

基于 ADF7020 和 LPC2134 的 WSN 电力抄表系统

孙强, 朱海峰, 徐晨, 包志华

(南通大学电子信息学院, 江苏 南通 226019)

摘要: 分析现有抄表系统存在的问题, 在此基础上提出了一种由 LPC2134ARM 微控制器和 ADF7020 构成的 WSN 电力抄表系统, 详细地叙述了系统设计原理与软硬件的实现方法。系统将无线传感器节点嵌入到电表, 通过无线多跳通信方式与小区的集中器, 形成无线传感器网络, 再利用 Internet 与电力公司的数据处理中心组建成一套自动抄表系统, 该系统有效解决了现有自动抄表系统存在的问题, 并具有结构简单、工作可靠等特点。

关键词: 自动抄表系统; 无线传感器网络

WSN electricity meter reading system based on ADF7020 and LPC2134

SUN Qiang, ZHU Hai-feng, XU Chen, BAO Zhi-hua

(School of Electronics and Information, Nantong University, Nantong 226019, China)

Abstract: This paper analyzes the problem existent in meter reading system, proposes a new remote automatic meter reading system based on wireless sensor network, and introduces the design principle of system and the realization method of hardware and software in detail. Wireless sensor node is embedded in the electricity meter and built on the wireless sensor network with sink through wireless multi-hop communication. It makes of an automatic meter read system with data processing center of the Power Company by the Internet, which effectively solves the existing problems of automatic meter reading system, and has the character of simplification, reliability and so on.

Key words: automatic meter reading system; wireless sensor networks

中图分类号: TP393; TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)03-0110-04

0 引言

传统的人工抄表不仅效率低、易出错和费时费力, 而且不利于用电波峰波谷的统计。随着电子技术的发展, 各种各样的电子式电能表以其精确度高、功能扩展性强等优势已被电力企业和用户广泛认可与接受, 从而出现了远程自动抄表系统。

自动抄表系统^[1]是一种不需要人员到达现场, 利用特定的通信方式将用户处的电表记录的各种数据传送到远程主控站的计算机网络的系统。自动抄表系统克服了传统人工抄表模式效率低和容易出差错的缺点, 提高了劳动效率和工作质量, 能够实时采集各居民、企业等用户的用电数据, 为科学利用

和调度电能、为促进经济社会发展提供了重要依据。

目前, 自动抄表系统主要由采集器、集中器及主站系统组成, 系统中的通信技术主要采用RS485总线^[2]、电力线载波^[3]和GSM/GPRS^[4]等。虽然经过几年的发展, 无论是在传输技术上, 还是在系统稳定性、可靠性、准确性、实时性等各方面都得到了长足的发展, 处于小规模试用阶段。目前各系统存在的主要问题有: (1)RS485总线方式虽然存在着可靠性高、实时性强、准确率高等特点, 但由于需要布线, 施工不方便, 在实际应用中会受到很多限制; (2) 电力线载波技术不成熟。由于低压电网特殊的恶劣传输条件, 致使高频信号在电力线中传播时, 将会遭遇到剧烈负载变化和各种频率的谐波干扰, 极易造成信号误码, 甚至信号中断; (3) 借用运营商的网络(GSM/GPRS), 运营成本增加。

本文提出一种新型的无线自动抄表系统, 将无线传感器网络(WSN)^[5]技术应用于电能表的自动抄表。无线传感器网络是一种自组织网络, 是由大量

基金资助: 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2007AA01Z330); 江苏省高校自然科学重大基础研究项目(07KJA51007); 江苏省高技术研究项目(BG2007022); 南通大学自然科学研究项目(07Z045)

具有通信与计算能力的微小传感器节点密集布设而构成的智能自治测控网络系统,能够根据环境自主完成指定任务。采用无线多跳通信方式,具有分布式、大规模、高冗余、无人值守、网络动态变化等特点。这种基于 WSN 的自动抄表系统投入少,运行费用低,施工、维护简单。

1 系统方案设计

无线自动抄表系统由电能表、采集器、集中器、数据处理中心等构成,形成无线传感器网络,如图1所示。

采集器节点有两种,一是由若干个具有 RS485 接口的电能表和一个具有无线组网功能的采集器构成传感器节点,由 RS485 接口、微处理器、射频模块和天线组成,适用于多层住宅小区;二是单个具有无线组网功能的电能表构成传感器节点,由电能检测模块、微处理器、射频模块和天线组成,适用于独立住宅。集中器节点是传感器网络中的汇聚节点,同时具有网关功能,由微处理器、射频模块、天线和 IP 接口组成。

