

# YCbCr 颜色模式下基于 L-M 算法优化的火焰识别方法

韩殿元

(潍坊学院计算机与通信工程学院 潍坊 261061)

**摘 要** 传统火灾探测技术存在许多缺陷。提出了一种基于图像的火焰识别方法。首先将图像由 RGB 模式转换为 YCbCr 模式,以  $C_b, C_r$  为轴建立坐标系并绘出火焰样本的  $C_b, C_r$  值。用一个椭圆将绘出的坐标点包括起来,并创建椭圆方程和二维正态分布函数,使正态分布函数在椭圆外部的值为零,并用 L-M 算法对正态分布函数中的参数进行优化。对火焰的识别转换为判断正态分布函数在像素对应的  $C_b, C_r$  处的值是否大于零。该方法具有很好的实时性和识别效果。

**关键词** 火焰识别, YCbCr 颜色模式, 正态分布, L-M 算法

**中图分类号** TP391 **文献标识码** A

## Fire Recognition Algorithm Based on L-M in YCbCr Color Space

HAN Dian-yuan

(Department of Computer and Communication Engineering, Weifang University, Weifang 261061, China)

**Abstract** As conventional fire detection technology has many limitations, this paper proposed a fire recognition method based on image. Firstly, the image color space was transformed from RGB to YCbCr and a coordinate system was set up then the  $C_b$  and  $C_r$  values of the fire sample pixels were depicted. Secondly, an ellipse was drawn up to ring up the most of the points so as to create an elliptic equation and a two-dimensional normal distribution function which value out of the ellipse was zero. Lastly L-M algorithm was used to optimize the parameters of normal distribution function. So the recognition of the fire was converted to judge if the normal distribution function value of a given couple of  $C_b$  and  $C_r$  is greater than zero. The method of this paper has good real-time and recognition performance.

**Keywords** Fire recognition, YCbCr color space, Normal distribution, L-M algorithm

传统火灾探测技术较为成熟,但存在一些难以解决的缺陷。例如其中的探测器必须安装在起火点附近,否则将无法有效地探测到火灾的发生,故这种火灾探测技术一般只适用于室内等小范围的火灾探测。图像中包含了丰富直观的信息,并且摄像头可拍摄的范围较大,基于视频图像的火灾探测技术已越来越多地应用到火灾探测中。

相对传统的火灾探测技术,基于视频图像火灾探测技术可对控制范围进行 24h 实时监测,能在火灾发生的初期迅速作出反应,并进行实时分析和处理,极大缩短火灾预警时间,有利于实现火灾的早期预报和控制。同时,清晰的图像会增加判别的可靠性,从而能减小误判率。

由于受复杂背景和其他干扰因素的影响,仅靠单幅图像往往不能准确判断火灾的发生,误判率较大。火焰目标不同于一般图像中的目标检测,其形状、面积及灰度值等会随着时间的不停变化。当前基于视频图像的火灾检测往往是对连续多帧图像中的火灾目标进行跟踪,根据火焰的动态累积数据进行综合判断,准确率大大提高。及时准确地提取图像中的火焰目标是基于视频图像的火灾检测的前提和基础。

图像中的火焰目标提取方法较多,如崔宝侠等提出的一种基于  $Y, C_r, C_b$  空间的森林火焰彩色分割方法<sup>[1]</sup>。本文对

其算法进行了一些改进,根据像素的  $C_r, C_b$  分量在空间中大致呈现正态分布特征,构造了一个合适的正态分布函数,并用 L-M 算法对正态分布函数中的参数进行了优化。这样只需将像素的  $C_r, C_b$  分量代入正态分布函数,如果计算出的函数值大于规定的阈值,就可判断这一像素为火焰。该方法从 RGB 到 YCbCr 空间转换,到计算函数值并作出判断,只需对图像进行一次扫描即可完成,具有很好的实时性。实验结果表明该方法对火焰目标的分割准确率较高。

