

文章编号: 1003-1251(2016)05-0011-06

采用 ZigBee 和超声测风的风电场数据采集与监控系统设计

于 洋,汪 志,伊 跃

(沈阳理工大学 自动化与电气工程学院,沈阳 110159)

摘 要: 为实现快速准确地采集并监控风电场信息,设计一种基于 ZigBee 无线传感器网络和超声测风技术的风电场数据采集与监控系统。该系统集成了风电场数据采集装置、ZigBee 网络和监控软件三部分。在风电场中,使用基于超声测风的数据采集装置完成各种气象信息的采集;利用 ZigBee 无线传感器网络将气象信息上传到监控软件;监控软件可实现风电场气象数据采集、分析、存储等功能,并对风力发电机组运行实时监控,为风电场的网络化测控提出了一种新型的解决方案。

关 键 词: 风电场; ZigBee; 超声测风; 监控系统

中图分类号: TP368.1 **文献标志码:** A

The Supervisory Control and Data Acquisition for Wind Farm Based on ZigBee and Ultrasonic Anemometer

YU Yang, WANG Zhi, YI Yue

(Shenyang Ligong University, Shenyang 110159, China)

Abstract: A ZigBee and ultrasonic anemometer based on supervisory and data measurement system is presented, which can be applied in high-precision and high-speed meteorological wind farm data measurement. This system is composed of three parts, wind farm data measuring device, ZigBee network and monitoring software. In wind farm, the data measuring device based on ultrasonic anemometer will detect the information of wind farm. Secondly, this information will be uploaded to software by ZigBee network. Monitoring software will gather all information and storage them, what's more, this software can also monitor the fan motor, which provides an advanced solution for networked measurement and wind farm control.

Key words: wind farm; ZigBee; ultrasonic anemometer; supervisory control system

风电场实时数据采集与监控系统是一项复杂的系统工程,它是以气象环境、风电机组、风能资

源为测量对象,最终的目的是实现风能资源的有效利用、风能资源准确评估以及风电场的准确选

收稿日期: 2015-09-29

作者简介: 于洋(1963—),男,教授,研究方向:智能仪器与控制装置、网络化测控系统技术、故障诊断与系统监控技术等。

址。由于风力发电的本身条件限制,风电场多分布在地域辽阔、交通不便以及环境恶劣的边远地区,采集风速、风向、气温等相关数据存在种种不便,因此要保证风电场实时数据采集与监控系统的实时性、可靠性、全面性就要求采用先进的采集技术和通信手段^[1]。

目前我国的风电场实时数据采集与监控系统多采用机械式的测风仪器,通信多采用 can 总线、光纤以太网及 485/422 等有线通讯方式^[2]。上述系统往往采集精度较低,通信方式在风电场重新布置时存在布线费用浪费、线材施工困难、故障排查与维护速度慢等一系列缺点。因此,研究采用基于 ZigBee 和超声测风的无线风电场数据采集与监控系统,实现无线通信的高精度的风电场风速数据采集与监控具有重要的意义^[3]。

1 ZigBee 网络和超声测风技术

1.1 ZigBee 网络

ZigBee 技术是一种近年来新兴的免费频段的无线传感器网络技术。ZigBee 适用于通信数据速率较低,要求成本和功耗相对较低的场合,其适用于风电场监控系统的主要原因如下:

(1)低功耗。ZigBee 技术具有多种电源管理模式,可进行节点工作和休眠模式配置,2 节电池可支持节点工作 6~24 个月。风电场环境恶劣,多分布在海拔较高的山区环境,维修和替换十分不便,ZigBee 的低功耗特性可保证网络节点长时间工作。

(2)自组织性。ZigBee 各个节点具有自组织的能力,能够自动进行配置和管理。在网络发生变化时,可通过拓扑控制机制和网络协议自动组织网络。针对风电场而言,节点可在风机位置撤销或变更时自动进行网络重建,对整个监控系统不带来任何影响。

(3)以数据为中心且可靠的数据传输特性。ZigBee 的 mac 层采用 CSMA/CA 的碰撞避免机制,同时为固定带宽的通信业务预留专用时隙。ZigBee 各个网络节点不仅本身作为监控对象,对其连接的终端装置进行数据采集和监控,还可以自动中转别的网络节点传过来的数据资料。

