

基于 ARM9 的嵌入式火灾预警系统的设计与实现^①

Design and Implementation of Embedded Fire Warning System Based on ARM9

旷尤毓 王玲 刘静 (湖南大学 电气与信息工程学院 湖南 长沙 410082)

摘要: 设计了一种基于 ARM9 的嵌入式火灾预警系统,在 ARM9 上完成了视频图像的采集,火情识别和 GPRS 图像传输等功能的相应的系统构建和软件实现。改进的基于小波分析、混合高斯模型、RGB 和 HIS 模型的火情识别算法能很好的排除干扰,准确判断火情。

关键词: Arm-Linux V4L GPRS 火情识别算法

火灾往往给人们的生命财产造成巨大的危害。传统的基于感温、感烟、感光的火灾预警系统在大空间、大面积、环境比较恶劣和室外偏远环境等场所无法发挥作用,常常发生误报。本文结合嵌入式技术、数字图像处理技术和无线传输技术,设计了一种火灾预警系统,实现自动采集图像,智能火情识别的功能,在发现火情的情况下自动报警和利用 GPRS 传输现场火情图片。这样的系统能有效降低火灾误判率和减少监控人员工作,可用于森林火灾预警,有一定的实用价值。

1 系统总体结构

本系统由监控终端、GPRS 通信模块和监控主机三部分组成。监控终端由高性能的 ARM9 处理器(S3C2410)、USB 摄像头组成,监控主机是一台运行监控管理软件的 PC 机。摄像头获取图像和数字化输出,通过 USB 接口传送到 S3C2410 处理器,处理器利用相应的火情识别算法进行实时处理,若判定为火灾则将火灾图片通过 GPRS 模块发送到监控主机并发出报警信号。其结构框图如图 1 所示。

2 系统硬件设计

2.1 S3C2410 嵌入式微处理器

三星公司的 S3C2410 是一款基于 ARM920T 核

的 32 位 RISC 微处理器,其主频可达 203MHz,内部带有全性能的 MMU,该处理器集成了 64M SDRAM、64M Nand Flash、标准串口、USB HOST、RJ-45 网卡等,性价比较高,能很好的适用本系统的性能需求^[1]。

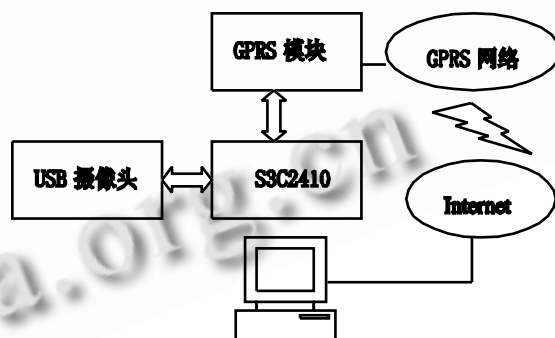


图 1 系统结构图

2.2 USB 摄像头

Linux 内核驱动支持 OV511 芯片摄像头,但这种摄像头采集效果不理想。本系统采用的是市场上广泛使用的中芯微公司的 ZC301 芯片的摄像头,该摄像头采用的 CMOS 传感器,提供良好的图像处理和对接口功能,价格低廉,性能高,这种摄像头采用的是硬件压缩方式,截取的图像是 JPEG 格式,这样可以大大减少由于软件压缩所耗费的时间。

① 收稿时间:2009-01-14

2.3 GPRS 通信模块

本系统利用 GPRS 网络进行无线通信, GPRS 在分组交换模式下发送和接收数据, 接入范围广, 可充分利用全国范围的电信网络, 不用考虑信道维护问题, 传输速率高, 监测时实时性好^[2]。使用 ARM 控制 GPRS 模块进行数据传输一般有两种方式: 一是在移动 GPRS 网内利用 APN 业务进行点对点传输; 二是使用 GPRS 模块登陆 GGSN 网关, 通过无线上网方式将数据传到远程具有固定 Internet 公网 IP 的 PC 机上。基于实时性和准确性的考虑, 本系统采用方式二和 TCP 协议进行数据传输。

