

The Research of GPS-Based Unmanned Substation Equipment Failure Positioning Systems

Liwei Zhu¹, Zhouhai Qian¹, Xiaoming Shen¹, Haifei Zhou¹, Kai Liu²

¹State Grid Electric Power Research Institute of Zhejiang Electric Power Corporation, Hangzhou

²State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology, Chongqing University, Chongqing

Email: sxm19850401@163.com, 824074768@qq.com

Received: May 24th, 2014; revised: Jun. 22nd, 2014; accepted: Jul. 1st, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The rapid development of unattended transformer substation highlights its importance of equipment condition monitoring. This paper proposed a faulty equipment positioning system in unattended transformer substation based on a GPS satellite system, introduced the system's function, structure and focused on analyzing the system's positioning principle. The system uses GPS pseudorange differential positioning to achieve the location of transformer substation's equipment, and by feedback the effective collected information of each substation device status to the control center, enabling precise positioning of the failed device.

Keywords

GPS Location System, Failed Device, Unattended Substation

基于GPS的无人值守变电站故障设备定位系统研究

祝骊伟¹, 钱洲亥¹, 沈晓明¹, 周海飞¹, 刘 凯²

¹国网浙江省电力公司电力科学研究院, 杭州

²重庆大学输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆

Email: sxm19850401@163.com, 824074768@qq.com

收稿日期: 2014年5月24日; 修回日期: 2014年6月22日; 录用日期: 2014年7月1日

摘要

无人值守变电站的快速发展, 越发凸显出变电站中设备状态监测的重要性, 本文提出了一种基于GPS卫星系统的无人值守变电站故障设备定位系统; 介绍了该系统的功能、结构; 着重分析了该系统定位原理。该系统采用GPS伪距差分定位实现了变电站设备定位功能, 并通过有效采集变电站中各设备状态信息反馈到控制中心, 从而实现故障设备的精确定位。

关键词

GPS定位, 故障设备, 无人变电站

1. 引言

随着国网公司智能电网建设的推进, 状态检修技术在电力设备运行管理中的运用越来越广泛。状态检修不再以时间为依据进行常规的定期检测试验和维修, 而是着眼于密切追踪监测每台设备具体运行状态的发展、变化情况, 并根据规范化的状态检测结果, 掌握设备运行状态(或设备故障)演变的情形和恶化的程度, 对故障设备的检修做到心中有数[1]-[7]。

基于GPS卫星系统的变电站故障设备定位系统使用高精度GPS定位技术和物联网传输技术, 有效定位变电站中设备具体位置, 并根据经纬度自动触发, 提醒运检人员对设备进行带电检测操作, 记录检测数据, 并反馈故障设备位置。系统可以实现区域实时定位动态引导工作人员到达故障设备位置, 同时通过定位各设备的位置, 可在系统的引导下进行巡检, 规划带电检测路线、检测点, 系统手持设备可显示运检路线、巡检点, 并提示那些点已检, 那些点未检。借助GPS技术标准化巡检流程, 避免漏检、误检, 为状态检修提供规范化的准确检测数据。

目前就GPS的应用而言, 电子科技大学丁庆生[8], 提出利用GPS接收机模块和三轴加速度传感器, 研制出一种低成本的公交车导航定位系统。重庆大学高卫燕利用嵌入式系统来实现GPS信号的获取来实现嵌入式车载GPS系统[9]。西安电子科技大学李睿提出了基于无线传感器网络的浮标网络水下GPS定位系统模型[10]。在GPS应用方面国内外取得了一些成果, 但目前还没有看到通过GPS技术为变电站故障设备定位的相关研究。

2. 变电站故障设备定位系统

2.1. 系统硬件组成

系统硬件部分主要由差分基站主机和手持巡检终端以及PC机三部分组成。其中: 差分基站主机安放于通信机房中, 类似于服务器。用于向手持终端提供高精度GPS信息。该设备为本系统的核心组成部分。设备如图1所示。

