第 37 卷　第 14 期　　计　算　机　工　程　　2011 年 7 月
Vol.37　No.14　　Computer Engineering　　July 2011

• 工程应用技术与实现 •　文章编号：1000—3428(2011)14—0236—03　文献标识码：A　中图分类号：TP273+.5

数字矿山通信网络无线基站的设计与实现

张　骞，阳春华，曹　宇

(中南大学信息科学与工程学院，长沙 410083)

摘　要：针对现有矿井通信系统各自封闭、相互之间不能兼容的现状，提出基于 WiFi 的数字矿山通信网络系统的设计方案，设计开发用于构建通信网络系统的无线基站。该无线基站采用先进的可编程片上系统技术，实现 WiFi 语音通话、WiFi 视频监视、人员定位等多种功能，为矿山资源开采的可视化、可知化和生产过程的可控化提供技术支持。测试结果表明，该基站网络性能好，能满足实际应用的要求。

关键词：数字矿山通信网络；WiFi 协议；可编程片上系统；无线基站；三网合一

Design and Implementation of Wireless Base Stations in Digital Mine Communication Network

ZHANG Qian, YANG Chun-hua, CAO Yu

(School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

【Abstract】 In the view of the present situation that the communication systems in the underground mine are closed and incompatible each other, a scheme design of Digital Mine(DM) communication network system based on WiFi is proposed, and a wireless base station using to construct the communication network system is developed. The wireless base station employs advanced System On Programmable Chip(SOPC) technology, which implements the functions of WiFi voice communication, WiFi video monitoring, personnel positioning and so on, and accordingly provides the technical support for visualization, management and control in the mine resources exploitation process. Test results show that the performances of the wireless based station are good, which meet the actual application requirements.

【Key words】 Digital Mine(DM) communication network; WiFi protocol; System On Programmable Chip(SOPC); wireless base station; three-in-one networks

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.14.080

1　概述

矿井通信担负着生产调度、抢险救灾、传递信息等重要任务，在保障人身安全和矿井安全、高效的生产中发挥着重要的作用。长期以来，由于历史和技术的原因，我国矿山企业使用的各种通信系统几乎是自成体系，相互之间不能兼容，且功能单一，网络重复建设严重，通信线路多而杂，给生产、管理和维护带来了极大的不便[1]。目前，工业以太网在矿山企业已经得到了广泛的应用，为了节省线路资源，进一步提高矿井自动化程度，把矿井中各种通信系统融入工业以太网是未来发展的趋势，而 WiFi 无线接入技术进入市场并逐渐成熟也为数字矿山通信网络建设提供了一种可行的方案。

本文以无线网络作为有线网络的扩充和补充，通过对 WLAN 和有线 LAN 的有机融合，构建一个基于 TCP/IP 协议的，能够集无线语音通信、无线视频监视、设备监控、环境监测以及车辆、设备、人员定位于一体的“三网合一”的综合网络通信系统，并开发出基于可编程片上系统(System On Programmable Chip, SOPC)技术的矿井综合网络无线基站，从而实现 WiFi 语音通话、WiFi 视频监视、环境监测和人员定位等功能。

2　基于 WiFi 的数字矿山通信网线系统架构

应用 WiFi 技术和光纤通信技术构建的矿井通信网络系统网络拓扑结构如图 1 所示。它主要由千兆光纤骨干网、百兆光纤分支网、WLAN 和地面服务器组等构成。

千兆光纤骨干网主要由千兆光交换机和单模光纤的光电复合电缆构成。骨干网采用有极强故障自愈性的互逆双环网拓扑结构，它可以快速地建立和恢复连接，即使某个节点因故障停止工作或者某段光纤断开也不会影响网络的正常工作。

