

图像购物搜索技术研究综述^①

王其浩^{1,2}, 王 斌^{1,2}

¹(南京财经大学 信息工程学院, 南京 210046)

²(江苏省现代粮食流通与安全协同创新中心, 南京 210023)

摘要: 传统的电子商务网站主要通过商品名称的关键字来进行商品搜索, 然而文字信息难以完整的描述商品的各种特征, 并且存在人为操作的主观性, 导致搜索结果与用户意图之间存在较大差异. 基于内容的图像搜索技术通过提取商品图像的视觉特征进行搜索, 为电子商务网站的发展提供了新的契机. 本文在此基础上对图像购物搜索技术的研究工作进行梳理, 总结研究现状, 分析技术原理, 并指明未来的发展趋势.

关键词: 网络购物; 图像搜索; 特征提取

Review on the Shopping Technology Based on Image Retrieval

WANG Qi-Hao^{1,2}, WANG Bin^{1,2}

¹(Information Engineering College, Nanjing University of Finance & Economics, Nanjing 210046, China)

²(Collaborative Innovation Center for Modern Grain Circulation and Safety, Nanjing 210023, China)

Abstract: Traditional electronic commerce websites mainly use the key words of commodity to search for goods. However, text information can't describe all the characteristics of the commodity, and can cause subjectivity of human operation. The image retrieval technology based on content provides a new opportunity for the development of electronic commerce website by extracting the visual features of the images. This thesis combs the researches on the shopping technology based on image retrieval, summarizes research status, analyses the principle, and puts forward future trend.

Key words: online shopping; image retrieval; feature extraction

现有的各种购物网站主要采用文本标注的方式表示商品进行商品搜索. 这种传统的搜索方法首先对商品进行文本标注, 然后根据用户输入的查询关键字匹配商品的文本标注, 最后返回搜索结果^[1]. 然而文字信息难以完整地表示商品的各种特征, 并且存在人为操作的主观性^[1], 因此很难客观准确地描述商品, 使得消费者需要对搜索结果进行反复筛选, 浪费大量的时间和精力.

为了提高搜索的效率, 更好地服务消费者, 利用商品图像进行搜索的方法越来越受到人们的重视. 利用商品图像进行搜索的方法不是以传统技术中与商品相关的人工标注词为搜索条件, 而是直接提取商品图

像上的视觉信息, 通过比较相应视觉信息的相似性进行搜索. 在该方法中, 用户上传需要搜索的商品图像, 系统对上传的图像进行处理, 提取图像的视觉特征, 在图像数据库中对图像特征进行匹配, 最后将数据库中与上传图像匹配度最高的若干图像返回给用户, 完成整个搜索过程, 其一般框架如图 1 所示.

1 图像购物搜索研究

1.1 基于文本的图像搜索技术

早期的购物网站都是采用基于文本的图像搜索 TBIR^[2](Text Based Image Retrieval)技术. 它是在对图像进行文本标注的基础上, 对图像进行基于关键字的

① 基金项目:国家自然科学基金(61372158);江苏省高校自然科学研究计划重大项目(11KJA520004);江苏高校优势学科建设工程资助项目;南京财经大学 2014 年研究生创新研究项目(YJS14104).

收稿时间:2015-09-21;收到修改稿时间:2015-11-13 [doi:10.15888/j.cnki.csa.005173]

搜索. 在这种技术下, 对图像的搜索变成了对关键字的查找.

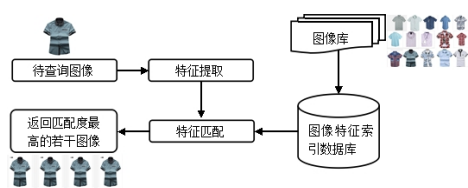


图1 图像购物搜索系统框架

基于文本的图像搜索存在两大困难, 尤其是当图像的数量非常大时更加突出: 其一, 文本描述难以充分表达图像的丰富内容. 因为文本描述是一种定性的描述, 描述能力有限, 图像中则往往含有大量需要定量描述的信息^[2]. 其二, 文本描述难以实现图像视觉特征的相似性搜索. 文本描述的搜索方法, 本质在于计算搜索请求与文本描述之间的相似度, 这就涉及到目前尚未解决的自然语言理解问题, 尽管目前实现的系统中通过采用同义词词典的方法使问题得到简化, 但同时也使搜索的表达能力受到了较大限制^[2].

