

# 基于 DSP 的火灾图像识别系统设计及应用

刘晓明, 仲元红, 欧静兰

(重庆大学 通信工程学院, 重庆 400044)

**摘要:** 现有基于火灾图像识别的报警系统一般采用前端摄像头与视频采集卡的结构, 然后由传输网络把图像传输到后台计算机进行处理识别、报警等工作。文中设计了一种 DSP + FPGA 的硬件系统结构, 利用火灾图像独有的特征, 用图像处理的方法提取这些特征值, 并利用神经网络对火灾进行判别的软件系统。这些处理都在终端进行, 减少了监控台的负担。实验结果表明, 该系统与传统系统相比, 更进一步减少了误报率且具有价格低、响应快、监控范围广、不用更换网络等优点。

**关键词:** 火灾识别; DSP; FPGA; 监控系统

**中图分类号:** TP391.41

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2006)06-0095-03

## Design and Application of Fire Images Recognition System Based on DSP

LIU Xiao-ming, ZHONG Yuan-hong, OU Jing-lan

(Communication Engineering College of Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** The architecture of the existing fire images are recognition system is generally composed of stylus and video acquisition card, and then the images are transferred to backstage computer to be deal and so on. So design a kind of new architecture based on DSP + FPGA, and extract the characteristic of fire images using image processing, and then the characteristics are used to recognize the fire using neural network. These processings are done on the terminal, so the burden of backstage computer is decreased. The result is indicated that the system can decrease the error rate further, respond more quickly, monitor more widely and does not need change the existing network than traditional system.

**Key words:** fire recognition; DSP; FPGA; monitoring system

### 0 引言

火灾对人类危害巨大, 若能在火灾发生初期就进行识别报警, 则可以减少各种损失。目前许多火灾探测系统都是采用传统感温、感烟、光电等传感器<sup>[1]</sup>, 这种系统有很多缺点, 误报率非常高, 而且这种系统不能掌握火灾现场的情况, 不能依靠其来进行实时调度等工作, 虽然其单个传感器价格较低, 但是由于每个监控范围小, 必须安装多个各种传感器才能有稍微较好的性能。目前也有基于图像处理的火灾监控方法<sup>[2,3]</sup>, 但是由于采用专用红外 CCD 传感器, 价格也较昂贵, 或者采用普通 CCD 传感器, 但是由于涉及到个人的隐私问题, 所以某些场合也不实用, 并且对于图像采集一般采用摄像头与图像采集卡或者摄像头加图像译码器的结构, 然后再把采集的图像传输到后台进行处理。基于以上情况, 构建了基于 DSP + FPGA 的红外视频图像的智能火灾识别系统终端, 采用普通 CMOS 图像传感器, 并由红外滤光片滤掉可见光干扰, 得到近红外的火灾图像, 再由 FPGA 对图像进行高速采集, 并由

DSP 进行火灾图像的特征提取以及火灾判别, 最后把火灾信息传送到二总线网络。由于不传回火灾现场图像, 仅对现场信息, 如着火位置坐标、燃烧情况等信息进行描述, 所以不涉及隐私问题, 而且在监控室还可以获得火灾现场信息。采用这种方式, 具有成本低、监控范围广、响应时间快、误报率低, 并且可以使用传统的二总线网络, 不需更换网络等多种优点。

### 1 方案设计

如图 1 所示, 整个监控系统由 3 部分组成: 监控终端、传输网络、主控台计算机。后台计算机为管理员操作平台, 系统管理员可以登记授权前端机, 将其安装到监控系统中。根据不同的要求, 系统管理员完成对监控终端的参数配置, 并且接收监控终端传回的信息并保存在本地数据库中, 供将来资料保存、检索、处理使用, 当有火灾发生时, 后台计算机还要完成实时调度的工作。传输网络使用现有的传统系统的二总线网络, 这样可以很好地与传统系统兼容, 不需要更换网络, 后台计算机按照轮询的方式访问各个终端。前端的监控终端为监控系统的核心组成部分, 监控终端安装在监控现场, 它按照主控计算机的参数要

