

# 基于 TinyOS 的无线电力抄表系统采集器的设计

牛斗, 王婷婷, 姚艳艳, 朴勇惺, 张兵

(东北电力大学信息工程学院, 吉林 吉林 132012)

**摘要:** TinyOS 具有代码开放、使用简单、可靠性高、实时性好等优点, 是专门针对无线传感器网络节点设计的操作系统。设计了一种基于 ZigBee 协议的无线电力抄表系统, 详细论述了基于 MSP430F149 内核的抄表采集器的硬件设计总体方案, TinyOS 操作系统在该内核上的移植, 以及 ZigBee 协议在该系统上的实现。针对主控芯片的硬件资源, 提出了静态任务调度机制, 提高了 TinyOS 的实时性能。本设计在实现了采集器各项功能要求的同时, 降低了开发成本, 保证了系统的安全性和可靠性。

**关键词:** TinyOS; 采集器; ZigBee; 无线抄表; MSP430

## Design of collector for wireless electrical meter reading system based on TinyOS

NIU Dou, WANG Ting-ting, YAO Yan-yan, PIAO Yong-xing, ZHANG Bing

(Northeast Dianli University, Jilin 132012, China)

**Abstract:** TinyOS, which is a special operating system for WSN nodes, has a lot of advantages such as code source opening, using simply, high reliability, good real-time and so on. This paper proposes a new solution of power energy meter reading system based on ZigBee protocol. It particularly describes the hardware design based on MSP430F149, kernel transplantation of TinyOS operating system, and the realization of ZigBee protocol on this system. This paper suggests a static mechanism for task scheduling toward the hardware resources of master chip, which enhances the real-time performance of TinyOS. This design achieves the functional requirements of the collector as well as reduces developing costs and ensures security and reliability of the system.

**Key words:** TinyOS; collector; ZigBee; wireless meter reading; MSP430

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)06-0096-04

## 0 引言

目前, 我国绝大多数地区抄取电表的数据还是通过人工, 但是人工抄表方式效率低、成本高、质量差, 直接影响到我国电力企业的经营效益和社会效益。因此, 为了有利于经济长期稳定的发展, 提高人民生活质量, 构建和谐社会, 无线自动抄表系统应运而生, 为广大人民群众带来了福音。

ZigBee技术是近年来兴起的一种低功耗、低数据速率、低成本且数据可靠性高的双向无线通信技术, 主要用于自动、远程控制领域及家用设备联网。基于ZigBee的技术特点以及抄表系统数据传输要求, 采用ZigBee技术的无线抄表系统<sup>[1]</sup>是一个比较新而且具有相当实用价值的应用, 使无线抄表技术能够更好地为广大用户提供服务。本文提出采用ZigBee无线网络技术实现本地数据采集, 并通过GPRS网络实现与中心站数据传输的方案, 能有效

解决传统抄表系统存在的一些问题。考虑到软硬件资源和开发的难度, 本文采用在主控制芯片上移植TinyOS操作系统的方案来实现下层核心部分采集器的实现。

## 1 系统总体设计

抄表系统整体采用分布式体系结构, 数据管理中心与集中器之间的上层通信采集采用星型结构; 集中器与采集器之间的下层通信采用总线型结构。

上层通信以数据管理主站为中心, 通过中国移动GPRS网络与分散于各物业小区的集中器连接, 形成一对多的连接形式, 实现集中器和数据中心系统的实时在线连接; 下层通信包括电表采集终端采集和传输各电表的读数以及监控电表运行状态, 集中器对数据采集、存储、转发以及接收上位机下达的指令和对采集终端进行控制操作等。出于成本与通信可靠性的考虑, 每栋居民楼设置一个采集器, 电

表通过RS485总线与采集器进行通信, 采集器通过 ZigBee无线传感器网络与小区中心的集中器进行通信<sup>[2]</sup>。抄表系统总体结构如图1所示。

