

Zigbee 技术和 DL/T645 规约在无线抄表系统中的应用

何 宾, 吕育斌, 冯 涛

(北京化工大学信息科学与技术学院, 北京 100029)

摘要: 针对传统的 GPRS、CDMA 无线远程抄表系统存在功耗高, 网络实时性差的隐患, 介绍了基于我国电力部标准“DL/T645-1997 多功能表通讯规约”的电度表无线抄表系统, 该系统无线数据传输部分由 ATMEL 公司的 Mega128 AVR 单片机和 RF230 射频芯片构成, 兼容 802.15.4 标准和 Zigbee 协议, 是一种无线自组织多跳冗余网络, 可以很好地保证无线数据的可靠传输。该系统具有远程抄表、供(断)电远程控制、读取当前压流值等多种功能, 而且节点功耗低、成本小, 适合于基于电度表的无线抄表系统。给出了系统的通讯协议, 硬件组成框图, 软件流程。

关键词: 无线抄表; DL/T645 规约; Zigbee; 无线传感器网络

Wireless meter reading system based on Zigbee and DL/T645

HE Bin, Lü Yu-bin, FENG Tao

(College of Information Science and Technology, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: Traditional GPRS, CDMA wireless meter reading system has high power and bad network real-time performance. A new wireless multifunctional meter reading system developed for a kind of power meter based on DL/T645-1997 multifunctional meter communication specification^[1] is introduced in this paper. The system is composed of Mega128 AVR MCU and RF230 RF transceiver, compliant with IEEE 802.15.4/Zigbee, which is a wireless multi-hop network with self-organizing. So it can guarantee stability to the wireless data transfer. This system has several functions such as meter remote reading, power UP/OFF remote control getting magnitude of voltage & current, etc. What's more, because of its low power and low cost characteristic, the modes suit the wireless meter reading system. This paper provides the communication specification, diagram of hardware & software of the system.

Key words: wireless meter reading; DL/T645; Zigbee; WSN

中图分类号: TM764 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2009)24-0081-04

0 引言

近年来, 出现了利用中国移动、联通提供的无线数据传输业务, 结合当前流量抄表的实际情况开发的远程自动集中抄表分析系统, 该系统虽然施工较简便, 性能可靠, 自动化程度高, 但是功耗大, 而且实时性差, 尤其是节假日系统的负荷会达到高峰, 系统及网络堵塞严重, 信息不畅, 不能及时发送或收到有用信息。

针对以上问题, 采用 Zigbee 无线远程抄表技术, 组建多跳自组织冗余网络, 很好地保证了数据的实时性和可靠性, 同时扩展了无线通讯距离。在某学院附中的教学楼用电系统使用了该技术, 经现场实际测试, 最多可以组成 10 跳网络, 丢包率在 1% 以下。

1 Zigbee 技术简介及其网络层特点^[1]

1.1 Zigbee 技术简介

Zigbee 技术是基于 IEEE802.15.4 通信标准的短距离、低功耗、低速率无线网络技术, 其物理层和 MAC 层协议为 IEEE802.15.4 协议标准, 网络层由 Zigbee 技术联盟制定, 应用层的开发根据用户的应用需要, 对其进行开发利用, 因此该技术能够为用户提供机动、灵活的网络组网方式。

Zigbee 网络中的设备分为全功能设备 (FFD) 和简化功能设备 (RFD)^[2]。FFD 称为主设备, 它承担网络协调者的功能, 可与网络中任何其它类型的设备通讯, 它亦可以作为网络中的路由设备, 负责中继并转发 RFD 设备的数据包; RFD 称为从设备, 作为终端节点, 其相互之间不能通信, 它只负责采集传感器数据并通过射频芯片进行无线传输, 在无线通讯过程中可以通过 FFD 路由设备进行中继, 转发 RFD 设备发出的无线数据信息, 进行无线自组织多跳传输数据, 数据最终汇集到由 FFD 设备构成的网关上, 上传到 PC 机进行数据统计与分析。

由于这种多跳网络是一种冗余路由网络，所以它可以很好地保证无线数据的可靠性。其各种网络拓扑结构如图 1 所示：

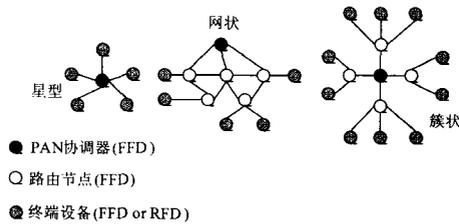


图 1 基于 Zigbee 的无线网络拓扑图
Fig.1 Wireless network topology based on Zigbee

1.2 Zigbee 网络层特点

ZigBee 网络层提供了两个必须的功能服务实体，分别为数据服务实体和管理服务实体。网络层数据服务实体 (NLDE) 通过网络层数据实体服务接入点 (NLDE-SAP) 提供数据传输服务。网络层管理服务 (NLME) 实体通过网络层管理实体服务接入点 (NLME-SAP) 提供网络管理服务^[1]。这两种服务通过 MCPS-SAP 和 MLME-SPA 接口为 MAC 层提供接口。除此之外，在 NLME 和 NLDE 间还有一个接口使得 NLME 可以使用网络层数据服务，如图 2 所示。