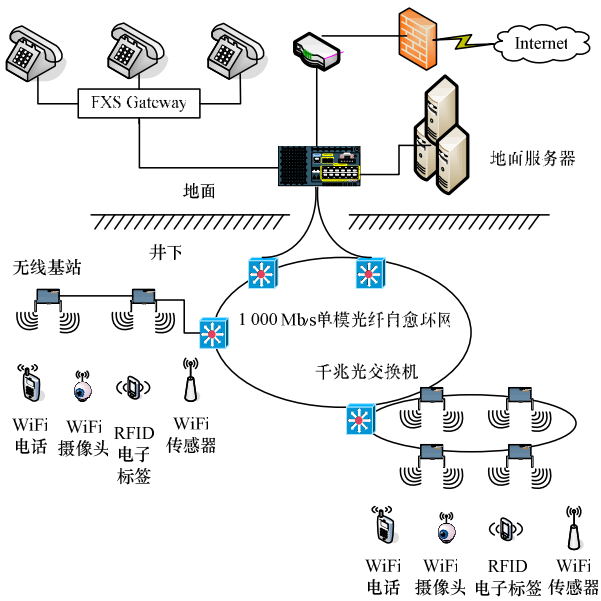


图 1　数字矿山综合通信网络架构

作者简介：张　骞(1984－)，男，硕士研究生，主研方向：智能自动化控制系统与装置；阳春华，教授、博士生导师；曹　宇，硕士研究生

收稿日期：2011-01-17　**E-mail：**zhangqiangcsu@gmail.com

百兆光纤分支网通过骨干网上的光交换机与骨干网互联，百兆光分支网的基本节点是 WiFi 无线基站，多模光纤的光电复合电缆连接各 WiFi 无线基站。根据各工作巷道的分布特点、通信信息流量、可靠性等级等要求，分支网的拓扑结构可选择环形或者树形网络结构。最后 300 m 的无线局域网主要采用 WiFi 技术，通过 WiFi 无线基站与百兆分支网互联。地面服务器组对网络中的设备进行管理，接收网络中无线基站发送的数据包，管理网络中接入的无线设备等。数字矿山通信网络系统可以根据具体需要集成不同功能的子系统，例如语音通信、视频监视、人员定位、风机水泵等设备的控制。

3　无线基站设计

WiFi 无线基站是百兆分支网的基本节点，它的主要功能是将基于 WiFi 的 WLAN 接入分支光纤网，在分支光纤网内部以及分支光纤与 WLAN 之间进行数据交换和转发。WiFi 无线基站设计采用 Altera 公司先进的 SOPC 技术。SOPC 技术可以将处理器、存储器、I/O 接口、硬件协处理器和普通的用户逻辑等功能模块都集成到一片 FPGA 芯片里，构建一个可编程的片上系统。利用该技术在 FPGA 芯片上配置 32 位的 Nios II 软核处理器、Avalon 总线和相关的接口模块来实现无线基站的主要硬件电路。Nios II 系统设计以 Nios II 软核为核心，将全部的接口集成到同一片 FPGA 上，结构简单；同时，利用 Nios II 软核可在线配置的优点，通过软件编程改变 FPGA 的内部结构即可迅速、方便地实现系统功能的扩展、升级，大大缩短了系统的开发周期[2]。

3.1　无线基站总体结构

整个无线基站由网络数据处理单元、设备状态监测单元、电源管理单元、RFID 读卡器、无线 AP、功能扩展接口、人机交互单元和光电交换单元组成，无线基站的结构如图 2 所示。

