

文章编号: 1001-3806(2014)01-0137-04

## HIS 空间的火灾图像模糊增强快速算法

李庆辉, 李艾华, 姜 柯, 赵少宁  
(第二炮兵工程大学 502 教研室, 西安 710025)

**摘要:** 火灾图像增强是图像型火灾探测系统中的重要环节。为了克服传统模糊增强算法运算量大、耗时长等问题, 采用建立 3 维查找表并改进模糊增强算子的方法, 设计了 1 种基于颜色三要素空间的火灾图像模糊增强快速算法。首先将火灾图像由三原色空间转换到三要素空间, 然后保留  $H$  分量, 分别对  $I$  分量、 $S$  分量建立 3 维查找表, 通过 3 维查找表对图像中所有像素点的  $I$  分量、 $S$  分量进行模糊增强操作, 最后将图像转换回三原色空间。结果表明, 该算法在保留火焰色彩信息的同时大大降低了运行时间。这一结果对火灾的实时性探测是有帮助的。

**关键词:** 图像处理; 火灾探测; 模糊增强; 3 维查找表; 颜色三要素空间

**中图分类号:** TP391 **文献标志码:** A **doi:** 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2014.01.030

### Fast fire image fuzzy enhancement algorithm based on HIS space

LI Qinghui, LI Aihua, JIANG Ke, ZHAO Shaoning  
(Department of 502, Second Artillery Engineering University, Xi'an 710025, China)

**Abstract:** Fire image enhancement plays an important role in the system of fire detection based on images. A deficit of traditional fuzzy enhancement algorithms is the high computation cost. To solve this problem, a novel algorithm was proposed utilizing the 3-D look-up table (LUT) and a novel image fuzzy enhancement arithmetic operator. It firstly transforms the color space of fire images from red, green and blue to hue, intensity, saturation (HIS) and builds LUT for the variables  $I$  and  $S$ . Then enhances them through LUT and transforms the color space of fire images back to HIS space. Experimental results show that the new algorithm has significantly improved the running speed. It's helpful to the real-time detection of fire.

**Key words:** image processing; fire detection; fuzzy enhancement; 3-D look-up table; hue, intensity, saturation space

## 引 言

在图像型火灾探测系统中, 火灾图像一般通过图像传感器(如 CCD 摄像头)获得, 不良的光照条件、偏低的摄像头分辨率以及光电转换过程中带来的噪声等都会使得所获取的图像变得模糊<sup>[1]</sup>, 所以需要增强处理。图像增强处理是指根据增强图像中的某些特定信息, 同时削弱或去除不需要的信息的一种图像预处理手段。由于图像信息的不确定性, 而模糊逻辑能够很好地解决具有模糊性的问题, 因此, 引入模糊逻辑理论对图像进行增强处理有其内在的必然性和合理性<sup>[2-3]</sup>。

传统的模糊增强算法由于耗时长、运算复杂等

问题, 所以图像增强的速度与效果都不甚理想。参考文献[4]中提出一种通过建立查找表来实现图像快速增强, 但所建立查找表为 2 维形式且所用模糊增强算子较为简单, 增强效果不甚明显。参考文献[5]中对隶属度函数进行了改进, 参考文献[6]中提出了一种新的模糊增强算子, 但两者计算量都较大、运行时间长。颜色信息特征是火灾图像的一种重要特征信息, 在增强过程中必须予以保留。

因此, 作者将模糊逻辑应用于颜色三要素色调、亮度、饱和度(hue, intensity, saturation, HIS)空间<sup>[7]</sup>, 提出一种基于 HIS 空间的火灾图像模糊增强快速算法。

## 1 HIS 空间与 Pal-King 模糊增强算法

### 1.1 RGB 空间与 HIS 空间的转换

HIS 颜色空间是从人的视觉系统出发, 直接使用颜色三要素色调、亮度以及饱和度来描述颜色。

作者简介: 李庆辉(1989-), 男, 硕士, 现主要从事计算机视觉及火灾探测方面的工作。

E-mail: lqhui1212@126.com

收稿日期: 2013-03-07; 收到修改稿日期: 2013-04-27

HIS 颜色空间可以用一个圆锥空间模型来描述,如图 1 所示。

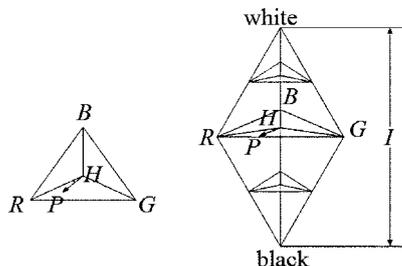


Fig. 1 HIS color space

三原色 (red, green, blue, RGB) 颜色空间是一种高度相关的线性空间,因此这种颜色空间不适于进行模式识别<sup>[8]</sup>。而对于 HIS 颜色空间,  $H, I, S$  分量相互独立,可以分开处理。HIS 颜色空间与 RGB 颜色空间分量  $R, G, B$  存在着相互转换的关系,如下式所示:

$$H = \begin{cases} \theta, (B \leq G) \\ 360^\circ - \theta, (B > G) \end{cases} \quad (1)$$

