

中文图书封面文本定位及中文图书检索*

刘玉杰¹⁺, 李峰¹, 李宗民¹, 李华², 林茂³

¹(中国石油大学(华东) 计算机与通信工程学院, 山东 青岛 266580)

²(中国科学院 计算技术研究所, 北京 100190)

³(新疆油田公司勘探开发研究院 地球物理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011)

Chinese Book Cover Text Location and Chinese Book Retrieval

LIU Yu-Jie¹⁺, LI Feng¹, LI Zong-Min¹, LI Hua², LIN Mao³

¹(College of Computer and Communication Engineering, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China)

²(Institute of Computing Technology, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

³(Research Institute of Exploration and Development, Xinjiang Oilfield, Urumqi 830013, China)

+ Corresponding author: E-mail: liuyujie@upc.edu.cn

Liu YJ, Li F, Li ZM, Li H, Lin M. Chinese book cover text location and Chinese book retrieval. *Journal of Software*, 2012, 23(Suppl. (2)): 77-84 (in Chinese). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/12027.htm>

Abstract: As an important part of book covers, characters contain rich semantic information. By extracting accurate information from complex color images, and combining it with content-based image retrieval technology, it is possible to further improve the accuracy of book retrieval. According to the characteristics of text information in Chinese book covers, this paper proposes connected components methods to locate the text regions. At first, the grayscale image is decomposed to a series of binary images and merged to connect components in each image, according to the structures of Chinese characters, generating candidate text regions. Additionally, text verification is used to rule out non-text regions. The result regions are regarded as the prominent regions of book cover, further this paper use Hu moment invariant to extract features for image matching. Experiments show the results of this method are fairly good, proving the importance of text information to book retrieval.

Key words: text location; connected component; color clustering; Hu moment invariant

摘要: 文字作为图书封面中的重要组成部分,包含丰富的语义信息.从复杂彩色图像中准确地获取文本信息,并结合现有的图像检索技术,可以进一步提高图书检索的精确度.针对中文图书封面文本的特点,采用基于连通分量的方法定位文本区域.首先通过颜色聚类将图像分解为一系列的二值图像,然后依汉字结构合并各个图像中的连通分量,生成候选文本区域;通过文本验证进一步滤除非文本区域.定位获得的文本区域作为图书封面的显著区域,对其提取 Hu 不变矩特征用于图像匹配.经实验证实,该方法取得了较好的检索效果,表明了文本信息对于图书检索的重要性.

关键词: 文本定位;连通分量;颜色聚类;Hu 不变矩

* 基金项目: 山东省自然科学基金(ZR2009GL014); 山东省中青年科学家奖励基金(BS2010DX037); 文化部科技创新基金(46-2010); 中央高校基本科研基金(09CX04044A, 10CX04043A, 10CX04014B, 11CX04053A, 11CX06086A, 12CX06083A, 12CX06086A)

收稿时间: 2012-05-30; 定稿时间: 2012-09-29

随着多媒体信息检索的发展,复杂背景下的彩色图像文本信息提取越来越受到人们的重视,并应用于视频索引和图像检索等领域.图像中的文本检测是指通过计算机检测文本的存在、定位文本所在的位置,并将文字部分提取出来,以备送入 OCR 系统便于识别.但文字特征容易受文字的大小、语种、颜色、字体、背景纹理等的影响,这些都增加了文本检测的难度.如何从形式不一的复杂图像中快速而准确的定位文本,是目前国内外研究的热门课题.

1 相关工作

文本检测和基于内容的图像检索技术发展迅速.文本检测技术大致可分为基于边缘和梯度的方法、基于纹理的方法、基于笔画宽度的方法,基于学习的方法和基于连通区域的方法等五类.基于边缘和梯度的方法针对文本和背景之间的对比度较高的特点,首先检测图像的边缘,然后利用形态学操作或平滑滤波的方法连接文本边缘,再通过一些启发式机制过滤非文本区域.Hasan 等人^[1]将形态学方法用于文本检测.将彩色图像转化为灰度图像后,采用形态学梯度算子和自适应阈值获取二值化的边缘图像,接着运用形态学操作将候选区域连接成文本块,最终通过宽高比、灰度一致性等限制过滤非文本区域.Dinh 等人^[2]通过局部自适应阈值对视频的每一帧进行边缘检测,接着对边缘图像进行形态学膨胀操作并利用笔画宽度信息对候选文本进行过滤,最终结合连续帧的检测结果确定文本区域.基于边缘和梯度的方法虽然速度较快,但当图像背景较复杂时误检率较高.

