

基于 ARM 的嵌入式 Zig 网关设计与实现

The Design and Realization of Embedded Zig Gateway Based on ARM

中国矿业大学 徐州 乔大雷 夏士雄 杨松 陈岱

Q I A O D A L E I X I A S H I X I

摘要 设计并实现了一个基于 ARM 处理器的 Zig 无线传感器网络嵌入式网关 用来完成 Zig 和 IEEE 802.11 数据的双向透明转换。给出了该网关的硬件方案设计和主要软件编程思路以及一种新型网关的协议转换方案的实现思路。该网关具有较好的通用性。

关键词 无线传感器网络 ; Zig 嵌入式网关 ; STM32

中图分类号 : TP393.03 文献标识码 : B

Abstract This paper presents the design and realization of an embedded Zig gateway based on ARM Processor. This gateway can convert the data between Zig and IEEE 802.11 and the programming method of software is also introduced. This gateway can be used for general wireless sensor network.

Keywords: WSN, Zigbee, embedded gateway, STM32

引言

无线传感器网络 (Wireless Sensor Network) 是指由大量低成本相对低廉的具有感知能力、计算能力、实时通信能力的传感器节点组成的嵌入式无线网络。是当前众多领域的研究和应用热点。建立在 IEEE 802.15.4 低速率无线个人区域网络上的 Zig 协议是应用于无线监测与控制的全球性无线通信标准。是无线传感器网络组网的首选技术之一。

随着 Zig 无线传感器网络技术的广泛应用,如何通过现有网络基础设施 (Internet) 对其进行远程管理、控制感测环境中的各种传感装置,逐渐成为该领域的重要研究课题。图 1 给出了基于 Zig 的无线传感器网络体系结构,如图示 Zig 网关在整个无线传感器网络体系中起着重要的枢纽作用,同时也是 WSN 整体系统的“瓶颈”之一。当图 1 中的服务器或用户部分为其它 Zig 网络时,通过 Zig 网关和 Internet 或 GPRS 做媒介,就使得世界范围内的不同监测区域都可以信息共享,这大大缩小了物理世界的时空距离。

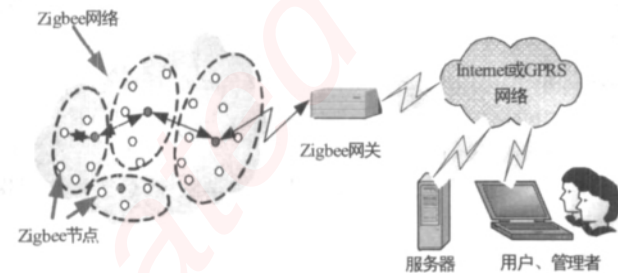


图 1 基于 Zigbee 技术的无线传感器网络

本文主要研究的是 Internet 环境下基于 Zig 传感器网络的网关设计及其实现。

系统概述

网关是建立在传输层以上的协议转换器,通常它连接两个或多个相互独立的网络。每接收一种协议的数据包后,在转发之前将它转换为另一种协议的格式。考虑到 Zig 节点的通信能力有限,数据速率仅为 250kbps,为减少网关协议转换自身的工作量,本网关选择了一款集成 Ethernet 接口的 ARM 核心 M9 来完成硬件系统的搭建。

本网关采用模块化设计方案,如图 2 所示由硬件层、软件层和应用层三大部分组成。其中硬件层描述了网关的硬件实现,在后文将详细介绍。软件层移植 μC / 实时操作系统内核、Zig 和嵌入式 TCP 协议栈 ILPv 实现 Zig 和 IEEE 802.11 协议的双向透明转换,同时封装一些关键 API 函数供应用层程序调用。应用层运行的是用户编写的应用程序,用户可以根据实际需要调用下层定义的 API 自行扩充相关应用。



图 2 Zigbee 网关总体结构

乔大雷 硕士生

基金项目 国家自然科学基金资助项目 (50674086)

