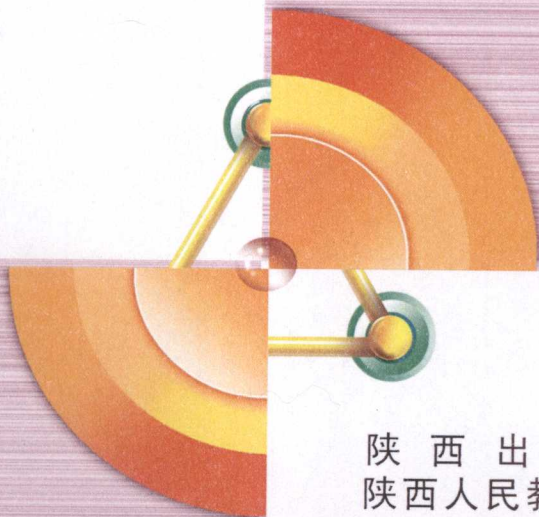


数字图像

色彩转换

的 原理与方法

曹从军 编著



陕西出版集团
陕西人民教育出版社

数字图像色彩转换的原理与方法

曹从军 编著

图书在版编目(CIP)数据

数字图像色彩转换的原理与方法/曹从军编著. —西安:
陕西人民教育出版社, 2009.9

ISBN 978-7-5450-0431-1

I. 数… II. 曹… III. 数字图像处理 IV. TN911.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 161825 号

数字图像色彩转换的原理与方法

曹从军 编著

出版 陕西出版集团
陕西人民教育出版社
发行 陕西人民教育出版社
印刷 西安理工大学印刷厂
责任编辑 姜莹
规格 850×1168 32 开
印张 6 印张
字数 180 千字
版次 2009 年 9 月第 1 版
印次 2009 年 9 月第 1 次
书号 ISBN 978-7-5450-0431-1
定价 28.00 元

前 言

印刷复制技术是传播影像图文的一种手段,随着数字式和开放式图像处理系统的全面应用,输入、处理、输出软硬件呈现多样化,数字图像在复制和再现过程中常常从一个设备传递到另一个设备上,不断发生着颜色的转换。如何保证颜色信息在不同种类、不同厂家的各种软硬件之间,以及不同部门之间正确传递就变得越来越重要。因此,色彩空间转换算法随着色彩管理的广泛应用而凸现其重要性,其中最为关键的就是设备无关的颜色空间(例如:CIE XYZ, CIE $L^* a^* b^*$ 等)与设备相关颜色空间(RGB, CMYK)的转换。

本书作者在多年教学和科研实践基础上,参考了国内外大量相关文献,重点研究的 CIE $L^* a^* b^*$ 与 CMYK 之间的颜色变换算法正是色彩管理中印刷输出设备特征化以及 CMM (Color Management Module/Color Matching Method) 内核的关键技术之一,其结果还可应用于图像画面直接检测、计算机配色、数字图像输出、图像分色、数码打样、图像修描等方面。

本书参考并直接引用了作者在周明全教授指导下于 2008 年完成的西北大学博士学位论文《色彩管理关键技术 CIE $L^* a^* b^*$ 与 CMYK 变换算法的研究》以及作者指导的硕士研究生周祎和孙静分别于 2008 年、2009 年完成的西安理工大学硕士学位论文《基于数码打样 CMYK 与 $L^* a^* b^*$ 颜色空间转换模型的研究》、《基于数码打样的 CMYK 与 $L^* a^* b^*$ 色彩空间转换方法的研究》。本书所用理论方法涉及色彩学、数理统计、神经网络等,理论性较强,同时基于工程实践进行实验研究和分析,具有很好的可读性和较高的参考价值,可作为高等院校印刷工程、计算机软件与理论相关专业的研究生教材,也可供从事印刷、电

子出版、图像信息处理的技术人员和管理人员使用。

敬请读者对本书叙述不当和不妥之处给予批评指正。

曹从军

2009年3月于西安

内 容 摘 要

颜色复制一直是国际上信息传播、印刷出版、计算机视觉、图像处理等领域关注的重要问题。色彩管理就是解决图像复制流程中各种设备色空间之间的颜色转换问题,保证图像色彩在整个复制过程中协调一致、正确传递。颜色转换作为色彩管理技术的重要组成部分,对图像复制质量意义重大。