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B) \quad (2)$$

$$S = 1 - \frac{3}{R + G + B}[\min(R, G, B)] \quad (3)$$

式中,  $\theta = \arccos\left\{\frac{(R - G) + (R - B)}{2\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}}\right\}$ 。

故可以将火灾图像由 RGB 空间转化为 HIS 空间后保持  $H$  分量不变,分别对  $I$  分量和  $S$  分量进行模糊增强处理。最后将图像从 HIS 颜色空间转换到 RGB 颜色空间,就完成了图像增强操作。由于这种操作没有改变色调分量,所以不会对图像的色彩特征产生影响。

### 1.2 Pal-King 模糊增强算法原理<sup>[2-3]</sup>

图像模糊增强的基本做法是首先用模糊隶属度函数将图像由空间域变换到模糊域,再在模糊域中对图像进行模糊增强处理,最后通过逆变换把图像变换回空间域。这样就完成了图像的模糊增强操作,其步骤见下。

(1) 将一幅  $M$  灰度级的  $H \times L$  元图像由空间域变换到模糊域,其模糊集记为  $A$ :

$$A = \bigcup_{i=1}^H \bigcup_{j=1}^L \mu_{ij}/X_{ij} \quad (4)$$

式中,  $\mu_{ij}$  为像素点  $(i, j)$  的隶属度,  $X_{ij}$  为像素点  $(i, j)$  的灰度。隶属度值越大,表示像素对该灰度级的隶属程度越高。Pal-King 算法的模糊隶属度函数如下:

$$\mu_{ij} = T(X_{ij}) = [1 + (X_{\max} - X_{ij})/F_d]^{-F_e} \quad (5)$$

式中,  $X_{\max}$  为图像最大灰度级;  $F_d$  称为倒数模糊因子;  $F_e$  称为指数模糊因子,通常取  $F_e = 2$ 。

(2) 对图像进行模糊增强处理,反复采用如下式的非线性变换:

$$\mu_{ij}' = T_r(\mu_{ij}) = T_1(T_{r-1}(\mu_{ij})), \quad (r \text{ 为迭代次数}, r = 1, 2, \dots) \quad (6)$$

模糊增强算子见下式:

$$T_1(\mu_{ij}) = \begin{cases} 2\mu_{ij}^2, (0 \leq \mu_{ij} \leq 0.5) \\ 1 - 2(1 - \mu_{ij})^2, (0.5 < \mu_{ij} \leq 1) \end{cases} \quad (7)$$

(7) 式的操作结果是以  $\mu_c = 0.5$  (渡越点) 为中心增大其右边的值,减小其左边的值。当迭代次数  $r$  取较大值时图像近似变为二值图像。

(3) 对已增强的  $\mu_{ij}'$  进行逆变换,得出已增强的空域图像,计算公式如下:

$$X_{ij} = T^{-1}(\mu_{ij}') = X_{\max} + F_d[1 - (\mu_{ij}')^{\frac{1}{F_e}}] \quad (8)$$

该算法中  $T$  和  $T^{-1}$  变换公式由大量的浮点运算组成,而且在选取渡越点时一般采用经验法或灰度统计直方图观察法等方法,耗时巨大;迭代运算中渡越点固定为 0.5,不具有可变性,无法适应不同图像的处理要求。

## 2 火灾图像模糊增强快速算法

### 2.1 3 维查找表

从增强操作过程可以看出,对于不同像素点,如果亮度相同,那么它们增强后的亮度也相同。也就是说,对于确定的模糊算子和迭代次数,增强结果与像素点的位置无关<sup>[4]</sup>。因此,本文中引入 3 维查找表 (look-up table, LUT) 的概念,根据模糊增强前的亮度值 ( $0 \sim M$ ) 与增强后的亮度值,建立关于  $X_{ij}$  的 3 维查找表 LUT。在模糊增强操作前就建立 3 维查找表,在模糊增强操作时利用 3 维查找表中不同参数和增强操作前像素点的值,寻找增强操作后的像素值,即可以实现该图像的增强操作。同时,可以对于不同的模糊算子和迭代次数,分别建立不同的 3 维查找表,依据所处理图像的质量和后续处理的要求,选取适当的查找表完成增强操作。本文中首先将图像从 RGB 空间转化到 HIS 空间,找到  $I$  分量、 $S$  分量的最大值,对两个分量建立 3 维查找表。利用 3 维查找表对图像中所有像素点的  $I$  分量、 $S$  分量分别进行增强操作。

