

底层内容特征的融合在图像检索中的研究进展

吴 介 裘正定

(北京交通大学信息所, 北京 100044)

摘 要 在基于内容的图像检索中, 提取颜色、纹理、形状或空间信息等底层特征是目前最常用且简便的表征图像的方法。但使用单一底层特征容易忽视特征间的相互联系, 无法对图像以各种形式提供的信息加以充分利用, 限制了众多特征联合诠释图像的可能性。底层内容特征的融合可以全面同时互补地表示图像中包含的各类信息, 有效地利用特征间的联系, 提高了图像内容表示的效率和精度。该文对现有的底层内容的融合特征提取算法进行总结, 提出了一种以融合的层次及融合内容为依据的分类体系, 指出了基于融合特征的图像检索现今存在的问题以及一些可能的研究方向。

关键词 基于内容的图像检索 底层 融合 分类体系

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2008)02-0189-09

An Overview: Low-level Feature Fusion in Content-based Image Retrieval

WU Jie, QU Zheng-ding

(Institute of Information Science, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044)

Abstract In previous content-based image retrieval algorithms, the most prevalent and convenient method in representing images is to extract low-level content features such as color, texture, shape or spatial information. But using only one low-level feature independently ignores the relevancy and coherence between features, which will cause a limitation on making the most of information contained in an image. The usage of single feature also confines the ability of multiple features to cooperatively illustrate images. Fusion of two or more low-level features will make a connection between features and enhance the efficiency and accuracy of image representation. Feature fusion is a trend of research in content-based image retrieval. In this paper, an up-to-date overview of low-level feature fusion algorithms is presented. In addition, a classification system of fusion algorithms is established based on the fusion levels and the content of fusion. The existing problems and open questions in this field are also indicated.

Keywords content-based image retrieval, low-level, fusion, classification system

1 引 言

对基于内容的图像检索 (content-based image retrieval, CBR) 的研究始于 20 世纪 90 年代初, 检索系统中查询条件以图像形式给出, 系统提取图像的内容特征并计算、比较特征间的相似度, 由相似度的大小决定查询结果的排列顺序。与该方法对应的

是基于关键字的图像检索, 其需要对多媒体信息用文本进行注释和说明, 但人工标注难以描述图像中内涵的丰富内容, 个人对图像内容理解上的主观差异也会降低文本表述的精度, 同时多媒体技术的普及所引入的海量图像信息限制了借助人工标注完成检索的发展空间。CBR 中的“内容”多指底层内容特征, 区别于高层 (语义) 内容特征和中间层 (对象) 内容特征。底层内容特征也称作可视特征, 包括颜

收稿日期: 2006-05-29 改回日期: 2006-10-19

第一作者简介: 吴介 (1981~), 女, 满族。北京交通大学信息所信号与信息处理专业博士研究生。研究方向为图像处理与生物识别。

Email: laurawujie@126.com

色、纹理、形状和空间信息等,可用图像处理方法自动获得,贴合了计算机智能代替和解放人工的理念,并且符合人的视觉对图像内容的理解特性,大大地提高了图像系统的检索能力。如今,CBR已经代替了基于关键字的图像检索成为新的图像检索技术的重心^[1]。

按照操作顺序,将 CBR 工作流程中的主要步骤归结如下:

(1) 颜色空间的转换 数字图像的初始色彩空间是 RGB 空间,但它与人眼的感知规律差异很大,颜色在此空间内的距离度量无法正确表征人们实际感知到的颜色间的真实差异,因此往往将位于 RGB 空间的图像转化至其他空间,如 HSV, YUV, YCbCr, CIEXYZ, CIE L* u* v* 等。其中应用较为广泛的 HSV 空间是 RGB 空间的非线性转换,常被作为艺术家用来配色的模型,色度 $H (H \in [0, 2\pi])$ 用来辨别颜色名称,饱和度 $S (S \in [0, 1])$ 表示颜色的深浅浓度,亮度 $V (V \in [0, 1])$ 代表色彩的明暗程度。

(2) 颜色的量化 图像检索的目的是帮助用户查找与查询条件具有相同或相似内容的图像,所以对图像颜色区分的精确度位于人眼分辨范围内即可,无需考察过于微小的难以被视觉所识别的变化。对颜色空间各分量进行量化符合人眼辨识色彩的工作模式,有利于减少处理的数据量,节省特征存储空间,增加了查找速度。

(3) 图像的分割 对图像子区域的检索在结合了空间信息的同时能够分离出有意义的图像主体和背景,通常比全局图像的检索更为精确。常用的图像分割算法主要有:简单矩形分割、基于颜色等特征空间的聚类分割^[2]、区域生长分割^[3]、基于区域连通性的分割^[4]等。考虑到相当数量的图像中并不存在明显目标或是目标杂乱无规律,无法依据某一特征将图像准确地分割成若干有意义区域,粗略区域 (Coarse Region) 信息^[5-7]的提取使得无需对图像子区域做精细的分割即可实现基于空间的检索。

(4) 特征的提取 特征提取是选择能够表征图像底层内容含义的颜色、纹理、形状、轮廓、位置等视觉特征,并抽象为特征数据的过程。提取后的特征可以作为图像的索引,并且可以建立特征数据库来代替原始图像数据库,降低了存储容量和计算时间。现有的特征提取算法按照所提取特征的数目可划分

