

文章编号 1004-924X(2013)11-2798-05

基于多光谱分离的烟雾检测

付小宁*, 张 涛, 万 里

(西安电子科技大学 机电工程学院, 陕西 西安 710071)

摘要: 由于大部分烟雾检测技术抗干扰性差, 难以区分森林水雾和绿地等假信息, 本文提出了使用主成分分析法及变换域测量技术, 基于光谱分离的烟雾检测方法。首先, 采用波长为 460~520 nm、540~570 nm 及 580~610 nm 的 3 个带通滤光片获得被测物的光谱主成分。然后, 对光谱主成分进行空间映射, 构建变换域平面, 在该平面上应用简单的代数判断来实现对烟、水雾以及绿地的分类和识别。最后, 进行了 1 000 次的 Monte Carlo 仿真实验。结果表明, 三波段光谱法简便可行, 分离度好, (P_3, P_4) 的分离度为 0.113, 不仅克服了传统图像和视频检测方法无法区分烟雾和水雾的缺点, 而且无需进行复杂的光谱数据分类计算, 在火灾监测领域很有实用价值。

关键词: 烟雾检测; 多光谱; 光谱分离; 主成分分析

中图分类号: TP73; S762.3 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20132111.2798

Smoke detection based on multispectral separation

FU Xiao-ning*, ZHANG Tao, WAN Li

(School of Electromechanical Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China)

* Corresponding author, E-mail: xning_fu@163.com

Abstract: Because of the limitation of lower anti-interference ability, traditional smoke detection technologies are hard to distinguish the fire smoke, water fog, grass and other false information. Therefore, a smoke detection method based on multispectral separation was proposed according to the Principal Component Analysis (PCA) and transform domain method. First, band pass filters in the regions of 460-520 nm, 540-570 nm, and 580-610 nm were used to capture the principal components in the spectra emitted by an objective under monitoring. Then, the plane of transform domain was build by space fitting for these principal components. With simple algebraic judgment on the plane, the classification and recognition of the smoke, fog and grass were completed. Finally, Monte Carlo simulation was performed for 1 000 times. The results show that the three-band spectral analysis method proposed is simple, easy to operate, and the separability of P_3 and P_4 is 0.113. The method not only overcomes the shortcomings that cannot distinguish the smoke and water fog in traditional image and video detection methods, but also avoids complex spectral classification algorithms. It shows excellent practical values in the field of fire monitoring.

Key words: smoke detection; multispectra; spectral separation; Principal Component Analysis(PCA)

1 引言

随着社会财富的日益增多,火灾的危害性也越来越大。据统计,我国 70 年代火灾的年平均损失不到 2.5 亿元,80 年代火灾的年平均损失不到 3.2 亿元;进入 90 年代,特别是 1993 年以来,火灾造成的直接财产损失上升到年均十几亿元,年均死亡 2 000 多人。因此,对火灾进行及时准确的早期预警十分重要^[1]。

火灾的早期检测主要针对火焰和温度进行,如红外监视传感器检测火情,或感烟传感器检测燃烧引起的烟尘。但由于对火情反应的不及时,或者受空间制约等,这些检测方法无法得到广泛应用。目前,智能视频技术和图像处理技术开始广泛应用于烟雾检测,这些方法多利用烟雾本身的动态特征、色彩特征以及透明特征等,具有检测速度快、范围大、准确度高等优点^[2-4]。

Vicente^[3]等认为图像中烟雾区域的像素值呈低频持续变化状,可采用隔多帧差方法来提取烟雾产生区域,但该方法易受局部持续运动物体的干扰,如摆动的树叶。由于弥漫性流动,烟雾对应的小波系数能量会减少,因此,王喜世等利用小波变换来提取烟雾产生区域^[5],但该方法容易产生大量噪声,且当背景图像信息量少时,算法很难实现。