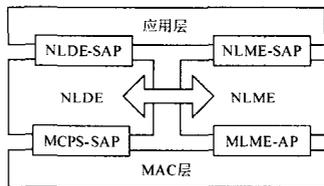


图 2 Zigbee 网络层参考模型
Fig.2 Network layer reference model of Zigbee

网络层数据实体服务接入点支持对等应用实体之间的应用协议数据单元的传输。应用层协议数据单元的结构如表 1 所示，其中数据域为电表所采集到的各种电量数据。如表 2，本系统使用网络层数据实体服务接入点对应用协议数据单元进行封装，加上适当的协议头，并使用网络层管理实体提供相邻设备和路由寻找功能，为网络层的数据包添加路由信息，将找到最佳路径的父节点地址添加到网络层协议数据单元中。

表 1 应用层协议数据单元

Tab.1 Protocol data unit of application layer

所占字节数: 2	1	1	1	可变
数据包目的地址	网络类型号	网络组号	数据域长度	数据域 (电表电量)
应用层协议头				

表 2 网络层协议数据单元

Tab.2 Protocol data unit of network layer

所占字节数: 2	2	2	2	1	可变
应用层协议头	数据包源地址	父节点地址	数据包序号	数据包类型 ID 号	数据域 (电表电量)
网络层协议头					

2 系统的硬件实现

本系统采用兼容 IEEE802.15.4 的无线射频芯片 RF230，它工作在 2.4 GHz 全球免授权免费频段上，具有 250 kbps 无线通讯带宽，两节点之间进行可靠传输的直接通信距离为 300 m。同时还在端节点 (RFD) 与网关之间加了很多 FFD 路由节点进行中继，大大拓展了端节点与网关的通信距离。经过实际应用测量，端节点与网关之间最多可以达到 10 跳可靠通信。

2.1 RFD 终端节点

终端节点由接口转换电路、2.4 GHz 射频芯片 RF230、512 KB 大小的 FLASH 芯片 AT45DB041 和 AVR 单片机 Mega128 构成，如图 3 所示。

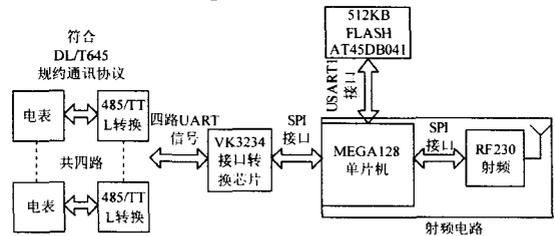


图 3 终端节点硬件结构框图

Fig.3 Hardware structure of terminal nodes

节点与电表之间通过 485 接口连接，节点负责采集电表输出的符合电力部标准的 DL/T645-1997 多功能电能表通讯规约的电量数据，并通过 Zigbee 无线组网传输。每个电表输出通过连接一片 MAX485 芯片实现 485/TTL 的电路转换。由于一个终端节点需要连接四块电表，所以使用 VK3234 芯片进行接口转换，该芯片实现了 SPI 桥接/扩展 4 个增强功能串口 UART 的功能。它使用分时复用的方式，把高速的 SPI 主接口扩展为 4 个低速的 UART 子通道，每个子通道可以有独立的波特率、字长、校验格式，最高可以提供 1 Mbps 的通讯速率。使用 Mega128 上的 GPIO 口模拟 SPI 接口时序，连接 VK3234 的 SPI 主接口，负责采集四路电表信号并通过 USART1 口保存到片外 512 kB 大小的 FLASH 中，保存到 FLASH 的目的是可以在数据因中继节

点没电无法正常工作造成网络拓扑结构的突变导致数据链路连接失败, 端节点数据无法传回网关的时候端节点可以重传丢失的数据包, 从而保证数据的可靠传输。本系统中就使用了 ACK 机制, 在端节点的片外 FLASH 中建立一个 FIFO 队列, 每次端节点采集一次电量数据就把数据暂存到 FLASH 的 FIFO 队列中, 同时启动功射频芯片发送数据包, 网关收到端节点的数据包都会给相应的端节点发送一个 ACK 包作为应答, 端节点只有在规定时间内收到网关回传的 ACK 包之后才开始传输下一个数据包, 否则就把刚采集到的下一个数据包暂存到 FLASH 中, 重传原先的数据包, 当重传的次数大于 15 次的时候就产生中断, 在中断中丢包计数器值加 1, 中断返回后继续发送下一个数据包。

