

文章编号:1671-251X(2014)01-0012-04 DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2014.01.004

王刚,付立华,庞建丽.一种双网络架构的煤矿监控系统[J].工矿自动化,2014,40(1):12-15.

## 一种双网络架构的煤矿监控系统

王刚<sup>1</sup>, 付立华<sup>1</sup>, 庞建丽<sup>2</sup>

(1. 河南工程学院 电气信息工程系, 河南 新郑 451191; 2. 黄淮学院 信息工程系, 河南 驻马店 463000)

**摘要:**针对煤矿井下环境复杂和矿井检测节点、检测参数种类众多的情况,提出了一种双网络架构的煤矿监控系统。该系统根据监控对象的不同,采用不同的网络进行数据传输,视频流数据采用以太网传输,矿井环境监控数据采用 CAN 网传输;双网络共用同一条物理线路,具有所有监测对象整体组网、统一检测、网络利用率高等优点。

**关键词:**煤矿监控;双网络架构;CAN 总线;以太网;数据传输;数据压缩;智能节点

中图分类号:TD672 文献标志码:A 网络出版时间:2013-12-31 08:56

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13272/j.issn.1671-251x.2014.01.004.html>

A coal mine monitoring and control system based on dual network architecture

WANG Gang<sup>1</sup>, FU Lihua<sup>1</sup>, PANG Jianli<sup>2</sup>

(1. Department of Electrical and Information Engineering, Henan Institute of Engineering, Xinzheng 451191, China;

2. College of Information Engineering, Huanghuai University, Zhumadian 463000, China)

**Abstract:** In view of situation of complexity of coal mine environment and a wide variety of testing nodes and parameters, a coal mine monitoring and control system based on dual network architecture was proposed. According to different monitored objects, the system uses different networks for data transmission, video streaming data uses Ethernet to transmit, mine environment monitoring data adopts CAN network to transmit. Moreover, the dual networks share the same physical line. The system has some advantages, such as the uniform testing and overall networking of all monitored objects, high

收稿日期:2013-06-25;修回日期:2013-10-23。

基金项目:河南省科技攻关重点项目(132102210441)。

作者简介:王刚(1980—),男,河南太康人,讲师,博士研究生,主要从事智能信号处理、智能仪表的研究工作,E-mail:wg479@sohu.com。

感知矿山物联网智慧照明系统是物联网技术的一个典型应用,不但可以工作于全自动状态,根据终端节点标志号自动切换照明状态,达到节能效果;还可以由地面监控中心进行全局控制,作为应急照明系统,指示逃生方向,具有避险功能。

参考文献:

- [1] 刘国贵. 基于 RF 无线通信网络的建筑照明节电控制系统终端设计[D]. 济南:山东建筑大学,2009.
- [2] 孙彦景,钱建生,窦林各. 煤矿物联网系统理论与关键技术[J]. 煤炭科学技术,2011,39(2):69-72.
- [3] 张申,丁恩杰,徐钊,等. 物联网与感知矿山专题讲座之

三——感知矿山物联网的特征与关键技术[J]. 工矿自动化,2010,36(12):117-121.

- [4] 詹杰,吴伶俐,唐志军. 基于 ZigBee 的智能照明控制系统设计与实现[J]. 电力电子技术,2007,41(10):25-27.
- [5] 周晓伟,蔡建平,郑增威. 基于 ZigBee 传感网的楼宇智能照明控制系统的设计与实现[J]. 计算机工程与科学,2009,31(8):150-152.
- [6] 黄成玉,李学哲,张全柱. 基于物联网技术的煤矿综合自动化系统[J]. 煤矿安全,2012,43(9):108-110.
- [7] 王鹏. WSN 中不同路由协议对网络生存性能影响的分析与研究[D]. 北京:北京邮电大学,2008.

network utilization and so on.

**Key words:** coal mine monitoring and control; dual network; CAN bus; Ethernet; data transmission; data compression; intelligent node

## 0 引言

我国是煤炭储量和产煤大国,但煤层存储条件复杂。相关资料表明,我国 92% 的煤产自于井工开采<sup>[1]</sup>。矿井下工作环境复杂,如何保证煤矿的安全高效生产,依然是摆在人们面前的一个严重问题。统计数据显示,我国煤矿开采生产中仅因伤亡事故造成的直接经济损失每年就高达 20 多亿元<sup>[2]</sup>。因此,构建及时准确的煤矿井下监控监测系统也越来越受到人们的重视,这对煤矿作业的安全高效生产有着举足轻重的作用。