1.2 基于内容的图像搜索技术

上世纪九十年代初, 产生了基于内容的图像搜索技术 CBIR^[3,4](Content Based Image Retrieval), 它不是以传统技术中与图像相关的人工标注词为搜索条件, 而是直接提取图像上的视觉信息, 通过比较相应视觉信息的相似性进行搜索^[2]. 一般地, CBIR 技术在搜索过程中包含三个步骤: 第一步, 提取能够充分代表图像内容的视觉信息; 第二步, 根据相似度, 对已经提取出的图像特征信息进行图像搜索; 第三步, 对搜索结果进行反馈和进一步修正^[5].

CBIR 技术利用图像自身特征作为索引, 克服了基于文本搜索的单一性和不可模糊性缺陷^[1,6]. 图像内容的描述不再依赖于人的手工标注, 而是借助于从图像中自动提取的视觉特征, 搜索过程也不再是关键字匹配, 而是视觉特征间的相似匹配. CBIR 技术的一般框架如图2所示^[7].

图像购物搜索技术的本质就是基于内容的图像搜索技术. 不过, 不同于普通的基于内容的图像搜索, 图像购物搜索还有其特殊的搜索需求. 图像购物搜索的目标是从商品图像数据库中, 识别出消费者感兴趣的相关商品的图像, 这就涉及到如何在有复杂背景和多个目标物体的图像中识别出用户感兴趣的目标商品的

问题. 并且当消费者在进行网上购物时, 不仅会关注商品的整体外观, 还会特别关注商品特定部分的细节特征. 同时, 对搜索的结果来说, 图像购物搜索并不需要得到完全一致的商品图像, 更多情况下只需得到近似的图像即可, 这也更符合用户实际购物时搜索相似款的需求.

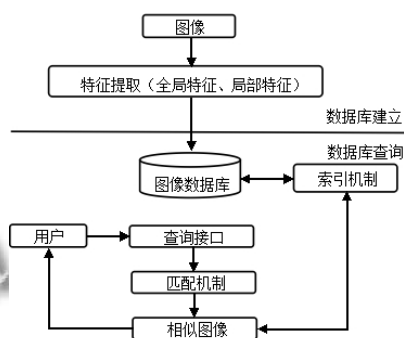


图2 CBIR技术的一般框架

2 图像购物搜索的关键技术

图像购物搜索依靠的是基于内容的图像搜索. 目前, 有关基于内容的图像搜索技术的研究主要集中在三个方面: 特征提取、有效检索及用户接口^[7]. 其中, 特征提取是整个图像搜索系统的基础与关键^[8,9].

2.1 图像特征提取层次模型

图像的特征主要包括底层特征和语义特征. 图像特征的提取方式将直接影响搜索系统的性能^[9]. 图像特征提取主要分为3个层次, 如图3所示.



图3 图像特征提取层次图

(1) 可视化层(底层特征、全局特征). 它是指颜色、纹理、形状、轮廓等图像某一方面的特征^[9,10]. 它是图像特征提取的低级层次或底层次, 也是特征提取最易实现、使用频率最高的层次.

(2) 中间对象层(局部特征). 它是将图像的某个区域或者目标物体作为图像内容的索引, 它比可视化层特征提取实现难度大^[6].

(3)高级抽象层(语义层). 它是在局部特征提取的基础上对图像进行抽象描述,赋予图像一定的语义信息^[11].

现有的基于内容的图像搜索通常使用底层和中间层进行信息搜索,因为这两层涵盖了图像内容实体的基本物理信息. 最高层是基于内容的图像搜索技术所要达到的最终目标,它的特征提取通常带有明显的主观色彩. 该层次是与人类心理学进行结合的高级产物,其算法和应用方式目前仍处于初级探索阶段^[6].

2.2 基于全局特征的图像搜索

图像的全局特征是图像的底层特征,是图像搜索

中最常用的特征. 常用的全局特征有颜色特征、形状特征和纹理特征等.

(1)基于颜色特征的图像搜索

颜色特征是在基于内容的图像搜索中应用最为广泛的底层视觉特征^[9]. 作为图像内容组成的基本要素,相对于其它底层图像特征而言,颜色特征具有与生俱来的旋转不变性和尺度不变性,计算起来也比较方便^[12-14]. 目前颜色特征的描述方法主要有:颜色直方图法^[12-14],颜色矩法^[15,16],颜色信息熵^[7]等,相应的计算公式如表 1 所示.