基于纹理的方法将文字当作一种特殊的纹理,利用纹理特征决定像素点或像素块是否为文字.小波变换、快速傅里叶变换、离散余弦变换和 Gabor 滤波等均可用于检测图像中文本区域的纹理特性.Mao 等人^[3]对原始图像做多尺度小波变换,应用各个尺度下 LH 和 HL 子带的小波高频系数提取像素的局部能量变化(LEV)信息,通过阈值去除 LEV 响应值较低的像素,接着用连通分量分析的方法获得候选文本区域,并利用几何过滤规则对候选文本进行验证,最终将各个尺度下检测到的文本区域相融合.

基于笔画宽度的方法针对文本笔画宽度一致的特点区分文本和背景.Epshtein 等人^[4]采用 Canny 算子提取图像的边缘,并沿边缘像素梯度方向计算每个像素可能对应文字的笔画宽度值,然后通过连通区域分析的方法找到候选文本字符,通过宽高比等几何规则去除非文本字符,最终将字符连接成文本行.Chen^[5]等采用边缘增强的最大稳定极值区域(maximally stable extremal regions)作为候选文本,接着采用几何过滤和笔画宽度一致性的限制过滤非文本字符;候选文本字符最终被连接成文本行,并分割为逐个的单词.基于笔画宽度的方法速度较快,但对于笔画宽度变化较大的特殊字体适用性较差.

在使用纹理方法进行文本定位时,人为地构造适用于各种情况的纹理分类器较为困难,因为人们提出了基于学习的方法自动生成分类器.Li 等人^[6]提出了一种笔画滤波器,首先对灰度图像进行滤波,对得到的响应图像采用滑动窗口的方法逐个提取统计特征进行 SVM 训练以获得候选文本区域,最终采用几何规则和垂直水平投影的方法对候选文本区域进行过滤.Chen 等人^[7]用 Adaboost 方法训练强分类器用于文本检测,也取得了不错的效果.基于学习的方法可以适用于不同尺寸、语言和字体的文字,但是分类器的效果易受训练样本集与测试样本集的相似程度的影响.

基于连通区域的方法根据文本中字符通常拥有相同或相似颜色的特点,首先提取单字或文字的一部分,然后应用一定的合并规则形成文本区域.Liu 等人^[8]针对广告图像,提出了一种基于边缘的颜色聚类方法将彩色图像分割为多个同质的颜色层,接着依照汉字的结构特点对各层分别采用连通区域的方法合并候选文本区域,最终结合笔画宽度信息过滤候选文本.

基于内容的图像检索可以分为特征提取和图像匹配两个步骤.这里着重介绍特征提取步骤.早期的特征提取方法如颜色直方图、颜色、形状和纹理等易受到尺度、旋转以及光照变化的影响,2004 年 Lowe^[9]提出了经典的 SIFT 特征,因其拥有鲁棒性、局部性、辨别能力强的特点,成为图像检索领域最为常用的特征之一,但维度高和数量多的特性给检索带来了一定的困难.Blei 等人^[10]在局部特征基础上,聚合一副图像的多个局部特征为一个高维向量,通过对聚合后的向量进行编码并使用倒排文件进行索引,提高了效率.基于内容的图像检索大多采用低级视觉特征,缺乏图像自身的语义信息.而要达到语义级的基于内容的图像检索是非常困难的.彩色图像

中包含的文本是图像高层语义内容的重要来源,其对于图像的自动标注、索引等方面有重要的参考作用.通过提取图像中的文本信息,再结合现有的基于内容的图像检索技术,就可能在一定程度上达到概念级的基于内容的图像检索.