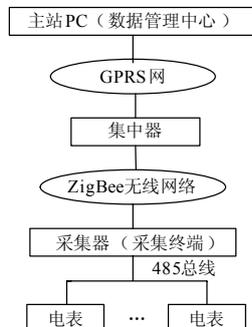


图1 无线抄表系统总体结构

Fig.1 General structure of wireless meter reading system

## 2 采集器硬件设计

本系统设计的采集器（采集终端）为外置抄表器模块, 按电表通信规约通过485总线接口与用户接口直接通信, 完成电表的访问和读写, 并通过无线网络信道传输上传给集中器统一管理。其硬件设计总体框图如图2所示。

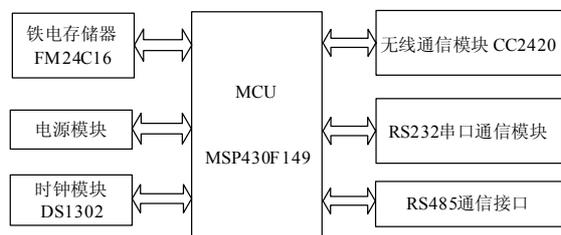


图2 采集器硬件结构图

Fig.2 Hardware structure of collector

微处理器是集中器的核心, 本系统选择了TI公司推出的一款基于MSP430F149的控制芯片作为主MCU。MSP430F149<sup>[3]</sup>是一款超低功耗的16位单片机, 具有丰富的I/O接口可以用来扩展外部资源。提供的片内60KB的FLASH和2KB的RAM。两个串口USART0和USART1可以通过软件设置成UART方式或者SPI方式, 内置看门狗电路作为主MCU的复位电路, 保证复位信号可靠。

其中无线传输模块采用Chipcon公司推出的CC2420芯片。通过SPI总线与主控芯片相连设置芯片的工作模式, 并实现读/写缓存数据, 读/写状态寄存器等。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, 可以实现多点对多点的快速组网。

本系统外扩美国Ramtron公司研制的超低功耗

铁电存储器的FM24C16, 该芯片容量为16K, 具有无限次擦写和非易失性的特点, 减小系统功耗、节省空间与成本的同时, 还增加了系统的可靠性。

时钟模块选用美国Dallas公司推出的一种高性能、低功耗、带RAM的实时时钟芯片DS1302, 可为掉电保护电源提供可编程的充电功能, 并且可以关闭充电功能。

RS485串行接口通过UART方式与MCU通信, 负责电表数据信息采集与传输; 外扩的RS232标准串行通信接口可以与PC机相连, 对采集终端节点进行调试和维护。

## 3 采集器软件设计

### 3.1 采集器与电表通信

采集器与电表之间的通信依据DL/T645通信规约对串口传输的数据包进行定义。它规定了多功能表与采集器进行数据交换的物理连接和应用技术协议, 从硬件上统一了多功能表的通信接口, 软件上保证了不同终端设备通信的广泛适应性。在物理接口方面, 采用了RS-485标准串行电气接口。在数据编码方面, 为提高传输效率和可靠性, 数据域采用EDBCD码, 并在传输时进行余3处理。

### 3.2 TinyOS在MSP430上的移植

TinyOS<sup>[4]</sup>是个开源的操作系统, 其设计本身就是针对无线传感器网络的特征进行的, 其功能和性能能够满足项目的需求。TinyOS的原理主要是通过组件的层层调用完成的, TinyOS的构件模型提供了快速方便的上层应用开发, 正好满足项目应用需求多变的特征。

TinyOS源码目录\tos\platforms\ (此目录下的代码是硬件抽象层的代码)下的README文件说明了TinyOS有支持TI的16位MSP430处理器的硬件平台, 其平台的名称为telosa, 但从源码分析出处理器所连接的外设的I/O引脚并不相同, 需要对外设的系统构件中与处理器芯片I/O等的引脚连接配置代码进行修改, 便可以对MSP430上相应的工作寄存器进行操作, 从而完成TinyOS在项目中的硬件平台的建立。

