

矿井无线传感器网络的网关设计

江海峰¹, 甄阳清², 傅毅³

(1. 中国矿业大学计算机学院, 徐州 221116; 2. 济宁矿业集团肖云煤矿, 济宁 272100; 3. 焦煤集团方庄煤矿, 焦作 454000)

摘要: 无线传感器网络在煤矿井下的推广和应用要求无线传感器网络和井下主干网络以太网进行互联, 接入网关是关键部件。该文分析现有的无线传感器网络和以太网互联的通信实现方案, 提出基于高性能网络处理器和嵌入式实时操作系统的网关解决方案, 介绍基于嵌入式微处理器 S3C4510B 和嵌入式操作系统 VxWorks 实现矿井无线传感器网络接入网关的关键技术和具体方法。

关键词: 无线传感器网络; 网关; 以太网; 嵌入式操作系统

Design of Gateway of Wireless Sensor Network in Coal Mine

JIANG Hai-feng¹, ZHEN Yang-qing², FU Yi³

(1. College of Computer, China University of Mining Technology, Xuzhou 221116;

2. Xiaoyun Coal Mine, Jining Mining Industry Group, Jining 272100; 3. Fangzhuang Coal Mine, Jiaozuo Coal Co. Ltd., Jiaozuo 454000)

【Abstract】 With the spread and applications of wireless sensor network in the coal mine, the request is pointed out to connect wireless sensor network with Ethernet which is the trunk network under the mine. The gateway is one of the most important parts. By analyzing communication reality methods of wireless sensor network to Ethernet, the blue print of gateway based on high performance network controller and embedded real-time operating system is pointed out. The key techniques and methods on how to realize the gateway with embedded microprocessor S3C4510B and embedded real-time operating system VxWorks are expounded.

【Key words】 wireless sensor network; gateway; Ethernet; embedded operating system

无线传感器网络是新一代的传感网络, 具有非常广泛的应用前景^[1]。近年来, 我国煤矿安全生产工作取得了较大的成就, 但与发达国家相比, 还存在很大的差距。煤矿井下监测监控系统多采用有线通信方式, 在采掘面最容易发生危险的地方, 由于有线网络不容易进入, 监控较少, 没有动态监测点, 因此采用先进的通信、监测、信息处理、计算机等技术构建基于无线传感器网络的监测监控系统势在必行。中科院计算所在内蒙古多家煤矿进行试点, 构建了基于无线传感器网络的煤矿安全监测系统, 取得了良好的应用效果。

1 网关的总体设计

在煤矿井下构建无线传感器网络并不是要替代原有的有线网络, 而是有线网络的有益补充, 所以, 要实现无线传感器网络和有线网络的无缝结合。2003 年中国矿业大学提出的工业以太网方案已在煤矿获得了广泛应用, 研究设计的煤矿综合自动化系统采用计算机网络、光纤通信、嵌入式系统、实时优先级等先进技术, 在环境恶劣、人员设备分散、有特殊安全要求等特点的煤矿构建一个基于工业以太网的井下宽带高速互联网, 实现所有与安全和生产有关的煤矿监测监控数据、语音、视频等各种信息都在这个综合自动化平台上传输, 典型的系统包括中国矿业大学的 KJ82、重庆煤科院的 KJ122 等。基于无线传感器网络的煤矿安全监测系统必须与基于工业以太网的井下主干网络相联, 形成工业以太网+无线传感器网络的混合控制的网络结构, 成为矿井信息化建设的发展趋势。

目前, 国内外对无线传感器网络与主干网络互联的研究尚处于初级阶段, 归纳已有的研究成果, 研究人员提出了将传感器网络与主干网络互联的结构^[2]。图 1 所示的互联结构利用网关作为接口, 将传感器网络与主干网络互联。这种结构被称为“同构网

络互联”, 因为除了网关之外, 所有节点具有相同的功能。这种结构的主要思路是: 利用网关屏蔽传感器网络, 并向远端用户提供实时的信息服务和互操作功能。

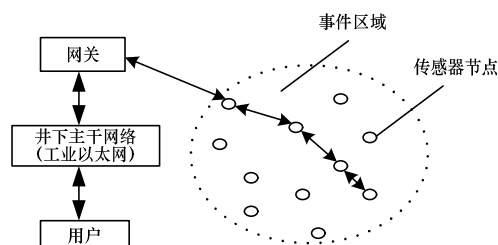


图 1 采用单个网关的同构网络互联

同构网络互联结构实际上是把与主干网络互联的接口置于无线传感器网络外部的网关。这种结构的优点是能够在传感器网络和主干网络之间实施中间措施, 方便了 2 种数据流的平稳对接, 且易于管理, 无须调整传感器网络本身。其缺点是大量数据流聚集在靠近网关的节点周围, 使网关附近的节点能量消耗过快, 网内能耗分布不均匀, 从而降低了传感器网络的生存时间。改进方案通过使用多个网关促进网内能耗均匀分布。

