

# 多红外火焰探测中基于决策树的火灾识别

杨帮华,刘燕燕,何美燕,程 智

(上海大学 机电工程与自动化学院 上海市电站自动化技术重点实验室,上海 200072)

**摘要:**在多红外火焰探测系统中,提出了一种基于决策树的火灾识别算法。按照特种火灾探测器的国家标准实验的要求,获取实验数据。该算法首先对五个红外火焰探测器获得的数据进行多窗口重叠交叉预处理,然后提取六个火灾特征作为决策树的分类属性,对决策树进行训练、剪枝,最后得到火灾识别的最优决策树模型。将该识别模型应用于在线火灾识别,实验结果表明该决策树分类算法的准确率可以达到95.2%,识别速度在2s以内,较其他的分类识别算法有更高的准确率和更快的识别速度,具有很好的实用性。

**关键词:**火焰探测;火灾识别;决策树;分类;实用性

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)08-0014-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.08.004

## Fire Recognition of Multi-infrared Flame Detection Based on Decision Tree

YANG Bang-hua, LIU Yan-yan, HE Mei-yan, CHENG Zhi

(Key Laboratory of Power Station Automation Technology,

College of Mechatronics Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

**Abstract:** In the multi-infrared flame detection, a fire recognition algorithm based on decision tree is proposed. According to the National Standard for Special Fire Detectors, large number of experimental data are acquired. Firstly, the acquired data of the five infrared flame detector are pretreated by the overlapping cross way in the algorithm. Then six characteristics of fire are extracted as a decision tree classified attributes, and decision tree is trained and pruned. Finally, the optimal decision tree model for fire detection is obtained. This recognition model is applied to the online fire detection, the experimental results show that the accuracy of the decision tree classified algorithm can achieve 95.2% and the recognition speed is less than 2s. Compared with other recognizable algorithms, decision tree has higher accuracy and faster recognition speed. It is of great practicality.

**Key words:** flame detection; fire recognition; decision tree; classification; practicality

## 0 引言

火的合理使用促进了人类文明的发展,但失去控制的火灾也给人们带来了巨大的生命威胁和财产损失,对国民经济和生态环境也造成了严重的危害。因此,如何快速发现火情并及时发出报警信号,有效降低火灾带来的危害成为亟待解决的问题。

随着火灾探测技术的不断发展,各种各样的火灾探测系统应运而生<sup>[1]</sup>。比较常见的有感温、感烟、火焰、气体探测系统等。它们探测的是火灾不同发展阶段的不同燃烧产物,都是对某种单一的物理量进行探

测,灵敏度较低、受环境干扰较大;相比于其他火灾探测系统,火焰探测系统更适用于大空间,火灾早期出现明火,需要对火灾快速采取措施的场合。物质在燃烧过程中产生的火焰光谱从红外、可见光到紫外波段都有能量辐射,但以红外辐射为主,这就是物质燃烧时火焰炽热和发红的原因,而火焰在4.3μm波段附近产生红外辐射峰值,利用多个波段的火焰探测器进行火灾信息探测,可以尽可能多地探测火焰信息。文中基于研究组设计的多红外火焰探测系统,对多个火焰探测器得到的不同波段的火焰信息进行识别算法的研究。

收稿日期:2012-10-30

修回日期:2013-01-31

网络出版时间:2013-04-22

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(31100709);国家自然科学基金面上项目(60975079);上海市教委创新项目(11YZ19)

作者简介:杨帮华(1971-),女,河南人,副教授,研究领域为火灾探测、脑机接口、模式识别与智能系统、信号检测与处理;刘燕燕(1986-),女,山东人,硕士研究生,主要研究方向为火灾探测。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130422.1726.047.html>

目前火灾探测<sup>[2]</sup>系统主要的识别算法有:(1)阈值法;(2)差值法;(3)持续时间法。这些传统算法基于经验值或是反复实验推理得到的火灾判据值,具有不定性且准确度不高,不能很好地排除外界干扰,很容易产生误报及漏报现象。决策树算法<sup>[3,4]</sup>能从一组无规律的事例中利用信息论原理对大量样本的属性进行归纳和分析,整个模型简单、清晰,能够快速做出最优决策,可以大大减少程序的运行时间,从而提高系统的响应速度,能够很好地满足火灾识别系统的要求。