为单一底层内容特征提取和底层内容融合特征的提取两类。

(5) 相似度的计算 与传统的点查询和范围查询不同的是, CBR 系统利用相似度进行匹配。现有的相似度算法可分为传统特征向量距离的计算、特征间的聚类算法^[8]、与直方图相关的非距离度量方法(直方图的交)和直方图的二次式度量方法^[9]。相似度的结果决定了查询结果的排列顺序,相似度越大则排列顺序越靠前。

(6) 系统性能的评价 能否精确地评价图像检索系统的性能,关系到检索算法的优化和检索系统的规范化问题。现有的系统性能评价函数包括查全率 (recall) 和查准率 (precision),前者反映的是系统检索相关图像的能力,后者反映的是系统拒绝不相关图像的能力。此外, MPEG-7 标准定义了平均归一化修正检索等级 (ANMRR) 函数来衡量系统性能。

(7) 反馈算法 为了弥补用户的主观评价与当前检索结果间存在的差距,反馈算法^[10-11]增加了系统灵活的调整参数以获得更优的检索结果的能力。

由上述各操作步骤组成的系统流程图如图 1 所示。其中,特征的提取是 CBR 的一个重要环节,特征的提取方式决定了对图像的描述形式,也影响着相似度算法的选择和检索的准确率,如何简单有效地提取图像的内容特征一直是研究和关注的焦点。

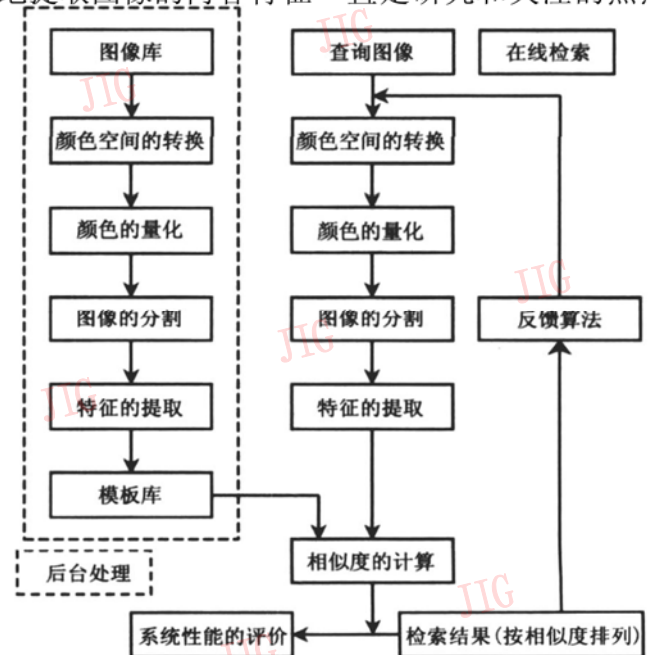


图 1 CBR 系统工作流程图

Fig 1 Block diagram of a CBR system

CBIR 系统在发展初期大多提取单一底层特征, 这类方法相对简单易行, 但却将图像中各类特征孤立对待, 忽视了性质不同的特征间具有的关联性, 不足以同时涵盖图像所提供的各种分类信息, 从而造成识别效果不够理想, 离真正的使用还有一定的距离^[12]。作为一种解决方案, 两种或多种底层特征的融合能够更好地利用图像提供的各类“内容”, 更接近人在感知图像间相似程度时, 同时利用和接纳综合信息来源的特点, 逐渐在 CBIR 系统中被采用。

2 CBIR 中融合特征分类体系的建立

通过对现有融合特征提取算法的分析发现, 底层内容特征的融合操作可以认为是在两个层面上展开的。

第 1 个层面是权重求和意义上的融合, 即运用加权求和的方法完成融合操作。按照加权对象的不同, 又可将权重求和层面上的融合方法分为两类, 一类是对多个特征向量的加权求和, 求和结果为图像的融合特征向量^[13~15]; 另一类是对多个单一特征相似度的加权求和, 求和结果为特征的融合相似度^[16~19]。这个层面上的融合相对简单并且易于理解, 目前的融合算法大都在此层面上进行, 但不足之处在于: 简单的加权融合方式仅仅实现了代数几何意义上的合并, 未能真正完全的利用和发掘特征间存在的相互关系, 并且权重值不容易确定, 权重值的选择对检索结果影响也比较大。

在第 2 个层面上进行的融合则在特征的提取过程中体现了信息合并的意义, 称其为深层融合。深层融合的内容在于发掘底层内容特征间的内在联系和一致性, 特征提取算法本身就包含了同时对多类信息的抽取, 特征向量中容纳了多于一种的底层内容特征。根据特征中所包括的内容, 在第 2 个层面上进行的特征融合又可以分为 3 类: 第 1 类是颜色特征与空间信息的融合, 这类融合方法十分常见, 实现的形式也比较多样, 可以细分为颜色直方图派生出的方法, 变换矩阵相关方法与其他方法; 第 2 类是颜色特征与纹理特征的融合; 第 3 类是颜色、纹理和空间信息 3 种特征间的融合。与第 1 层面的加权融合相比, 深层融合在一个更深层次的意义上实现了“融合”操作, 其表示形式仍然具有很大的发展空间。底层内容融合特征的分类体系如图 2 所示。