通常一般情况下, 自制的开发板有许多TinyOS系统没有提供的外围设备驱动, 所以需要自己动手编写底层驱动程序。TinyOS<sup>[5]</sup>提供了很多芯片的资料, MSP430系列的芯片和CC2420模块位置在\tos\chips, 所以对各个外扩芯片的操作, 也可以对这两个芯片组件提供的接口直接操作, 并把其配置文件加入\tos\platforms\telosa\platformC.nc配置文件

中，接口连接好。这样在进行编译的时候就可以找到相应的文件。

TinyOS 提供的apps\BaseStation 程序，可以监听到任何节点发来的信息，通常监听消息包，用来做串口收发工具。apps\BlinkToRadio 程序改动波特率以及引脚参数后，就可作为 CC2420 发送的测试程序使用。这样基本实现了系统硬件平台的移植。

### 3.3 ZigBee协议在TinyOS上的实现

本系统硬件研究平台采集器的无线通信部分中的核心部分是一个基于ZigBee协议的CC2420射频收发器。由于在硬件平台上已经移植了TinyOS，因此必须将ZigBee协议实现在TinyOS上，才能实现采集器与上层集中器进行无线通信。

TinyOS<sup>[6]</sup>是由组件化语言nesC实现的，nesC语言通过组件、接口和接口参数化技术可以实现用于无线传感器网络上的特定通信协议IEEE802.15.4/ZigBee<sup>[7]</sup>，该特定通信协议栈的各层必须与TinyOS

协议栈中的各层一一对应，但可以通过多个组件完成通信协议栈中每一层的功能。

整个ZigBee协议在TinyOS上的实现是由PHY层组件模块、MAC层组件模块和NWK层组件模块组成的，每个模块实现一个协议层，而每个模块是可以包含很多组件的<sup>[8]</sup>。将协议实现进行模块化的目的是为了以后通过更新或者添加新的功能函数来扩展协议实现。每一个组件都用到了用来实现通用函数功能的辅助文件、常量申明、枚举和数据结构定义(如包数据结构、帧数据结构等)。此外，还实现了一个辅助组件，即TimerAsync组件。该组件实现了一个基于硬件时钟(TinyOS HPLTimer2C组件)的异步定时器。而用于无时间临界点事件执行的同步定时器是采用TinyOS提供的标准TimerC组件实现的。ZigBee协议在TinyOS上实现的软件架构图如图3所示。