### 2.2 改进的模糊隶属度函数

参考文献[9]中指出,采用不同的隶属度函数

对最终的检测效果并没有很大影响,因为图像在经过  $T$  变换与模糊增强后,还要进行  $T^{-1}$  逆变换。但是采用形式简单的隶属度函数可以提高运算速度。所以,本文中采用的隶属度函数如下式所示,将火灾图像由空域转换到模糊域:

$$\mu_{ij} = T(X_{ij}) = \frac{X_{ij}}{L-1} \quad (9)$$

式中,  $L$  为灰度级的总数。

### 2.3 模糊增强算子

Pal-King 算法中渡越点的设置固定,不具有可调性,不能满足不同图像的增强要求。因此作者对 (7) 式进行改进得到新的模糊增强算子:

$$T_1(\mu_{ij}) = \begin{cases} \mu_c - (\mu_c^2 - \mu_{ij}^2)^{1/2}, & (0 \leq \mu_{ij} \leq \mu_c) \\ \mu_c + [(1 - \mu_c)^2 - (1 - \mu_{ij})^2]^{1/2}, & (\mu_c < \mu_{ij} \leq 1) \end{cases} \quad (10)$$

式中,  $\mu_c$  是渡越点的对应隶属度。改进的模糊增强算子相比于 Pal-King 增强算子,增大了渡越点右边的隶属度  $\mu_{ij}$  的值,同时减小了渡越点左边的隶属度  $\mu_{ij}$  的值。由图 2 可以看出,改进的增强算子的增强效果明显好于 Pal-King 增强算子。在模糊域对图像反复采用 (6) 式与 (10) 式进行模糊增强处理,通过设置合适的渡越点达到最佳的增强效果。

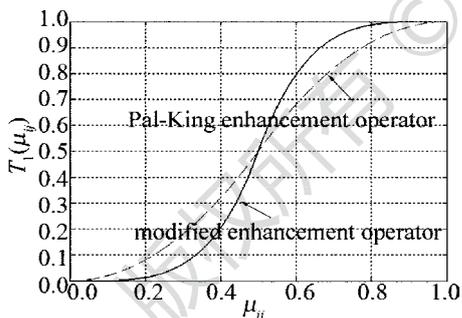


Fig. 2 Pal-King and modified enhancement operator

对于渡越点的选取问题, Otsu 算法<sup>[10]</sup> 将图像分为目标和背景二类,通过搜索计算类间方差最大值以得到最优阈值。参考文献[11]中提出一种改进的 Otsu 算法,该算法把图像中的像素用阈值  $M$  分成  $C_1$  和  $C_2$  二类,  $C_1$  由值在  $[0, M]$  之间的像素组成,  $C_2$  由值在  $[M+1, L-1]$  之间的像素组成,按下式计算  $C_1$  和  $C_2$  间的类间方差:

$$P(t) = w_1(t)w_2(t) |U_1(t) - U_2(t)| \quad (11)$$

式中,  $w_1(t)$  为  $C_1$  中包含的像素数;  $w_2(t)$  为  $C_2$  中包含的像素数;  $U_1(t)$  为  $C_1$  中所有像素的平均值;

$U_2(t)$  为  $C_2$  中所有像素的平均值。使  $P(t)$  最大的  $M$  值即为最佳阈值。参考文献[11]中已证明该算法整体效果较好,保留了更多的低灰度信息,能更有效地选择出自适应阈值。

### 2.4 逆变换

对上面所得的  $\mu_{ij}'$  进行逆变换,将图像由模糊域变换回空域,即可得到模糊增强后图像:

$$X_{ij} = T^{-1}(\mu_{ij}') = (L-1)\mu_{ij} \quad (12)$$

这种逆变换有效避免了传统 Pal-King 算法中逆变换后某些像素值出现负数的情况,从而保证了图像信息的完整性。

## 3 实验结果及分析

作者在 MATLAB 实验环境下,对典型的火灾图像分别采用直方图均衡化、Pal-King 算法和本文中的算法进行增强处理。实验是在 CPU 为 Pentium E6500 2.93GHz、内存为 2GB 的微机上完成的。实验结果如图 3 和表 1 所示。