2 基本思想

汉字的结构比西文字符更复杂,多数汉字由两个或两个以上连通分量组成.基于对图书封面汉字的观察,我们得出下面的结论:

普通汉字宽高比在 1~1.2 之间,斜体等特殊字体宽高比在 1~1.5 之间.

同一文本行(列)中不同汉字之间的间隔大于同一汉字不同连通分量的间隔.

同一行(列)中不同汉字的尺寸基本一致.

文本一般远离图书封面的边缘.

大多数汉字的结构都属于图 1 所示 3 种类型之一:内外结构、上下结构和左右结构^[11].



Fig.1 The structure of Chinese characters

图 1 汉字的结构

本文针对中文图书封面的特点,首先对原始图像的灰度图像进行颜色聚类,将其分解为一系列不同灰度级的二值图像;然后依上述汉字的结构对各个二值图像分别进行水平和垂直方向上的连通分量合并,以生成候选文本区域;并通过笔画滤波的方法结合支持向量机以进行文本验证,接着合并各二值图像的检测结果;对于定位获得的文本区域作为图书封面的显著区域,提取 Hu 不变矩特征用于图像匹配.图 2 显示了本文方法的流程图.

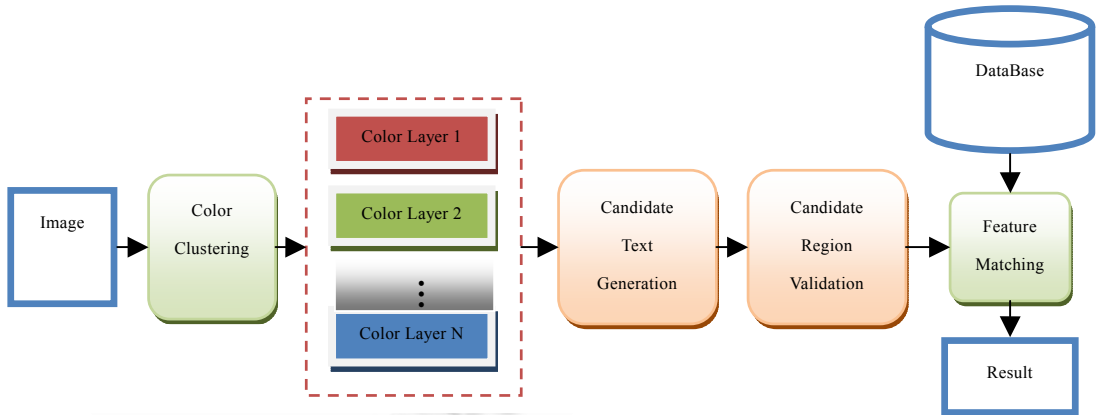


Fig.2 Flowchart of this paper

图 2 方法流程图

3 颜色聚类

由于相机拍摄的原因,人们眼中颜色相一致的图像可能存在许多细微的颜色变化,这些颜色变化会影响文本检测的效果,因而需要在预处理阶段予以去除.基于图书封面文本和背景灰度差异较大的特点,本文采用无监督的聚类方法对图像进行颜色聚类,具体步骤为:首先将原始图像转化为灰度图像,并将其量化为 N 维直方图;接着计算每个直方图 bin 与邻近两个 bin 的差值,若小于两者其中之一,则将指针指向差值最大者;最终整个直方图会形成若干局部极大值,指向同一个局部极大值的 bin 属于一个聚类.

通过颜色聚类,属于同一聚类的像素被赋予相同的灰度值.由于文本和背景灰度值差异较大,聚类后两者会分属于不同类别,接着选择灰度位于每两个局部极大值之间的像素可以将灰度图像分解为一系列的二值图像,从而达到背景和文本分离的效果.图 3 展示了本文采用颜色聚类的过程.图 4 为一个具体的颜色聚类实例.

通过实验验证,本文设定 $N=26$ 时效果最佳.

