

DOI:10.15923/j.cnki.cn22-1382/t.2018.4.06

基于声音信号室内火灾分级预警系统

沈晓波, 王留留, 刘音

(淮南师范学院 电子工程学院, 安徽 淮南 232038)

摘要: 下位机通过传感器矩阵采集声音信号, 经程控放大后检波采样, 由 CAN 总线传递给上位机。上位机提取 8 阶 AR 模型特征向量, 由仿生神经网络群 BNNG 算法进行四级预警分类, 通过 CAN 总线反馈结果给下位机并执行相应火警联动动作, 通过 WiFi 电路发送结果给手机终端。火灾模拟验证预警正确率可以达到 90% 以上。

关键词: 传感器矩阵; AR 模型; 特征向量; BNNG 算法; 分级预警

中图分类号: TP 274.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-1374(2018)04-0349-07

Sound-based indoor fire classification and prewarning system

SHEN Xiaobo, WANG Liuliu, LIU Yin

(School of Electronic Engineering, Huainan Normal University, Huainan 232038, China)

Abstract: Sound signals are sampled with sensor array in lower computer and then amplified and detected. They are transferred to the upper computer through CAN bus and extracted to obtain the eighth-order AR model feature vectors. The vectors are classified into four levels of prewarning with BNNG algorithm. The result then is fed back to the lower computer through CAN bus and give the corresponding instructions to fire alarm linkage actions. Also, it is sent to the mobile terminal through WiFi. Fire simulation indicates that the accuracy of prewarning is higher than 90%

Key words: sensor matrix; AR model; feature vector; BNNG algorithm; classification prewarning.

0 引言

随着人们生活水平提高, 室内物品逐年增多, 尤其是电、气、热三个方面设备, 在给生活带来便利的同时埋藏了火灾隐患, 室内火灾发生的原因

多为电器设备老化、短路、操作违规、燃气泄漏、环境高温干燥等, 防火、灭火工作是当前火警工作的重点, 火灾一旦发生, 100 s 是关键, 但实际室内环境中往往缺乏灭火设备, 难以做到及时灭火, 造成大量的人员伤亡和财产损失。如何充分利用火灾

收稿日期: 2018-04-10

基金项目: 安徽省高等学校自然科学重点项目(KJ2017A455); 校级重点项目(2016xj01zd)

作者简介: 沈晓波(1982-), 男, 汉族, 黑龙江肇东人, 淮南师范学院讲师, 硕士, 主要从事信号与信息处理方向研究, E-mail: shenhnu@foxmail.com.

发生前的关键 30 s,做好预警就成了当务之急的事情,目前室内环境多数采用传统的烟雾、燃气、温度、光强、离子探测方式,少数采用图像识别探测方式,缺少价格合理的智能化预警系统。

传统火灾探测设备均要求火灾前期达到一定程度后才开始报警,与实际发生火灾时间贴近,缺少预警及时性;近年来,国内智能火灾探测系统发展迅速,由江苏安科瑞、北大青鸟、深圳泛海三江、霍尼韦尔、西门子等公司研发的新一代智能探测系统,能够实现远程网络管理,性价比不高,多数仅考虑集中化、远程化操作,未考虑实际预警需求和多种发生因素统一性。为此文中依据电、气、热

三种设备火灾隐患的共同因素声音信号作为研究对象,燃气泄漏会产生声波信号,阴燃会产生燃烧音声波信号,监测声音信号变化,利用智能识别算法分类识别,实现低成本、人性化、智能化的火灾预警系统。