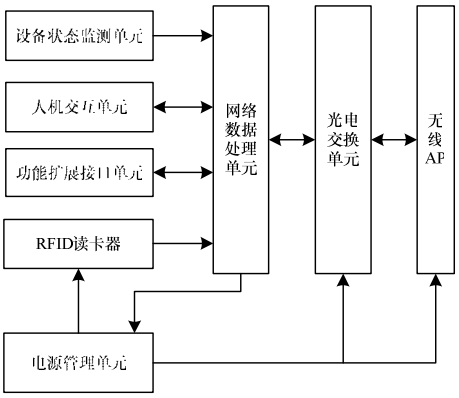


图 2　无线基站结构

以 FPGA 为核心的网络数据处理单元，它一方面实现网络通信的功能，另一方面承担事务处理的功能。设备状态监测单元检测的数据和 RFID 读卡器接收到电子标签的数据，通过它处理后发送给地面服务器，同时通过它控制人机交互单元，把设备运行状态显示出来，当处理设备状态的数据时，发现设备状态出现异常，除了通过人机交互单元显示报警信息外，还会立即采取相应的保护措施，如 RFID 读卡器状态出现异常时，关断电源管理单元相应的供电电源。而用于语音通信的 VOIP 网络电话和用于视频监控的 WiFi 网络摄像头等无线网络设备通过无线 AP 接入无线基站。网络数据处理模块接入的数据网，无线 AP 接入的音频网和视频网通过 100 Mb/s 双绞线接入光电交换机，光电交换机通过光接口与百兆分支网相连。这样，无线基站便实现了“三网接入，一网接出”的“三网合一”的功能。

3.2　无线基站硬件设计

由图 2 可知，网络数据处理单元、设备状态监测单元、人机交换单元、功能扩展接口单元、RFID 读卡器以及电源管理单元构成了 Nios II 系统，Nios II 系统的硬件结构如图 3 所示。

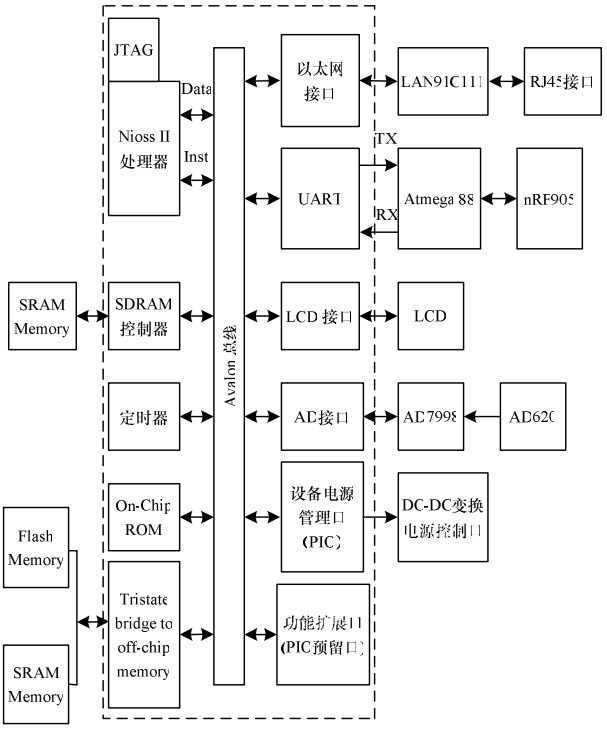


图 3　Nios II 系统硬件结构

系统的硬件主要由 FPGA 内的 Nios II 处理器、Aalvon 总线及接口模块、FPGA 外的 10 Mb/s/100 Mb/s 以太网控制器芯片 LAN91C111、AD7998、RFID 读卡器、DC-DC 变换器芯片等部分组成。在系统的硬件设计中，FPGA 内部的模块是利用 Altera 公司提供的 Quartus II 开发软件和 SOPC Builder 系统开发工具来设计的[3]。

Nios II 处理器系列是一个用户可配置的通用 32 位 RISC 嵌入式软核处理器系列，它包括 3 种 CPU 处理器：(1)高性能处理器内核。它的处理能力超过 250 MHz，需要占用 1 800 个逻辑单元；(2)精简软核，利用这种精简软核构建一个完整的 CPU 系统只需要占用 700 个逻辑单元；(3)标准软核，这种核约占用 1 400 个逻辑单元，性能介于上面两者之间，所有的软核都是代码兼容的，设计者可以根据系统需要选择 CPU 来调整嵌入式系统的性能和成本[4-5]。本次设计采用的 Cyclone II 系列的 EP2C8Q208C8N 有 8 256 个逻辑单元，资源丰富，但是系统对 CPU 的性能要求不是特别高，因此选用标准型的 Nios II 软核作为本系统的 CPU。