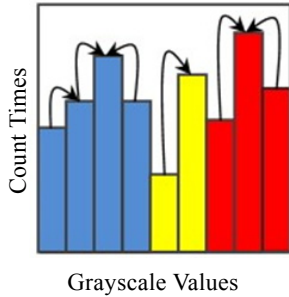


Fig.3 Color clustering procedure

图 3 颜色聚类过程



Fig.4 Color clustering examples

图 4 颜色聚类实例

4 基于连通分量的候选文本生成

经颜色聚类,我们将灰度图像分解为一系列不同灰度级范围的二值图像.接着在各个二值图像中,依照汉字的组成结构,分别进行水平和垂直方向上的连通分量合并从而生成候选文本区域;经文本验证后,最终聚合各个二值图像的结果.

4.1 连通分量

颜色聚类过程使得图像的文本和背景相分离,下面对各个二值图像进行连通分量分析.我们采用区域增长算法,使一系列 8-连通的黑色像素构成连通区域.每个连通区域由其外接矩形表示,该矩形限定了该连通分量的上、下、左、右这 4 个边界.

在对连通区域进行合并之前,依照图书封面汉字的特点,我们首先对其进行筛选,去除矩形面积过大、过小的区域.由于汉字大多远离图书封面的边缘,所以删除与图像边缘相连的连通区域.针对部分连通区域外界矩形相交的情况,其可能对应于内外结构的汉字,规定若两个矩形重叠部分面积大于较小矩形面积的 30%,则合并两个连通区域.

通过连通分量的分析,删除部分明显不是文字的连通区域,接下来进行种子区域的选取,并通过种子区域进行垂直和水平方向上的连通区域合并.

4.2 种子区域的选取

合理的选择种子区域,并沿其确定的行(列)进行水平(垂直)方向上的连通区域合并,就可以将汉字的多个连通分量组合在一起.由于同一行(列)中汉字的大小基本一致,而种子区域作为潜在的汉字,其大小决定了该行(列)中其他汉字的尺寸范围,因而种子区域的选择至关重要.根据图书封面汉字的特点,规定种子区域是满足宽高比在 $1/m \sim m$ 之间的连通区域.根据本文实验的结果,设定 $m=1.5$ 时效果最佳.

4.3 连通区域合并

通过种子区域的选取,得到一系列候选文本区域,接下来沿每个种子区域确定的行和列依照规则进行水平和垂直方向的连通区域合并.由于行和列的合并过程类似,这里仅描述水平方向的区域合并.

首先规定某个连通区域 t 上、下、左、右这 4 个边界分别表示为 $top(t),bottom(t),left(t),right(t)$ 宽、高分别为 $width(t),height(t)$.具体的合并规则如下:

- (1) 假定存在某个种子区域 x ,该行其他潜在汉字位置和大小由下列条件加以限制:

$$\left. \begin{aligned}
 \maxtop &= \text{top}(x) - k \times \text{height}(x) \\
 \mintop &= \text{top}(x) + k \times \text{height}(x) \\
 \maxbottom &= \text{bottom}(x) + k \times \text{height}(x) \\
 \minbottom &= \text{bottom}(x) - k \times \text{height}(x) \\
 \maxwidth &= (1-p) \times \text{width}(x) \\
 \minwidth &= (1-p) \times \text{width}(x)
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

经实验验证, k 和 p 的参数分别设定为 0.25 和 0.2.

(2) 依种子区域界定的范围,所有外接矩形中心落在 \maxtop, \maxbottom 之间的连通区域都将作为潜在的汉字区域参与区域合并.种子区域界定的范围如图 5 所示.