1 系统整体设计

火灾分级预警系统分为五部分:分别是智能控制系统、CAN 总线、电脑管理系统、WiFi 通信系统、手机端接收系统。整体系统框图如图 1 所示。

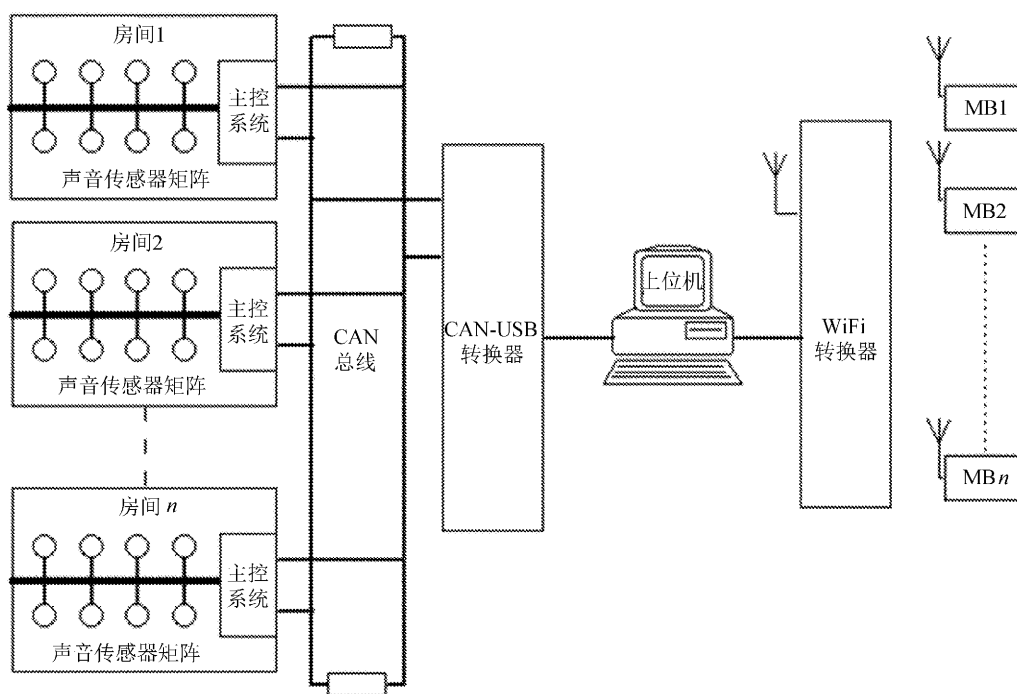


图 1 系统框图

其中声音传感器矩阵数量依据监控空间大小而定,声音信号经处理器程放大和处理,依据算法进行传感器高低度调整,将声音采样数据通过 CAN 总线上传给电脑管理系统,电脑管理系统实时对数据进行模式识别分类,显示各房间预警状态,电脑管理系统可以人工操作向各房间智能控制系统发送指令,实现远程集中控制,同时可以通过 WiFi 通信系统将预警状态发送给附近的工作人员,避免工作人员长期面对电脑劳累或者是临时有事错过关键 30 s 的情况发生。

2 系统硬件设计

2.1 传感器矩阵设计

传感器矩阵如图 2 所示。

由图 2 可知,设定室内空间长宽高为 x, y, z ,定义入门处为 0 点坐标,为安装方便,传感器安装在空间顶部,矩阵行列数量依据探测精度而定,取 x, y 的 m, n 个均分点交汇处作为初始定位点,计算出总传感器数量为 N ,每个声音传感器位置坐标为:

$$\left(i * \frac{x}{m}, j * \frac{y}{n}, z \right)$$

$$i = 0, 1, 2, \dots, m; j = 0, 1, 2, \dots, n$$

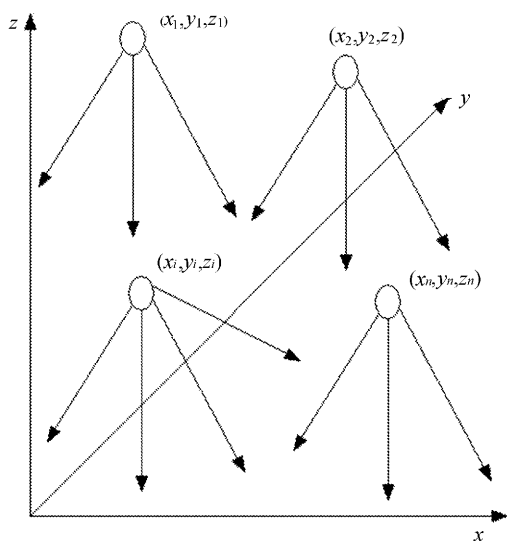


图 2 传感器矩阵示意图

因为室内声音传播为一个非线性变换过程, 考虑系统的工程特性, 本系统的高度 z 仅依据声

音传感器检测到的声强 I 大小和检测阈值 θ 决定, 具体由下式推算决定:

$$I = \frac{P^2}{\rho_0 c} \tag{1}$$

$$P = \frac{K P_0}{z} \tag{2}$$

其中, P 为有效声压, ρ_0 为空气密度, c 为声音在空气中的速度, P_0 为基准声压, K 为转换系数。由实验数据推算而定, 主控系统通过电机上下调动吊绳高度 z , 可改变全部或部分传感器检测声音强度, 使声音信号最为清晰, 达到检测阈值 θ 的要求, 考虑系统成功率, 本次声音传感器采用高精度澄科 AWA14421 声级计。