射频收发模块 nRF905 和 MCU Atmega88 组成 RFID 读卡器，RFID 读卡器通过串口与 FPGA 通信[6]。设备状态监测单元主要监测无线 AP、光电交换单元和 RFID 读卡器运行时的工作电压和工作电流，一共 6 路信号经过信号调理放大，送入 A/D 转换器，AD7998 是 ADI 公司的 12 bit、8 通道的模数转换器。电源管理单元的核心是多路可控高压 DC-DC 变换电源。电源管理单元输出有 3 路，分别是：供光电交换模块的直流 12 V，供无线 AP 的直流 9 V，供射频定位模块的直

流 5 V，每一路均由 FPGA 控制输出。

4 无线基站测试

无线基站作为通信网络的基本节点，测试应该包括单机测试和网络测试，而单机测试和网络测试的测试方法和侧重点又有所不同。单机测试是网络测试的基础，它不但可以验证无线基站设计的合理性，而且是网络测试的前提。本文只介绍无线基站的单机测试。单机测试的主要参数有信号量、吞吐量、网络延迟、抖动及丢包率等。测试中无线基站采用 7 dB 全向天线，测试软件有应用层性能测试软件 NetIQ Chariot v5.4、局域网络测试工具 Qcheck、无线网络信号强度测试软件 WirelessMon。测试的地点选择在两边树木茂密的平坦马路(模拟矿井环境)，单机测试网络拓扑如图 4 所示。

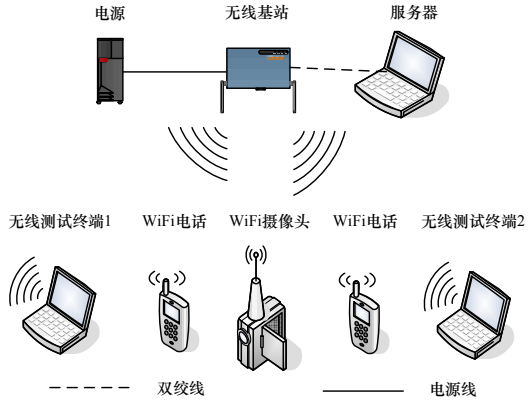


图 4 单点测试网络拓扑

测试的数据主要有 AP 信号量、电话信号量、通话质量、网络吞吐量、VoIP 满意度 MOS 值、丢包率等，具体测试数据如下，图 5 表示无线 AP 与电话信号量统计，图 6 表示吞吐量统计(系统测试时，进行了 6 对进程，3 对采用 TCP 协议，另外 3 对采用 UDP 协议)，表 1 表示 VOIP 满意度与丢包率测试统计。在表 1 中，字母 A 后面的数字代表离无线基站的直线距离，如 A20 表示离无线基站的直线距离为 20 m。