本书研究的 CIE $L^*a^*b^*$ 与 CMYK 之间的颜色变换算法正是色彩管理中印刷输出设备特征化以及 CMM 的关键技术之一,其结果还可应用于图像画面直接检测、计算机配色、图像分色、数码打样、图像修描等方面。可见颜色转换具有广阔的理论研究价值和实用价值。

本书就颜色转换的理论和进行了有益探索,主要研究成果如下:

1. 分析了色彩管理技术的原理、方法、流程、关键技术以及系统构成和应用;比较了常用色彩空间转换方法的理论基础、实现过程以及各自的特点。
2. 选用 ECI2002 标准色靶研究了四色网点色度值分布的平面规律性,采用数理统计方法验证了回归平面方程变量的线性相关性和平面显著性。
3. 基于平面呈色规律实现了 CMY 和 $L^*a^*b^*$ 的正反向转换,且转换精度较高。进一步采用数理统计和数值分析的方法建立了 CMYK 到 $L^*a^*b^*$ 的颜色变换方程,分析了转换误差的影响因素,论证了该方法适用于 CMYK 和 $L^*a^*b^*$ 色空间转换的研究工作。
4. 应用 CIE XYZ 色度系统首次对网点呈色平面规律的产生机理进行探讨,发现了网点彩色复制色度值存在的一些内在规律。

5. 按照心理明度值 L^* 将建模样本数据分组进行 BP、GA-BP 神经网络训练, 结果表明尽管 GA-BP 神经网络的速度和精度高于 BP 网络, 但它们应用于 CIE $L^* a^* b^*$ 到 CMYK 色彩空间转换的结果受到样本数据、隐层和隐层元数、人为因素的影响, 精度不高, 特别是在暗调区域模型很难达到较好的效果。

6. 首次将 GRNN 引入颜色转换研究, 分别按照 L^* 将样本数据分组及不分组两种情况建模, 无论从训练的简便性、训练速度还是精度上看广义回归神经网络比 BP 神经网络都具有优势。因此提出 GRNN 更适合于颜色空间转换的研究。

Abstract

Color reproduction is always the focused technology in information transmitting, printing publishing, computer vision and image processing, etc. Color management is used to solve the color conversion problem in different devices and to keep color consistent and correct in the whole image processing. And color conversion is the important part in color management technology and has great significance on image reproduction.

In this book color conversion algorithm of CIE $L^* a^* b^*$ and CMYK is researched, which is the key technology in output device characterization and color management module. And the study could also be used in on-line image detecting, computer color matching, image color separation, digital proofing and image inpainting, etc. Hence the research work is valuable both in theory and application.

Lots of helpful exploratory works have been done in color conversion theory and method in this book. The main contributions are as follows:

1. The theory, method, workflow, key technology, system construction and application of color management technology have been analyzed and the academic fundamental, implementing process and characteristics of common used color space transformation methods are compared.

2. The standard color target ECI2002 is selected to study in CMYK four color printings where the dot colorimetric values of one

color(e. g. C) and K are settled while the others(e. g. M and Y) are variable, lie on a flat plane. And then variables' linear pertinence and plane prominence of regressed plane equations are verified based on mathematic statistical method.

3. The conversion of CMY and $L^* a^* b^*$ with higher precision is built under colorimetric plane theory. Further research has been done to build up the conversion from CMYK to $L^* a^* b^*$ based on mathematic statistical method and numerical analyzing method. Then the factors influencing precision of these equations are analyzed.

4. The generation mechanism of the plane theory is firstly analyzed by CIE1931 Y_{xy} chromaticity system and it is found that there is some existing rules included in the colorimetric values of CMYK four color halftone dots.

5. The sample data have been grouped according to L^* value to train BP and GA—BP network of conversion CIE $L^* a^* b^*$ to CMYK. And the study shows that the GA—BP network has a relative quicker speed and higher precision than BP network. But the result is affected by grouped data, hidden layers' number and neurons' number. So the conversion precision is not satisfied, especially in shadow areas.

6. GRNN is present first time to study conversion from $L^* a^* b^*$ to CMYK in this book. Grouped data according to L^* value and non—grouped data have been used separately to set up GRNN. The result shows that the GRNN gains an advantage over BP and GA—BP network weather in training conveniency, speed or precision. So, GRNN is much more suitable for color conversion research.