2.2 主控通信系统设计

主控系统采用主流 STM32 作为微处理器, 使用 LC 型 5 阶巴特沃斯滤波器无源滤波器进行滤波, OPA847 固定增益放大器和 VCA821 可变放大器级联实现 0~40 dB 程控放大, AD8361 完成有效值采样, TJA1040 实现 CAN 收发通信, 具体如图 3 和图 4 所示。

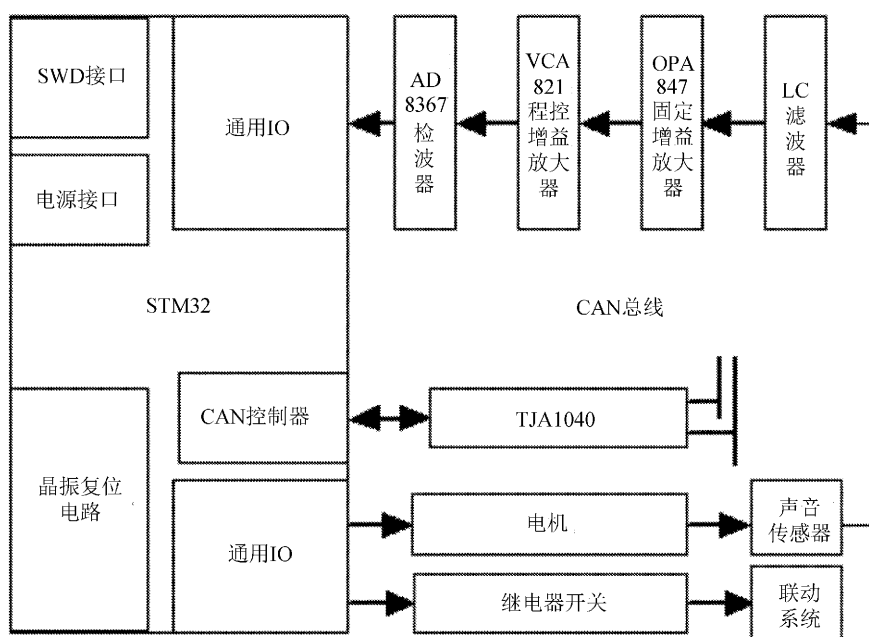


图 3 主控系统框图

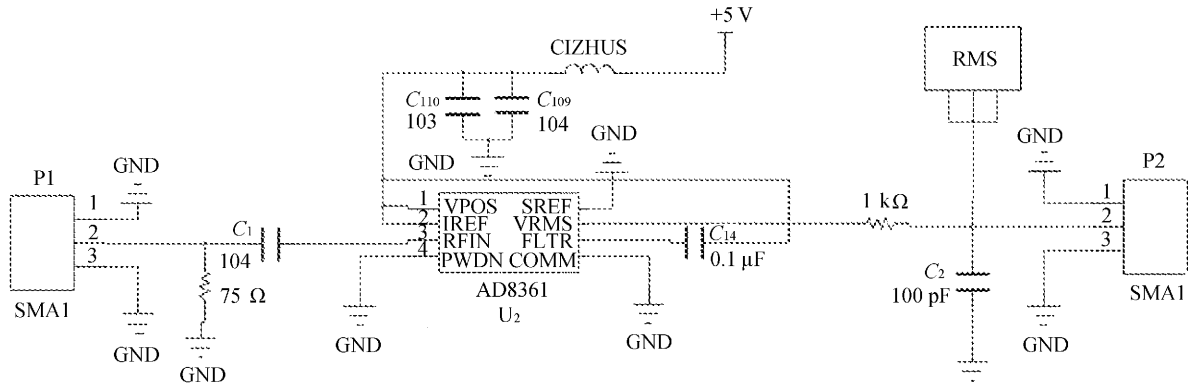


图 4 检波器电路图

主控系统有被控、主控两种工作模式。被控模式时,主控系统仅执行电脑端管理系统指令,调整声音传感器位置、执行报警动作,可通过模式选择键退出;主控模式时,各房间主控系统可独立通过声音传感器监测声强,通过电机调整传感器高度,声强达到算法约定超过阈值次数后,通过继电器开启报警、灭火系统。