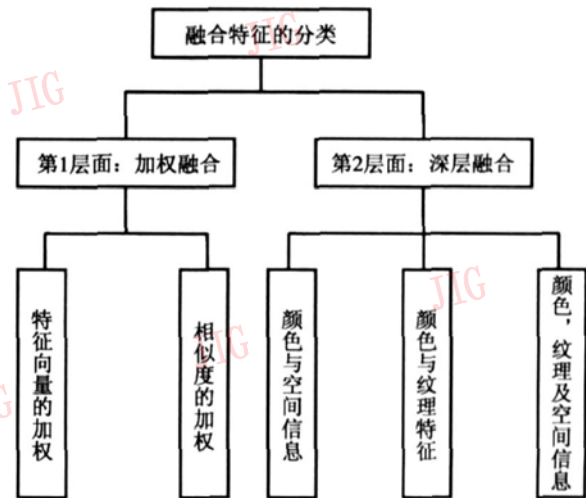


图 2 底层融合特征分类体系示意图

Fig 2 Classification system of low-level fusion features

2.1 颜色特征与空间信息的融合

颜色特征计算简单、直观易于理解, 对图像获取过程中容易出现的仿射变换具有一定的鲁棒性, 是 CBIR 系统中最常使用的特征之一, 其表达方式较为多样, 如颜色直方图、颜色矩、颜色集、主颜色等。其中颜色直方图的应用最为常见, 其历史可以追溯到 CBIR 研究的起始时期^[20]。如 QBIC, CHABOT, PHOTOBOK 等通用的图像检索系统都用颜色直方图来表示图像的颜色特征。但早期的全局颜色直方图方法忽略了颜色的空间分布信息与颜色统计量两者间的关系, 往往检测到直方图中各颜色量化阶的出现频度组成相似, 但对应的内容却截然不同的图像, 这个问题在颜色与空间信息结合后得到了一定的解决。按照表述形式的不同, 可将颜色与空间信息的融合分为直方图派生方法、变换矩阵相关方法和其他方法 3 个类别。

2.1.1 直方图派生方法

最直接地将颜色信息与空间信息结合的方法是局部直方图方法^[21], 即将图像按规则划分为若干子块, 提取每个子块图像的直方图特征, 计算对应的子块间局部直方图的相似度, 局部直方图相似度向量之间具有最大匹配度的图像即为检索结果。局部颜色直方图方法还可以扩展到对子块图像提取其他颜色相关的统计特征, 如主颜色^[22~24]、颜色矩^[25, 26]等等。

颜色直方图的统计多在 HSV 色彩空间进行。在 HSV 色彩空间内, 全局直方图和局部直方图都是 1 维意义的, 统计的是在指定空间范围内所有的像素点落在各个色度量化级内的个数, 归一化后的数

值含义是各色度量化级在图像中出现的频度,唯一的变量是量化后的色度 H 对应的各个等级。

2维直方图是在两个变量张成的 2维空间下进行直方图统计。Li 将图像按包含图像主体内容可能性的 高低划分为 8 个图像块,图像块间允许重叠并对其进行编号来表征空间信息^[25]。以 32 个颜色量化级和图像块的编号为 2 维直方图的两个变量,构成 32×8 的栅格状的直方图单元,每个单元的内容是落在指定编号的图像块内某一颜色量化级的像素个数。Li 计算小波分解后近似图像中每个像素点颜色的梯度向量模值和梯度向量角,在颜色梯度模值和向量角张成的 2 维空间下进行直方图统计^[27]。Lee 利用像素的 8 个邻域方向的颜色向量角来辨识图像的边界点,在像素和该像素对应的最大颜色向量角构成的颜色对张成的空间下,统计位于边界上的像素个数构成颜色邻域 2 维直方图作为图像的颜色特征^[28]。

在一般直方图下简单加大量化间隔可以对改善检索效果起到一定的作用,但这将导致位于量化间隔边界的相近颜色被量化到不同的量化级,有悖于颜色越相似距离越小的视觉原则,累加直方图^[26-29]的引入克服了简单量化所引发的缺陷。已知图像某一区域的颜色直方图为 $H(P) = (h_1, h_2, \dots, h_b, \dots, h_N)$, 则对应该直方图的累加直方图可表示为

$$T(P) = (t_1, t_2, \dots, t_b, \dots, t_N)$$

式中, $t_i = \sum_{j=1}^i h_j$ 。

累加直方图被证明了在欧氏距离的度量下能够体现信号在分布轴上各抽样点之间的相关性^[30],即理论上累加直方图能够对应不同的颜色在色度轴上的距离与相似程度间的关系,色度轴上距离越近的颜色之间的相似程度越大。但由于色度轴本身的特性,累加直方图常常只在色度轴 $[0, 2\pi]$ 区间内的小尺度范围 Δ ($\Delta \leq \pi/3$) 内满足上述关系,从而引出局部累加直方图^[29]的定义。

Hu 计算某子块图像与相邻 8 个子块间局部颜色直方图的欧氏距离,距离越大表示子块间的颜色差距越明显^[31]。将每对子块图像视为一个颜色对,统计符合每对局部直方图间距离的颜色对的个数,将其作为颜色对直方图中每个量化阶的数值,选取前 M 个最大的颜色对个数所对应的颜色对作为特征提取。该方法利用子块与周围子块间的颜色差值关系来反映空间特征,在尺度和旋转条件下具有不