表 1 三种颜色特征描述法的计算公式

方法	颜色直方图	颜色矩	颜色信息熵
公式	$h_c = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} \delta(f_{ij} - c)$ $\forall c \in C$	一阶矩: $u_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n h_{ij}$ 二阶矩: $\sigma_i = \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (h_{ij} - u_i)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$ 三阶矩: $s_i = \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (h_{ij} - u_i)^3 \right)^{\frac{1}{3}}$	$E(H) = - \sum_{c=1}^n h_c \text{lb}(h_c)$ $\forall c \in C$
说明	f_{ij} 表示像素点 (i, j) 处的颜色值, $M \times N$ 表示图像的大小, 图像所包含的颜色集记为 C .	h_{ij} 表示第 i 个颜色通道分量中灰度为 j 的像素出现的概率, n 表示灰度级数.	h_c 表示图像的颜色直方图, C 为图像所包含的颜色集.

(2)基于形状特征的图像搜索

形状特征是图像表达和图像搜索中的另一个重要特征,是计算机视觉研究的一个基本问题^[17]. 但由于物体形状的自动获取比较困难,基于形状搜索一般仅限于非常容易识别的物体. 目前常用的形状特征提取方法主要分为两类:基于边界的形状特征提取^[17]和基于区域的形状特征提取^[9,17]. 文献[17]采用基于边界的形状特征提取方法,利用商品图像的突出边缘特征构造新的形状特征描述子. 同时引入交互和反馈机制,

让用户可以自定义感兴趣区域,并通过用户反馈调整权重,有效的提高了搜索的效果.

(3)基于纹理特征的图像搜索

纹理特征是所有物体表面共有的特征,是对局部区域中像素间关系的一种度量^[9]. 它刻画了邻域像素灰度的分布规律,包含了物体表面组织结构排列的重要信息以及它们与周围环境的联系^[18]. 常用的纹理描述方法有:统计法^[19]、频谱法^[20]、结构法^[21]和模型法^[22,23]四种,如表 2 所示.

表 2 四种纹理特征描述法

方法	思想原理
统计法	主要是通过图像中灰度级分布的随机属性来描述纹理特征 ^[19] . 最简单的统计法是 GLCM ^[19] (灰度共生矩阵), 半方差图法 ^[19] 等. 优势: 方法简单,易于实现,具有较强的适应能力与鲁棒性. 不足: 与人类视觉模型脱节,缺少全局信息的利用;缺乏理论知识;计算复杂度高.
频谱法	主要借助于频率特性来描述纹理特征. 常用的方法主要包括傅立叶功率谱法 ^[24] 、Gabor 变换 ^[25] 、复小波变换 ^[26] 等. 优势: 对纹理进行多分辨率表示,能在精细的尺度上分析纹理;符合人类视觉特征;可结合空间/频域分析纹理特征. 不足: 频谱分解只将低频部分进一步分解,不考虑高频;计算量大;对非规则纹理的处理效果不佳.
结构法	建立在纹理基元理论基础上的纹理特征分析方法 ^[23] . 常用的结构法有句法纹理描述法 ^[21] , 数学形态学法 ^[21] 等. 优势: 强调纹理规律性,适用于分析人造纹理; 不足: 无法适用于不规则的自然纹理,应用方式受到很大限制.
模型法	利用一些成熟的图像模型来描述纹理特征,如基于随机场统计学的马尔可夫随机场 ^[27] 、自回归模型 ^[22,23] 、分形模型等 ^[22,23] . 优势: 兼顾局部与整体的规律性,具有很大的灵活性,处理效率较高. 不足: 需通过模型系数标识纹理,系数求解有难度;计算量较大;参数调节不方便,模型不宜太复杂.