手持巡检终端用于巡检人员现场作业使用, 与差分基站主机结合可实现高精度定位功能。为实现现场标准作业提供基础。设备如图2所示。



Figure 1. Differential base station host

图 1. 差分基站主机



Figure 2. Handheld terminal

图 2. 手持终端

2.2. 系统软件组成

系统软件部分分为 PC 机应用程序和检测终端设备程序两部分。其中 PC 应用程序主要由生成检测路线模块、统计检测结果模块、管理监测设备模块和上传检测结果模块构成；检测终端设备程序主要包括采集设备 GPS 信息模块和执行检测模块。系统流程如图 3 所示。

实现故障设备定位过程如下：1) 信息文本创建。PC 机中的应用程序管理监测设备模块生成变电站中设备信息文件，为了使管理使用方便，本系统又将变电站中设备按路线归为一类，各设备分别包括在某条检测线路中，并由生成检测线路模块生成检测线路信息文件；2) 设备 GPS 信息采集。将创建好的设备信息文件及检测线路信息文件下载到系统手持终端中，手持终端中执行检测模块将会显示变电站中设备信息，将手持终端移动到相应设备位置，手持终端定位设备位置，并由采集设备 GPS 信息模块记录该设备的 GPS 信息以及状态信息；3) 信息上传。将手持终端采集 GPS 信息及设备状态信息上传至 PC 机中再由其统计分析检测结果，从而得到变电站中各设备的具体位置及设备状态信息，最终实现故障设备精确定位。

3. GPS 定位基本原理

GPS 定位的基本原理是根据高速运动的卫星瞬间位置作为已知的起算数据，采用空间距离后方交会

的方法，确定待测点的位置。如图 4 所示，假设 t 时刻在地面待测点上安置 GPS 接收机，可以测定 GPS 信号到达接收机的时间 Δt ，再加上接收机所接收到的卫星星历等其它数据可以确定以下四个方程式：

$$\left[(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + c(V_{t_1} - V_{t_0}) = d_1 \quad (1)$$

$$\left[(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 + (z_2 - z)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + c(V_{t_2} - V_{t_0}) = d_2 \quad (2)$$

$$\left[(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 + (z_3 - z)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + c(V_{t_3} - V_{t_0}) = d_3 \quad (3)$$

$$\left[(x_4 - x)^2 + (y_4 - y)^2 + (z_4 - z)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + c(V_{t_4} - V_{t_0}) = d_4 \quad (4)$$

上述四个方程式中待测点坐标 x 、 y 、 z 和 V_{t_0} 为未知参数，其中 $d_i = c\Delta t_i$ ($i=1, 2, 3, 4$)； d_i ($i=1, 2, 3, 4$) 分别为卫星 1、卫星 2、卫星 3、卫星 4 到接收机之间的距离； t_i ($i=1, 2, 3, 4$) 分别为

