

文章编号:1673-0062(2016)02-0072-07

基于 YIQ 颜色空间的火焰轮廓提取算法

刘 立,曾 花*

(南华大学 计算机科学与技术学院,湖南 衡阳 421001)

摘 要:为了能准确地分割图片中的火焰区域和背景区域并精准的提取火焰轮廓,本文提出基于 YIQ 颜色空间的火焰轮廓提取方法.该方法利用火焰的颜色和亮度特征,通过大量实验观察,在 YIQ 颜色空间,先获取 Y 、 I 分量的像素均值,再运用迭代法和灰度直方图法分别得到 Y 分量及 I 分量的最佳阈值,然后结合二者的均值对阈值进行取向处理,最后运用 canny 算子对得到的二值图进行轮廓提取.实验结果表明本文算法火焰分割精确度高,提取轮廓清晰,时间复杂度也得到很大改善.

关键词:YIQ 颜色空间;火焰分割;火焰轮廓提取;简化的 canny 算子
中图分类号:TP751 **文献标识码:**B

A Method of Flame Contour Extraction Based on YIQ Color Space

LIU Li, ZENG Hua*

(School of Computer Science and Technology, University of South China,
Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: In order to accurately divide the flame zone from the background and extract the flame contour of a flame picture. This article proposes a algorithm of flame contour extraction based on YIQ color space. This algorithm uses the color and brightness features of flame, by a large number of experimental observation, in the YIQ color space, to obtain firstly the mean value of Y and I component, then, the best threshold of Y and I by Histogram method and Iterative Method, and aligning treatment Y and I threshold combined with their mean value. At last, it uses the canny algorithm to extract contour of Binary image. Experimental results show that this method has high precision, more clear outline and less processing time in the field of flame contour extraction than other algorithm.

key words: YIQ color space; flame division; flame contour extraction; simplified canny algorithm

收稿日期:2015-12-15

作者简介:刘 立(1971-),男,湖南衡阳人,南华大学计算机科学与技术学院副教授.主要研究方向:数字图像处理、物联网.* 通讯作者.

0 引言

由于火焰是一种非结构的目标,内部的灰度值,边缘形态等都时刻发生着变化,同时,近似亮度及近似颜色等也会影响计算机视觉对火焰区域的识别,所以对火焰轮廓的提取并非易事,关于火焰轮廓提取的算法研究,前人已经做了大量探索^[1-2].田会,范军旗等人提出了基于数字图像处理的火焰轮廓提取方法研究^[3],该方法依据火焰图像三原色的灰度分布关系,对图像进行直方图均衡化、二值化、区域填充、图像滤波等处理来提取火焰轮廓,可剔除烟雾、火星的干扰;随后,王文浩,严云洋^[4-5]等人提出了基于连通区域面积阈值的火焰轮廓提取方法,该方法运用迭代法获取面积判断阈值,再根据面积阈值结合火焰的色彩分布特征进行火焰分割,并取得了比较好的效果;申小龙,周海芳,窦勇^[6]的基于彩色特征的火焰分割方法运用火焰区域的R分量特征和视频帧差分方法相结合,减少了计算量,使得分割对白色区域的抗干扰能力加强;范朝东,张英杰等^[7-8]的基于改进斜分Otsu法的火焰分割算法核心在于采用简化的距离测度函数选取阈值,能较为准确的分割火焰及其背景.除此之外,基于颜色空间的火焰轮廓提取研究也不在少数.陈威,刘菁华^[9]在HIS颜色空间下分别提取三分量的直方图,在色相和亮度分量中采用最大类间方差法选择阈值分割提取火焰区域,但是并不适用所有类型火焰分割,焰心发白火焰会被挖空;高伟伟,曹江涛^[10]将RGB颜色空间与HIS颜色空间模式相结合定义新的火焰判断约束条件,并根据RGB颜色分量值之间的比值来消除光照影响,但分割的火焰区域并不细致,并且运行时间复杂度高;之后耿庆田,于繁华等人^[11]将传统的RGB颜色空间转换成新的rgb标准颜色空间,得出更进一步的约束条件,分割的火焰区域细节更丰富,但会受近似亮度光源和近似颜色的影响从而误判.为了降低影响,他们同时提出使用YCbCr颜色模型,利用火焰本身的亮度特征以及颜色特征,降低了近似光及近似颜色影响的误判率,大大提高了分割火焰区域的准确率.以上的火焰轮廓提取算法都或多或少的的问题,为了实现火焰轮廓提取目标区域完整,边缘清晰,细节丰富且运行时间短.本文提出基于YIQ颜色空间的火焰轮廓提取算法,综合上述各类火焰分割算法的特点,本算法旨在利用YIQ颜色空间亮度和颜色分离的特点,运用灰度直方图法和