收稿日期: 2005-09-27

作者简介: 刘晓明(1964-), 男, 重庆人, 博士, 教授, 研究方向为软件无线电及图像处理。

求,完成对现场图像的采集,并且对采集图像实时处理,所以下面重点介绍监控终端的软硬件设计。

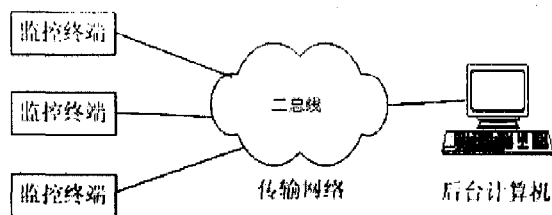


图 1 监控系统构成

## 2 终端硬件设计

监控终端主要完成图像的采集与实时处理,是系统核心部分,运算量大,基于此,设计了 DSP + FPGA 的系统硬件结构,如图 2 所示。

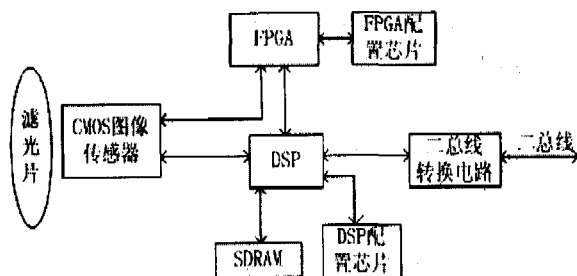


图 2 监控终端硬件结构

### 2.1 主处理器简介

主处理器采用 TI 公司于 2003 年新推出的 TMS320VC5502,价格非常低廉,但其主频却高达 300MHz,内部带双 MAC 单元,峰值处理能力可达 600MIPS,可以适用于图像处理,功耗也非常低。对需要更大温度范围的工业应用,C5502 可支持  $-40^{\circ}\text{C}$  至  $85^{\circ}\text{C}$  的温度范围。此外,C5502 还提供丰富的外围功能<sup>[3]</sup>,包括:

- \* 32 kW DARAM 和 16kROM。
- \* 32 位外部存储器接口 (EMIF),可与 ASRAM, SRAM, SDRAM 等存储器无缝连接。
- \* 16/8 位加强型主机接口 (HPI)。
- \* 6 信道直接内存存取 (DMA),支持内部和外部数据传送。
- \* I2C 界面可连接至微控制器和编码/译码器,提供芯片间通讯功能,1 个 UART。

由于其自带 UART,所以很容易与二总线相连接,且自带 I2C 接口,非常适合图像处理领域与图像传感器、图像编译码器的连接。

### 2.2 CMOS 图像传感器及滤光片

常规的获得红外视频图像的方法为使用专用红外图像 CCD,但是使用专用红外图像 CCD 价格上较昂贵,对于实际应用并不实用,所以采用了一种新的方法,由于发生火灾时的红外光基本处于近红外波段,目前低端 CMOS 图像传感器已经大量使用,而且对于一般的 CMOS 传感器其不仅仅对可见光有响应,对于近红外波段同样有响

应,如图 3 所示,使用的 OMNIVISION 公司生产的 OV7620,可见其对 1200nm 的近红外光也有一定响应。如果在图像传感器前加上仅让红外光通过的滤光片,就可以滤掉大部分可见光以及一些干扰,得到近红外图像,而火灾图像基本处于近红外区,大部分可见光干扰被滤除,非常便于后续火灾的识别,所以在图像传感器前端设计了红外滤光片。

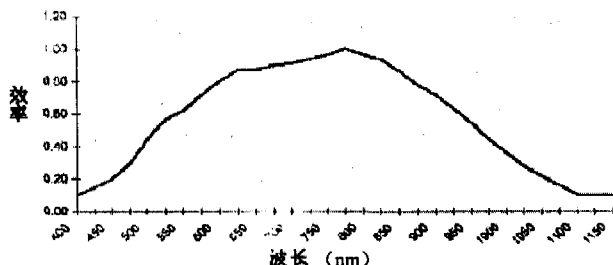


图 3 OV7620 谱响应图

OV7620 是 OMNIVISION 公司的一款价格非常低廉的图像传感器,它是 1/3 英寸 VGA/QVGA、326688 像素、完全可编程数字单片摄像芯片。它的主要特点如下<sup>[4]</sup>:最大处理像素  $640 \times 480$ ;以隔行扫描或逐行扫描的方式输出数据;数据格式有 YCrCb4:2:2, GRB4:2:2 和 RGB 原始数据;按 CCIR656 或者 CCIR601 格式输出数据。提供串行相机控制总线 SCCB 对单片相机进行编程,SCCB 符合 I2C 总线规范。由于图像传感器芯片采用 SCCB 总线 (I2C) 配置,所以图像传感器的配置接口挂载在 DSP 的 I2C 接口上。