SIM100-E 模块, 是 SIMCOM 公司推出的 GSM/GPRS 双频模块, 集成了完整的射频电路, 内嵌了 TCP/IP 协议栈, 提供了标准的 RS-232 串行接口, 屏蔽了 GPRS 模块的复杂接口方式和接口协议栈, 用户可以通过 AT 指令完成对模块的操作。模块支持外部 SIM 卡, 自动监测和适应 SIM 卡的类型。

3 软件设计

本系统采用 ARM-Linux(Linux2.6.14)作为操作系统, 其移植过程本文不进行详细描述。

3.1 USB 摄像头驱动程序

由于采用 ZC301 芯片的摄像头, Linux 中并未包括这种摄像头的驱动, 因此必须针对嵌入式 Linux 环境打入摄像头驱动补丁文件 usb-2.6.12LE06.patch.tar.gz。将该文件解压缩, 然后放入 /kernel2.6.14/drives/usb 目录, 用命令 patch-usb < usb-2.6.12 LE06.patch 将补丁打入内核, 进入内核配置时, 选中 usb support 中的 support spca5xx camera 和 multimedia devices 中的 video for linux 目录。

3.2 图像数据采集应用程序的编写

图像数据采集在嵌入式 Linux 平台上用 Video4Linux(V4L)实现, Vidio4Linux 是 Linux 中关于视频设备的内核驱动, 它为视频设备的应用编程提供一系列接口函数, 用户通过 open, ioctl, read 等一系列函数实现图像采集。实现过程如下: 调用 open 函数打开视频设备对应的的设备文件, 然后通过 ioctl 函数来获取设备的相关信息, 读取图像信息, 修改图片中的 depth=8 对应 JPEG 格式, 并设置图片大小为 320*240, 然后调用 realloc 函数, 返回图片内存空

间的首地址, 最后调用 read 函数直接读取设备得到图像。

3.3 GPRS 模块的配置

模块内嵌了 TCP/IP 协议, 可以通过 AT 指令控制模块建立 TCP 连接, 发送数据, 具体步骤如下:

(1) 串口设置, 设置波特率等。

(2) 用 AT+CSTT 命令初始化, 用 AT+CIICR 指令激活移动场景(即 GPRS 附着和激活 PDP 上下文)。

(3) TCP 连接: AT+CLPORT 命令指定本地端口, 用 AT+CIPSTART 命令连接监控主机, 连接成功返回 CONNECT OK。

(4) AT+CIPSEND 命令发送数据。

(5) AT+CIPCLOSE 命令关闭连。

3.4 火情识别算法

火情识别算法是整个系统的关键。在阴燃烧阶段没有直接的明火但会产生烟雾, 烟雾检测可以实现最早期的报警, 但室外的夜晚一般很难检测到烟雾, 但可以检测物质燃烧时产生的火焰^[3]。所以基于数字图像处理火灾识别算法包括烟雾模型和火焰模型。判断监测区域是否有火灾的过程分为三个阶段: 一阶段是异常情况检测, 判断是否有可疑情况; 第二阶段是基于烟雾和火焰颜色的判断, 提取火焰和烟雾图像; 第三阶段是特征检测, 根据火焰和烟雾的动态特征判断是否有火灾发生。算法流程图如图 2 所示。

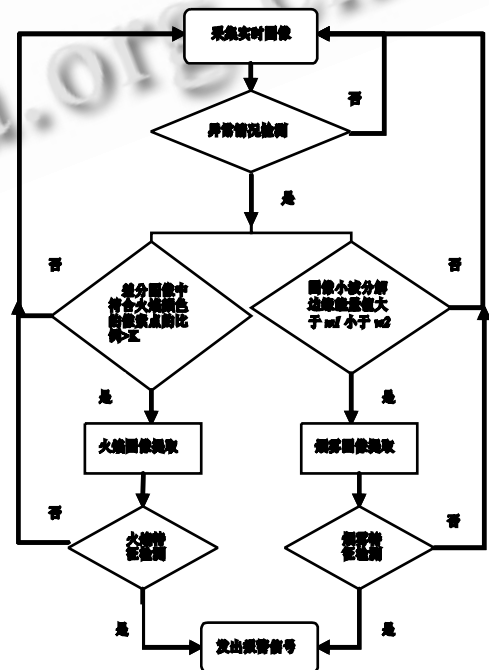


图 2 系统流程图

3.4.1 异常情况检测

大部分时间里,摄像头采集的背景图像都是比较一致的,所以可以先用简单的差分算法作初步判断,如果有异常情况再做细致复杂的检测。差分算法主要用来检测同一场景中的两幅图像之间的变化^[4]。

