

The Design and Implementation of the WSN Gateway Based on μ C/OS-II

Xuemei Liu, Dongdong Song

Information Engineering College, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou Henan

Email: 917381542@qq.com

Received: Apr. 8th, 2016; accepted: Apr. 24th, 2016; published: Apr. 27th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

With the large-scale application of wireless sensor network (WSN), in this application system, it is particularly important to promote the transmission real-time and achieve the remote real-time transmission of the data that the sink nodes sensor gets. This paper uses the way of the connection of the WSN based on Zigbee protocol and the Internet based on TCP/IP protocol, meanwhile introduces μ C/OS-II embedded real-time operating system to manage and schedule the system resource. The experiment result shows that the design of this gateway can effectively solve the problem of data remote transmission, and also can meet the real-time requirement of the application monitoring.

Keywords

WSN, μ C/OS-II, ZigBee, Gateway

基于 μ C/OS-II的无线传感器网络网关的设计与实现

刘雪梅, 宋东东

华北水利水电大学信息工程学院, 河南 郑州

Email: 917381542@qq.com

收稿日期: 2016年4月8日; 录用日期: 2016年4月24日; 发布日期: 2016年4月27日

文章引用: 刘雪梅, 宋东东. 基于 μ C/OS-II的无线传感器网络网关的设计与实现[J]. 传感器技术与应用, 2016, 4(2): 77-84. <http://dx.doi.org/10.12677/jsta.2016.42009>

摘要

随着无线传感器网络的大规模应用, 应用系统对传感网络传输实时性的提升, 汇聚节点感知数据的远程实时传输显得尤为重要。本文将基于 ZigBee 协议的无线传感器网络与基于 TCP/IP 协议的 Internet 相连接, 并引入 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 嵌入式实时操作系统, 对系统资源进行管理和调度。实验结果表明, 所设计的网关能够有效解决数据远程传输的问题, 同时能够满足应用监控的实时性要求。

关键词

无线传感器网络, $\mu\text{C}/\text{OS-II}$, ZigBee, 网关

1. 前言

近年来, 随着电子技术和无线通信技术的快速发展, 无线传感器网络始终是一个热门的话题, 其在军事、环境监测、医疗健康等领域都有广泛的应用[1]。无线传感器网络是一种分布式传感网络, 由部署在监测区域内的大量的廉价微型传感器节点组成, 通过无线通信方式形成一个多跳的自组织网络系统[2][3]。无线传感器网络的特点是多节点协作感知、采集和处理网络覆盖区域中被感知对象的信息, 并通过路由器转发汇集到协调器。在实际应用中, 被监测对象所处环境往往十分恶劣, 而且离监控中心很远, 协调器汇集的数据不能及时传送至监控中心[4]。为了达到实时在线监控的目的, 需要实现两种不同网络协议的转换, 建立无线传感器网络与 Internet 之间进行自由信息交互的机制[5]。本文提出了一种基于 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的无线传感器网络网关的设计方案, 并描述了实现过程。

2. 嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$

$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 是基于任务优先级进行任务调度, 管理微控制器资源的嵌入式实时操作系统[6]。内核属于抢占式, 最多可以管理 60 个任务。在系统中嵌入式操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 可以把整个程序分成许多任务, 每个任务相对独立, 且都有自己单独的堆栈。 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 允许不同的任务拥有不同大小的堆栈空间, 从而减少应用程序对 RAM 的需求。

同时, 实时内核可以规避前后台程序设计缺陷, 方便程序设计和优化, 对实时性要求较高的应用也可满足。其占用系统资源少, 编译后的内核不到 10 KB, 系统本身的实现具有高度模块化, 可通过条件编译的方式对系统功能进行裁剪。另外, 源代码开放, 应用广泛, 且技术支持全面, 系统移植相对简单, 其软硬件体系结构如图 1 所示。

3. 系统

3.1. 系统总体架构

无线传感器网络网关系统主要由五部分组成, 应用处理器、协调器、GPRS 模块、LCD 显示屏和其他外设, 如图 2 所示。系统首先需要通过 GPRS 模块与监控中心建立 TCP 连接, 然后协调器将汇集的数据通过串口按照既定格式发送到应用处理器, 应用处理器解析收到的数据帧, 同时通过 GPRS 模块按照 Internet 协议转发到监控中心。LCD 显示屏用于显示网关关键信息, 便于使用和调试。其他外设, 例如按键用于某些参数的设定、蜂鸣器用于特定情况的报警或作为提示音等。

