

基于无线通讯网络的 GPS 多 天线监测系统及其应用

王 利¹, 张 勤¹, 晓利², 戴吾蛟³, 杨文韬³, 张显云⁴

(1 长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054; 2 香港理工大学 土地测量及地理资讯学系, 香港 九龙;

3 中南大学 信息物理工程学院, 湖南 长沙 410083; 4 贵州大学 矿业学院, 贵州 贵阳 550003)

摘要: 介绍了基于无线通讯网络的 GPS 多天线监测系统的构成情况, 包括系统设计、数据传输与管理、数据处理、数据质量分析和控制等。在公路边坡变形监测中的实际应用结果表明, 该系统 1 h 测量精度已达到 3.0 mm 左右, 既能自动连续地对滑坡变形进行监测, 又能大幅度降低整个监测系统的费用, 是滑坡等地质灾害变形监测的理想技术之一。

关键词: GPS 多天线监测系统; 无线通讯网络; 变形监测

中图分类号: P228.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2009)03-0323-04

GPS Multi-antenna Monitoring System Based on Wireless Communication Network and Its Application

WANG Li¹, ZHANG Qin¹, DING Xiao-li², DAI Wu-jiao³,
YANG Wen-tao³, ZHANG Xian-yun⁴

(1. School of Geological Engineering and Surveying, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Department of Land Surveying and Geo-informatics, Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Hong Kong, China;

3. School of Info-physics and Geomatics Engineering, Central South University, Changsha 410083, Hunan,

China; 4. School of Mining, Guizhou University, Guiyang 550003, Guizhou, China)

Abstract This paper discusses the structure of GPS multi-antenna monitoring system based on wireless communication network, including system design, data transmission and management, data processing, data quality analysis and control. The practical applications of this system in roadside slope deformation monitoring prove that the precision of its results is as low as 3 mm, and it can not only monitor the slope deformation automatically and continuously, but also significantly reduce the expenses of the whole monitoring system. Therefore, the GPS multi-antenna monitoring system based on wireless communication network is one of the preferable monitoring techniques of slopes and the other geological disasters.

Key words: GPS Multi-antenna Monitoring System; wireless communication network; deformation monitoring

0 引言

作为现代大地测量的一种高新技术, GPS 以其精度高、速度快、全天候和自动化程度高等特点成为现今最先进的变形监测技术之一, 已在滑坡监测中得到广泛应用^[1-2]。目前, 应用 GPS 进行变形监测主要有两种模式^[2-3], 第一种是常规的 GPS 静态

相对定位定期监测模式, 第二种是连续运行站式的 GPS 监测系统。在定期监测模式中, 一般用多台 GPS 接收机, 人工定期逐点采集数据, 通过后处理获得各期之间的变形, 从而对边坡变形的中长期变化趋势进行预测预报。若边坡已处于不稳定状态, 就需要用连续运行站式的 GPS 监测系统来实时获取边坡的变形状况。但是, GPS 硬件设备方面的昂

收稿日期: 2008-10-23

基金项目: 交通部西部交通建设科技项目(200531881203); 陕西省交通厅科学研究计划项目(03-03K)

作者简介: 王 利(1975-)男, 新疆奇台人, 副教授, 工学博士研究生, 从事 GPS 测量数据处理研究。E-mail: wangli@chd.edu.cn

© 1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

贵投入限制了 GPS 技术的应用范围。为此, 有学者^[4-5]提出了“GPS 一机多天线监测系统”的思想, 即在不改变已有 GPS 接收机结构的基础上, 通过一个附加的 GPS 信号分时器连接开关将多个天线阵列与同一台接收机连接, 经过 GPS 数据处理后同样可以获得变形体的形变规律。GPS 信号分时器连接开关(简称 GPS 多天线开关)在多个天线之间切换, 切换的时间间隔可根据变形体所处的状态而定, 从几秒钟到几个小时不等。这样, 就可以用一个天线来替代一台 GPS 接收机, 大大降低了 GPS 变形监测系统的成本, 使得 GPS 技术在变形监测中具有更广阔的应用前景。

