

基于线性分类器的混合空间查找表颜色分类方法

刘 斐 卢惠民 郑志强

(国防科技大学机电工程与自动化学院, 长沙 410073)

摘 要 提出了一种基于线性分类器的混合颜色空间查找表颜色分类方法, 该方法主要解决颜色查找表分类方法的区分能力受颜色空间选择、阈值确定等因素影响而难以区分近似颜色的问题。将模式识别中的线性分类器思想应用于颜色查找表映射关系的建立, 并通过同时使用 HSI 空间与 YUV 空间的方法提高查找表对近似颜色的区分能力。实验结果表明, 基于线性分类器的混合空间查找表颜色分类方法具有查找表建立原则简单、效果直观的特点, 并且对近似颜色有较强的区分能力, 适用于彩色图像的快速颜色分割。

关键词 颜色查找表 颜色空间 线性分类器 颜色分类

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2008)01-0104-05

Linear Classifiers Based CLUT Classifying Method in Combined Color Space

LIU Fei LU Huimin ZHENG Zhiqiang

(College of Mechatronics and Automation, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

Abstract This paper presents an improved CLUT color classification method based on linear classifiers and combined color space. The CLUT method is a useful method for color classification. However, the segmentation ability of CLUT is always weakened by the inaccurate choices of color space and threshold, especially when dealing with similar colors. Similar colors always have the almost same distributions in one color space, while have separate distributions in another color space. Combined color space can improve the ability to distinguish similar colors. Linear classifier is one of the most popular methods for pattern classification in pattern recognition. The principle of linear classifier is to use lines to separate the color spaces according to the distributions of different colors. The linear classifiers make it very convenient to set up the table and less depend on the experience of operators. The idea of linear classifiers is applied in this paper to build the CLUT. Meanwhile, HSI and YUV color spaces are employed to increase the ability to segment similar colors. The results of the experimentation show that the combined color space classification method based on linear classifiers is efficient and easy to establish look up table and to segment similar colors. The method can be applied to the fast segmentation of color image.

Keywords CLUT (color look up table), color space, linear classifiers, color classify

1 引 言

彩色图像的颜色分割是图像处理的基础, 其目的在于将图像中具有不同颜色的区域区分开, 表示为不同的分类, 以便于后续的特征提取、目标识别等工作。使用颜色查找表^[1]是快速颜色分割的一种

重要方法, 以往的颜色查找表一般只在一个颜色空间内对不同的颜色进行分类, 构建查找表的方法也多为高低阈值判断法。由于彩色图像颜色信息的复杂性, 使用单一颜色空间往往难以区分所有需要识别的颜色, 也很难准确区分近似颜色。简单的高低阈值分类方法也不符合某些颜色空间的分布规律。本文提出一种基于线性分类器的混合颜色空间查找

收稿日期: 2007-02-06 改回日期: 2007-09-14

第一作者简介: 刘斐 (1978~), 男, 2002 年于国防科技大学获硕士学位, 现为国防科技大学控制科学与工程专业博士研究生。主要研究方向为数字图像处理、机器人视觉、视觉导航定位等。E-mail: liufei_onh@263.net

表分类方法, 使用线性分类器构建多颜色空间查找表, 提高颜色分割的准确性。

本文首先通过使用两种颜色空间共同构建查找表对原有的查找表分类方法进行改进, 提高查找表方法对近似颜色的区分能力。其次, 在 HSI 与 YUV 两种颜色空间中, 设计并实现了一种基于线性分类器思想的映射关系确定方法, 简化了查找表建立过程, 提高了分类结果的准确性。最后, 通过实验证明, 基于线性分类器的混合空间查找表颜色分类方法对于较复杂的多种近似颜色相互区分具有明显的效果, 颜色判别结果准确可靠。

2 混合颜色空间查找表方法

2.1 混合颜色空间方法的必要性

颜色查找表是一种颜色数据到分类结果的映射关系。应用于颜色分类的查找表通常通过确定颜色空间中各分量阈值的方法对颜色空间进行划分, 将颜色分量值作为查找表的索引, 划分结果作为查找表的输出。使用单一颜色空间的查找表, 能够对图像中的不同颜色进行分类, 但单一的颜色空间在颜色描述能力上容易受到多种因素的限制。

