 7.02 ตามลำดับ

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่าย
และเทคโนโลยีทางการพิมพ์
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางภาพ
ปีการศึกษา 2548

ลายมือชื่อนิสิต พรทิพย์ ถาวรยุติการต์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา พิชญดา เกตุเมฆ

4572400823 : MAJOR IMAGING TECHNOLOGY

KEY WORDS: SPECTRAL REFLECTANCE / WIENER ESTIMATION / SPECTRAL DATA

PORNTHIP THAVORNYUTIKARN : REPRODUCTION OF WATER COLOR IMAGES
FROM SPECTRAL DATA ON CRT DISPLAYS. THESIS ADVISOR : PICHAYADA
KATEMAKE, 141 pp. ISBN 974-53-1564-8.

Color Management Systems (CMS) have been used as a crucial tool in the reproduction of color on various devices in a predictable way. The device can be a monitor, scanner, printer, proofer, or press. The reproduction of color on these devices using only a few color data is inefficient to match color under different illuminations. On the contrary, the use of spectral data in the reproduction of color can satisfy the match in different devices and illuminations, as a result of its device independent data. This research studied the procedure of color reproduction in the Cathode Ray Tube (CRT) display exploiting the spectral data of a water color image. A color chart of 679 small rectangle patches was made using 35 tubes of water color with its single color or a mixture of two or three. The spectrum of these patches were measured and were used to investigate the optimum number of filters needed to capture water color painted images using the training set of 176 colors chosen from 679 colors. Five filters, bpb42 bpb53 bpn50 sc64 sc66, were used to capture the images therefore five sets of pixel values were obtained. The Wiener estimation method was used to estimate the spectral data from these pixel values. To reproduce the color on a CRT display, each pixel values was converted to XYZ values and subsequently RGB values. The calibration and characterization of the display were carried out and the spectrally reproduced images together with conventionally reproduced images (RGB digital camera) were subjectively and quantitatively compared to the original images. The yellow tone of spectral images was the most similar to the original image. In other color tones, the spectral images were not as good as conventional one. The averages of the color difference under D_{50} between measured color and estimated color of skin tone, leave tone and sky tone were 8.74, 10.15 and 6.88, respectively. and were 8.88, 10.16 and 7.02, respectively, under D_{65} .

Department of Photographic Science
and Printing Technology
Field of study Imaging Technology
Academic year 2005

Student's signature
Advisor's signature

Pornthip

Pichayada R.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สามารถลุล่วงไปด้วยความกรุณาจาก อาจารย์ ดร. พิชญดา เกตุเมฆ, อาจารย์ ดร. สุจิตรา สื่อประสาร และอาจารย์ ดร. ชวาล คุรุพิพัฒน์ ได้ให้ความช่วยเหลือและติดตามผลการวิจัย อีกทั้งยังได้สละเวลาในการให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่าง ๆ มากมายอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ทุกท่าน ที่คอยให้คำปรึกษาและชี้แนะข้อคิดต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางประกอบการเรียนและใช้เป็นแบบอย่างในชีวิตประจำวันได้เป็นอย่างดี ขอขอบคุณ คุณอารมณ ศิริประภาภรณ์ และพี่ๆฝ่ายธุรการทุกท่าน ที่คอยช่วยเหลือและติดตามดำเนินเรื่องเอกสารต่าง ๆ ที่ต้องใช้ประกอบการเรียนตลอดหลักสูตรที่นี่ และขอขอบใจพี่ ๆ น้อง ๆ และเพื่อนทุกคนในภาควิชาฯ ที่คอยดูแลซึ่งกันและกันมาโดยตลอด

ทั้งนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อประสิทธิ์ คุณแม่พรพิมล ถาวรยุคิการ์ดี และคุณน้าสายทอง รัตนวิชัยการ ผู้ซึ่งคอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และชี้แนะแนวทางที่ดีมาโดยตลอด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาไทย	ง
บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1.1 สีน้ำ (Water Color)	5
2.1.2 กล้องดิจิทัล (Digital Camera) และกล้องวิดีโอทัศนภาพนิ่ง (Digital VDO Camera)	6
2.1.3 แผ่นกรองแสง (Filter)	8
2.1.4 แบบจำลององค์ประกอบในการบันทึกภาพของกล้องดิจิทัล	10
2.1.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการมองเห็นสี	11
2.1.6 การวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก (Principal Component Analysis : PCA)	13