2.3 基于局部特征的图像搜索

现实生活中，一幅商品图像除了包含目标商品外，还可能包含人物、背景、光照等外界干扰因素，甚至还可能发生一定程度的遮挡，此时利用颜色、纹理、形状等全局特征就无法很好的表示局部的目标商品。但是，图像的一些局部特征是保持不变的，这对度量商品图像的相似性、商品图像特征匹配及搜索有重大的意义^[28]。

SIFT^[29](Scale Invariant Feature Transform)是 David Lowe 于 1999 年提出的局部特征描述子，并于 2004 年进行了更加深入的发展和完善^[30]。SIFT 特征独特性好，信息量丰富，并且对大多数图像变换具有很强的不变性^[28]。

SIFT 算法主要包括以下 4 个基本步骤^[30]：

(1) 尺度空间极值检测：搜索所有尺度上的图像位置。通过高斯微分函数来识别潜在的对于尺度和旋转不变的兴趣点。

(2) 关键点定位：在每个候选位置上，通过拟合精细模型来确定关键点的位置和尺度。

(3) 方向确定：基于图像局部的梯度方向，分配给每个关键点位置一个或多个方向。所有对图像数据的操作都相对于关键点的方向、尺度和位置进行变换，从而提供对于这些变换的不变性。

(4) 关键点描述：在每个关键点周围的邻域内，在选定的尺度上测量图像局部的梯度，最终用特征向量来表达。

当图像的特征生成后，采用关键点特征向量的欧氏距离作为相似性判定度量。本文运用 SIFT 特征，做了男式服装图像的搜索实验。搜索服装图像和数据库中的服装图像都是由服装的正反面两个目标构成。图 4 给出了跟搜索的男式棒球服图像匹配度最高的六件数据库中的服装图像，其中每一幅图的左边是搜索图像，右边是数据库图像，图中的绿色线条连接的是匹配上的特征点，图中下方给出的数字是搜索服装图像和数据库服装图像匹配上的特征点的个数。

由于 SIFT 特征向量高达 128 维，不利于特征索引和匹配计算，于是一些学者开始对 SIFT 算法进行改进和扩展，以求在不显著降低其独特性和鲁棒性的前提下尽量降低其描述子的维数。这类扩展算法的代表有 PCA-SIFT^[31]、GLOH^[28]和 SURF^[32]，前两者都从改变特征描述子的生成方式着手，并都采用了

PCA^[31](Principal Component Analysis)技术以降低特征向量的维数。SURF 是在 PCA-SIFT 的基础上做了更大的改进以提高检索效率。

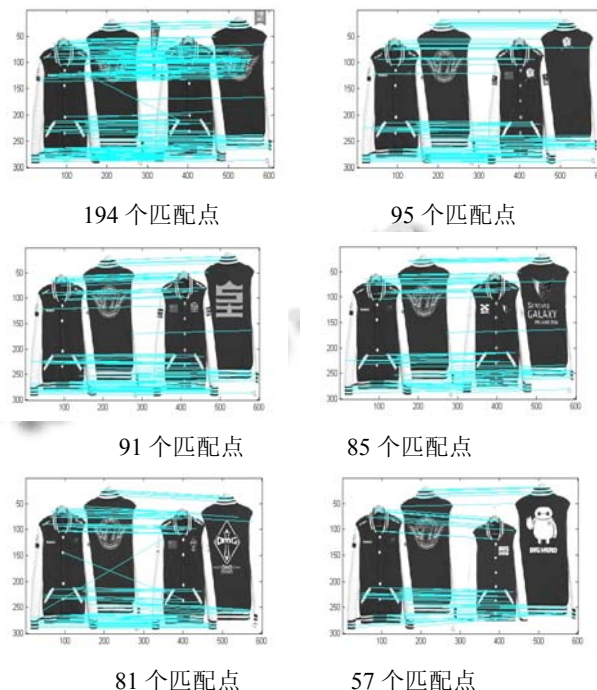


图 4 用 SIFT 特征描述子做服装搜索实验得到的跟搜索服装图像匹配度最高的 6 幅数据库服装图像

在特征匹配方面，文献[33,34]都在现有的哈希算法的基础上做改进，以此来提高特征匹配的效率和精度。文献[33]利用有监督的哈希算法，提出一种新的 LFH^[33]算法，并通过实验表明该算法可以在相同的训练时间内完成更加精确的匹配。文献[34]针对大规模图像搜索的需求，提出基于多核的局部敏感哈希算法，与现有算法相比，该算法存在明显优势。

2.4 基于组合特征的图像搜索

从商品的销售特性来看，实体图像的描述是多方面的。因此，在实际应用中需要涉及多个层次的特征提取，以克服单一特征带来的搜索局限^[35]。组合特征是指将多个图像特征向量进行组合，形成综合的图像特征^[35]。通过提取组合特征，弥补了单一特征向量的不足。

