

基于 ARM & μ C/OS-II 的火灾复合探测系统^①

李文江¹, 滕勇¹, 刘南², 张馨予³

¹(辽宁工程技术大学电气与控制工程学院, 辽宁 葫芦岛 125105)

²(吉林工业职业技术学院, 吉林 132013)

³(辽宁电力公司营口供电公司, 辽宁 营口 115002)

摘要: 以 ARM 嵌入式微处理器为处理芯片, 实时操作系统 μ C/OS-II 为软件平台, 设计了火灾气体复合探测系统。该系统复合探测了火灾早期的表征气体 CO、CO₂, 通过模糊 C 均值聚类算法的优化迭代, 更准确地确定真假火灾的最佳聚类中心, 将基于过程特征的火灾判据移植到该系统, 完成了系统调试。实验证明, 系统能够很好的实现火灾的早期报警, 具有高辨识力, 大大降低了火灾报警的误报与漏报率, 较普通报警系统提前 5 分钟。

关键词: ARM; 过程特征; 复合探测; 模糊聚类; μ C/OS-II

Fire Compound Detection System Based on ARM & μ C/OS-II

LI Wen-Jiang¹, TENG Yong¹, LIU Nan², ZHANG Xin-Yu³

¹(Department of Electrical and Control Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125000, China)

²(Jilin Vocational College of Industry and Technology, Jilin 132013, China)

³(Yingkou 115002, China)

Abstract: Based on the ARM embedded microprocessor and real-time Operation System μ C/OS-II, we develop a fire compound detection system which detects the the gas of CO and CO₂ in the early time when fire happens. Cluster the fire feature with the fuzzy C-means clustering and decide the center of clusters and then report the fire process features based on the fire criterion to the system. The system debugged them successfully. The results of experiments proved that the system can do well in early alarm. It has high identified ability and can decrease the rate of false or missing alarm signedly. Compared to normal system this system can alarm earlier for about 5 minutes.

Keywords: ARM; process information; complex detection; fuzzy clustering; μ C/OS-II

1 引言

传统的火灾探测方法建立在简单的数学模型上, 其算法简单、智能化程度低。如只判别某几个单独时刻的火灾参量, 而因外界环境的干扰, 误报或漏报几率较大, 且难以实现火灾早期的判断与报警。

针对以上问题, 采用复合算法及模糊聚类的智能算法对火灾过程特征参数进行模式识别, 设计了一种适合于火灾早期实时报警的火灾判据, 不仅可以准确、可靠的进行火灾探测, 而且可以提前火灾报警时间。

系统中, 气体传感器所获取的信号通过总线传输到探测器中, 由单片机微处理器对所获取的数据进行

分析判断。但是单片机 CPU 自身资源的不足, 已不能满足日渐复杂的大数据量的需求。尤其其内存小, 针对基于过程特征的火灾判据的复杂算法, 有明显的局限性, 效率明显低。故采用高性能的 ARM 嵌入式微处理器以及嵌入式 μ C/OS-II 操作系统对火灾复合探测系统进行改进, 从而提高火灾探测系统的整体性能。

2 火灾复合探测技术

2.1 复合探测技术概念

复合探测技术是指实施多元同步探测, 在同一探测器中实现两种或两种以上不同类型探测器功能协调

^① 收稿时间:2010-06-04;收到修改稿时间:2010-07-08

的复合, 并进行实时信号处理。

本文以火灾早期中 CO 和 CO₂ 两种气体为复合探测对象, 以它们的浓度比值和比值上升速率作为早期模糊模式识别的特征参数, 通过模糊 C 均值聚类算法的优化迭代, 更准确地确定真假火灾的最佳聚类中心, 进一步通过模糊模式识别判断各类火灾是否真实。

由于复合探测技术不是原有单一参数火灾探测器的简单组合, 而是智能协调, 所以它不仅克服单一火灾参量漏报、误报率高的缺点, 而且可以识别由虚假火灾信号导致的误报。模糊 C 均值聚类算法消耗内存小, 运行速度快, 收敛快, 能快速有效地处理大量数据, 使得火灾早期探测的时间缩短, 从而实现早期报警。