变性。

Pass 等人提出了全局颜色直方图的改进 (histogram refinement) 方法^[32],将每个颜色量化阶对应的像素数目按照一些指定的规则拆分成若干类别,不属于同一类别的像素尽管在全局直方图中属于同一个颜色量化阶,彼此间也不具有一致性。该方法在一个比颜色量化阶更细致的层面上进行匹配,避免了直方图相同而图像相异的情况。颜色相关矢量 (color coherence vector) 是直方图改进方法中的一个特例,将像素的空间连通相关性作为分类指导规则,把每个量化阶包含的像素拆分成相关和不相关两部分。

Lu 等人提出符合感知规律的权重直方图 (perceive weighted histogram) 方法^[33],在 CIEL* u^*v^* 颜色空间内将每个像素都加权累加到与其最相近的 10 个颜色量化阶中去,权重由像素本身所在的颜色量化阶与这 10 个颜色量化阶间的距离决定。这种方法可以在一定程度上弥补内容不同的图像却拥有相同颜色直方图的不足。

Jin 等人以各个像素点的颜色变化率来代替色度值,构造 1 维颜色常量直方图^[34]。所谓的颜色常量即像素的颜色变化率,可以通过计算指定像素点颜色值的对数的导数索引的方法得到,因对光照变化不敏感而得名。

2.1.2 变换矩阵相关方法

在颜色与空间信息的融合中,有一类方法根据像素的颜色 (或灰度) 与距离 (或方向角) 之间的空间关系为元素构造矩阵,可归结为基于变换矩阵的方法。

Huang 等人定义了颜色相关图 (color correlogram) 的概念,用矩阵来描述图像中任一点 p_1 在取颜色值 c_i 的同时与它距离为 k 的一点 p_2 取颜色值 c_j 的概率^[35]。该方法统计了图像中符合某一特定距离的两种颜色值出现的概率,对灰度共生矩阵的特点加以利用,通过强调不同的颜色值之间在图像中的空间距离相关性,将颜色特征与空间信息有效地结合在一起。

Niu 等人将 RGB 图像作一层小波分解,对近似图像的 R, G, B 分量分别在 θ ($\theta = 0, 1, \dots, 180^\circ$) 方向上做 Radon 变换投影,得到以 θ 值为横坐标,图像对角线上像素的个数为纵坐标的投影矩阵^[36]。该投影矩阵中包含了图像在间隔 $\Delta = 1^\circ$ 的各个方向上的颜色密度信息,可以视为包含了颜色和空间信息

的特征。

2.1.3 其他方法

颜色布局描述符 (color layout) 方法^[37-41]。颜色布局描述符是 MPEG-7 标准中提供的 5 个用来描述静态数字图像的颜色描述符之一, 涵盖了图像的颜色和空间分布的相互关系。具体操作方法是在 YCbCr 颜色空间中对图像规则分块, 抽取各子图像中任何可以代表局部颜色特征的序列, 然后对序列进行 DCT 变换。例如 Kasutani 和 Sripan 在规则分块后的每幅子图像中提取主颜色, 对主颜色的 3 个分量进行 DCT 变换得到每个颜色分量的变换系数, 对其进行锯齿形扫描以及非线性量化, 最后取出 DCT 变换系数中的低频分量构成颜色布局描述符^[39,40]。Wang 在对图像颜色分量做 Daubechies 小波变换后, 选择变换后的系数及系数的标准差作为图像的颜色布局描述符^[41]。

图像标记 (signature) 方法^[42,43]。图像标记是指将图像简单矩形分块后, 求取每个矩形单元中各颜色量化阶的像素数, 若其大于某一阈值, 则将该子图像表征该颜色的位置 1, 反之置 0, 进而得到各子图像表征某颜色的位连接起来得到的标记序列, 该序列可作为这种颜色在空间范围内分布状况的表征。

图 (graph) 表示方法^[44,45]。用图的形式表示像素与邻域像素间颜色的关系, 每个颜色量化阶对应着组成图的一个节点, 节点的属性为此颜色对应的像素个数, 连接节点的边代表着相邻且具有不同颜色量化级像素间的关系, 边的属性由颜色量化级间的反射率 (reflectance ratio)^[46] 给出。

2.2 颜色特征与纹理特征的融合

纹理可以看作是图像的颜色或者灰度在空间以一定的规律变化所产生的模式, 图像的纹理疏密对应了颜色或灰度变化的剧烈程度, 可以说, 在某种程度上纹理特征是颜色特征的另一种表达方式, 因此找出这两类特征间的联系相对比较容易。

Huang 将像素间的灰度差值与差值出现的概率联系起来, 认为灰度差值较小而出现概率较大的情况对应了粗糙纹理, 差值较大而出现概率较小的情况则对应了细腻纹理, 从而通过两者间关系的统计来生成融合特征^[47]。首先计算各像素与八邻域像素间灰度差值的出现概率得到图像的灰度差值直方图, 利用各差分量化阶的频度来计算对比度、角度方向二阶矩、熵值以及平均值这 4 个参数, 实现了灰度值到纹理表示的过渡。

Haralick 揭示了纹理中各灰度级的空间依赖关系, 构造共生矩阵来表示图像中像素之间的角度方位和距离的关系, 可以对其提取诸如能量、熵、相关系数和惯量等统计量来表示纹理特征^[48]。Takahashi 提取转换为灰度图像后各子块的共生矩阵, 通过计算共生矩阵的统计量来表示对比度和相关性^[49]。

Yu 在对 HSV 空间改进得到的 $(S \times V \times \cos(H), S \times V \times \sin(H), V)$ 颜色空间内对图像进行局部傅里叶变换, 得到与像素的八邻域对应的 8 幅特征图, 对每幅特征图中的每个颜色分量求一阶和二阶矩, 得到可以联合表征图像颜色和纹理的颜色-纹理矩特征向量^[50]。