### 2.3 工作原理

首先 DSP 通过 I2C 接口对图像传感器输出图像参数进行配置,配置完成后,由 FPGA 完成对图像传感器的输出图像进行采集,FPGA 采用了 ALTERA 公司的 cyclone 系列的 EP1C3T144C8。由于 FPGA 自带存储单元,所以系统中并非如传统设计那样有外接双口 RAM 来缓冲图像数据,在本设计中,双口 RAM 在 FPGA 内部编程完成。当 FPGA 采集图像达到双口 RAM 的半满区时,FPGA 向 DSP 发出中断,DSP 响应中断,并启动 DMA 操作把图像数据转存到帧存储区 SDRAM 中,SDRAM 采用了现代的 HY57V643220CT6。同时 DSP 对采集到的图像进行处理,并根据是否有主控台访问把相应的码流送到二总线网络。后台计算机完成数据的接收、存储、调度等工作。图 2 中二总线转换电路完成数据的转换与供电功能。

## 3 软件设计

### 3.1 图像采集

图像的采集由 DSP 与 FPGA 配合完成。由于 OV7620 的默认输出为隔行扫描方式,并且分辨率为  $640 \times 480$ ,根据图像处理的需要,一般需要其以逐行扫描方式输出,分辨率也有可能需要改变。所以首先 DSP 根据监控台的要求由 DSP 的 I2C 外设对 OV7620 进行参数配置。使用 DSP 自带的 CSL 库函数可以方便地使用 I2C 外设的

函数,以完成配置,具体使用方法可参考 TI 相应文档。在配置完成后,图像传感器按照要求输出图像数据。其时序图如图 4 所示。

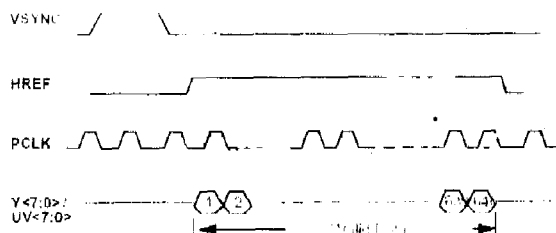


图 4 OV7620 输出时序图

场同步信号 VSYNC 每帧出现一次,指出新的一帧图像即将开始输出;随后,行同步信号 HREF 有效时(高电平),输出指定窗口区域内一行像素的图像数据,像素时钟 PCLK 则控制单个像素数据的输出,每个周期输出一个像素的数据(8 位灰度,正好占用 1 个字节),其下降沿更新数据,上升沿数据是稳定时期,可以读取数据。FPGA 按照时序接收图像数据并把其存入内部设计的双口 RAM 中,图像采集用到的双口 RAM 挂在 DSP 的 CE2 空间。当双口 RAM 半满时,FPGA 向 DSP 发出半满中断,DSP 启动 DMA 把数据转存入 SDRAM 中,完成图像采集。

### 3.2 火灾图像识别算法

当采集到图像信息后,需要对采集到的图像进行识别处理,以便判断是否有火灾发生。在本系统中,利用火灾图像独有的特征,用图像处理方法提取这些特征值,并利用神经网络对火灾进行进一步判别。

#### 3.2.1 早期火灾图像特征及提取

火焰的序列图像具有如下几个特征<sup>[4]</sup>:相邻帧图像的边缘不稳定;相邻帧图像具有稳定的相似性;图像的相似性在一定的时间内变化,不同时刻火焰的形状、面积、辐射强度等都在变化。图像中火焰焰芯部位的灰度大于火焰其它部位的灰度。而在经过红外滤光片的视频信号中,干扰信号表现的模式主要为快速移动的固定亮点和大面积的红外光照变化。

图 5 为模拟火灾时采集到的相邻两帧图像与固定光源打火机的图像(经过红外滤光片),从中可以看出火焰序列的这些特征。

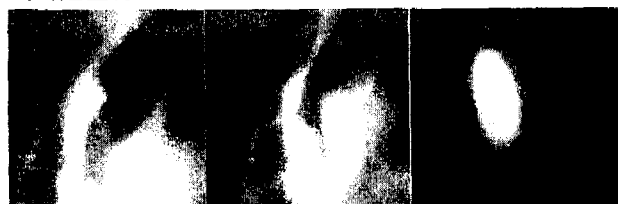


图 5 相邻两帧火灾图像与蜡烛燃烧图像

因此,在火焰的识别中,可以对每帧图像做以下操作:首先寻找本帧图像的上述特征信息。然后寻找当前图像中的光斑,并根据一定算法来判断它们与前一帧图像中各光斑的匹配关系,从而得到光斑的连续变化规律。最后以人工神经网络方法综合处理上述信息,最终得到火灾发生概率。在本系统中用到的火焰图像特征信息有:面积变

