

文章编号: 2095—0411 (2013) 04 - 0079 - 04

基于 ZigBee 技术的电能集抄系统设计^{*}

吴 伟¹, 渠海青², 孙广辉², 朱正伟²

(1. 常州工程职业技术学院 自动化系, 江苏 常州 213164; 2. 常州大学 信息科学与工程学院, 江苏 常州 213164)

摘要: 传统的电能抄表系统技术落后, 其自动化程度远不能满足现有电量管理系统的要求。以 ZigBee 协议为技术载体, 电能计量装置作为应用对象, 设计了一种由 SOC 片上系统级芯片 CC2430 构成的无线电能集抄系统。CC2430 负责 ZigBee 无线通讯网络的构建, 通过其片内的 80C51 内核控制器采集电能装置的电量数据, 并通过网络协调器上传至数据集中器。介绍了系统的体系结构, 对抄表系统的终端节点和协调器软件进行了详细设计, 并对电能数据的读取过程进行了分析。实践表明, 利用 ZigBee 技术实现的电能抄表系统克服了复杂现场布线带来的难题, 具有结构简单、数据传输可靠、快速等特点, 大大提高了系统的灵活性。

关键词: 电能集抄; 无线网络; ZigBee 技术; CC2430

中图分类号: TP 273

文献标识码: A

doi: 10. 3969/j. issn. 2095—0411. 2013. 04. 017

Design of Power Centralized Meter Reading System Based on ZigBee Technology

WU Wei, QU Hai-qing, SUN Guang-hui, ZHU Zheng-wei

(1. Department of Automation, Changzhou Institute of Engineering Technology, Changzhou 213164, China; 2. School of Information Science and Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract: The traditional power meter reading system is technically backward, and its automation degree is unable to meet the existing power management systems. Using ZigBee protocol as a technology carrier and power metering device as an application object, a wireless power centralized metering reading system constituted by the system-on-chip CC2430 was designed. ZigBee wireless communication network is constructed by CC2430. CC2430 collects power device metering data through its on-chip 80C51 core controller and the network coordinator upload the data to the concentrator. The system architecture is introduced, and the end-nodes on the meter reading system and software of coordination are designed in detail. In addition, the power data reading process is analyzed. Practice shows that the power meter reading system using ZigBee technology has overcome the complex problems caused by field cabling, and has simple structure, reliable and rapid data transmission, and a series of features, and has greatly improved the flexibility of the system.

Key words: power centralized meter reading; wireless network; ZigBee technology; CC2430

^{*} 收稿日期: 2013 - 05 - 23

基金项目: 常州市科技计划项目 (CE20120043); 武进区科技发展 (工业) 计划项目 (WG2011003)

作者简介: 吴伟 (1962—), 男, 江苏昆山人, 讲师。

随着通信技术的不断发展，自动抄表系统（Automatic Meter Reading - AMR）在工业现场以及居民生活中得到了广泛应用。AMR 不需要人工到现场就能完成用户电量数据的自动读取和处理，避免了漏抄和错抄现象，提高了抄表的准确性和效率^[1-3]。这对于电力用户的电能质量分析、经济效益、信息化水平、甚至管理决策都具有十分重要的意义。

按照通信介质的不同可分为有线和无线两种。有线集中抄表系统包括光纤、电话线、RS - 485 总线和低压电力线载波传输。有线抄表系统增加了综合布线的费用和难度，降低了系统的应用灵活性，限制了有线自动抄表系统的推广和应用^[4]。

近些年发展起来的无线抄表系统的方式也大多存在成本高、功耗大、距离近、组网规模太小、线路上的干扰问题很难解决等缺点，对此本文将 ZigBee 技术与远程无线传输方式相结合，设计一种远程无线集中抄表系统。

1 无线集抄系统设计方案

一个完整的电能无线集抄系统如图 1 所示，主要由电能计量装置、ZigBee 无线网络^[5]、数据集中器、远程数据中心等构成。

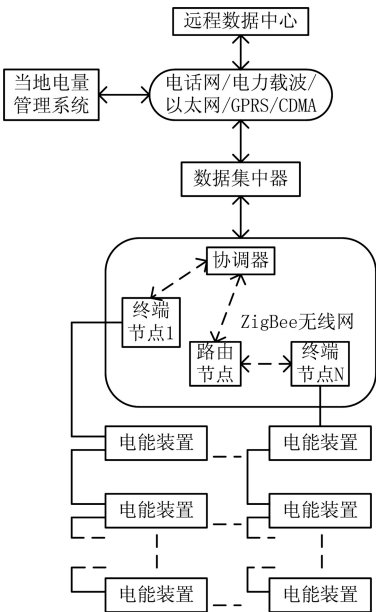


图 1 系统结构图

Fig. 1 System structure chart

电能数据的传输由当地电能管理系统或远程数据处理中心发起，采集指令首先传送到集中器，集中器通过近距离无线网络将采集命令发送给电能计量装置。电能计量装置根据采集指令，按照一定的