以常用的 YUV 空间和 HSI 空间为例 (颜色空间转换模型参见文献 [3]), 如图 1 所示, 图 1(a) 中, 颜色 A 与颜色 B 在 UV 平面上的分布同位于图 1(b) 中的 $A_u B_u$ 矩形区域内, 两种颜色的差别在于其对应的亮度分量不同, 颜色 A 的亮度平均值为 150 颜色 B 的亮度平均值为 52 (0~255 范围), 可见在 YUV 空间下只有依靠亮度分量的差别才能将两种颜色分开, 但是在很多实际应用中, 为了提高颜色分割算法的适应能力, 应尽量避免颜色判别准则对亮度分量的依赖。在 HSI 颜色空间下, 颜色 A 在 HS 平面上的分布位于 A_h 区域, 颜色 B 的分布位于 B_h 区域, 两者可以依靠饱和度分量 S 分量很好的区分开, 如图 1(c) 所示。所以, 在 HSI 空间下区分颜色 A、B 比较准确。图 1(a) 中的颜色 D 与颜色 E 在 HS 平面上的分布 $D_h E_h$ 非常接近, 但是在 UV 平面上分布 $D_u E_u$ 相差明显, 所以, 在 YUV 空间下区分颜色 D、E 比较准确。另外, 由于 HSI 颜色空间是圆锥形, H 分量沿圆周分布, HS 分布平面会将 H 分量在 0 附近的颜色分割在分布平面的两端, 比如图 1(a) 中的颜色 C, 在 HS 平面上中位于 C_{h1} 和 C_{h2} 区域。但在 UV 平面上集中分布在图 1(b) 中的 C_u 区域, 相对易于区分。

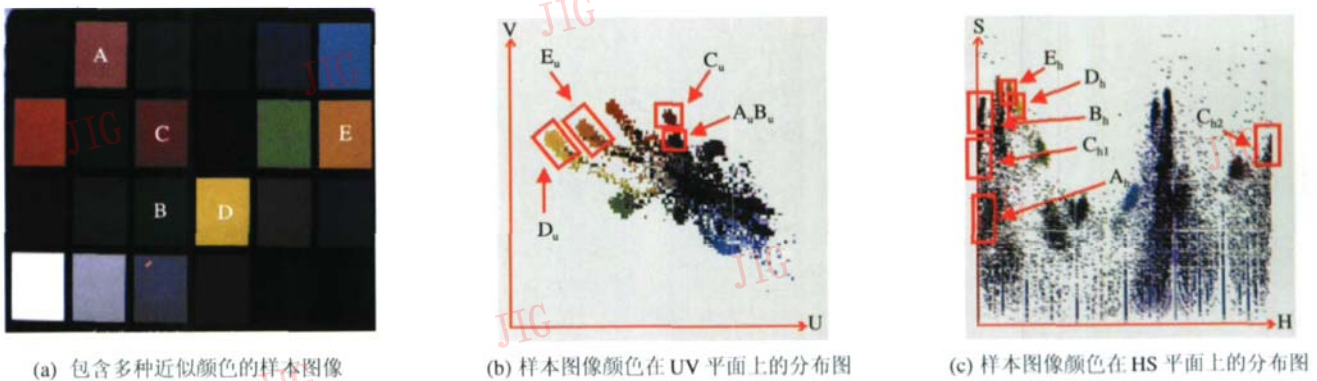


图 1 样本图像及其所含颜色在 UV 平面、HS 平面上的分布图
Fig 1 Sample image and its color distribution in UV space & HS space

综上所述, 在不考虑亮度分量影响的情况下, 对 UV 平面与 HS 平面的颜色区分能力进行比较, UV 分量描述了颜色中蓝色分量差和红色分量差, 色差相同的颜色在 UV 平面上不易区分。另外, 深颜色对应的 UV 分量集中分布于 UV 平面中部, 各颜色之间的差异不大。而 HSI 颜色空间反映了人类观察颜色的方式, 色度分量 H 可以区分不同的颜色, 饱和度分量 S 可以区分同一种颜色的深浅差异, 但对某些色度、饱和度都非常接近的颜色也较难区分, 而