迭代法获取Y、I分量阈值,同时分火焰类型进行阈值的取向判断,使算法适用于所有类型火焰轮廓的提取,且同时剔除近似颜色和近似亮度的影响.并且在准确分割火焰区域的基础上,运用canny算子的提取清晰的火焰轮廓.实验证明,本算法具有更好的分割效果和更低的时间复杂度.

1 算法流程介绍

本文提出的基于YIQ颜色空间的轮廓提取算法,具体可分为3部分,见图1流程图.

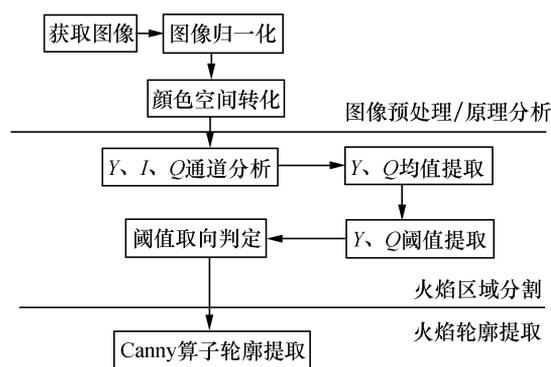


图1 基于YIQ颜色空间的火焰轮廓提取算法流程图

Fig.1 Algorithm flowchart of Flame Contour extraction based on YIQ color space

2 基于YIQ颜色空间的火焰轮廓提取算法

2.1 YIQ颜色空间应用于火焰分割的原理分析

颜色是彩色图像的重要属性,为更加接近人的视觉习惯,图像学上通常需要R、G、B进行重新编码,得到很多不同颜色空间表示方式.其中,YIQ颜色空间充分的利用了人眼的色分能力,很好匹配了人眼对不同颜色的敏感程度.在YIQ颜色空间中Y表示亮度信息,I、Q携带颜色信息,I分量代表从橙色到青色的颜色变化,而Q分量则代表从紫色到黄绿色的颜色变化.YIQ颜色空间与RGB颜色空间的转换如公式(1)所示.

$$\begin{aligned}
 Y &= 0.299R + 0.587G + 0.114B \\
 I &= 0.596R - 0.275G - 0.321B \\
 Q &= 0.212R - 0.523G + 0.311B
 \end{aligned} \quad (1)$$

由公式(1)可知,将彩色图像从RGB颜色空间到YIQ色彩空间的转换是一种线性关系,可以把彩色图像中的亮度信息与色度信息分开,分别独立进行处理,这个特征可以很好的应用来分割同时

有着亮度和色度特征的火焰区域和背景区域,所以本文算法考虑采用了基于YIQ颜色空间来分割火焰像素。

2.2 火焰区域分割

2.2.1 YIQ颜色空间各通道火焰像素分布规律分析

为了观察分析火焰区域像素在YIQ颜色空间的分布规律,本文先对不同背景条件下拍摄的多张火焰图片的Y、I、Q三个分量图进行提取并观察其特征。在此举一实例,如图2所示分别为原图及Y、I、Q三分量下的火焰图。

