

文章编号: 0253-2239(2007)05-0830-5

# 一种多视点视频自动颜色校正系统\*

邵 枫<sup>1,2</sup> 蒋刚毅<sup>1,3</sup> 郁 梅<sup>1,3</sup> 陈偕雄<sup>2</sup>

1 宁波大学信息科学与工程学院, 宁波 315211  
2 浙江大学信息与电子工程学院, 杭州 310027  
3 南京大学软件新技术国家重点实验室, 南京 210093

**摘要:** 针对多视点视频系统中视点间图像颜色不一致的问题, 提出了一种多视点视频自动颜色校正系统。通过求取目标图像和源图像间的颜色校正矩阵, 判断其是否满足全局校正的要求; 对不满足要求的图像, 通过图像分割和 K-L 变换 (Karhunen-Loeve transform), 建立起目标图像和源图像中各分割区域间的局部映射关系, 并通过感兴趣区域匹配, 来实现对源图像的校正, 最后通过视频跟踪技术实现对视频图像的校正。以标准的多视点测试图像集为例, 通过将新方法 with 直方图匹配、全局一维线性校正算法等进行比较, 表明新方法能消除匹配失真的影响, 且具有较好的颜色校正效果。研究结果表明该系统可以很好地揭示图像间的颜色变化关系, 并且具有很好的内容自适应性, 是一种有效的多视点视频图像系统颜色校正方法。

**关键词:** 图像处理; 颜色校正; K-L 变换; 多视点视频; 相似性

中图分类号: TN918.81 文献标识码: A

## A Multi-View Video Automatic Color Correction System

Shao Feng<sup>1,2</sup> Jiang Gangyi<sup>1,3</sup> Yu Mei<sup>1,3</sup> Chen Xiexiong<sup>2</sup>

1 Faculty of Information Science and Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211  
2 Department of Information and Electronics Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027  
3 National Key Lab of Software New Technology, Nanjing University, Nanjing 210093

**Abstract:** In order to solve non-consistence color appearance between different viewpoint images, a multi-view video automatic color correction system is proposed. Global correction matrix is first obtained between target image and source image, then estimate whether global correction is satisfied. If no global correction is satisfied, image segmentation and Karhunen-Loeve transform are performed. Then local mapping relations between target image and source image segmentation regions can be established. And preferred region color mapping is performed to correct source image. Finally video tracking technique is used to correct video images. For the standard multi-view images, compared with histogram matching and global one dimension correction algorithms, experimental results show that the proposed algorithm can effectively eliminate the influence of matching distortion, and achieve good correction result. The studies indicate that the system can apropos reveal color change relation existing in images, has capability of showing content adaptivity, and also is important method of color correction.

**Key words:** image processing; color correction; Karhunen-Loeve transform; multi-view video; similarity

## 1 引 言

随着数字视频的迅速发展和广泛应用,人们对视频的质量和内容的多样性要求越来越高,传统的二维图像已不能满足要求。多视点图像系统通过提供场景在不同视点位置的信息,使用户可以自由选

择观看的视点和方向,来享受更加真实的三维图像,基于这样的交互性与三维图像真实感,其在三维电视(3DTV)<sup>[1]</sup>和自由视点电视(FTV)<sup>[2]</sup>上有很好的应用前景。

然而,视点间图像颜色不一致是目前多视点图

\* 国家自然科学基金(60472100, 60672073)、教育部科学技术研究重点项目(2060059)、浙江省自然科学基金(RC01057, Y105577)和浙江省科技攻关项目(2004C31105)资助课题。

作者简介: 邵 枫(1980-),男,浙江杭州人,博士研究生,主要从事多视点图像编码和规正方面的研究。  
E-mail: shaofeng@126.com

导师简介: 蒋刚毅(1964-),男,浙江绍兴人,教授,博士生导师,主要从事多媒体信息传输、图像处理与视频信号编码、基于视觉的智能控制方面的研究。E-mail: jianggangyi@nbu.edu.cn

