

基于ZigBee和以太网的电力在线监测传输系统设计

基于ZigBee和以太网技术研究了一套数据采集和传输系统,对数据采集模块、数据传输模块进行了硬件和软件设计,并完成了ZigBee网络和以太网网络之间的协议转换,实现了数据的双向传输,并用简单的试验证明了该系统的可靠性。该系统有安装简单、低复杂度、安全性高和低成本等优点。解决风电场尤其是海上风力发电场的布线困难、不方便维修和成本高等困难,同时也为数据采集点多、布线复杂的在线监测系统提供了新的思路。

杨 恒 陈翔秋 赵晓坤/国网成都供电公司



杨 恒/工程师

近年来,全球能源紧张,环境问题日益突出,风能越来越受到世界各国的重视,目前我国已是世界上风电装机容量最多的国家。风电场绝大多数都在偏僻的沙漠、戈壁、草原、山区和离陆地几十公里的近海,这样就给风电机组的运行管理和维护带来了极大不便^[1-2]。目前的在线监测系统在一些特殊的现场环境下根本无法满足现场布置的要求^[3-5]。本文提出的基于ZigBee和以太网相结合的在线监测通信系统能够很好地解决现有的问题。

系统总体结构设计

关键词/Keywords

ZigBee ·
在线监测 ·
以太网 ·
数据采集 ·
数据传输 ·

风电场在线监测无线通信系统的关键技术在于ZigBee与以太网网关设计、数据帧格式的转换和ZigBee技术的无线组网。风电机组通过本身所安装的传感器把所采集的信息通过ZigBee的自组织网传输到ZigBee以太网交换机,经过ZigBee以太网交换机把数据转换后传输到以太网,完成一次数据传输,风电场在线监测结构图如图1所示。

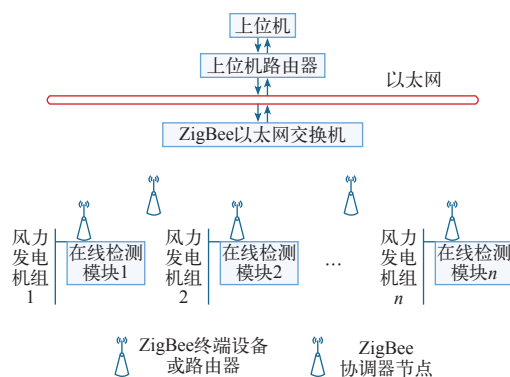


图1 风电场在线监测结构图

1. ZigBee传感网络技术

ZigBee技术是随着工业自动化对于无线通信和数据传输的需求而产生的无线通信技术,这种技术有短距离、低速率、低功耗、低成本和低复杂度等优势,它工作于无须注册的2.4 GHz ISM频段并具有电池寿命长、应用简单、可靠性高及组网能力强等特点。ZigBee有一套由IEEE 802.15.4和ZigBee联盟共同制定的完整的协议层结构。

ZigBee技术的最上层是可由用户自己定义的应用层(APL),中间采用由ZigBee联盟制定的协议,包括应用支持子层(APS)、网络层(NWK)。底层采用IEEE 802.15.4标准的物理层(PHY)和媒体访问控制层(MAC)^[6]。ZigBee协议堆栈结构体如图2所示。

ZigBee网络是一个最多可由65 000个网络节点组成的无线数据传输网络。每一个ZigBee网络节点类似移动网络的一个基站,它们之间可以进行相互通信;每个网络节点间的距离可以从标准的75 m扩展到几百米,甚至几公里^[7]。



图2 ZigBee协议栈结构

ZigBee无线通信网络中有两种功能设备、3种类型节点以及3种网络拓扑结构^[8]。ZigBee无线传感网络有3种设备类型功能节点为协调器（Coordinator）、路由器（Router）和终端设备（End Device）。ZigBee网络拓扑结构包括星形拓扑（STAR）、树状拓扑（Cluster）和网状拓扑（MESH），如图3所示。