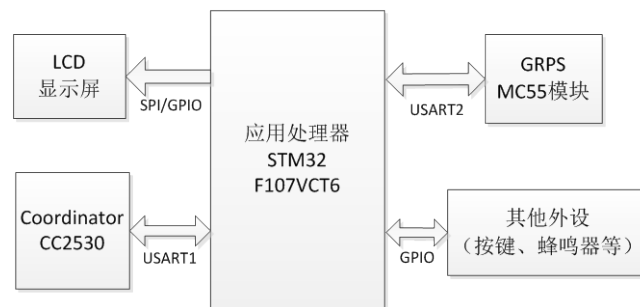
Figure 1. Architecture of μ C/OS-II software/hardware [4]图 1. μ C/OS-II 软硬件体系架构[4]

Figure 2. System general structure

图 2. 系统总体架构图

3.2. 应用处理器

网关应用处理器采用意法半导体公司的 STM32F107VCT6 芯片, 其专为要求高性能、低成本、低功耗的嵌入式应用专门设计的 ARM Cortex-M3 内核, 配置一流的外设——1 μ s 的双 12 位 ADC、4 Mbps 的 USART、18 Mbps 的 SPI 和 18 MHz 的 I/O 翻转速度等, 拥有最大的集成度, 简单的结构和易用的开发工具[7]。

3.2.1. μ C/OS-II 的移植

操作系统的代码分为与 CPU 无关的代码和与 CPU 相关的代码两部分, 移植过程中只需要修改与 CPU 相关的代码部分, 如表 1 所示。

3.2.2. μ C/OS-II 主要任务

无线传感器网络网关系统主要分为以下七大任务, 详情见表 2 所示。

任务间的切换按照优先级进行调度, 相关的事件之间, 通过信号量/邮箱进行同步与通信。图 3 为主要任务事件传递关系图。

Table 1. Code files associated with CPU
表 1. 与 CPU 相关的代码文件

类别	文件	详情
处理器相关头文件	OS_CPU.H	数据类型定义 堆栈单位
处理器相关 C 代码	OS_CPU_C.C	任务初始化时堆栈设计 启动高优先级的任务 OSStartHighRdy() 任务级上下文切换 OSCtxSw()
处理器相关汇编代码	OS_CPU_A.ASM	中断级任务切换 OSIntCtxSw() 时钟中断处理函数 OSTickISR() 进入/退出临界区 OS_EXIT_CRITICAL() OS_ENTER_CRITICAL()

Table 2. μ C/OS-II main task list
表 2. μ C/OS-II 主要任务表

任务	优先级	备注
USART1_ZigBee_Handle	0	接收存储协调器串口发送的数据
USART2_GPRS_Handle	1	接收存储 MC55 模块发送的数据
GPRS_Pkt_Receive	4	接收监控中心传送过来的数据
ZigBee_Pkt_Process	5	处理 ZigBee 接收缓冲区的数据
GPRS_Pkt_Upload	10	按照规定格式, 上传处理过的数据
LCD_Display_Update	15	显示最新采集数据和相关配置数据
Key_Scan_Process	20	按键处理

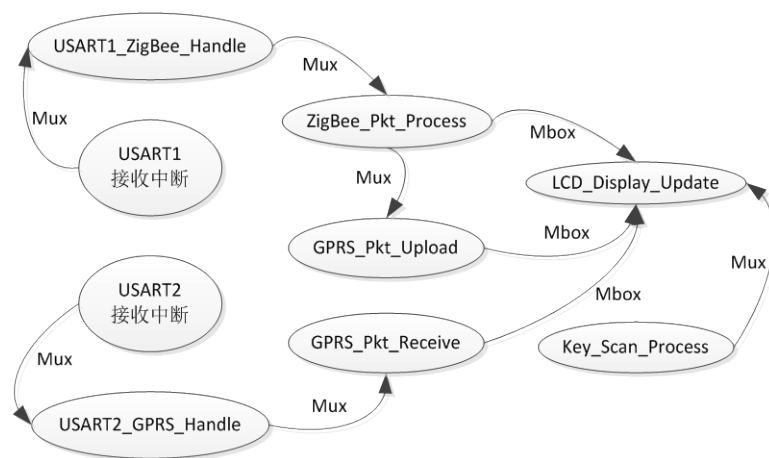


Figure 3. Main task event transfer relation graph
图 3. 主要任务事件传递关系图

3.3. GPRS 模块

MC55 模块主要功能包括短信、语音通话和 GPRS 数据传输, 同时内嵌 TCP、UDP、HTTP、FTP、SMTP、POP3 多种协议。在网关的设计过程中主要使用 GPRS 数据传输和短信功能, 通过串口发送 AT 指令与 MC55 模块通信。图 4 即为发送 AT 指令流程图。