以上这些方法在特定场合有很好的检测效果,但是在区分烟雾和水雾的功能时容易引起虚警。这是因为烟雾和水雾的动态特征十分相似,且呈白色状,难以用传统的彩色图像传感器区分,而在野外森林监视中水雾的存在不可避免。卫颖卓等实测了烟雾、水雾和绿地的特征光谱曲线,形成视场中每一区块的 400~720 nm 光谱特征向量,通过向量分类改变监视图像的灰度以示警^[6]。为了增大被观测物的分离度,夏立娅等采用了非线性变换,在变换域实现观测物的光谱分类^[7];张家进等则采用了有效的主成分分析方法进行火灾物质的分类和检测^[8]。本文在文献[6-8]的基础上,提出了一种主成分提取、变换域分离的方法,该方法简单易行、具有较高的分离度,能够有效地区分烟雾、水雾以及绿地,对火灾进行预警。

2 烟雾的光谱特征与主成分

图 1 为烟、水雾以及绿地的光谱特征曲线^[6]。由图可见,3 种物质在 460~520 nm 及 580~610 nm 波段上具有明显的差异性,因此这两个波段可作为它们的主成分波段;考虑到每次测量时,3 种物质的辐射强度会存在差异,将 540~570 nm 波段也作为一个主成分波段,在此波段 3 种物质的归一化特征曲线具有较高的相似性。

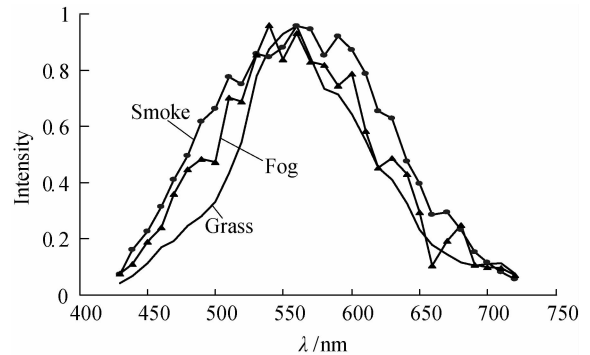


图 1 烟、水雾、绿地的光谱特征曲线

Fig. 1 Spectral characteristic curves of smoke, water fog and grass

实际测量中,主成分由带通滤光片滤出。理论上,光谱主成分就是主成分波段的光谱积分^[9],计算公式如下:

$$S_i = \int_{a_i}^{b_i} p(f) df, i = 1, 2, 3, \quad (1)$$

式中: $p(f)$ 为光谱特征曲线,如图 1 所示; a_i, b_i 分别为主成分波段的起止波长。

经过积分可得 3 种物质的主成分,如表 1 所示。

表 1 3 种物质的主成分

Tab. 1 Principal components of three materials

Material	wavelength/nm		
	460~520	540~570	580~610
Smoke	0.602 5	0.953 3	0.870 0
Fog	0.501 7	0.940 0	0.700 0
Grass	0.300 0	0.946 7	0.657 5

表 1 中的数据表明,烟、水雾以及绿地这 3 种物质的光谱主成分略有差别,但是变化规律类似。因此,直接应用这 3 种物质的主成分做物质分类有困难,此项工作必须在变换域^[7]进行。

3 烟雾的光谱主成分再加工

用 S_{Li} , S_{Mi} 和 S_{Hi} 代表 3 种物质的主成分。其中,下标 $i=1, 2, 3$, 分别代表烟、水雾以及绿地; L, M, H 分别代表 460~520 nm、540~570 nm 和 580~610 nm 这 3 个波段。

为了消除 3 种物质辐射强度的差异,建立如下空间映射^[10]:

$$P_1 = \frac{S_{Li}}{S_{Mi}}, \quad (2)$$

$$P_2 = \frac{S_{Hi}}{S_{Mi}}, \quad (3)$$

$$P_3 = \frac{S_{Li} + S_{Hi}}{S_{Mi}}, \quad (4)$$

$$P_4 = \frac{S_{Li}^2}{S_{Li} + S_{Mi}}, \quad (5)$$

$$P_5 = \frac{S_{Mi}^2}{S_{Li} + S_{Mi}}, \quad (6)$$

$$P_6 = \frac{S_{Mi}^2}{S_{Hi} + S_{Mi}}, \quad (7)$$

$$P_7 = \frac{S_{Li}}{S_{Li} + S_{Mi}}. \quad (8)$$

合理组合 $P_1 \sim P_7$ 这些变量,作为 3 种物质分类的依据。

4 烟雾的光谱分离

3 种物质的区分一般需要两个空间映射,或者说在平面上实施分类的效果更好一些,这样才可以将 3 种物质两两区分开。因此,本文在 $P_1 \sim P_7$ 中两两组合形成的数据域平面上进行 3 种物质的光谱分类。