早期的组合特征多是利用底层特征进行组合，如文献[6]将一维颜色特征向量和形状特征向量进行组合；文献[35]提出先利用不变距与傅里叶描述子相结合的方法对图像形状特征进行检索，再利用改进的颜色直

方图进行二次检索;文献[36]融合颜色、形状特征构建特征索引,并将二维傅立叶变换与Zernike矩相结合构造特征描述子。

针对底层全局特征存在的一些不足,利用局部特征进行组合可以大大提高图像检索的效果。如文献[37]把MSER^[38]特征区域中的SIFT特征捆绑在一起提出了Bundled^[37]特征,并在每个Bundled特征中加入了SIFT特征的相对位置关系作为几何约束;文献[39]在文献[37]的研究基础上提出了一种基于特征面积比例矩阵的Bundled特征相似性度量方法,这种方法对图像的缩放和旋转等仿射变换具有鲁棒性,效果明显有了提高。

3 图像购物搜索网站

基于内容的图像搜索技术因其独特的优势受到众多学者和购物网站的重视,目前将商品图像的视觉特征进行商业应用的购物网站主要有淘淘搜、图图搜衣、Google Shopping、Ebay等。他们都将基于内容的图像搜索技术进行了不同程度的应用,实现的方式也各不相同。

3.1 淘淘搜

淘淘搜是国内知名的基于图像视觉信息的搜索购物网站^[8]。在该网站中,用户可以输入关键字进行一般的购物搜索,也可以上传商品图像进行搜索。为提高搜索的准确度,在用户上传图像之后,网站会要求用户选择需查找的商品所属的分类,目前只支持衣服、鞋包商品的图像搜索。如图5所示,是对一件男式衬衫的图像搜索。从搜索结果可以看出淘淘搜搜索时是将颜色和款式作为主要视觉特征的。



图5 淘淘搜图像搜索示例图

3.2 图图搜衣

图图搜衣是国内最新的图像搜索购物网站,提供强大的服装图像搜索功能。网站同样要求用户对商品所属的类别进行选择。不同的是,该网站只支持服

装商品的搜索,用户只需选择商品属于男装还是女装即可。网站的独特之处在于:不仅支持输入关键字和图片,还支持商品链接和图像链接的输入。如图6所示,是对同一件男式衬衫的图像搜索。图图搜衣依然是将颜色和款式作为主要视觉特征的。



图6 图图搜衣图像搜索示例图

3.3 Google Shopping

在谷歌于2010年8月收购了Like.com之后,谷歌的Boutiques于同年11月上线,也就是现在的Google Shopping^[40,41]。在Google Shopping中,用户通过关键字搜索出一系列的商品,点击某一商品的图片进入商品页后,系统会在该商品的描述下面给出视觉相似的商品列表,即网页中“Visually Similar Items”标签。如图7所示,在Google Shopping中对一件红色“coat”进行视觉相似搜索。从搜索结果可以看出Google Shopping是将颜色作为主要视觉特征的^[12]。



图7 Google Shopping 图像搜索示例图

3.4 Ebay

以图搜图是互联网重要创新应用之一,Ebay作为全球五大互联网公司之一,也投入到基于视觉信息的搜索这一研究的开发行列^[42,43],并推出了基于视觉搜索购物的相关应用“More Like This”。在Ebay网站,通过文字信息搜索出相关商品后,用户将鼠标放至商品图像上时就会出现按钮“See more like this”,点击按钮就可以进行视觉相似图像的搜索了,如图8所示。

以上所列举的只是国内外一些比较典型的图像购物搜索网站,这些网站各有特点,具体对比如表3所示:

表 3 各大图像购物网站搜索特点对比

网站	是否支持关键字搜索	是否支持图像链接搜索	是否支持商品链接搜索	是否支持用户上传图片	是否要求用户选择商品所属类别	是否支持比价	依托平台	所支持的商品种类	所依赖的视觉特征
淘淘搜	是	否	否	是	是	是	淘宝、天猫	服装、鞋包	颜色、款式
图图搜衣	是	是	是	是	是	是	淘宝、天猫、京东、美丽说、蘑菇街	服装	颜色、款式
Google Shopping	是	否	否	否	否	否	入驻商家	服装	颜色
Ebay	是	否	否	否	否	否	入驻商家	服装	款式、颜色