2.2 模糊 C 均值聚类算法

模糊 C 均值聚类算法将硬划分方法中“距离平方和最小”扩展为“加权广义欧氏距离平方和最小”, 建立全体样本对全体类别(聚类中心)加权广义欧氏距离平方和最小为目标函数的非线性规划模型。模糊 C 均值聚类算法的必要条件是

$$u_{ik} = \frac{1}{\sum_{i=1}^c (\|x_k - v_i\| / \|x_k - v_j\|)^{1/m-1}}, 1 \leq i \leq c \quad (1-1)$$

$$v_i = \frac{\sum_{k=1}^n (u_{ik})^m \cdot x_k}{\sum_{k=1}^n (u_{ik})^m}, 1 \leq i \leq c \quad (1-2)$$

算法流程如图 1 所示, 具体步骤如下:

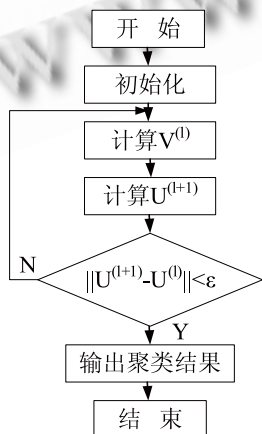


图 1 算法流程

步骤 1: 给定数据集 $X = \{x_1 x_2 \dots x_n\} \subset R^s$, n 是数据个数, 以及聚类类别数 c 和 m , $c \in \{2, 3, \dots, n-1\}, m \in [1, \infty)$; 设定迭代停止阈值 ϵ , 设置迭代计数器 $l = 0$, 初始化模糊划分矩阵, $U^{(l)} = [U_{ik}]_{c \times n} \in M_{fc}$

步骤 2: 利用式子(1-2), 计算或更新聚类中心 $V^{(l)}$,

步骤 3: 将上步中 $V^{(l)}$ 结果代入到式子(1-1)中, 计算 $U^{(l+1)}$,

步骤 4: 若 $\|U^{(l+1)} - U^{(l)}\| < \epsilon$, 则停止算法, 否则令 $l = l + 1$, 返回步骤 2。

气体探测更灵敏、更直接, 抗干扰性更好, 更适合于火灾早期探测, 故以 CO、CO₂ 气体作为火灾早期的表征气体。建立了火灾早期探测的实验系统, 针对各种真假火灾进行了大量的加热燃烧实验, 对实验过程中 CO、CO₂ 气体的过程特征进行提取, 以 CO、CO₂ 气体浓度的比值与比值上升速率作为火灾早期的过程特征参数进行模糊聚类与模糊识别数据处理。

3 火灾复合探测系统的设计

3.1 系统硬件设计

3.1.1 系统总体结构

火灾复合探测系统的总体结构如下图所示:

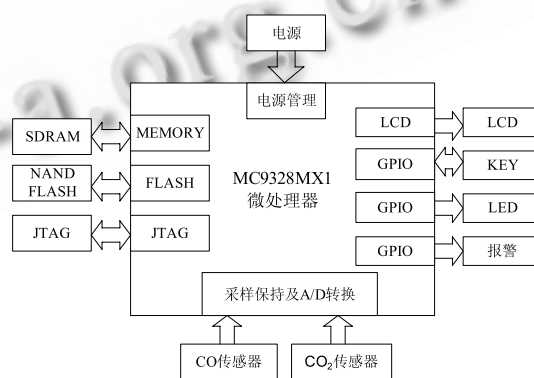


图 2 火灾复合探测系统总体结构

两路气体探测传感器信号经采样保持、A/D 转换送入 ARM 微处理器, ARM 微处理器通过计算浓度比值及比值上升速率获得早期火灾的过程特征, 并进行模糊聚类分析及模糊识别, 根据处理器的判断而决定是否报警及紧急处理, 同时进行 LCD 同步显示, 从而实现火灾早期实时、准确报警。

探测传感器选用 7E/FCO 变送模块和 6004 红外 CO₂ 传感器模块,完成实时探测火灾早期的 CO 和 CO₂ 气体浓度。

3.1.2 MPU 选择

本系统主控制芯片选用 Motorola 公司生产的 MC9328MX1,它嵌入了先进低功耗的 ARM920T 核,工作时钟高达 200MHz,且因 MC9328MX1 集成了众多外围设备,故降低了整个系统的功耗。具有 32 位数据和地址总线,能提供海量的存储空间(232=4G),大多数数据操作都在寄存器中完成,指令执行速度更快,使系统具有高速计算的能力。32 位 RISC 架构的高性能 ARM 处理器其体积小、功耗低、成本低,支持 Thumb (16 位)/ARM 双指令集,兼容 8 位/16 位系统。指令长度固定,寻址方式简单,执行效率高,且有丰富的嵌入式功能模块及 I/O 接口。

