

基于 ZigBee 的光伏路灯网络运营系统*

张 弛, 张成俊, 吴晓光

(武汉纺织大学 机械与自动化学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 为了实现在光伏路灯运营系统中对各终端设备的遥测、遥信与遥控技术要求, 将基于 ZigBee 技术的新能源(光伏)路灯网络运营系统应用到实际新能源道路照明案例中。该方案通过使用 Jennic 公司的 JN513x 系列 ZigBee 无线通讯微控制器搭建了硬件平台, 利用 Modbus 协议管理各个光伏路灯设备。各无线模块与汇聚终端间通过 ZigBee 无线网络完成了数据交换。汇聚终端再通过 GPRS 网络完成了与监控中心的数据交换。最终实现了由监控中心对所有设备的遥测、遥信和遥控系统管理要求。研究结果表明, 该方案的硬、软件系统已应用于湖南省新能源道路照明项目, 控制效果良好。

关键词: ZigBee 技术; Modbus 协议; 通用分组无线业务; 新能源; 运营管理系统

中图分类号: TM923; TP393 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2012)05-0600-05

New energy operation management system based on ZigBee

ZHANG Chi, ZHANG Cheng-jun, WU Xiao-guang

(School of Mechanical & Automation Engineering, Wuhan Textile University, Wuhan 430074, China)

Abstract: In order to realize remote measure, remote communication and remote control function in new energy operation management system, a kind of new energy management system based on ZigBee technology was introduced. The JN513x series ZigBee wireless communication micro controller of Jennic company was used to build hardware platform, and the Modbus protocol was used to manage all new energy equipment. The data exchange between each wireless module and the gathering terminal was completed by ZigBee wireless network. The data exchange between each gathering terminal and monitoring center was completed by general packet radio service(GPRS) network. Finally, the remote measure, remote communication and remote control function of the monitoring center for all equipment were realized. Results show that this design has been applied to Hunan new energy road lighting project with stability and excellent performance.

Key words: ZigBee technology; Modbus protocol; general packet radio service(GPRS); new energy; operation management system

0 引 言

光伏路灯设备主要包括风光互补路灯、光伏路灯、太阳能路灯等。光伏路灯由风力发电机、太阳能电池组件、灯杆、控制器、蓄电池、光源等组成^[1]。风光互补控制器是光伏路灯的核心设备, 负责太阳能和风能的发电管理和用电管理。每个光伏路灯设备控制器都能独立工作, 同时管理系统又能完成对每一个控制器进行状态监控、远程数据采集、远中程控制等操作。采用风光互补路灯为城市道路提供照明的主要亮点是完全不需要市电供电, 是响应“十二·五”规划中关于“推动能源生产和利用方式变革, 构建安全、稳定、经济、清洁

的现代能源产业体系”要求的具体行动, 是未来城市建设的发展方向。

ZigBee 技术^[2]是由 ZigBee 联盟推出的一种基于 IEEE802.15.4 标准的近距离、低复杂度、低功耗、低数据传输率、低成本的新型无线通信技术, 可以说它就是针对无线传感器网络的要求而推出的。其规定的射频信号工作在无需注册的 ISM 频段上。当信号工作在 2.4 GHz 频率时, 其数据传输率可达到 250 KB/s。ZigBee 作为当今最热门的无线传感器网络 WSN(Wireless Sensor Network)技术之一, 以其低功耗、低单位成本、组网自适应、网络容量大等特点, 已经被广泛应用于自动控制和监控领域, 是适应无线遥测、遥信与遥

收稿日期: 2011-09-29

基金项目: 湖北省纺织装备重点实验室开放课题资助项目(DL2011008)

作者简介: 张 弛(1979-), 男, 湖北武汉人, 讲师, 主要从事机电一体化、网络与通讯技术、数字化制造方面的研究. E-mail: betazhang13@sina.com

控系统要求的最佳解决方案^[3-9]。

Modbus 协议是应用于电子控制器上的一种通用语言。通过该协议,控制器相互之间、控制器经由网络(例如以太网)和其他设备之间可以通信。有了这一工业通讯协议标准,不同厂商生产的控制设备可以连成工业网络,进行集中监控。该协议定义了一个控制器能认识使用的消息结构,而不管它们是经过何种网络进行通信的。它描述了一个控制器请求访问其他设备的过程,包括如何回应来自其他设备的请求,以及怎样侦测错误并记录。它制定了消息域格局和内容的公共格式。