从 2004 年到 2007 年, 笔者在野外进行了多次 GPS 一机多天线系统监测滑坡变形的试验, 获得了一些重要的研究成果^[9]。同时, 考虑到滑坡灾害多处于危险或偏远地区, 为了保证人身安全和实现无人值守的工作模式, 采用了无线网络对 GPS 监测数据进行实时传输, 研制了基于无线通讯网络的 GPS 多天线监测系统, 实现了系统从观测、数据采集、数据传输、解算分析的全自动化, 从而快速准确地对滑坡的变形情况进行预报。这里重点讨论了基于无线通讯网络的 GPS 多天线监测系统构成情况, 包括系统设计、数据传输与管理、数据处理、数据质量分析和控制等, 最后, 以公路边坡稳定性实时监测为实例对该系统进行探讨。

1 基于无线通讯网络的 GPS 多天线监测系统

基于无线通讯网络的 GPS 多天线监测系统由 GPS 多天线开关、GPS 天线阵列、GPS 信号接收机、数据链和数据处理中心构成, 其基本结构如图 1^[7-8]。

1.1 GPS 多天线开关

GPS 多天线开关(GPS Multi-antenna Switch, GMS)是一个有多个输入通道和单个输出通道的电子开关(图 2)。它将 GPS 天线阵列与 GPS 接收机连接起来, 使得各个天线接收到的 GPS 信号持续不断地记入同一个 GPS 接收机内。这样, 一台 GPS 接收机就可以代替多台 GPS 接收机, 从而经济有效地完成变形监测工作。GMS 的切换间隔由用户设定, 一般根据变形体所处的状态而定。最新研发的 GMS 将控制电路板和双频 GPS OEM 板集成在一起, 并配有 LCD 液晶显示器, 可直观地监控

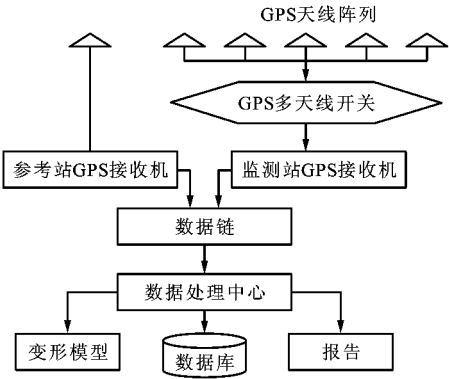


图 1 基于无线通讯网络的 GPS 多天线监测系统结构
Fig. 1 System Structure of GPS Multi-antenna Monitoring System Based on Wireless Communication Network



图 2 GPS 多天线开关

Fig. 2 GPS Multi-antenna Switch

多天线监测系统数据采集现场的情况。

1.2 GPS 天线阵列、信号接收机和信号放大器

一般来说, 任何一种测量型的 GPS 天线和 GPS 信号接收机都可用于 GPS 多天线监测系统。但是, 大量的野外监测试验证明, 双频 GPS 信号接收机和大地测量型的 GPS 天线是最好的选择。GPS 天线阵列中天线条数由 GMS 的结构决定, 最新研发的 GMS 最多可同时连接 20 个 GPS 天线。天线阵列与 GMS 之间可用同轴电缆连接, 一根同轴电缆线的最大长度可达 120 m。若天线与 GMS 间的距离超过 120 m, 就需要用 GPS 信号放大器将两根以上的同轴电缆连接起来, 以解决由于增加了天线电缆长度而造成信号衰减的问题。目前, 加了 GPS 信号放大器之后的天线电缆长度可以达到 300 m。

1.3 数据链

数据链是系统的核心部分之一, 其作用是将监测现场的 GPS 数据传送到数据处理中心。数据链可以采用有线方式(如局域网、国际互联网等), 也可以用无线方式^[9,11]。由于公路边坡监测现场一般距数据处理中心较远, 故多选用无线数据传输方式。其中, 目前性能较好的无线公众网 GSM、CD-