2.1.1 射频电路

RF230 是 ATMEL 公司推出的兼容 IEEE802.15.4 规范和 Zigbee 协议的 2.4 GHz 射频收发芯片, 射频输出功率最大可以达到 3 dbm, 接收灵敏度为 -101 dbm。它拥有超低功耗, 发射功耗最大只有 16.5 mA, 接收功耗只有 15.5 mA, 可以应用于电池供电系统, 而且其休眠时的功耗只有 20 nA, 由于在本系统中节电大部分时间处于休眠状态, 节点每隔 6 min 才唤醒一次进行电量采集和数据传送, 这样节点的总平均功耗为 1.5 mW。节电装置由两节容量均为 19 Ah 的 1 号电池并联供电, 至少可以正常工作 1 年。

如图 3 所示, RF230 与单片机之间通过标准的 SPI 口通讯, 由单片机负责收发数据的解析和打包。

2.2 FFD 中继节点和网关节点

作为中继节点的 FFD 设备硬件与 RFD 设备节点一样, 主要负责自动组网和转发 RFD 设备发出的数据包。作为网关节点的 FFD 设备除了要汇聚终端节点无线数据信息之外还要把数据包通过串口上传给 PC 机, 为了减小网关的 PCB 板尺寸和方便网关与 PC 机的连接, 系统使用 FTDI 公司的 FT2232 USB 口-串口转换芯片实现串口到 USB 口的转换, 网关的硬件结构图如图 4 所示。

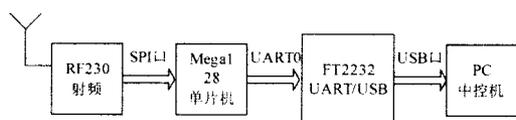


图 4 网关节点硬件结构框图

Fig.4 Hardware structure of gateway nodes

3 系统的软件实现

3.1 数据采集传输协议

端节点与电表间的通讯标准遵循《中华人民共和国

电力行业标准—多功能电能表通讯规约》即 DL/T645 规约^[3], 通讯链路的建立和解除都由网关发出的信息帧来控制。每帧由帧起始符、从站地址域、控制码、数据长度、数据域、帧信息纵向校验码及帧结束符等 7 个部分组成。数据帧的格式如图 5 所示。

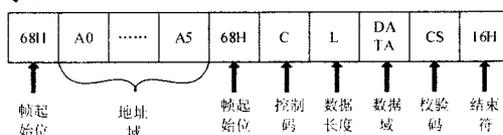


图 5 数据帧格式

Fig.5 Data frame format

(1) 帧起始符 68H: 标示一帧的开始。

(2) 地址域 A0—A5: 地址域由 6 个字节构成, 每字节 2 位 BCD 码。地址长度可达 12 位十进制数, 可以为表号、资产号、用户号、设备号等。

(3) 控制码 C: 控制码的格式如图 6 所示, D7=0: 表示由网关发出的命令帧; D7=1: 则表示端节点发出的应答帧; D6=0: 端节点正常应答; D6=1: 端节点对异常信息的应答; D5=0: 无后续数据帧; D5=1: 有后续数据帧。

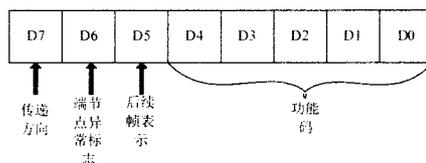


图 6 控制码格式

Fig.6 Control code format

D4~D0: 请求及应答功能; 00000: 保留; 00001: 读数据; 00010: 读后续数据; 00011: 重读数据; 00100: 写数据; 01000: 广播校时; 01010: 写设备地址; 01100: 更改通讯速率; 01111: 修改密码; 10000: 最大需求量清零。

(4) 数据长度 L: L 为数据域的字节数。L 读数据时不大于 200, 写数据时不大于 50。L=0 表示无数据域。

(5) 数据域 DATA: 数据域包括数据标识和数据、密码等, 其结构随控制码的功能而改变。传输时发送按字节进行加 33H 处理, 接收方按字节减 33H 处理。

(6) 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。

(7) 结束符 16H: 标识一帧信息的结束, 其值为 16H。

3.2 节点的程序设计^[4]