## 1 RGB 到 YCrCb 颜色模式的转换

目前在计算机和监视图像中广泛采用的是 RGB 色彩模式,但它不是均匀的颜色空间。YCrCb 是在 CCIR 601 数字电视标准中采用的一种颜色模式,其中  $Y$  是亮度信号,  $C_r, C_b$  分别是红色分量色差和蓝色分量色差,它在空间上分布比较均匀。

RGB 空间到 YCrCb 空间的转换公式为

$$\begin{aligned} Y &= 0.299R + 0.578G + 0.114B \\ C_r &= 0.500R - 0.4187G - 0.0813B + 128 \\ C_b &= -0.1687R - 0.3313G + 0.500B + 128 \end{aligned} \quad (1)$$

$Y, C_r$  和  $C_b$  各分量的取值范围都在 0 到 255 间。

## 2 正态分布函数的构造和优化

### 2.1 采集火焰的相关参数

实验中以  $Cb$  为横轴,以  $Cr$  为纵轴建立坐标系,从 145 幅包含火焰的图像中选取火焰区域,将其颜色模式由 RGB 转换到 YCbCr,然后将这些火焰像素的  $Cb, Cr$  值在坐标系中描绘出来,并统计其  $Cb, Cr$  的均值,如图 1 所示。

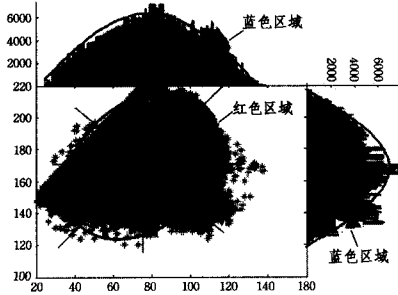


图 1 火焰在  $Cb, Cr$  空间分布图

图中红色区域为描绘的像素点,可见火焰的  $Cb$  值集中在 30 到 120 区间,而  $Cr$  值集中在 120 到 220 区间,并且  $Cb, Cr$  在坐标中的基本集中在一个如图所示的椭圆区域内。从统计的  $Cb, Cr$  的数量看,如图中蓝色部分所示,其分布接近正态分布。

实验时统计出  $Cb$  的均值  $\bar{Cb}$  为 70,  $Cr$  的均值  $\bar{Cr}$  为 173,以  $(\bar{Cb}, \bar{Cr})$  为圆心绘制一个椭圆,短轴半径  $a$  为 40,长轴半径  $b$  为 50,  $a$  轴与水平方向的夹角  $\beta$  为  $45^\circ$ 。

### 2.2 构造椭圆和正态分布函数方程

在坐标原点处以  $a, b$  为轴半径创建椭圆,如图 2 所示,其参数方程为式(2),式中  $\theta \in [0, 2\pi]$ 。

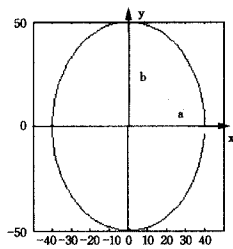


图 2 根据火焰创建的椭圆

$$\begin{cases} x = a \cos(\theta) \\ y = b \sin(\theta) \end{cases} \quad (2)$$

可认为图像中像素的  $Cb, Cr$  分量取值是相互独立的,故在原点处构造一个相互独立的二维正态分布函数,其方程为

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x^2}{\sigma_1^2} + \frac{y^2}{\sigma_2^2}\right)\right] \quad (3)$$

二维正态分布在由式(2)定义的椭圆上,方程为

$$F(\sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{a^2 \cos^2 \theta}{\sigma_1^2} + \frac{b^2 \sin^2 \theta}{\sigma_2^2}\right)\right] \quad (4)$$

该二维正态分布函数中  $\sigma = [\sigma_1 \quad \sigma_2]$  待定,其形状类似一个山峰,  $\sigma$  的值越小,山峰就越尖。适当调整  $\sigma_1$  和  $\sigma_2$  的值,就可让正态分布函数值在由式(2)决定的椭圆外部为 0,而在椭圆内部大于 0,其示意图如图 3 所示,其中, (a), (b) 分别是中心在坐标原点的二维正态分布的四分之一剖面的正侧图和背侧图。