Zhang 用前面提到的 PWH^[34] 方法对图像进行基于颜色特征的检索, 对检索结果以 Gabor 子波在不同的方向角和尺度的组合下对应的模值序列的均值和方差作为纹理特征进行二次检索和排列, 得到融合了颜色和纹理特征的检索结果^[51]。

2.3 3种特征的融合

相对于两种底层内容特征的融合来说, 3 种底层内容特征的融合中包含了更多的信息量, 算法复杂度也相对较高。目前对三特征融合算法的研究涉及较少, 现有算法基本上均可归结至颜色、纹理和空间分布这 3 类信息的融合。

Sun 通过统计各子块图像内部像素灰度值的标准差来衡量同一子块内像素灰度值变化的程度, 并以此作为判断子块区域平坦或是起伏剧烈的标准, 将子块图像划分为平坦态、纹理态和边缘态 3 种状态并建立状态矩阵, 计算图像状态矩阵中各状态间转移的条件概率来联合描述子块的颜色-空间-纹理三者之间的关系特征^[52]。该方法借用了颜色相关图^[36]的概念, 用图像子块的状态代替颜色值建立关联矩阵, 在颜色相关图反映了颜色-空间特征的基础上增加了纹理特征的关联。

Fan 等人考虑到纹理的疏密与图像能量分布中各频谱对应的能量高低之间的关系, 分别在水平和垂直方向上以一定间隔抽取像素扫描线, 将扫描线视为离散时间信号, 扫描线上各像素的空间位置作为时间变量, 对扫描线的灰度分布做 FFT 得到频谱能量分布, 计算低频和中频谱能量所占总频谱能量的比例, 将该比例作为判断该区域的纹理特征在与颜色特征的融合中所占的权重, 进而完成纹理和颜色特征在各自结合了空间信息后的加权融合^[53]。

Yang除了对分割后的图像各区域计算传统灰度共生矩阵之外,还计算 RGB 空间中的 R、G 分量以及转换至 HSV 空间后的色调分量 H 的共生矩阵,求解以上 4 个共生矩阵的能量、惯性、熵和均匀度 4 个表征纹理的统计量,构成对应于每个连通区域的 16 维向量,实现了颜色、空间和纹理信息的融合^[12]。

三特征融合中还包含了一类对小波分解后得到的不同方向上纹理特征的分量子图像计算颜色统计量的方法。如 Tahoun 将图像三层小波分解后,计算除近似图像之外每个子块图像的能量来表征水平垂直和对角线方向上颜色与纹理的关系^[54]。Kokare 则对小波分解后的每个子图像计算能量和标准差作为特征提取^[55]。

3 现存的问题

3.1 融合特征下的系统交互能力

系统与用户的交互能力是衡量计算机智能化发展程度的标准。目前单特征图像检索系统的人机交互能力已经得到了比较成熟的规范,系统可以通过界面交互信息确定当前检索依据(颜色、纹理、形状等)并完成检索任务。融合特征的采用不仅提高了对系统交互能力的要求,同时也使界面交互内容复杂化,具体可归纳至以下两方面:

(1) 检索依据中交互内容的扩展。现有的图像检索系统中,系统与用户间的交互内容基本上可以归结为系统检索特征的确定。如 IBM 公司的 QBIC 系统为用户提供的选项包括颜色、纹理、草图、形状等等;MIT 的 Photobook 系统可以分别对人脸图像、工具和纹理进行基于内容的检索。

但在这些选项的限制下,仍然有很多常见的检索要求无法得到满足,例如查询图像是检索结果的子图像,或是检索结果按不同尺度缩放的图像等等。尤其是在利用融合特征进行检索时,相同特征不同权重的组合往往对应了完全不同的检索结果和排列顺序,因此用户应具有指定检索依据重心的能力,即交互信息应该能够反映各检索依据的重要程度。例如,系统应可以完成一个颜色基本接近(同色系或人眼可以稍微感知的差别)但形状尽量完全符合的查询请求,或是纹理的疏密程度完全相同但形状相似即可的请求。

(2) 主观评价系统的建立。精确地制定图像检索系统的评价标准是准确地衡量检索系统的前提,

同样也是检索算法优化的依据和检验标准。目前常用的评价函数有检索召回率、检索精度,以及 MPEG-7 标准中定义的平均归一化修正检索等级函数。上述函数均属于对系统的客观评价,但检索系统服务的对象是具有主观意识的人,检索的最终目的是要看用户的满意程度,评价行为应当是主观的和区别于用户不同查询请求的。一个性能优良的评价系统应该具有一定的与用户交互的能力。

综上,交互内容的增加与规范仍然是 CBR 系统加以改进的一个必要环节。

3.2 量化边缘的确定

量化的目的是为了视觉上相似的颜色被尽量划分到同一量化级,以获得更高的存储及检索的效率。简单的增大量化阶的间距会在一定程度上提高检索性能,但量化间隔边界两侧空间域内的连续相似颜色会被划分到完全不同的量化级中,违背了颜色特征的提取应尽量满足的准则——颜色轴上距离小的两点要比距离大的两点更相似,这将给量化操作带来一定的误差。同时,同一量化阶内的所有颜色在量化后都视为无区别,这降低了对颜色信息的利用程度。因此,如何在提取图像颜色特征之前进行高效的量化操作,仍然是需要解决的问题。