收稿日期: 2006-05-16; 收到修改稿日期: 2006-10-11

像处理中亟需解决的一个问题,与几何失真不同<sup>[3,4]</sup>,它产生的主要原因有场景光照、相机标定、CCD 噪声、快门速度和曝光等。颜色校正或颜色补偿作为预处理操作,用来消除视点图像间亮度和色度的差异<sup>[5]</sup>。文献[6]采用全局一维线性函数进行校正,但对于颜色不满足一维线性变化的视点图像,其校正是不充分的。文献[7]采用直方图匹配进行校正,通过匹配目标图像和源图像的累计直方图,构造其像素间的映射函数,其优点是计算复杂度低,但对于颜色变化较大的视点图像,其校正效果并不理想,会有匹配失真情况的发生。

本文提出了一种多视点视频自动颜色校正系统,首先判断视点图像是否满足全局校正要求,对于不满足全局校正的图像,通过图像分割和 K-L 变换(Karhunen-Loeve transform),建立起多视点图像各分割区域间的局部映射关系,并通过感兴趣区域匹配来实现对图像的校正。最后,通过视频跟踪技术实现对视频图像的校正。

## 2 校正系统概述

图 1 为所提出的多视点视频自动颜色校正系统

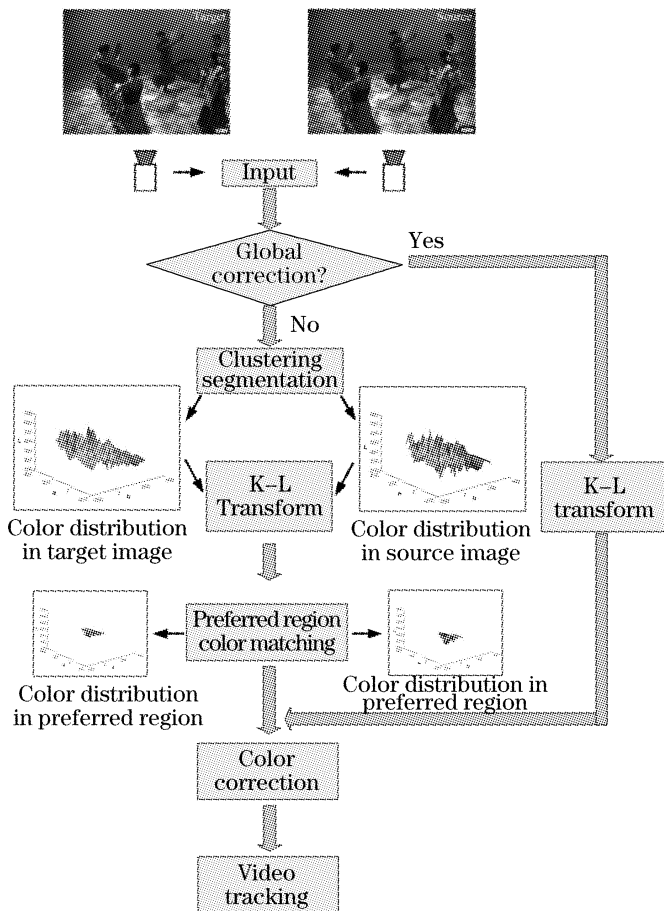


图 1 多视点图像颜色校正系统

Fig. 1 A multi-view point images color correction system

的概念模型。在该系统中,目标图像和未经校正的源图像通过多相机采集系统进行获取。首先将红绿蓝(RGB)颜色空间的数据转换到 CIELAB 颜色空间,并判断是否满足全局校正要求。如果是,对全局图像进行 K-L 变换,求取校正矩阵;否则 LAB 像素值自动分割成几个主要的颜色区域,通过 K-L 变换,将分割像素投影到主分量空间。最后,目标图像和源图像的映射关系可以通过选择最相近的主分量来确定。

RGB 是图像处理中最常用的颜色空间,但在实际应用中,并不直接采用 RGB 颜色空间,其他的颜色空间有 YCbCr, HSI,  $l_{\alpha\beta}$ , CIEXYZ, CIELAB 等<sup>[8]</sup>。文献[9]的统计分析表明,CIELAB 在可靠性和颜色失真等各方面,优于其他颜色空间,因此在本系统中采用了 CIELAB 空间。