在接入网关的实现方案上, 国外主要有 2 种典型的网关: 模块化的网关和一体化的网关。英国的休斯顿莱斯(Rice)大学的 Gnomes 系列产品、Crossbow Technology 公司采用 ARM 内核

基金项目: 江苏省科技计划基金资助项目(BG2007012); 中国矿业大学科技基金资助项目(2007A046)

作者简介: 江海峰(1979—), 男, 讲师、在职博士研究生, 主研方向: 嵌入式系统, 无线传感器网络; 甄阳清、傅毅, 工程师

收稿日期: 2008-07-09 **E-mail:** fengfengxz@sohu.com

PXA255 的网关和 Millennium Net 的 iBean 系列都是模块化的网关。一体化的网关主要有加利福尼亚大学洛杉矶分校研制的 iBridge。国内研究的网关主要针对不同的接入方式, 有以联通公司的 CDMA 1X 网络作为接入网络的基于 CDMA 模块的接入网关^[3]、以中国移动的 GPRS 网络作为接入网络的网关及以下一代网络 IPv6 以太网作为接入网络的接入网关。上述接入网关的实现方案多应用于一般工业和民用领域, 在以工业以太网作为主干网络和对安全性有特殊要求的煤矿井下并不适用。

综上所述, 采用同构网络互联结构研制开发适应煤矿井下现有主干网络通信方式和特殊安全性要求的独立接入网关, 使用 32 位 ARM 处理器和嵌入式实时操作系统 VxWorks, 支持 10 Mb/s/100 Mb/s 工业以太网, 提供无线网络接口, 可以解决无线传感器网络与工业以太网的互联问题, 具有很好的推广应用前景和很大的市场需求。

2 网关的硬件设计

本系统使用 S3C4510B 作为系统控制核心, 它是韩国三星公司生产的以 32 位的 RISC ARM7TDMI 为内核的一种网络微控制器, 提供 1 Mb/s/100 Mb/s 以太网的连接, 独立的分组地址空间管理模式方便了扩展设计, 非常适用于系统控制及通信领域, 使系统具有很强的升级扩展能力。本系统提供丰富的接口, RS-232 接口在调试过程中用来与 PC 进行通信, 作为控制台输入调试命令, 显示调试信息; 无线网络接口实现网关与传感器网络的互联; 以太网接口支持网关以 1 Mb/s/100 Mb/s 自适应的速率接入以太网。系统硬件结构如图 2 所示。

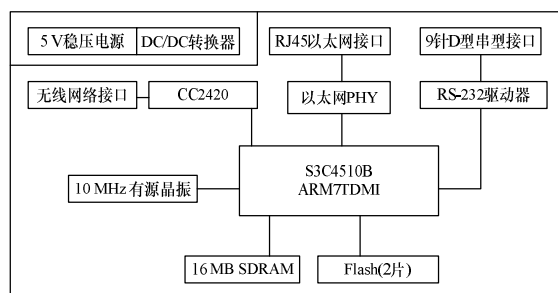


图 2 系统硬件结构

2.1 存储器模块的设计

S3C4510B 只有 8 KB 在片的 Cache/SRAM, 因此, 需外接存储器。外接的存储器类型有 ROM/SRAM/Flash 和 DRAM/SDRAM。本系统中的存储器选择 Flash 存储器和 SDRAM 存储器。

Flash 存储器有 2 片, 一片为 AMD29F040, 存储空间为 512 KB, 用来存放系统的启动代码。S3C4510B 的 nRCSO 与 AMD29F040 的 CE 相连, 作为片选信号, 低电平有效。S3C4510B 的 nOE 与 AMD29F040 的 OE 端相连, 作为输出允许信号, 在低电平时, 允许对 AMD29F040 进行读操作。S3C4510B 的 nWBE0 与 AMD29F040 的 WE 相连, 作为写有效信号, 低电平有效。AMD29F040 的数据线和地址线分别与 S3C4510B 的数据总线和地址总线对应相连。另外一片 Flash 为 SST39VF160, 存储空间为 2 MB, 用于存放 VxWorks 映像、网页和无线传感器网络的采集信息等数据。

与 Flash 存储器相比, SDRAM 不具有掉电保持数据的特性, 但其存取速度大大高于 Flash 存储器, 且具有读/写属性。因此, SDRAM 在系统中主要用作程序的运行空间、数据及

堆栈区。本系统 SDRAM 选用 HY57V641620, 存储容量为 4 组×16 Mb(8 MB), 16 位数据宽度。用 2 片 HY57V641620 并联构建 32 位的 SDRAM 存储器系统, 其中一片为高 16 位, 另一片为低 16 位。