3.3 权重的选择

融合中常涉及到的权重选择问题有:加权融合中特征间的拼接、相似度的加权求和,以及图像分割算法中对不同空间区域所占主体内容程度的表述。现有的图像分割算法中,规则矩形分割方法简单地将所有子图像对图像内容的贡献认为是一致的,忽视了图像的主体和背景对诠释图像内容所起到的不同作用和贡献。子块重叠方法则认为主体内容位于图像的正中,从而对位于正中的子图像赋予较高的权重,此方法忽略了图像中主体位置的复杂性,对那些具有散落分布的主体或者主体位置偏颇的图像鲁棒性较差。

如何准确合理的确定各运算对象间的相互关系以及各自在整体中所占的比例,在很大程度上决定了图像检索系统性能的优劣,同时也是对算法的泛化能力以及鲁棒性的考验。

3.4 不变性的保持

在单一特征提取模式下,特征的代表形式往往具有一些良好的性质,例如全局颜色直方图和不交矩函数^[56-57]具有在仿射变换(平移、旋转、缩放)下的不变性。对于在获取过程中出现了偏移旋转等不

确定因素的图像来说, 这些特性在增强检索性能上起到了很大帮助, 同时扩展了系统的应用范围。但特征在融合后往往丢失了原有的不变性, 例如最常见的结合颜色信息和空间信息的方法——子块直方图法及其派生出的对子图像计算统计特征的方法就不再具有平移不变性。如何在特征融合的同时仍然保持不变性, 是一个应该受到关注的问题。

3.5 对图像有效的分割

尽管对图像分割算法的研究已经十分深入, 但如何按照颜色、纹理、形状、空间位置等底层内容特征有效的完成对图像的有意义区域的分割仍然远未得到圆满的解决。现存的问题主要有: 过分割现象所导致的噪声区域; 图像的分割与人眼的视觉特性不符; 分割结果受阈值的影响, 需要人工的干预和调节; 如何实现对包含无明显边界物体的图像的分割。

3.6 底层内容特征间内在联系的发掘

通过观察现有的融合算法可以发现, 绝大多数的深层融合算法都是基于颜色和空间信息的融合, 其他底层内容特征间的联系则相对较少。如何进一步的发掘特征间的内在联系从而实现更有效的融合是今后融合特征图像检索系统的一个值得研究的方向。

4 结 论

针对目前基于内容的图像检索算法的发展现状, 对底层内容融合特征在图像检索中的研究进展进行了全面总结。按照底层内容特征间融合操作进行的层次和含义, 建立了底层内容融合特征的分类体系, 将融合特征划分为简单加权融合和深层融合两大类, 并将后者按融合的对象划分为颜色与空间信息的融合, 颜色与纹理特征的融合以及三特征的融合共 3 个类别加以讨论。此外, 还总结了在面向应用的发展过程中, 基于融合特征的系统现存的问题以及一些仍待研究的方向。

参考文献 (References)

- 1 Smeulders A W M, Worring M, Santini S, *et al*. Content-based image retrieval at the end of the early years [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 2000, **22**(12): 1349~1380
- 2 Hlaoui A, Sun H J, Wang S R. Image retrieval using fuzzy segmentation and a graph matching technique [A]. In *Proceedings of the International Conference on Machine Learning and Cybernetics* [C], Beijing China 2002 (4): 1987~1992
- 3 Chahir Y, Chen L. Efficient content-based image retrieval based on color homogeneous objects segmentation and their spatial relationship characterization [A]. In *Proceedings of the International Conference on Multimedia Computing and Systems* [C], Los Alamitos, CA, USA, 1999 (2): 705~709
- 4 Chandran S, Kiran N. Image retrieval with embedded region relationships [A]. In *Proceedings of the ACM symposium on applied computing* [C], Melbourne, Florida, USA, 2003: 760~764
- 5 Malki J, Boujmaa N, Nastar C, *et al*. Region queries without segmentation for image retrieval by content [A]. In *Proceedings of the Visual Information and Information System* [C], London, UK: Springer-Verlag, 1999: 115~122
- 6 Fauqueur J, Boujmaa N. Image retrieval by regions: coarse segmentation and fine color description [A]. In *Proceedings of the International Conference on Visual Information System* [C], Hsin-Chu, Taiwan, China, 2002: 24~35
- 7 Nakano T, Morie T, Iwata A. A face/object recognition system using FPGA implementation of coarse region segmentation [A]. In *Proceedings of the SICE Annual Conference* [C], Fukui, Japan, 2003: 1552~1557
- 8 Andonov R, Rajopadhye S. A sparse knapsack algorithm and its synthesis [A]. In *Proceedings of the International Conference on Application-Specific Array Processors* [C], San Francisco, CA, USA, 1994: 302~313
- 9 Hafner J, Sawhney H S, Equitz W, *et al*. Efficient color histogram indexing for quadratic form distance functions [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 1995, **17**(7): 729~736
- 10 Schettini R, Ciocca G, Gagliardi I. Content-based color image retrieval with relevance feedback [A]. In *Proceedings of the International Conference on Image Processing* [C], Kobe, Japan, 1999 (3): 75~79
- 11 Jing F, Li M J, Zhang H J, *et al*. Relevance feedback in region-based image retrieval [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* 2004, **14**(5): 672~681
- 12 Yang Yu-bin, Chen Sh-fu, Lin H-un. A novel image retrieval method using texture features based on color-connected regions [J]. *Acta Electronica Sinica* 2005, **33**(1): 57~62 [杨育彬, 陈世福, 林珺. 一种基于颜色连通的图像纹理检索新方法 [J]. *电子学报*, 2005, **33**(1): 57~62]
- 13 Howe N R, Huttenlocher D P. Integrating color, texture, and geometry for image retrieval [A]. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* [C], Hilton Head, SC, USA, 2000 (2): 239~246
- 14 Zhu P B, Liu F. Dominant colors of partition and texture features based image retrieval [A]. In *Proceedings of the International Conference on Signal Processing* [C], Beijing, China, 2002: 106~109
- 15 Wang Tao, Hu Sh-min, Sun J-guang. Image retrieval based on color-spatial feature [J]. *Journal of Software* 2002, **13**(10): 2031~