化;边缘变化;形体变化;闪动规律;分层变化;整体移动。为了获取图像的各种特征信息,要对图像做以下处理(如图 6 所示)。

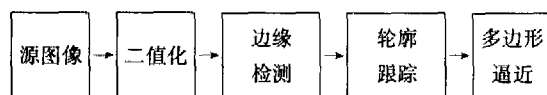


图 6 火灾图像特征提取流程

在对图像的一系列处理中,可以提取得到系统中用到的 6 种火焰图像特征信息。最后的多边形逼近算法是为了以更少的码率来描述火灾信息,以便适应二总线的传输,所以在上报终端信息时只给后台计算机转送各个火灾光斑的顶点。

#### 3.2.2 基于神经网络的火灾图像识别

人工神经网络是受生物神经系统启发而用计算机来模拟其功能的计算工具,可有效处理非线性、不完整的数据<sup>[5]</sup>。它不仅可以在正常情况下给出问题的次最优解,而且在数据、资料残缺不全的情况下仍可以正常运转,给出满意的结果。火灾探测信号正是一类典型的非线性信号,用人工神经网络方法可望解决火灾探测中的可靠性问题。

在本系统中,神经网络采用 6-9-1 的前向神经网络。网络中的神经元单元的输入输出关系采用 S 函数。所用神经网络的输入信息根据火灾火焰的图像变化特性确定。输入层的六路输入即对应于图像火灾探测方法中所用的 6 种图像特征信息。神经网络的输入输出都做了归一化,即输入都是相对变化值,并介于 0~1 之间,归一化输入之后再对其离散化,离散域为 0~20。神经网络的输出端只有一路,用“O”表示,其离散域为 13,O=1 对应“火灾状态”;O=2 对应“危险状态”;O=3 对应“正常状态”。

学习样本的选取方法为:通过人为设置各种干扰源、固定火焰和火灾现场模拟,设置神经网络的学习样本。干扰源包括可见光、日光灯、白炽灯、手电筒、电炉、烟头、打火机日常生活中常见,并且包括在各种场合经常出现的物体、现象。固定火焰包括日常生活中常见的蜡烛火、液化气火、酒精灯火等,采用 BP 算法训练后得到神经网络参数。

### 4 结束语

基于 DSP+FPGA 的新型终端火灾识别系统,火灾的识别完全在监控终端进行,实现了监控终端的全数字化。火灾识别算法采用 BP 神经网络对火灾进行自动识别,具有较高的灵敏度和极低的误报警率。并且此系统还具有成本低、监控范围广、响应时间快、体积小并且可以使用传统的二总线网络,不需更换网络等多种优点,有很高的应用价值,目前此系统已应用于实际应用。在实际使用中,系统还存在一定误报,若在此系统中可以加入传统感温、感烟等传感器,有望进一步减少误报率,提高稳定性。

(下转第 100 页)

调试权限。直到有用户退出实验系统,才分配出一个新的调试权限供新提交调试请求的用户排队等候。

远程实验中存在的一个重要问题是安全性问题。由于用户通过控制服务器端的软件程序对 DSP 实验资源进行操作,软件程序可以对服务器的资源直接存取,并控制 DSP 实验硬件资源,所以可能会对远程实验系统造成危害。因此在设计 JSP 程序时要考虑到对服务器资源的安全调用,杜绝在远程控制中可能出现的不安全因素。被嵌入到调试界面中的 Java Applet 由于有 Java 虚拟机所独有的内在沙箱安全机制的保护,在客户端和服务端均不会进行不安全的操作。此外,采用虚拟目录也能很好地保护好系统的信息安全。

由于远程实验系统在实验的逼真性和应用普适性,以及在给予实验者现场感受和实验效果等方面是传统的计算机模拟的纯虚拟实验所根本无法相比的,因此有必要通过对真实的实验仪器或设备进行远程控制,并要能够对实验端的数据进行有效的采集和传输,还要确保远程实验中控制和数据传输过程的实时性以及操作的安全性。这就对远程实验系统的硬件和软件设计提出了较高的要求。