	หน้า
2.1.7 Wiener Estimation	20
2.1.8 ค่าสีไตรสติมุลัส (Tristimulus values)	21
2.1.9 การแปลงค่าไตรสติมุลัส XYZ เป็นค่าสี (RGB) _{sRGB} / (RGB) _{8bit}	22
2.1.10 จอภาพซีอาร์ที (CRT Displays)	24
2.1.11 การปรับตั้งมาตรฐานอุปกรณ์ (Calibration) และการหาลักษณะเฉพาะ (Characterization)	30
2.1.12 การจัดการสี (Color Management)	30
2.1.13 การวิเคราะห์สี	33
2.1.14 วิธีการเทียบสี (Colour Matching) และการมองเปรียบเทียบภาพ (Comparison Viewing)	35
2.1.15 เมแทเมอริซึม (Metamerism)	36
2.1.16 โปรแกรม MATLAB	37
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	38
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	40
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	40
3.1.1 วัสดุ	40
3.1.2 เครื่องมือ	40
3.2 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย	41
3.2.1 ขั้นตอนการประมาณค่าการสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมของภาพต้นฉบับ	41
3.2.2 ขั้นตอนการปรับตั้งค่ามาตรฐาน และการหาลักษณะเฉพาะของจอภาพซีอาร์ที	46
3.2.3 ขั้นตอนการแปลงข้อมูลสีเพื่อแสดงภาพบนจอภาพซีอาร์ที	46
3.2.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์เชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพของภาพที่ใช้แสดงบนจอภาพซีอาร์ที	48

	หน้า
บทที่ 4 ผลการศึกษา	51
4.1 การสร้างชุดข้อมูลทดสอบ (Test Set)	51
4.2 การคัดเลือกข้อมูลในการสร้างชุดข้อมูลศึกษา (Training Set)	52
4.3 ขั้นตอนการประมาณค่าการสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัม (Spectral Estimation : $O'(\lambda)$)	53
4.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพ	58
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	78
5.1 อภิปรายผล	78
5.1 สรุปผลการวิจัย	79
5.2 ข้อเสนอแนะ	81
รายการอ้างอิง	83
ภาคผนวก	86
ภาคผนวก ก ข้อมูลนำเข้า	87
ภาคผนวก ข ข้อมูลการทำ PCA	107
ภาคผนวก ค ข้อมูลจากการทำ Wiener Estimation	110
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ผลของภาพ	131
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	141

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างค่า Score ที่ได้จากการทำ PCA	19
ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างค่า PC_Weight ที่ได้จากการทำ PCA	20
ตารางที่ 2.3 แสดงค่า ΔE^*_{ab} ตามมาตรฐานระบบ CIELAB	34
ตารางที่ 4.1 ค่า Eigenvalue, Proportion, Cumulative ของแต่ละส่วนประกอบหลัก	54
ตารางที่ 4.2 ค่าความแตกต่างสีและค่ารากกำลังสองเฉลี่ยระหว่างค่าการสะท้อนแสง ที่ได้จากวัดกับค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการประมาณ เมื่อใช้ จำนวนแผ่นกรองแสงทั้งหมด 5 แผ่น	56
ตารางที่ 4.3 ค่าความแตกต่างสีและค่ารากกำลังสองเฉลี่ยระหว่างค่าการสะท้อนแสง ที่ได้จากวัดกับค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการประมาณ เมื่อใช้ จำนวนแผ่นกรองแสงทั้งหมด 6 แผ่น	57
ตารางที่ 4.4 ค่าความแตกต่างสีระหว่างค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากวัดกับ ค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการประมาณของชุดข้อมูลสี Test Set ในโทนสีผิวคน โทนสีใบไม้ และโทนสีท้องฟ้า ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{50} และ D_{65}	62
ตารางที่ 4.5 ค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากวัดกับ ค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการประมาณของชุดข้อมูลสี Test Set ในโทนสีผิวคน โทนสีใบไม้ และโทนสีท้องฟ้า	62