图1所示的无线自动抄表系统中,系统主要由3部分组成:(1)安装在楼层底部具有数据采集、无线通信功能的采集器节点;(2)安装在小区中心的集中器节点;(3)数据处理中心,一般安装于供电公司。该系统可采用主动或被动抄表方式,主动抄表方式时,采集器节点定时收集到楼层中各用户的数据;被动抄表方式时,集中器接收到数据处理中心发来抄表命令后,通知小区内的指定节点采集电表数据;采集完数据后,通过无线多跳通信方式组网,将数据信息传送到集中器节点,集中器再通过 Internet 将数据信息传送到数据处理中心。

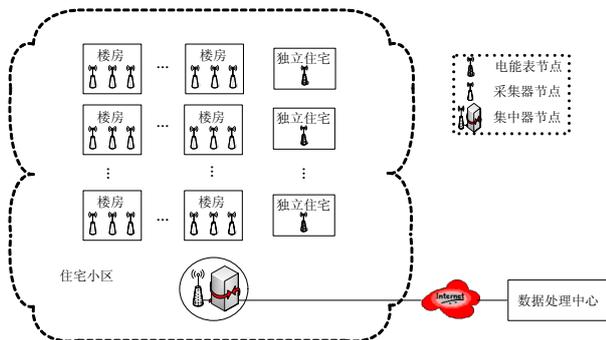


图1 基于无线传感器网络的自动抄表系统

Fig.1 Automatic meter reading system based on WSN

2 系统硬件实现

2.1 采集器节点设计

采集器节点硬件结构如图2,由处理器模块、

RS485接口、射频模块和天线等组成,主要功能:1)路由自组织;2)转发其他节点的数据包;3)通过485接口读取电能表的表号、读数等信息,并将数据信息打包后通过上行路由发出;4)执行集中器节点发出的命令。

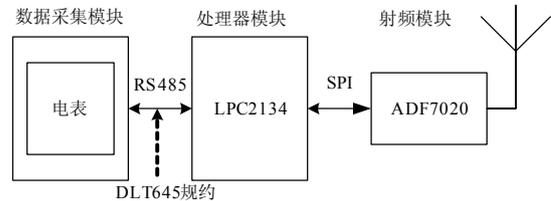


图2 采集器节点硬件结构

Fig.2 Hardware structure of the collector node

2.1.1 射频模块

射频模块负责节点机数据的收发。一般无线传感器节点采用射频芯片 CC1000 或 CC2420,然而这些节点机通信距离和穿透能力受限,从而约束了其应用领域。为了弥补这些不足,需要选择接收灵敏度高,最大发射功率高的射频芯片 ADF7020^[6],ADF7020 是一款低功耗、高集成的 FSK/GFSK/OO K/GOOK 收发组件,适用于 433 MHz、868 MHz 和 915 MHz 的 ISM 频段,电压 2.3~3.6 V,可编输出功率从 -16~13 dBm,1 kbps FSK 模式的接收灵敏度为 -117.5 dBm 或 9.6 kbps 的 -110.5 dBm,接收模式的功率为 19 mA,10 dBm 输出的发送模式的功率为 22 mA,关断模式的电流小于 1 μA,可节省传感器节点能耗。由于无线传感器网络是低传输率、低功耗的网络,要求数据传输的可靠性高。所以设计方案选择 ADF7020 采用 GFSK,工作频率为 433 MHz,数据传输速率为 10.8 kbps,发射功率为 10 dBm。

2.1.2 处理器模块

处理模块即微处理器,作为无线传感器节点的计算核心,需要选择外形小、集成度高、运行速度快、有足够的 GPIO 和通信接口、成本低、有安全保证的芯片。另外还需要有足够的资源,因为无线传感器网络节点除完成数据采集功能外还要完成数据转发和路由功能,因而要有足够的处理能力、程序空间及数据空间。目前使用较多的传感器节点选用 Atmel 公司的 AVR 单片机和 TI 公司的 MSP430 超低功耗系列 8 位处理器。高性能传感器网络节点对处理器的要求也越来越高,需要大量内存、外存以及高数据吞吐率和处理能力,传统的 8 位处理器速度与外围器件的速度存在相互限制的瓶颈。因此该设计方案选择了价格便宜、功耗极低、处理速度快