文中提出了一种利用决策树算法进行火灾识别的方法,利用多个火焰探测器对不同波段的火焰信息进行探测,获取大量的实验数据。利用多窗口重叠交叉预处理,根据主火焰探测通道与背景探测通道的关系,通过不断分析探索得到六个可以作为判断火灾发生的特征。将这六个特征作为决策树模型输入,通过对大量的火灾数据进行训练,然后通过决策树生成算法<sup>[5]</sup>,归纳推理出一棵决策树。进而对由于偶然因素产生的杂枝进行修剪,得到最优决策树模型。将模型应用于在线火灾识别,实验结果表明:利用决策树得到的最优决策值,降低了对火灾判据设置的盲目性,且大大提高了探测系统的总体识别率。

## 1 决策树算法

### 1.1 决策树简介

决策树算法<sup>[6,7]</sup>是从一系列无规则的数据样本集中利用信息论原理对大量样本属性进行归纳、总结,得出以决策树形式表示的分类规则,为决策者提供决策依据。决策树类似一棵树,而建树的过程采用的是自顶向下的递归方式,它首先对数据进行处理,利用归纳算法生成可以读取的规则和不同的分支,同类的决策处在同一树枝上,不同类的决策处在不同的分支上,通过不断递归生成一棵类似有枝干的树的模型。

决策树已经发展演变出多种算法,包括 CART、ASSISTANT、ID3、C4.5、C5.0 等。而目前应用最为广泛的即 1986 年 Quinlan JR 提出的 ID3 算法。ID3 算法是基于信息熵的决策树分类方法。它以信息增益最大的属性作为根节点,由该节点的不同取值建立树的分支<sup>[8,9]</sup>。如果训练的样本都从属于同一个类型,那么这些样本就凝聚在一个节点上,这个节点就相当于一个树的树叶。否则算法就会通过信息增益度量来判断这些训练样本从属的类型,重新创建一个树的分支即新节点,通过不断的测试,来判定此训练样本从属的分类范围。通过不断的从上往下的递归,最终得到一棵简单的决策树。ID3 算法的基本思想为:

(1) 初始化决策树  $T$  为只含一个树根  $(X, Q)$ , 其中  $X$  为全体训练样本的集合,  $Q$  为全体属性集;

(2) 如果  $T$  中所有的叶节点  $(X', Q')$  都满足  $X$ , 并且都属于同一类或者  $Q'$  为空, 则算法停止;

(3) 否则, 任取一个不同于 (2) 中所述的叶节点  $(X', Q')$ , 对于每一个  $Q'$  中的属性  $A$ , 都要计算其信息增益  $\text{Gain}(A, X')$ ;

(4) 选择具有最高信息增益的属性  $B$  作为节点  $(X', Q')$  的测试属性, 对于每一个  $B$  的取值  $b_i$  都要从该节点  $(X', Q')$  伸出分支, 测试输出  $B$  是否等于  $b_i$ ; 求得  $X$  中  $B$  值等于  $b_i$  的子集  $x_i$ , 并生成相应的叶节点  $(X_i, Q' - \{B\})$ , 然后算法转为步骤 (2)。

从以上可知, 整个决策树模型的建立过程简单, 易行, 对大量数据训练决策精度高, 非常适用于火灾探测系统。

### 1.2 决策树剪枝技术

ID3 算法是以信息增益作为属性选择的标准, 以信息增益最大的属性作为“最佳”分裂点。而在样本训练过程中会产生偶然规则和必然规则。为了避免因为偶然规则带来的误差判断, 有必要对生成的决策树进行剪枝。剪枝技术的流程如下:

(1) 从根节点开始, 向每一个非叶子节点中加入训练样本集并计算添加前后节点在原测试属性  $X$  下的信息增益  $\text{Gain}(1)$  和  $\text{Gain}(2)$ ;

(2) 判断剪枝结果: 如果  $\text{Gain}(1) = \text{Gain}(2)$ , 则保留该子树节点; 如果  $\text{Gain}(1) > \text{Gain}(2)$ , 则用叶节点代替这个节点  $T$ ; 如果该节点保留, 那么就采用原来的测试属性  $X$  将剪枝集合分割为相应的子集, 并对该子树的每一个分枝重复进行 (1) 过程; 这个重复过程直到遇到叶子节点为止。