ZigBee 网络由协调器、路由器和终端节点组

成,可构成星型、属性和网状拓扑结构。在风电场重新布点时,可通过网络拓扑结构的改变满足系统需求。

1.2 超声测风技术

在某固定距离中,超声波的传播时间受顺风 and 逆风的影响,通过该传播时间差,可有效测算当前的风速值。

设超声波在静止空气中的传播速度为 c ,自然风速为 v ,自然风速在平面直角坐标系的 2 个坐标投影为 v_x 和 v_y 。设 A 点为坐标原点 $(0,0)$,则 x 轴上距 A 点为 d 的 B 点坐标为 $(d,0)$ 。设从 A 点到 B 点为顺风风向。则超声波从 A 点发射到达 B 点的时间为

$$t_1 = \frac{d[(c^2 - v_y^2)^{1/2} - v_x]}{c^2 - v^2} \quad (1)$$

同理从 B 点到达 A 点的时间为

$$t_2 = \frac{d[(c^2 - v_y^2)^{1/2} + v_x]}{c^2 - v^2} \quad (2)$$

由 t_1 和 t_2 表达式可以得到

$$v_x = \frac{d}{2} \left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right) = \frac{d(t_2 - t_1)}{2t_1 t_2} = \frac{d\Delta t}{2t_1 t_2} \quad (3)$$

由式(3)可看出:只要测出顺风、逆风传播时间 t_1, t_2 和传输时间差 Δt 即可测出风速沿 x 轴向的分量 v_x 。同理,可得沿直角坐标系 y 轴的投影分量 v_y 。在直角坐标系下最终获得的自然风风速 v 和风向角 θ 为

$$v = (v_x^2 + v_y^2)^{1/2} \quad (4)$$

$$\theta = \tan^{-1}(v_y/v_x) \quad (5)$$

2 系统设计方案

系统设计方案如图 1 所示,该系统基于 ZigBee 的 WSN 技术,利用超声波式传感器进行风电场数据采集装置的设计,监控软件开发平台为 VS2005。该系统中,采集装置包含超声波式传感器、温湿度传感器、c8051f120 单片机、液晶显示屏、按键等多个子模块,实现高精度,高时效性的风电场风速风向、温湿度测量; $E1, E2$ 分别代表 ZigBee 网络的终端采集节点,通过 UART 通信方式进行风电场气象参数的实时读取,路由节点负责数据转发和入网子节点管理,协调器节点负责网络建立与维护,并收集网络范围内的风电机组

气象信息,通过串口通信方式将网络内的信息传输至监控软件;监控软件实时采集网络信息,基于中心数据库实现数据分析、汇总、显示、报表打印等工作^[3],同时还可与多种驱动电路合作完成网络范围内的风电机组运行状态实时显示与控制。

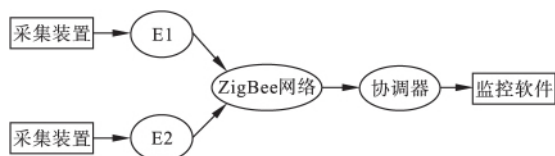


图 1 系统结构框图

2.1 数据采集装置设计

数据采集装置设计如图 2 所示,其中核心处理器选择高速单时钟周期的 c8051f120 单片机,使用 22.1184M 外部晶振,经 PLL(锁相环)倍频后最快指令处理速度可达 88.4736M,足以反映 0.1m/S 的风速变化。数据采集装置中,单片机产生的宽带窄脉冲簇经升压电路后激励超声波式传感器,由于超声波式传感器的接收信号不稳定并十分微弱,为避免接收信号的错误检测,系统设计两级放大电路和滤波电路进行信号提取。处理后的信号经过 AD 转换电路变换为数字信号存储等待处理。同时系统加载温湿度传感器 SHT71 进行温湿度信息采集。