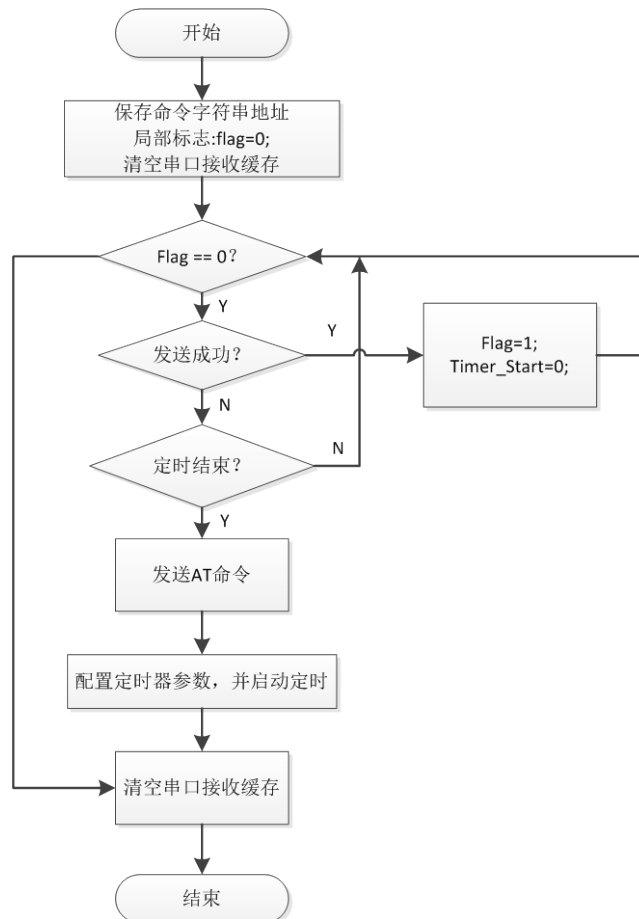


Figure 4. Flow chart of AT instruction
图 4. 发送 AT 指令流程图

只有当指令发送成功后, 函数才会从 `while(Flag == 0)` 循环中退出, 指令未发送成功时, 函数会按照设定的时间间隔(`wait_time`)重新给模块发送相同的指令, 并检测是否成功, 直到成功后, 退出并关闭定时器。为保证与服务器保持长连接, 在与服务器建立连接后, 定时向服务器发送心跳包。

3.4. 协调器

采用 TI 推出的 CC2530 构建无线传感器网络, 利用 ZigBee 协议栈 Z-stack, 组建星型拓扑结构的网络。网络由协调器(Coordinator)、路由器(Router)和端节点(Endpoint)三种类型设备构成, 网关应用处理器与协调器通过串口相互通信, 对 ZigBee 网络进行管理与维护。

ZigBee 协议栈实现了无线传感网络的建立和维护, 内部嵌入有实时操作系统(Real Time Operating System, RTOS) OSAL (Operating System Abstraction Layer), 并以函数形式提供 ZigBee 协议所规定的基本功能[8]。利用 OSAL 可以实现任务注册、初始化和启动, 任务间的同步、互斥, 中断处理以及存储器分配和管理。确定传感器接口后, 通过 OSAL 访问特定接口函数, 便可完成数据的采集和传输。

4. 实验结果与分析

4.1. 实验结果

无线传感器网络网关如图 5 所示, 主要包括电源、核心板、ZigBee 协调器接口、GPRS 模块接口、

3.2 寸 LCD 显示屏、四个按键和 4 个 LED 指示灯。

在实际测试中间,我们在服务器上部署了一个 WSNServer 服务,用以接收网关上传的数据,同时将接收到的数据写入数据库,图 6 为服务器上运行的 WSNServer 服务,图 7 为存入数据库的数据。

端节点模拟数据采集过程,向协调器发送数据,数据类型分为 adc_ch1、adc_ch2、adc_ch3、core_voltage、humidity、key_info、mac_addr、ntk_addr、position 和 temperature。每一个端节点可以采集上述数据类型的全部或者部分,通过设备的 MAC 地址进行唯一标识,为网络拓扑结构、端节点采集信息管理、无线传感器网络地址与 MAC 地址管理等应用提供支持。