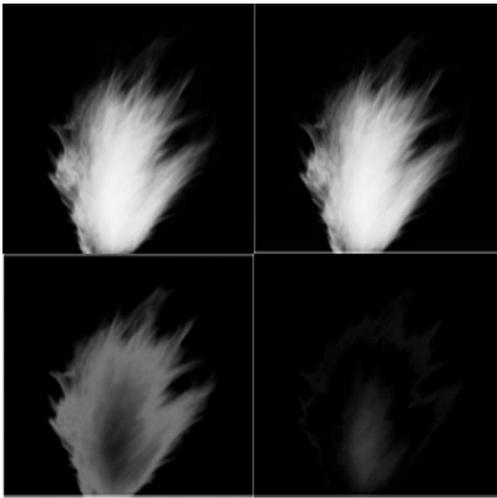


图2 火焰图像Y、I、Q三分量分离图

Fig.2 YIQ color space separation of fire image

图2从左至右从上至下分别是火焰原图及Y、I、Q三通道分离图。从中可以直观的看出:火焰图像Y、I通道均显示清晰的火焰区域图像,Q通道火焰区域却并不明显。对大量火焰图像的Y、I、Q通道分离实验观察结果表明:任何环境下拍摄的火焰图像火焰区域像素的亮度通常为整个图像中最大的区域,同时颜色分量在I分量上表现得最明显,聚集得最好,而并不是所有的火焰图像的火焰像素区域的Q分量都明显,比如图2的Q通道图所示,火焰像素的Q分量几乎看不到火焰部分。所以,认为Y、I分量在火焰分割方面能提供有用信息,火焰像素一定存在某个Y和I阈值能将其与背景区分割开来。这与之前根据火焰的亮度和颜色特征来分割火焰的预想也吻合。

2.2.2 Y、I均值提取

通过对大量火焰图片的YIQ颜色空间的三分量图像提取与观察得出:火焰区域Y通道多呈现白色或灰色,背景呈现灰黑色,图像火焰区域的Y分

量 $Y(i,j)$ 比整个图像区域的Y分量的均值 Y_{mean} 都要大,而火焰区域的I分量和 $I(i,j)$ 整个图像的I分量的均值 I_{mean} 的关系分两种情况:当火焰燃烧剧烈,焰心偏白时(即像素无相接近0),前者小于后者,当火焰燃烧不剧烈,整个烟火颜色均匀时(即颜色为大致均匀的橙黄色,前者大于后者。既有

$$\begin{aligned} Y(i,j) &> Y_{mean} \\ I(i,j) &< I_{mean}, I(i,j) \rightarrow (0,0,0) \\ I(i,j) &> I_{mean} \end{aligned} \quad (2)$$

$Y(i,j)$ 、 $I(i,j)$ 、 Y_{mean} 、 I_{mean} 分别为火焰图片的火焰Y、I分量像素值和整个图片的Y、I分量像素均值, Y_{mean} 、 I_{mean} 可以通过公式(3)求得,其中 k 为像素点总数, $Y(i_n, j_n)$ 和 $I(i_n, j_n)$ 分别为单个像素点像素。

$$\begin{aligned} Y_{mean} &= \frac{1}{k} \sum_{n=1}^k Y(i_n, j_n) \\ I_{mean} &= \frac{1}{k} \sum_{n=1}^k I(i_n, j_n) \end{aligned} \quad (3)$$

2.2.3 Y、I分量阈值获取

为了进一步获取Y、I的阈值,细化火焰和背景之间的分割阈值,通过大量火焰像素实验观察发现火焰图像的Y分量由于易受外部光源、环境亮度及自身散射亮度的影响,灰度分布直方图基本无章可循,而I分量即颜色分量由于火焰图像的颜色聚集且与背景差异的原因,它的灰度直方图基本都符合双峰值或多峰值的特性。所以本文分别采用迭代阈值分割法和灰度直方图阈值法来分别获取火焰图的Y、I分量的阈值。

