

基于嵌入式和运动检测的井下视频监控系统

任志玲, 朱光泽

(辽宁工程技术大学 电气与控制工程学院, 辽宁 葫芦岛 125105)

摘要: 针对传统模拟信号监控的不足, 设计了一种基于 S3C6410 硬件平台、Linux 2.6 软件平台、H. 264 标准及运动检测算法和 WIFI 无线网络传输的井下视频监控系统; 针对井下监控背景基本不变, 采用 H. 264 图像压缩算法以及改进的单高斯模型运动检测算法; 并提出了整体监控软件的设计方案; 最后通过 PSNR、压缩比、压缩时间以及压缩速率等参数对算法进行了实验, 实验结果表明: 该系统能在较低的编码速率上实现较好的成像质量, 具有较高的压缩质量, 可满足实时编码需求。

关键词: 视频监控; 嵌入式; H. 264; 运动检测; 单高斯模型;

Research on Mine Video Surveillance System Based on Embedded System and Motion Detection

Ren Zhiling, Zhu Guangze

(School of Electrical and Engineering Control, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China)

Abstract: Aiming at the disadvantage of traditional analog monitor, a mine video surveillance system is designed based on S3C6410 hardware platform, Linux 2.6 software platform, H. 264 coding and WIFI wireless. For the background is essentially the same, this paper use of H. 264 single Gaussian moving image compression algorithm and proposed the code optimization methods. And proposed the scheme of system software. Finally, through the PSNR, compression ratio, compression time and rate to verify the algorithm. The experimental results show: This system can realize better quality of image on lower speed, has higher coding rate and can satisfy the real time encoding demand.

Key words: video surveillance; embedded; H. 263; motion detection; single gaussian

0 引言

在我国, 煤矿事故发生率远高于欧美国家, 一方面由于我国煤矿现有硬件设备及软件技术水平还远远达不到煤矿现代通信、煤炭生产及安全管理手段的要求, 另一方面由于我国采矿机械化程度不足 50%, 大量生产劳动依靠矿工, 而矿工队伍普遍文化程度较低、素质不高, 极易发生违规作业等现象^[1]。

目前, 煤矿井下作业面大多远离地面, 地面监管人员难以及时发现危险并有效沟通。因此, 利用远程视频监控, 使地面监控中心人员可以对井下作业进行实时监控, 及时发现事故隐患并处理, 同时可为分析事故原因提供相应的资料^[2]。

1 系统总体结构设计

目前井下使用较多的仍为模拟视频监控, 该系统存在很大的缺陷: 模拟信号传输距离较近、易受井下复杂信号的干扰、设备成本高, 并且无法实现联网^[3]。随着 PC 技术和互联网技术的不断发展, 基于嵌入式技术的无线视频监控系统更能够满足煤矿监控的实际需求。

井下视频监控技术采用嵌入式技术、WIFI 技术、H. 264 编码算法等技术, 将从 OV9650 摄像头采集到的图像经过压缩编码后, 通过无线通信模块发送到井下局域网。井下巷道主要节点布置主无线路由器, 各主路由器之间采用网线与井下交换

机, 各巷道局部使用无线路由器与主路由通信。这种以有线+无线的连接方式, 可以减少井下布线、增加无线覆盖面积。系统总体结构如图 1 所示。

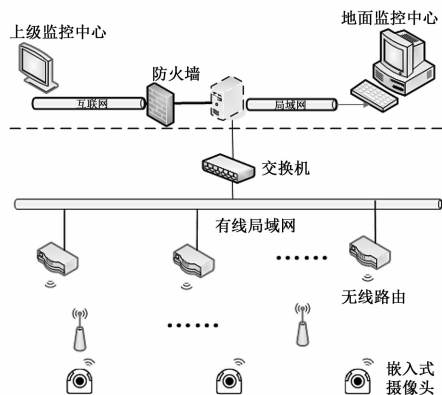


图 1 系统组成框图

2 系统硬件平台设计

系统采用三星公司的 ARM1176 核心 32 位处理器 S3C6410 为主控制器, 它是一款高性能、低功耗、高集成度的工业级芯片, 具有内存管理单元 MMU、独立的指令和数据 Cache、摄像头控制器、LCD 控制器、USB 接口、1 路 IIC、4 路 UART 等丰富的内部资源, 工作频率 533/667 Hz。系统硬件结构如图 2 所示。