这样的近似颜色在 UV 平面上往往能够较好的区分开。因此, 将两种颜色空间混合利用建立颜色查找表, 可以有效地提高颜色查找表算法的区分能力。

2.2 混合颜色空间查找表的建立

颜色查找表的形式为以颜色数据为索引的分类结果存储矩阵。本文使用的是 Prosilica 公司的 EC650C 摄像机^[4], 图像采集设备的输出数据格式为 YUV422 因此所建立的查找表的分类映射关系为 $YUV \rightarrow$ 分类结果, 选择不同的数据输出格式需要

建立不同的映射关系。

混合颜色空间查找表,其实质是在不同的颜色空间下对某一个颜色空间下的待识别颜色建立的数据源到颜色分类结果的映射关系。本文将在 YUV 与 HSI 空间下建立这样的映射关系。查找表是通过颜色标定程序依据样本图像建立的,样本图像通常是视觉采集设备在工作环境下采样得到的。本文在拍摄样本图像的同时保存了该图像的 YUV 格式的数据,以保证颜色标定程序所建立的查找表是从原始数据到分类结果的直接映射,避免颜色空间转换过程中的计算误差对颜色分类结果的影响。利用样本图像的 YUV 数据,可以得到其 RGB 数据,再转换为 HSI 数据,由此可以得到样本图像在 YUV 与 HSI 空间下的分布。为了简化标定过程,本文在 UV 平面与 HS 平面绘制样本图像所包含颜色的分布图,亮度分量以 1 维分布单独表示。

从图 1 中可以明显地看出,各种颜色在不同的颜色空间内都具有明显的集中分布。在 UV 平面上,确定一个集中分布的区域,并给出亮度分量的阈值,就可以将这片区域内对应的 YUV 分量作为索引,将分类结果作为索引的输出,从而得到这个区域所表示的某种颜色的查找表输出,重复这个过程,可以得到颜色空间中任意区域所对应颜色的查找表输出。在 HSI 空间中,可以用同样的方法得到以 H、S、I 分量为索引的查找表,再利用颜色空间转化关系将 HSI 索引转变为 YUV 索引,就可以得到依据 HSI 空间建立的 YUV 数据索引的查找表。根据样本图像中的不同颜色在 YUV 空间与 HSI 空间的分布情况,选择合适的颜色空间建立查找表,从而得到能够区分所有待分类颜色的查找表。

3 基于线性分类器的颜色分类

线性分类器是模式识别领域里常用的模式分类方法之一,其主要思想为使用直线、平面等线性函数对样本空间进行分割,通过判断样本空间中的点与分割直线或者分割平面的相对位置来判断该点是否属于待判别的模式。本文将这一思想应用于颜色空间的分割上,通过对颜色空间中区域的划分,从而建立颜色空间到分类结果的分类查找表。

3.1 使用线性分类器的查找表建立方法

使用线性分类器,首先要确定样本空间。通过 2.2 节的分析可知,样本图像包含的各种颜色具有

在 HS 平面或者 UV 平面上集中分布的明显特点。所以,可以选择这两种颜色空间作为线性分类器的样本空间。由于样本空间为 2 维平面,所以所使用的线性分类器为一组直线。这组直线所包围的区域确定了某一种颜色在颜色空间中的分布,同时根据样本图像中该区域包含像素点的亮度分布范围确定亮度分量的阈值,由此,可以得到用于区分某一颜色的线性分类器和亮度阈值。确定判别函数直线和亮度阈值以后,对颜色空间中的每一个点判断其 UV 分量或者 HS 分量是否位于某一组直线所包围的范围之内,并且其亮度分量是否位于相应的亮度阈值之间,如果是,则颜色空间中的这个点就属于该颜色分类,如果不是,则不属于该分类。对空间内的不同区域确定其判别函数直线以及相应的亮度阈值,并判断样本空间中的点是否属于某一分类,从而建立起整个样本空间到分类结果的查找表。对图 2(a) 所示样本图像,在 UV 平面以及 HS 平面上使用线性分类器区分 5 种颜色的直线判别函数如图 2(b)、图 2(c) 所示,图 2(d) 为最终的分类结果(注:采集图 1 和图 2 的摄像机参数略有不同,两图的 HS 分布和 UV 分布也有不同)。