$$\Delta f_i(x,y) = f_i(x,y) - f_0(x,y) \quad (1)$$

其中, $f_0(x,y)$ 为参考图像,即上一时刻判断为无火灾时的图像,参考图像应该定时更新,若有异常情况 $\Delta f_i(x,y)$ 大于 T 时,系统再做进一步判断。

3.4.2 烟雾、火焰图像提取

火灾发生时,烟雾的大面积扩散会挡住背景图像中大面积物体的边缘,检测图像比参考图像要模糊,相应的边缘值的小波系数会变小。因此,当有异常情况发生时,可对可疑图像进行小波变换,通过检测图像中物体的边缘小波系数值判断是否有烟雾发生。图像小波边缘能量值为:

$$w(x,y) = |h(x,y)|^2 + |v(x,y)|^2 + |d(x,y)|^2 \quad (2)$$

式中 $h(x,y)$ 、 $v(x,y)$ 和 $d(x,y)$ 分别为小波分解后的水平、垂直和对角方向的边缘值。当前图像与参考图像能量差值为

$$\Delta w_n = w_n(x,y) - w_0(x,y) \quad (3)$$

式中, $w_0(x,y)$ 为参考图像 $f_0(x,y)$ 的小波边缘能量值, Δw_n 反映了当前时刻图像边缘信息的减少量,当图像边缘信息的减少量大于某一阈值 w_1 时,判定发生烟雾。在实际情况中,浓雾天气和其他视频模糊情况可引起边缘信息的大量减少,因此还需设定 w_2 作为阈值的上限。

颜色是烟雾的重要特征,由于烟雾对光有反射作用,所以周围的环境对烟雾的颜色有影响,所以通过在 RGB 空间建立一个混合高斯模型来检测烟雾像素。这样系统可以适应环境的变化且更有效的检测出烟雾。首先合理地选用烟雾图片建立 k 个高斯模型,让这些 k 个高斯模型尽量包括所有的烟雾颜色的主色调,防止漏色;其次要选用大量的烟雾图片来训练这些模型,使这些模型达到最优化;最后用这些训练好的混合高斯模型来检测视频图像,提取烟雾图像^[5]。具体实现过程如下:

① 混合高斯模型的建立

先初始化模型 $u_i(\vec{x}, n, \vec{\Sigma})$, 用第 1 个烟雾颜色像素作为均值 \vec{u} , 给一个较大方差 σ^2 , 较小的权值 ω 初始化第 1 个高斯模型。然后取下一个烟雾像素与已有的

高斯模型进行匹配,若都不匹配,则增加一个新的混合高斯模型。

② 高斯分布匹配

当前像素点的颜色与它现有的第 i 个高斯分布按优先级从高到低依次进行匹配,直到找到一个匹配的分布为止,与第 i 个分布匹配的条件是:

$$|\vec{x}_g - \vec{u}_{i-1}| < 2.5\sigma_i$$

若有匹配的模型,则更新该模型的均值和方差:

$$\vec{u} = (1-\beta)\vec{u} + \beta\vec{x} \quad (4)$$

$$\sigma^2 = (1-\beta)\sigma^2 + \beta(\vec{x}-\vec{u})^T(\vec{x}-\vec{u}) \quad (5)$$

σ, β 为学习率, σ 为常数, β 的计算公式为

$$\beta = \sigma\eta(\vec{x} | \vec{x}, \sigma) \quad (6)$$

权值更新公式如下:

$$w_i = (1-a)w_i + aM_i \quad (7)$$

M_i 为第 i 个模型的匹配标志,匹配的分布 $M_i = 1$, 否则为 0。优先级的更新公式如下:

$$p_i = \frac{w_i}{\sigma_i} \quad (8)$$

当所建立的高斯模型数量达到上限时,仍没找到匹配的模型,则将优先级最小的模型去除,引入一个新的高斯模型,并赋予较小的权值和较大的方差,然后更新所有的的权值。用选取的烟雾图片训练好模型后,就可以进行颜色判断和烟雾像素提取,用建立好的高斯模型判断视频图像中每个像素,提取烟雾图像。如图 3、4 所示。