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบหลักและการเดินทางของแสงในกล้องดิจิทัล	7
ภาพที่ 2.2 องค์ประกอบในการบันทึกภาพของกล้องดิจิทัล	10
ภาพที่ 2.3 โครงสร้างโดยทั่วไปของจอภาพซีอาร์ที	26
ภาพที่ 3.1 การจัดตั้งอุปกรณ์ในการบันทึกภาพดิจิทัล	43
ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการประมาณค่าการสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมของภาพต้นฉบับ	45
ภาพที่ 3.3 ภาพวาดศิลป์สีน้ำที่ใช้ในการบันทึกภาพ	46
ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนการแปลงค่าข้อมูลสีเพื่อใช้แสดงภาพบนจอภาพซีอาร์ที	47
ภาพที่ 3.5 องค์ประกอบในการมองเปรียบเทียบภาพ	50
ภาพที่ 4.1 ค่าการกระจายตัวของชุดข้อมูลสี Test Set โดยพิจารณาการกระจายตัว ของสีสันบนกราฟระหว่าง a^* และ b^* ในระบบสี CIELAB (a) และการกระจายตัว ของความสว่างและความอิ่มตัวสี จากกราฟระหว่าง L^* และ C_{ab}^* ในระบบสี CIELCH (b)	51
ภาพที่ 4.2 ค่าการกระจายตัวของชุดข้อมูลสี Training Set โดยพิจารณาการกระจายตัว ของสีสันบนกราฟระหว่าง a^* และ b^* ในระบบสี CIELAB (a) และการกระจายตัว ของความสว่างและความอิ่มตัวสี จากกราฟระหว่าง L^* และ C_{ab}^* ในระบบสี CIELCH (b)	52
ภาพที่ 4.3 ความสามารถในการอธิบายความแปรปรวนของข้อมูล ของตัวประกอบ 11 ตัวประกอบ	54
ภาพที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Score ของส่วนประกอบที่ 5 กับค่าการสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมเฉลี่ยของชุดข้อมูลสี Training Set	55
ภาพที่ 4.5 ฮิสโตแกรมของค่า ΔE^*_{ab} ระหว่างค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการวัด กับค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการประมาณภายใต้แหล่งกำเนิดแสง ฟลูออเรสเซนต์ F11 ของชุดข้อมูลสี Training Set เมื่อใช้จำนวน แผ่นกรองแสงทั้งหมด 5 แผ่น	56

ภาพที่ 4.6 ฮิสโตแกรมของค่า ΔE^*_{ab} ระหว่างค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการวัด กับค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการประมาณภายใต้แหล่งกำเนิดแสง ฟลูออเรสเซนต์ F11 ของชุดข้อมูลสี Training Set เมื่อใช้จำนวน แผ่นกรองแสงทั้งหมด 6 แผ่น	58
ภาพที่ 4.7 แสดงขั้นตอนการส่งผ่านข้อมูลภาพ	59
ภาพที่ 4.8 การกระจายตัวของชุดข้อมูลสี Test Set โทนสีผิวคน ในปริภูมิสี CIELAB บนแกน a^* และ b^* และปริภูมิสี CIELCH บนแกน L^* และ C_{ab}^*	60
ภาพที่ 4.9 การกระจายตัวของชุดข้อมูลสี Test Set โทนสีใบไม้ ในปริภูมิสี CIELAB บนแกน a^* และ b^* และปริภูมิสี CIELCH บนแกน L^* และ C_{ab}^*	61
ภาพที่ 4.10 การกระจายตัวของชุดข้อมูลสี Test Set โทนสีท้องฟ้า ในปริภูมิสี CIELAB บนแกน a^* และ b^* และปริภูมิสี CIELCH บนแกน L^* และ C_{ab}^*	61
ภาพที่ 4.11 ฮิสโตแกรมของค่า ΔE^*_{ab} ระหว่างค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการวัด กับค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการประมาณในชุดข้อมูลสี Test Set สำหรับโทนสีผิวคน	63
ภาพที่ 4.12 ฮิสโตแกรมของค่า ΔE^*_{ab} ระหว่างค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการวัด กับค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการประมาณในชุดข้อมูลสี Test Set สำหรับโทนสีใบไม้	64
ภาพที่ 4.13 ฮิสโตแกรมของค่า ΔE^*_{ab} ระหว่างค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการวัด กับค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการประมาณในชุดข้อมูลสี Test Set สำหรับโทนสีท้องฟ้า	65
ภาพที่ 4.14 ฮิสโตแกรมของระดับคะแนนความเหมือนที่สีผิวคน ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{50} ระหว่างภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม กับภาพดิจิทัล	65