的 ARM 处理器 LPC2134^[7]。它是基于一个支持实时仿真和嵌入式跟踪的 32 位 ARM7TDMI-STM CPU 的微控制器，带有 128 KB 嵌入的高速 Flash 存储器和 16 KB 片内静态 RAM，128 位宽度的存储器接口和独特的加速结构使 32 位代码能够在最大时钟速率下运行。

微控制器 LPC2134 可通过 SPI 串行可编程接口协议或 GPIO 接口与射频芯片 ADF7020 通讯，LPC2134 和 ADF7020 管脚连接如图 3 所示。

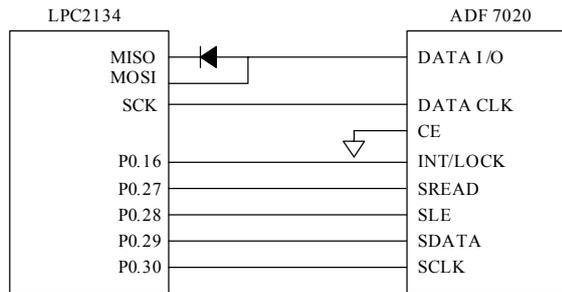


图 3 LPC2134 和 ADF7020 管脚连接图

Fig.3 Pin connection graph of ADF7020 and LPC2134

2.1.3 数据采集模块

通过 RS485 转 RS232 转换电路，将电表中的 RS485 接口与 LPC2134 的 RS232 接口相连。根据 DLT645 规约^[8]的帧格式如表 1，LPC2134 利用串口向电表发送读取电表读数的命令，采集电表的读数。

2.2 集中器节点设计

集中器节点硬件结构如图 4，由射频模块、GPRS 模块和处理器模块构成，集中器是汇聚节点和网关组合而成的，主要功能：1) 将收集的数据信息，通过 RS232 传送给 GPRS 模块，封装成 IP 包，经过 Internet 传送到数据处理中心的服务器；2) 能将数据处理中心的命令信息 (IP 包) 解析后，根据抄表自组织网所定义的包格式进行封装后发送给指定节点。

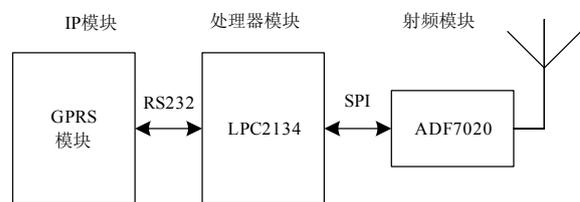


图 4 集中器节点硬件结构

Fig.4 Hardware structure of concentrator node

表 1 DLT645 规约帧格式

Tab.1 Frame format of statute DLT645

帧起始符	地址域						帧起始符	控制码	数据长度域	数据域	校验码	结束符
68H	A0	A1	A2	A3	A4	A5	68H	C	L	DATA	CS	16H

3 系统软件设计

整个系统软件的核心在于 MAC 层和网络层协议，其中 MAC 层采用 CSMA/CA 机制^[9]，即每个节点在发送数据前先监听信道上其它节点是否在发送数据。如果监听发现已经有数据在发送，则此节点暂时不发送数据，根据协议的算法延迟一个随机时间再次监听信道。一旦发现信道空闲之后，就将数据发送出去。如果反复监听超过规定次数仍不成功发送，则放弃发送该数据。网络层协议：主动抄表方式时，可采用基于最小跳数的路由算法^[10]，每个采集器节点上电后，立即建立到集中器节点的路由，采集器节点首先向邻居节点发送路由请求；然后存在到达集中器的路由的邻居节点收到路由请求后，发送路由回复；最后采集器节点从收到的路由回复中选择跳数最小的节点作为父节点。这样每个节点都可以建立到达集中器节点的路由，整个抄表系统网络形成了一个树型拓扑的结构。根据已建立的路由表，采集器定时将采集到的数据逐跳上传到

集中器。被动抄表方式时，采用一种源路由策略，利用上行数据中捎带的源节点的父节点地址字段，形成一个全局下行路由表。发送下行查询命令信息时，只需从路由表中查出集中器到采集器节点的路由，把查到的路由地址放在数据包头中，这样便可按照查询到的路由地址进行逐跳传输，采集器收到查询命令后，根据 DLT645 规约采集电表数据，再逐跳上传到集中器。