### 1.3 决策树算法识别准确率估计

交叉验证方法是一种统计分析方法, 主要用来验证分类器的性能<sup>[10]</sup>。并且用来验证决策树的分类器是否恰当。 $N$ -倍交叉验证的思想为: 将初始数据划分为  $n$  个大小基本相等并且互不相交的子集, 一部分子集用来进行训练, 另一部分则用来作为验证。采用训练样本集对分类器进行训练, 再采用验证样本集来测试训练得到的模型, 最后将验证集得到的分类准确率取平均数得到最终的准确率估计。

## 2 多红外火灾探测及数据获取

### 2.1 多红外火灾探测系统介绍

由于物质在燃烧过程中会产生大量的以电磁波形式向周围辐射的能量<sup>[11]</sup>, 其中的电磁波辐射主要是以红外辐射为主, 其中火焰在  $4.3\mu\text{m}$  波段附近产生红外辐射峰值。本设计中利用中心波长为  $4.4\mu\text{m}$  的探测器来探测主要的火焰信息; 而用  $3.8\mu\text{m}$  与  $5.0\mu\text{m}$  的火焰探测器主要是作为背景探测通道, 利用各个探测通

道之间的红外辐射的强度关系可以有效地区分火焰与其他的红外辐射源;中心波长为 2.7um 的硫化铅传感器主要是探测火焰第二强度辐射,用来探测火焰的发展趋势;根据传统的阈值识别算法、各探测器间的相关性以及火焰的连续性、闪烁性等特性得到作为火灾判断的六个特征  $x_1 \sim x_6$ , 利用决策树算法对其进行分类决策。

### 2.2 数据获取

采用上述探测系统,在室外温湿度分别为 25℃, 38%,微风的环境条件下,将探测系统固定在 1.5m 高度,依据特种火灾探测器的国家标准 GB15631-2008,进行 I 级(25 米),II 级(17 米),III 级(12 米)灵敏度测试。此外为了建立大量的火焰信息库,并且测试探测器的性能,实验附加设置了 35 米的探测距离。实验过程如下:

- 1) 将 1kg 酒精(浓度为 95%)倒在厚 5mm,地面面积为 1 平方米的钢板容器内;
- 2) 采用火焰点火方式;
- 3) 在距离火焰 12 米处,分别采集探测器在探测角度为 0 度,15 度,35 度,45 度时的实验数据,将其通过串口在上位机保存;并且相应地保存在此距离下无火时的实验数据,以便进行对比分析;
- 4) 在距火源为 17 米,25 米,35 米处,重复步骤 3),保存相应的实验数据。

## 3 决策树火灾识别

### 3.1 数据预处理及特征提取

通过上述野外火灾实验,获得的实验数据即各个探测器经过 A/D 转换后的数字量。利用阈值、相关性及火焰连续性、闪烁性信息得到六个火灾特征,在采样率为 100Hz 的情况下,每 128 个数据作为一个样本长度,利用窗口间隔为 50 的多窗口重叠交叉预处理方法,建立大量的样本集。具体多窗口重叠交叉图如图 1 所示。

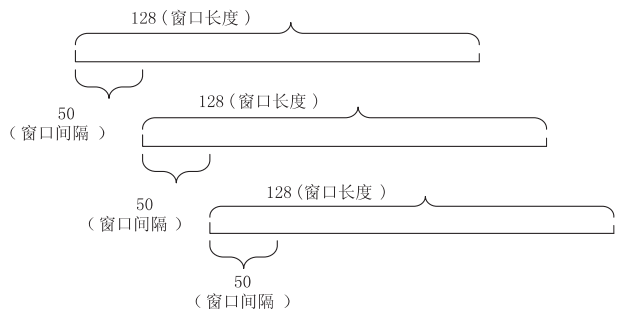


图 1 多窗口重叠交叉图

具体特征提取流程如下:

- 1) 4.4um 探测通道 128 个数据的均值为  $X_1$ ;
- 2) 4.4um 探测通道数据均值与 2.7um 通道数据

均值之比 为  $X_2$ ;

- 3) 4.4um 探测通道数据均值与 3.8um 探测通道均值之比为  $X_3$ ;

- 4) 4.4um 探测通道数据均值与 5.0um 探测通道均值之比为  $X_4$ ;