$C_7^2=21$, 即相应的组合有 21 种。实验发现,变量 P_3, P_4 组合的区分结果最好,如图 2 所示。图中还给出了应用其它 3 种组合分类的结果,这 3 种组合分别是 (P_1, P_2) 、 (P_4, P_5) 、 (P_6, P_7) 。

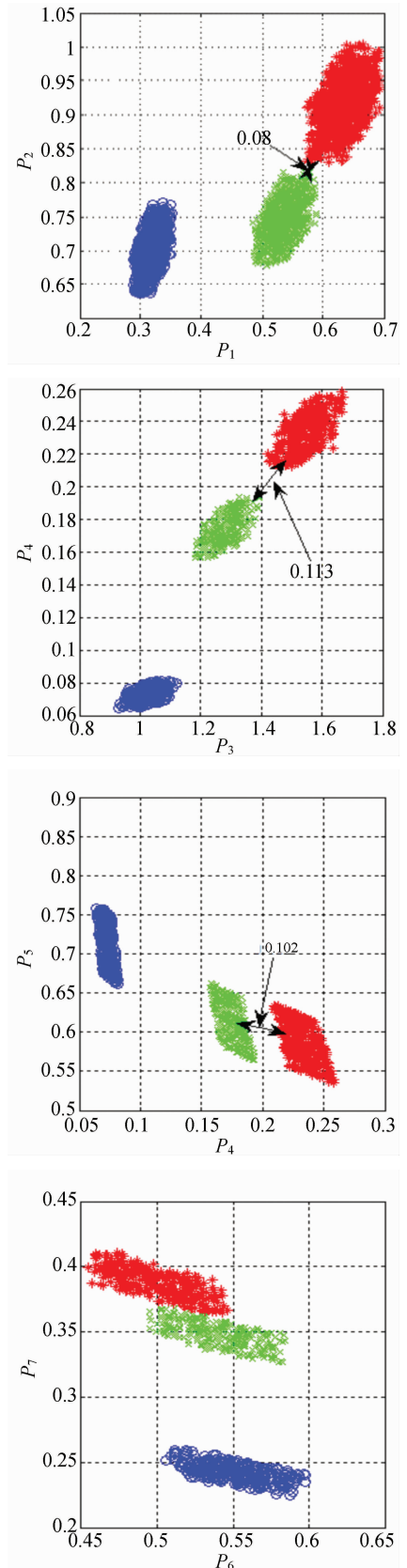


图 2 4 组变量形成的平面对比

Fig. 2 Comparison of planar formation among four groups of functions

图 2 中,红色表示烟,绿色表示水雾,蓝色代表绿地(彩图见期刊电子版)。相应的分类图像及表 2 所示的分离度均来自 1 000 次 Monte Carlo 仿真实验结果。在实际应用中,滤光片不理想等因素会引入误差,故在仿真实验中, $P_1 \sim P_7$ 均加入了 10% 的噪声作为测量误差。

表 2 各种组合的分离度

Tab. 2 Separation of various combinations

组合	$P_1 P_2$	$P_1 P_3$	$P_3 P_4$	$P_4 P_5$	$P_5 P_6$	$P_6 P_7$	其他
分离度	0.08	0.07	0.113	0.102	0.09	0.02	无法区分

实验结果表明, (P_3, P_4) 的分离度为 0.113, 优于其余组合, 可以较好地区分开水雾、烟雾和绿地。本文的方法对主成分进行再加工可以很好地

完成对烟和水雾的分类, 有助于降低森林火警的误报率, 在火警的早期预防中有重要的应用前景。

5 结 论

本文基于光谱学的主成分分析及变换域测量技术, 提出了一种基于三波段光谱分析的烟雾、水雾以及绿地的光谱分离技术。通过在光路上插入 460~520 nm, 540~570 nm 及 580~610 nm 3 个滤光片来提取光谱主成分, 然后进行空间变换以校正辐射强度的差异, 并在变换域实现烟雾、水雾以及绿地的分离。仿真试验表明, (P_3, P_4) 的分离度为 0.113, 比其它各种组合的分离度都高, 是区分烟雾、水雾以及绿地的最佳组合。本文方法应用于外场测量的优点是光路和数据处理均比较简单, 有利于提高设备的可靠性, 在森林火灾报警中具有很高的实用价值。

参考文献:

[1] Fire [EB/OL]. <http://baike.baidu.com/view/76453.htm>. [2013-03-01]

[2] PHILLIPS W III, SHAH M, LOBO N V. Flame recognition in video [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2002, 23(1-3): 319-327.

