

用多隐层 BP 网实现的 CRT 色度变换

廖宁放

(清华大学精密系, 北京 100084; 云南师范大学现代颜色科技中心, 昆明 650092)

杨卫平 曾华 石俊生 白凤翔 余鸿飞

(云南师范大学物理系, 昆明 650092)

摘要 为了实现彩色信息的标准化显示, 需要对 CRT 的色度空间进行标定, 也就是 CRT 的 R、G、B 空间与 CIE 的标准色度空间的相互转换问题. 人工神经网络近年来被广泛应用于多种颜色空间的变换过程中. 在分析前人经验的基础上, 提出了一种采用四隐层 BP 网的 CRT 的 R、G、B 与 CIE 的 X、Y、Z 色度空间的变换方法. 实验结果表明, 该方法的收敛性和训练时间均优于前人采用 2 个或 3 个隐层的方案, 而且通过对 512 个训练样本的实验, 其平均转换精度接近 1.5 个 CIELUV 色差单位.

关键词 CRT 色度 计算机颜色 BP 神经网络 颜色空间变换

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2000)06-0470-04

CRT Color Conversion by a Multi-Layer BP Neural Networks

LIAO Ning-fang

(Department of precision instrument, Tsinghua university, Beijing 100084)

YANG Wei-ping, ZENG Hua, SHI Jun-sheng, BAI Feng-xiang, YU Hong-fei

(Department of Physics, Yunnan Normal University, Kunming, 650092)

Abstract CRTs (Cathode Ray Tubes) are major display devices in computers. In practical cases, in order to display colors on a CRT on standard, we must do color calibration work for it, which is the problem of color notation conversion between the RGB space of the CRT and the XYZ space of CIE system. Neural networks is one of methods in color notation conversion. In this paper, we proposes a BP Neural networks with four-hidden-layer to perform the color notation conversion from RGB space to XYZ space in a computer controlled CRT system. The experimental results show our method is better than the method which using only 2~ 3 hidden layers, and the color conversion precision of our experiment is about 1.5 CIELUV units.

Keywords CRT colorimetry, Computer color, BP neural networks, Color conversion

0 引言

由计算机控制的 CRT 色度空间变换, 主要是指 CRT 的 R、G、B 颜色空间与 CIE(国际照明委员会) X、Y、Z 颜色空间的相互变换, 它是近年来色度学领域的一个重要研究课题. CRT 色度空间变换可归结为三维空间的非线性映射问题. 但传统 CRT 色度变换方法存在一个共同缺点, 即每变换一个色

样都要经过大量的数学计算^[1,2], 所以变换速度较慢. 因此有必要研究一种适合于彩色图象信息快速显示特点的 CRT 色度变换方法.

由于多层 BP 网具有很强的非线性映射能力, 因此近年来已有众多学者把 BP 神经网络应用于色度空间变换的研究中, 其中也包括 CRT 色度空间变换. 但是在前人的研究中, 习惯采用 2~ 3 个隐层的 BP 网结构, 每一隐层的神经元总数多达 40 单元左右^[3~5]. 因此这类神经网络结构由于过于庞大而

不利于实际应用.有鉴于此,该文提出了一种采用4隐层BP网的CRT色度空间变换方案,并通过实验证实了该方案的有效性.

1 系统原理

在CRT色度空间变换中,分别有R、G、B到X、Y、Z和由X、Y、Z到R、G、B两种变换,这两种变换互为逆过程.由于两种变换很相似,因此仅以R、G、B到X、Y、Z的变换为例来进行分析.图1是计算机中由R、G、B控制CRT显示X、Y、Z颜色的过程.用BP神经网络来模拟图1的颜色显示过程就可以达到准确预测X、Y、Z的目的.

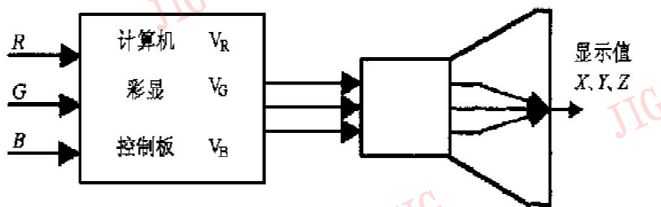


图1 R、G、B到X、Y、Z的变换原理

本文采用多层前馈型神经网络实现R、G、B到X、Y、Z的变换.网络的输入端和输出端各采用了3个神经元,分别对应CRT的输入值R、G、B和显示值X、Y、Z;训练模型采用BP算法;训练样本的选择采用文献[6]的R、G、B空间分割方案;网络训练过程的误差用全局标准差表示,具体过程参照文献[6]和[7].

2 最佳隐层数的选择

2.1 基本分析

前人的理论和实践表明,BP网的隐层数以及各隐层中的神经元数将直接影响到它的收敛特性.由于单隐层BP网的效果不理想,人们试图采用两个隐层的BP网来实现颜色变换.例如,文献[3]用双隐层网实现了CIE的X、Y、Z到Munsell系统的变换,每层40个神经元左右;文献[4]对同样的变换则采用了三隐层的BP网;文献[5]分别用3-50-50-3和3-40-40-3的BP网实现了CRT的由R、G、B到X、Y、Z以及由X、Y、Z到R、G、B的变换.