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 色彩管理技术	(2)
1.2.1 色彩管理的内容	(2)
1.2.2 色彩管理系统的主要构成	(3)
1.2.3 色彩管理系统的工作原理	(4)
1.2.4 色彩管理的步骤	(5)
1.2.5 色彩管理的作用	(7)
1.2.6 ICC Profile	(8)
1.2.7 现代色彩管理技术的应用	(11)
1.3 国内外研究现状	(13)
1.3.1 国外研究现状	(13)
1.3.2 国内研究现状	(16)
1.4 本书研究的目的和主要内容	(18)
1.4.1 本书的目的和意义	(18)
1.4.2 本书的主要内容	(20)
1.5 本章小结	(24)
第二章 常用色彩空间及其转换方法	(25)
2.1 颜色的混色系统—CIE 系统表色法	(25)
2.2 色彩空间基础知识	(25)
2.2.1 1931CIE RGB 真实三原色表色系统	(26)
2.2.2 1931CIE XYZ 国际坐标制	(28)
2.2.3 CIE 1976 $L^* a^* b^*$ 均匀颜色空间及色差	

.....	(29)
2.2.4 CMYK 色彩空间	(31)
2.2.5 数字图像色彩空间的选择	(32)
2.3 色彩空间转换模型的主要研究方法	(35)
2.3.1 多项式回归算法	(37)
2.3.2 以纽介堡方程为基础的转换模型	(38)
2.3.3 基于矩阵的转换模型	(39)
2.3.4 三维 LUT 查找表法	(40)
2.3.5 神经网络算法	(42)
2.4 本章小结	(43)
第三章 网点呈色平面规律的验证	(45)
3.1 平面呈色规律的提出	(45)
3.2 实验设计与数据分析	(46)
3.3 数理统计分析方法及平面显著性验证	(49)
3.3.1 数理统计方法及分析	(49)
3.3.2 回归平面显著性的探讨	(54)
3.4 本章小结	(61)
第四章 基于平面呈色规律的 CMYK 到 CIE L* a* b* 转换算 法的研究	(62)
4.1 CIE L* a* b* 与 CMY 平面模型的建立	(62)
4.1.1 平面方程系数与网点面积率的关系研究	(62)
4.1.2 CIE L* a* b* 与 CMY 转换模型的建立	(63)
4.2 CMYK 到 CIE L* a* b* 平面转换方程的建立	(65)
4.2.1 K 值一定时 CMYK 到 L* a* b* 的平面模型的 建立	(65)
4.2.2 回归各平面转换方程精度检验	(66)
4.2.3 不同 K 值下 CMYK 到 L* a* b* 转换方程的建 立及精度分析	(69)
4.3 本章小结	(73)

第五章	网点呈色平面规律存在机理的探讨	(75)
5.1	利用 CIE1931XYZ 色度系统对网点印刷平面规律产生机理的分析	(76)
5.2	K 一定且 CMY 某色固定的 $L^* a^* b^*$ 色度空间变化规律	(80)
5.2.1	K 一定时 CMY 某色依次变化的 $L^* a^* b^*$ 色度空间分析	(80)
5.2.2	CMY 某原色一定时 K 依次变化的 $L^* a^* b^*$ 色度空间分析	(82)
5.3	本章小结	(86)
第六章	基于神经网络的 $L^* a^* b^*$ 到 CMYK 的颜色空间转换模型研究	(88)
6.1	神经网络概述	(88)
6.1.1	神经网络基本原理	(88)
6.2	BP 神经网络概述	(90)
6.2.1	BP 神经网络结构	(90)
6.2.2	BP 神经网络实现原理	(92)
6.2.3	BP 神经网络的设计	(94)
6.3	CIE $L^* a^* b^*$ 到 CMYK 颜色空间的 BP 神经网络变换模型的建立	(96)
6.3.1	确定网络划分数据	(96)
6.3.2	确定 BP 神经网络结构进行建模	(97)
6.3.3	CIE $L^* a^* b^*$ 到 CMYK 颜色空间的 BP 神经网络模型的精度分析	(101)
6.4	遗传算法改进的 BP 神经网络	(106)
6.4.1	BP 神经网络存在的缺点	(106)
6.4.2	BP 神经网络的改进方法	(107)
6.4.3	遗传算法	(108)
6.5	CIE $L^* a^* b^*$ 到 CMYK 颜色空间的 BP 和 GA-BP 神	