20 世纪 80 年代,我国部分煤矿引进并开始使用国外的安全监控系统。随着计算机技术、网络通信技术、电子技术的发展,我国独立自主研发了一批性能优良的安全监控系统,如 KJ90、KJ95 等<sup>[3]</sup>。这些系统具有稳健的性能、完善的软件等,代表了我国煤矿监控系统的技术水平。但由于监控对象繁多,造成监控系统的互联设备和结构复杂,且运行协议众多<sup>[4]</sup>。主网大多是基于价格昂贵的工业以太网,模拟量监控基于传输速率不高的 RS485 总线。为此,本文提出了一种双网络构架的煤矿监控系统,分别监控矿井的各种环境和工作设备参数。根据监控对象的不同,采用不同的网络进行数据传输,视频流数据采用以太网传输,矿井环境和各个监控数据采用 CAN 总线网络传输,智能网络节点把以太网和 CAN 总线网络的物理线路设计在一个 RJ45 接口里,从而减少矿井中电气线路布线的成本和复杂度。

## 1 CAN 总线网络和以太网

### 1.1 CAN 总线网络

由 CAN 总线架构的通信网络是遵守开放系统互连的规范实现层次结构设计的<sup>[5]</sup>。作为工业现场测控底层网络,对信息传输的实时性要求较高,网络互联结构较简单,因此,CAN 总线网络在通信底层仅采纳了 OSI 七层通信模型的最低两层,即物理层和数据链路层,而在高层只有应用层。图 1 给出了 CAN 总线网络的通信模型。

CAN 总线为多主方式通信,可以克服巡检式通信系统中主从通信的缺点;多主通信过程冲突时

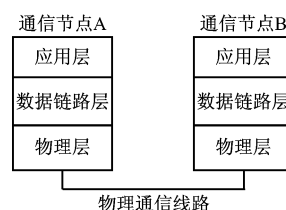


图 1 CAN 总线网络的通信模型

采用非破坏仲裁技术,数据出错率低;通信过程采用短帧数据结构,增加了实时性,而且在节点数据严重错误时可以自行关闭节点数据输出。因此,CAN 总线具有高度的数据可靠性、通信实时性和灵活性等优点,是工业测控底层网络通信的最佳选择。

### 1.2 以太网

以太网是基于 TCP/IP 协议的一种标准开放式网络,遵守开放互联模型 OSI,其采用了 OSI 标准中的 4 层<sup>[6]</sup>。由其构建的网络具有良好的拓扑结构兼容性、易操作性和资源共享性,而且数据的传输距离长,通信速率高,运行协议种类多,便于大型网络的构建,易接入 Internet 等。图 2 给出了其通信模型。

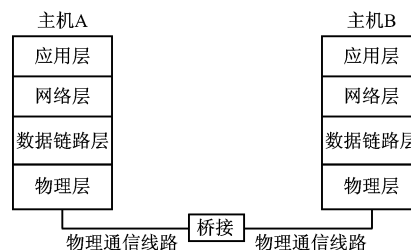


图 2 以太网节点通信模型

## 2 系统网络架构

CAN 总线通信可靠、安全,但速率低,尤其在物理通信线路较长时更为突出。以太网通信距离长,但采用带有冲突检测的载波侦听多路访问协议(CSMA/CD)和超时重发机制,不能保证数据传输的实时性要求,是一种非确定性的网络系统。而且网络节点的故障易传播,有时会造成整个网络瘫痪,很难适应工业现场恶劣环境。因此,为了数据通信的实时可靠,本文设计的煤矿监控系统采用双网络机制,对实时性、可靠性要求高但数据量少的矿井环境和设备工作参数采用 CAN 总线网络传输,对可靠性、实时性要求不高和数据量大的矿井视频数据采用以太网传输。

由 CAN 和以太网构架监控网络时,网络采用树型拓扑结构,网络的物理电气线路采用屏蔽双绞线。煤矿监控系统中的现场测控设备挂接在智能节点模块上,经智能节点信息处理后接入二级网络互联设备(CAN Hub 和以太网 Hub)上,二级网络互联设备挂接在主网络互联设备上。CAN 总线网络由工控机上 PCI 插槽中的 CAN 卡引出并驱动,以太网通过工控机上的网卡连接。双网络架构的煤矿监控系统网络拓扑结构如图 3 所示。