当光伏路灯设备的数量较多时,采用固定的网络拓扑结构进行物理连接就变成一个庞大的工程,增加了工程的建设成本,因此利用无线网络实现远程控制便成为系统硬件设计中的首选方案。本研究的 ZigBee 无线模块通过 RS485 总线,在现有标准 Modbus 协议的基础上设计与实现具体的数据交换格式,为后续的维护、升级各种终端设备建立良好的数据协议平台。

1 光伏路灯管理系统的结构

整个光伏路灯管理系统由光伏路灯设备及其控制/传感器(以下简称为终端)、网设运营系统之无线模块(以下简称为无线模块)、网设运营系统之汇聚终端及备份汇聚终端(以上简称为汇聚终端)、客户监控中心(即二级监控中心)、区域级监控中心和监控中心几部分组成。其系统结构框图如图 1 所示。

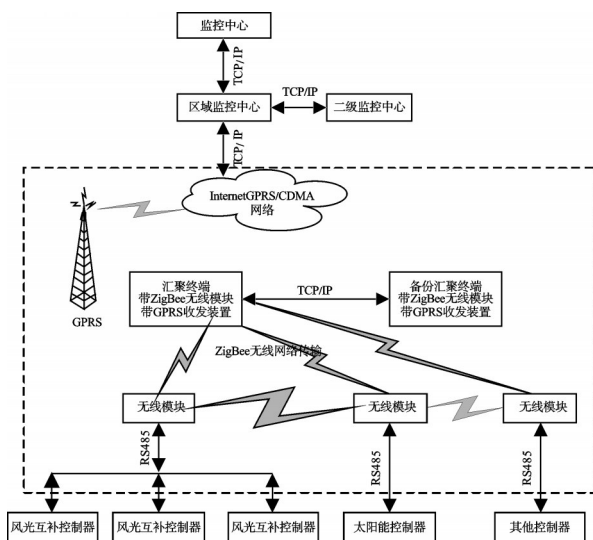


图1 光伏路灯管理系统结构图

图1中虚线框中的内容即为光伏路灯管理系统中的网络运营系统,从图1中可以看出无线模块通过RS485与光伏路灯的控制器(终端)相连,无线模块通过ZigBee网络与汇聚终端相连,汇聚终端通过GPRS等接入互联网,通过Internet与各级监控中心相连。网络运营子系统是联接光伏路灯与监控中心的桥梁。其

中各部分的作用如下:

终端的作用是收集光伏路灯设备的运行工况与报警信息,并根据中心下达的控制命令对系统进行控制操作。

无线模块在终端及汇聚终端之间传送信息,每个无线模块通过RS485总线可连接多达16个终端,无线模块是该网络运营系统中数据传送最重要的组成部分。

汇聚终端通过GPRS/CDMA等无线方式连接到互联网,在区域/监控中心与无线模块/终端之间传送信息,通过无线模块可连接多达128个终端,在上位机通信异常时,备份汇聚终端能接管汇聚终端的工作,并在上位机恢复正常工作时退出接管。

各监控中心对与之相连的各汇聚终端及其相连的设备进行监控、管理、分析及生成报表。

整个系统要完成的功能要求主要包括以下3个方面:

(1) 遥测:远程对各终端进行遥测,如测量蓄电池电压、电流,风机转速、充电电流,太阳能板电压、电流等,以了解终端的工况。

(2) 遥信:终端报警信息及时上传,终端状态改变时的工况信息集中上传。

(3) 遥控:远程对终端进行遥控,如开关灯,设置亮灯时段及照度。

光伏路灯网络运营系统开发的主要工作就是图1中无线模块与汇聚终端的硬件设计与制作,以及终端与无线模块,无线模块与汇聚终端,汇聚终端与监控中心的3层通讯协议的设计与软件实现。