但是上述2~3个隐层的BP网并非理想的选择.首先,由于隐层数太少而需增加每层的神经元数,由此导致连接权数大增.例如一个3-40-40-3的结构,其连接权总数为 $(3 \times 40) + (40 \times 40) + (3 \times$

$40) = 1\ 840$.由BP网的学习规则可知,学习过程中的计算量主要取决于连接权和样本的规模,当连接权太多时,必然导致训练时间的增加,再加上CRT色度变换的样本数较多,则训练时间更长,过长的训练时间将失去实际应用的价值.其次,当网络规模太大时,网络的训练容易陷入局部极小,使收敛性变差.

2.2 网络的对比训练

为了使网络的层元结构实用化,本文尝试了增加隐层数的方法,即把隐层数增加到4~5层,每层的神经元数仅为10~15之间.为了验证这种结构的实际效果,对不同结构的BP网进行了对比实验,其中R、G、B的取值为“LOG”8点方案^[6],共512个样本.具体如下:

CRT屏幕色度测量装置为Ocean Optical公司的PC1500光纤光谱仪;CRT型号为EMC 14英寸;计算机型号为Pentium II / 233;BP网仿真软件编程环境为Visual C++ 5.0;R、G、B样本取值方案为R、G、B=0, 35, 81, 123, 161, 195, 226, 255;BP网的训练规则为步长 η 取0.5;惯性因子 α 取0.5;初始化权和阈值在[-1, 1]内随机分布;训练次数为0.2M次.

训练样本的初始化:把输入数据R、G、B和显示值X、Y、Z规一化为0~1分布.

实验结果如表1所示.

表1 各隐层网训练结果

隐层数	网络结构	权总数	训练小时数	全局标准差E
2	3-10-10-3	160	3.4	0.009 74
	3-20-20-3	520	8.8	0.008 85
	3-40-40-3	1 840	35.6	0.009 82
3	3-10-10-10-3	260	5.6	0.004 78
	3-15-15-15-3	540	9.2	0.005 77
	3-20-20-20-3	920	14.4	0.004 73
4	3-10-10-10-10-3	360	6.4	0.003 04
	3-12-12-12-12-3	504	8.0	0.003 03
	3-15-15-15-15-3	765	12.0	0.003 01
5	3-18-18-18-18-3	1 080	16.2	0.003 11
	3-10-10-10-10-10-3	460	7.6	0.003 15
	3-12-12-12-12-12-3	648	10.4	0.003 24
	3-15-15-15-15-15-3	990	15.5	0.003 10
	3-18-18-18-18-18-3	1 404	19.3	0.003 29

结果分析:

(1) 从表1可以看出,四隐层的全局标准差E较小,达0.3%左右.

(2) 五隐层网的全局标准差稍大于四隐层,这

说明不能用简单增加隐层数来改善收敛性. 过多的隐层数还将导致网络复杂程度的增加.

(3) 二隐层网的误差最大. 其中 3-40-40-3 网的收敛性甚至不如 3-20-20-3 网的收敛性好, 而且训练时间最长, 这一现象说明当隐层单元数过大时, 训练容易陷入局部极小. 因此两个隐层在这里不是一种好的选择.

(4) 综合考虑训练时间和全局误差, 采用每层 10 个左右神经元的四隐层 BP 网具有最好的性能.

2.3 转换色差检验

以上实验表明, 采用四隐层的 BP 网可以得到很好的训练效果. 但是, 为了验证网络对于整个 R、G、B 空间的变换水平, 挑选如下 R、G、B 的组合作为检验样本的驱动值(注意各检验样本的空间位置恰好在各训练样本之间): R、G、B = 17, 58, 102, 142, 176, 210, 240. 共有 $7^3 = 343$ 个样本.

采用上述 R、G、B 的组合值驱动 CRT 显示, 并分别测量每一次的显示值 X_0, Y_0, Z_0 . 同样用上述 R、G、B 值作为已训练好的 BP 网的输入值, 可以得到相应的输出值 X, Y, Z . 计算 X, Y, Z 与 X_0, Y_0, Z_0 之间的 CIELUV 色差, 就可知 BP 网对 CRT 的颜色转换精度. 本文采用 CIE1976LUV 的色差公式, 其中, X_n, Y_n, Z_n 取 D65 的参数, 即 $Y_n = 100, X_n = 95.046, Z_n = 108.91$.

对 343 个检验样本的色差计算结果如表 2 所示.