通信格式返回电能数据。

在 ZigBee 无线网络中，终端节点采用 RS485 总线的方式与多个电能计量装置连接，电量数据经由终端节点转化为网络通信协议包，经过路由节点或直接传到 ZigBee 协调器。ZigBee 协调器收到数据包后，一方面按原路径返回收到确认信息，实现握手通信，完成一次完整的 ZigBee 无线通信。另一方面，ZigBee 协调器节点把收到的数据转发给数据集中器。集中器采用公用电话网/电力载波/以太网/GPRS/CDMA 等多种传输方式实现电量数据的远程传输，也可通过串行接口把电量数据发送至当地电能管理系统。

2 ZigBee 无线节点硬件设计

在 ZigBee 无线网络中，协调器、路由节点以及终端节点，采用相同的硬件电路。本系统采用的 CC2430 是 TI 公司的一款兼容 ZigBee 协议的无线收发芯片，其工作频段是 2.405~2.48GHz，数据传输速率为 250kbps，采用 O - QPSK 调制方式。划分为 16 个信道，每个信道占 5MHz 的带宽。采用直接序列扩频（DSSS）的方式^[6]。

在 CC2430 的外围加上必要的器件以及无线收发天线，可以方便的设计出无线网络的硬件电路，其硬件组成如图 2 所示。

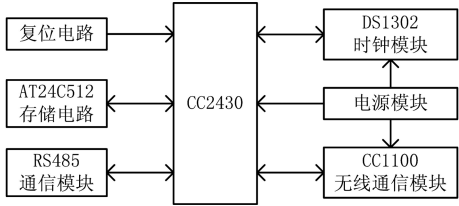


图 2 无线节点硬件结构框图

Fig. 2 Structure chart of the wireless node

3 ZigBee 无线节点软件设计

无线电能集抄系统中的 ZigBee 网络结构中，包含 3 种类型的节点，即协调器（Coordinator）、路由节点（Router）和终端节点（Endpoint）。依据全功能设备 FFD（Full Function Device）和精简功能设备 RFD（Reduced Function Device）^[7]各自特点，将协调器和路由节点设置为 FFD、终端节点设置为 RFD。ZigBee 网络支持星型，簇树和网状 3 种无线网络拓扑结构^[8]，依据实际试验测试，簇树型网络拓扑可以既满足覆盖面积确保数据传输质量，又可以大大降低无线网络拓扑结构的复杂度。

3.1 终端节点的软件设计

在电能集抄系统中, 终端节点和电能计量装置直接相连, 是电量数据采集的主要执行机构, 它的主要功能是接收协调器的指令, 采集电能数据, 并发送至协调器。终端节点开机后进行硬件和协议栈初始化, 然后发送信标请求, 终端节点收到协调器返回的信标响应后发送入网连接请求, 若终端节点解析响应是正确的, 此时终端节点入网成功^[9]。当入网成功后, 根据指令依次查询所有与终端节点连接的电能计量装置, 具体流程如图 3 所示。