江苏省社会发展计划立项项目 (BS2006002)

硬件设计

网关硬件结构如图 3 所示,由内部集成以太网 MAC

ARM处理器 STR912FW44X Zigbee射频收发模块 CC2420
容量 DataFlash存储卡片 AT45DCB008以太网收发芯片 (PHY)
RTL8201和带触摸功能的 LCD显示模块 LQ084V1DG2等模块组成。

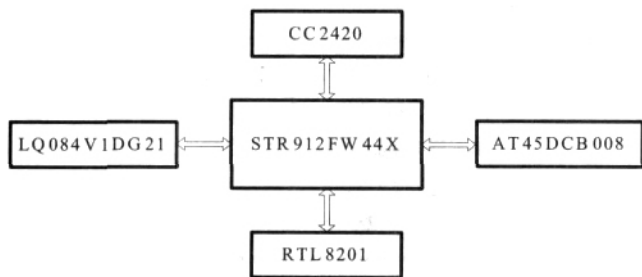


图3 Zigbee网关硬件结构

其中 STR912FW44X作为硬件系统的主控芯片，它是意法半导体 (ST Microelectronics)推出的基于 ARM966E-内核片内集成 Flash USB CAN以太网 MAC A/D控制、ADC RTC DM等接口的高性能 ARM9 SOC最高主频可达 96Mhz

Zigbee射频收发芯片 CC2420是挪威 Chipcon公司推出的符合 2.4 GHz IEEE 802.15.4和 Zigbee标准的射频收发器。

CC2420采用 O-QPSK调制方式，工作频段范围为 2.400 2.4835 GHz接收灵敏度为 -94 dB抗邻频道干扰能力为 39 dB利用此芯片开发的无线通信设备支持数据传输率高达 250 Kbps能够实现点对多点的快速组网；

AT45DCB008是 Atmel公司推出的新型 DataFlash存储芯片，在该网关中用来保存网络故障状态下的数据信息。

AT45DCB008的数据按页存放 主存共 8192页 每页 1024字节 总容量约为 8M字节 每页的擦写次数保证在 100,000以上；

以太网 PHY层芯片采用的是 Realtek公司的 RTL8201BL，它是一个单端口的物理层收发器 实现了全部的 10/100以太网物理层功能；

显示部分采用的 LQ084V1DG2是 SHARP公司的带触摸屏 8英寸 TFT数字液晶显示屏 分辨率为 640 480

嵌入式网关软件设计

3.1 μ C/OS-III的 LwIP的移植

μ C/OS-III是一个抢占式的实时多任务内核操作系统 具有开放源码、可固化、可剪裁、高稳定性和可靠性等特点。目前国内对外对 μ C/OS-III的相关研究已有很多 其在 STR912处理器上的移植在此不再赘述。LwIP是瑞士计算机科学院开发的轻量级

(Light Weight)开放源码 TCP/IP协议栈 目前最新版本为 1.2.0

LwIP协议栈把所有与硬件相关、OS编译器相关的部分独立出来 放在 /src/arch目录下 可以说是其在设计时就考虑了移植问题。LwIP在 μ C/OS-III上的移植就是修改这个目录下的文件 其它的文件一般不做修改。需要修改和自己编程实现的是以下几部分：

与 STR912 IA编译器相关的 include文件；

μ C/OS-III模拟层相关代码编写；

与 μ C/OS-III相关的一些结构和函数；

*lib_arch库函数的实现；

*STR912网络驱动程序编写。

完成以上代码移植的工作后，LwIP就可以顺利运行在 μ C/OS-III 主要通过以下程序完成 LwIP的初始化及运行：

```
main(){
    OSInit(); // C/OS-III初始化
    OSTaskCreate (&lwip_init_task,&LineNo11,&lwip_init_stk
    [TASK_STK_SIZE-1],0); //创建 LwIP初始化任务
    OSTaskCreate (&usr_task,&LineNo12,&usr_stk
    [TASK_STK_SIZE-1],1); //创建用户任务
    OSStart(); //启动 LwIP }

