

一种基于加权颜色聚合向量的图像检索方法

徐朝辉^{1,2}, 樊银亭³, 闫奎名⁴, 滕东兴⁴, 杨海燕⁴

(1 武汉理工大学 计算机学院, 湖北 武汉 430070;

2 河南工业大学 粮食信息处理与控制教育部重点实验室, 河南 郑州 450001;

3 中原工学院 计算机学院, 河南 郑州 450007;

4 中国科学院软件研究所 人机交互技术与智能信息处理实验室, 北京 100190)

摘 要: 以图像颜色聚合向量为基础, 并结合图像显著特征, 提出了一种基于加权颜色聚合向量的图像检索方法. 首先, 提取图像的显著性图, 并进行归一化处理, 得到加权矩阵; 然后, 对图像进行颜色聚合向量提取, 并根据加权矩阵进行加权处理; 最后通过计算两幅图像之间的加权颜色聚合向量相似度, 进行图像检索. 该方法既系统兼顾了图像的颜色分布特征和高层视觉特征, 又具有较高的计算速度; 实验结果证明, 该算法的检索精度明显高于传统的基于颜色统计特征的检索精度.

关键词: 图像检索; 颜色直方图; 颜色聚合向量; 显著图

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)02-0031-04

A Method of Image Retrieval Based on Weighted Color Coherence Vector

XU Zhao-hui^{1,2}, FAN Yin-ting³, YAN Kui-ming⁴, TENG Dong-xing⁴, Yang Hai-yan⁴

(1 School of Computer Science, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;

2 Key Laboratory of Grain Information Technology & Control, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China;

3 School of Computer Science, Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 450007, China;

4 Intelligence Engineering Lab, Institute of Software, Chinese Academy of Science, Beijing 100190, China)

Abstract: By taking visual saliency into consideration, a new image retrieval method based on color coherence vector is proposed in the paper. According to the saliency map of the image, every pixel is assigned a weighting value. Thus, the color coherence vector is calculated on those weighted pixels. This new vector reflects both the low-level color region distribution feature of the image, and its high-level vision characteristics. The experiments verify this method above is more efficiently than traditional ways based on color histogram.

Key words: image retrieval; color histogram; color coherence vector; saliency map

1 引言

为了快速、准确地从海量图像中找到需要的信息, 基于内容的图像检索技术应运而生, 并已逐步发展成为一个热门研究领域^[1]. 图像特征的提取与表示是图像检索技术的基础, 如颜色、纹理、轮廓等多种特征用于基于内容的图像检索, 并取得了一定的成果.

颜色特征的优点: 能够直接表达图像所包含的物体与场景, 并对图像的方向、视角、尺寸等其他特征依赖性较小, 在其算法实现上具有较高的稳定性和健壮性; 因此, 颜色特征成为近年来在图像检索中最为广泛应用的视觉特征. Pass^[2] 提出了图像的颜色聚合向量, 按照像素所属连续区域面积大小, 把直方图每一个 bin 的像素分为聚合像素与非聚合像素两部分, 以此来表达图像颜色的区域信息, 得到了比

收稿日期: 2013-03-27; 修回日期: 2013-05-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(61173057, 61100162); 国家“八六三”计划项目(2012AA02A608)

较好的检索效果.但是,上述特征忽略人们对图像的认知过程具有的主观性.

文献[3]中提出的显著图模型是一种模拟生物体视觉注意机制的选择性注意模型,比较适合处理自然图像,可以体现人眼对图像的某些区域的重视程度.本文提出一个基于加权颜色聚合向量的图像检索算法 IRABWCV (Image Retrieval Algorithm Based on Weighted Color Coherence Vector),经实验验证,可以得到比较好的检索结果.

2 图像检索算法实现框架

如图 1 所示,IRABWCV 算法实现分两大步骤:第一步是计算加权颜色聚合向量,第二步是计算相似度.其中前者对输入图像的显著图和颜色特征进行加权计算.