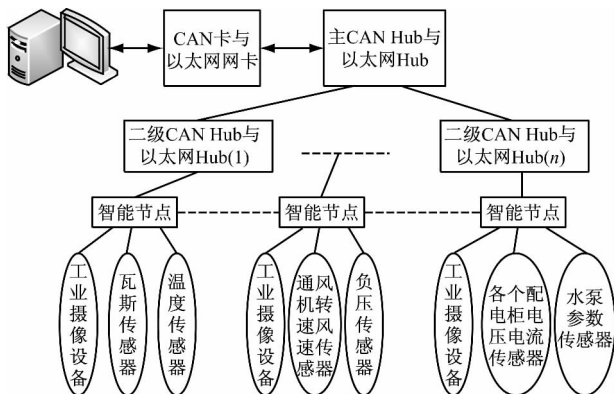


图 3 双网络架构的煤矿监控系统网络拓扑结构

目前在百兆网络的物理电气线路中,广泛使用 5 类或者超 5 类双绞线,这类双绞线中有 4 股、8 根物理线路,但以太网实际通信中只用到了其中的 4 根物理线路,即第 1—3 根、第 6 根,它们分别实现接收数据、发送数据的作用。CAN 网络传输采用差动输出,使用 2 根物理线路。于是在本网络的构建中,以太网和 CAN 网络的物理线路共用一根双绞线,在连接互联设备时,用一个线路分支器分开。网络互联设备数据的上端再用线路分支器综合后,仍然用一根双绞线进行数据传输,直至工控机端才最终分开。在设计智能节点时,使用了 RJ45 插件中 6 根数据线,其中 4 根连接以太网控制器,2 根连接 CAN 总线驱动器。

### 3 智能节点模块硬件电路设计

智能节点模块由 FPGA 芯片 A2F060-CS288、CAN 控制器 SJA1000、CAN 驱动器 PCA82C250、高速光电耦合器 6N137、以太网控制器、USB 控制器、双端口 SDRAM 等组成。硬件架构如图 4 所示。

FPGA 的选择与系统实现的要求以及电路设计的复杂程度有关,系统智能节点模块要实现 2 种网络数据通信、传感器模拟数据的采集和工业摄像机的数据读取。另外,为了减少网络上的数据传输量,

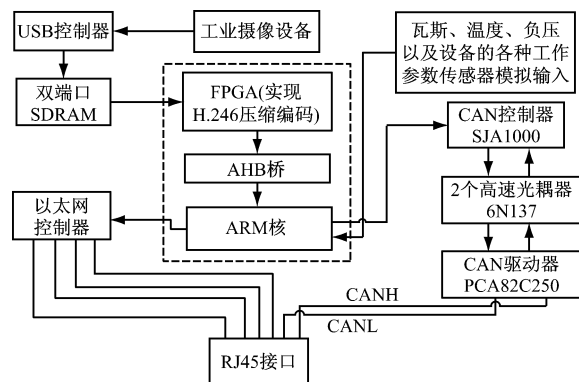


图 4 智能节点模块硬件架构

还要对海量的视频流数据进行压缩,鉴于此种情况,本系统选用带有 ARM 内核的 FPGA 芯片 A2F060 系列 CS288<sup>[7]</sup>作为处理器,内嵌的 ARM 核用于控制,FPGA 进行数据压缩的快速数字运算。SmartFusion 是 ARM 和 FPGA 的混合体,是新一代内嵌有 Cortex-M3 核的基于 FLASH 架构的 FPGA 处理器,并且具有在片模拟采集(ADC)功能。内嵌的 Cortex-M3 属于硬核,不占用 FPGA 的数字逻辑资源,其处理器运行速度高达 100 MHz,具有 1.25 DMIPS/MHz 的代码执行效率,且内置内存保护单元 MPU(Memory Protection Unit)、单周期的硬件乘法器和除法器,具有 FPGA 的高速并行运算的特点,同时还具有 ARM 灵活控制的长处,实现了数字运算处理和控制的无缝结合,这些特点使得其成为本系统技术方案选择的智能控制平台。

带有 USB2.0 接口的工业摄像设备通过智能节点上的 USB 控制器,把数据送入双端口 SDRAM 中,FPGA 读取 SDRAM 中的视频数据,然后把数据送入 FPGA 上的 H.264 模块进行视频压缩编码。视频数据经 H.264 压缩编码后,依靠 AHB 桥读取到 ARM 核中,再打包成 UDP/IP 数据,经以太网控制器发送到以太网上。值得注意的是,ARM 核中需移植 TCP/IP 协议栈。

矿井中的环境参数和设备工作状态传感器输出的信号,经信号调理后,直接接入 FPGA 的 ARM 核中 ADC 的模拟输入引脚。由于一个智能节点可挂载多个传感器,各个传感器的 ADC 使用轮询原则。在轮询例程的程序编写时,要对不同类型的传感器分别对待,这部分程序不具有可移植性,即各个智能节点的 ADC 例程应根据所连接的传感器编写。