2 网络拓扑结构设计

在整个运营系统结构中,无线模块接收到上位机无线传输来的访问请求,通过RS485分发送给终端。并通过RS485收集终端的应答,通过ZigBee网络无线发回给汇聚终端。无线模块通过RS485轮巡终端是否有警告、状态改变及无网络信号位信息,如有则通过无线传输上报给汇聚终端。无线模块对通过RS485总线与之连接的终端,进行动态地址分配或回收。

汇聚终端的主要功能是解析监控中心发来的报文,按其要求通过无线模块发送请求,对终端进行读写操作,并立即将结果回复监控中心。在收到无线模块传来的警告信息后,本研究根据报警内容收集终端参数(终端工况),复位警示位。本研究建立终端64位ID码及其8位动态地址码,及与之相连的无线模块的16位短地址对照表,以便当与汇聚终端相连的无线模块动态增删时或终端地址对照表更新时,立即更新地址对照表。

从图1可以看出,该方案采用合理的网状(Mesh)

拓扑结构,在网状拓扑结构中包含一个网络协调节点(Co-ordinator)和一系列的路由节点(Router)和终端设备(End Device)。网状网络拓扑具有更加灵活的信息路由规则,在可能的情况下,路由节点之间可以直接通讯。这种路由机制使得信息的通讯变得更有效率,而且意味着一旦一个路由路径出现了问题,信息可以自动地沿着其他的路由路径进行传输。网状拓扑结构示意图如图2所示。

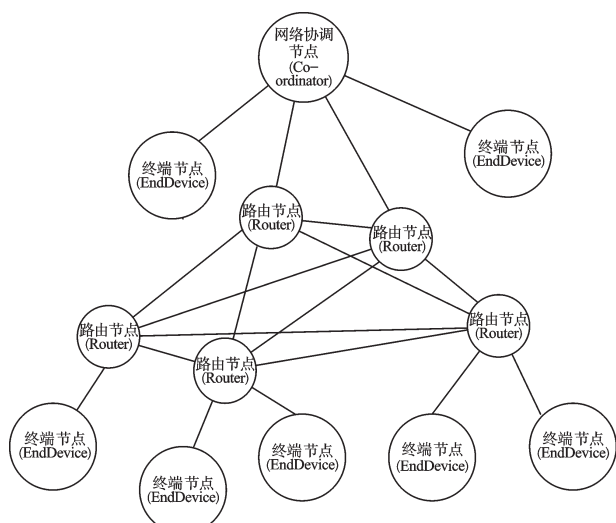


图2 网络拓扑结构示意图

由于终端设备与无线模块的连接是由RS485总线完成的,并非ZigBee无线连接,实际的ZigBee网络拓扑结构中并无终端节点,无线模块即为路由节点,汇聚终端即为网络协调节点。通常在支持网状网络的实现上,网络层会提供相应的路由探索功能,这一特性使得网络层可以找到信息传输的最优化的路径。需要注意的是,以上所提到的特性都是由网络层来实现,应用层不需要进行任何的参与。

3 数据格式的设计

在网络运营系统中有终端与无线模块、无线模块与汇聚终端、汇聚终端与监控中心3层数据通讯,每一层链路方式均不相同,因此本研究为每一层数据通讯设计了相应的数据交换格式(注:无线模块间的数据交换格式因涉密,在文中不便给出)。

3.1 无线模块与终端的通讯

无线模块通过Modbus-RTU协议来访问终端。Modbus协议定义了一个与基础通信层无关的简单协议数据单元(PDU)。特定总线或网络上的Modbus协议映射能够在应用数据单元(ADU)上引入一些附加域。其通用数帧结构图如图3所示。

无线模块将从汇聚终端接收到的指令解析成Modbus协议(如去掉附加域—用于无线网络传输的地

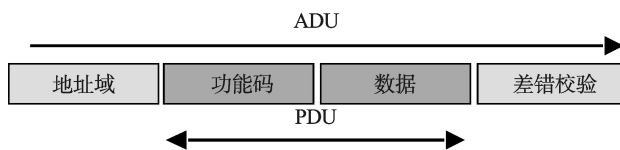


图3 通用Modbus帧结构图

址域等,添加上CRC码),再分发给终端。对于从终端收到的需上传数据在删除CRC码、添加上附加域后再上传。例如使无线模块为每个与之相连的终端进行动态分配地址的具体数据格式如表1所示。