3.1.3 存储器设计

FLASH 选用两片 Intel 公司的 28F320J3A 芯片,并联后作为系统的程序存储器。该芯片容量为 32Mbit (4MB),总容量为 2 x 32Mbit=64Mbit(8MB),16 位数据宽度,以 16 位方式进行操作,工作电压 3.3V,通过写入内部命令寄存器标准命令序列来进行擦除、烧写操作。

为获得 32 位的操作性能,将两片 28F320J3A 并联后于 MX1 连接,其各自与数据总线的高低 16 位相连,构成 32 位 FLASH 存储系统。共用 MX1 的 CS0 片选连接各自的 CE0 片选,CE1、CE2 接地,占用 MX1 的 32MB 空间。将 MX1 的读和写选通 OE、EB 分别与 28F320J3A 的读、写选通 OE、WR 连接。因其工作在 16 位方式,故 BYTE 必须上拉,且每次以字的方式进行数据访问,需将 MX1 的地址线[A2~A24]与两片 28F320J3A 的地址线 A0 相连。

SDRAM 选用 Samsung 公司生产的 K4S281632,它具有自动刷新和自刷新功能。因操作系统对多任务的并行维护要占用大量数据存储器故选用两片 K4S281632,总容量为 2 x 16MB=32MB。使其工作在 16 位操作方式。

MX1 的 A[02~10, A11]依次与 K4S281632 的 A[00~08, 11]相连,MX1 的 MA[10~11]与 K4S281632 的地址线 A[09~10]相连。而 MX1 的 A[12~13]与 K4S281632 的 BA0、BA1 相连,并将两片 SDRAM 同时接入 CSD0,占用同一片 32MB 的地址区间。两片

K4S281632 的数据线分别与 MX1 的高低 16 位数据线相连,使其工作在 16 位操作方式,并获得 32 操作性能。其余控制接线按照功能一一连接。

通过 GPIO 口扩展了键盘、LED、LCD 和蜂鸣器等人机接口单元,具有 UART 等通信接口及 JTAG 在线调试接口。

3.2 系统软件设计

3.2.1 μ C/OS-II 的移植

μ C/OS-II 是移植性很强的操作系统,其源代码分为与硬件有关与无关两部分,移植中只需修改与硬件有关的部分。移植 μ C/OS-II 主要包括以下几项工作:

(1) 修改数据类型

μ C/OS-II 不使用如 int、char 等与处理器字长有关的数据类型,而使用经过宏定义的通用类型,定义映射如下:

```
typedef unsigned char BOOLEAN;
```

```
typedef unsigned char INT8U;/无符号 8 位整数;
```

```
typedef signed char INT8S;/有符号 8 位整数;
```

```
typedef unsigned short INT16U;/无符号 16 位整数;
```

```
typedef signed short INT16S;/有符号 16 位整数;
```

```
typedef unsigned int INT32U;/无符号 32 位整数;
```

```
typedef signed int INT32S;/有符号 32 位整数;
```

```
typedef float FP32;/单精度浮点数;
```

```
typedef double FP64;/双精度浮点数;移植时映射成正确的类型即可。
```

(2) 进入和退出临界段

用关闭和打开中断的方式实现进入和退出临界段的函数 OS_ENTER_CRITICAL 和 OS_EXIT_CRITICAL()。

(3) 设置堆栈生长方向

通过设置 OS_STK_GROWTH 的值来满足不同的处理器堆栈的生长方向。

(4) 堆栈的初始化

由 OSTaskCreate() 或 OSTaskCreateExt() 调用 OSTaskStkInit 函数,处理器的所有寄存器被推入堆栈。OSTaskStkInit 函数的原形为:

```
OS_STK*OSTaskStkInit(void(*task)(void*pd),void*pd,OS_STK*ptos,INT16U opt);
```

(5) 任务的切换和调度

进行任务的切换和调度方式有两种,一是当前运

行任务主动调用调度函数 `OSSched()`，如果有更高优先级的任务要运行，就将其切换到就绪态，并调用 `OS_TASK_SW()` 产生一个软中断向量指向函数 `OSCtxSw()`，在该函数中修改任务堆栈，运行新的任务。二是产生硬件中断后，在中断处理子函数中调用函数 `OSIntEx()` 完成任务的切换与调度。