```

在 main函数中创建了 lwip_init_task来初始化 LwIP任务 优先级为 0和 usr_task用户任务 优先级为 1)需要指出的是，在 lwip_init_task任务中除了完成初始化硬件时钟和 LwIP本身等工作之外，还创建了 tcpip_thread优先级为 5和 tcpip_thread优先级为 6其中 tcpip_thread是 LwIP的主线程，也是应该先创建的。

3.2 C/OS-III的 Zigbee协议栈的实现

我们在该网关平台上运行自主编写 Zigbee协议栈的子集 ez_PAN ez_PAN目前还很不完善 只实现了 Zigbee的部分关键功能 仅支持星型和簇状网络 (Cluster)支持网络的动态组网配置和动态绑定等。ez_PAN协议栈结构如图 所示：



图4 ez_PAN协议栈结构

下面给出 ez_PAN协议栈上的协调器 (Coordinator)路由器 (Router)和精简节点 (RFD)实现的关键代码。Coordinator通过 aplFormNetwork()函数建立网络 等待其它节点 (Router和 RFD)的加入 主要程序如下：

```
Main()
{
    halInit(); //初始化 HAL层
    hwlInit(); //硬件初始化
    aplInit(); //初始化 APL
    ENABLE_GLOBAL_INTERRUPT(); //开中断
    aplFormNetwork(); //建立网络
    while(apsBusy()) {apsFSM();} //等待建立完成
    while(1) {apsFSM();} //循环执行协议栈
}

```

其中调用 apsBusy()来判断当前协议栈是否忙于其它程序调用，apsFSM()是在 APL层上实现的 FSM有限状态机 被 apsBusy()调用用来维持 ez_PAN的运行。在 Coordinator建立网络完成后 允许 Router或 RFD节点动态加入 关键代码实现如下：

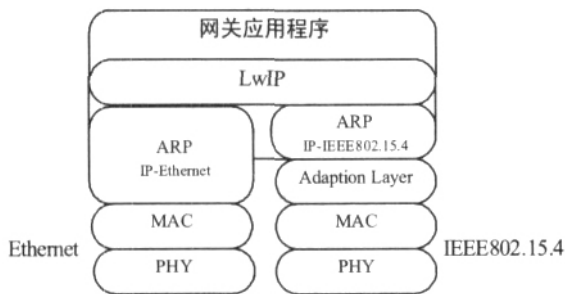
```
do {
    aplJoinNetwork(); //Router或 RFD加入网络
    while(apsBusy ()) { apsFSM(); } //等待加入完成
} while (aplGetStatus () !=LRWPAN_SUCCESS);

```

3.3 协议转换软件设计

在 TCP/IP协议簇中，以太网的数据传输使用硬件地址

(MAC)进行识别 其中 AR地址解析协议完成 地址和数
据链路层使用的硬件地址之间的转换 因此为了保证 Zigbee
关在以太网中的通信 首先要实现 AR协议的功能。 Zigbee
网络中的节点数理论上最多可达 65536 每个节点同样有自己
唯一的 MA地址 (或长地址或 短地址。参考 TCP/IP
的实现机制 我们实现了 Zigbee协议中的适配层和 AR实现
地址到 Zigbee节点地址的映射。协议转换的工作原理如图 5
所示 ,下面简单描述一下数据包在网关中从 Ethernet Zigbee
单方向转换过程 :Ethernet端从某网络接口接收一个正常发往本
机的 数据包 简单判断后向上发给对应的 UDP或 TCP处理
函数进行相应处理 然后再向上发给网关应用程序处理 网关
应用程序经过简单分析后 确定要转发给 Zigbee网络中的哪个
节点 通过 Zigbee端的 AR解析出该节点在 Zigbee网络中的
MA地址 然后将相应数据包成功交至该节点 这样就完成此
次从 Ethernet Zigbee端的协议转换。 Zigbee Ethernet端转
换类似 不再赘述。