神经网络变换模型的比较研究	(112)
6.5.1 实验数据的选取	(112)
6.5.2 建立 $L^*a^*b^*$ 到 CMYK 颜色空间的 BP 神经网络模型	(114)
6.5.3 $L^*a^*b^*$ 到 CMYK 颜色空间的 GA-BP 神经网络转换模型的建立	(115)
6.5.4 BP 与 GA-BP 神经网络转换模型精度比较	(118)
6.5.5 BP 与 GA-BP 网络用于色彩空间转换研究的结果分析	(122)
6.6 CIE $L^*a^*b^*$ 到 CMYK 颜色空间的 GRNN 变换模型的建立	(124)
6.6.1 径向基函数网络	(124)
6.6.2 广义回归神经网络	(125)
6.6.3 CIE $L^*a^*b^*$ 到 CMYK 颜色空间的 GRNN 变换模型的建立与分析	(128)
6.7 本章小结	(138)
第七章 研究结果与展望	(140)
7.1 主要研究成果与意义	(140)
7.2 主要创新点	(143)
7.3 存在不足及进一步开展工作的展望	(144)
参考文献	(146)
附录	(155)

第一章 绪 论

1.1 引言

自从有了彩色图像,颜色复制一直是信息传播、印刷出版、计算机视觉、图像处理等领域关注的重要问题。根据色彩学理论,颜色视觉与光源的光谱能量分布、颜色物体的光谱反射率、人眼的光谱视觉特性等因素有关。由于不同颜色介质或设备的光谱特性以及各颜色空间表征的色域范围不同,即使同一颜色由不同的介质、输入或输出设备来表现,其数值都有差异。尤其是伴随着计算机及外部设备的引入、电子出版、网络出版系统的出现更使图像从输入、显示到输出过程中颜色的表示日趋多样化,多种图像格式传输、不同表现介质的出现使色彩变得难以控制。在色彩的复制过程中颜色要进行多次转换,最终形成输出介质的颜色数据并进行输出:原稿用染料、油墨或物体本身介质表达的颜色经过扫描后,转换为扫描仪 RGB 颜色值,再在显示器上显示为显示器 RGB 值,最后按不同的输出要求以彩色打印机或印刷的 CMYK 值进行输出,而不同阶段 RGB、CMYK 色彩空间其颜色表征均与设备相关。随着数字式和开放式图像处理系统的全面应用,输入、处理、输出软硬件不断多样化,如何保证颜色信息在不同种类、不同厂家的各种软硬件之间,以及不同部门之间正确传递就变得越来越重要。色彩管理的主要任务就是解决各种设备色空间之间的转换问题,保证图像的色彩在整个复制过程中失真最小^[1]。国际色彩联盟 ICC(International Color Consortium)规范是实现色彩管理的基础,ICC 通过给每一个要表达颜色的设备创建自己的设备描述文件 ICC Profile 来进行管理,该描述文件记录了设备的呈色特性,通过该

文件可实现各设备颜色同作为中间媒介的一个与设备无关的颜色表示系统的对应关系,这样,就制定了设备颜色空间与中介色空间(设备无关的色空间)之间相互转换的方法^[1],图像在各个颜色设备上就能准确传递了。

1.2 色彩管理技术

为了适应开放式印刷系统及电子出版、网络出版发展的要求,1993年,由德国印刷及复制研究所 FOGRA 组织,Adobe Systems Inc.、Agfa、Apple Computer、Eastman Kodak Company、Microsoft Corporation、SGI (Silicon Graphics Inc.)、Sun Microsystems、Tali-gent Inc 等计算机和彩色出版行业公司,共同成立了国际色彩联盟 ICC^[1],现在其成员已发展到 68 名^[2],他们在讨论印前图文复制当中的颜色传递、转换和复制问题的基础上,建立并实施了设备颜色特征(Profile)的描述方式、颜色转换方法、规定交换数据格式等标准。ICC 规定了设备的颜色特征(Profile)数据格式,以便在各种计算机系统之间跨平台地交换设备的颜色特征,为系统的颜色匹配模块 CMM(Color Management Module 或 Color Matching Method)提供颜色转换的依据。目的是以与设备无关的标准色彩空间为基础,将色彩描述标准化,使所有的设备描述能共享和转换。通过一个中间的、与设备无关的、能包含各个色彩空间的色彩连接空间 PCS(Profile Connection Space),即用 CIE XYZ 或 CIE LAB 之一来建立设备特性描述文件,实现色彩的开放式管理。ICC 的成立及相关标准的制定,无疑将色彩管理系统 CMS(Color Management System)的发展推向了一个新的阶段。