NOR Flash 中的代码可直接运行, 效率很高, 用于存放操作系统移植的引导程序, 由于引导程序通常很小, 系统采用

收稿日期: 2013-12-31; 修回日期: 2014-02-26。

基金项目: 国家自然科学基金项目(51277090); 辽宁省教育厅优秀科技人才支持计划(LR2013014)。

作者简介: 任志玲(1971-), 女, 辽宁阜新人, 副教授, 博士, 主要从事电工理论与新技术, 电力传动及自动控制系统方向的研究。

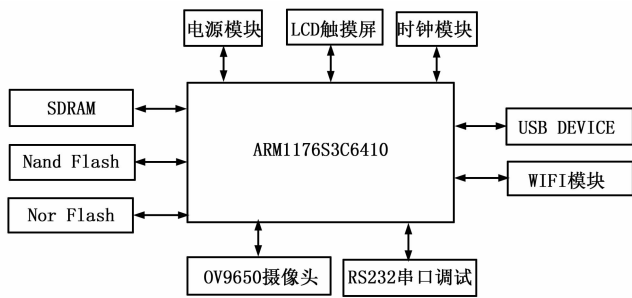


图 2 系统硬件结构图

2MB 的 AM29LV160DB NOR Flash。NAND Flash 容量大、成本低, 用于存放数据量较大的操作系统镜像和文件系统。选择 256MB 的 K9F2G08U0B NAND Flash。三星公司的嵌入式内核使用 stepston 引导技术, 允许系统从 NAND Flash 启动, 将 uboot 烧写至其前 NandFlash 第一分区, 系统上电后会通过 uboot 将操作系统镜像文件加载到 SDRAM 中, 系统进入正常运行。SDRAM 为 2 片 32MB 的 K4S561632N-LC60 相连, 其中一片作高 16 位, 另一片作低 16 位, 两片作为一个整体配置到 Bank6。

CMOS 摄像头在成像品质上低于 CCD 摄像头, 但其具有体积小、功耗低、价格低的优势, 考虑到井下监控系统对成像质量要求并不严格, CMOS 摄像头的高性价比更适于井下大量使用。系统采用的 OV9650 CMOS 摄像头与 S3C6410 有对应的引脚相连, 并可通过 CPU 内部集成的 CAMIF (摄像头接口) 直接对其进行配置, OV9650 引脚与 CPU 对应引脚如图 3 所示。

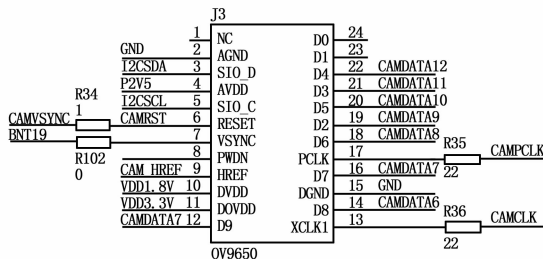


图 3 摄像头接口电路

3 系统软件设计

3.1 系统软件设计平台

嵌入式操作系统采用 Linux2.6 内核与 Qt 文件系统。该系统由于其完全开源免费的特性, 以及其高度的灵活性与可设置性, 已被广泛应用在嵌入式的各种领域中, 其具有非常出色的通信能力, 实时性好、界面友好、具有良好的内存和电源管理功能。Linux 采用了模块化设计, 可根据用户实际需要来定制操作系统^[4]。首先使用 make menuconfig 命令配置由 www.kernel.org 下载的官方内核, 添加 LCD 与 TS 驱动、USB 驱动、网卡驱动、摄像头驱动等模块对操作系统进行定制。然后编译生成 Zimage.bin 映像文件, 并将其通过 tftp 烧录到板子上的 NAND FLASH 中。将跟文件系统同样拷贝到 NANDFLASH 中。之后采用 Qt4 中的 Visual C++ 项目类型对监控软件进行开发。