结论

本文设计的网关已在我们的“基于 Zigbee无线传感器网络的
煤矿井下定位跟踪系统”项目中得以实用 取得了较好的效
果。经测试该网关具有效率高、响应实时、可靠性高、功耗低 抗
干扰能力强等特点 同时具有很好的通用性。由于当前 Zigbee
技术还在不断的更新和完善中 如何跟踪最新的 Zigbee技术来
提高网关的性能以及如何提高 ez_PA的多平台可移植性 将
是我们以后研究的重点。

本文作者创新点 采用集成 Ethernet (MAC接口的 ARM芯
片 STR9作为核心扩展设计了一个 Zigbee网关 它很好地克
服了传统网关架构下 Zigbee传输速率的瓶颈 大大降低了协议
转换过程中的资源和处理时间消耗。该网关设计思路、技术实
现新颖 具有较强的实用性。

参考文献

[1]Patrick Kinney, Kinney Consulting LLC.Gateways: Beyond the
Sensor Network .Zigbee Alliance, 2005

何波 王睿 基于射频芯片 CC2420实现的 Zigbee无线通
信设计 计算机信息 , 2007(1-2):P101- 102

作者简介 乔大雷 (1980-男 江苏徐州人 硕士生 研究方向为
嵌入式系统、无线传感器网络 夏士雄 (1961-男 辽宁抚顺人 ,
教授、博士生导师 研究领域包括矿山数据融合、计算机控制技
术和工业控制网络等 杨松 (1981-女 江苏徐州人 硕士生 研
究方向为计算机网络安全、下一代入侵检测系统 陈岱 (1964-),
男 福建福州人 副教授 研究领域包括嵌入式系统、工业数据通

信、PL等。

Biography:Qiao Da-lei (1980-), male, graduate student, research
interest: embedded system, wireless sensor network.

(221008江苏徐州 中国矿业大学 计算机科学与技术学院)

乔大雷 夏士雄 杨松 陈岱

(School of Computer Science & Technology, China University
of Mining & Technology, Xuzhou Jiangsu, 221008, China)

Qiao DaLei Xia ShiXiong Yang Song Chen Dai

通讯方式 :(221008江苏省 徐州市中国矿业大学计算机科
学与技术学院硕士 (级) 乔大雷

收稿日期 :2007.9.11 修稿日期 :2007.11.15)

上接第 16页)

2.GUI接口的设计。 GUI为 Graphic User Interface的缩写 即
图形用户接口。它是建立在计算机图形学基础上的产物 它可用
于提高人机交互友好性 在 LE屏上我们可以用它来实现许多
意想不到的效果。这里提供了在 LE屏上最基本的画点 线 圆
等功能。

(画点函数。一切图形都是由一个一个点来组成的 它是
图形的最基本元素 描述一个点时需要使用其坐标值 (X和Y)和
颜色。对于双色 LE屏颜色值 表示绿色 表示红色 表示黄
色。在画点时 先把指定的点坐标值转换为显存上的对应字节 然
后对相应字节进行颜色处理。然后将此字节写入显存完成该
点的显示。(画线函数。对于直线的绘画 分为水平线 垂直线和
一般直线 种绘画方法。其实一般直线就包括水平直线和垂直
线 但由于这两种直线较为特殊 绘画操作不需要像其他直线一
样须进行较多的运算 故将它们分开有利于提高绘画的速度。

本文作者创新点 本文主要介绍了一款基于 32位高性能
ARM处理器和 μ C/OS-II的显示屏控制器的设计方案。本系统
充分利用了 μ C/OS-II高效的多任务管理功能和 ARM处理器
强大的运算能力 实现了单屏幕多窗口的任意位置显示 使得屏
幕显示内容变得更加丰富 显示方式变得更加灵活 使得控制器
同步化。