- 5) 设定一个阈值,统计 4.4um 探测通道每个样本集中超过阈值的个数  $k$ ,作为连续性特征  $X_5$ ;

- 6) 设定一个阈值,4.4um 探测通道每个样本集中大于阈值的数据置为 1,否则为 0;统计 128 个点中发生跳变的个数  $m$ ,作为火焰闪烁性特征  $X_6$ 。

### 3.2 火灾识别过程及结果

(1) 建立及修剪决策树。

采用上述的 6 个特征  $X_1 \sim X_6$  作为决策树的分类属性,基于第 1 部分介绍的算法,建立决策树,如图 2 所示,经过剪枝之后的决策树如图 3 所示。其中“1”代表有火发生,“0”代表无火发生。通过决策树,可以很清晰地看出各个属性的最优决策值,为在线应用奠定基础。

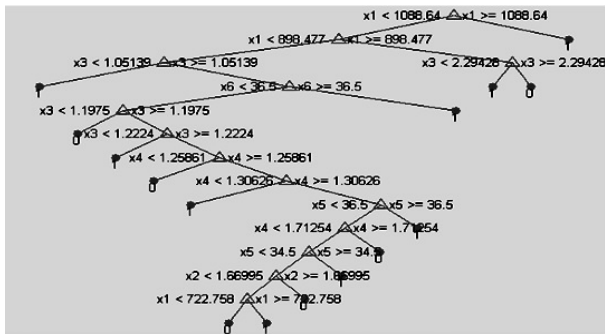


图 2 决策树原始模型

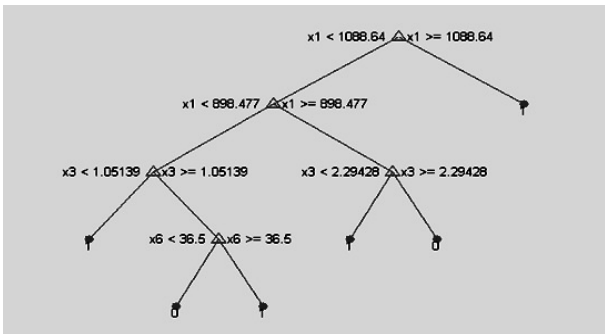


图 3 剪枝后的决策树模型

(2) 离线实验结果。

为了避免单次实验结果造成的误差,文中对所有探测距离及所有探测角度下取得的有火实验数据及在相同探测条件下未点火时采集的无火实验数据,进行了决策分析,以尽可能多地包含所有的有火及无火信息;并且采用了 4 倍交叉验证<sup>[8]</sup>,分别对有火及无火样本集进行训练和测试,得到了相应情况下的火灾识别的准确率。训练得到的准确率如表 1 所示。

从表 1 可以很清晰的看出,当取六个特征时,识别



率能达到 95.2%,但是只取其中一个特征或是某几个特征组合时,识别率明显降低。

表 1 所有实验数据准确率

数据来源	特征组合	准确率
由 2.2 得到的所有角度和距离下的实验数据	$x_1、x_2、x_3、x_4、x_5、x_6$	95.21%
	$x_1、x_3、x_4$	93.13%
	$x_2、x_3、x_4$	94.89%
	$x_1、x_5、x_6$	92.97%
	$x_1、x_2、x_3、x_4$	93.93%
	$x_5、x_6$	92.97%
	$x_1$	92.01%
	$x_3、x_4$	91.65%

(3) 在线应用。

将建立的决策树模型,应用于基于 STM32 微处理器的多红外火焰探测系统并编写相关的决策树模型程序。经过 50 次实验验证,其中有 46 次实验得到的正确率能达到 95%,并且响应速度在 2s 以内。而传统的火灾探测的识别算法火灾识别准确率在 85% 左右,响应速度约为 10s。因此,该决策树模型在多红外火焰系统中的应用具有较高的实用价值。

4 结束语

文中研究的决策树算法在多红外火灾识别中的应用,将多个探测器探测到的火焰信息,进行加窗预处理,找到六个作为火灾判据的特征并建立决策树模型,可以很方便的进行分类决策,得到最优的决策值。此外,剪枝技术在决策树中的应用,检验了决策树中规则的稳定性,去掉了决策树中不稳定的规则,使得得到的决策树减少了由于过度拟合而产生的偶然规则,提高了决策树的泛化能力。通过 N 倍交叉验证,将大量样

本集进行训练和测试,得到了在不同情况下系统的识别率。较之前的探测识别率有了较大的提高,通过反复实验验证了其可行性,识别率能达到 95.2%,具有很高的应用价值。

参考文献:

[1] 张红兰,李 扬. 基于多传感器的智能火灾报警器的设计[J]. 仪器仪表学报,2009,28(4):48-50.