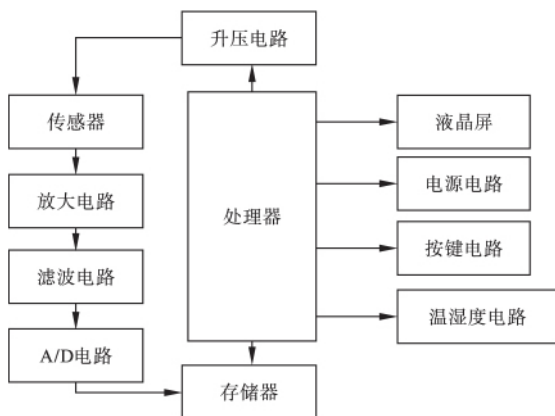


图 2 数据采集装置结构图

数据采集装置的软件设计包括初始化程序、风速风向测量子程序、显示子程序、按键处理子程序以及串口通信子程序。初始化结束后,主控芯片对 A 探头产生激励脉冲簇并记录当前时间,当接收到 B 探头超声波回波脉冲记录回波达到时间,然后再对 B 探头产生激励脉冲簇并以 A 探头

进行回波接收。主控芯片可根据此传播时间差计算 AB 方向风速分量,CD 方向风速分量可依此进行计算,最终可得到风速和风向值。数据采集装置实物图见图 3。



图 3 数据采集装置实物图

为避免外界环境对风速风向计量值的影响,软件设计温湿度补偿算法,利用 SHT71 温湿度传感器的检测值进行风速补偿。综合多次风速和温度、湿度关系,利用最小二乘法寻找最小化误差的平方和寻找数据的最佳函数匹配,取多组测量值和真实值,按照线性关系拟合补偿函数可得

$$\Delta V = 0.0179 \times T + 0.0160 \quad (6)$$

2.2 ZigBee 网络设计

ZigBee 网络可按照逻辑功能分类为终端节点、路由节点和协调器节点。本系统中,终端节点、路由节点以及协调器节点都以 CC2530 射频芯片作为主控芯片,CC2530 射频芯片具有 250KBPS 无线通信带宽,两节点之间进行可靠传输的直接通信距离为 1000m。针对风电场而言,风机之间距离多在 300~800m,可满足风机监控系统的通信距离。

2.2.1 ZigBee 节点硬件设计

系统中各 ZigBee 节点使用最小系统构成,即只包括 CC2530 射频芯片、仿真接口、电源电路、开关电路以及指示电路构成。其中仿真接口用于软件调试与下载;开关电路为复位电路;通过 UART 接口实现与数据采集装置的 UART 通信;两个指示灯分别进行入网状态指示和 UART 通信状态指示,ZigBee 各功能节点硬件电路设计如图 4 所示。

2.2.2 ZigBee 节点软件设计

ZigBee 各节点软件设计基于 TI 公司的 zstack2006,在 ZigBee 网络中半功能设备只能进

行发送和接受信号,无转发和路由功能,全功能可支持转发和路由功能,因此,本系统中定义终端节点为半功能设备,路由节点和协调器设计为全功能设备,以上设定都由 zstack2006 软件设定而成。

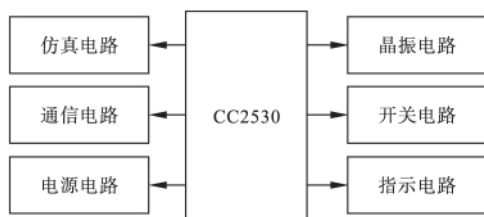


图4 协调器节点结构图

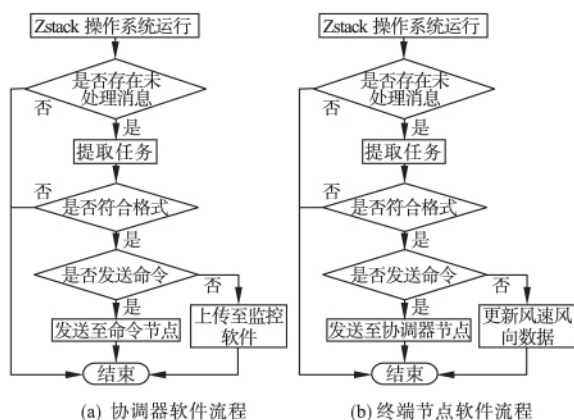


图5 ZigBee 节点软件流程图

在本系统中,协调器的主要任务是接受来自监控软件串口上的数据采集命令,然后将命令通过无线发送给终端节点,并收取节点采集到的数据通过串口发送给监控软件。当用户进行操作时,监控软件会通过串口向协调器发送读取命令,该命令以数据包形式传递给协调器,协调器针对该数据包进行解析,若符合规定,则提取待测节点信息,并对该节点进行无线命令发送要求其将对应数据回传至网关,然后再将接收到的指定节点的信息按照数据包格式发送给监控中心,协调器软件流程图如图5a所示。终端节点的主要任务是完成与风电场数据采集装置的通信以及节点数据信息的发送。数据采集装置定时将数据信息发送至终端节点,终端节点可依据此数据包更新风速、风向、温湿度等信息。当节点接收到协调器的查询指令时,将当前的数据信息反馈至协调器,终端节点软件流程图如图5b所示。