图 3 烟雾图像



图 4 烟雾提取结果

火焰图像具有明显的颜色特征,因此在进行火焰提取时,可采取基于火焰颜色特征的提取。尽管不同燃烧情况下的火焰会呈现暗红色、红色、橙色、黄色、白色、蓝色等不同的颜色,但它常常显示由红过渡到黄的颜色。火焰的色彩特征可规则描述为 RGB 空间: $R \geq G \geq B$ 。HSI 空间: $0^\circ \leq H \leq 60^\circ$, $0.2 \leq S \leq 1$, $100 \leq I \leq 255$ 。其中, H 的取值范围为 $0^\circ \sim 360^\circ$, S 的取值范围为 $0 \sim 1$, I 的取值范围为 $0 \sim 255$ ^[3]。像素点的 RGB 值与 HSI 值同时满足以上条件,则判定

为火焰像素。火焰图像的提取如图 5、6 所示。



图 5 火焰图像 图 6 火焰提取结果

3.4.3 特征检测

在作特征检测前将提取的图像做二值化处理，将符合烟雾颜色和火焰颜色模型的像素点设为 1，其它点设为 0。

① 面积扩大

这是因为火灾发生后，火焰和烟雾面积呈现连续的、扩展性的增加趋势。一般的发光物体和烟雾颜色相近的物体，由于其位置相对于摄像头的位置是固定不变，它的面积是没有变化的。面积用二值化图像中像素点为 1 的个数来表示。增长率的计算公式为

$$\Delta A_{di} = \frac{dA}{dT} = \frac{A_{i+k} - A_i}{T_{i+k} - T_i} \quad (9)$$

其中 A_i 、 A_{i+k} 分别为第 i 帧和第 $i+k$ 帧的火灾图像面积，用像素点的和表示，时间间隔可以用帧数间隔表示。本文中取连续 10 帧的面积增长率。

② 重合率特性

火焰和烟雾图像相邻两帧间存在相似性，相似性可以用重合率来表示^[4]。比较相邻帧图像矩阵中 1 的像素点，计算出重合率。计算公式如下：

$$\varepsilon = \frac{\sum_{(x,y) \in \partial} a(x,y) \cap b(x,y)}{\sum_{(x,y) \in \partial} b(x,y)} \quad (10)$$

式中： ε 为连续两帧二值化图像中值为 1 的点。重合率必须在 0.1~0.8 之间。如果小于 0.1，主要考虑到移动物体的影响，因为火灾一般只在原位置基础上的扩散，而不会在原处消失，在另一处出现；当序列图像上的重合率大于等于 0.8 时，不是火灾，应视为干扰光源或其他干扰物体以排除。

4 系统测试和分析

监控端软件采用 VC++ 编写。系统采集一帧图像的时间约为 38ms，图像清晰。在下午网络相对拥挤的情况下系统通过 GPRS 模块传输一张图片的时间为 1.38 秒。系统分别对行走中的人，明亮的灯光和火灾等场景进行测试，测试结果显示该系统能很好的识别火情。

参考文献

- 1 吴云祥. 物资仓库火灾自动报警系统设计. 工业控制计算机, 2007, 20(8): 15 - 17.
- 2 徐帆, 袁杰. 基于视频的嵌入式森林火灾预警系统. 计算机应用, 2008, 28(1): 264 - 266.
- 3 Chen TH, Wu PH, Chiou YC. An Early Fire-Detection Method Based on Image Processing. IEEE, 2004: 1707 - 1710.
- 4 Xu ZG, Xu JL. Automatic Fire Detection Based on Image Visual Features. IEEE, 2007: 316 - 319.
- 5 邓彬, 刘辉, 连国云, 陈静. 基于视频的烟雾检测. 长沙大学学报, 2007, 21(5): 87 - 89.