[2] Xu Xiaochun, Sahni S. Approximation Algorithms for Sensor Deployment[J]. IEEE Transactions on Computers, 2007, 56(12):1681-1695.

[3] 习树峰,彭 勇,梁国华,等. 基于决策树方法的水库跨流域引水调度规则研究[J]. 大连理工大学学报,2012,52(1):74-78.

[4] 李任良,李义杰. 基于多策略的决策树剪枝算法及其应用[J]. 计算机仿真,2010,27(11):78-81.

[5] 许惠君,李彩林,刘晓安. 数据挖掘技术在水库调度中的研究与应用[J]. 计算机与数字工程,2006,34(9):61-63.

[6] 曲开社,成文丽,王俊红. ID3 算法的一种改进算法[J]. 计算机工程与应用,2003,39(25):104-107.

[7] 纪希禹,韩秋明,李 微,等. 数据挖掘技术应用实例[M]. 北京:机械工业出版社,2009.

[8] Wang B, Kee C C, Srinivasan V, et al. Information Coverage in Randomly Deployed Wireless Sensor Networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2007, 6(8):2994-3004.

[9] 孙爱东,朱梅阶,涂淑琴. 基于属性值的 ID3 算法改进[J]. 计算机工程与设计,2008,29(12):3011-3012.

[10] 王会青,陈俊杰,侯晓晶,等. 决策树分类的属性选择方法的研究[J]. 大连理工大学学报,2011,42(4):346-348.

[11] Scherzinger H. Requirements for Fire Detectors - Industrial Application[J]. Springer Series on Chemical Sensors and Biosensors, 2011, 10(5):1781-1789.

(上接第 13 页)

序可以方便地使用服务程序提供的 API 进行开发,从而降低应用程序的开发和系统维护成本。

参考文献:

[1] 林怀恭,聂瑞华,罗辉琼,等. 基于 SOA 架构的服务集成技术的研究[J]. 计算机技术与发展,2009,19(7):141-144.

[2] 杜 攀,徐 进. SOA 体系下细粒度组件服务整合的探讨[J]. 计算机应用,2006,26(3):699-702.

[3] 卢致杰,覃 正,韩景倜,等. SOA 体系设计方法研究[J]. 工业工程,2004,7(6):14-19.

[4] 张 晖,刘亚璠,黄翰榕,等. 遥感卫星地面系统面向服务流程管理研究[J]. 无线电工程,2009,39(11):4-6.

[5] Gamma E, Helm R, Johnson R, et al. 设计模式:可复用面向对象软件的基础[M]. 李英军,译. 北京:机械工业出版社,

2007.

[6] Mission Operations Services Concept[S]. CCSDS 520.0-G-3 Green Book, 2010.

[7] Mission Operations Reference Model[S]. CCSDS 520.1-M-1 Magenta Book, 2010.

[8] Mission Operations Message Abstraction Layer[S]. CCSDS 521.0-B-1 Blue Book, 2010.

[9] MO JAVA MAL API[S]. CCSDS 000.0-R-0 Red Book, 2010.

[10] Mission Operations Message Abstraction Layer-Java API[S]. CCSDS 521.2-R-1 Red Book, 2011.

[11] Mission Operation Common Object Model[S]. CCSDS 521.1-R-3, 2012.

多红外火焰探测中基于决策树的火灾识别

作者：[杨帮华](#)，[刘燕燕](#)，[何美燕](#)，[程智](#)，[YANG Bang-hua](#)，[LIU Yan-yan](#)，[HE Mei-yan](#)，[CHENG Zhi](#)

作者单位：[上海大学 机电工程与自动化学院 上海市电站自动化技术重点实验室, 上海, 200072](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

ISTIC

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2013(8)

本文链接：[http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjtz201308004.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjtz201308004.aspx)