วิธีการเทียบสีความแม่นยำสูงโดยการใช้เมทริกซ์แปลงค่าในปริภูมิสีที่ถูกแบ่งย่อย

นาย ประสิทธิ์ คันธศักดิ์ศิริ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0435-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 20066739 19 พ.ย. 2546

HIGH ACCURACY COLOR MATCHING METHOD USING MATRIX TRANSFORMATION IN SUB-DIVIDED COLOR SPACE

Mr. Prasit Cunthasaksiri

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 2000

ISBN 974-13-0435-8

Thesis Title	HIGH ACCURACY COLOR MATCHING METHOD USING MATRIX TRANSFORMATION IN SUB-DIVIDED COLOR SPACE
By	Mr. Prasit Cunthasaksiri
Department	Imaging and Printing Technology
Thesis Advisor	Associate Professor Aran Hansuebsai, Ph.D.
Thesis Co-advisor	Mr. Yujiro Ando, M.S.

Accepted by the Faculty of Science, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree

..... Dean of Faculty of Science
(Associate Professor Wanchai Phothiphichitr, Ph.D.)

THESIS COMMITTEE

..... Chairman
(Professor Suda Kiatkamjornwong, Ph.D.)

..... Thesis Advisor
(Associate Professor Aran Hansuebsai, Ph.D.)

..... Thesis Co-advisor
(Mr. Yujiro Ando, M.S.)

..... Member
(Associate Professor Pontawee Pungrassamee, M.S.)

..... Member
(Professor Chidchanok Lursinsap, Ph.D.)

นาย ประสิทธิ์ คันธศักดิ์ศิริ : วิธีการเทียบสีความแม่นยำสูงโดยการใช้เมทริกซ์แปลงค่า ในปริภูมิสีที่ถูกแบ่งย่อย (HIGH ACCURACY COLOR MATCHING METHOD USING MATRIX TRANSFORMATION IN SUB-DIVIDED COLOR SPACE) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.อรัญ หาญสืบสาย, อ. ที่ปรึกษาร่วม : นาย ยูจิโระ อันโดะ; 94 หน้า. ISBN 974-13-0435-8

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาการแปลงค่าสีระหว่างปริภูมิสีอิสระsRGBและปริภูมิสีของอุปกรณ์RGB โดยการใช้เทคนิคการแปลงค่าสีด้วยเมทริกซ์สัมประสิทธิ์ ซึ่งได้จากวิธีการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ ร่วมกับเทคนิคการแบ่งปริภูมิสีออกเป็นปริภูมิย่อย เมทริกซ์สัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบได้มาจากการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณแบบเชิงเส้น อันดับที่ 1 กับค่าสัมประสิทธิ์ 4 ตัว, อันดับที่ 2 กับค่าสัมประสิทธิ์ 11 ตัว และ อันดับที่ 3 กับค่าสัมประสิทธิ์ 14 ตัว รวมทั้ง อันดับที่ 3 กับค่าสัมประสิทธิ์ 20 ตัว ตามลำดับ และวิธีการแบ่งปริภูมิสี เป็นการแบ่งแบบ Tetrahedral ซึ่งถูกแบ่งซ้ำอีกครั้งด้วยระนาบตามสมการ R+G+B = 383

ผลของการรวมเอาเทคนิคทั้งสองเพื่อนำมาใช้ในการแปลงค่าสีระหว่างปริภูมิสีทั้งสอง ปรากฏว่าค่าความแตกต่างสี(ΔE)จากการแปลงค่าสีระหว่างปริภูมิได้ค่า $\Delta E_{rms}=3.31$ และ $\Delta E_{max}=12.10$ ซึ่งค่าความแตกต่างสีจากการแปลงดังกล่าวมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความแตกต่างจากการแปลงค่าสีด้วยวิธีการที่ไม่ได้ใช้เทคนิคดังกล่าว

ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางภาพ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2543 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4272335423: MAJOR IMAGING TECHNOLOGY
KEY WORD: COLOR TRANSFORMATION / SUB-DIVIDED COLOR SPACE / TETRAHEDRAL PARTITION METHOD /

PRASIT CUNTHASAKSIRI : HIGH ACCURACY COLOR MATCHING METHOD USING MATRIX TRANSFORMATION IN SUB-DIVIDED COLOR SPACE. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. ARAN HANSUEBSAI, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : MR. YUJIRO ANDO. 94 pp. ISBN 974-13-0435-8

The characterization of a color-imaging device, such as a digital color printer, defines a relationship between the device-dependent color space and device-independent color space, typically based on CIE colorimetry. This stands on empirical models, which do not exactly require knowledge of the physical properties of the printer as they rely only on the measurement of large number of color samples and computational approach.