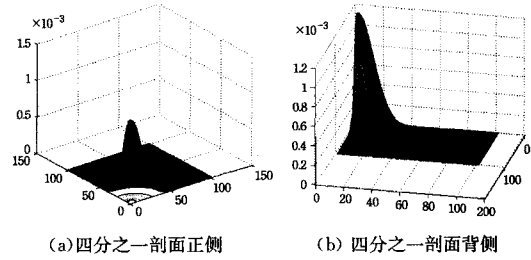


图 3 创建的正态分布示意图

### 2.3 基于 L-M 优化正态分布参数

在椭圆上取  $n$  个观测点,即令  $\theta_i = i * 2\pi/n, i = 0, \dots, n-1$ 。设  $\epsilon$  为接近于 0 的极小值,按式(5)定义一误差函数  $E(\sigma)$

$$\begin{aligned} E(\sigma) &= \sum_{i=1}^n r_i(\sigma)^2 = \sum_{i=1}^n [F_i(\sigma) - \epsilon]^2 \\ &= \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{a^2 \cos^2 \theta_i}{\sigma_1^2} + \frac{b^2 \sin^2 \theta_i}{\sigma_2^2}\right)\right] - \epsilon \right\}^2 \end{aligned} \quad (5)$$

当  $E(\sigma)$  取最小值时,正态分布函数在椭圆上的函数值接近于 0。这是一个非线性最小二乘问题。L-M (Levenberg-Marquardt) [4-6] 迭代算法收敛快、鲁棒性高,可以很好地解决这个问题,本文用 L-M 算法迭代计算最优的  $\sigma$  值。

令  $\sigma$  处  $E$  的梯度向量的一阶导数向量为

$$g = g(\sigma) = \frac{\partial E(\sigma)}{\partial \sigma} = 2 \sum_{i=1}^n r_i(\sigma) \frac{\partial r_i(\sigma)}{\partial \sigma} = 2J^T r \quad (6)$$

式中,  $J = [J_1 \quad J_2]$ , 是  $r$  的雅可比矩阵,其中

$$J_1 = -\frac{1}{2\pi\sigma_1^2\sigma_2} \begin{bmatrix} \left(1 - \frac{a^2 \cos^2 \theta_1}{\sigma_1^2}\right) \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{a^2 \cos^2 \theta_1}{\sigma_1^2} + \frac{b^2 \sin^2 \theta_1}{\sigma_2^2}\right)\right] \\ \dots \\ \left(1 - \frac{a^2 \cos^2 \theta_n}{\sigma_1^2}\right) \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{a^2 \cos^2 \theta_n}{\sigma_1^2} + \frac{b^2 \sin^2 \theta_n}{\sigma_2^2}\right)\right] \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$J_2 = -\frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2^2} \begin{bmatrix} \left(1 - \frac{b^2 \sin^2 \theta_1}{\sigma_2^2}\right) \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{a^2 \cos^2 \theta_1}{\sigma_1^2} + \frac{b^2 \sin^2 \theta_1}{\sigma_2^2}\right)\right] \\ \dots \\ \left(1 - \frac{b^2 \sin^2 \theta_n}{\sigma_2^2}\right) \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{a^2 \cos^2 \theta_n}{\sigma_1^2} + \frac{b^2 \sin^2 \theta_n}{\sigma_2^2}\right)\right] \end{bmatrix} \quad (8)$$

L-M 算法的迭代公式为

$$\sigma_{\text{next}} = \sigma_{\text{now}} - (J^T J + \alpha I)^{-1} g_a \quad (9)$$

式中,  $\alpha$  为某个非负数,称为阻尼因子,  $I$  为单位矩阵,  $J^T$  为  $J$  的转置。实验中  $\sigma = 0.01, g_a = 0.5g$ 。

L-M 优化算法步骤如下:

步骤 1 初始化。给  $\sigma$  赋初值  $\sigma_{\text{now}} = [\sigma_1 \quad \sigma_2] = [12 \quad 12]$ , 极小值常数  $\epsilon = 10^{-10}$ , 按式(4)计算  $F(\sigma_{\text{now}})$ , 按式(5)计算  $E(\sigma_{\text{now}})$ 。

步骤 2 按式(7)、式(8)计算 Jacobi 矩阵  $J$ 。

步骤 3 按式(6)计算一阶导数向量  $g$ , 按式(9)计算  $\sigma_{\text{next}}$ 。

步骤 4 按式(4)计算  $F(\sigma_{\text{next}})$ , 按式(5)计算  $E(\sigma_{\text{next}})$ 。

步骤 5 根据误差, 决定如何更新参数和阻尼系数

(1) 如果  $E(\sigma_{\text{next}}) < E(\sigma_{\text{now}})$ , 则减小阻尼因子, 让  $\alpha = \alpha/10$ ,  $\sigma_{\text{new}} = \sigma_{\text{next}}$ ,  $E(\sigma_{\text{new}}) = E(\sigma_{\text{next}})$ , 若达到规定的迭代次数, 则停止迭代, 输出结果  $\sigma$ ; 否则转到步骤 2。

(2) 如果  $E(\sigma_{\text{next}}) \geq E(\sigma_{\text{now}})$ , 增大阻尼因子, 让  $\alpha = \alpha * 10$ , 若达到规定的迭代次数, 则停止迭代, 输出结果  $\sigma$ ; 否则转到

步骤 3。

### 3 火焰区域分割

因前面的椭圆和正态分布函数是定义在坐标原点处的，所以在判断 $(Cb, Cr)$ 处的正态分布函数值时，首先要进行坐标的平移和旋转变换。即将图 1 中火焰区域对应的椭圆平移到坐标原点处，再逆时针旋转 $\beta$ ，所用变换公式为

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\beta & -\sin\beta & 1 \\ \sin\beta & \cos\beta & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\overline{Cb} \\ 0 & 1 & -\overline{Cr} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Cb \\ Cr \\ 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

式中， $Cb, Cr$ 为图像中像素的 $Cb, Cr$ 分量值，计算出的 $x, y$ 代入式(3)，可得

$$f(Cb, Cr) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2} \exp\left\{-\frac{1}{2} \left[ \frac{((Cb-\overline{Cb}) \cdot \cos\beta + (Cr-\overline{Cr}) \cdot \sin\beta)^2}{\sigma_1^2} - \frac{((Cb-\overline{Cb}) \cdot \sin\beta + (Cr-\overline{Cr}) \cdot \cos\beta)^2}{\sigma_1^2} \right] \right\} \quad (11)$$

有了式(11)，图像中火焰区域的分割算法就很简单了，算法描述如下：

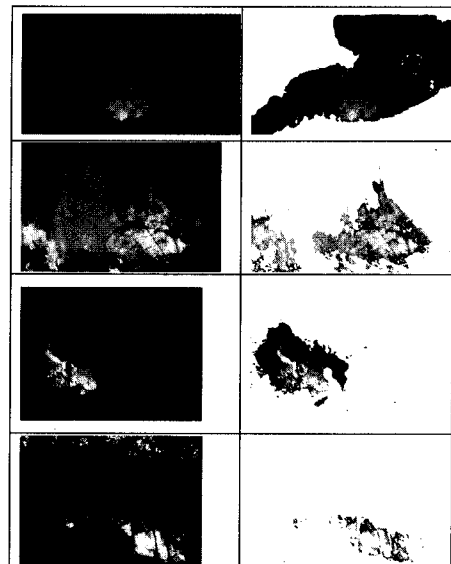
依次取图像的每一个像素，将其按式(1)由 RGB 模式转换成 YCbCr 模式，再将得到的 $Cb, Cr$ 值代入式(11)。如果得到的函数值 $f(Cb, Cr) > \epsilon$ ，就认为该像素属于火焰区域，让掩模矩阵相应位置变为 1。