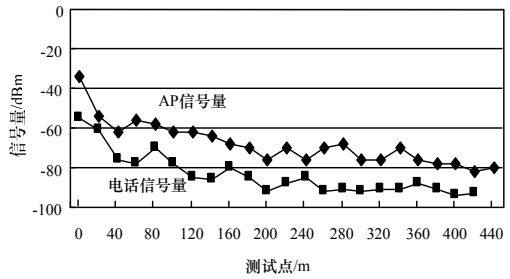


图 5 AP 与电话信号量统计

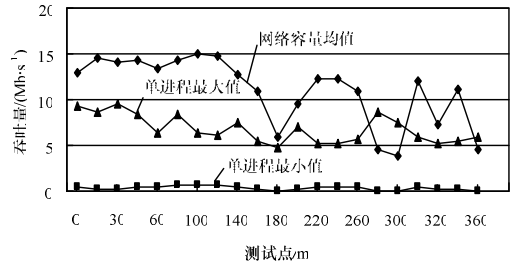


图 6 吞吐量统计

表 1 VOIP 满意度与丢包率测试统计表

测试点	MOS 平均值	丢包率/(%)	时延抖动均值/ms	时延均值/ms
A20	4.14	1.329	4.112	52
A100	3.97	1.833	2.970	55
A200	3.98	2.127	3.367	60
A300	3.78	4.137	4.953	78
A350	3.60	2.357	4.092	64
A400	4.13	1.590	1.950	53
A420	3.32	10.823	7.378	83

RFID 可实现井下人员、设备、车辆跟踪定位，通过实际测试，读卡器可以完成 40 片/s~50 片/s 的读卡速度，读卡距离为 0~25 m，漏读率低于 1%。

由图 5 可知，根据软件测试，在 450 m 以内网络信号合格，根据电话信号量测试数据，在 250 m以内区域是电话通话的优良区域，无线基站满足 WiFi 语音通话的实际要求。

图 6 表示的是无线设备到服务器的传输吞吐量，此参数值反映了实际应用中，无线移动终端设备(如视频、笔记本等)与服务器之间的实际传输吞吐量。根据测量每个测试点的实际吞吐率，可以得出整个网络的带宽分布情况，根据这个参数可计算一台无线基站可以接入的无线摄像头和 WiFi 电话的个数，无线基站采用的是 802.11b/g 协议，因此单机接入 1 台~2 台 WiFi 摄像头和 30 台 WiFi 电话是能够满足实际要求的，如果采用 802.11n 协议，接入的无线终端的容量会更大。根据表 1 中测试结果，400 m 以内只有 A300 点为 6%，其他值都为 3%以下，证明整个网络丢包率和重发率小，满足实际应用需求。无线基站单机测试结果表明，无线基站能够实现语音、视频、数据“三网合一”的功能，同时保证一定的网络性能，满足实际应用的要求。

5 结束语

矿井综合通信网络对数字矿山的建设具有重要的意义，本文提出基于 WiFi 的矿井综合通信网络系统方案，介绍该方案中通信网络基本节点——无线基站的研制，无线基站具有“三网合一”的功能。无线基站采用先进的 SOPC 技术设计和开发，可裁剪、可扩充、可升级，能够实现“结构一致，功能多样”，具有较强的工程意义和广阔的应用前景。测试结果表明，无线基站能够在实现其功能的前提条件下保证性能的可靠性，实现各项设计指标，达到预期的目标。但是它的一些性能还需要在下一步工作中继续提高，如读卡器的读卡速度还需要进一步提高，漏读率还需要降低。

参考文献

[1] 唐春霞, 阳春华, 张 骞, 等. 井下多媒体综合无线通信基站的设计[J]. 矿业研究与开发, 2009, 29(9): 1-4.

[2] 彭程程, 谷 鸣, 刘 波, 等. 基于 SOPC 架构的脉冲磁场数据采集系统[J]. 核电子学与探测技术, 2009, 29(1): 6-9.

[3] 付新华, 肖明清, 周越文, 等. 自动测试系统的可重构测试接口适配器设计[J]. 计算机工程, 2010, 36(2): 225-228.

[4] 王阿川. 基于 FPAG 高速图像采集卡的研制[J]. 自动化仪表, 2005, 26(6): 21-23.

[5] 廖 强, 文 荣, 夏 洋, 等. 基于 SOPC 的宽幅喷墨打印机控制系统[J]. 计算机工程, 2009, 35(19): 260-262.

[6] 李 辉, 侯义斌, 黄棒钦, 等. 基于 FPGA 的防伪阅读器[J]. 计算机工程, 2008, 34(21): 35-37.

编辑 任吉慧