This research proposes a new method to improve the accuracy of color transformation that using of coefficient matrices in sub-divided color space. The coefficient matrices obtained from 1st order with 4 Terms, 2nd order with 11 Terms and 3rd order with 14 as well as 3rd order with 20 Terms of linear regression model. While the partition methods are tetrahedral divided by a plan of R+G+B=383, and cubic without partition. The new method resulted in the high accuracy color transformation with color differences $\Delta E_{rms}=3.31$ and $\Delta E_{max}=12.10$. As compared with conventional linear 1st order without partition, the color transformation errors could be extremely reduced.

ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางภาพ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2543 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

ACKNOWLEDGMENT

I would like to express my sincere appreciation to my advisor, Associate Professor Dr. Aran Hansuebsai, and my co-advisor, Mr. Yujiro Ando, Head of Thai Project of Canon Incorporation for their kind supervision, invaluable guidance and constant encouragement, for their review of the thesis content.

Thankful to Associate Professor Pontawee Pungrassamee, for her invaluable suggestions through the experiments.

I would like to thank the thesis committee for their comments and invaluable suggestions. And also Mr.Manuswin, Union TSL Limited for the equipment supports.

Thanks also especially go to my companions; Somporn Suksawad, Juleeporn Kunlayajitkoson, Supachai Theravithayangkura, Kitirochna Rattanakasamsuk, Noparat Kaew-on, Yannawit Bangchokdee, Premsuda Ruthaijetcharoen and Ms.Saranya Pouvilai(Yimlamai) who have charitably participated suggestions and given me moral supports as well as invigorated me throughout this entire work.

I am very grateful to my family, my friends for giving me a reason to be a member here, also for their supports, endless concerns and love. Finally, I would express my deeply thank to Rumi Yamauchi for giving me an encouragement and inspiration to complete this work.

Prasit Cunthasaksiri

CONTENTS

PAGE

ABSTRACT(IN THAI) iv

ABSTRACT(IN ENGLISH) v

ACKNOWLEDGMENT vi

CONTENTS vii

LIST OF TABLES xi

LIST OF FIGURES xii

CHAPTER 1 : INTRODUCTION

1.1 Objective 5

1.2 Scope of the Research 5

1.3 Content of the Thesis 5

CHAPTER 2 : THEORY AND LITERATURE REVIEW

2.1 Theoretical considerations 7

2.1.1 Uniform colour spaces and colour differences 9

2.1.2 sRGB color space 11

2.1.3 Regression Analysis 12

2.1.4 3D-interpolation 15

2.2 Literature Reviews 16

2.2.1 High Precision Color Masking in Sub-divided CIELAB Polar Coordinates Spaces 16

2.2.2 Representtation of Color Space Transformations for Effective Calibration and Control 17

CONTENTS(continued)

PAGE

CHAPTER 3 : OVERLAPPING TECHNIQUE APPROACHING THE COEFFICIENT OF TRANSFORMATION

3.1 Schematic of Typical Model Relation 19

3.2 Method of Characterization with Least Square Matrices 20

3.2.1 Look-up Table (LUT) 20

3.2.2 Inverse LUT 21

3.2.3 The Multiple Linear Regression Model 22

3.3 Tetrahedral Partition Method 24

3.4 The propose method 26

3.4.1 Coefficient Partition 27

3.4.2 Target Partition 27

3.4.3 Overlapping Partition 28

3.5 The categories of the Testing Data 29

3.6 Evaluation of Algorithm 31

CHAPTER 4 : EXPERIMENT

4.1 Material 34

4.2 Apparatus 34

4.3 Procedure 35

4.3.1 Equipment setup 35

4.3.2 LUT data creation 35

4.3.3 Printer calibration and Color chart printing 35

CONTENTS(continued)