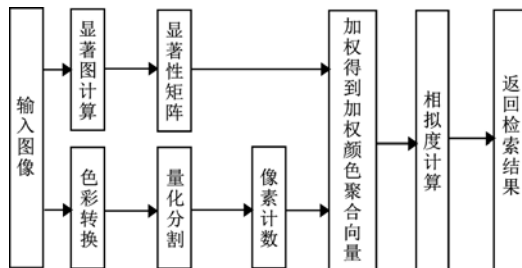


图 1 基于加权颜色聚合向量的检索算法流程

2.1 显著性加权矩阵计算

2.1.1 显著图生成

图像显著性是图像中重要的视觉特征,体现了人眼对图像的某些区域的重视程度.目前出现了大量的显著性映射方法.文献[4]中针对传统显著图计算方法生成的显著图规模太小、产生错误边界以及在处理显著区域较大或者背景比较复杂的图片的时候,突出背景信息等缺点,通过动态调整显著区域边缘处的滤波带宽,有效的克服了上述问题,并且保留了比较好的显著区域的边界信息.本文采用文献[4]中给出的显著图生成方法,来获得一幅图像的显著图;算法假设图中每一个显著区域的大小是可以估计的,这样,对于每一个显著区域,我们可以得到一个覆盖它的子图,假设宽度为 w ,高度为 h ,那么对于区域中某一点 (x, y) ,其重要性度量可以通过如下公式计算:

$$S(x, y) = \| I_\mu(x, y) - I_f(x, y) \| \quad (1)$$

式中, $I_\mu(x, y)$ 为 (x, y) 在子图中最大对称矩形内所包含的像素点颜色平均值,计算公式如下:

$$I_\mu(x, y) = \frac{1}{A} \sum_{i=x-x_0}^{x+x_0} \sum_{j=y-y_0}^{y+y_0} I(i, j) \quad (2)$$

其中:

$$\begin{aligned} x_0 &= \min(x, w - x) \\ y_0 &= \min(y, h - y) \\ A &= (2x_0 + 1)(2y_0 + 1) \end{aligned} \quad (3)$$

如图 2 所示,对于 A 点,其最大对称矩形即为子图本身;对于 B 点,其最大对称矩形如虚线所示.通过上述方法,根据像素点和显著区域中心的距离,来调整最大对称矩形大小,动态的增加边缘处的滤波带宽,保留一定的高频成分,可以较好地维持显著区域的边界信息.对于一幅实验图像,结果如图 3 所示.

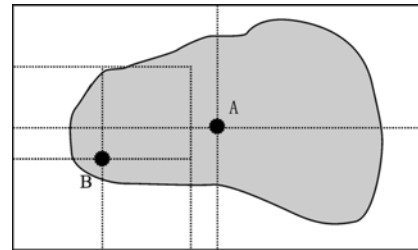


图 2 最大对称子矩形示意图



图 3 显著图生成结果

2.1.2 显著性加权矩阵计算

从得到的显著图中,可以进一步得到一个显著图矩阵 $\mathbf{M}$,其中 $\mathbf{M}$ 的每一个元素 $m_{i,j}$ 分布于 0 到 255 之间;在进行加权的时候,既要突出显著性区域,又要保留原有的背景等区域信息,因此,本文采用如下的归一化方法,假设归一化得到的新显著图矩阵为 $\mathbf{M}'$,则归一化函数可以表示为

$$m'_{i,j} = \frac{m_{i,j}}{\sum_{i,j} m_{i,j}} \quad (4)$$

式中, $m'_{i,j}$ 为 $\mathbf{M}'$ 的元素;进而可以得到权重计算矩阵 $\mathbf{W}$,其中元素为 $w_{i,j}$,可以得到

$$w_{i,j} = 1 + m'_{i,j} \quad (5)$$

2.2 加权颜色聚合向量生成

2.2.1 颜色聚合向量

颜色聚合向量是直方图改进算法中一个较为复杂的方法,其主要思想是根据连通区域的尺寸大小将 bin 划分成聚合和非聚合两类:如果一个连通区域超出了指定的阈值,则认为该区域的像素是聚合的,否则为非聚合的.假设 α_i, β_i 分别表示直方图的

第 i 个 bin 中聚合像素和非聚合像素的数量,则图像 I 的颜色聚合向量表示如下:

$$\langle (\alpha_1, \beta_1), (\alpha_2, \beta_2), \dots, (\alpha_N, \beta_N) \rangle \quad (6)$$

相对于传统的颜色直方图而言,因为颜色聚合向量包含了颜色的空间信息,所以具有较高的检索率和检索准确度.图4中给出了实验图像及其对应的颜色聚合向量(实验图像为灰度图像,RGB空间).