## 3 图像分割和 Karhunen-Loeve 变换

颜色聚类是目前颜色图像分割最常采用的方法<sup>[10,11]</sup>,假定在 CIELAB 空间颜色矢量为  $\mathbf{X} = [L, a, b]^T$ ,均值矢量为  $\boldsymbol{\mu} = [\bar{L}, \bar{a}, \bar{b}]^T$ ,通过比较各像素点与均值矢量  ${}_k\boldsymbol{\mu}$  间的欧几里得(Euclidian)颜色距离,进行区域的分割,欧几里的距离定义为

$${}_k d(\text{Euclid}) = \|\mathbf{X} - {}_k\boldsymbol{\mu}\| = [(L - {}_k\bar{L})^2 + (a - {}_k\bar{a})^2 + (b - {}_k\bar{b})^2]^{1/2}. \quad (1)$$

在对图像进行分割后,可以得到各分割区域  $k$  的协方差矩阵:

$${}_k C_x = E[(\mathbf{X} - {}_k\boldsymbol{\mu})(\mathbf{X} - {}_k\boldsymbol{\mu})^T]. \quad (2)$$

Karhunen-Loeve 变换是以图像的统计性质为基础的,通过将原始数据投影到特征空间,使得各分量间的互相关性降低到最低。假定协方差矩阵  ${}_k C_x$  的特征向量为  ${}_k\mathbf{A}$ ,特征值为  ${}_k\lambda_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ), Karhunen-Loeve 变换可以描述为

$${}_k\mathbf{Y} = {}_k\mathbf{A}({}_k\mathbf{X} - {}_k\boldsymbol{\mu}). \quad (3)$$

变换后的协方差矩阵为

$${}_k C_y = {}_k\mathbf{A}({}_k C_x) {}_k\mathbf{A}^T = \begin{bmatrix} {}_k\lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & {}_k\lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & {}_k\lambda_3 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

假定  $\{{}_k\mathbf{X}_{\text{tar}}\}$  和  $\{{}_k\mathbf{X}_{\text{sou}}\}$  为原始的目标图像和源图像,  $\{{}_k\mathbf{Y}_{\text{tar}}\}$  和  $\{{}_k\mathbf{Y}_{\text{sou}}\}$  分别为其特征空间的图像,  $\{{}_k\mathbf{Y}_{\text{cor}}\}$  为对源图像进行校正后的特征空间图像,根据 K-L 变换,特征空间的图像可以表示为

$$\begin{aligned} {}_k\mathbf{Y}_{\text{tar}} &= {}_k\mathbf{A}_{\text{tar}}({}_k\mathbf{X}_{\text{tar}} - {}_k\boldsymbol{\mu}_{\text{tar}}), \\ {}_k\mathbf{Y}_{\text{sou}} &= {}_k\mathbf{A}_{\text{sou}}({}_k\mathbf{X}_{\text{sou}} - {}_k\boldsymbol{\mu}_{\text{sou}}), \end{aligned} \quad (5)$$

特征空间的图像满足

$$E[({}_k\mathbf{Y}_{\text{tar}})({}_k\mathbf{Y}_{\text{tar}})^T] = {}_k\mathbf{C}_{y_{\text{tar}}},$$

$$E[({}_k\mathbf{Y}_{\text{sou}})({}_k\mathbf{Y}_{\text{sou}})^T] = {}_k\mathbf{C}_{y_{\text{sou}}},$$

因此可以得到

$${}_k\mathbf{Y}_{\text{cor}} = {}_k\mathbf{S} {}_k\mathbf{Y}_{\text{sou}} = {}_k\hat{\mathbf{Y}}_{\text{tar}} = {}_k\mathbf{A}_{\text{tar}}({}_k\hat{\mathbf{X}}_{\text{tar}} - {}_k\hat{\boldsymbol{\mu}}_{\text{tar}}), \quad (6)$$