- 2036 [王涛, 胡事民, 孙家广. 基于颜色-空间特征的图像检索 [J]. 软件学报, 2002, 13(10): 2031~2036.]
- 16 Wang JQ, Zha H B, Cipolla R. Combining interest points and edges for content-based image retrieval [A]. In Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing [C], Genova, Italy, 2005. 1256~1259.
- 17 M ojsilovic A, Hu JY, Safranek R J. Perceptually based color texture features and metrics for image retrieval [A]. In Proceedings of the International Conference on Image Processing [C], Kobe, Japan, 1999. 588~592.
- 18 Ramprasath D, Kanesh R N. Compact combination of MPEG-7 color and texture descriptors for image retrieval [A]. In Proceedings of the 38th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers [C], Pacific Grove, CA, USA, 2004. 387~391.
- 19 Tian Y M, Mei L X. Image retrieval based on multiple features using wavelet [A]. In Proceedings of the Fifth International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications [C], Xi'an, China, 2003. 137~142.
- 20 Swain M J, Ballard D H. Color indexing [J]. International Journal of Computer Vision, 1991, 7(1): 11~32.
- 21 Stricker M, Dimal A. Color indexing with weak spatial constraints [A]. In Proceedings of the IS&T/SPIE Conference on Storage and Retrieval for Image and Video Database IV [C], San Jose, CA, USA, 1996. 29~40.
- 22 Wong K M, Chey C H, Liu T S, *et al*. Dominant color image retrieval using merged histogram [A]. In Proceedings of the International Symposium on Circuits and Systems [C], San Diego, USA, 2003. 908~911.
- 23 Xia W, Kuo C C J. A new approach to image retrieval with hierarchical color clustering [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1998, 8(5): 628~643.
- 24 Chiu Y T, Arbee L P, Chen K E. Efficient image retrieval approaches for different similarity requirements [A]. In Proceedings of SPIE [C], San Jose, CA, USA, 2000. 471~482.
- 25 Liu Fang, Wang Gaimei. Image retrieval based on combined color features [J]. Computer Engineering and Application, 2003, 39(16): 83~85. [刘芳, 王改梅. 综合颜色特征的彩色图像检索方法 [J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(16): 83~85.]
- 26 Stricker M, Orongo M. Similarity of color images [J]. SPIE Storage and Retrieval for Image and Video Databases III, 1995, 2420. 381~392.
- 27 Li Da-xiang, Peng Jin-ye, Deng Nan. Color image retrieval based on color, shape and spatiality [J]. The Miniature Machine and Application, 2005, (8): 50~52. [李大湘, 彭进业, 邓楠. 基于颜色、形状与空间信息的图像检索方法 [J]. 微型机与应用, 2005, (8): 50~52.]
- 28 Lee H Y, Lee H K, Ha Y H. Spatial color descriptor for image retrieval and video segmentation [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2003, 5(3): 358~367.
- 29 Zhu Weina, Zhou Chang-le, Xu Dan, *et al*. A multi-feature CBR method on color and texture in the traditional chinese medicine tongue diagnosis [J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10(8): 992~998. [诸薇娜, 周昌乐, 徐丹等. 基于颜色、纹理的图像多特征检索技术在中医舌诊中的应用研究 [J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(8): 992~998.]
- 30 Zhang Y J, Liu Z W, He Y. Comparison and improvement of color-based image retrieval techniques [A]. In Proceedings of the SPIE Conference on Storage and Retrieval for Image and Video Database VI [C], San Jose, CA, USA, 1998. 3312. 371~382.
- 31 Hu Xue-long, Chen Aimin, Zhou Guo-hua. An improved color matching pair algorithm for image retrieval [J]. Information and Electronic Engineering, 2003, 1(4): 265~268. [胡学龙, 陈爱民, 周国华. 一种改进的颜色匹配对图像检索算法 [J]. 信息与电子工程, 2003, 1(4): 265~268.]
- 32 Pass G, Zabih R. Histogram refinement for content-based image retrieval [A]. In Proceedings of the 3rd IEEE Workshop on Applications of Computer Vision [C], Sarasota, Florida, USA, 1996. 96~102.
- 33 Lu G, Phillips J. Using perceptually weighted histograms for color-based image retrieval [A]. In Proceedings of the International Conference on Signal Processing [C], Beijing, China, 1998. 1150~1153.
- 34 Jin Tao, Ren Xiu-li. Color extraction and matching for image retrieval [J]. Journal of Computer Aided Design and Computer Graphics, 2000, 12(6): 459~462. [金韬, 任秀丽. 图像检索中颜色特征的提取与匹配 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2000, 12(6): 459~462.]
- 35 Huang J, Kumar S R, Mitra M, *et al*. Image indexing using color correlograms [A]. In Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C], San Juan, Puerto Rico, 1997. 762~768.
- 36 Niu Lei, Ni Lin, Miao Yuan. An image retrieval method based on color-spatial feature [J]. Computer Engineering and Application, 2005, 41(4): 50~53. [牛蕾, 倪林, 苗原. 基于颜色空间分布特征的图像检索 [J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(4): 50~53.]
- 37 Ahmed M G, Emad M R, Yasser M K. Content-based image retrieval strategies for medical image libraries [A]. In Proceedings of SPIE Medical Imaging Symposium [C], San Diego, USA, 2001. 4322. 1046~1055.
- 38 Wang J Z, Gio W, Oscar F, *et al*. Content-based image indexing and searching using daubechies' wavelets [J]. International Journal of Digital Libraries, 1998, 1(4): 311~328.
- 39 Kasutani E, Yamada A. The MPEG-7 color layout descriptor: A compact image feature descriptor for high-speed image/video segment retrieval [A]. In Proceedings of the International Conference on Image Processing [C], Thessaloniki, Greece, 2001. 674~677.
- 40 Sripan T, El-Sharkawy M, Rizkalla M. Fast multiplierless approximation of the DCT for MPEG-7 color layout descriptor [A]. In Proceedings of the 46th IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems [C], Cairo, Egypt, 2003, (2): 708~713.
- 41 Wang J Z, Gio W, Firschein O, *et al*. Wavelet-based image indexing techniques with partial sketch retrieval capability [A]. In