S3C4510B 通过设置系统的特殊功能寄存器实现对 Flash 和 SDRAM 的配置, 主要的寄存器有 SYSCFG, ROMCON0, ROMCON1, SDRAMCON0, REFEXTCON, 这些特殊功能寄存器设置了存储器的数据宽度、各个存储器的地址范围以及读取时间周期等参数。

2.2 以太网接口电路

本网关实现无线传感器网络到以太网的转换, 所以, 系统中必须配置以太网接口。以太网接口主要由 MAC 控制器和物理层接口(Physical Layer, PHY)2 大部分构成, 目前常见的以太网接口芯片有 RTL8019, RTL8029, RTL8039 等, 其内部结构也主要包含这 2 个部分。

S3C4510B 内部提供了一个以太网控制器, 支持媒体独立接口(Media Independent Interface, MII)和带缓冲 DMA 接口(Buffered DMA Interface, BDI), 这使其能够成为一款优秀的网络控制器。因此, 在设计以太网接口时只需外接一片物理层芯片, 提供以太网的接入通道。在本系统中选用 RTL8201 作为以太网的物理层接口, 它提供了 MII 接口, 可以方便地与 S3C4510B 连接。

2.3 无线接口设计

接入网关的无线通信模块的功能由 CC2420 射频收发器实现。CC2420 是 Chipcon AS 公司推出的首款符合 2.4 GHz IEEE 802.15.4 标准的射频收发器, 是第 1 款适用于 ZigBee(一种基于 IEEE 802.15.4 规范的无线技术)产品的 RF 器件。它采用 Chipcon 公司的 SmartRF03 技术, 以 0.18 μm CMOS 工艺制成, 只需极少外部元器件, 性能稳定且功耗极低。CC2420 的选择性和敏感性指数超过了 IEEE 802.15.4 标准的要求, 可确保短距离通信的有效性和可靠性。利用此芯片开发的无线通信设备支持的数据传输率高达 250 Kb/s, 可以实现多点对多点的快速组网^[4]。

CC2420 与微处理器之间可采用 SPI 接口进行连接。S3C4510B 本身不具备 SPI 接口, 可以使用软件模拟的方法实现 SPI 接口的功能。S3C4510B 有 18 个通用 I/O 口, 在该系统中, 设置 P8 为 CC2420 的片选线 CSn, P9 模拟主机输出线 SI, P10 模拟主机时钟 SCLK, P11 模拟主机输入线 SO。同时将 P12-P15 分别与 CC2420 的 SFD, FIFO, FIFOP 和 CCA 这 4 个引脚相连, 实现查询 CC2420 收发数据状态的功能。

3 网关的软件设计

本网关主要应用于基于无线传感器网络的煤矿监测监控系统接入基于工业以太网的井下主干网络的场合, 对其稳定性和实时性要求很高, 因此, 本系统选择嵌入式实时操作系统 VxWorks 及其集成开发环境 Tornado 作为软件开发平台。本网关的软件设计主要包括板级支持包 BSP 的移植、FTP/TFTP 服务器的创建、TFFS 文件系统的创建及协议转换程序的设计。

3.1 BSP 移植

BSP 是一个软件抽象层, 位于硬件和上层代码之间, 为上层软件提供与特殊硬件无关的统一操作接口。BSP 的移植在整个软件设计中占有十分重要的地位。VxWorks 的开发公司提供了大量预制的、支持许多商业主板及评估板的 BSP,

在移植 BSP 时可以选择一个最接近的加以修改。一般需要修改的主要是 Bootline, 而需要配置的文件包括 config.h, Makefile, wrSbcArm7.h。

3.1.1 Bootline

当 VxWorks 系统启动时, 必须指定一些启动参数, 这些信息包含在称为 Bootline 的字符串中。config.h 中 DEFAULT_BOOT_LINE 宏就是缺省的 Bootline, 需要经常修改来配置启动参数。

3.1.2 config.h

config.h 为具体 BSP 的配置文件, 其中最重要的是 DEFAULT_BOOT_LINE 的定义、各内存地址的定义及其他一些硬件配置定义。该文件是最重要的配置文件, 对系统影响很大, 所以, 在配置修改时要特别小心。

3.1.3 Makefile

Makefile 是编译规则文件, 主要修改其中几个内存地址相关的宏定义。另外如果需要向 BSP 中加入自己的驱动代码, 一般要添加 EXTRA_MODULE 定义。