如图 5 发送数据时，可以将数据组装成帧，帧格式见图 6，其中前导码 0x55, 0x55, 0x55, 0x55, 0x55，接收机根据它进行信道估计、频率偏差纠正、AGC (自动增益控制) 设置等；同步字 0x12, 0x34, 0x56 必须与同步字寄存器设置的参数相一致；控制域包括数据包长度，目标地址，源地址，数据包 ID 等，如果检测到信道空闲，将组装后的数据帧交给 ADF7020 发送；如果检测到信道忙，则随机退避一段时间后，继续检测信道，直到信道空闲，将组装后的数据帧交给 ADF7020 发送。发送完数据之后，等待确认数据包，若在规定时间内收到确认数据包，

则表明数据发送成功; 若没有收到确认数据包, 则表明发送失败, 必须检测信道继续重传。

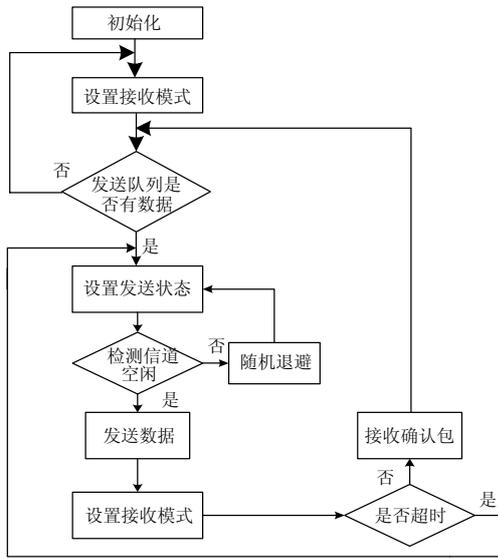


图 5 节点发送数据工作流程

Fig.5 Node workflow of sending data

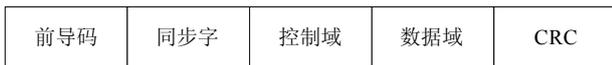


图 6 无线传输的帧格式

Fig.6 Frame format of wireless transmission

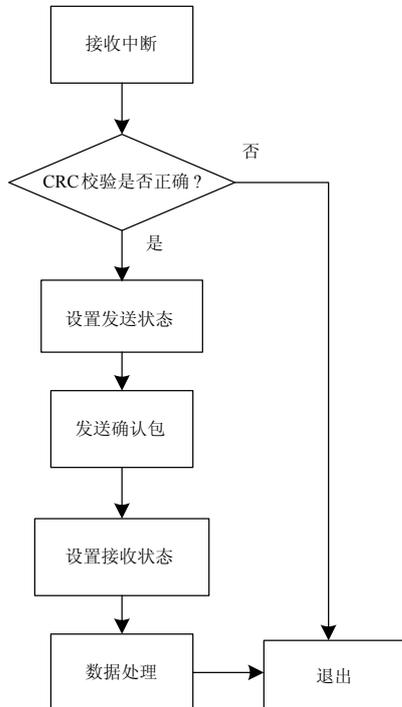


图 7 节点接收数据工作流程

Fig.7 Node workflow of receiving data

如图 7 接收数据时, 当收到的同步字与 ADF7020 初始设置的同步字相同时, 产生外部中断。去掉前导码和同步字, 数据帧进行 CRC16 校验, 若校验通过, 首先发送确认包给源节点, 再进行其他数据处理; 若检验没有通过, 则丢弃该数据帧, 退出外部中断。

通过节点机无线通信测试, 其视距通信距离可达 600 m, 有很强的透射能力, 一般可以满足封闭楼道的布设。若无线传输质量较差, 还可以采取以下方案: 1) 将 ADF7020 发射功率设为 13 dBm, 节点机视距通信距离约为 900 m; 2) 信道编码采取前向纠错编码技术, 提高其传输的可靠性; 3) 增加中继节点; 4) 可以将节点机的天线从封闭的区域延伸到室外。

4 结束语

基于无线传感器网络技术构建一种新型的远程自动电力抄表系统, 具有无线抄表、实时监控等功能, 使用方便、易于维护、工作可靠等特点, 无论对供电部门(包括供水、供气)构建信息管理平台, 还是建设智能化住宅小区都是必不可少的。目前该系统已在启东林洋小区进行了组网试验, 并取得了阶段性成果。