其中,颜色 A、B 在 YUV 空间下分类,颜色 C、D、E 在 HSI 空间下分类。以颜色 C 为例说明查找表建立过程,颜色 C 是深绿色,在 HS 平面上集中分布在 C_h 区域。首先,选择 4 条直线构成一个四边形包围这片区域,区域中的点都是颜色 C 在 UV 平面上的分布,根据这些点的亮度值的分布范围,可以确定用于区分颜色 C 的亮度阈值;然后,对 HS 平面上的每一点根据 4 条判别函数直线判断其是否位于这片封闭区域内,如果位于区域内并且亮度也在阈值范围之内,就将这个点的 H、S、I 分量索引结果标记为 C,再将 HSI 索引转变为 YUV 索引,从而得到颜色 C 的查找表输出。对于其他的几种颜色分别重复这样的过程,可以得到能够同时准确区分这 5 种颜色的查找表。

3.2 线性分类器判别函数建立方法

本文中所使用的线性分类器的判别函数是一组直线方程,多个直线方程所表示的直线包围成的封闭区域就是待判别颜色的分布区域。在本文研究所使用的标定程序中,采取的是使用鼠标在颜色分布平面上绘制四边形的方法来确定某一种颜色的分布区域,这个区域应当尽可能的仅包含需要识别的这种颜色,以减小近似颜色之间的相互影响。线性分

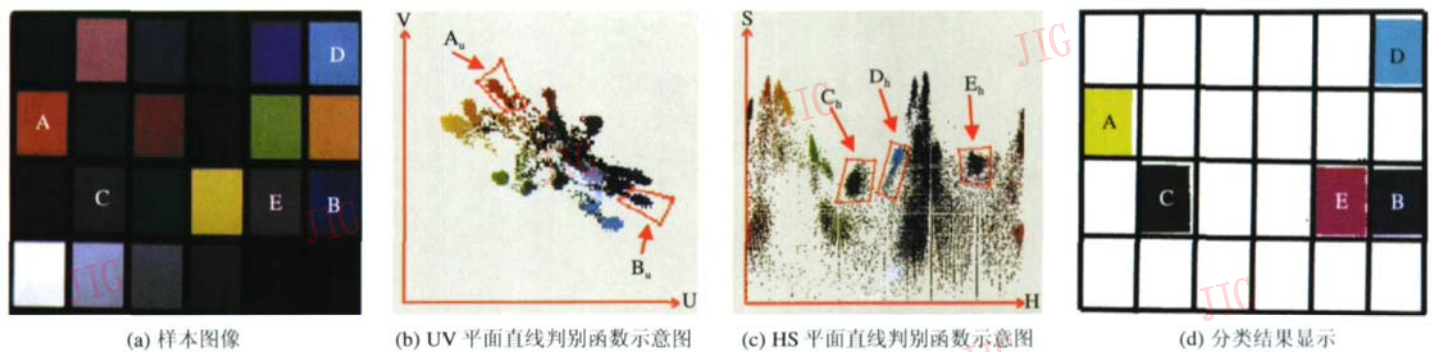


图 2 线性分类器查找表方法示意图

Fig 2 Linear classifiers and the result of color segmentation

类器的直线方程就是这个四边形的 4 条边所对应的直线方程, 直线方程的参数根据直线在颜色平面中的位置确定。亮度分量的阈值实际上也是 1 维空间中的线性判别函数, 根据待识别颜色的亮度分布范围来确定。颜色空间中所有的点都根据这两个判别条件确定其自身的归属。由于 HSI 空间形状是圆锥形 (对饱和度分量 S 进行了归一化, 原始分布是六棱锥), 所以在绘制 HS 平面分布图时, 在 H 分量为 0 的位置进行展开, 红色、橘红色的 HS 分布会被划分在 H 分量的两端。为了解决这个问题, 在选择 H 分量的颜色封闭区域时, 要进行跨界处理, 在 HS 平面的两端同时构建两个包围颜色分布区域的四边形, 以完整的识别出被分割在两端的同一种颜色。