其中

$${}_k\mathbf{S} = \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{{}_k\lambda_{1\text{-tar}}}{{}_k\lambda_{1\text{-sou}}}} & 0 & 0 \\ 0 & \sqrt{\frac{{}_k\lambda_{2\text{-tar}}}{{}_k\lambda_{2\text{-sou}}}} & 0 \\ 0 & 0 & \sqrt{\frac{{}_k\lambda_{3\text{-tar}}}{{}_k\lambda_{3\text{-sou}}}} \end{bmatrix}.$$

假定校正矩阵为 ${}_k\mathbf{M}$ , 图像校正可以描述为

$${}_k\hat{\mathbf{X}}_{\text{tar}} - {}_k\hat{\boldsymbol{\mu}}_{\text{tar}} = {}_k\mathbf{M}({}_k\mathbf{X}_{\text{sou}} - {}_k\boldsymbol{\mu}_{\text{sou}}), \quad (7)$$

$${}_k\mathbf{M} = ({}_k\mathbf{A}_{\text{tar}})^{-1}({}_k\mathbf{S})({}_k\mathbf{A}_{\text{sou}}). \quad (8)$$

## 4 自动颜色校正算法和图像质量评价

在图1的校正系统中, 采用了自动颜色校正算法。首先对全局的图像也就是聚类为1的区域求取校正矩阵, 记为 $\mathbf{M} = \{m_{ij}, 1 \leq i, j \leq 3\}$ , 如果 $\{m_{ii} > T_1, 1 \leq i \leq 3\}$ 并且 $\{|m_{ij}| < T_2, 1 \leq i, j \leq 3, i \neq j\}$ , 则认为图像满足全局校正的要求, 用全局校正矩阵 $\mathbf{M}$ 进行校正, 否则对图像继续进行聚类分割。在这里,  $T_1 = 0.9, T_2 = 0.1$ 。

对于不满足全局校正要求的图像, 则进行聚类分割, 各区域间可以自动建立颜色映射关系, 再利用这种映射关系对各区域分别进行校正。但由于图像分割的分类误差和各校正矩阵的非全局一致性, 在区域边界不可避免地会有匹配误差的出现, 需要增加后续滤波的操作, 其实现的复杂度较高, 因此, 新算法引入了感兴趣区域匹配。假定有 $K$ 个分割区域, 图像的区域间可以自动建立 $K$ 种匹配关系, 感兴趣区域匹配采用特征值最相近的原则, 也就是使(9)式的成本最小, 这与文献[12]中感兴趣区域的选取是不同的。对于全局校正的情况, 其感兴趣区域就为全局的图像:

$$\left\{ \min \left[ \sum_{i=1}^3 \left( 1 - \frac{{}_k\lambda_{i\text{-tar}}}{{}_k\lambda_{i\text{-sou}}} \right)^2 \right], 0 < k < K \right\}, \quad (9)$$

综合上述分析, 本系统的自动颜色校正算法可以描述为:

1) 对目标图像和源图像分别进行 Karhunen-Loeve 变换, 求取全局校正矩阵, 并且判断其是否满足全局校正的要求, 如果是, 转到 3), 否则转到 2) 步;

2) 对目标图像和源图像分别进行聚类分割和 K-L 变换, 并且通过(9)式来选择感兴趣区域, 求取感兴趣区域间的校正矩阵;

3) 用校正矩阵对源图像进行校正, 使其与目标图像的颜色外表一致;

4) 对其他的视点图像重复 1), 2), 3) 的操作。

5) 采用视频跟踪技术实现对多视点视频图像间的颜色校正, 以降低后续时刻上的多视点图像间颜色校正的计算复杂度。

将本系统的自动颜色校正算法与文献[6, 7]的算法进行了比较。文献[6]的全局一维线性校正函数定义为

$$f[I_s(x, y)] = \frac{\sigma_j^t}{\sigma_i^s} [I_c(x, y) - \mu_i^s] + \mu_j^t, \quad (10)$$

其中 $\mu_i^s$ 和 $\sigma_i^s$ 分别为源图像的高斯分布均值和方差,  $\mu_j^t$ 和 $\sigma_j^t$ 分别为目标图像的均值和方差。