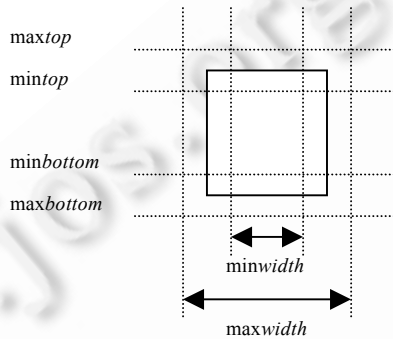


Fig.5 Restricted boundary of a seed region

图 5 种子区域界定范围

(3) 从左至右依次进行区域合并,若当前行不存在其他连通区域,则执行第(5)步;若存在连通区域 i 满足下列 3 个条件:

$$\left. \begin{aligned}
 \maxtop &< \text{top}(i) < \mintop \\
 \minbottom &< \text{bottom}(i) < \maxbottom \\
 \minwidth &< \text{width}(i) < \maxwidth
 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

则该连通区域 i 被标记为潜在的汉字,接着向右遍历下一个连通区域,仍执行第(3)步;若条件不满足,则向右遍历下一个连通区域,若存在连通区域 j ,则将 j 和当前连通区域 i 合并为新的连通区域 t ,接着执行第(4)步;若已不存在其他连通区域,则执行第(5)步.

(4) 若连通区域 t 满足下列条件之一:

$$\left. \begin{aligned}
 \text{top}(t) &< \maxtop \\
 \text{bottom}(t) &> \maxbottom \\
 \text{width}(t) &> \maxwidth
 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

则连通区域 t 被标记为非文本区域,向右查找下一个连通区域,转而执行第(3)步;若条件不满足,同样执行第(3)步.

(5) 当前种子区域行合并完毕,执行其他种子区域的行合并.所有种子区域完成行合并后,接着执行种子区域的列合并.当连通区域合并完毕之后,得到该二值图像的候选文本区域.下一步进行候选文本的验证.

5 候选文本的验证

连通区域合并得到的候选文本中存在一些错误的结果,需要通过文本验证进一步去除非文本区域.本文将文献[6]中的笔画滤波器算法用于文本验证.对于各个候选矩形区域,首先通过笔画滤波获取每个像素的响应值,获得与矩形区域大小相同的响应图像.然后对得到的响应图像提取统计特征,最终利用 SVM 分类器对候选文本区域进行验证.笔画滤波器的形式如图 6 所示,图中 l, w 和 a 分别表示笔画的长度、宽度和方向, w_1, w_2 取 1 和 $w/2$

中最大者。

对于每个候选文本区域,首先通过水平、垂直和对角等 4 个方向上的滤波器生成 4 幅响应图像.像素 (x,y) 响应值由下面公式计算:

$$R_{i,w,a}(x,y) = \frac{|u_1 - u_2| + |u_1 - u_3| - |u_2 - u_3|}{\max(\sigma_i / 2)} \quad (4)$$

其中, $a = \left\{0, \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{4}\right\}$, u_i 和 σ_i 分别表示区域 i 灰度值的均值和标准差, $i = \{1, 2, 3\}$.

接着从响应图像中提取 24 维统计特征.特征包含均值 m_a , 方差 v_a 和加权能量值 e_a :

$$\begin{aligned} m_a &= \frac{1}{W \times H} \sum_{(x,y) \in B} R_a(x,y) \\ v_a &= \frac{1}{W \times H} \sum_{(x,y) \in B} (R_a(x,y) - m_a)^2 \\ e_a &= \frac{1}{W \times H} \sum_{(x,y) \in B} \frac{1}{1 + (x - x_c)^2 + (y - y_c)^2} R_a^2(x,y) \end{aligned} \quad (5)$$

其中 $a = \left\{0, \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{4}\right\}$, B 是候选文本区域, (x_c, y_c) 表示其中中心坐标.因此可以从四幅响应图像提取 12 维特征.考虑笔画的空间分布信息,接着定义了垂直累加特征 VAP(vertical accumulation profile) 和水平累加特征 HAP(horizontal accumulation profile):

$$\begin{aligned} VAP[i] &= \sum_{(x,y) \in S_i} \frac{R_{\frac{\pi}{2}}(x,y)}{2} \\ HAP[i] &= \sum_{(x,y) \in S_i} R_0(x,y) \end{aligned} \quad (6)$$

垂直累加特征将滤波方向为 $\pi/2$ 的响应图像沿垂直方向等分为 4 块,并累加各块内的响应值, S_i 表示第 i 块;水平累加特征对滤波方向为 0 的响应图像沿水平方向等分为 8 块,执行相似的操作.这样在两幅响应图像提取 12 维特征,结合

上面的 12 维特征,一共是 24 维特征向量.接着我们利用 SVM 分类器验证候选文本的正确性.这里我们采用 1 000 个文本区域和 1 500 个非文本区域训练 SVM 分类器,候选文本区域分辨率统一缩放到 24×12 .