4 实验结果及分析

对于图 3(a) 所示的样本图像, 选择几个具有代表性的颜色进行分类。其中, 颜色 A 的 H 分量分布范围在 $246 \sim 7$ 之间 ($0 \sim 255$ 范围), 跨越了分界线, 所以在 HS 平面上其对应的颜色集中区域被分割为两部分, 如图 3(c) 中 A_{h1} 、 A_{h2} 所示。颜色 B、C 为深浅不同的两种蓝色, 在 UV 平面上分布在 B_u 、 C_u 区域, 很难准确的区分开。在 HS 平面上颜色 B、C 具有基本相同的 H 分量, 但 S 分量差别比较大, 因此在 HS 平面上表现为两块距离较远的 B_h 区域和 C_h 区域。颜色 D、E 与颜色 B、C 的情况正好相反, 在 HS 平面中分布在 D_h 、 E_h 区域, 但是在 UV 平面上中分布在 D_u 和 E_u 区域, 比较容易区分。F 颜色在两种颜色空间下都独立位于 F_h 或者 F_u 区域, 可以很容易的与其他颜色区分开。

基于以上分析, 对颜色 A、B、C 在 HSI 空间下建立查找表, 其中颜色 A 的分布区域要对判别函数直

线所包围的区域进行切割、平移, 分别对 A_{h1} 和 A_{h2} 两个区域进行判别。颜色 D、E 在 YUV 空间下建立查找表, 确定判别函数时要使其包围区域尽量小, 避免两个区域之间的干扰。F 颜色可以任意选择颜色空间, 在这里选择 YUV 空间对其建立查找表。

图 4 表示的是使用基于线性分类器的混合空间查找表颜色分类方法对几种相似颜色的区分能力。图 4(a) 是待分类的采样图像, 该图像与图 2(a)、图 3(a) 的样本图像不同, 采集时摄像机参数有变化, 曝光时间和增益都略低, 所以图像效果偏暗, 相似颜色之间的差别进一步缩小。其中 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 是 3 种相似的黄色, G_1 、 G_2 、 G_3 是 3 种相似的绿色, $B_1 \sim B_6$ 是 6 种相似的蓝色。以图 3(a) 为样本图像, 通过在不同的颜色空间下选择合适的线性分类器和相应的亮度阈值, 建立颜色查找表, 可以准确的区分图 4(a) 中的相似颜色。3 种相似黄色的颜色分类结果如图 4(b) 所示, 3 种相似绿色的颜色分类结果如图 4(c) 所示, 6 种相似蓝色的分类结果如图 4(d) 所示。从实验结果中可以看出, 合理的选择颜色空间以及线性分类器判别函数, 可以较好的区分多种近似颜色, 如果建立足够多的分类, 可以对图 4(a) 中所示的各种颜色进行区分。

本文研究所使用的摄像机的数据输出格式为 YUV422 输出图像尺寸为 659×493 pixels, 所建立的颜色空间查找表的检索空间为 $256 \times 256 \times 256$ 即对所有 YUV 格式的数据都进行分类判别, 所建立的查找表占用的内存空间为 32MB。如果降低采样精度, 各分量每 4 个值做一次判断, 则查找表的检索空间为 $64 \times 64 \times 64$ 查找表占用的内存空间仅为 512KB, 这样可以极大的减少内存的消耗, 但同时也会引起一些错误的分类。对一帧图像使用查找表完成颜色分类的时间在 3ms 以内, 经实际使用证明。