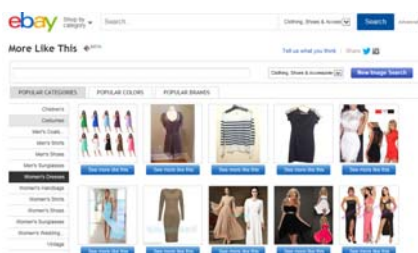


图 8 Ebay 图像搜索示例图

通过对这些网站进行实例搜索研究发现：这些网站都是提取图像的颜色、形状等视觉特征，虽然通过这些视觉特征可以较快速准确地处理简单的商品图像，但在处理有复杂背景或者多个目标的商品图像时存在明显不足。同时现有的图像购物搜索网站支持的商品总类大多是服装衣帽类，能够搜索的商品类别太少。

4 总结

虽然基于内容的图像购物搜索技术取得了一些成就，开发了许多基于该技术的系统，有了一定的实际应用，但距离实际购物搜索所需的大规模、高效、便捷的应用方式还有一定的距离。基于内容的图像搜索技术还需要在一些关键技术领域有所突破。例如，如何提高查询速度、如何建立简单的查询接口、如何缩小与人类视觉感知特性的差距等等。只有将基于内容的图像搜索技术与网络、人类心理学、生物科学等领域的成果相融合，才能真正成为图像购物搜索技术的主流。

5 展望

图像购物搜索的核心技术是基于内容的图像搜索技术^[17]。未来，图像购物搜索技术将朝以下几个方向进一步发展：

(1)图像特征提取算法的研究，特别是局部特征描述子的研究。现有的特征提取方法主要着眼于图像的全局特性，而无法有效的抽取目标图像的局部特征，在实际应用中存在较大的局限性。

(2)图像背景去除算法的研究。自然环境中获得图像往往包含复杂的背景，如何有效的去除图像背景，提取用户感兴趣的目标商品是未来研究的一个方向。

(3)基于移动计算环境的图像购物搜索研究。随着移动互联网的普及，移动电子商务发展势头迅猛^[45]。随着图像搜索技术与移动搜索技术的发展，利用移动设备进行实时的商品图像搜索将成为新的发展趋势。

参考文献

- Seah BS, Bhowmick SS, Sun A. PRISM: Concept-preserving social image search results summarization. Proc. of the 37th International ACM SIGIR Conference on Research & Development in Information Retrieval. ACM. 2014. 737-746.
- 阿斯艳·哈密提,阿不都热西提·哈密提.基于文本的图像检索与基于内容的图像检索技术的比较研究.首都师范大学学报(自然科学版),2012,4:6-9.
- 赵倩.基于内容的图像检索若干技术研究[学位论文].上海:上海大学,2012.
- 张振花.基于内容图像检索的若干技术研究[学位论文].长春:吉林大学,2009.
- 赵柳青.基于多特征的图像检索技术研究及实现[学位论文].长春:长春工业大学,2010.
- 姚琪,蒋达央.电子商务中基于内容的商品图像检索技术研究.信息安全,2013,7:74-76.
- 安志勇.基于内容的图像检索关键技术研究[学位论文].西安:西安电子科技大学,2008.
- 张秀秀.基于图像服装检索系统设计与实现[学位论文].成