2.3 监控软件设计

监控中心管理系统主要有风电场风电机组分

布情况及运行状态查看子系统,数据通信子系统,数据处理子系统等。该软件利用 VC 编程,为保证软件的良好操作性和人机交互性,软件加载 MapInfo 11.0 和 SQL SEVER 2005 进行子功能服务。为保证监控软件的安全运行,为监控软件设计用户的控制访问,工作人员必须通过用户名和密码登陆软件系统才可进行相应操作。监控软件主要包括以下几个子系统:

1)用户管理页面:使用该软件的用户,必须提供正确的用户名和密码。管理员可进行增加、删除和查找用户;每个用户可进行相应密码更改。



图6 用户管理页面

2)数据采集页面:软件通过串口进行风电场各项数据采集。软件提供采集串口设置,采集速度设置,采集精度设置等功能。为保证数据采集的直观表达,软件利用 MapInfo11.0 的地图数据进行节点定位显示。

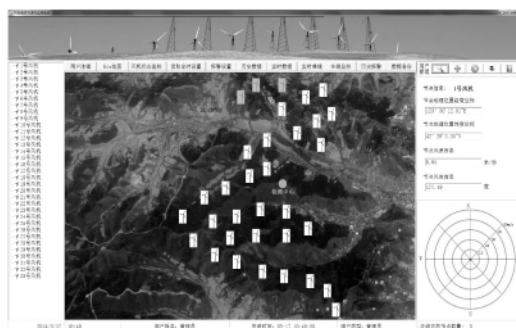


图7 数据采集页面

3)数据分析页面:已经采集到的数据会自动存入数据库中。为保证风电场风能资源的评估和优化控制,数据分析页面可利用数据库中的数据进行风速曲线,风频曲线的绘制,并可利用多重条件进行历史风速数据回调。

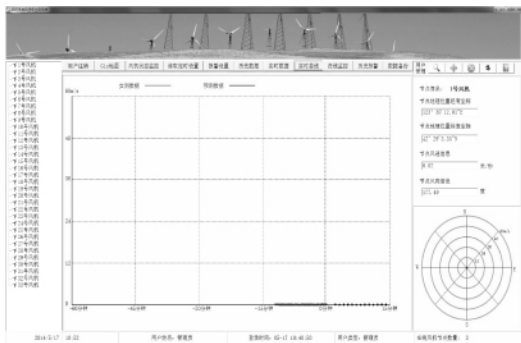


图 8 数据分析页面

3 实验结果分析

根据风电场风电机组的分布情况以及检测要

求,本系统利用多种检测距离进行风电场条件模拟。实验系统主要由高性能风扇、数据采集装置、标准风测量仪、ZigBee 传感器和监控电脑组成。实验采用高性能风扇来产生稳定实验气流,利用 WS425 风速测量仪作为校准仪进行风速值标定,该测量仪风速测量精度为 0.1m/s。此次实验分别在风速近似为 0、0.5、1、2、4 和 6m/s 条件下进行,且多次实验环境温度约为 18°,湿度约为 45%,每次测量 50 组数据。取 50 组数据的平均值作为最终测量结果,分别记录采集装置的测量风速和多种距离下监控中心的显示风速,验证采集装置的精度和 ZigBee 网络传输性能。实验结果见表 1。

表 1 系统初次实验结果 m/s

实际风速	WS425 风速	测量风速	监控中心风速 (300m)	监控中心风速 (500m)	监控中心风速 (700m)
0	0.09	0.1	0.11	0.12	0.14
0.5	0.70	0.7	0.70	0.70	0.76
1	1.11	1.1	1.10	1.15	1.20
2	2.22	2.2	2.20	2.18	2.01
4	3.91	3.9	3.90	3.80	3.97
6	6.27	6.3	6.30	6.20	6.24