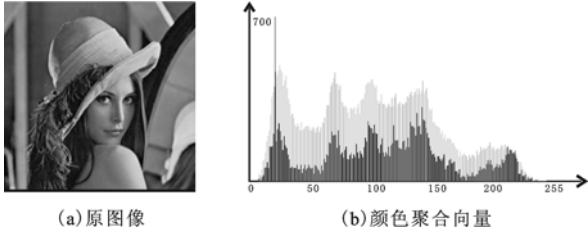


图4 阈值选取为2%实验图像的聚合向量

图4中,浅灰色部分为聚合向量,深灰色部分为非聚合向量

2.2.2 加权颜色聚合向量

本文对原始的颜色聚合向量算法进行了改进,实现了基于HSV空间的颜色聚合向量算法.首先将图像转换为HSV颜色空间;由于人们对颜色的饱和度和亮度的视觉认知不敏感,一定的偏差不会影响人们对颜色的主观认识,因此,当对图像重新量化时,色调的量化级数常常大于饱和度和亮度量化级数,可以采用(16:4:4)颜色量化方案进行量化,采用式(4)可以得到一个量化矩阵 Z :

$$Z = D_H * Q_S * Q_V + D_S * Q_V + D_V \quad (7)$$

在本文中,通过判断某个像素点8邻域的连通性来判断两个像素点是否连通.针对划分得到的多个连通区域,计算每一连通区域的像素数,并根据阈值 τ 判断当前区域的像素是否是聚合的.使用前面得到的显著性加权矩阵 W ,当前区域每一个像素点对其所在颜色分量计数的贡献为其在权重矩阵中对应的权重值 $w_{i,j}$;则对于某一颜色分量 α ,它对应的平均颜色聚合向量大小为

$$\bar{\alpha} = \sum_{i,j} 1 * w_{i,j} = n(\alpha) \sum_{i,j} \frac{w_{i,j}}{n(\alpha)} \quad (8)$$

式中, $w_{\alpha} = \sum_{i,j} \frac{w_{i,j}}{n(\alpha)}$ 为 α 颜色分量所包含像素的平均权重大小.这样可以得到基于显著性加权的颜色聚合向量为

$$\langle (\alpha_1, w_{\alpha_1}, \beta_1, w_{\beta_1}), \dots, (\alpha_N, w_{\alpha_N}, \beta_N, w_{\beta_N}) \rangle \quad (9)$$

2.3 相似性度量

图像检索的性能不仅依赖于所抽取的图像特

征,而且也 and 所采用的距离度量或者相似度量函数密切相关.目前,对于聚合向量之间的相似性度量函数为

$$\Delta G = \sum_{j=1}^n |(\alpha_j - \alpha'_j)| + |(\beta_j - \beta'_j)| \quad (10)$$

采用了 L_1 距离公式进行计算,优点是计算量较小;但是当两幅图像的颜色聚合向量接近相同,例如仅仅之间相互错开一个 bin 时,假若使用 L_1 公式计算相似度,结果只能得到较小的相似度.为此,需要考虑相似但不同颜色之间的相似度,可以采用二次式距离^[5],或者对图像进行预平滑过滤处理,这样使得相邻的 bin 之间也互相有贡献.二次式距离,因其兼顾了不同颜色的相似度^[6],而被广泛采用,且被证明比 L_1 距离更有效;并考虑到算法需要计算像素点的显著性权重并进行加权,本文在选择采用二次式距离来进行相似性度量.对上述获取的加权颜色聚合向量,可表示为聚合 P_{α} 和非聚合 P_{β} 两部分:

$$P_{\alpha} = \langle \alpha_1 w_{\alpha_1}, \alpha_2 w_{\alpha_2}, \dots, \alpha_N w_{\alpha_N} \rangle \quad (11)$$

$$P_{\beta} = \langle \beta_1 w_{\beta_1}, \beta_2 w_{\beta_2}, \dots, \beta_N w_{\beta_N} \rangle \quad (12)$$

给定两幅图像,其颜色直方图分别为 $P(p_{\alpha}, p_{\beta})$ 和 $Q(Q_{\alpha}, Q_{\beta})$,则两幅图像间的二次距离可表示为

$$D = (P_{\alpha} - Q_{\alpha})^T A (P_{\alpha} - Q_{\alpha}) + (P_{\beta} - Q_{\beta})^T A (P_{\beta} - Q_{\beta})$$

即:

$$D = (P - Q)^T A (P - Q) \quad (13)$$

A 为颜色相似性矩阵, $A = [a_{ij}]$ 是指颜色直方图下标为 i, j 的两种颜色之间的距离. JR Smith 首先提出了一种常用的颜色距离计算公式^[7],引入了颜色相似矩阵 A ,但是 A 的计算量太大.在实际应用中,采用简化的计算方法,即:

$$a_{ij} = 2^{-|i-j|} \quad (14)$$

3 实验

为了验证上述算法的性能,对该算法进行了系统仿真,并分别与基于颜色直方图和基于颜色聚合向量的方法进行了对比.在实验中,使用 SMPLIVCITY 系统所提供的测试集^[8] 作为图像库.图5中给出了针对其中某一类图像分别利用传统颜色直方图和本文方法的某一次检索结果,其中第一幅图像为待检索图像,后面的11幅图像为检索结果.本文采用了 Tan Kian-Lee^[9] 等提出的“标准查准率”和“标准查全率”作为相似检索的评价准则.