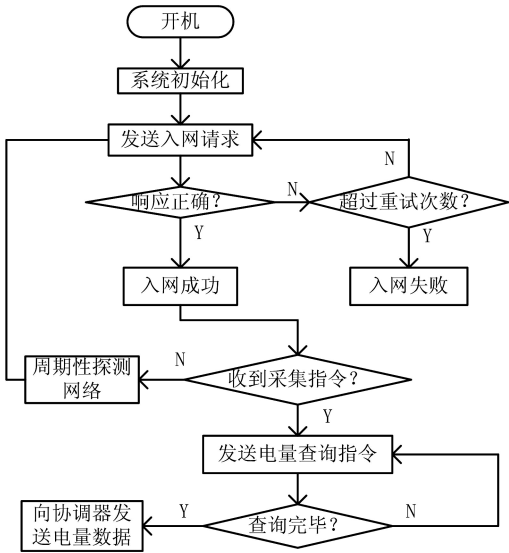


图 3 终端节点软件流程

Fig. 3 Terminal node software process

终端节点通过 RS - 485 总线与多台电能计量装置相连, 读取方式采用轮询方式, 通信方式为半双工, 具体电能数据读取流程图如图 4 所示。

3.2 协调器中心节点的软件设计

协调器是无线网络的数据汇集中心, ZigBee 网络 PAN (Personal Area Network) 中有且仅有一个, 主要负责网络的初始化, 确定网络的 ID 号和操作的物理信道, 并统筹短地址分配, 允许其他子节点加入网络, 提供数据路由和安全管理等服务, 具体工作流程如图 5 所示。

3.3 数据帧格式及数据封装

通讯协议中的数据帧格式如图 6 所示。每字节含 8 位二进制码, 传输时加上一个起始位 (0)、一个偶校验位和一个停止位 (1), 共 11 位。D0 是字节的最低有效位, D7 是字节的最高有效位。先传低位, 后传高位。数据帧起始符 68H:

标识一帧信息的开始。地址域 A0~A5: 地址由 6 个字节构成, 每字节 2 位 BCD 码。地址长度可达 12 位十进制, 可以为表号、资产号、用户号、设备号等。数据长度 L: L 为数据域的字节数。数据域 DATA: 数据域包括数据标识和电量数据等, 其结构随控制码的功能而改变。传输时发送方按字节进行加 33H 处理, 接收方按字节进行减 33H 处理。校验码 CS: 从帧起始符开始到校验码之前的所有各字节的模 256 的和, 即各字节二进制算术和, 不计超过 256 的溢出值。结束符 16H: 标识一帧信息的结束。

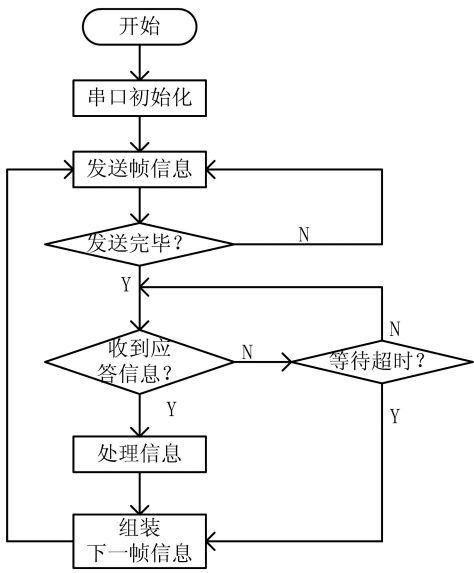


图 4 电能数据读取流程图

Fig. 4 Power flow chart of data read

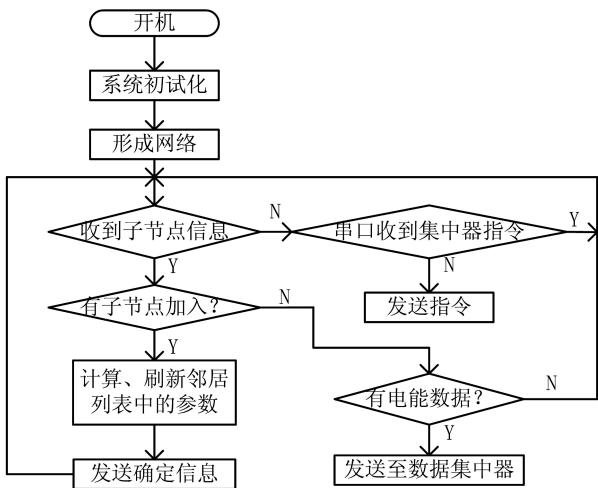


图 5 协调器中心节点软件流程

Fig. 5 The coordinator node software process

68H	A0~A5	68H	C	L	DATA	CS	16H
-----	-------	-----	---	---	------	----	-----

图 6 数据帧格式

Fig. 6 Data frame format

本设计中采用报文服务来定义应用协议数据单元中的具体应用数据格式，其中数据载荷采用自定义的用户格式。当电能计量装置的数据从终端节点传输到协调器或者协调器转发抄表指令时，数据经过一系列的封装，添加相应的帧头，组成要发送的帧信息，其帧结构之间的关系如图 7 所示。