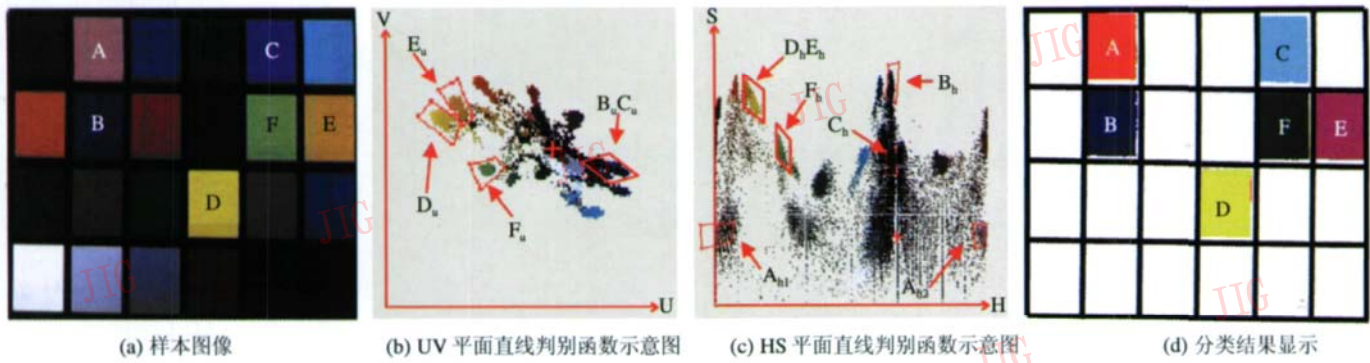


图3 相似颜色分类结果示意图

Fig.3 The result of segmenting similar color

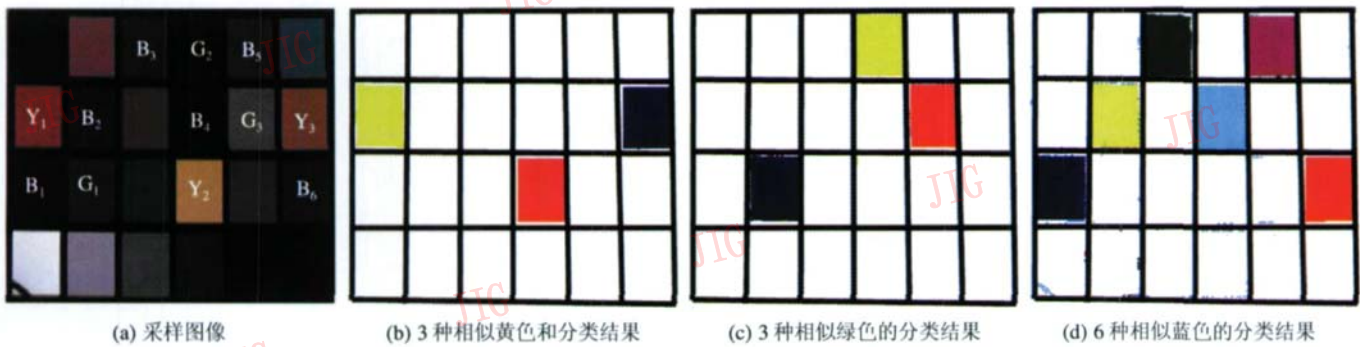


图4 本文方法对相似颜色的区分能力示意图

Fig.4 The result of classification of several similar colors

基于线性分类器的混合颜色空间查找表分类方法在分类精度和实时性上完全能够满足通常情况下的图像处理任务的需要。

5 结 论

由实验结果可以看出,使用基于线性分类器的查找表颜色分类方法可以很好的区分彩色图像中包含的不同颜色信息。该方法利用了近似颜色在不同颜色空间分布情况不同的特点,可以解决单一颜色空间查找表对近似颜色区分能力差的问题。同时,使用直线判别函数的线性分类器可以准确的对颜色分布的样本空间进行划分,判别函数确定方法简单,效果直观,能够准确高效的建立混合颜色空间查找表。

参考文献 (References)

1 Lu Huimin The research of omnivision system based robot's self-localization method[M aster degree thesis][D]. Changsha College of Mechatronics and Automation, National University of Defense Technology, 2005 [卢惠民. 机器人全向视觉系统自定位方法研究[硕士学位论文][D]. 长沙:国防科学技术大学机电工程与自动化学院, 2005.]

2 Theodoridis S, Koutroubas K. Pattern Recognition (Second Edition) [M]. Amsterdam, Netherlands: Elsevier Science, 2003: 55~57. [Theodoridis S等著. 模式识别(影印第二版)[M]. 北京:机械工业出版社, 2003: 55~57.]

3 Rafael C Gonzalez, Richard E Woods, Steven L Eddins. Digital Image Processing Using MATLAB [M]. New Jersey, USA: Prentice Hall, 2004: 205~207. [Rafael C Gonzalez等著. 数字图像处理(影印 MATLAB版)[M]. 北京:电子工业出版社, 2004: 205~207.]

4 Prosilica 1394-DCAM Reference Manual & EC650 User Manual [EB/OL]. <http://www.prosilica.com/support/manuals.html> 2007-01-05 [Prosilica 1394-DCAM 参考手册及 EC650用户手册]