文献[7]的直方图匹配定义了各灰度级的像素映射关系, 表示为

$$m_y(v) = u \text{ with } c_y^t(u) < c_y^s(v) \leq c_y^t(u+1), \quad (11)$$

其中 $c_y^t(v)$ 为目标图像的累计直方图,  $c_y^s(u)$ 为源图像的累计直方图,  $m_y(\cdot)$ 为像素映射关系。

为了更好地评价校正算法的效果, 以校正后图像与目标图像的全局或感兴趣区域的相似性作为图像质量评价的准则, 相似性定义为:

$$\text{sim}(\lambda_{\text{tar}}, \lambda_{\text{cor}}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[ 1 - \frac{|\lambda_{i\text{-cor}} - \lambda_{i\text{-tar}}|}{\max(\lambda_{i\text{-cor}}, \lambda_{i\text{-tar}})} \right], \quad (12)$$

其中 $\lambda_{\text{tar}}$ 和 $\lambda_{\text{cor}}$ 分别为目标图像与校正图像全局或感兴趣区域的特征值,  $N$ 为颜色维数, 最大相似性为1。

## 5 实验结果

本文采用 KDDI 公司提供的 golf1 和 object3 多视点测试图像集, 图像大小为 320 pixel × 240 pixel, 采用平行成像系统, 8 个相机水平排列, 各相机间距为 200 mm。本文取其中的 5 个视点图像, 以第 1 个视点图像作为目标图像, 其他视点图像作为源图像, 校正源图像使其与目标图像颜色一致。

对多视点测试图像 golf1 和 object3 采用本文的方法进行校正, 图 2, 图 3 中的(a)和(b)为其中的两个视点的图像, 作为目标图像和源图像, 其校正结果如图 2, 图 3 中的(c), (d), (e)所示。其中 golf1 图像由于满足全局校正的要求, 其视点间颜色近似满足一维线性变化, 与文献[6]全局一维线性校正效果几乎一致, 其校正矩阵为

$$\begin{bmatrix} 0.977 & -0.009 & -0.043 \\ 0.015 & 0.995 & 0.069 \\ 0.057 & -0.089 & 0.937 \end{bmatrix}$$