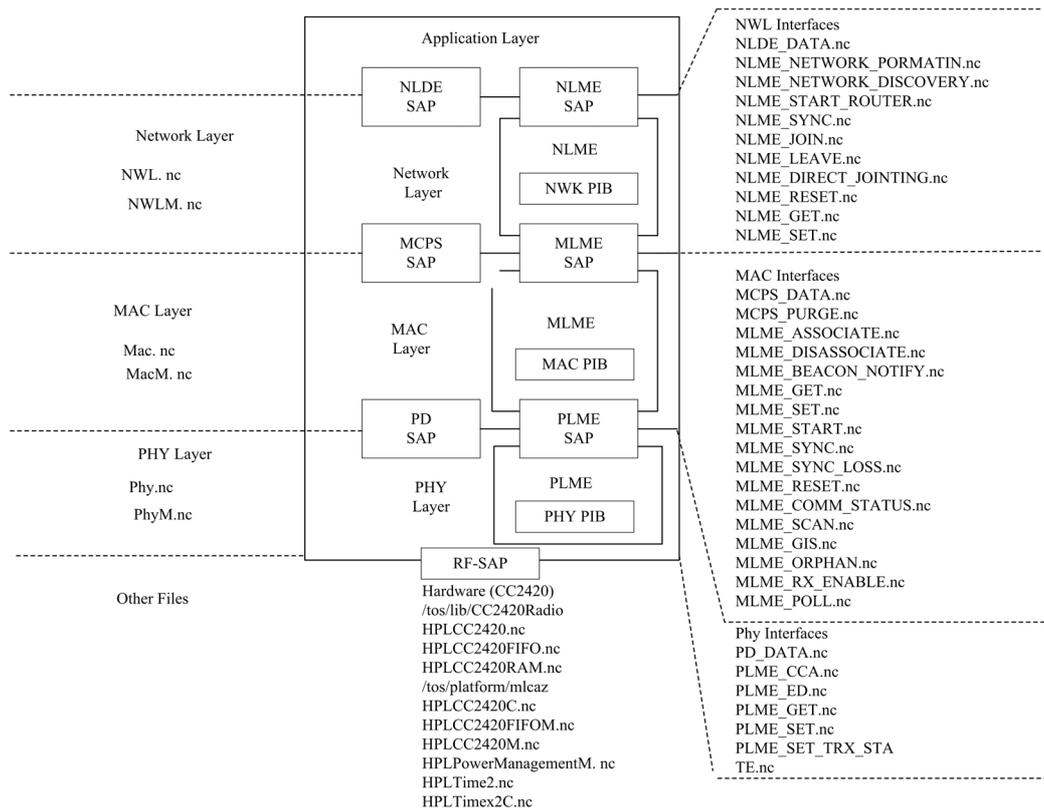


图3 ZigBee协议在TinyOS上实现的软件架构

Fig.3 ZigBee software architecture implemented in TinyOS

协议实现所涉及的接口文件是用来实现相邻两层组件的绑定，它是SAP的形式表现出来的。每一个接口中的所有功能函数是被较高一层的模块组件进行调用，而在较低一层的模块组件中进行功能函数实现和执行。每一个接口中也提供了由较低层

模块组件发出事件信号的响应功能函数，这些信号响应函数是在较高层模块组件中实现并执行的。

ZigBee协议<sup>[9]</sup>在TinyOS上的实现过程中不同组件之间的调用关系如图4所示，图中HPLCC2420、HPLCC2420M、HPLCC2420FIFOM和HPLTimer2C

这些模块和组件接口是在TinyOS中本身已经实现的一部分,也就是节点硬件组件。协议实现并没有直接与底层硬件进行交互,实际上是在与PHY层组件中TinyOS已经提供的由硬件驱动形成的HAL层(硬件抽象层)进行交互。

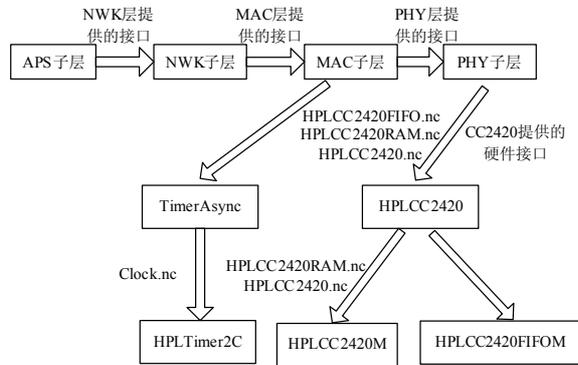


图4 TinyOS中不同组件之间的调用关系

Fig.4 Calls between different components in TinyOS

### 3.4 TinyOS的实时调度机制

由于TinyOS系统在MSP430单片机上运行,其RAM空间只有2KB左右,在任务调度时,空间资源极其有限。如果采用抢占式策略,特别是任务数多的情况下,采集器的系统空间开销就会很大(相对于MSP430处理器上极少的RAM空间,不利于上层应用任务的设计)。所以本设计的系统调度机制整体为基于静态优先级的非抢占式调度策略<sup>[10]</sup>。

在任务执行完时,调度器选择就绪队列中的最高优先级任务进行执行。考虑到任务执行的非抢占式特征,为了保证调度的实时性能,设计一个由时钟中断触发的事件驱动程序,其功能是对当前执行任务的执行时间进行计时。如果当前任务超时,就终止其运行。从而防止当前执行任务的超时而造成其他任务的等待。