2.3 WiFi 通信系统设计

WiFi 通信由 ESP8266 模块实现无线通信数据不失真传输,该模块可将用户的物理设备连接到 WiFi 无线网络上,进行互联网通信,实现短距离通信功能。

3 系统软件设计

本系统软件设计分为 STM32 主程序设计、电脑管理软件设计、手机 MB 终端应用程序设计三部分。主程序利用 C 语言在 RealViewMDK 工具下开发,电脑管理软件利用 Matlab 语言完成,手机 MB 终端应用程序采用 JAVA 语言完成。

3.1 主程序流程图

系统主控程序流程如图 5 所示。

主程序通过查询的方法接收数据,采用中断方式发送数据。

3.2 电脑管理系统算法设计

电脑管理系统由 Matlab 语言编写用户界面分为参数、接收、发送、控制、显示五个模块。参数模块用来配置参数;接收模块用于接收智能控制器发送过来的采样数据,通过仿生态神经网络群

BNNG 算法进行分类,并解析出每个智能控制器对应的具体 ID,用以精确定位火灾发生地点;显示模块用来显示各房间火灾预警状态;发送模块用来做人机交互设备,发送命令和火灾预警数据给智能控制器和手机终端;控制模块为用户操作区域,用于集中管理,分为被控模式和主控模式。

3.2.1 火灾声音特征量 AR 模型提取

室内安静环境下声音信号为平稳随机信号,设定智能控制器采样值为 $x(n)$, $n=0, 1, \dots, N-1$,采用 8 阶 AR 模型提取特征参数,利用 Yule-Walker 自相关算法计算系数,依据基本公式为最小平方时间平均准则:

$$\epsilon = \sum_{n=0}^{N+p-1} (e_p^+(n))^2 \quad (3)$$

$$e_p^+(n) = \sum_{i=0}^p a_{pi} x(n-i) \quad (4)$$

$$\epsilon = \sum_{i,j=0}^p a_{pi} \hat{R}(i-j) a_{pj} = a^T \hat{R} a \quad (5)$$

式中: ϵ —— 预测误差功率;

\hat{R} —— 取样自相关序列;