3.2 编解码方案

H.264 是国际标准化组织 (ISO) 和国际电信联盟 (ITU) 共同提出的数字视频压缩规范。相对于 H.263, 它具有更高的编码效率、更高质量的视频画面、更好的网络适应能力、更少的编码选项等优势, 可适用于 ARM11 处理器和无线网络传输^[5]。

本系统采用开源的 X264 作为编解码方案。X264 是一种免费的拥有更优秀算法的 H.264/MPEG-4 AVG 视频压缩编码器。其最大的特点是在保证图像质量的前提下, 放弃了一些对编码性能贡献不大但计算及复杂的新特性, 从而使计算复杂度降低而编码效率却没有改变^[6]。其输出的码流完全兼容 H.264, 符合本系统的要求。

3.3 运动检测

在井下视频监控中, 摄像头一般都安装在固定地点, 如皮带机、提升机、巷道作业面等, 其背景图像通常较为固定, 相邻两帧相关性极强。因此, 利用图像相关性, 固定不变的图像不发送, 仅将运动信息发送, 在接收端根据运动信息和前帧图像内容来更新当前图像, 将使数据量得到大大压缩, 节省带宽资源。

运动检测目前最常用的方法分别为背景减除法、时间差分法、光流法^[7]。时间差分法对于动态背景的运动检测, 具有较强的自适应能力, 但很难完全提取所有的特征像素点; 光流法在摄像机运动的情况下, 也可很好的检测出独立的运动目标, 但大多数光流法的算法及其复杂, 很难满足数据实时处理的要求; 背景减除法在静态背景下有较好的检测效果, 但对于光照以及无关事件的干扰比较敏感。

综上所述, 结合煤矿井下的特点, 本系统采用以改进的单高斯模型的背景减除法作为运动检测的核心算法。

3.3.1 单高斯背景模型基本原理

单高斯背景模型的估计算法适用于背景单一的环境中, 主要由以下两个步骤组成^[8]:

第一步, 模型的建立。计算一段时间 A 内的图像序列的每个像素的算术平均值 μ_0 以及方差 σ_0^2 , 以构建一个初始的背景图像 $B_0 = [\mu_0, \sigma_0^2]$, 其中:

$$\mu_0 = \frac{1}{A} \sum_{i=0}^{A-1} x_i \quad (1)$$

$$\sigma_0^2 = \frac{1}{A} \sum_{i=0}^{A-1} (x_i - x_0)^2 \quad (2)$$

第二步, 模型的更新。建立好的模型要根据场景的变化来不断调整高斯分布的各个参数。

$$B_{t+1} = (1 - \rho)B_t + \rho X_{t+1} \quad (3)$$

式 (3) 中, X_{t+1} 为 (t+1) 时刻的实时图像。背景更新率 ρ 为一个设定好的常数, 用来反映背景的更新频率。由于单高斯模型算法没有考虑背景模型与运动目标之间的影响, 故使得更新后的新背景与实际产生误差。基于此点, Koller^[9] 等人对此进行了改进, 采取了只更新被判定为背景图像的像素点。

$$B_{t+1} = \begin{cases} B_t & \text{被判断为前景} \\ (1 - \rho)B_t + \rho X_{t+1} & \text{被判断为背景} \end{cases} \quad (4)$$

3.3.2 单高斯背景模型算法的改进

实际的煤矿井下场景中, 经常出现运动目标时动时停的情况。当用式 (4) 进行背景更新时, 对于运动物体停止运动, 转变为背景, 或者背景中的物体开始运动, 转变为前景时, 背

景图像上依然会保留物体状态转变前的一些残留信息，从而产生目标物体的提取误差。这是由于式 (4) 只对判定为背景的像素点进行更新而忽略前景像素点所导致的^[10]。