### 4 实验结果

为验证算法的性能，本文在 Window XP, Matlab 7.0 环境下对算法进行了模拟。图 4 为部分图像及其识别结果，可看出本算法效果较好。

**结束语** 火焰特征复杂，但火焰颜色相对固定，因此基于颜色特征分割火焰区域是可行的。由于采集的火焰样本的差异性，得到的 $Cb, Cr$ 均值、椭圆的轴半径及倾斜角度等参数值会有所差异，最终的火焰区域分割结果会稍有不同。本方法优点是计算速度快，开销仅仅是对图像的一次扫描，具有很好的实时性。缺陷是本质上依靠颜色特征对图像进行区域分割，分割方法相对单一。该方法可较好地应用于目标颜色相

对固定的目标识别与分割中。



(a) 火焰图像 (b) 分割出的火焰区域

图 4 部分火焰图像的分割结果

### 参考文献

- [1] 崔宝侠, 乔继斌. 基于 Cr、Cb 色彩空间的森林火焰图像分割方法[J]. 沈阳工业大学学报, 2009, 31(1): 89-92
- [2] 杨淑莹. VC++ 图像处理程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 北京交通大学出版社, 2005: 287
- [3] 孙祥, 徐流美, 吴清. MATLAB 7.0 基础教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005
- [4] Brown M, Low D G. Automatic Panoramic Image Stitching using Invariant Features[J]. International Journal of Computer Vision, 2007, 74(1), 59-73
- [5] Lourakis M I A, Argyros A A. The design and implementation of ageneric sparse bundle adjustment software package based on the Levenberg-Marquardt algorithm[R]. FORTH-ICS/TR-340, 2004
- [6] 张鸿燕, 耿征. Levenberg-Marquardt 算法的一种新解释[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(19): 5-8
- [7] 葛君伟, 谢祥华, 方义秋. 雾天图像清晰化方法及应用[J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2010, 22(2): 223-226

(上接第 275 页)

标发生遮挡后，跟踪窗口矩形都能够很好地随目标实际尺寸很好地变化，弥补了文献[1]中对遮挡目标跟踪不能自适应变化尺寸的缺陷，从而在提高跟踪的准确性的同时也能够体现出目标尺寸的变化，更能够符合实际跟踪系统算法的要求。

**结束语** 本文将目标信息量、Kalman 与遮挡相结合，提出了一种窗口变化目标的遮挡跟踪算法。当目标正常跟踪时，用目标信息量与 Kalman 对目标尺寸变化进行估计与修正；当检测到目标发生遮挡，用前面修正的目标尺寸比例计算目标尺寸，当目标遮挡结束，重新修正目标信息量估计的 Kalman 滤波器的参数，恢复对目标尺寸进行无遮挡的估计与修正，从而自始至终能够准确反映目标尺寸的变化信息。实验结果证明了算法的有效性。

### 参考文献

- [1] Wang Jiang-tao, Yang Jing-yu. Object Tracking Based on Kal-

man-Mean Shift in Occlusions [J]. Journal of System Simulation, 2007, 9: 4216-4220

- [2] Zhu Sheng-li, Zhu Shan-an. Algorithm of target tracking based on mean shift with adaptive bandwidth of kernel function[J]. Opto-Electronic Engineering, 2006, 33(8): 12-16
- [3] Wang Zheng-yao, Cheng Zheng-xing, Tang Shao-jie. Information measures of scale-space based on visual characters[J]. Journal of Image and Graphic, 2005, 10(7): 922-928
- [4] Lindberg T. Feature Detection with Automatic Scale Selection [J]. International Journal of Computer Vision, 1998, 30(2): 79-116
- [5] Qian Hui-min, Mao Yao-bin, Wang Zhi-quan. Mean Shift Tracking-9with Self-updating Tracking Window[J]. Journal of Image and Graphic, 2007, 12(2): 245-249
- [6] Jon S., Joachim W. Information measures in scale-spaces[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1999, 45(3): 1051-1059