1.2.1 色彩管理的内容

1. 色彩管理的基本内容包括:

(1) 以标准化方式来定义与控制输入、显示、输出设备的色彩描述

特性(特别是层次和色域),并将这种设备描述定义为色彩描述文件(Color Profile)。

(2)定义一个能够连接所有色彩描述文件的工作平台。

(3)对基于不同色彩空间的输入和输出设备的彩色数据进行色彩空间转换。

ICC 标准总共规定了 7 种特征描述文件^[1],其中包括:三种基本设备的特征描述文件,即输入设备特征描述文件、显示设备特征描述文件和输出设备特征描述文件;四个附加特征描述文件,即设备连接特征描述文件、色空间转换特征描述文件、抽象特征描述文件(Abstract Profile)和命名色特征描述文件(Named Color Profile)。

2. 色彩管理的核心内容为:

(1)必须有一个与设备无关的颜色空间,作为不同设备之间进行颜色转换的中介。

(2)对每一个设备必须有一个标准规范。用它来描述设备表现颜色的能力、特性和参数。该描述以文件的形式出现,文件名通称为 Profile。

(3)必须有一个精确的算法来实现不同颜色空间的颜色转换。

1.2.2 色彩管理系统的主要构成

在大多数情况下输入设备的色域都比输出设备的色域大,因此需要一个能够使输入与输出设备的色域相协调的软件——色彩管理系统(CMS—color management system)。所有基于 ICC 的色彩管理系统一般都包含四个基本组成部分^[3]:

(1)PCS。特性文件连接颜色空间给每一个颜色一个明确的 CIE XYZ 或 CIE LAB 数值,这些数值不依赖于复制颜色时所使用的具体设备,而表现的是人眼所看到的真实颜色感觉。

(2)特性文件。特性文件用来描述设备的 RGB 或 CMYK 控制信号与这些信号所实际产生颜色之间的关系。即:特性文件明确定义了 RGB 或 CMYK 数值所对应的 CIE XYZ 或 CIE L* a* b* 数值(简

写为 CIE LAB 或 LAB)。

(3)CMM。CMM(色彩管理模块)通常又叫做引擎,它是一个程序,用来完成 RGB 或 CMYK 数值转换的计算工作。CMM 与包含在特性文件里的颜色数据一起共同完成这个转换工作。

(4)再现意图。ICC 色彩管理规范包含四种不同的再现意图,用来处理那些在源设备色空间可以实现,而在输出设备的实际色空间却无法复制的那些颜色的。

色彩管理系统软件的主要构成包括:

(1)一个能够支持不同设备色彩描述文件的数据格式;

(2)一个能够将一种设备生成的色彩数据转换到另一个设备色彩空间的算法;

(3)色彩描述文件的数据;

(4)一个能够使输入、显示和输出设备的色域匹配算法。

1.2.3 色彩管理系统的工作原理

目前色彩管理系统的工作原理是以色光加色法或色料减色法为基础,采用色彩匹配(Color Matching)的方法,使需要得到的颜色和目标颜色一致。色彩匹配的方法分为两种,其一是根据色彩的分光特性而形成的模拟或数字信号来校正颜色,故称为分色校色或分光分色校色,该方法应用在封闭式闭环系统,所谓闭环系统是指该系统的输出信息经过检测,且将测得的结果送回输入端参与对系统输出信号的控制;其二是根据色彩的三刺激值来校正颜色,故称为条件等色校色,该方法应用在开放式系统,所谓开放式系统是指该系统的输出信息不经过检测,也不反馈到输入端参与对输出信号的控制。在条件等色校色中所输入色彩的颜色分光特性与目标色彩的颜色分光特性是不一致的,要通过在某种条件下使两者的三刺激值一致来达到色彩一致的效果,因此在不同的条件下(照明光源不同)颜色外观不同。

闭环控制法是国外普遍用于色彩管理系统的管理方案,如 Agfa、Kodak、Pantone 等公司。