为验证温湿度智能风速补偿算法对测量风速的影响,数据采集装置屏蔽温湿度算法并进行二次实验。实验系统组成如初次实验,实验条件为:温度约为 18°,湿度约为 45%,风速分别近似为 0、0.5、1、2、4 和 6m/s 下。以上每种风速下测量 50 组数据,取 50 组数据的平均值为最终测量结果,实验距离固定为 300m。实验结果见表 2。

表 2 系统二次实验结果 m/s

实际风速	WS425 风速	测量风速	监控中心风速 (300m)
0	0.09	0.091	0.091
0.5	0.70	0.650	0.650
1	1.11	1.060	1.060
2	2.22	2.180	2.180
4	3.91	3.830	3.830
6	6.27	6.210	6.210

对比表 1 与表 2 的数据,在同等实验条件下,温湿度智能风速补偿算法可有效提高数据采集装置的测量精度。采用温湿度智能风速补偿算法情况下,采集装置与 WS425 测量仪的绝对误差约为 0.01;未采用温湿度智能风速补偿算法时,该绝对误差为 0.04。因此使用温湿度补偿算法可有效提高数据采集装置的测量精度。

依据表 1 的数据,同时考虑高性能风扇所产生的风速误差与 WS425 风速测量仪的精度误差,可有效判定数据采集装置的采集精度,在多组实验中,数据采集装置与 WS425 的测量数据的绝对误差约为 0.01m/s,相对误差约为 0.5%,考虑到系统误差与偶然误差,可近似认为数据采集装置与 WS425 具备同等测量精度,即风速测量精度为 ±0.1m/s,风向误差为 ±1°。远距离传输过程中(500m,700m)绝对误差分别为 0.05、0.08,考虑到 ZigBee 芯片所允许的远距离传输丢包率,可判

定远程数据传输有效稳定。

4 结 论

针对风电场数据采集与监控设计了数据采集装置、ZigBee 传感器节点和监控系统的监测软件。数据采集装置以 C8051F120 单片机作为控制核心,利用超声波式传感器进行风速风向数据采集,并可根据当前的温湿度进行智能风速补偿; ZigBee 传感器节点基于 CC2530 设计实现,利用 Zstack2006 协议栈设计实现 ZigBee 网络的组网传输,串口响应等功能;监控系统以 VS2005 为平台,综合 MapInfo,SQL SEVER2005 等多个工具软件实现了风电场气象数据采集、分析、存储以及风电场监控等功能。本装置可实现风电场气象数据的高精度采集,风速测量精度为 $\pm 0.1\text{m/s}$,风向误差为 $\pm 1^\circ$,可在风电场风机布点变化时自动进行网络重建,可高效进行风电场风机定位监控以及风电场风速准确预测。

参考文献:

- [1] 王松,姚兴佳,李春影. 风电场过程数据采集与监控系统的开发[J]. 节能,2001(5):10—12.
- [2] 郭洪澈,郭庆霖. 风力发电场分布式微机自动监控系统的实现[J]. 节能,2001(8):18—20.
- [3] 王成,王志新,张华强. 风电场远程监控系统及无线网络技术应用研究[J]. 自动化仪表,2008,29(11):16—20.
- [4] 程为. 基于单片机的风速风向检测系统设计[J]. 自动化技术与应用,2010,29(8):70—71.
- [5] 苗连强,胡会萍. 基于 ZigBee 技术的温室环境远程监测系统 设计 [J]. 仪表技术与传感器,2010(10):108—110.
- [6] 杨柳,毛志怀,蒋志杰,等. 基于无线传输的粮仓温湿度远程监测系统[J]. 农业工程学报,2012,28(4):155—159.

(责任编辑:马金发)

(上接第 10 页)

- [4] 李祚泳,汪嘉杨,郭淳. PSO 算法优化 BP 网络的新方法及仿真实验[J]. 电子学报,2008,36(11):2224—2228.
- [5] 宋丽伟,彭敏放,田成来,等. 基于 PSO-RBF 神经网络的模拟电路诊断[J]. 计算机应用研究,2012,29(1):

72—74.

- [6] 蒋林利,曾文华. 改进的 PSO 算法优化神经网络模型及其应用研究[D]. 厦门:厦门大学 2014.

(责任编辑:马金发)