迭代阈值分割法的原理是在初始条件中假设一个阈值,通过对图像的迭代运算来不断地更新这一假设阈值,得到最佳阈值。迭代法的阈值分割算法流程:

1) 本算法用 Y_{mean} 作为初始阈值,即使 $T_0 = Y_{mean}$,省去原始迭代算法中二次初始阈值的计算过程,降低时间复杂度。

2) 根据阈值将图像分割成目标和背景两部分,求出两部分平均灰度:

$$\begin{aligned} R_0 &= \frac{\sum_{R(i,j) < T_k} R(i,j) \times N(i,j)}{\sum_{R(i,j) < T_k} N(i,j)} \\ R_C &= \frac{\sum_{R(i,j) > T_k} R(i,j) \times N(i,j)}{\sum_{R(i,j) > T_k} N(i,j)} \end{aligned} \quad (4)$$

R_0 、 R_C 分别为目标和背景的平均灰度值, $R(i,j)$ 为图像 (i,j) 点对应的灰度值, $N(i,j)$ 为其

对应的个数, T_k 为阈值.

3) 重选新的阈值 $T_{(k+1)}$, 新阈值定义为:
 $T_{(k+1)} = (R_0 + R_C) / 2$.

4) 程序循环第(2)到(4)步, 直到 $T_k = T_{(k+1)}$, 至此取得最佳阈值对图像进行分割.

灰度直方图阈值法的原理是对于灰度直方图符合双峰或多峰特征的图像选取双峰间的谷底处 T 或多峰的多个谷底 T_1, T_2 作为阈值区间对图像进行主体与背景部分进行分割, 如公式(5)和图 3 所示.

$$F(i, j) = \begin{cases} 255, & f(i, j) \geq T \\ 0, & f(i, j) < T \end{cases}$$

$$F(i, j) = \begin{cases} 0, & f(i, j) \geq T \\ 255, & f(i, j) < T \end{cases} \quad (5)$$

$$F(i, j) = \begin{cases} 0, & T_1 \leq f(i, j) \leq T_2 \\ 255, & \text{其他} \end{cases}$$

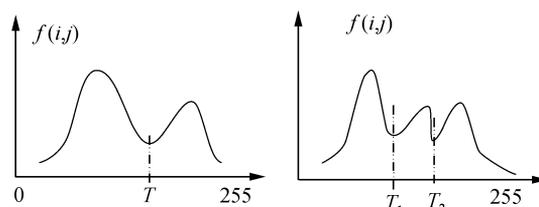


图 3 双峰和多峰灰度直方图轮廓图

Fig.3 Bimodal and multimodal histogram contour

通过大量火焰图像的 Y, I 分量分别进行 Y 通道图像像素迭代计算和 I 通道灰度直方图的获取和统计实验得出火焰图的火焰像素区域及背景的分割阈值分别为 Y 分量的 T_k 及 I 分量阈值 $[20, 25]$, 且聚集于 25 附近, 所以本算法取用 25 作为 I 分量阈值, 实验证明取得了很好的分割效果. 表 1 是获取阈值的部分实验数据.

表 1 Y 分量、 I 分量阈值获取部分数据

Table 1 Y component, I component threshold data acquisition section

图像						
Y 分量均值	103	64	132	103	124	113
I 分量均值	66	38	74	51	86	45
Y 分量阈值	134	104	128	126	128	131
I 分量阈值	20	24	25	23	25	25