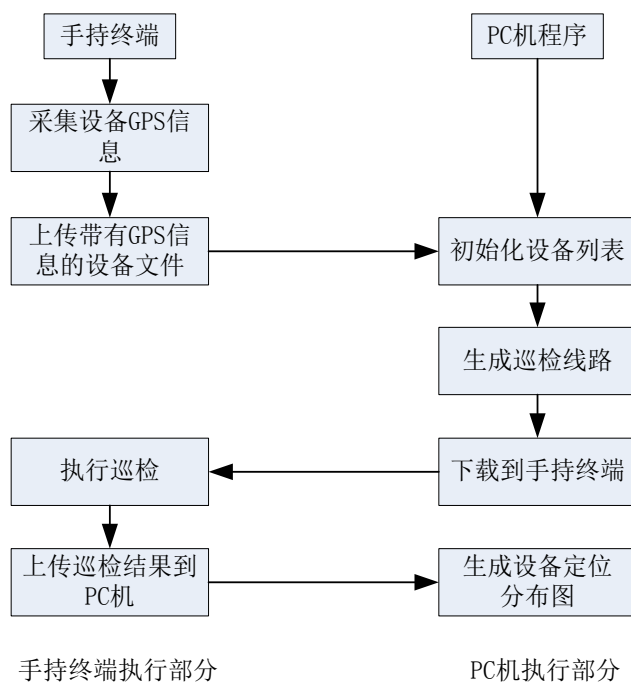


Figure 3. System flowchart
图 3. 系统流程图

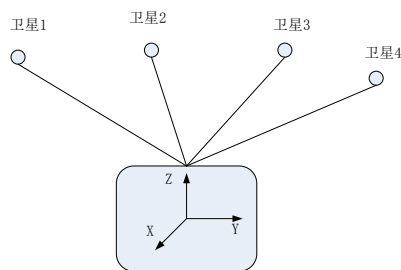


Figure 4. GPS icon
图 4. 卫星定位图示

卫星 1、卫星 2、卫星 3、卫星 4 的信号到达接收机所经历的时间； c 为 GPS 信号的传播速度(即光速)。四个方程式中各个参数意义如下：

x 、 y 、 z 为待测点坐标的空间直角坐标； x_i 、 y_i 、 z_i ($i=1, 2, 3, 4$) 分别为卫星 1、卫星 2、卫星 3、卫星 4 在 t 时刻的空间直角坐标，可由卫星导航电文求得； V_i ($i=1, 2, 3, 4$) 分别为卫星 1、卫星 2、卫星 3、卫星 4 的卫星钟的钟差，由卫星星历提供； V_0 为接收机的钟差。由以上四个方程即可解算出待测点的坐标 x 、 y 、 z 和接收机的钟差 V_0 [11] [12]。

4. 伪距差分法基本原理

由于 GPS 实时定位精度不高，难高于 $\pm(15\sim 30)$ 米，为了解决这一困难，本项目采用 GPS 伪距差分定位，提高 GPS 实时定位精度。伪距差分定位是目前应用最广的一种差分定位法。它是在基准站上，观测所有卫星，根据基准站的精确坐标和各卫星的坐标，求出每颗卫星每一时刻到基准站的真实距离。再与测得的伪距比较，得出伪距改正数，将其传输至流动站接收机来改正测量的伪距，提高定位精度。

基准站伪距公式：

$$R_m^i = r_m^i + c(\Delta t_m - \Delta t^i) + \Delta \rho_m^i + dI_m^i + dT_m^i$$

R_m^i 接收机到第 I 颗卫星的伪距； r_m^i 接收机到第 I 颗卫星的真实距离； Δt_m 接收机钟差； Δt^i 第 I 颗卫星钟差； $\Delta \rho_m^i$ 星历误差； dI_m^i 电离层误差； dT_m^i 大气层误差。知道卫星星历和基准站坐标可以求出卫星到基准站真实距离 r_m^i 。则伪距改正数可以表示为：

$$dr_m^i = r_m^i - R_m^i$$

接收机伪距公式：

$$R_n^i = r_n^i + c(\Delta t_n - \Delta t^i) + \Delta \rho_n^i + dI_n^i + dT_n^i$$

在接收机距离机站在 200~300 km 的情况下，通过接收机伪距测量值加上伪距改正数： $dr_m^i + R_m^i$ 可以消除电离层，大气层和星历误差。

$$dr_m^i + R_n^i = r_n^i + c(\Delta t_n - \Delta t_m) = \left[(x^i - x_n)^2 + (y^i - y_n)^2 + (z^i - z_n)^2 \right]^{1/2} + \Delta D$$

$$(dr_m^i + R_n^i - \Delta D)^2 = (x^i - x_n)^2 + (y^i - y_n)^2 + (z^i - z_n)^2$$

其中 R_m^i 可以由基站发送信息中得到。在解出卫星星历后求出卫星坐标，在基站信息中可以得到基站天线坐标，则可以求出 r_m^i ，则 dr_m^i 可以得到。由 4 个方程即可以进行定位解算[13]-[15]。