a —— AR[p]模型参数。

依据每秒采集 N 个样本,形成输入样本 x_k 。

3.2.2 分级预警等级设定

依据室内火灾预防标准,本次分 4 级预警,分别为 00 代表正常,01 代表预警,10 代表警告,11 代表火警。

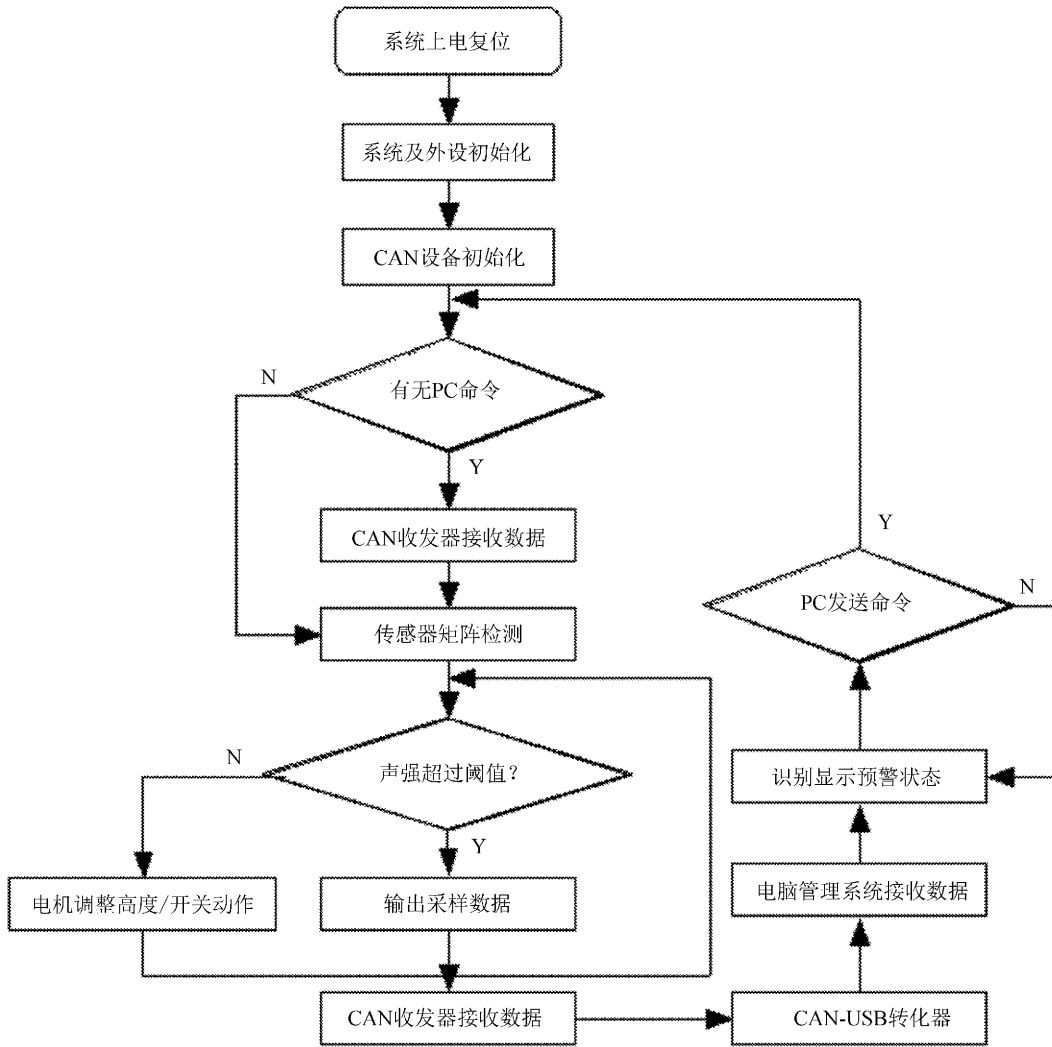


图 5 主程序流程图

3.2.3 分级预警算法设计

1) 对原数据矩阵进行平移和标准差变换, 形成样本数据, 具体如下:

$$x_{ik1} = \frac{x_{ik} - \bar{x}_k}{s_k} \quad (6)$$

$$\bar{x}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ik} \quad (7)$$

$$s_k = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_k)^2} \quad (8)$$

式中: x_{ik1} —— 每种输入数据在不同时段的 Z 分数;

\bar{x}_k —— 均值;

s_k —— 标准差。

$$x_{ik2} = \frac{x_{ik1} - \min\{x_{ik1}\}}{\max\{x_{ik1}\} - \min\{x_{ik1}\}} \quad (9)$$

其中 $i=1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, m$, 得到 $0 \leq x_{ik2} \leq 1$, x_{ik2} 为新的样本数据矩阵。

2) 确定主体 BP 神经网络类型, 分别训练, 误差的反向传播过程系统对 P 个训练样本的总误差准则函数为:

3) 确定激励网络, 单独训练。

$$E = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^p \sum_{k=1}^L (T_k^p - o_k^p)^2 \quad (10)$$

式中: o_k —— 输出层 K 节点输出;

T_k —— 输出层 K 节点目标输出。

4) 将集成网络输出进行聚类, 得到最终预警分级结果。聚类准则依据 $J(U, V)$ 最小值计算。

聚类准则依据 $J(U, V)$ 最小值计算。

$$J(U, V) = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c (u_{ik})^2 (d_{ik})^2 \quad (11)$$