此种调度策略只是增加了系统在取任务执行和对运行任务执行时间开销,并未造成系统过多的空间开销。所设计的调度策略符合TinyOS运行的硬件平台特征,简单易行,能提供一定的实时性能。

## 4 测试实验

应用开发完成后通过Cygwin编译器进行编译和链接,生成可执行文件,下载到温湿度传感器节点上运行。编译链接下载比较简单,进入应用程序目录,使用命令make telosa jtag install即可完成,利用串口将采集器上的数据信息采集到计算机上完成交叉调试。通过测试可以看出,该系统能完成预定的数据采集功能,为进一步的应用打下基础。在将来的

设计和开发中,可以加入把数据存储到Flash中和对数据进行融合和处理的模块以及对采集到的数据进行加密发送等模块。

## 5 结论

无线自动抄表技术是一项有广泛应用前景的新技术。本文提出了下层通信采用ZigBee协议进行电力系统无线抄表的全新解决方案和实现方法,通过在MSP430F149芯片上便捷地移植TinyOS操作系统,提高了系统的稳定性,使软件的结构清楚化,可维护性也大大增强。该采集器经过测试实验,达到了预期目标。

### 参考文献

- [1] 李众智. 基于可靠ZigBee组网技术的电力抄表应用[J]. 黑龙江科技信息, 2009(2): 19-20.  
LI Zhong-zhi. Application of Power Meter Reading System Based on Reliable ZigBee Network Technology[J]. Science and Technology Information of Heilongjiang, 2009(2): 19-20.
- [2] 许亮,刁修睦,周辉军,等. 基于MSP430F149的无线环境监测传感器系统设计[J]. 国外电子元器件, 2006, (12): 4-7.  
XU Liang, DIAO Xiu-mu, ZHOU Hui-jun, et al. Design of Wireless Environment Monitoring Sensor System Based on MSP430F149[J]. International Electronic Elements, 2006(12): 4-7.
- [3] 卿树友,高潮,等. 基于MSP430F149单片机的便携式数据采集仪[J]. 重庆大学学报, 2005, 28(7): 31-37.  
QING Shu-you, GAO Chao, et al. Portable Data Acquisition Instrument Based on MSP430F149 Micro Controller[J]. Journal of Chongqing University, 2005, 28(7): 31-37.
- [4] 刘华,杨志家. 基于ARM核处理器的TinyOS实现[J]. 信息与控制, 2006, 35(2): 275-279.  
LIU Hua, YANG Zhi-jia. ARM-Based TinyOS Implementation[J]. Information and Control, 2006, 35(2): 275-279.
- [5] 程俊锋,刘伟春,侯维岩. 基于TinyOS的无线工业控制网络节点设计[J]. 自动化仪表, 2007, (5): 5-8.  
CHENG Jun-feng, LIU Wei-chun, HOU Wei-yan. Design of Wireless Industrial Control Network Node Based on TinyOS[J]. Process Automation Instrumentation, 2007, (5): 5-8.
- [6] Adamczyk H, Rauchhaupt L. WLAN System in Industrial Environment Does It Work[J]. Mobile Communication Over Wireless LAN, 2001, 9(9).
- [7] Culler D. TinyOS: Operating System Design for Wireless Sensor Networks[EB/OL]. <http://www.sensorsmag.com>, 2006.