2.2.4 Y, I 分量阈值取向

对于 Y 阈值的取向, 由于火焰图片火焰区域是整张图片中最亮的区域, 所以无疑是选择大于取向, 结合前人在 RGB 模型中研究得到的关系式及颜色空间转换公式(1)也验证了其正确性, 即火焰区域亮度像素 $Y(i, j)$ 大于 Y_{mean} , 也大于迭代法得到的最佳阈值 T_k . 但对于 I 分量阈值, 在前文中也有提到, 火焰区 I 分量像素 $I(i, j)$ 可能大于 I 阈值, 也有可能小于 I 阈值, 原因是因为某些火焰剧烈燃烧时焰心是偏白色的, 只有边缘是普通火焰颜色, 而白色部分的 I 分量是小于 25 的, 如果也采用统一的大于取向, 提取出来的火焰区域只是一个火焰边缘区带部分, 而发白的焰心部分会被挖空归为背景部分, 具体示例如图 4 所示, 针对这种情况, 本文算法对 I 分量阈值取向分情况判定, 当火焰均为均匀普通颜色时 (即 $I(i, j) > I_{mean}$) 时, I 阈值取进行阈值大于取向. 当火焰存在剧烈燃烧情况, 焰心发白时 (即 $I(i, j) < I_{mean}$), I 阈值取进行阈值小于取向. 如流程图 5 所示.



图 4 白色焰心火焰图 I 阈值大于取向实验效果

Fig.4 The experimental result of White flame core image based on I Threshold greater

对于 Y 阈值的取向, 由于火焰图片火焰区域是整张图片中最亮的区域, 所以无疑是选择大于取向, 结合前人在 RGB 模型中研究得到的关系式及颜色空间转换公式(1)也验证了其正确性, 即火焰区域亮度像素 $Y(i, j)$ 大于 Y_{mean} , 也大于迭代法得到的最佳阈值 T_k . 但对于 I 分量阈值, 在前文中也有提到, 火焰区 I 分量像素 $I(i, j)$ 可能大于 I 阈值, 也有可能小于 I 阈值, 原因是因为某些火焰剧烈燃烧时焰心是偏白色的, 只有边缘是普通火焰颜色, 而白色部分的 I 分量是小于 25 的, 如果

也采用统一的大于取向,提取出来的火焰区域只是一个火焰边缘区带部分,而发白的焰心部分会被挖空归为背景部分,具体示例如图4所示,针对这种情况,本文算法对 I 分量阈值取向分情况判

定,当火焰为均匀普通颜色时(即 $I(i,j) > I_{\text{mean}}$)时, I 阈值取进行阈值大于取向.当火焰存在剧烈燃烧情况,焰心发白时(即 $I(i,j) < I_{\text{mean}}$), I 阈值取进行阈值小于取向.如流程图5所示.