所有的节点，包括 FFD 设备节电和 RFD 设备节点都是基于 TinyOS 使用 Nesc 语言编程。

TinyOS 提供一系列可重用的组件，一个应用程序可以通过连接配置文件将各种组件连接起来，以完成它所需要的功能。基于 TinyOS 的开发者可以选择所需要的组件，组件库包括网络协议、分布式服务、传感驱动器和数据采集工具，这些组件都可以作为进一步开发的基础。

3.2.1 无线抄表节点程序组件结构图

无线抄表系统的 NesC 程序就是调用了现有的 TinyOS 组件来实现抄表节点的程序编写。其程序组件连接如图 7 所示。

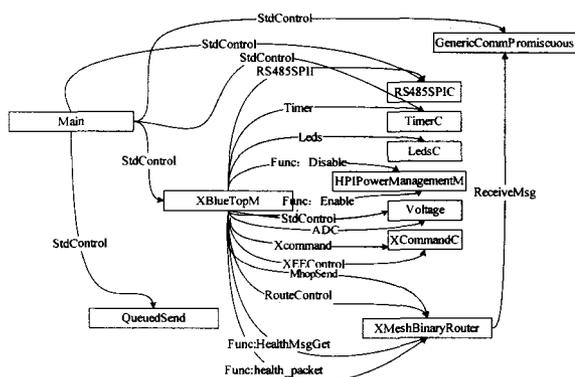


图 7 程序组件连接图

Fig.7 Component connection graph for the program

其核心的网络协议组件 XMeshBinaryRouter 连接位于整个组件图的前端，通过 Mesh 的方式建立起一个自组织自适应的无线网络。在主程序 Main 后开始连接调用 XBlueTopM 组件用以侦测网络的健康状况。XBlueTopM 组件连接向 XMeshBinaryRouter，由该 Mesh 组件提供所有的网络协议的运行和控制工作，它通过调用 Receive 或 Send 等命令就可以实现网络中信息的发送和接收，同时 XBlueTopM 组件连接向 HPIPowerManagement M 组建，由该组件控制节点的运行状态，以便控制节点的功耗。其网络协议的连接代码如下：

```

XBlueTopM.XCommand -> XCommandC;
XBlueTopM.XEEControl -> XCommandC;
/*Wiring for RF mesh networking*/
XBlueTopM.RouteControl -> MULTIHOPROUTER;
XBlueTopM.MhopSend->MULTIHOPROUTER.MhopSend[AM_XMULTIHOP_MSG];
/* AM_XMULTIHOP_MSG=11, Use channel 11 as communication channel*/
MULTIHOPROUTER.ReceiveMsg[AM_XMULTIHOP_MSG]
->Comm.ReceiveMsg[AM_XMULTIHOP_MSG];
XBlueTopM.HealthMsgGet -> MULTIHOPROUTER;
XBlueTopM.health_packet -> MULTIHOPROUTER;

```

数据采集端使用的组件是 RS485 SPIC，如图 7 所示该组件主要实现 SPI 接口扩展 4 个增强功能串口 (UART) 的功能和与符合 DL/T645 规约通信标准的 485 接口电表通信，它对外提供 RS485SPI 接口以供上层应用组件调用。

3.3 远程抄表管理软件

远程抄表管理软件是运行在管理端对整个无线抄表网络进行监管的上层程序。由于现在大多数的客户终端电脑都采用 Windows XP 的操作系统，因此使用基于 .Net 平台进行开发，管理软件通过实时查询无线抄表网络的接收数据，将抄表数据显示在软件的数据表格中，并且可以实时看到远端抄表节点的电压数据。管理软件如图 8 所示。



图 8 远程抄表系统管理软件

Fig.8 Remote meter reading system management software

4 结束语

采用基于 802.15.4 和 DL/T645 规约的无线抄表系统经实际使用能对电量数据进行准确地采集和传输，即可靠又便利，节省了成本。随着 Zigbee 技术的日趋完善，无线抄表系统将会更加成熟。

参考文献

- [1] 蒋挺, 赵成林. 紫蜂技术及其应用[M]. 北京: 北京邮电出版社, 2006.
- [2] 李海应, 曾连荪. 基于 Zigbee 的无线抄表技术[D]. 上海: 上海海事大学, 2008.
- [3] DL/T645, 多功能电能表通讯规约[S].
- [4] 李晓维. 无线传感器网络技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2007.

收稿日期: 2009-02-04; 修回日期: 2009-03-03

作者简介:

何 宾 (1975-), 男, 讲师, 博士, 主要研究方向为嵌入式系统, 无线传感器网络; E-mail: hebin@mail.buct.edu.cn

吕育斌 (1983-), 男, 研究生, 主要研究方向为无线传感器网络;

冯 涛 (1979-), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向为无线传感器网络。