3.1.4 wrSbcArm7.h

wrSbcArm7.h 是嵌入式系统的专用头文件, 其中要修改的部分主要是存储空间的分配, 通过对某些寄存器的设置, 为不同的存储体分配相应的 Bank。

3.2 FTP/TFTP 服务器的创建

在本系统中实现了 FTP/TFTP 服务器, 以方便用户通过 FTP/TFTP 管理该网关的文件系统, 进行软件更新、下载参数文件等。FTP/TFTP 服务器的创建比较简单, 只需在 Tornado 开发环境下的组件视窗中添加相应的组件 “network components->networking protocol->network file systems->FTP server 及 TFTP server” 即可。考虑到网络安全, 最好添加 “FTP server security” 组件, 实现密码访问。

3.3 TFFS 文件系统

为了便于对程序映像、Web 文档和无线传感器网络数据的存放和管理, 在系统的 SST39VF160 Flash 上实现了 TFFS 文件系统。VxWorks 本身支持 TFFS 文件系统, 只需在 Tornado

开发环境下的组件视窗中添加 “hardware->peripherals->TrueFFS” 下相应的组件即可。但 TrueFFS drivers 不支持 SST39VF160, 这就需要自己编写驱动和修改相关配置文件。配置主要是 “\Tornado\target\src\drv\tffs\tffsConfig.c”, 而驱动程序文件 sysTffs.c 的编写需要参考 SST39VF160 的 DataSheet 进行。最后在 VxWorks 启动时使用 usrTffsConfig 等函数创建 TFFS 设备。

3.4 协议转换程序

协议转换程序作为网关的上层应用程序而存在, 完成对数据的解析与转发。一方面协议转换程序与网关硬件相结合, 通过无线网络接口与无线传感器网络内的节点设备进行通信。如果无线传感器网络节点有信息要传送给远端服务器, 只要把数据信息传送给网关, 协议转换程序获得这些数据信息和附加信息后, 能对数据报文的目的地作出判断, 对其进行正确的解析、处理和转发, 从而使网关成了无线传感器网络中最大的汇聚点。另一方面, 它使网关在逻辑上成为以太网中的一个节点, 有能力与远程服务器进行通信, 接收以太网的数据包并予以处理。

4 结束语

本网关使原有基于无线传感器网络的煤矿监测监控系统接入了高速的井下主干网络以太网, 有效解决了监测监控系统中无线传感器网络和上层信息管理层的互联问题。

参考文献

- [1] 马祖长, 孙怡宁, 梅涛. 无线传感器网络综述[J]. 通信学报, 2004, 25(4): 114-124.
- [2] Zuniga M, Krishnamachari B. Integrating Future Large-scale Wireless Sensor Networks with the Internet[Z]. (2007-06-08). www.cs.usc.edu/research/techreports/papers/03-792.pdf.
- [3] 欧杰峰, 刘兴华. 基于 CDMA 模块的无线传感器网络网关的实现[J]. 计算机工程, 2007, 33(1): 115-116.
- [4] 张瑞华, 袁东风. 基于嵌入式无线传感器网络平台的实现[J]. 计算机工程与设计, 2006, 27(18): 3349-3352.

(上接第 105 页)

表 1 对象池性能测试结果

	耗时/ms
Object Pool	297
new/delete	625
内存分配速度提高	625-297/625=52.48%

测试 2: 系统压力测试

根据上述设计, 采用 Visual Studio 2005 开发实现的测试服务器在压力测试中取得很好的结果。在 3 000 个模拟客户端的长时间不间断连续信息传输过程中, 服务器处理吞吐能力始终保持在 1 200 条/s 左右, 并且所在服务器操作系统状况良好, 系统资源消耗正常, 占用率稳定。

6 结束语

根据高性能的、可扩展性的服务器实际应用需求, 本文提出了基于三层结构的底层网络通信模块设计方案, 并采用多种系统优化技术来实现该模块在实际应用中的高性能和高效率。其中, 线程池和对象池优化技术不仅在服务器端开发上有很好的应用, 也可以用于其他对性能要求较高的应用程

序中。经过严格的性能测试, 结果表明该模块在实际应用中, 有非常好的表现, 这也达到了笔者设计的初衷。

参考文献

- [1] 张静华. 应用套接字模型实现网络通信[J]. 山西电子技术, 2004, (4): 20-21.
- [2] Jones A, Ohlund J. Windows 网络编程[M]. 2 版. 杨合庆, 译. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [3] Richter J. Windows 核心编程[M]. 1 版. 王建华, 译. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [4] 岳群彬, 马跃, 雷为民. 一种高并发请求下线程池的设计与实现[C]//第九届计算机科学与技术研究生学术讨论会论文集. 北京: [出版社不祥], 2006.
- [5] 冯宏华, 徐莹, 程远, 等. C++应用程序性能优化[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [6] 侯捷. 池内春秋——Memory Pool 的设计哲学与无痛应用[J]. 程序员, 2002, (9): 94-97.