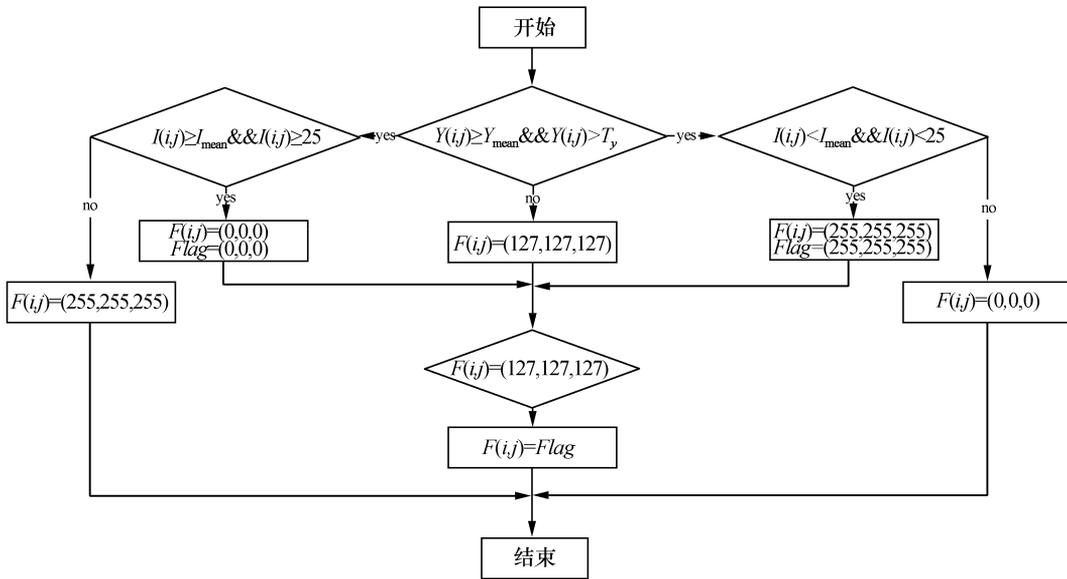


图5 阈值取向判定算法流程图

Fig.5 The Algorithm flowchart of threshold orientation

图5是一个阈值取向判断过程,当火焰图片 Y 通道像素 $Y(i,j)$ 大于 Y_{mean} 且大于阈值 T_y 时,也即代表这个区域是火焰区域,然后对火焰区域像素的 I 通道值 $I(i,j)$ 与 I_{mean} 进行比较,当 $I(i,j) > I_{\text{mean}}$,就说明该火焰图为均匀颜色的普通火焰图,阈值进行大于取向,对大于 I 阈值的火焰部分像素置1,反之置0;当 $I(i,j) < I_{\text{mean}}$,就说明改火焰图为焰心发白的剧烈燃烧火焰图,阈值进行小于取向,对小于 I 阈值的火焰部分像素置0,反之置1.最后对火焰图片 Y 通道像素 $Y(i,j)$ 小于 Y 通道平均值 Y_{mean} ,即非火焰区域部分,根据前面的置0和置1标记操作,置相对应的背景值.至此,对火焰图片的基于YIQ颜色空间的火焰区域分割完成.图6和图7是分别是本文基于YIQ颜色空间的火焰分割效果与文献[11]给出的基于rgb颜色空间和基于YCbCr颜色空间的火焰分割效果对比试验.

图6中,第一列为原图;第二列为使用rgb颜色模型对火焰像素区域的分割结果,作为对比实验;第三列为本文提出YIQ颜色空间模型对火焰像素区域分割的结果.从给出的两组数据图片的比较及红色标记框可以看出,rgb颜色空间模型在

火焰图片有相近颜色或相近亮度时不能很好的剔除掉干扰背景,会错误的把干扰信息分割到火焰区域,而本文提出的基于YIQ颜色空间的分割火焰方法不但能够准确地检测出火焰区域,而且在第一组图像中还消除了正前方人所穿着类似火焰颜色衣服的干扰(即近似色干扰),在第二组图像中基本消除了左上角和右上角背景比较明亮区块的影响(即近似亮度干扰),在第三组图像中rgb颜色模型下错误分割除了被火焰照亮成橙色区域的部分,而YIQ颜色空间下则分割准确无误.本文算法模型结合火焰亮度和颜色阈值特征,用亮度阈值来去除近似色干扰,用 I 分量阈值要去掉近似亮度干扰,实现高精度的火焰与背景分割,与使用rgb颜色空间分割算法相比,本文的分割方法能去除干扰.

如图7所示,第一列为火焰原图,第二列为基于YCbCr颜色空间火焰分割算法提取的火焰区域效果图,第三列为基于本文算法提取的火焰区域效果图,从图中可以看出YCbCr颜色空间提取算法和本文算法虽然都能准确分割出火焰区域,但根据红色框标记区域可见,本文算法分割的火焰区域明显细节更丰富,受干扰更小.



图 6 YIQ 和 rgb 颜色空间的火焰分割效果
Fig.6 Comparison chart of YIQ and rgb color space division effect

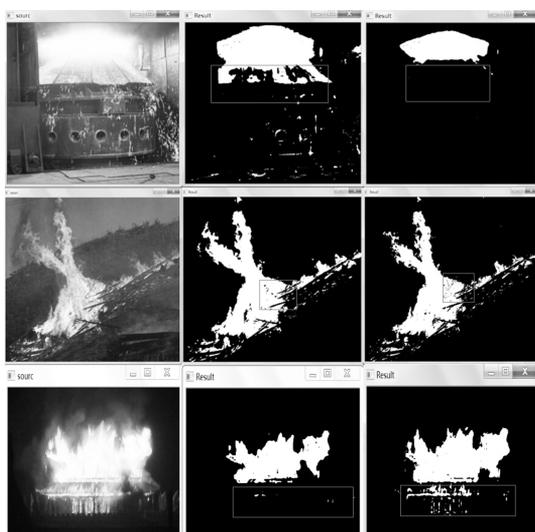


图 7 YIQ 和 YCbCr 颜色空间火焰分割效果
Fig.7 Comparison chart of YIQ and YCbCr color space division effect