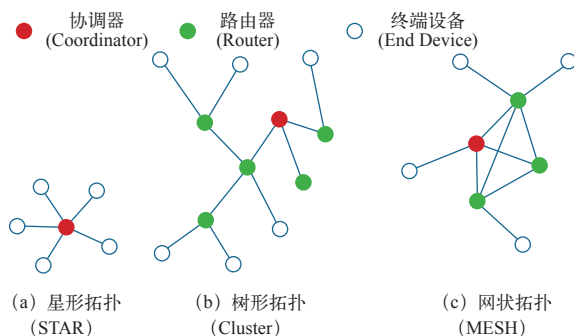


图3 ZigBee网络拓扑结构图

ZigBee网络具有很强的自组织功能。在彼此信号覆盖范围内，通过彼此自动寻找，很快就能组建一个相互通信的ZigBee网络。如果网络中有节点位置变化或消失，它可以重新寻找网络通信对象，重新组建一个ZigBee网络。如果把它用在风电场在线监测系统中，如果风力发电机组停机检修或者有新的发电机组并入时，ZigBee通信网络仍然正常运行。

2. 以太网技术

随着近年来通信技术的迅速发展，高速以太网的速率已经超过100 Mbit/s，对于监控信息量比较大的风电场在线监测系统，高速以太网保证了信息传输速度和效率。

IEEE定义了以太网的技术标准，标准中规定

了以太网物理层硬件设备之间的电信号选择和媒体介质访问层协议标准。以太网技术传输协议采取通用的TCP/IP通信协议。TCP/IP通常采用4层模型，即应用层、传输层、网络层和数据链路层^[10]，如图4所示。应用层的主要功能是应用程序间的沟通；传输层主要是提供应用程序间的通信；网络层主要定义IP地址格式，并提供基本的数据封包传送功能，让每一块数据包都能够到达目的主机（但不检查是否被正确接收）；数据链路层负责通过网络发送数据和接收IP报文。

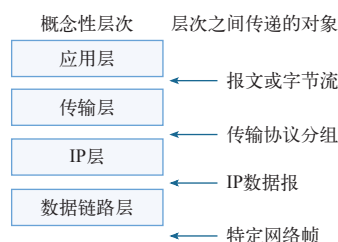


图4 TCP/IP的分层结构图

信号采集系统

数据采集系统主要由传感器节点、路由节点和协调器节点组成。传感器节点将采集到的风力发电机组监控参数通过路由节点或直接传送给协调器节点，协调器与传感器节点之间、传感器节点与路由节点之间、协调器与路由节点之间以及传感器节点与传感器节点之间都采用ZigBee无线网络方式进行通信。在此系统中传感器节点和路由节点可以互换，它们的硬件结构也相同，只是在传输过程中所起的作用不同而已。

1. 传感器节点和协调器节点硬件设计

(1) 传感器节点硬件设计

传感器节点主要由传感器模块、ZigBee无线收发及数据处理模块、CC2591射频前端、电池管理模块和LCD模块等组成。CC2430无线模块是数据收发和处理的核心，加上前面的模块电路就成为了单个传感终端节点^[9]。传感器硬件结构如图5所示。

传感器模块主要任务是采集监视区域的信息并完成数据转换。风力发电机组监控系统需要监控的参数包括以下几种。

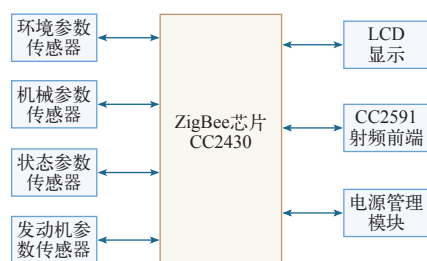


图5 传感器硬件结构

- 1) 环境参数：温度、风速、湿度和风向等。
- 2) 机械参数：发电机转速、偏航速度和形变参数等。
- 3) 状态参数：报警状态、工作状态和偏航状态等。
- 4) 发电参数：各相电压、电流、功率、总有功功率、总无功功率、功率因数、发电量和频率等。