参考文献

隋兆岗 基于 ARM处理器的 LE可变情报板嵌入式控制器
现代显示 .2006, (06)

隋叔猛 嵌入式系统和 FPGA在 LE显示屏中的应用研究与
实现 武汉理工大学 .2005

[3]Jean. Labrosse著 邵贝贝等译 嵌入式操作系统 μ C/OS-
II(第二版) [北京航空航天大学出版社 .2005

宋晖 高小明 基于 ARM的嵌入式操作系统 μ C/OS-
II的移植 计算机信息 , 006,2-2: 135- 136

作者简介 樊志平 (1976-男 湖南宁远人 硕士 讲师 研究方
向 数据库 网络技术 嵌入式控制系统。

Biography:Fan Zhiping (1976 -), Male, Born in Hunan
Ningyuan, Lectuer in Guangzhou University, Master Degree, Re-
search Fields: Database, network, embedded control system.

(510006广东广州 广州大学 信息与机电工程学院 樊志平

(School of Information and Electronics Engineering,
Guangzhou University, Guangzhou 510006)Fan Zhiping

通讯地址 :(510006广州 广州市大学城外环西路 23号 广州
大学信息与机电工程学院 樊志平

嵌入式资源免费下载

总线协议:

1. [基于 PCIe 驱动程序的数据传输卡 DMA 传输](#)
2. [基于 PCIe 总线协议的设备驱动开发](#)
3. [CANopen 协议介绍](#)
4. [基于 PXI 总线 RS422 数据通信卡 WDM 驱动程序设计](#)
5. [FPGA 实现 PCIe 总线 DMA 设计](#)
6. [PCI Express 协议实现与验证](#)
7. [VPX 总线技术及其实现](#)
8. [基于 Xilinx FPGA 的 PCIE 接口实现](#)
9. [基于 PCI 总线的 GPS 授时卡设计](#)
10. [基于 CPCI 标准的 6U 信号处理平台的设计](#)
11. [USB30 电路保护](#)
12. [USB30 协议分析与框架设计](#)
13. [USB 30 中的 CRC 校验原理及实现](#)
14. [基于 CPLD 的 UART 设计](#)
15. [IPMI 在 VPX 系统中的应用与设计](#)
16. [基于 CPCI 总线的 PMC 载板设计](#)
17. [基于 VPX 总线的工件台运动控制系统研究与开发](#)
18. [PCI Express 流控机制的研究与实现](#)

VxWorks:

1. [基于 VxWorks 的多任务程序设计](#)
2. [基于 VxWorks 的数据采集存储装置设计](#)
3. [Flash 文件系统分析及其在 VxWorks 中的实现](#)
4. [VxWorks 多任务编程中的异常研究](#)
5. [VxWorks 应用技巧两例](#)
6. [一种基于 VxWorks 的飞行仿真实时管理系统](#)
7. [在 VxWorks 系统中使用 TrueType 字库](#)
8. [基于 FreeType 的 VxWorks 中文显示方案](#)
9. [基于 Tilcon 的 VxWorks 简单动画开发](#)
10. [基于 Tilcon 的某武器显控系统界面设计](#)

11. [基于 Tilcon 的综合导航信息处理装置界面设计](#)
12. [VxWorks 的内存配置和管理](#)
13. [基于 VxWorks 系统的 PCI 配置与应用](#)
14. [基于 MPC8270 的 VxWorks BSP 的移植](#)
15. [Bootrom 功能改进经验谈](#)
16. [基于 VxWorks 嵌入式系统的中文平台研究与实现](#)
17. [VxBus 的 A429 接口驱动](#)
18. [基于 VxBus 和 MPC8569E 千兆网驱动开发和实现](#)
19. [一种基于 vxBus 的 PPC 与 FPGA 高速互联的驱动设计方法](#)
20. [基于 VxBus 的设备驱动开发](#)

Linux:

1. [Linux 程序设计第三版及源代码](#)
2. [NAND FLASH 文件系统的设计与实现](#)
3. [多通道串行通信设备的 Linux 驱动程序实现](#)
4. [Zsh 开发指南-数组](#)
5. [常用 GDB 命令中文速览](#)
6. [嵌入式 C 进阶之道](#)
7. [Linux 串口编程实例](#)
8. [基于 Yocto Project 的嵌入式应用设计](#)
9. [Android 应用的反编译](#)
10. [基于 Android 行为的加密应用系统研究](#)
11. [嵌入式 Linux 系统移植步步通](#)
12. [嵌入式 CC++ 语言精华文章集锦](#)
13. [基于 Linux 的高性能服务器端的设计与研究](#)
14. [S3C6410 移植 Android 内核](#)
15. [Android 开发指南中文版](#)
16. [图解 Linux 操作系统架构设计与实现原理（第二版）](#)
17. [如何在 Ubuntu 和 Linux Mint 下轻松升级 Linux 内核](#)

Windows CE:

1. [Windows CE.NET 下 YAFFS 文件系统 NAND Flash 驱动程序设计](#)
2. [Windows CE 的 CAN 总线驱动程序设计](#)
3. [基于 Windows CE.NET 的 ADC 驱动程序实现与应用的研究](#)
4. [基于 Windows CE.NET 平台的串行通信实现](#)

RT Embedded <http://www.kontronn.com>

5. [基于 Windows CE.NET 下的 GPRS 模块的研究与开发](#)
6. [win2k 下 NTFS 分区用 ntldr 加载进 dos 源代码](#)
7. [Windows 下的 USB 设备驱动程序开发](#)
8. [WinCE 的大容量程控数据传输解决方案设计](#)
9. [WinCE6.0 安装开发详解](#)
10. [DOS 下仿 Windows 的自带计算器程序 C 源码](#)
11. [G726 局域网语音通话程序和源代码](#)
12. [WinCE 主板加载第三方驱动程序的方法](#)
13. [WinCE 下的注册表编辑程序和源代码](#)
14. [WinCE 串口通信源代码](#)
15. [WINCE 的 SD 卡程序\[可实现读写的源码\]](#)
16. [基于 WinCE 的 BootLoader 研究](#)

PowerPC:

1. [Freescale MPC8536 开发板原理图](#)
2. [基于 MPC8548E 的固件设计](#)
3. [基于 MPC8548E 的嵌入式数据处理系统设计](#)
4. [基于 PowerPC 嵌入式网络通信平台的实现](#)
5. [PowerPC 在车辆显控系统中的应用](#)
6. [基于 PowerPC 的单板计算机的设计](#)
7. [用 PowerPC860 实现 FPGA 配置](#)

ARM:

1. [基于 DiskOnChip 2000 的驱动程序设计及应用](#)
2. [基于 ARM 体系的 PC-104 总线设计](#)
3. [基于 ARM 的嵌入式系统中断处理机制研究](#)
4. [设计 ARM 的中断处理](#)
5. [基于 ARM 的数据采集系统并行总线的驱动设计](#)
6. [S3C2410 下的 TFT LCD 驱动源码](#)
7. [STM32 SD 卡移植 FATFS 文件系统源码](#)
8. [STM32 ADC 多通道源码](#)
9. [ARM Linux 在 EP7312 上的移植](#)

WeChat ID: kontronn

10. [ARM 经典 300 问](#)
11. [基于 S5PV210 的频谱监测设备嵌入式系统设计与实现](#)
12. [Uboot 中 start.S 源码的指令级的详尽解析](#)

Hardware:

1. [DSP 电源的典型设计](#)
2. [高频脉冲电源设计](#)
3. [电源的综合保护设计](#)
4. [任意波形电源的设计](#)
5. [高速 PCB 信号完整性分析及应用](#)
6. [DM642 高速图像采集系统的电磁干扰设计](#)
7. [使用 COMExpress Nano 工控板实现 IP 调度设备](#)