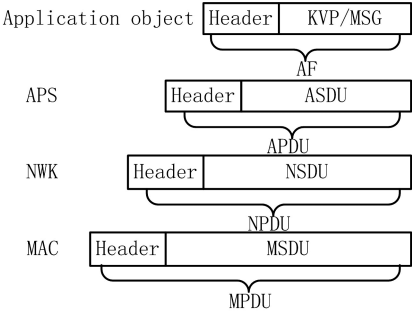


图 7 各层帧结构格式

Fig. 7 The layers of frame structure format

一个完整的满足 IEEE 802.15.4 规范的协议帧至少要包含 9 个字节的数据。它是由 4 个字节的帧前导字节（preamble）、1 个字节的帧开始标志 SFD、1 个字节的帧长度标志 FLI（frame length indicator）、1~125 个字节的数据净荷（payload data）和 2 个字节的帧校验（FCS）组成^[10]。数据净荷部分含有 MAC 层数据包，即 MAC 层协议数据单元（MPDU）。

4 无线电能数据通信测试及数据显示

数据集中器与电量管理系统平台通过 RS232 串口连接，由电量管理系统发出数据查询命令，数据集中器响应指令，把各电量数据上送至电量管理系统中。测试结果见表 1。实践表明，利用 ZigBee 技术组成的无线电能集抄系统运行稳定、可靠，完全满足自动抄表技术的要求。

5 结 论

把低成本、低功耗的无线 ZigBee 技术应用于电能抄表系统，具有结构简单、数据传输可靠、快速等特点，大大提高了系统的灵活性。对于加强用电管理、防止国家电力资源的大量流失都具有积极的意义。同时也减少了抄表系统现场布线带来的各种问题。

此外对本设计方案加以升级改造，通过移植更好的组网 Zigbee 协议，可以组成分布式大范围内的数据采集无线传输网络，广泛应用于各个领域，具有广阔的发展前景。

表 1 电量数据

Table 1 Electricity date

编号	参数名称	值	编号	参数名称	值
1	2001 正向有功总	0.06	21	105 正向有功总	0.24
2	2001 反向有功总	0.00	22	105 反向有功总	0.00
3	2001 正向无功总	0.11	23	105 正向无功总	0.08
4	2001 反向无功总	0.00	24	105 反向无功总	0.00
5	101 正向有功总	0.02	25	106 正向有功总	0.02
6	101 反向有功总	0.00	26	106 反向有功总	0.00
7	101 正向无功总	0.04	27	106 正向无功总	0.04
8	101 反向无功总	0.00	28	106 反向无功总	0.00
9	9101 正向有功总	0.06	29	107 正向有功总	0.06
10	9101 反向有功总	0.00	30	107 反向有功总	0.00
11	9101 正向无功总	0.10	31	107 正向无功总	0.11
12	9101 反向无功总	0.00	32	107 反向无功总	0.00

参考文献：

[1] 谭志强，黄懿．自动抄表技术的发展[J]．电测与仪表，2009，46（1）：20 - 23.

[2] 周昭茂．电力需求侧管理技术支持系统[M]．北京：中国电力出版社，2007：114 - 160.

[3] 闫银发，公茂法，汤元信．基于 ZigBee 技术的无线网络抄表系统设计[J]．电测与仪表，2006，43（6）：43 - 45.

[4] 郭丹，李俊芳．ZigBee 无线网络技术在抄表系统中的应用[J]．自动化仪表，2009，30（4）：20 - 23.

[5] 潘巧灵，丁建宁，王君霞，等．基于 ZigBee 技术的石化领域高防爆无线监测系统[J]．常州大学学报：自然科学版，2012，24（2）：58 - 63.

[6] 尹应鹏，李平舟，郭志华．基于 CC2430 的 ZigBee 无线数传模块的设计和实现[J]．电子元器件应用，2008，10（4）：18 - 21.

[7] 任秀丽，于海斌．ZigBee 无线通信协议实现技术的研究[J]．计算机工程与应用，2007，43（6）：143 - 144.

[8] 汤波，罗昌俊，周明天．无线传感器网络分簇拓扑结构的研究[J]．计算机应用研究，2007，24（10）：315 - 317.

[9] 刘涛，赵计生．基于 ZigBee 技术的农田自动节水灌溉系统[J]．测控技术，2008，27（2）：95 - 96.

[10] Jardosh S, Ranjan P A. Topology control for wireless sensor networks [C] // Signal Processing, Communications and Networking. ICSCN. 8TH International Conference. Chennai, India: Inst of Elec and Elec Eng Computer Society, 2008: 422 - 427.