表1 动态分配8位地址命令说明表

功能描述	Modbus 请求指令(十六进制)					
	地址码	功能码	起始地址	字节数	写入值	CRC
无线模块根据终端64位唯一标识码,动态分配8位地址码	FEH	41H	0001H	0AH	64 bit 唯一识别码	XXXXH 别码

由表1可知,本研究用一个字节编码Modbus数据单元的功能码域。有效的码字范围是十进制1~255(128~255为异常响应保留)。当从终端向无线模块发送报文时,功能码域通知服务器执行哪种操作。本研究通过向一些功能码加入子功能码来定义多项操作。从终端向无线模块发送的报文数据域包括附加信息,服务器使用这个信息执行功能码定义的操作。这个域还包括离散项目和寄存器地址、处理的项目数量以及域中的实际数据字节数。在某种请求中,数据域可以是不存在的(0长度),在此情况下服务器不需要任何附加信息,功能码仅说明操作。如果在一个正确接收的Modbus的数据单元中,不出现与请求Modbus功能有关的差错,那么服务器至终端的响应数据域包括请求数据。如果出现与请求Modbus功能有关的差错,那么域包括一个异常码,服务器应用能够使用这个域确定下一个执行的操作。

3.2 汇聚终端与监控中心的通讯

汇聚终端通过GPRS网络,利用TCP/IP协议完成与监控中心通讯。具体数据交换格式如表2所示。

表2 监控中心与汇聚终端的数据交换格式

包头	长度	设备ID	数据流水号	指令类型	数据内容	CRC检验和
1字节(如\$)	2字节	8字节	2字节	1字节	n字节	2字节

注:长度是指从包头到校验的所有数据长度;CRC算法与Modbus协议校验方法保持一致。

汇聚终端与监控中心通过短连接方式通信,首先由汇聚终端自动连接中心服务器。汇聚终端没接入网络时,监控中心可通过振铃等方式通知汇聚终端接入

网络。数据包与数据包之间的间隔为:0.2 s(TBC)数据包发送后,等待10 s(TBC)没有收到回执,则认为丢失;发送方重传此数据包。若连续3次重传都没有回复,则认为发送失败,报错CRC低字节在前发送,高字节在后发送。

4 无线模块硬件设计

4.1 无线模块的硬件设计

JN51XX芯片是英国Jennic公司推出的高性能、低功耗的一系列无线片上系统(System on Chip, SoC)芯片,该系列芯片完全兼容,封装与管脚也完全一样,用户能够很容易地在该系列的产品中进行平台移植。JN5139与JN5121相比较,天线的灵敏度更高,功耗更低,通讯距离更远。

JN513X系列处理器以32位精简指令处理器为核心,有内部数据与程序存储器,扩展同步串口、通用串口、定时器、12位AD、11位DA,以及ZigBee协议栈处理器,2.4 G天线发射模块,取代了以往用CC243x系列无线收发器加ARM处理器的ZigBee结点的硬件结构,因此本研究用JN513X系列芯片完成ZigBee无线模块系统,其稳定性更高,外围硬件电路更简单,性价比更高。无线模块硬件结构如图4所示。

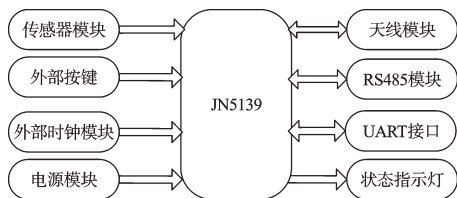


图4 无线模块的硬件结构图

无线模块的主要工作是转换数据,其在ZigBee网络中的节点特性为路由节点,由图4可知,无线模块就是在JN513X最小系统的基础上外扩RS485总线,工作时处于全自动方式,不需人工干预。该模块的简单的输入功能键与状态显示指示灯用于调试与维护。