远程实验系统的主要框架是基于浏览器/服务器(B/S)结构,实验者通过 Web 浏览器登录到远程实验系统的服务器,然后控制服务器来启动相应的实验软件程序,进行实验仪器或设备与客户端实验者的交互。客户端用通用的键盘和鼠标作为实验的物理控制工具,音箱、显示器作为实验输出显示,配合多媒体模拟实验界面一起构成了可视化交互实验界面。迅速发展的 Internet 直接作为远程连接的物理介质。远程实验系统<sup>[4]</sup>的服务器接受实验者远程登录,根据用户选择的实验内容和所提交的控制信息和数据参数信息,直接通过相应的软件程序控制实验的整个过程。当登录用户数超过实验设备数量后,服务器可安排排队、预约等候的机制控制多用户请求的实验操作流程。实验者在操作中对实验现场数据进行远程采集,程序可同时根据采集的信息发出相应的指令对现场设备进行控制。实验采集或处理后的数据由服务端的程序或客户端内嵌的脚本程序来处理并送回显示到客户端浏览器中的虚拟实验环境里。实验者可根据虚拟实验环境里的显示来调整控制实验输入数据,得到并分析实验的输出结果。

远程实验系统中的远程控制软件、数据传输和客户端的交互界面以及软件元器件库等具有一定的通用性,大部分远程实验可以直接采用。实验系统只须对具体硬件的重构、控制、数据采集依具体实验内容的不同而建立具体的实验模型,做具体的开发。

远程控制中存在的一个重要问题是安全性问题。由于实验者通过控制服务器端的软件程序对实验资源进行操作,软件程序可以对服务器的资源直接存取,并控制实验硬件资源,所以可能会对远程实验系统造成危害。因此在开发服务器端的程序时要考虑到对服务器资源的安全调用,杜绝在远程控制中可能出现的对服务器和实验硬件系统的不安全操作。此外,可以考虑使用 Java Applet,这是因为被嵌入到调试界面中的 Java Applet 有 Java 虚拟机内在的沙箱安全机制的保护,在客户端和服务端均不会进行不安全的操作。

### 3 结 论

基于 Web 的实时远程 DSP 实验开发平台可适用于局域网和远程的 Internet 网络,它能够很好地共享有限的 DSP 实验资源,使实验者突破时间和空间的束缚,完成相关的各类实验。它又是一种开放式的实验系统,不仅可以满足实时远程实验的需求,还可以为各科研院所、企业中的科研人员远程实时地提供一个协同研究的实验环境。

### 参考文献:

- [1] KO C C, CHEN B M, CHEN J P, et al. Development of a Web - Based Laboratory for Control Experiments on a Coupled Tank Apparatus[J]. IEEE Transactions on Education, 2001, 44(1): 87 - 104.
- [2] CHEN S H, CHEN R, RAMAKRISHNAN V, et al. Development of remote laboratory experimentation through internet [EB/OL]. <http://vlab.ee.nus.edu.sg/vlab/papers/C-IEEE-hksrc99.pdf>, 2001 - 07 - 19.
- [3] 刘宗行, 潘 娅, 顾 诚. 基于 Web 的电工电子实验系统[J]. 重庆大学学报, 2003, 26(9): 85 - 88.
- [4] 周贤善, 罗 兵. 基于 Web 的远程实验系统[J]. 江苏广播电视大学学报, 2003(6): 25 - 27.
- [5] 祁美兰, 黎明发. 多线程技术在试验系统中的应用[J]. 微机发展, 2003, 13(s): 15 - 16.

(上接第 97 页)

### 参考文献:

- [1] 易继锴, 张蔚蔚. 模糊神经网络技术及其在火灾探测中的应用[J]. 北京工业大学学报, 2001, 27(3): 337 - 340.
- [2] 卢瑞祥, 牟轩沁. 一种基于红外图像识别的自动消防监控系统[J]. 电子技术应用, 1998(2): 7 - 8.
- [3] 季 萍, 卢结成. 一种总线制火灾图像探测系统的设计与实现[J]. 计算机工程与应用, 2004(26): 212 - 214.
- [4] 宋卫国, 范维澄, 吴龙标. 基于人工神经网络的火灾图像探测方法[J]. 火灾科学, 1999, 8(3): 49 - 53.
- [5] 姚天任, 孙 洪. 现代数字信号处理[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 1999.