2.3 canny 算子提取二值图轮廓

由于火焰的边缘抖动和面积不断变化等特性,火焰的轮廓也不是规则的,而在众多的轮廓提取算子中,Canny 算子^[12]使用 4 个 mask 检测水平、垂直以及对角线方向的边缘,所以更适于火焰这种弱边缘事物的检测,本文算法选取了 Canny 算子对前文步骤中已经提取出的火焰区域二值图进一步进行轮廓的提取,取得了很好的效果,如图 8 所示为两张火焰图轮廓提取的最终结果.而且鉴于图片本身为二值图,简化了原Canny算法中把RGB图进行

灰度二值化的操作,降低了时间复杂度.

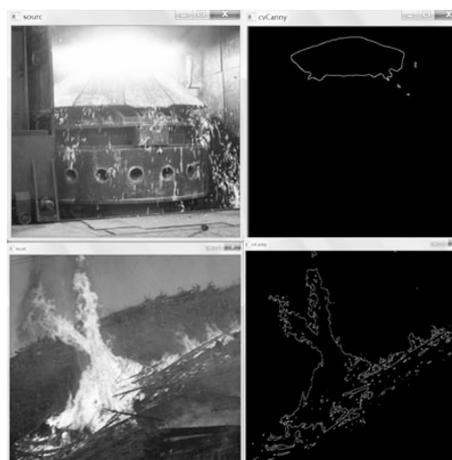


图 8 Canny 算子轮廓提取
Fig.8 Canny algorithm contour extraction

3 结果分析

为了检验本文提出的基于 YIQ 颜色空间的火焰轮廓提取算法的效果,对不同环境背景、不同时段采集到的 300 幅火焰图像进行了实验.输入尺寸为 520×515 像素的火焰图像,在计算机配置为主频 1.46 GHz, RAM 2 GB 的计算机上用 Opencv2012 运行该算法,统计测试结果,发现能准确提取轮廓 296 张,提取率为 98.6%,平均每幅图片的提取时间为 1.24 s.同时将本文算法得到分割结果与文献[11]提出的算法分割结果作比较,对比其分割平均时间及分割准确率.得到的结果如表 2 所示.

表 2 火焰分割算法对比

Table 2 The comparison of Flame division algorithm

采用算法	样本数	耗时/s	准确率/%
本文算法	300	1.24	98.6
rgb 分割模型	400	1.64	96.5
YCbCr 分割模型	200	1.32	97.3

4 总 结

本文提出了一种基于 YIQ 颜色空间的火焰轮廓提取算法.实验表明,该算法对火焰区域分割效果较好,提取到的火焰轮廓完整清晰,很好的剔出干扰颜色和干扰亮度的影响,具有高精度,高准确率,低时间复杂度的特征,同时实用意义较大.

(下转第 82 页)

5 结 论

Deep Web 查询接口文本分类是实现 Deep Web 数据库高效检索的有效方法之一,对于不同查询接口特征,根据其在 XML 文档中出现的位置不同分别赋予不同的权重因子,以实现有效分类特征的分类性能,提高查询接口分类的准确性.但在不同的查询接口中,各个标签属性值的类型不尽相同,因此,有关属性值的类型不同对属性分类性能的影响,将是我们今后进一步研究的对象.