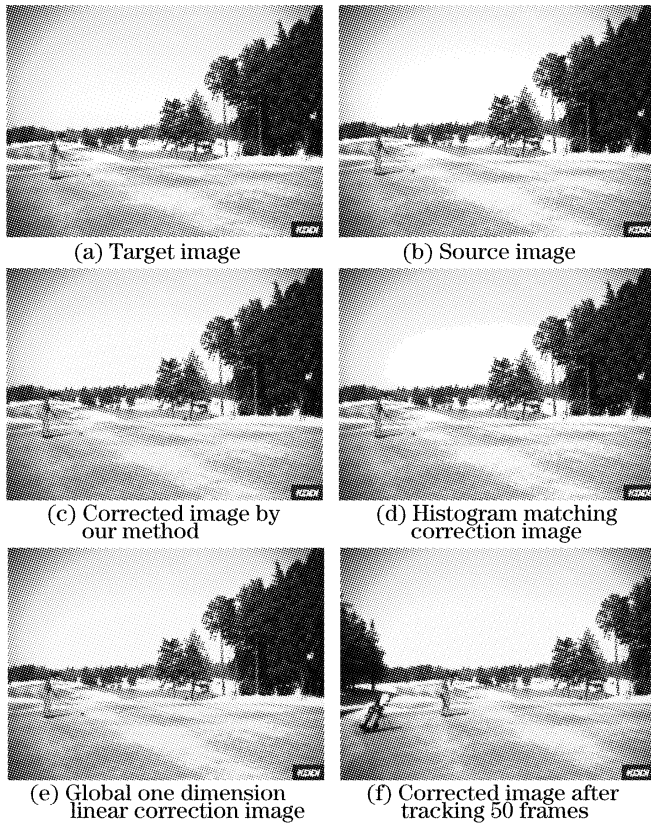


图 2 golf1 测试图像校正  
Fig. 2 Correction result of golf1

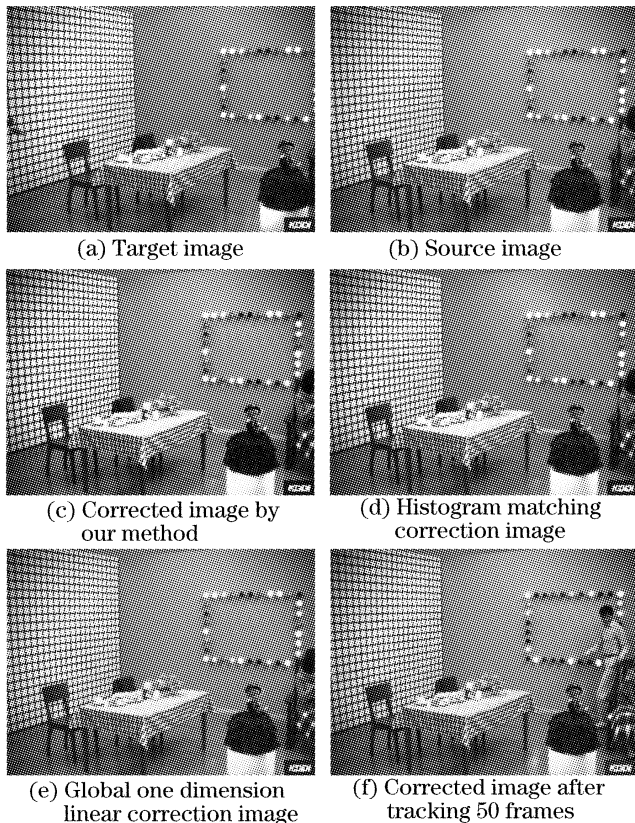


图 3 object3 测试图像校正  
Fig. 3 Correction result of object3

对 object3 图像,由于其不满足全局校正的要求,采用了感兴趣区域校正,其聚类分别为 5,与全局一维线性校正相比,采用感兴趣区域校正的图像,其色调与目标图像更为接近,校正效果更加突出。而采用文献[7]的直方图匹配校正,在高灰度级上会有欠匹配或误匹配的情况,其校正图像会有明显的颜色失真,本文称之为匹配失真,如 golf1 中的天空和 object3 中的灯光。这里,新方法中的感兴趣区域校正矩阵分别为

$$\begin{bmatrix} 1.190 & -0.036 & 0.026 \\ -0.121 & 0.960 & 0.071 \\ 0.031 & -0.071 & 0.986 \end{bmatrix}$$

由于视点图像在时域方向有很强的相关性,因此可以采用视频跟踪技术对视频图像进行校正。在确定了视点间图像的映射关系后,采用这种映射关系对相同视点位置的时域帧进行校正,图 2、图 3 中的(f)为 golf1 和 object3 跟踪后的本文方法校正图像,从中表明,新方法的跟踪校正效果是非常有效的。

图 4 比较了经过校正后的相似性与原始图像的相似性,从中可以看出,校正后图像的相似性明显大于原始图像,对于全局一维线性校正,其对于满足全局校正的图像,如 glof1,其相似性很大,而对于采用感兴趣区域匹配校正的图像,如 object3,其相似性