参考文献

- [1] 董昕, 王林, 杨继勋. 电能量采集及计费自动化系统设计[J]. 电力系统自动化, 2000, 24 (4): 55-57.
DONG Xin, WANG Lin, YANG Ji-xun. Design and Research on Energy Acquisition and Billing Automatic System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24 (4): 55-57.
- [2] 朱兆优. RS-485 总线在远程自动抄表系统中的应用[J]. 东华理工学院学报, 2005, 28(2): 96-99.
ZHU Zhao-you. RS-485 Bus Applied in Remote Auto-reading-meter System[J]. Journal of East China Institute of Technology, 2005, 28(2): 96-99.
- [3] 楼晓君. 电力线载波自动抄表系统[J]. 华东电力, 2003, 31(3): 48-49.
LOU Xiao-jun. Automatic Meter Reading System Based on the Power Line Carrier [J]. East China Electric Power, 2003, 31(3): 48-49.
- [4] 朱庆豪, 曾蕾. 基于 GPRS 的远程自动抄表系统的设计[J]. 电测与仪表, 2006, 43(7): 35-38.
ZHU Qing-hao, ZENG Lei. Design of Remote Automatic Meter Reading System Based on GPRS Communication Technology[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2006, 43(7): 35-38.

(下转第 135 页 continued on page 135)

压回路应加装专门的计量断线回路监测; 线路抽压 PT 引出的电压应加装一个电压继电器监视其电压, 以防止保护在某些重合闸方式下不检测线路电压。在加压试验过程中应断开某一相电压检测相应监视回路是否能正确报警。

(2) 对于 10~35 kV 防谐振 4PT 接线

其他检验步骤均与普通 3PT 接线相同, 需要注意的是在步骤①中, 需要首先对中性点 PT 做高压试验, 确定其每个绕组的变比, 然后才能进行极性试验并按照图 5 正确接线。

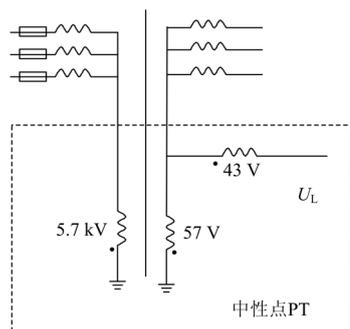


图 5 防谐振 PT 正确接线图

Fig.5 Nicety circuit of anti-resonance PT

3 总结

本文提出了对 PT 及二次电压回路进行检测的新方法, 通过对 PT 进行极性试验和二次回路加压传动, 可以对厂站全部二次电压回路做到真正意义上的全面检查, 彻底杜绝了过去因缺乏有效检测手段可能造成的各类接线错误, 消除了潜在的隐患, 满足了系统安全稳定运行的要求。

参考文献

- [1] DL/T 5136-2001, 火力发电厂、变电所二次接线设计技术规程[S].
DL/T 5136-2001, Technical Code for Designing of Electrical Secondary Wiring in Fossil Fuel Plants and Substations[S].

收稿日期: 2009-03-03; 修回日期: 2009-09-22

作者简介:

周建军 (1973-), 男, 高级工程师, 本科, 从事继电保护维护管理工作; E-mail:zhoujianjunfr@163.com

樊高端 (1976-), 女, 助理工程师, 从事电力营销管理工作;

樊庆玲 (1972-), 女, 高级工程师, 从事电力勘测设计工作。

(上接第 113 页 continued from page 113)

- [5] 孙利民, 李建中, 陈渝. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
SUN Li-min, LI Jian-zhong, CHEN Yu. Wireless Sensor Networks [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005.
- [6] High Performance ISM Band FSK/ASK Transceiver IC ADF7020[EB/OL]. www.analog.com.
- [7] 周立功. 深入浅出 ARM7-LPC 213X / 214X[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
ZHOU Li-gong. Easy ARM7-LPC 213X/214X[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2005.
- [8] 郭金英, 鲁国才. 多功能电能表通信规约[Z]. 北京: 中华人民共和国电力工业部, 1998.
GUO Jin-ying, LU Guo-cai. Statute of Multi-function Watt-hour Meter[Z]. Beijing: Ministry of Power Industry

of People's Republic of China, 1998.

- [9] Kurtis Kredo II, Prasant Mohapatra. Medium Access Control in Wireless Sensor Networks[J]. Computer Networks, 2007, 51: 961-994.
- [10] Akkaya K, Younis M. A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks[J]. Ad Hoc Networks, 2005: 325-349.

收稿日期: 2009-03-06; 修回日期: 2009-05-13

作者简介:

孙强 (1980-), 男, 讲师, 硕士, 主要研究方向为无线传感器网和无线自组网; E-mail: sunqiang@ntu.edu.cn

朱海峰 (1979-), 男, 讲师, 硕士, 主要研究方向为无线传感器网;

徐晨 (1960-), 男, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向为无线传感器网、无线通信。