6 图书封面检索

由于图书封面中汉字存在不同的字体、尺寸和样式,所以直接通过 OCR 进行文字识别效果不佳.本文将文本定位得到的汉字区域作为图书封面的显著区域,并对每个区域提取 Hu 不变矩特征,用于图像的匹配.具体对于一幅待检索图像,首先对其做归一化操作,通过文本定位方法确定其文本区域,接着对每个区域提取 Hu 不变矩特征,并对每个区域检索数据库中各个图像对应的文本区域,找出距离最近的 20 个文本区域对相应的数据库图像进行投票,最终返回投票值最高的图像作为匹配结果.特征间的距离度量采用 L1 距离,排名第一位的文本区域对应数据库图像投票值为 1,后面的投票值依次递减 0.05.

7 实验

为了验证算法的有效性,我们通过互联网搜集到 16 000 幅中文图书封面图像,图书分辨率在 $300 \times 300 \sim 800 \times 800$ 之间.实验中首先随机选择 200 幅图像用于文本检测,并和文献[6]采用的笔画滤波器算法作对比.在文本定位评价指标方面,我们采用使用频率较高的遗漏率和精度两个标准来评价算法性能,两者分别用

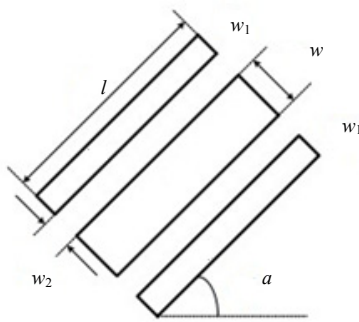


Fig.6 Stroke filter
图 6 笔画滤波器

来衡量算法的查全率和查准率,其定义如下:

$$\left. \begin{aligned} \text{遗漏率} &= \text{未检测到的文本区域数} / \text{实际包含的文本区域数} \\ \text{精度} &= \text{检测正确的文本区域数} / \text{算法检测到的文本区域数} \end{aligned} \right\}$$

表 1 给出了算法文本检测的结果.可以看出,虽然本文算法在遗漏率方面稍逊于文献[6],但检测精度明显高于后者.这是由于为了减少非文本区域被误检为文本区域的概率,我们对种子区域宽高比等过滤规则限定更为严格所致.图 7 展示了两种算法部分图书封面的文本定位对比结果.可以看出,虽然存在部分误检的情况,但是本文算法成功定位图书封面的众多关键文字区域.

Table 1 Results of text location

表 1 文本定位结果

	Contained text	Undetected text	Detected text	Detected region	Omission rate (%)	Accuracy (%)
Our method	1 721	99	1 622	2 274	5.8	71.3
Ref.[6]	1 721	91	1 630	2 579	5.3	63.2



Fig.7 Results of text location

图 7 文本定位结果

在图书检索方面,我们从数据库中选择 75 幅图书拍摄其封面,用于验证图书的匹配效果.为了展示文本定位提取显著区域对于图像检索的重要性,这里直接提取图像的Hu 不变矩特征与本文算法做对比.实验规定结果中对应于拍摄图像的数据库图像排名第一位时检索正确.经实验验证,本文算法有 49 幅图像检索正确,而采用 Hu 不变矩成功检索出 32 幅图像.两种算法的对比如图 8 所示.

通过实验的相关验证,认为本文算法具有以下优点:

(1) 图书兴趣区域集中于文字区域

相对于其他基于内容的图像检索方法,我们采用文本定位对图书封面提取兴趣区域,这样能够保证在检测到相当数量文字区域的同时,去除一些较为复杂的纹理区域,而这是其他基于局部特征的方法所不具备的.