式中: d_{ik} —— 欧式距离, $d_{ik} = \|x_k - c_i\|$;

u_{ik} ——隶属度。

对于未知的采样样本用贴近度来判别属于哪一类。

4 系统测试

4.1 测试环境

100 m² 房间安静环境,排除干扰因素,检测火灾前中后声音信号。

4.2 测试对象

依据室内火灾源种类,文中选择天然气泄漏作为火灾预警测试对象。

4.3 测试样本

学习、检验样本各 100 个,依据燃烧物和室内火灾国家标准制定 C 类火灾预警测试数据范围,进行 AR 模型参数提取,部分数据见表 1。

表 1 部分 AR 系数向量

向量	采样值 1	采样值 2	采样值 3	采样值 4	采样值 5	采样值 6	采样值 7	采样值 8
a_0	1	1	1	1	1	1	1	1
a_1	-2.221 4	-2.154 2	-2.982 5	-2.999 1	-2.922 6	-2.064 6	-2.571 5	-2.697 5
a_2	2.106 3	1.904 7	3.968	4.115 3	3.883 6	2.355 6	2.568 1	2.043 7
a_3	-1.917 6	-1.442 3	-2.915 7	-3.288 8	-2.942 1	-1.616 2	-0.959 4	0.430 98
a_4	1.627 1	1.050 1	1.225 2	1.755 6	1.390 5	0.936 73	-0.067 08	-0.773 05
a_5	-0.992 77	-0.745 07	-0.465 4	-0.917 06	-0.615 19	-0.886 17	-0.232 29	-0.661 78
a_6	0.658 86	0.670 88	0.302 51	0.524 25	0.337 26	0.673 53	0.477 49	0.951 58
a_7	-0.259 95	-0.283 06	-0.129 01	-0.187 84	-0.130 29	-0.382 55	-0.193 96	-0.293 65

4.4 测试方法

首先分析单种神经网络预警正确率,然后统计集成主体网络预警正确率,最后为加入激励网

络的整体 BNNG 网络的预警正确率,具体数据见表 2。

表 2 系统测试结果

序号	识别网络	隐层节点数	预警正确率/%			
			00	01	10	11
1	BP 误差反向传播网络	4,9	98	78	73	100
2	EBP 艾尔曼神经网络	5,12	96	83	75	92
3	TBP 时间延迟反向传播网络	6,10,14	100	88	80	100
4	主体网络		100	84	76	98
5	Perceptron 激励网络		94	55	68	90
6	整体网络		100	90	91	96

由表 2 数据可以看出,本系统最低正确预警率可以达到 90%,误警率控制在 10%以内,仿生生态神经网络群算法正确率高于单一神经网络,说明集成网络在平稳随机信号模式识别中具有一定的优势。

5 结 语

依据火灾产生过程中的声音信号进行分级预警,经过模拟测试,安静室内环境火灾预警精度能够达到要求,但在复杂声音环境的预警识别率存在不确定性,后期将会在声音特征量提取,预警模型方面做出新的改进,为智能化火灾预警设备研

制提供经验支持。

参考文献:

- [1] 吕秀江.基于聚类控制下多传感器数据火灾报警系统的实现[J].长春工业大学学报:自然科学版,2010,31(4):446-450.
- [2] 蒋亚龙,王进军.光声光谱火灾气体探测系统[J].中国安全生产科学技术,2012,8(2):23-28.
- [3] 李安琪.基于多传感器信息融合的高大空间火灾报警探测器研究[D].长沙:湖南大学,2014.
- [4] 蒋静学.基于燃烧音识别的火灾探测系统的设计[D].上海:东华大学,2012.
- [5] 张永梅,杜国平,邢阔.一种快速火灾识别方法[J].计算机与现代化,2016(3):58-63.
- [6] 赵亚琴.基于模糊神经网络的火灾识别算法[J].计算机仿真,2015,32(2):369-373.
- [7] 张然.基于模糊神经网络的火灾检测报警系统[D].成都:西华大学,2014.
- [8] 孙福志,于军琪,杨柳.火灾识别中RS-SVM模型的应用[J].计算机工程与应用,2010,46(3):198-200.
- [9] 李晓林.SOM神经网络应用于声目标识别系统的可行性分析[J].长春工业大学学报:自然科学版,2008,29(5):492-495.
- [10] 胡佳琳,蒋书波.基于光声光谱气体浓度检测系统的设计[J].仪表技术与传感器,2016(5):73-75.