[3] VICENTE J, GUILLEMANT E. An image processing technique for automatically detecting forest-fire [J]. *International Journal of Thermal Sciences*, 2002, 41: 1113-1120.

[4] CELIK T, DEMIREL H, OZKARAMANLI H, et al.. Fire detection using statistical color model in video sequences [J]. *Journal of Vision Communication & Image Representation*, 2007, 18(2): 1-9.

[5] 王喜世, 伍小平, 秦俊, 等. 用红外热成像方法测量火焰温度的实验研究 [J]. *激光与红外*, 2001, 31(3): 169.

WANG X SH, WU X P, QIN J, et al.. Experimental study on flame temperature measurement by infrared thermography [J]. *Laser & Infrared*, 2001, 31(3): 169. (in Chinese)

[6] 卫颖卓, 张绍武, 刘彦伟. 基于多光谱图像的烟雾检测 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2010, 33(4): 1061-1064.

WEI Y ZH, ZHANG SH W, LIU Y W. Detecting fire smoke based on the multispectral image [J].

Spectroscopy and Spectral Analysis, 2010, 33(4): 1061-1064. (in Chinese)

[7] 夏立娅, 申世刚, 刘峥颖, 等. 基于近红外光谱和模式识别技术鉴别大米产地的研究 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2013, 33(1): 102-105.

XIA L Y, SHEN SH G, LIU ZH H, et al.. Identification of geographical origins of rice with pattern recognition technique by near infrared spectroscopy [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2013, 33(1): 102-105. (in Chinese)

[8] 张家进, 张卓勇, 相玉红, 等. Logistic 回归算法结合近红外光谱对子宫内膜癌组织切片分类的研究 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2013, 33(2): 344-348.

ZHANG J J, ZHANG ZH Y, XIANG Y H, et al.. Diagnosis of endometrial cancer based on logistic regression and near infrared spectroscopy [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2013, 33(2): 344-348. (in Chinese)

[9] 邹强, 冯静, 王宇. 基于加窗光谱积分的高光谱遥感图像特征提取 [J]. *图形、图像与多媒体*, 2009(15): 18-20.

ZOU Q, FENG J, WANG Y. Feature extraction of hyperspectral remote sensing image based on adding window spectrum integral [J]. *Image Processing and Multimedia Technology*, 2009(15): 18-20. (in Chinese)

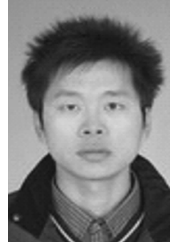
- [10] 付小宁,王洁,杨琳. 基于红外光谱分析的小温差物体距离估计[J]. 光谱学与光谱分析, 2013, 33(1):51-54.
FU X N, WANG J, YANG L. IR spectral-analy-

sis-based range estimation for an object with small temperature difference from background [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2013, 33(1): 51-54. (in Chinese)

作者简介:



付小宁(1964—),男,陕西宝鸡人,副教授,博士,1987年于西北电讯工程学院获得学士学位,1994年和2005年于西安电子科技大学分别获得硕士和博士学位,主要从事光电检测技术与图像处理的研究。E-mail: xning_fu@163.com



万里(1987—),男,湖北红安人,硕士研究生,2011年于湖北师范学院获得学士学位,主要从事无人机图像制导方面的工作。E-mail: jaliy_2007@126.com



张涛(1989—),男,安徽定远人,硕士研究生,2011年于西安电子科技大学获得学士学位,主要从事光电检测方面的研究。E-mail: zt6789@163.com

(版权所有 未经许可 不得转载)

(本栏目编辑:曹 金)