(下转第118页 continued on page 118)

上可以看出该测试系统的应用实现了协议测试的标准化和智能化,同时加深了协议测试的精度和深度,保证了被测产品的一致性。

### 5 结论

本文介绍的数字化一致性测试系统成功地完成了数字化系列微机保护装置的采样值及保护逻辑自动测试,迅速帮助测试者发现通信中的协议一致性问题。由于测试系统采用了嵌入式微处理器,将现代光纤通讯技术与微机继电保护测试相结合,大大提高了输出数据的实时性、抗干扰性,具有更加广泛的适应性,可以满足各种数字化保护装置的测试工作。较之传统的模拟量输出的保护测试仪,本测试系统结构更加简单,性能更加可靠。为了更好地贯彻执行 IEC61850 标准,实现不同厂家产品的互操作,减少数据交换过程中不同协议间转换时的人力物力浪费,保证变电站自动化系统安全稳定运行,必须在产品投运前进行协议实现的一致性测试。测试结果表明,这种测试系统能满足数字化保护装置的一致性测试要求。

### 参考文献

[1] 何卫,徐劲松. IEC 60870-5-6一致性测试规则探讨[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(15): 78-79.  
HE Wei, XU Jin-song. IEC 60870-5-6 Probe into Procedures for Conformance Test[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(15): 78-79.

[2] Jeff Garland Richard Anthony. 大型软件体系结构:使用

UML 实践指南[M]. 叶俊民,汪望珠,等译. 北京: 电子工业出版社, 2004.

Jeff Garland Richard Anthony. Large-Scale Software Architecture: A Practical Guide Using UML[M]. YE Jun-min, WANG Wang-zhu, et al Trans. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004.

[3] 崔厚坤,汤效军,梁志成,等. IEC 61850一致性测试研究[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(8): 84-87, 92.  
CUI Hou-kun, TANG Xiao-jun, LIANG Zhi-cheng, et al. Study on IEC 61850 Conformance Testing[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(8): 84-87, 92.

[4] 殷志良,刘万顺,杨奇逊,等. 基于IEC61850标准的采样值传输模型构建与映射实现[J]. 电力系统自动化, 2004, 28 (21): 42-46.  
YIN Zhi-liang, LIU Wan-shun, YANG Qi-xun, et al. Modeling and Mapping Implementation of a Sampled Value Model Based on IEC61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28 (21): 42-46.

收稿日期: 2009-04-09; 修回日期: 2009-07-20

#### 作者简介:

李国杰(1967-)男, 硕士, 高级工程师, 从事电力系统继电保护及自动化的研究和测试工作; E-mail: guojiel@xjgc.com

张丹(1978-), 女, 本科, 工程师, 从事电力系统继电保护及自动化的研究和测试工作;

邓清闯(1980-), 男, 大专, 工程师, 从事电力系统继电保护及自动化的研究和测试工作。

(上接第 99 页 continued from page 99)

[8] 钱开国,桑楠,马宏. 基于Tinyos的无线温湿度传感器网络系统设计和实现[J]. 昆明学院学报, 2008, 30(4): 30-33.  
QIAN Kai-guo, SANG Nan, MA Hong. Design and Implement Wireless Sensor Network for Monitoring Temperature and Humidity Based on TinyOS[J]. Journal of Kunming University, 2008, 30 (4): 30-33.

[9] 龙玉湘,章兢,戴瑜兴. 基于ZigBee的无线抄表系统的集中器设计[J]. 低压电器, 2007, (20): 14-17.  
LONG Yu-xiang, ZHANG Jing, DAI Yu-xing. Design of Concentrator Based on ZigBee in Wireless Meter Reading System [J]. Low Voltage Apparatus, 2007, (20): 14-17.

[10] 陈喜贞,王书茂,徐勇军. TinyOS 内核调度机制及改进策略[J]. 计算机工程, 2006, 32 (19): 85-87.  
CHEN Xi-zhen, WANG Shu-mao, XU Yong-jun. Schedule Mechanism and Its Improving Methods of TinyOS[J]. Computer Engineering, 2006, 32(19): 85-87.

收稿日期: 2009-05-08; 修回日期: 2009-05-25

#### 作者简介:

牛斗(1954-), 男, 副教授, 从事嵌入式系统以及无线传感器网络的研究;

王婷婷(1985-), 女, 硕士研究生, 从事远程自动抄表系统的研究; E-mail: wangtingting\_007@163.com

姚艳艳(1984-), 女, 硕士研究生, 从事嵌入式系统的研究。