(6) 时钟节拍中断

$\mu C/OS-II$ 中时间延迟和超时功能用时钟节拍中断实现，定时频率设在 $10\sim 100\text{Hz}$ 。设置定时器的代码是与 CPU 相关的，中断向量须指向 $\mu C/OS-II$ 的时钟节拍中断服务子程序 `OSTickISR()`。

移植完内核，再建立文件系统，编写外部设备驱动程序，规范相应 API 函数。即可实现一个相对完整、实用的嵌入式实时多任务操作系统(RTOS)。各应用以任务函数形式在内核基础上编写，由内核统一管理调度。

4 系统测试结果

通过 JTAG 接口利用 J-link 将程序下载到 RAM，在 AXD 调试环境下进行程序的在线仿真与调试。调试成功后将系统程序固化到 FLASH 中，并对几种真假火灾进行模拟实验。真火灾中，CO 和 CO₂ 浓度上升趋势明显，浓度比值也逐渐增大，而假火灾中，CO 气体浓度小，CO₂ 浓度变化幅度也不大，故其浓度比值并无规律，且幅度小。其波形图如下所示：

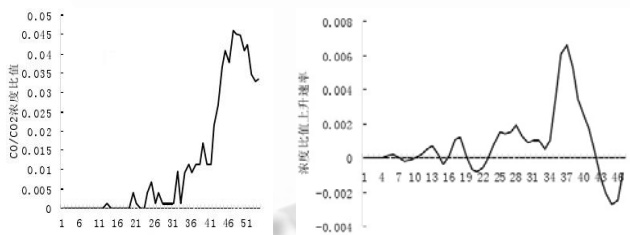


图 3 新闻纸 CO/CO₂ 浓度比值曲线与比值上升速率曲线

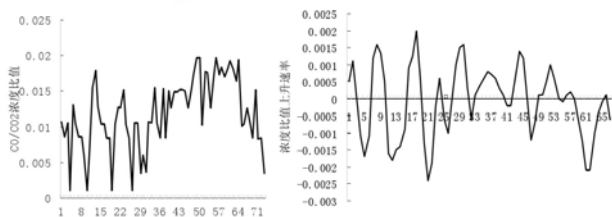


图 4 卫生香 CO/CO₂ 浓度比值曲线与比值上升速率曲线

在新闻纸实验室中，火灾气体复合探测系统将过程特征参数经模糊模式识别，在燃烧第 19 分钟即报警，而离子、光电感烟探测器均在第 24 分钟才给报警，感温探测器并无不报警。实验证明，火灾气体复合探测系统比传统火灾探测器的报警时间大大提前。

在卫生香假火灾实验中，火灾气体复合探测系统将过程特征参数经模糊模式识别，没有报警。实验证明，火灾气体复合探测系统对早期阴燃火具有较强的判断能力，能够克服外界干扰因素的影响，其环境适应能力较强。

5 结束语

针对传统探测方法难以实现早期报警，及易产生漏报、误报等现象，本文设计了基于 ARM 嵌入式微处理器和实时多任务操作系统 $\mu C/OS-II$ 的火灾气体复合探测系统，以 CO 和 CO₂ 气体为探测气体，并以其浓度比值和比值上升速率作为过程特征参数。基于火灾早期的过程特征，将聚类分析和模糊理论相结合，利用模糊划分的模糊 C 均值聚类算法，对火灾早期的过程特征参数进行聚类分析，进而对火灾过程特征数据进行真、假火灾两种类别的模糊模式识别。ARM 的处理能力提高了系统的实时性， $\mu C/OS-II$ 的移植增强了系统的稳定性与扩展能力。实验结果表明本系统对早期阴燃火具有较强的响应能力，并能抵抗虚假火灾的干扰，准确进行火灾报警，提前了火灾的报警时间，有效降低了火灾带来的损失。

参考文献

- 1 黄湘莹,张认成. CO/CO₂ 体积分数分析在火灾早期探测中的应用.消防科学与技术, 2005,24(5):588-591.
- 2 邵贝贝.嵌入式实时操作系统 ucos-II.北京:北京航空航天大学出版社, 2003.
- 3 王殊,窦征.火灾探测及其信号处理.华中科技大学出版社, 1998.
- 4 沈传锋,张沛,黄洪全.32 位 ARM 嵌入式火灾报警控制器的研究.消防技术与产品信息, 2007(1):40-41.
- 5 谢维信,高新波.模糊聚类理论发展及其应用.中国体视学与图像分析, 1999,4(2):113-119.
- 6 胡宝清.模糊理论基础.武汉:武汉大学出版社, 2004: 1-2,162-163.