针对此问题，本文对单高斯模型背景更新算法进行了改进。提出一种通过帧差分来判断目标的运动状态，通过背景的变化来更新模型，从而准确地提取运动物体。

算法具体思想是：①连续读取视频流中的三帧图像，两两依次与中间帧差分，中间帧与背景帧差分。②将依次差分的结果与背景差分的结果进行“与”运算。③将得到的两个结果进行“或”运算。④二值化图像，得到前景区域，之后对背景模型进行更新，更新背景帧。如式 (5) ~ (11) 所示：

$$D_{12}(x, y, \Delta t_1) = |f(x, y, t - 1) - f(x, y, t)| \quad (5)$$

$$D_{23}(x, y, \Delta t_2) = |f(x, y, t) - f(x, y, t + 1)| \quad (6)$$

$$D_{2B}(x, y, \Delta t_b) = |f(x, y, t) - f(x, y, t_b)| \quad (7)$$

$$D_1(x, y, \Delta t) = D_{2B}(x, y, \Delta t_b) \otimes D_{12}(x, y, \Delta t_1) \quad (8)$$

$$D_2(x, y, \Delta t) = D_{2B}(x, y, \Delta t_b) \otimes D_{23}(x, y, \Delta t_2) \quad (9)$$

$$D(x, y, \Delta t) = D_2(x, y, \Delta t) \oplus D_1(x, y, \Delta t) \quad (10)$$

$$F(x, y, \Delta t) = \begin{cases} 255 & D_3(x, y, \Delta t) > T \\ 0 & D_3(x, y, \Delta t) < T \end{cases} \quad (11)$$

式中， $f(x, y, t)$ 、 $f(x, y, t - 1)$ 、 $f(x, y, t + 1)$ 为连续的三帧图像， $D_{12}(x, y, \Delta t_1)$ 、 $D_{23}(x, y, \Delta t_2)$ 为前后帧与中间帧的差分结果， $D_{2B}(x, y, \Delta t)$ 为中间帧与当前背景模型的差分结果， $D_1(x, y, \Delta t)$ 、 $D_2(x, y, \Delta t)$ 则为帧间差分结果分别“与”上背景差分结果， $D(x, y, \Delta t)$ 则为之前“与”后的结果再进行“或”运算所得到的最终图像轮廓。 $F(x, y, \Delta t)$ 为二值化后的图像， T 为二值化的阈值。通过下式来判断前景点还是背景点。

$$f(x, y) = \begin{cases} \text{前景} & F(x, y, \Delta t) = 255 \\ \text{背景} & F(x, y, \Delta t) = 0 \end{cases} \quad (12)$$

算法流程图如图 4 所示。

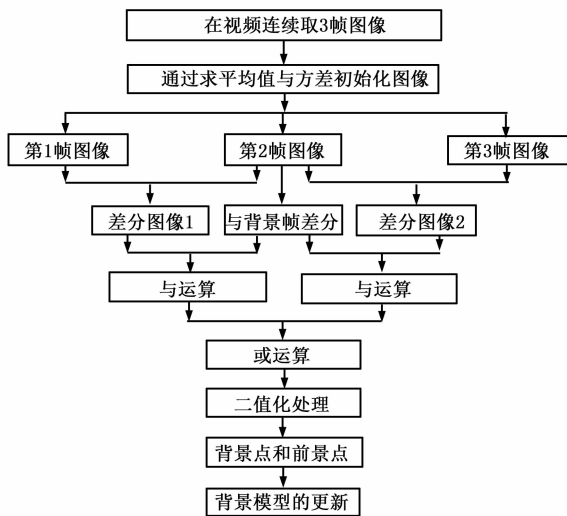


图 4 算法流程图

3.4 监控软件设计

监控软件由服务器端软件与客户端软件以及嵌入式设备软件组成。服务器端软件负责视频的采集、文件保存、传输等功能；客户端软件负责解码、播放等功能。视频的编码、运动检测等功能由嵌入式设备完成。具体的软件功能流程图如图 5 所示。

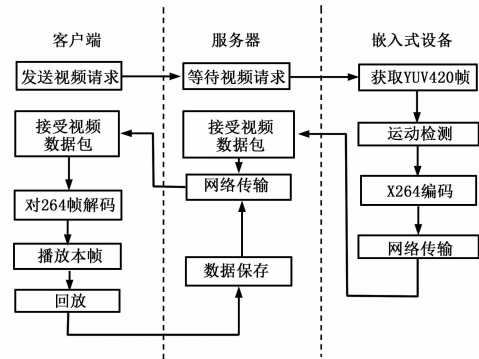


图 5 系统软件功能流程图

4 实验测试

本文采用 OV9650 与 S3C6410 相结合的方式，作为嵌入式设备，采集视频信息；通过 PC 机（配置为 T6500，2.1 GHz，4GDDR）解码播放视频，以验证系统的有效性。