为了测试网关在上传或者接收数据时的延时,在端节点上传上来的数据尾部加上接收时间戳,作为一个属性字段(发送时间)与服务器上的接收时间做对比。实验结果表明上传数据延时保持在 2 秒以内,满足监测实时性要求。为了测试网关上传数据的丢包率,我们利用 ZigBee 网络的帧序列号,对网关的接收处理上传性能进行了测试,图 8 为丢包率测试结果图。

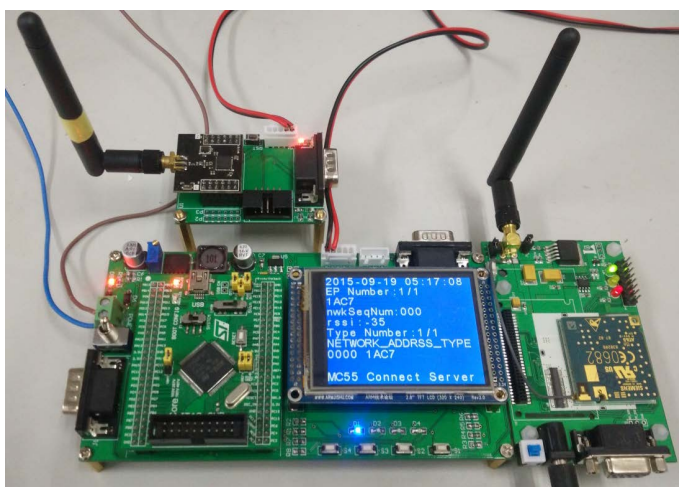


Figure 5. Wireless sensor network gateway
图 5. 无线传感器网络网关

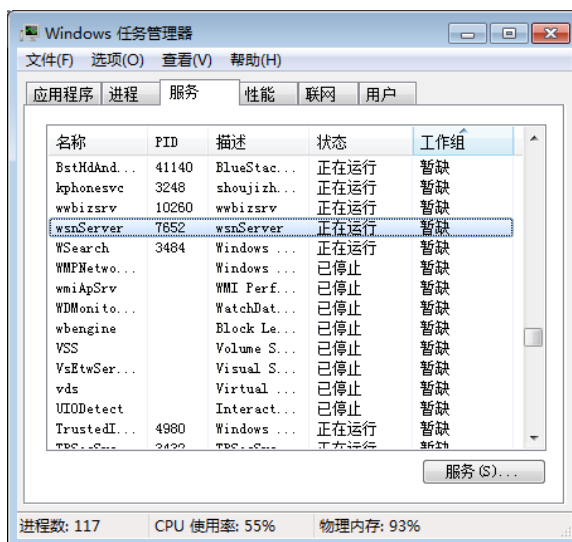


Figure 6. WSNServer service
图 6. WSNServer 服务

id	MAC	adc	send_time	recv_time
1	00124B00033A2E43	0.22	2015-08-19 12:43:29	2015-08-19 12:43:31
2	00124B00041263C0	0.52	2015-08-19 18:42:32	2015-08-19 18:42:33
3	00124B00041263C0	0.52	2015-08-19 18:42:41	2015-08-19 18:42:41
4	00124B00041263C0	0.53	2015-08-19 18:42:48	2015-08-19 18:42:49
5	00124B00041263C0	0.52	2015-08-19 18:42:56	2015-08-19 18:42:57
6	00124B00041263C0	0.52	2015-08-19 18:43:04	2015-08-19 18:43:04
7	00124B00041263C0	0.52	2015-08-19 18:43:12	2015-08-19 18:43:12
8	00124B00041263C0	0.53	2015-08-19 18:43:19	2015-08-19 18:43:20
9	00124B00041263C0	0.53	2015-08-19 18:43:32	2015-08-19 18:43:32
10	00124B00041263C0	0.53	2015-08-19 18:43:40	2015-08-19 18:43:41
11	00124B00041263C0	0.52	2015-08-19 18:43:46	2015-08-19 18:43:46
12	00124B00041263C0	0.52	2015-08-19 18:43:54	2015-08-19 18:43:54
13	00124B00041263C0	0.52	2015-08-19 18:44:01	2015-08-19 18:44:02
14	00124B00041263C0	0.52	2015-08-19 18:44:09	2015-08-19 18:44:10
15	00124B00041263C0	0.52	2015-08-19 18:44:17	2015-08-19 18:44:17