表 2 对 343 个检验样本的色差计算结果

BP 网结构	ΔE_{uv} 平均值	ΔE_{uv} 最大值
3-10-10-3	2.33	4.41
3-20-20-3	2.21	4.19
3-40-40-3	2.75	4.21
3-10-10-10-3	1.85	3.88
3-15-15-15-3	1.78	3.26
3-20-20-20-3	1.72	3.51
3-10-10-10-10-3	1.56	3.45
3-12-12-12-12-3	1.55	3.18
3-15-15-15-15-3	1.53	3.22
3-18-18-18-18-3	1.54	3.07
3-10-10-10-10-10-3	1.60	3.12
3-12-12-12-12-12-3	1.58	3.54
3-15-15-15-15-15-3	1.59	3.91
3-18-18-18-18-18-3	1.61	3.33

2.4 实验结果分析

由表 2 的数据可以看出, 四隐层网的平均色差最小, 接近 1.5 个 LUV 色差单位, 属于小色差范

围. 二隐层的平均色差较大, 大于 2 个 LUV 色差单位. 从色差最大值来看, 仍然是四隐层网的性能最好. 上述结果表明, 当隐层数目增加到四层时, 不但改善了 BP 网对训练样本的收敛性, 同时也改善了 BP 网对整个 R、G、B 空间的转换精度. 此外由五隐层网的色差可知, 过多的隐层数没能进一步改善色差转换水平.

3 结 论

在 CRT 的 R、G、B 到 X、Y、Z 的色度空间变换中, 可以采用每层少于 15 个神经元的四隐层 BP 网, 该类网络不但在颜色转换精度方面优于采用二隐层或三隐层的 BP 网, 而且训练时间也较短. 当然, 上述结论还缺乏严格的理论根据. 但是, 该结论不但与文献[7] BP 网对其它函数的训练结果是一致的, 而且与文献[6]对不同样本组合的训练结果也是一致的, 因此该结论具有一定程度的普遍性. 实验结果表明, 当训练样本数为 512 个时, 四隐层 BP 网的平均转换色差接近 1.5 个 CIELUV 单位, 属于小色差范围, 因而可以满足多数实际应用要求. 如果还希望进一步提高颜色转换精度, 则应当适当增加训练样本数.

参 考 文 献

- 1 Post D L, Calhoun C S. An evaluation of methods for producing desired colors on CRT. Color Research and Application, 1989, 14(4): 172~ 185.
- 2 Berns R S. Methods for characterizing CRT displays. Displays, 1996, 16(4): 173~ 182.
- 3 Tominaga Shoji. Color control using neural networks and its application. SPIE, 1996, 2658: 253~ 260.
- 4 Tominaga Shoji. Color Notation Conversion By Neural Networks. Color Research and Application, 1993, 18(4): 253~ 259.
- 5 Po-Rong Chang, Chih-Chiang Tai, Bao-Fuh Yeh. Model-reference color reproduction for video system. SPIE, 1994, 2170: 182~ 190.
- 6 廖宁放. 基于神经网络的 CRT 色度变换方法[博士学位论文]. 北京: 北京理工大学光电工程系, 1999.
- 7 廖宁放等. BP 神经网络用于函数逼近的最佳隐层结构. 北京理工大学学报, 1998, 18(4): 476~ 480.



廖宁放 1960 年生, 副教授. 现在清华大学精仪系做博士后. 目前主要从事颜色光学、三维数字光存储技术、人工神经网络应用、光电传感器应用等方面的研究. 在国际和国内重要刊物上发表论文 20 余篇.



杨卫平 1958 年生, 云南师范大学物理系副教授. 1982 年 7 月毕业于云南师范大学物理系. 主要从事颜色光学、色貌模型、人工神经网络应用、彩色图象处理、计算机多媒体教学系统等研究. 发表论文 10 余篇.



曾 华 1955 年生, 理学博士, 云南师范大学教授, 省级重点学科带头人. 主要从事光学、电脑配色技术、色貌模型等研究. 在国内外核心刊物上发表论文 20 余篇, 其中多篇被 SCI 或 EI 摘录.

石俊生 1961 年生, 工学硕士, 云南师范大学物理系副教授. 主要从事光电技术、颜色光学、色貌模型、计算机应用等研究. 在国内外重要刊物上发表论文 10 余篇.

白凤翔 1962 年生, 理学博士, 云南师范大学物理系副教授. 主要从事电脑配色技术、数字图象处理、光学等研究. 在国内外重要刊物上发表论文 20 余篇.

余鸿飞 1971 年生, 云南师范大学物理系讲师. 毕业于云南师范大学物理系. 主要从事颜色光学、人工神经网络、计算机软硬件等研究. 发表论文 10 余篇.

敬告订户

《中国图象图形学报》从今年起已正式改为半月刊, 其中下半月出版的学报为全彩色版. 并由本刊编辑部自己发行, 现已开始证订, 全年订费与月刊相同, 而且凡订上半月学报者, 赠送下半月学报, 订阅下半月学报者, 赠阅上半月学报. 由于部分在邮局订阅的读者, 本刊不掌握通信地址, 因此为了使邮局订户能收到全年的刊物, 麻烦您将通信地址(邮编)及订刊复印件寄到本编辑部, 以便给您及时寄刊. 同时也希望您能给学报多提些建议并提出您的要求.

通信地址: 北京市海淀区花园路 6 号(100088)

《中国图象图形学报》编辑部 发行部收