4.2 汇聚终端的硬件设计

汇聚终端要完成GPRS与ZigBee网络间的转换数据,其在ZigBee网络中的节点特性为网络协调节点。其硬件可以是以JN5139为核心的单板系统,也可通过USB或串口外扩GPRS收发器和ZigBee收发器的PC机系统。前者成本更低,适合交互要求少的应用场合;后者在网间传输方式上的选择更加灵活,交互性更好,适用于调试与维护方式接入网络运营子系统。基于JN5139的汇聚终端系统结构图如图5所示。

由图5可知,汇聚终端扩展了GPRS模块和LCD显示模块。由于JN5139有丰富的总线接口,可以将串口、SPI方式、I²C总线等多种方式用于GPRS模块相

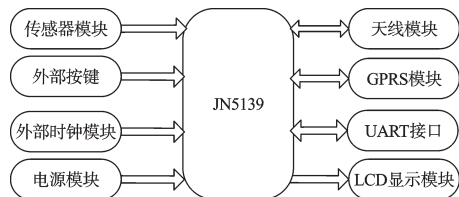


图5 基于JN5139的汇聚终端硬件结构图

连。本研究使用市场中已有的GPRS模块或设备,可以大大缩短开发周期。

5 通讯流程示例

监控中心与汇聚终端间要通过GPRS网络实现TCP/IP连接,该部分是由电讯运营商提供的有偿服务,因此本研究只在需要时动态建立连接,并完成遥信、遥测与遥控的操作,操作一旦完成就断开连接,减少不必要的流量,减少运营费用。本研究以遥控某一路路上的某一路灯开灯为例说明网络运营系统的通讯流程。

从监控中心到终端响应流程如图6所示,相应步骤具体说明如下:

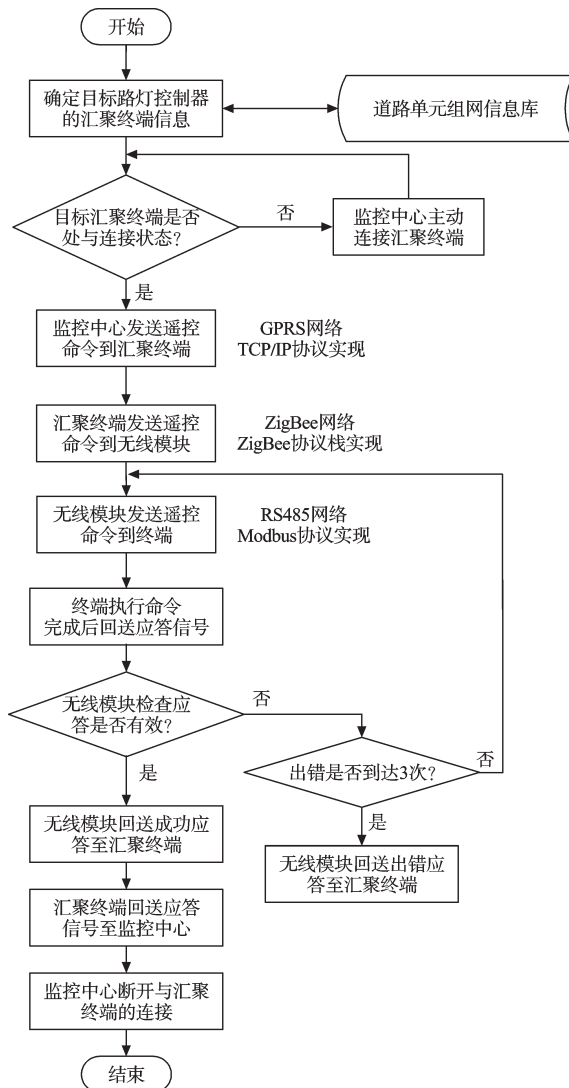


图6 网络运营系统的通讯流程图

(1) 监控中心根据此道路单元组网信息,找到与该路灯控制器相连的汇聚终端信息。监控中心通过振铃方式通知上位机接入 Internet,并在监控中心登录,与之建立连接。如汇聚终端需上传数据时则上位机主动接入 Internet,并在监控中心登录。