Figure 7. Data stored in the database

图 7. 存入数据库的数据

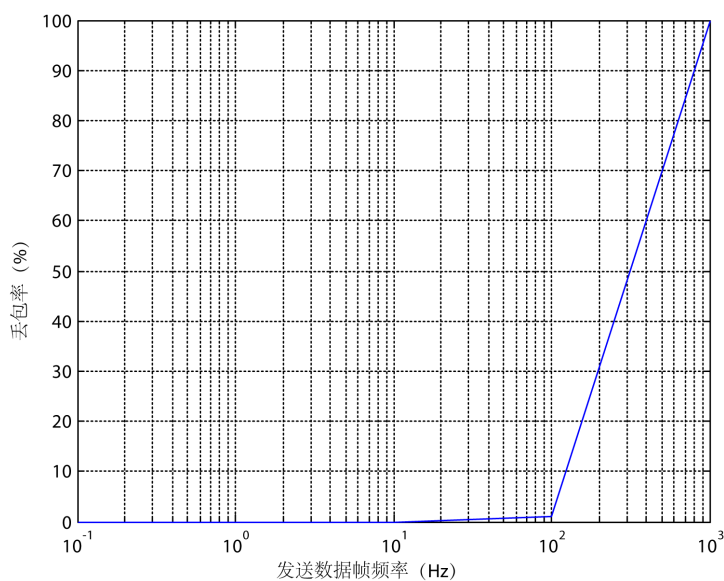


Figure 8. The packet loss of WSN gateway

图 8. 无线传感器网络网关丢包率

丢包率测试结果图表明, 当协调器通过串口向应用处理器传输数据时, 发送数据帧频率越高, 丢包率越大。当发送数据帧频率超过 100 HZ 时, 丢包率直线上升。产生这种结果的原因在于, 应用处理器接收数据是按照帧来处理的, 在当前帧未处理完时, 下一帧已经到达, 从而导致丢包。

通过简化协调器与应用处理器通信帧, 减少帧的字节数, 可以有效提高网关信息处理的吞吐量。

4.2. 实验分析

基于 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的无线传感器网络网关, 能够实时有效的将端节点感知的数据上传至监控中心。引入

$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 操作系统, 将无线传感器网络网关系统按照逻辑关系分割为独立的任务, 然后通过操作系统提供的一系列同步与通信机制, 使得任务之间按照良好的逻辑稳定有效的运行。对采集信息频率较高的场合, 可通过在协调器中增加缓存的方式, 减少网关接收帧的频率。

5. 总结

在无线传感器网络网关的设计中, 通过引入 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 嵌入式实时操作系统, 对应用处理器软硬件资源进行管理, 不仅能够有效解决无线传感器网络感知数据远程实时传输的问题, 而且能够规避前后台软件设计缺陷。

参考文献 (References)

- [1] Wheeler, A. (2007) Commercial Applications of Wireless Sensor Networks Using ZigBee. *IEEE Communications Magazine*, **45**, 70-77. <http://dx.doi.org/10.1109/MCOM.2007.343615>
- [2] 钱志鸿, 王义君. 面向物联网的无线传感器网络综述[J]. 电子与信息学报, 2013(1): 215-227.
- [3] 毛晓峰, 杨珉, 毛迪林. 无线传感器网络应用综述[J]. 计算机应用与软件, 2008, 25(3): 179-181.
- [4] Mottola, L. and Picco, G.P. (2011) Programming Wireless Sensor Networks: Fundamental Concepts and State-of-the-Art. *ACM Computing Surveys*, **43**, 194-218. <http://dx.doi.org/10.1145/1922649.1922656>
- [5] Lin, Y., Xie, H., Yang, W., et al. (2011) Design of Zigbee Gateway in Intelligent Monitoring System for Agriculture. 2011 *International Conference on Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer (MEC)*, IEEE, 2213-2216.
- [6] 拉伯罗斯, 邵贝贝. $\mu\text{C}/\text{OS-II}$: 源码公开的实时嵌入式操作系统[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [7] 王永虹, 徐炜, 郝立平. STM32 系列 ARM Cortex-M3 微控制器原理与实践(内附光盘 1 张) [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.
- [8] ZigBee Alliance (2008) ZigBee Specification. <http://www.ZigBee.org>