5. 系统功能测试

本文在上述内容中已详细介绍故障设备定位系统的结构、功能以及定位原理，下面对本系统功能进行测试。

1) 首先在电脑上安装本系统软件并在初始化后，添加变电站中拟设定巡检路线和路线中所包含设备如图 6 所示。

2) 生成设备信息文件。如果想对在 PC 机应用程序上添加的设备进行定位，就需要生成一个与需定位设备相对应的设备信息文件并下载到手持终端，如图 5 所示。为使用方便，一同生成巡检线路信息文件并载入手持终端中。

3) 设备定位。在手持设备中加载巡检线路信息文件和设备信息文件，携带手持终端按照其显示路线逐个寻找路线中各设备，由手持终端定位各个设备位置信息以及设备状态信息，并传入 PC 机中录入巡

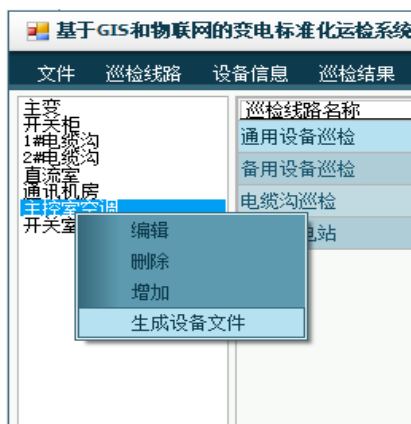


Figure 5. PC-generated program interface device information
图 5. PC 机生成设备信息程序界面



Figure 6. PC-generated route add equipment and testing program interface
图 6. PC 机生成添加设备和检测路线程序界面

检信息，如图 7 和图 8 所示，图 7 中可以看到设备检测结果传入并保存于 PC 机系统中，由统计结果可直接掌握设备状态，及时发现故障设备，并通过图 8 精确锁定故障设备位置。

上述结果表明，本系统可以实现对变电站中设备的进行精确定位，定位效果显著，其中故障设备定位功能可帮助变电站查找故障设备点，节约寻找时间，提高工作效率。

6. 系统变电站运用

无人值守变电站设备故障定位系统于 2013 年 11 月在重庆市永川区 35 kv 康家坡变电站投入试运行测试，本系统各个功能模块运行比较稳定，流程流转比较顺畅，各项技术指标均达到预期目标。其中具体操作过程及测试结果如下：

6.1. 变电站设备 GPS 信息采集

在 PC 机中手动添加设备编号、名称等信息生成设备文本信息如图 9。选中设备列表中需要定位的设



Figure 7. PC-interface device detection results of procedures results
图 7. PC 机设备检测结果统计程序界面



Figure 8. Equipment positioning the statistical
图 8. 设备定位结果

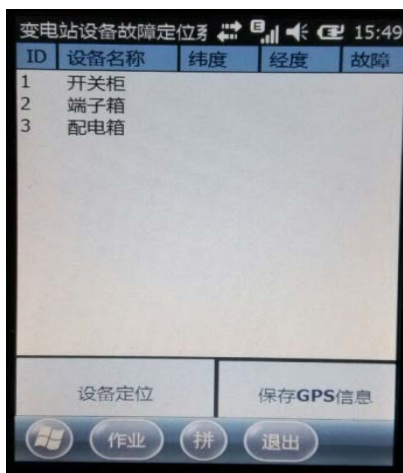


Figure 9. Creating text of substation equipment
图 9. 变电站设备文本创建图

备选项，点击“设备定位”按钮，获取该设备的经纬度信息。设备列表中所有设备的经纬度信息全部获取，并保存当前所有设备的经纬度信息。如图 10 所示。本次测试中考虑到时间关系，只测取了三台设备 GPS 信息。

由图 9 中可以看到，手持终端显示屏中显示出测试时创建需采集 GPS 信息的设备名称。图 10 则是手持终端显示屏显示出各个设备采集完 GPS 信息后的结果，从图中可以看到各个需采集 GPS 信息设备的经纬度信息。