首先在图像库中选取5类图像(花,马,海滩,建筑,汽车);其次,从每类图像中随机选取5幅图像作

为检索关键图进行检索;再三,选取每次检索前 11 幅最为相似的图像作为检索结果;最后,计算每类图像 5 次查询结果的平均标准查准率和平均标准查全率,结果如表 1 所示.

表 1 三种图像检索方法的性能对照表

类别	平均查全率/%		平均查准率/%	
	传统颜色直方图	本文方法	传统颜色直方图	本文方法
花	64.2	84.0	60.4	68.2
马	75.4	90.1	63.2	68.6
海滩	22.1	25.2	23.7	27.4
建筑	35.0	37.5	30.4	48.2
汽车	48.7	74.4	54.3	58.2

从实验的结果可以看出,在针对图像测试集中马、花等语义类的图像进行检索时,由于这类图像的显著特征区域分布集中,纹理比较均匀,本文给出的算法性能相比传统的颜色直方图的检索,在查准率和查全率方面,都有很大的提高;但是在针对海滩和建筑这一类颜色和纹理信息不够统一或者视觉显著区域分布比较分散的图像进行检索时,检索性能提高不太明显或者和普通的直方图方法相仿.从实验结果还可以看出,对于这一类型的图片,颜色直方图和本文的算法检索结果都不太理想,这在一定程度上反映出颜色特征在图像检索的时候存在的局限性.

4 结束语

本文提出了一种基于加权颜色聚合向量的图像检索算法,综合考虑图像的颜色统计信息、分布信息以及视觉特性,经实验验证,具有较好的检索性能.此方法在互联网搜索引擎设计、数字图书馆等领域,具有一定的应用前景.

参考文献:

- [1] Lew M S, Sebe N, Djeraba C, et al. Content-based multimedia information retrieval: state of the art and challenges [J]. ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications and Applications, 2006, 2(1):1-19.
- [2] Pass G, Zabih R, Miller J. Comparing images using color coherence vectors[C]//Proceeding of the 4th ACM Conference. Multimedia, Boston: ACM Press, 1996.
- [3] Itti L, Koch C, Niebur E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis[J]. IEEE Patt. Anal. Mach. Intell., 1998, 20(11):1254-1259.
- [4] Achanta R, Susstrunk S. Saliency detection using maximum symmetric surround[C]//Proceeding of the 17th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). Hongkong, IEEE Computer Society Press, 2010.
- [5] Ioka M. A method of defining the similarity of images on the basis of color information[R]. Tokyo: Tokyo Research Laboratory, IBM Research, 1989.
- [6] 茹立云, 彭潇, 苏中, 等. 基于内容图像检索中的特征性能评价[J]. 计算机研究与发展, 2003, 40(11): 1566-1570.
- [7] John R, Shi F C. Visualeek: a fully automated content-based image query system[C]//Proceeding of the 4th ACM international conference on Multimedia. New York: ACM Press, 1996.
- [8] Wang J Z, Li J, Wiederhold G. Corel database used in Simplicity [EB/OL]. [2013-01-18]. <http://wang.ist.psu.edu/docs/related/>.
- [9] Tan K L, Ooi B C, Yee C Y. An evaluation of color-spatial retrieval techniques for large image databases [J]. Multimedia Tools and Applications, 2001, 14(1): 55-78.

作者简介:



徐朝辉 男, (1970—), 硕士, 副教授. 研究方向为粮食信息检测、可视化技术.



樊银亭 男, (1975—), 博士, 讲师. 研究方向为人机交互技术、可视分析、用户界面.



闫奎名 男, (1986—), 硕士, 助理研究员. 研究方向为信息可视化、可视分析.

(下转第 38 页)

型电路,基于 $0.5\ \mu\text{m}$ BCD 工艺和 HSPICE 软件对系统进行仿真. 输入电压 $4.5\sim 23\ \text{V}$, 开关频率 $340\ \text{kHz}$, 储能电感 $4.7\ \mu\text{H}$, 输出电容 $44\ \mu\text{F}$, 负载从 $0.1\ \text{A}$ 到 $3.5\ \text{A}$ 变化, 设反向限流门限 $-1.4\ \text{A}$.