(2) 监控中心发送遥控命令到汇聚终端,数据包参考,其中数据内容字段包括:Modbus 功能码,寄存器/位地址和输出值。

(3) 汇聚终端根据终端 ID 码,找到无线模块的 16 位短地址及终端的 8 位动态地址并将遥控命令转发到无线模块,其数据包括:终端的 8 位动态地址,Modbus 功能码,输入地址和输出值。

(4) 无线模块计算 CRC 校验,并将遥控命令放到 RS485 总线,其数据包括:终端的 8 位动态地址,Modbus 功能码,输入地址,输出值和 CRC 校验数据。

(5) 终端收到遥控命令,应答,执行遥控命令的功能(如应答出错,重发;如出错超过 3 次,回送出错信号给汇聚终端)。

(6) 无线模块应答汇聚终端,汇聚终端应答监控中心。

(7) 汇聚终端发送断开指令给监控中心,通知关闭与上位机的 Internet 连接。

6 结束语

本研究构建了一个基于 ZigBee 协议的光伏路灯管理系统的运营子系统,该运营系统能够实现由监控中心和汇聚终端的 GPRS 数据通讯,汇聚终端与无线模块间的 ZigBee 数据通讯地,以及无线模块和光伏路灯

控制器间的基于 Modbus 协议的管理与通讯,很好地实现了由监控中心对光伏路灯设备的遥信、遥测与遥控的设计要求。整个系统已经应用于湖南省新能源道路照明项目,经过实际安装调试,通过利用两台汇聚终端与 32 个无线模块,完成对 2 000 多个风光互补路灯设备的控制,经 3 个月测试后结果显示,其稳定性、可靠性、抗异常能力均达到设计要求。

参考文献(References):

- [1] 孙 刚,徐 元,王佐勋. 基于 ZigBee 的建筑物照明控制网络设计[J]. 信息化纵横,2009(11):46-49.
- [2] 赵 海. 嵌入式 Internet[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
- [3] 吴光荣,章剑雄. 基于 ZigBee 技术的无线智能照明系统[J]. 现代电子技术,2008(14):67-69.
- [4] 宁炳武,刘军民. 基于 CC2430 的 ZigBee 网络节点设计[J]. 电子应用技术,2008(3):95-99.
- [5] 许铭霖,林 伟,蔡钧涛. 基于 ZigBee 的楼宇照明控制系统的设计[J]. 计算机技术与发展,2006(10):341-343.
- [6] GRIESKAMP W, GUREVICH Y, SCHULTE W. Generating finite state machines from abstract statemachines[J]. **Software Engineering Notes**, 2002, 27(4):112-122.
- [7] HABIBI A, MOINUDEEN H, TAHAR S. Generating finites-tate machines from system [C]//International Workshop on Abstract State Machines. Parisic: [s.n.], 2005: 1345-1349.
- [8] 孙利民,李建中,陈渝,等. 无线传感器网络[M]. 2 版. 北京:清华大学出版社,2005.
- [9] Jennic Corporation. JN513x Product Manual [M]. Jencic Corporation, 2009.

[编辑:李 辉]

(上接第 595 页)

- [5] 万德春,蔡 炜,宋 伟,等. 光技术盐密在线监测系统的研究[J]. 高电压技术,2005(8):33-35.
- [6] 周兴韬,王 玮,倪平浩,等. 高压绝缘子污秽泄漏电流采集装置的设计与实现[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(6):100-103.
- [7] MARICH M, HADI H, AMIRI R. New approach for the Modeling of the polluted insulators[C]// Electricl Insulation and Dielectric Phenomena, 2006 IEEE Conference on. kan-sas: [s.n.], 2006:65-69.
- [8] 乐 波,王黎明,毛颖科. 污秽绝缘子高频泄漏电流特征的研究[J]. 高压电,2005(6):41-46.
- [9] SALAM A, AHMAD H, AHMAD A. Flashover phenomena of polluted insulators energized by AC voltage[C]// Electric Insulation and Dielectric Phenomena, 1999 Annual Report Conference on. Austin: [s.n.], 1999:85-89.
- [10] 张建兴,律方成,刘云鹏. 高压绝缘子泄漏电流与温湿度的灰关联分析[J]. 高电压技术,2006(1):52-54.

[编辑:李 辉]