6.2. 变电站故障设备定位

在变电站设备 GPS 采集系统基础上，实现了通过接入设备状态检测系统或通过人工检测将设备状态信息上传至系统 PC 机，由系统对故障设备结合其 GPS 信息在地图上精确定位，从而实现故障设备可视化定位功能。PC 机再将故障设备 GPS 信息下载至手持终端中，并在变电站地图中生成故障设备定位视图，定位效果如图 11 所示。

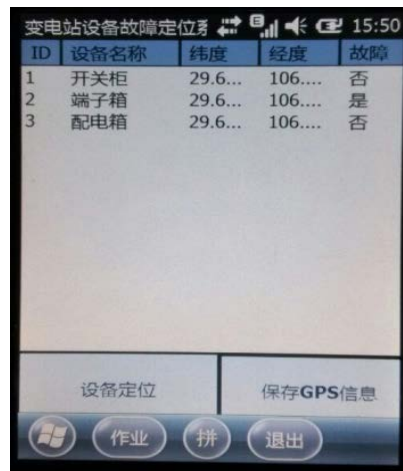


Figure 10. GPS information collection substation equipment
图 10. 变电站设备 GPS 信息采集



Figure 11. Faulty equipment location map
图 11. 故障设备定位图

在图 11 中有手持终端显示屏可以看到, 在变电站地图上显示了三个设备的具体位置, 其中红色点为本次测试假设的故障设备端子箱, 蓝色点为正常设备定位点, 该图表面本定位系统可以很好的对变电站故障设备进行精确定位。

7. 结论

基于 GPS 卫星系统, 本文提出一种针对无人值守变电站的故障设备定位系统。本系统采用 GPS 定位技术, 实现了变电站设备定位功能。该系统采集变电站各个设备状态信息并反馈到控制中心, 从而实现故障设备精确定位, 并在该故障设备定位系统引导下快速准确地找到故障设备。系统的工作人员定位功能可以有效解决目前变电站巡检管理过程中存在的常规工作弊端和巡检过程中无法有效监督等问题, 实现巡检过程标准化、规范化记录。

参考文献 (References)

- [1] 梁雪梅 (2010) 无人值守变电站智能视频监测系统设计. 华北电力大学, 北京.
- [2] 马忠坤 (2004) 基于故障群组优化的变电站故障诊断. 天津大学, 天津.
- [3] 周志霞 (2003) 变电站故障诊断系统的研究与开发. 华北电力大学, 北京.
- [4] 蓝海涛 (2014) 智能变电站继电保护二次安全措施规范化的建议. *智能电网*, **1**, 62-66.
- [5] 吴晓晖 (2012) 无人值守变电站设备管理系统的设计与实现. 电子科技大学, 成都.
- [6] 刘有贵 (2006) GPS/GPRS 车辆定位网络系统及故障在线检测技术研究. 长春理工大学, 长春.
- [7] 宋成 (2009) 辅助型 GPS 定位系统关键技术研究. 国防科技大学, 长沙.
- [8] 丁庆生 (2007) 公交车导航定位系统的研制. 硕士论文, 电子科技大学, 成都.
- [9] 高卫燕 (2012) 基于 ARM/Linux 的公交车载 GPS 定位终端系统设计. 重庆大学, 重庆.
- [10] 李睿 (2008) 水下 GPS 定位技术研究. 西安电子科技大学, 西安.
- [11] 李明峰, 冯宝红, 刘三枝 (2006) GPS 定位技术及其应用. 国防工业出版社, 北京.
- [12] 吴学伟, 伊晓东 (2010) GPS 定位技术与应用. 科学出版社, 北京.
- [13] 姜萍, 柯熙政 (2007) 基于北斗差分信息的 GPS 广域差分定位技术. *西安理工大学学报*, **1**, 79-82.
- [14] 杨永平, 冯立清, 张辉 (2006) GPS 伪距差分定位技术的试验研究. *铁道勘察*, **1**, 14-17.
- [15] 刘涛, 解永春 (2007) 基于 GPS 相对伪距差分的相对导航方法研究. *中国空间科学技术*, **1**, 1-8.