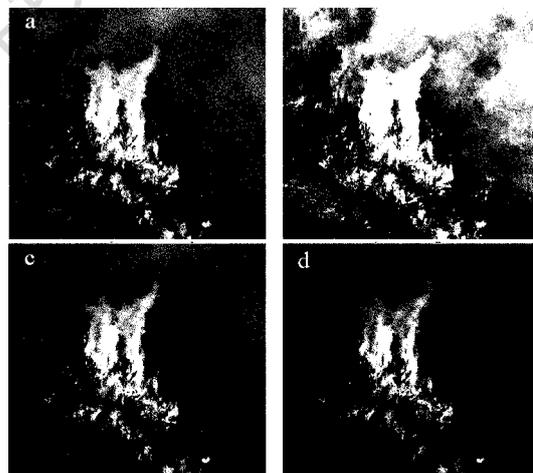


Fig. 3 Comparison of fire image enhancement results  
 a—original image b—histogram equalization c—Pal-King algorithm  
 d—proposed algorithm

Table 1 Computational times of 3 algorithms

algorithm	histogram equalization	Pal-King		proposed	
		$r=1$	$r=2$	$r=1$	$r=2$
time/ms	36.76	60.32	118.6	24.85	43.21

图 3a 是原始火灾图像。图 3b 是采用直方图均衡化<sup>[12]</sup> 的方法获得的图像,该方法均衡提高了整幅图像的对比度,但同时也使得  $R, G, B$  3 个分量比例失调,改变了火焰图像的颜色特征信息。图 3c 是采用 Pal-King 算法迭代 2 次获得的图像,可以看出增强效果不是很理想。图 3d 是采用本文中的算法迭代 2 次获得的图像,可以看出,作者提出的模糊增强

算法由于保留了  $H$  分量,只对  $I$  分量、 $S$  分量进行模糊增强,而且通过改进的 Otsu 算法选取最佳渡越点,因此使得火焰颜色信息保留较好,有利于火焰检测的后续处理。

表 1 为 3 种方法运行时间比较,Pal-King 算法由于模糊隶属度函数复杂且须对每个像素点进行增强操作所以耗时严重。而作者在引入查找表概念后,通过对  $I$  分量、 $S$  两个分量建立查找表,避免了对整幅图像中所有像素点进行增强操作,大大加快了增强处理速度,满足了实时性的要求。

#### 4 结 论

介绍了一种新的基于 HIS 空间的火灾图像增强快速方法,该方法首先将火灾图像由 RGB 空间转化为 HIS 空间,然后引入 3 维查找表的概念,分别对  $I$  分量、 $S$  两个分量建立 3 维查找表,利用 3 维查找表对火灾图像中所有像素点的  $I$  分量、 $S$  分量进行模糊增强操作。并且对 Pal-King 算法进行改进,采用更简单的隶属度函数、更快的增强算子以及较好自适应阈值选择函数。实验结果表明,只对  $I$  分量、 $S$  分量进行增强而保留  $H$  分量,使得火焰图像的颜色信息保留较好;通过 3 维建立查找表并改进传统模糊增强方法,使得算法运行时间大大降低。

#### 参 考 文 献

[1] HOU J. Studies on fire detection based on video-image processing for large space structures[D]. Beijing: Tsinghua University, 2010:

3-5(in Chinese).

[2] PAL S K, KING R A. On edge detection of X-ray images using fuzzy sets[J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1983, 5(1): 69-77.

[3] PAL S K, KING R A. Image enhancement using fuzzy sets[J]. Electronics Letters, 1980, 16(9): 376-378.

[4] KANG F. The preliminary study of early agricultural and forestry fire detection method based on visual features[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2010: 17-19(in Chinese).

[5] KANG M, WANG B S. An adaptive color image enhancement algorithm based on human visual properties[J]. Acta Optica Sinica, 2009, 29(11): 3018-3024 (in Chinese).

[6] BIAN W X, XU D Q. Composite thinning algorithm for fingerprint image[J]. Journal of Image and Graphics, 2011, 16(6): 1015-1021 (in Chinese).

[7] ZHANG Z, WANG Y P, XUE G X, et al. Digital image processing and machine vision[M]. Beijing: Post & Telecom Press, 2010: 241-248(in Chinese).

[8] ZHANG Y D, WANG S H, ZHOU Z Y, et al. Colored image enhancement based on HVS and PCNN[J]. Science China, 2012, 40(7): 909-924.

[9] WANG H, ZHANG J H. Regional contrast fuzzy enhancement algorithm for image edge detection[J]. Chinese Journal of Electronics, 2000, 28(1): 45-47(in Chinese).

[10] OTSU N. A threshold selection method from gray level histogram[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1979, 9(1): 62-66.

[11] JIANG T, ZHAO C J, CHEN M, et al. Fast adaptive image fuzzy enhancement algorithm[J]. Computer Engineering, 2011, 37(10): 213-215(in Chinese).

[12] WANG Z L, CHANG J, JIANG X Y, et al. Optimized method for space requirements based on histogram equalization[J]. Laser Technology, 2012, 36(3): 307-311(in Chinese).