ภาพที่ 4.15 ฮิสโตแกรมของระดับคะแนนความเหมือนที่สี่โดยรวมของภาพคน ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{50} ระหว่างภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม กับภาพดิจิทัล	66
ภาพที่ 4.16 ฮิสโตแกรมของระดับคะแนนความเหมือนที่บริเวณสีของผิวคน ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{65} ระหว่างภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม กับภาพดิจิทัล	67
ภาพที่ 4.17 ฮิสโตแกรมของระดับคะแนนความเหมือนที่สี่โดยรวมของภาพคน ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{65} ระหว่างภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม กับภาพดิจิทัล	67
ภาพที่ 4.18 ฮิสโตแกรมของระดับคะแนนความเหมือนที่บริเวณสีของท้องฟ้า ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{50} ระหว่างภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม กับภาพดิจิทัล	68
ภาพที่ 4.19 ฮิสโตแกรมของระดับคะแนนความเหมือนที่บริเวณสีของทะเล ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{50} ระหว่างภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม กับภาพดิจิทัล	68
ภาพที่ 4.20 ฮิสโตแกรมของระดับคะแนนความเหมือนที่บริเวณสีโดยรวม ของภาพทิวทัศน์ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{50} ระหว่างภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม กับภาพดิจิทัล	69
ภาพที่ 4.21 ฮิสโตแกรมของระดับคะแนนความเหมือนที่บริเวณสีของท้องฟ้า ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{65} ระหว่างภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม กับภาพดิจิทัล	70
ภาพที่ 4.22 ฮิสโตแกรมของระดับคะแนนความเหมือนที่บริเวณสีของทะเล ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{65} ระหว่างภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม กับภาพดิจิทัล	70

ภาพที่ 4.23 ฮิสโตแกรมของระดับคะแนนความเหมือนที่บริเวณสีโดยรวมของ ภาพทิวทัศน์ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{50} ระหว่างภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม กับภาพดิจิทัล	70
ภาพที่ 4.24 ฮิสโตแกรมของระดับคะแนนความเหมือนที่บริเวณโทนสีแดง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{50} ระหว่างภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม กับภาพดิจิทัล	71
ภาพที่ 4.25 ฮิสโตแกรมของระดับคะแนนความเหมือนที่บริเวณโทนสีเขียว ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{50} ระหว่างภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม กับภาพดิจิทัล	72
ภาพที่ 4.26 ฮิสโตแกรมของระดับคะแนนความเหมือนที่บริเวณโทนสีน้ำเงิน ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{50} ระหว่างภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม กับภาพดิจิทัล	72
ภาพที่ 4.27 ฮิสโตแกรมของระดับคะแนนความเหมือนที่บริเวณโทนสีเหลือง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{50} ระหว่างภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม กับภาพดิจิทัล	72
ภาพที่ 4.28 ฮิสโตแกรมของระดับคะแนนความเหมือนที่บริเวณสีโดยรวมของ ภาพนามธรรม ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{50} ระหว่างภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม กับภาพดิจิทัล	73
ภาพที่ 4.29 ฮิสโตแกรมของระดับคะแนนความเหมือนที่บริเวณโทนสีแดง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{65} ระหว่างภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม กับภาพดิจิทัล	74
ภาพที่ 4.30 ฮิสโตแกรมของระดับคะแนนความเหมือนที่บริเวณโทนสีเขียว ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{65} ระหว่างภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม กับภาพดิจิทัล	75

ภาพที่ 4.31 ฮิสโตแกรมของระดับคะแนนความเหมือนที่บริเวณโหนดสีน้ำเงิน
 ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{65} ระหว่างภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม
 กับภาพดิจิทัล 75

ภาพที่ 4.32 ฮิสโตแกรมของระดับคะแนนความเหมือนที่บริเวณโหนดสีเหลือง
 ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{65} ระหว่างภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม
 กับภาพดิจิทัล 75

ภาพที่ 4.33 ฮิสโตแกรมของระดับคะแนนความเหมือนที่บริเวณสีโดยรวมของ
 ภาพนามธรรม ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{65} ระหว่างภาพที่ผลิตจากข้อมูลสเปกตรัม
 กับภาพดิจิทัล 76