PAGE

4.3.4 Color chart measuring 36

4.3.5 Proposed method origination 37

4.3.5.1 Order of Regression Model 37

4.3.5.2 Partition Method 39

4.3.6 Proposed method analysis 42

4.3.6.1 Proposed method analysis 43

4.3.6.2 Testing data 43

CHAPTER 5 : RESULTS AND DISCUSSION

5.1 Effect of Model, LUT data size, Partition method and Degree of Regression Model 48

5.1.1 Model of Printer 48

5.1.2 LUT data size 48

5.1.3 Partition method 48

5.1.4 Degree of Regression Model 49

5.1.5 Testing data 49

5.2 Effect of the *LUT data size* on Bubble Jet BJC8500 55

5.3 Effect of the *Order of Regression Model* on Bubble Jet BJC8500 55

5.4 Effect of the Partition Method on Bubble Jet BJC8500 59

5.5 Effect of the *LUT data size* on Color Laser Copier CLC1120 60

5.6 Effect of the *Order of Regression Model* on Color Laser Copier CLC1120 60

5.7 Effect of Partition Method on Color Laser Copier CLC1120 65

CONTENTS(continued)

PAGE

5.8 Effect of Overlapping partition 66

CHAPTER 6 : CONCLUSION AND SUGGESTION

6.1 Conclusion 72

6.2 Suggestion 74

REFERENCES 75

APPENDIX 77

VITA 94

LIST OF TABLES

TABLE **PAGE**

5-1 The approximated accuracy of the Canon BJC8500 for 7x7x7 LUT data..... 51

5-2 The approximated accuracy of the Canon BJC8500 for 9x9x9 LUT data..... 52

5-3 The approximated accuracy of the Canon CLC1120 for 7x7x7 LUT data..... 53

5-4 The approximated accuracy of the Canon CLC1120 for 9x9x9 LUT data..... 54

LIST OF FIGURES

FIGURE **PAGE**

2-1 Schematic diagram of the regression method 13

2-2 Comparison of the *Minvar* algorithm to Tetrahedral interpolation 18

3-1 The schematic diagram of typical relationship of Input and Output Signal 19

3-2 Tetrahedral partition method divide a cube in to six sub-spaces. 25

3-3 Tetrahedral partition in *sRGB* color space. 26

3-4 The *Input Signals* $[Y]_i$ which are out side of the *LUT data boundary* 27

3-5 A partition, which is extracted to cover corresponding target partition 28

3-6 Testing data T_{uni} uniformly distribute around printer gamut 29

3-7 Testing data T_{lut} un-uniformly distribute around printer gamut 30

3-8 shows schematic diagram of the testing algorithm process. 30

4-1 The schematic diagram of the *LUT data* generating 36

4-2 The methodology of analysis 43

5-1 The *Printer Gamut boundary* of printer model BJC8500 and CLC1120 46

5-2 Comparison of the 498 and 497T-uni approximated accuracy of 7x7x7 and 9x9x9 LUT data size 56

5-3 Comparison of the 1226T-glo approximated accuracy of Whole and Tetra12 with 9x9x9 LUT data size 57

5-4 Comparison of the 841T-glo approximated accuracy of Whole and Tetra12 with 7x7x7 LUT data size 58

5-5 Comparison of the 497 and 501T-uni approximated accuracy of 7x7x7 and 9x9x9 LUT data size 61

LIST OF FIGURES(continued)

FIGURE **PAGE**

5-6 Comparison of the 1230T-glo approximated accuracy of Whole and Tetra12 with 9x9x9 LUT data size 62

5-7 Comparison of the 840T-glo approximated accuracy of Whole and Tetra12 with 7x7x7 LUT data size 63

5-8 The characteristic of the printer model (a)BJC8500 and (b)CLC1120 64

5-9 The Printer Gamut boundary of printer model BJC8500 with Tetrahedral partition 68

5-10 The Printer Gamut boundary of printer model CLC1120 with Tetrahedral partition 69

5-11(a) The gray step that is approximated from the whole partition

(b) The gray step that is approximated from the whole partition method divided by plane of $R+G+B=383$ 70