- Proceedings of the IEEE International Forum on Research and Technology Advances in Digital Libraries [C], Washington DC, USA, 1997: 13~ 24
- 42 Chua T S, Tan K L, Ooi B C. Fast signature-based color-spatial image retrieval [A]. In Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia Computing and System [C], Ottawa Ontario, Canada, 1997: 362~ 369.
- 43 Seongtaek J, Kyhyun U. A signature representation and indexing scheme of color-spatial information for similar image retrieval [A]. In Proceedings of the First International Conference on Web Information System Engineering [C], Hong Kong, China, 2000: 384~ 392.
- 44 Park I K, Yun I D, Lee S W. Color image retrieval using hybrid graph representation [J]. Image Vision Computer, 1999, 17(7): 465~ 474.
- 45 Matas J, Mark R, Kittler J. On representation and matching of multi-colored objects [A]. In Proceedings of the Fifth International Conference on Computer Vision [C], Boston, MA, USA, 1995: 726~ 732.
- 46 Nayar S K, Bolle R M. Computing reflectance ratios from an image [J]. Pattern Recognition, 1993, 26(10): 1529~ 1542.
- 47 Huang Y Y, Guo L, Yang J Y. An image retrieval based on object region's color and texture features [J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology, 2003, 27(3): 286~ 289. [黄元元, 郭丽, 杨静宇. 基于目标区域颜色与纹理特征的图像检索 [J]. 南京理工大学学报, 2003, 27(3): 286~ 289]
- 48 Haralick R M, Shanmugam K, Dinstein I. Texture features for image classification [J]. IEEE Transactions on System Management and Cybernetics, 1973, 3(6): 768~ 780.
- 49 Takahashi N, Iwasaki M, Kunieda T, *et al*. Image retrieval using spatial intensity features [J]. Signal Processing Image Communication, 2000, 16(1-2): 45~ 57.
- 50 Yu H, Li M J, Zhang H J *et al*. Color texture moments for content-based image retrieval [A]. In Proceedings of the International Conference on Image Processing [C], Rochester, New York, USA, 2002: 929~ 932.
- 51 Zhang D S. Improving image retrieval performance by using both color and texture features [A]. In Proceedings of the Third International Conference on Image and Graphics [C], Hong Kong, China, 2004: 172~ 175.
- 52 Sun Jun-ding, Zhang Xin-min, Cui Jian-tao *et al*. A new approach for image retrieval based on color and spatial features [J]. Computer Science, 2005, 32(6): 158~ 160. [孙君顶, 张喜民, 崔江涛等. 一种新的基于颜色和空间特征的图像检索方法 [J]. 计算机科学, 2005, 32(6): 158~ 160]
- 53 Fan Yun, Wang Ren-sheng. Color image segmentation for content based image retrieval [J]. Journal of Computer Research and Development, 2002, 39(3): 376~ 381. [樊昀, 王润生. 面向内容检索的彩色图像分割 [J]. 计算机研究与发展, 2002, 39(3): 376~ 381]
- 54 Tahoun M A, Nagaty K A, El-Arief T I *et al*. A robust content-based image retrieval system using multiple features representations [A]. In Proceedings of the IEEE Networking Sensing and Control [C], Arizona, USA, 2005: 116~ 122.
- 55 Kokare M, Biswas P K, Chatterji B N. Rotated complex wavelet based texture features for content based image retrieval [A]. In Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition [C], Cambridge, UK, 2004: 652~ 655.
- 56 Hu M K. Visual pattern recognition by moment invariant [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1962, (8): 179~ 187.
- 57 Jones B F, Schaefer G, Zhu S Y. Content-based image retrieval for medical infrared images [A]. In Proceedings of the 26th Annual International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society [C], San Francisco, CA, USA, 2004: 1186~ 1187.