(2) 文字检测受拍摄背景影响不大

文字一般不会位于图书封面边缘,所以采用阈值操作可以容易的去除背景和图书边界区域,从而减少复杂背景对图书检索带来的影响.

然而我们也认识到方法仍存在一些不足.首先本文通过文本检测方法定位图书封面的兴趣区域,但也因此丢失了图像中一些其他对检索有用的信息,有时仅仅采用文字信息进行检索是不够的,例如图书名称存在重名的问题;其次,Hu 不变矩虽然具有平移、缩放、旋转不变的特点,但由于低阶几何矩只能描述图像的部分信息,对汉字这类较复杂的纹理区域描述能力有限.

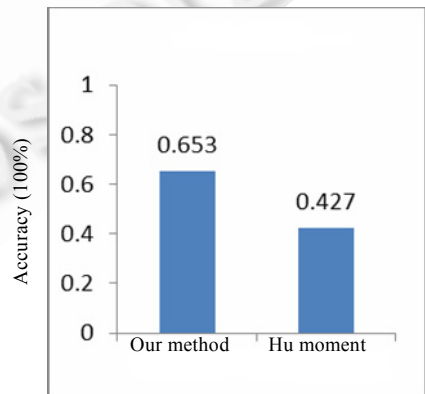


Fig.8 Comparison of our method with others

图 8 本文方法和其他方法对比

8 结 论

本文提出了一种基于文本定位的中文图书封面检索系统,通过对图书封面的文本定位,提取图像中显著的文字区域,并通过 Hu 矩特征进行图像匹配,取得了不错的效果.由于本文的图书封面文本定位是针对文本行(列)对齐的情况,如何定位图像中的倾斜文本是下一步要研究的内容.

References:

- [1] Hasan YMY, Karam LJ. Morphological text extraction from images. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2000,9(11):1978–1983.
- [2] Dinh VC, Chun SS, Cha S, Ryu H, Sull S. An efficient method for text detection in video based on stroke width similarity. In: *Proc. of the ACCV Part I, LNCS 4843*, 2007. 200–209.
- [3] Mao WG, Chung FL, Lam KKM, Siu WC. Hybrid Chinese/English text detection in images and video frames. In: *Proc. of the ICPR, Vol.3*. 2002. 1015–1018.
- [4] Epshtein B, Ofek E, Wexler Y. Detecting text in natural scenes with stroke width transform. In: *Proc. of the CVPR*. 2010. 2963–2970.
- [5] Chen C, Tsai SS, Schroth G, Chen DM, Grzeszczuk R, Girod B. Robust text detection in natural images with edge-enhanced maximally stable extremal regions. In: *Proc. of the Conf. on Image Processing*. 2011.
- [6] Li XJ, Wang WQ, Jiang SQ, Huang QM, Gao W. Fast and effective text detection. In: *Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Image Processing*. 2008.969–972.
- [7] Chen XR, Yuille AL. Detecting and reading text in natural scenes. In: *Proc. of the Int'l Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, Vol.2*. 2004. 366–373.
- [8] Liu J, Zhang SW, Li HP, Liang W. A Chinese character localization method based on intergrating structure and CC-clustering for advertising images, In: *Proc. of the Conf. on Document Analysis and Recognition (ICDAR 11)*. 2011.
- [9] Lowe DG. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *Int'l Journal of Computer Vision*, 2004,60(2):91–110.
- [10] Blei DM, Ng AY, Jordan MI. Latent Dirichlet allocation. *Journal of Machine Learning Research*, 2003,3:993–1022.
- [11] Lu Y, Tan CL, Shi PF, Zhang KH. Segmentation of handwritten Chinese characters from destination addresses of mail pieces. *Int'l Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 2002,16(1):85–96.



刘玉杰(1971—),男,博士,副教授,主要研究领域为图形图像处理.



李华(1957—),男,博士,研究员,主要研究领域为计算机图形学.



李峰(1987—),男,硕士生,主要研究领域为图形图像处理.



林茂(1972—),男,高级工程师,主要研究领域为高性能计算.



李宗民(1965—),男,博士,教授,主要研究领域为计算机图形学,图像处理,科学计算可视化.