CC2430的通信范围为100 m左右，而相邻机组之间的距离一般大于1 000 m，所以不能满足实际的需要，为了保证数据能够安全的传输，就必须使节点的收发信号放大，因而加入了TI公司的具有高性价比和高性能的2.4 GHz RF前端CC2591，适合低功耗低电压2.4 GHz无线应用。CC2591前端可将输出功率提高22 dBm可将接收机灵敏度提高6 dBm，从而能够显著增加无线系统的覆盖范围，它可以将CC2430的通信范围扩大到原来的15倍，以满足风电机组之间的通信。

(2) 协调器节点硬件设计

ZigBee网络协调器节点应具备与电力在线监测系统中的新节点建立动态链接的能力，此外，ZigBee协调器要能确定这些新节点在网络中的职责。为了使ZigBee协调器能有效地履行这些任务，它需要较大的本地程序存储器，并具备访问这些存储器的能力。

Freescall半导体公司的MCF5208微处理器能满足ZigBee协调器需要，并且它能适应最复杂的ZigBee系统。基于MCF5208的协调器硬件结构如图6所示。

MCF5208内置的ColdFireV2核具有166 MHz/159 MIPS的性能，这使它超越用于控制底层FFD或RFD节点的8位、16位或32位MCU的性能。

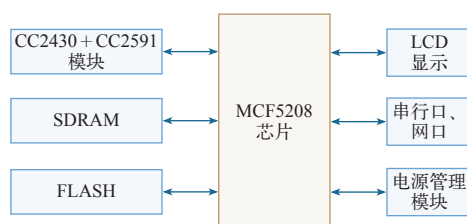


图6 协调器硬件结构

MCF5208还整合了关键构建模块，使设计师更容易实现他们的ZigBee解决方案。

2. 传感器节点和协调器节点软件设计

传感器节点主要是采集传感器数据和接受来自协调器的控制数据。当没有数据收发时进入休眠状态，节点功耗降到最低，传感器节点的软件设计流程图如图7所示。系统初始化后进行硬件和协议初始化，加载成功后进行协议任务，判断任务后测量传感器数据并发到协调器，进入休眠状态后再执行下一个任务，若超过规定次数，网络建立失败。

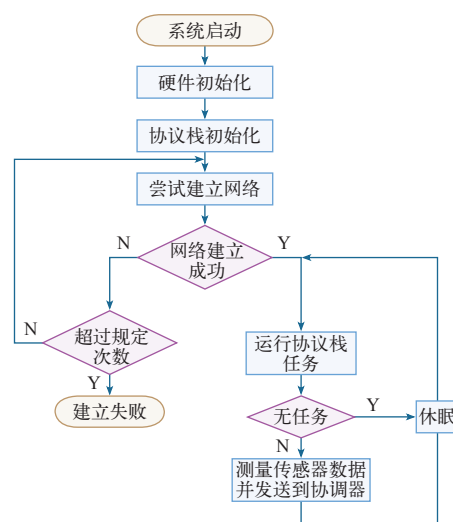


图7 传感器节点软件流程图

协调器的软件流程图如图8所示。系统刚开始初始化，硬件协议初始化后开始建立网络，判断节点是否接入网络，接入网络成功后运行协议任务，接收和发送节点数据。

数据传输系统

数据传输网络系统包含ZigBee网络和以太网两部分。ZigBee网络通过网络节点将采集来的数

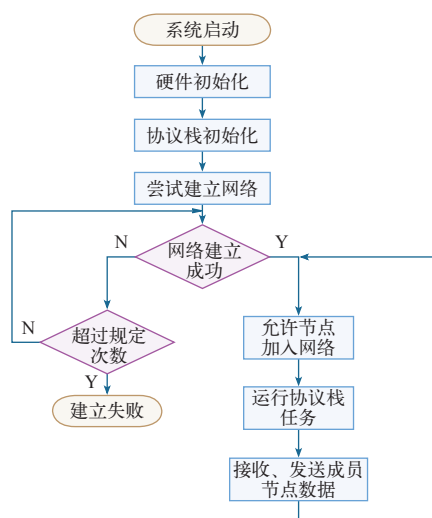


图8 协调器节点软件流程图

据以多跳变的方式传送到ZigBee汇接点，汇接点再将数据发送至网关，网关进行ZigBee数据包解析，从数据包中提取有效信息数据，进行协议转换和数据重新装订打包成TCP/IP数据包，经过以太网传输将数据送到控制中心，完成数据传输。图9给出了数据传输网络体系结构^[10]。