ARM 采集到传感器数据后,在各项数据前加

上编号,这个编号对应着上位机服务器上数据库中的环境参数或设备工作参数编号,然后把这个加了编号的数据输出给 CAN 控制器 SJA1000,由 SJA1000 完成 CAN 通信的数据链路层的协议。协议完成后,打包好的数据通过高速光耦 6N137 送给 CAN 驱动器 PCA82C250。PCA82C250 实现 CAN 总线差动驱动,进而完成 CAN 总线的通信。

#### 4 H. 264 视频压缩的 FPGA 实现

H. 264 是国际标准化组织(ISO)和国际电信联盟(ITU)共同提出的新一代数字视频压缩格式,是一种面向未来 IP 和无线通信的数字视频压缩编码标准。它具有编码效率高、图像质量高、容错能力强、网络适应性强等优点。H. 264 编码算法具有易于实现、运算精度高且不溢出、运算速度快、内存占用少、图像块效应弱等优点,是一种更为实用有效的图像编码算法。

H. 264 保留了 ISO 以前制定的 H. 263 和 MPEG-4 编码标准的优点,仍采用图像预测和变换编码相结合的编码结构,在结构上没有改变,但在主要功能模块内部采用了一些先进的数据处理技术,提高了编码效率。数据处理的改变主要有以下几个方面:

(1) 编码是在  $4 \times 4$  的图像块上实现的残差编码,而不是之前编码标准的  $8 \times 8$  的图像块。

(2) 编码方式是整数变换编码,而不是之前的 DCT 变换编码。准确来说,是先 DCT 变换,再哈达玛变换。

(3) 采用上下文自适应编码。

H. 264 标准编码器结构如图 5 所示。

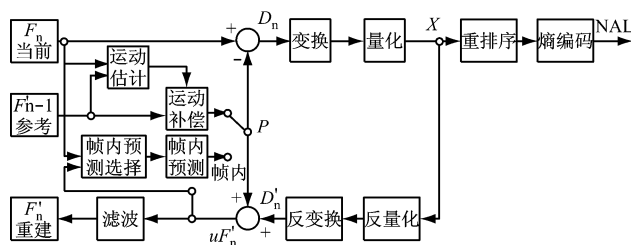


图 5 H. 264 标准编码器结构

本监控系统 FPGA 中 H. 264 视频压缩编码参考参考文献[8]提出的基于梯度的帧内预测方法和

参考文献[9]提出的 DCTQ (Discrete Cosine Transform and Quantization) 变换量化方案,熵编码使用自适应二进制算术编码。

#### 5 结语

在基于 CAN 总线和以太网的双网架构的煤矿监控系统中,利用 CAN 网络传输实时要求高、数据量少的数据,采用以太网实现海量的视频数据传输。且在传输视频数据时,采用 H. 264 进行数据压缩编码。网络智能节点选用 SOPC 为硬件构架平台,内嵌的 ARM 完成数据采集功能。双网络占用同一条物理线路。该系统解决了煤矿井下监控对象网络独立的问题,实现了矿井中所有监测对象整体组网、统一检测功能,提高了网络利用率。

参考文献:

- [1] 姬长生. 我国露天煤矿开采工艺发展状况综述 [J]. 采矿与安全工程学报, 2008, 25(3): 297-300.
- [2] 国家安全生产监督管理总局, 国家煤矿安全监察局. 煤矿安全生产“十一五”规划 [EB/OL]. (2006-04-10) [2013-05-06]. <http://wenku.baidu.com/view/1f05740ebb68a98271fefaf8.html>.
- [3] 李继林. 煤矿安全监控系统的现状和发展趋势 [J]. 煤炭技术, 2008, 27(11): 3-5.
- [4] 邹哲强. 煤矿监控系统本质安全型互联认证方法研究 [J]. 工矿自动化, 2010, 36(7): 26-29.
- [5] BOSCH Corporation CAN Specification V2.0 [EB/OL]. (2000-12-01) [2013-05-06]. <http://www.can-cia.org>.
- [6] DOUGLES E C. Computer networks and Internets [M]. New Jersey: Prentice Hall, 2000.
- [7] Microsemi Corporation SmartFusion Customizable System-on-Chip data sheet [EB/OL]. (2012-03-25) [2013-05-06]. <http://www.semiconductor.microsemi.com>.
- [8] 单博, 张晔, 陈浩. H. 264 帧内预测的 FPGA 实现 [J]. 计算机工程, 2009, 35(8): 250-252.
- [9] 刘海鹰, 张兆杨, 沈立权. 基于 FPGA 的 H. 264 变换量化的高性能的硬件实现 [J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(11): 1636-1639.