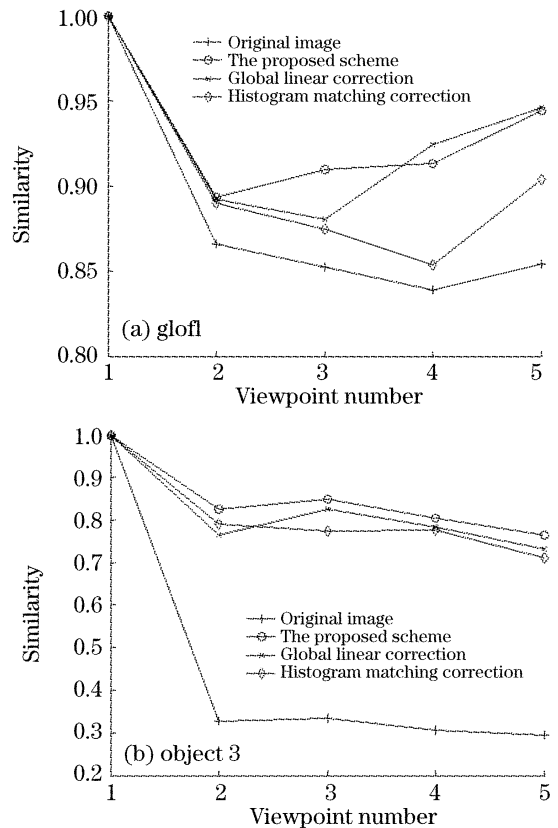


图 4 相似性比较  
Fig. 4 Similarity comparison

要低于本文方法;对于直方图匹配校正,其不可避免地会产生匹配失真,因此其相似性一般要低于本文的方法。

## 6 结 论

视点间图像的颜色不一致是目前多视点图像处理中亟需解决的一个问题。本文从建立图像校正系统的概念模型的角度出发,提出了一种多视点图像自动颜色校正算法,取得了较好的校正效果。本文采用 $3 \times 3$ 线性矩阵,其精度通常能满足校正的要求,如果需要更高精度的颜色校正,可以在高维的非线性校正矩阵的求取上进行进一步的研究。

### 参 考 文 献

- 1 W. Matusik, H. Pfister. 3D TV: A scalable system for real-time acquisition, transmission, and autostereoscopic display of dynamic scenes [J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2004, **23**(3): 814~824
- 2 Purim Na Bangchang, Toshiaki Fujii, Masayuki Tanimoto. Experimental system of free viewpoint television [C]. *Proc. SPIE*, 2003, **5006**: 554~563
- 3 Jia Dongyao, Ding Tianhuai. A novel method of dynamic calibrating non-uniform of multiple [J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(4): 485~490 (in Chinese)  
郑东耀,丁天怀. 多路 CCD 成像非一致性动态校正新方法[J]. *光学学报*, 2005, **25**(4): 485~490
- 4 Zeng Jiyong, Su Xianyu. A new rectification method of stereo pairs without calibration for cameras[J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(5): 628~632 (in Chinese)  
曾吉勇,苏显渝. 一种无相机标定的立体图像对校正新方法[J]. *光学学报*, 2004, **24**(5): 628~632
- 5 Ulrich Fecker, Marcus Barkowsky, André Kaup. Luminance and chrominance compensation for multi-view sequences using histogram matching. MPEG2005/M12487, 2005, Nice, France
- 6 Erik Reinhard, Michael Ashikhmin, Bruce Gooch *et al.*. Color transfer between images [C]. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2001, **21**(4): 34~41
- 7 U. Fecker, M. Barkowsky, A. Kaup. Improving the prediction efficiency for multi-view video coding using histogram matching [C]. *Picture Coding Symposium*, 2006. Beijing, China
- 8 Ren Zhibin, Sui Yongxin, Yang Yinghui *et al.*. Color quantization of color images in homogeneous color space [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2002, **10**(4): 340~345 (in Chinese)  
任智斌,隋永新,杨英慧等. 在均匀颜色空间中实现彩色图像的颜色量化[J]. *光学精密工程*, 2002, **10**(4): 340~345
- 9 Mark Grundland, Neil A. Dodgson. Color histogram specification by histogram warping [C]. *Proc. SPIE-IS&T Electronic Image*, 2005, **5667**: 610~620
- 10 Nie Shouping, Wang Ming, Liu Feng. Image segmentation algorithm study for low contrast image [J]. *Chin. J. Lasers*, 2004, **31**(1): 89~91 (in Chinese)  
聂守平,王 鸣,刘 峰. 低对比度图像分割算法研究[J]. *中国激光*, 2004, **31**(1): 89~91
- 11 Jie Xu, Pengfei Shi. Natural color image segmentation using integrated mechanism [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2003, **1**(11): 645~647
- 12 Deng Jiaxian, Wu Chengke, Chen Jun. Multi-spectral image compression based on rate-distortion slope lifting [J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(3): 299~303 (in Chinese)  
邓家先,吴成柯,陈 军. 基于率失真斜率提升的干涉多光谱图像压缩[J]. *光学学报*, 2004, **24**(3): 299~303