参考文献:

- [1] Bergman Michael K. The Deep Web: surfacing hidden value [EB/OL]. <http://www.brightplanet.com/2012/06/the-deep-web-surfacing-hidden-value/>. [2014-6-18].
- [2] Dalal D, Panwar A. Deep Web query extraction algorithm for information retrieval system [J]. *Computer Science and Information Technologies*, 2014, 5(5): 6867-6870.
- [3] 石龙, 强保华, 谌超, 等. 基于查询接口文本 VSM 的 Deep Web 数据源分类 [J]. *计算机应用与软件*, 2013,

30(8): 54-58.

- [4] Wu C M, Qiang B, Zou X C. Deep Web classification based on domain feature text [J]. *Advancements in computing technology*, 2011, 3(6): 267-275.
- [5] 郭建兵, 崔志明, 陈明, 等. 一种基于范围型属性的 Deep Web 数据提取方法 [J]. *计算机应用与软件*, 2013, 30(2): 54-57.
- [6] Das N N, Kumar E. Identification of query forms for retrieving the information from Deep Web [J]. *Transactions on Machine Learning and Artificial Intelligence*, 2014, 2(6): 53-61.
- [7] Harrington P. 机器学习实战 [M]. 李锐, 李鹏, 曲亚东, 等译. 北京: 人民邮电出版社, 2013.
- [8] 姚旭, 王晓丹, 张玉玺, 等. 特征选择方法综述 [J]. *控制与决策*, 2012, 27(2): 161-165.
- [9] Han J, Kamber M. 数据挖掘概念与技术 [M]. 范明, 孟小峰, 译. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [10] 周由, 戴壮红. 语义分析与 TF-IDF 方法相结合的新闻推荐技术 [J]. *计算机科学*, 2013, 40(11A): 267-300.

(上接第 77 页)

参考文献:

- [1] Cuevas E, Senci3n F, Zaldivar D, et al. A multi-threshold segmentation approach based on artificial bee colony optimization [J]. *Applied Intelligence*, 2012, 37(3): 321-336.
- [2] Li W T, Wang D H, Chai T Y. Burning state recognition of rotary kiln using ELMs with heterogeneous features [J]. *Neurocomputing*, 2013, 102(2): 144-153.
- [3] 田会, 范军旗, 杜文斌. 基于数字图象处理的火焰轮廓提取方法研究 [J]. *工具技术*, 2010, 44(10): 90-93.
- [4] 王文豪, 周泓, 严云洋. 一种基于连通区域的轮廓提取方法 [J]. *计算机工程与科学*, 2011, 33(6): 67-70.
- [5] 王文豪, 严云洋, 胡荣林. 火焰轮廓提取与检测 [J]. *河南科技大学学报(自然科学版)*, 2011, 32(1): 37-40.
- [6] 申小龙, 周海芳, 窦勇. 基于彩色特征的森林火灾火焰分割方法 [J]. *计算机应用*, 2013, 33(12): 197-199.
- [7] Fan C D, Ouyang H L, Zhang Y J, et al. Optimization algorithm based on kinetic-molecular theory [J]. *Journal of*

Central South University, 2013, 20(12): 3504-3512.

- [8] 范朝冬, 张英杰, 欧阳红林, 等. 基于改进斜分 Otsu 法的回转窑火焰图像分割 [J]. *自动化学报*, 2014, 40(11): 2480-2489.
- [9] 陈威, 刘菁华. 颜色直方图特征分割方法在火灾探测中的应用 [J]. *计算机技术与发展*, 2011, 21(7): 199-201.
- [10] 高伟伟, 曹江涛. 一种基于 RGB 与 HIS 颜色空间模型的火焰尺寸检测方法研究 [J]. *辽宁石油化工大学学报*, 2014(4): 63-66.
- [11] 耿庆田, 于繁华, 赵宏伟, 等. 基于颜色特征的火焰检测新算法 [J]. *吉林大学学报(工学版)*, 2014, 44(6): 1787-1792.
- [12] 李华强, 喻擎苍, 方玫. Canny 算子中 Otsu 阈值分割法的运用 [J]. *计算机工程与设计*, 2008, 29(9): 2297-2299.
- [13] 李弼程. 智能图像处理技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.