系统在短路恢复时, 将突然从重载模式切换到轻载模式, 输出电压将迅速增大, 输出电流也会反向增大, 因此这种情况下检测限流功能最好. 其仿真结果如图 6 所示, 若系统中有同步限流电路, 则在短路恢复时, 电感反向电流被限制在 $-1.4\ \text{A}$; 若无反向限流电路, 电感电流能到达 $-4\ \text{A}$, 这将增加系统的损耗, 大大降低芯片的效率.

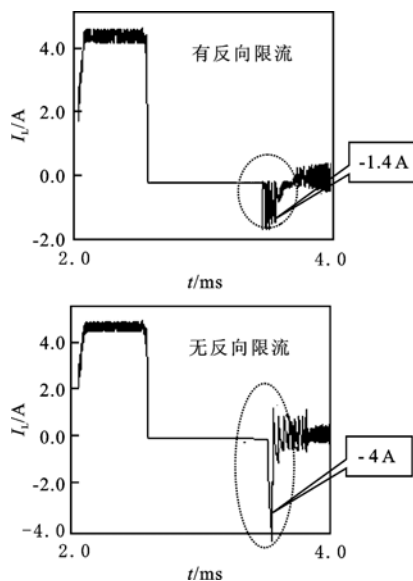


图 6 短路恢复电感电流波形

系统在不同电流负载条件下的效率如图 7 所示, 仿真结果与理论分析基本一致. 轻负载情况下 ($I_L < 0.5\ \text{A}$), 带有反向限流电路的效率比不带反向限流电路的效率 2% 左右; 而在重负载情况下 ($I_L > 1\ \text{A}$), 系统内部的反向限流机制不会被触发, 因此系统的效率基本相同.

4 结束语

针对同步 BUCK 变换器轻载时工作于 FCCM 模式, 反向电流很大的问题, 提出了一种新的反向限流方案, 利用 NMOS 开关管的体效应二极管, 将负

载的能量转移给输入电源, 从而将电感电流限制在设定的范围. 该电路已应用于一款 DC-DC 设计中, 并在 $0.5\ \mu\text{m}$ BCD 工艺上进行了系统验证. 结果表明, 同不加反向限流电路的系统相比, 该系统在轻载模式下效率提高了约 2% , 系统工作性能良好.

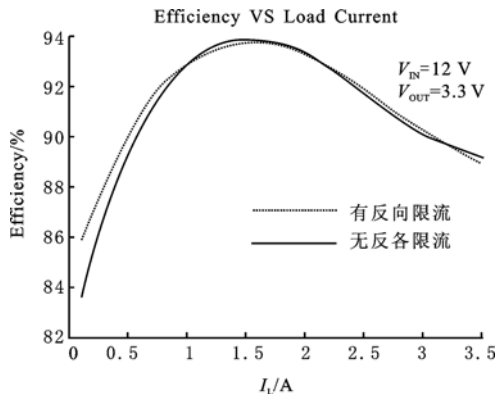


图 7 不同电流负载下的系统效率

参考文献:

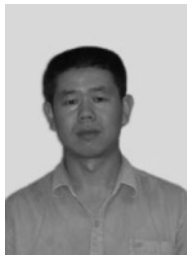
- [1] 孙毛毛, 冯全源. 同步整流器电流控制比较器的研究与设计[J]. 微计算机信息, 2007, 23(9): 295-297.
- [2] 张鹏婷, 王俊峰. 一种多模式高效率单片同步 BUCK 型 DC-DC 变换器[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(7): 109-112.
- [3] 刘松. Buck 变换器轻载时三种工作模式原理及应用[J]. 电力电子技术, 2007, 41(11): 75-77.
- [4] Sanjaya Maniktala. 精通开关电源设计 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008: 70-71.
- [5] Prodic A, Maksimovic D. Digital PWM controller and current estimator for a low-power switching converter [C]// Proc the 7th Workshop on Computer in Power Electronics. New York, 2007: 123-128.
- [6] 王辉, 王松林, 来新泉, 等. 同步整流降压型 DC-DC 过零检测电路的设计[J]. 固体电子学与进展, 2010, 30(2): 276-280.

作者简介:

黄苏平 女, (1988—), 硕士研究生. 研究方向为模拟集成电路设计.

冯全源 男, (1963—), 博士生导师. 研究方向为数字、模拟及射频集成电路设计.

(上接第 34 页)



滕东兴 男, (1973—), 博士, 副研究员. 研究方向为人机交互技术、信息可视化技术、制造业商务智能.



杨海燕 女, (1980—), 博士, 助理研究员. 研究方向为人机交互、草图用户界面.