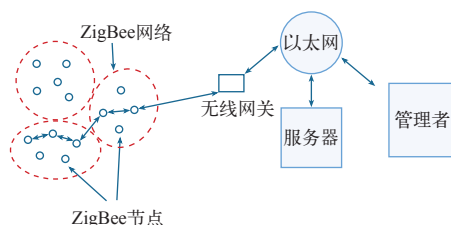


图9 数据传输网络体系结构

数据传输系统中，关键技术就是怎样从ZigBee数据包转化为TCP/IP数据包，这也是网关的任务，因此下面主要介绍ZigBee-TCP/IP的协议转换。

1. ZigBee协议与TCP/IP协议IP地址转换

ZigBee网络要与TCP/IP通信，两者都必须有唯一的IP地址和MCA地址。ZigBee网络只有全球唯一的64位的IEEE MAC地址或16位的ZigBee网络地址，而没有ZigBee网络节点IP地址。TCP/IP协议的ARP可以实现IP地址和数据链路层MAC硬件地址之间的转换，可以参考TCP/IP的ARP实现机制，建立一个ZigBee的MAC地址到IP地址的映射表，给每一个ZigBee的节点分配一个虚拟的IP

地址。这样在通信过程中就可以根据ZigBee节点MAC地址和ZigBee协议中的虚拟IP地址映射关系完成相应地址转换。地址映射表如表1所示。

表1 地址映射表

IP地址	64位MAC地址	16位ZigBee网络地址	节点标示符ID
	0x000000220001	0x1699	0x01
128.128.2.202	0x000000220002	0x169A	0x02
	...	...	...

2. ZigBee协议与TCP/IP协议数据格式转换

ZigBee协议与TCP/IP协议数据格式转换工作原理如图10所示。下面是由TCP/IP协议向ZigBee协议转换的过程：网络接口的一个发往ZigBee网关的IP数据包，经过CP/IP协议栈的网络层发给传输层UDP处理后，再发给网关ZigBee路由控制层处理；网关ZigBee路由控制层的应用程序经过ARP解析后，确定转发给ZigBee网络中的某节点网络地址或MAC地址，然后生成ZigBee数据包，经由IEEE802.15.4物理层将ZigBee数据包交至该ZigBee节点，如此就完成了从以太网端向 ZigBee端的协议转换^[11]。由ZigBee端向Ethernet端的协议转换与前述过程相反，按照图5可以类似地解决。

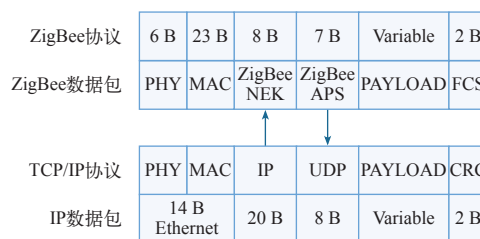


图10 ZigBee协议与TCP/IP协议转换图

3. 数据的交换及实现

选用Chipcon公司的CC2430作为ZigBee网络的芯片，选用RETLTE K公司的网卡芯片RTL8019作为以太网的芯片，所制作的ZigBee数据传输模块如图11所示，所设计软件的数据包传输流程图如图12所示。

由于以太网技术已经很成熟且性能良好，所以在此只对ZigBee模块到网关之间的通信性能进行测试。完成建立简单的星形网络，对数据从节点传输到网关后的准确性等测试，并进一步测试数据经长时间传输的稳定性，其结果如图13、图