- 都:电子科技大学,2013.
- 9 Nixon M, Alberto S, Aguado. Feature extraction & image processing for computer vision, Third edition. America: Academic Press, 2013.
- 10 Siddique JB, Feris RS, Davis LS. Image ranking and retrieval based on multi-attribute queries. Proc. of Inter. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR). 2011. 801-808.
- 11 张骞.基于文本的与基于内容的图像检索技术比较研究.情报探索,2012, 1:111-113.
- 12 汪启伟.图像直方图及其应用[学位论文].合肥:中国科学技术大学,2014.
- 13 陈微微.基于颜色特征提取的图像搜索引擎研究[学位论文].重庆:重庆理工大学,2012.
- 14 Wang XY, Wu JF, Yang HY. Robust image retrieval based on color histogram of local feature regions. Multimedia Tools and Applications, 2010, 49: 323-345.
- 15 Abdelkhalak, Bahri, et al. Content-based bird retrieval using shape context, color moments and bag of features. International Journal of Computer Science Issues(IJCSI), 2015,121.
- 16 Maheshwary P, Srivastava N. Prototype system for retrieval of remote sensing images based on color moment and gray level co-occurrence matrix. International Journal of Computer Science Issues, 2009, 31.
- 17 Li YH, Xu S, Luo XN, et al. A new algorithm for product image search based on salient edge characterization. Journal of the Association for Information Science and Technology, 2014, 65(12): 2534-2551.
- 18 张松林.基于纹理特征的图像检索方法研究[学位论文].重庆:重庆大学,2010.
- 19 Tamura H, Mori S, Yamawaki T. Texture features corresponding to visual perception. IEEE Trans. on SMC, 1978, 8(6): 460-473.
- 20 Michael D. Wavelet features for color image classification. Imaging and Geospatial Information Society. Orlando, 2000.
- 21 Wang XY, Zhang BB, Yang HY. Content-based image retrieval by integrating color and texture features. Multimedia Tools and Applications, 2014, 683.
- 22 Chandy DA, Johnson JS, Selvan SE. Texture feature extraction using gray level statistical matrix for content-based mammogram retrieval. Multimedia Tools and Applications, 2014, 722.
- 23 赵珊.基于内容的图像检索关键技术研究[学位论文].西安:西安电子科技大学,2007.
- 24 Smith LN, Fickus M. Determining angular frequency from images of rotating objects via a generalized fast fourier transform. Advances in Computational Mathematics, 2014, 401.
- 25 Wang R, Wang GY, Chen Z, et al. A palm vein identification system based on gabor wavelet features. Neural Computing and Applications, 2014, 241.
- 26 Cai ZX, Gu MQ. Traffic sign recognition algorithm based on shape signature and dual-tree complex wavelet transform. Journal of Central South University, 2013, 202.
- 27 Konovski P. A common approach to finding the optimal scenarios of a Markov stochastic process over a phylogenetic tree. Biotechnology & Biotechnological Equipment, 2012, 265.
- 28 Mikolajczyk K, Schmid C. A performance evaluation of local descriptors. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(10): 1615-1630.
- 29 Lowe DG. Object recognition from local scale-invariant features. International Conference on Computer Vision. Corfu, Greece. September 1999. 1150-1157.
- 30 Lowe DG. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- 31 Ke Y, Sukthankar R. Pca-sift: A more distinctive representation for local image descriptors. Computer Vision and Pattern Recognition, 2004.
- 32 Bay H, Tuytelaars T, Gool LV. Surf: Speeded up robust features. Proc. of 9th European Conference on Computer Vision. Graz, Austria. 2006. 404-417.
- 33 Zhang P, Zhang W, Li WJ, et al. Supervised hashing with latent factor models. Proc. of the 37th International ACM SIGIR Conference on Research & Development in Information Retrieval. ACM. 2014.
- 34 Xia H, Wu P, Hoi SCH, et al. Boosting multi-kernel locality-sensitive hashing for scalable image retrieval. Research Collection School of Information Systems, 2012.

- 35 侯阿临,赵柳青,桃敏等.基于多特征的服装图像检索.现代电子技术,2010,6:171-175.
- 36 张婉婷,王斌.基于组合特征的在线商标图像检索系统设计.现代图书情报技术,2011,9:41-45.
- 37 Wu Z, Ke QF, I sard M, et al. Bundling features for large scale partial-duplicate web image search. Proc. of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Patttern Recognition, CVPR. Miami, USA.2009. 25-32.
- 38 Matas J, Chum O, Urban M, et al. Robust wide baseline stereo from maximally stable extremal regions. British Machine Vision Conference. 2002, 1. 384-393.
- 39 Wu ZP, Xu QQ, Jiang SQ, et al. Adding affine invariant geometric constraint for partial-duplicate image retrival. Proc. of International Conference on Pattern Recognition, ICPR. Istanbul, Turkey. 2010. 842-845.
- 40 Friedman D. A new threat? Supply House Times, 2013, 566.
- 41 Mathew H. At your door step. Wired, 2014, 229.
- 42 Pang G, Casalin F, Papagiannidis S, et al. Price determinants for remanu factured electronic products: A case study on eBay UK. International Journal of Production Research, 2015, 532.
- 43 Lendle A, Olarrega M, Schropp S, et al. eBay's Anatomy. Economics Letters, 2013, 1211.
- 44 吴建辉.基于内容的图像检索技术研究[学位论文].武汉:武汉理工大学,2014.
- 45 牟少霞.基于智能终端的移动电子商务商业模式研究[学位论文].济南:山东师范大学,2014.