为测试编码效果，选择 3 组不同运动强度的测试序列，每组 100 帧，YUV420 格式输入（352 × 288），进行 H.264 编码，测试序列码率为 256 kbit/s，对编解码前后图像的质量、压缩速率、压缩比、峰值信噪比 PSNR 进行测试。

表 1 实验数据

组别	图像内容	PSNR (dB)	压缩比	压缩时间 (ms)	压缩速率 (帧/s)
1	简单背景,人物肩头运动	29.13	24.41	3955	25.28
2	背景平移,人物简单运动	27.89	21.09	4347	23.00
3	人物背景快速运动	24.42	19.21	4640	21.55

通过以上对比可以看出，不同的场景下，该编码器可以基本满足要求，图像运动量越小，编码质量越好、压缩比越大、压缩速率越高。

改变目标码率进行同样测试，通过主观判断成像质量，可以发现简单运动视频序列在小的编码速率（64 ~ 256 kbit/s）时就已经可以达到较高的质量，而复杂运动视频序列在此速率下已经具有良好的识别度，当速率较大（512 ~ 768 kbit/s）时，可获得较高的成像质量。

对于井下监控系统，摄像头位置固定，监控背景不变，图像运动较为简单，因此选择低的编码速率，既可以实现较高的成像质量，又可保证压缩速率和无线网络传输。

5 结论

煤矿井下视频监控成像质量要求不高，基于嵌入式和 H.264 规范与运动检测算法的无线视频监控系统完全可以满足要求。采用有线网络与无线网络相结合的方式，远距离传输使用有线网络以减少巷道内复杂情况对信号的影响，终端结点采用无线连接，增加摄像头安装的灵活性。本设计对实现煤矿数字化、信号化具有一定意义，对智能家居、平安校园等领域监控问题也有一定应用价值。

（下转第 1425 页）

进行至少 15 s 怠速预热, 才进行功率输出作业, 因此, 满足柴油机实际工作需要。

(3) 非线性 PID 控制效果: 将柴油机转速设定在 2 500 r/min, 目标喷油压力从 104.15 MPa 附近调整至 109.15 MPa, 用标定软件实时采样轨压值, 图 5 显示分别采用遗传算法非线性 PID 控制器和模糊自适应线性 PID 控制器^[12]对轨压的控制效果。

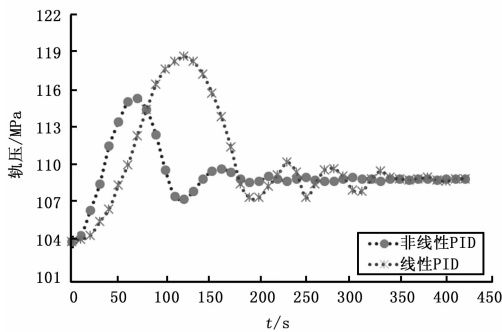


图 5 变轨压下的非线性 PID 控制对比图

从图 5 可以看出, 非线性 PID 控制器的参数随控制误差而实时调整, 最大超调量为 6%, 控制误差小于 2% 的调节时间为 210 ms, 在稳定工况下时, 轨压控制精度可保持在 1.4% 以内。而采用模糊自适应 PID, 最大超调量为 9%, 控制误差小于 2% 的调节时间为 280 ms, 在稳定工况下, 轨压控制精度保持在 1.7%。

6 结论

(1) 针对柴油机的不同工况模式, 设计了相适应的共轨压力控制策略, 起动时轨压建立迅速, 起动速度快。

(2) 在柴油机起动后, 进行遗传算法实时非线性 PID 参数的优化, 优化过程平均在 6.7 s 内完成, 优化速度满足柴油机工作实际。

(3) 预控制的积分分离非线性 PID 共轨压力控制器, PID 参数随控制误差自适应调整, 响应速度快, 轨压波动小, 稳定

工况下时, 轨压控制精度可在 1.4% 以内。

参考文献:

- [1] 陈海龙, 欧阳光耀, 黄 康. 增压式高压共轨柴油机燃烧排放特性研究 [J]. 内燃机工程, 2012, 33 (6): 39-44.
- [2] 陈 远, 肖 兵. 基于 DSP 的喷油器电磁阀驱动电路设计 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (4): 1054-1057.
- [3] 周文华, 竺春秋, 苏 瑜. 共轨柴油机电控系统若干关键技术 [J]. 浙江大学学报 (工学版), 2011, 45 (1): 118-121.
- [4] Yoshihiro H, Minaji I, Nakakita Kiyomi. Achieving lower exhaust emissions and better performance in an HSDI diesel engine with multiple injection 2005-01-0928 [C/CD]. SAE Technical Paper. Detroit: Society of Automotive Engineers Inc., 2005.
- [5] 樊 良, 王剑平, 曹 诚, 等. 柴油机高压共轨系统仿真研究 [J]. 内燃机, 2011, (2): 39-41.
- [6] 田丙奇, 马修真, 范立云, 等. 高压共轨喷油系统循环喷油量波动研究 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2013, 34 (5): 610-614.
- [7] 沈苏海, 吴培莉, 赵 辉. 船舶电控柴油机燃油共轨系统的建模与仿真 [J]. 上海海事大学学报, 2013, 34 (1): 36-40.
- [8] 陈海龙, 欧阳光耀, 徐海成. 基于泵控制阀的轨压控制仿真研究 [J]. 内燃机工程, 2009, 30 (2): 57-60.
- [9] 黄国钧, 张幽彤, 苏海峰, 等. 基于流量特性的共轨系统前馈式压力控制策略研究 [J]. 北京理工大学学报, 2011, 31 (3): 272-276.
- [10] 郭修其, 周文华, 郑朝武. 基于自动代码生成的共轨压力控制策略 [J]. 浙江大学学报 (工学版), 2011, 45 (8): 1441-1445.
- [11] 金江善, 平 涛, 凌励逊. 柴油机高压共轨燃油喷射系统共轨压力控制技术的研究 [J]. 柴油机, 2006, 28 (3): 5-7.
- [12] 任卫军, 贺昱曜, 张卫钢. 柴油机共轨压力模糊自适应 PID 控制研究 [J]. 计算机工程与应用, 2010, 46 (2): 209-212.
- [13] 宋秦中, 隆武强, 杨永平. 高压共轨柴油机共轨压力闭环控制算法的研究 [J]. 内燃机, 2007, (5): 12-14.
- [14] 刘 耀, 蔡锦达. 基于遗传算法的生物芯片反应仪温控箱 PID 控制系统 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (9): 2410-2412.

(上接第 1400 页)

参考文献:

- [1] 王国臣. 矿井安全综合视频监控系统的的发展 [J]. 煤炭科技, 2006, 25 (8): 65-67.
- [2] 田洪现, 杨 维, 杨公训. 基于 H.264 的煤矿井下无线视频通信 [J]. 矿山机械, 2006, 34 (9): 27-29.
- [3] 刘艳兵, 杨 维, 王曙光, 等. 煤矿井下无线视频监控系统的的设计与实现 [J]. 湖南科技大学学报 (自然科学版), 2009, 24 (4): 16-20.
- [4] 钱华明, 刘英明, 张振旅. 基于 S3C2440 嵌入式无线视频监控系统的的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (6): 1132-1134.
- [5] 孙彦景, 钱建生, 张 徽, 等. 基于工业以太网的 H.264 煤矿视

频监控系统 [J]. 计算机工程, 2006, (8): 212-217.

- [6] 崔 童. 视频编解码系统在嵌入式多核处理器上的设计实现 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2008.
- [7] 杨学超, 刘文萍. 视频图像序列中的运动目标检测技术 [J]. 计算机应用与软件, 2008, 25 (1): 215-218.
- [8] 杨 珺, 史忠科. 基于改进单高斯模型法的交通背景提取 [J]. 光子学报, 2009, 38 (5): 1293-1296.
- [9] 陈 超, 杨克俭. 基于改进的单高斯模型的运动目标检测方法 [J]. 微型机与应用, 2010, 29 (4): 39-42.
- [10] 李乃安, 欧阳宁, 等. 实时目标检测与跟踪系统的设计与实现. [J]. 激光红外, 2008, 38 (1): 88-91.