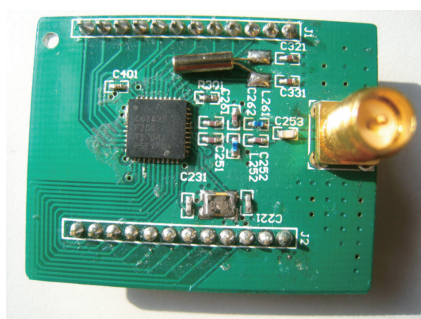


图11 ZigBee数据传输模块

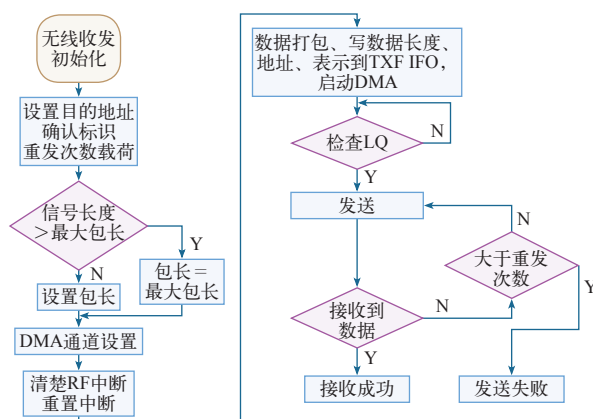


图12 数据包传送流程图

14所示。测试结果表明,此系统传输结果比较准确,在一天的测试中没有出现错误。

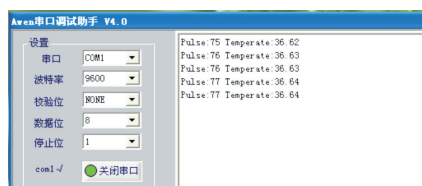


图13 网关收到的节点传来的数据



图14 从网关端口传出的数据

结束语

基于ZigBee技术和以太网技术建立了一套风力发电场在线监测数据采集和传输系统。此系统继承了ZigBee网络和以太网网络的共同优点,如

低速率、低功耗、低成本、具有自组织能力、低复杂度、共享资源能力强、软硬件资源丰富以及安全性高等。经验证,系统的稳定性较好。该系统也适用于像风电场这种数据采集点多、布线复杂的在线监控系统。

参考文献

- [1] 辛卫东, 马志勇, 滕伟, 等. 振动监测技术在风电机组齿轮箱故障诊断中的应用 [J]. 中国电力, 2012, 45 (5): 77-80.
- [2] 高熾. 风机发电机组状态监测与故障诊断系统的软件开发 [D]. 北京: 华北电力大学, 2012.
- [3] 董昱廷, 王海云, 唐新安. 风电机组状态监测系统现状 [J]. 电机与控制运用, 2013, 40 (4): 17-21.
- [4] 周选民, 刘军, 贺训育, 等. 主要动设备监测分析系统的应用 [J]. 状态监测与分析, 2012, 33 (3): 62-67.
- [5] 孙利民, 魏然. 风力发电机组的无线远程监控系统 [J]. 力学与工程应用, 2012 (8): 108-111.
- [6] 曹付成, 张广明. 基于ZigBee的风电场测风系统的设计 [J]. 可再生能源, 2011, 29 (5): 141-144.
- [7] 梁子伊, 马正华, 瞿新南. 基于ZigBee和GPRS的风电场远程监控系统研究 [J]. 计算机与数字工程, 2010, 38 (11): 90-96.
- [8] Wang Lei, Ming Xinguo, You Jing. The steps and methodology of identifying master data from business processes [C]. World Congress on Software Engineering, 2009, 97: 329-333.
- [9] 王建平, 周辰飞, 朱程辉, 等. 一种ZigBee-TCP/IP无缝网关模型 [J]. 合肥大学学报, 2013, 36 (9): 1058-1062.
- [10] 杨顺, 张毅, 陶康. 基于ZigBee和以太网的无线网关设计 [J]. 计算机系统应用, 2010, 19 (1): 194-197.
- [11] 朱剑锋, 熊志斌, 尹成国. ZigBee无线传感网络与IP网络的网关设计 [J]. 软件, 2011, 32 (9): 53-55.

(收稿日期: 2015-02-10) EA