MA 和 GPRS 系统是不错的选择。如果公路边坡监测现场位于丘陵、山区或公众网未能覆盖的偏远地方, 采用专用无线数据网络则是较好的选择。

1.4 数据处理中心

数据处理中心主要由数据处理室、PC 计算机(或服务器)和专用软件组成。它主要用于处理、分析和管理由数据链传送来的 GPS 监测数据。

2 基于无线通讯网络的 GPS 多天线监测系统的核心技术

在实际应用时, 基于无线通讯网络的 GPS 多天线监测系统还有一些关键技术需要研究, 例如 GPS 数据的实时下载与传输、数据处理及数据管理等。

2.1 数据的实时下载与传输

在基于无线通讯网络的 GPS 多天线监测系统中, 数据的实时下载和 RINEX 格式转换是其必备的两个功能。因此, 本课题组开发了一套名为 Datalogging 的软件, 该软件不仅可以实时显示卫星的锁定信息、信噪比、高度角、方位角等信息, 而且可以实时下载、传输和记录 GPS 观测数据并将其转换为标准的 RINEX 格式文件。

GPS 数据的实时传送方式有很多种, 在试验中选用了 GPRS 系统, GPRS 具有永远在线、速度快、价格低、接入速度快等特点, 用户只要在数据发送端保证有通讯信号覆盖、在接收端保证接入到 INTERNET 网络, 并且有一个固定的 IP 地址, 就可以将监测数据实时传送到目标计算机中。

2.2 数据处理和管理

MaGMS(Multi-antenna GPS Monitoring System)软件是本课题组开发的一款可以在 Windows XP 系统下运行的 GPS 多天线监测系统管理软件。该软件由工程管理、测站管理、数据分离、数据处理、结果显示和结果管理 6 个模块构成。

MaGMS 软件可以手动和自动两种模式来处理、分析和管 GPS 多天线监测数据。在自动模式下, 它可以按照用户事先设定的要求(如数据采样率、结果输出时间间隔等), 和 Datalogging 软件及 GPRS 系统一起完成 GPS 监测数据的实时下载、传输、格式转换、数据处理、结果显示和数据入库等工作。在手动模式下, 所有的 GPS 多天线监测数据可以存放在指定的文件夹中, 用户可以根据需要来添加或删除观测数据, 并可以在结果显示窗口中观察数据处理结果, 例如基线向量的残差、位移量等。

2.3 数据流程

基于无线通讯网络的 GPS 多天线监测系统的流程图如图 3。

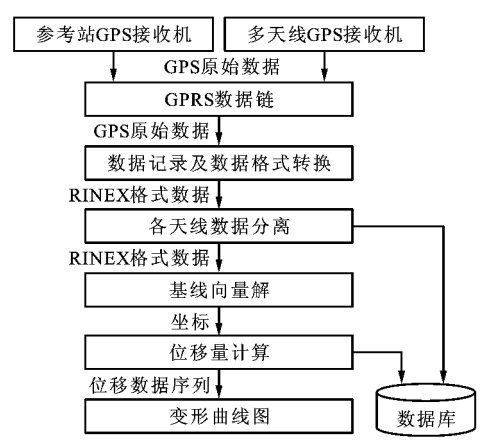


图 3 基于无线通讯网络的 GPS 多天线监测系统的流程图

Fig. 3 Data Flow Chart of GPS Multi-antenna Monitoring System Based on Wireless Communication Network

3 实际应用及数据质量分析

2007 年 8 月 29 日至 9 月 2 日, 本课题组在陕西省吴子(吴堡一子洲)高速公路杏子塔滑坡上进行了基于无线通讯网络的 GPS 多天线监测系统用于公路边坡变形监测的试验。除了中间因为增加 2 个天线而中断了 5 h 以外, 整个系统稳定运行了 4 d。所有的监测点都用水泥观测墩制成, 上面装有强制对中装置。基准站设置在远离滑坡体的稳定区域, 距离监测点的距离约 1 000 m。

由于大雨的影响, 在第一时段, 多天线开关只连接了滑坡体下部的 4 个监测点上的天线(点 XZ08 ~ XZ11), 系统连续运行了 27 h。大雨停止后, 又增加了 2 个天线(设置在监测点 XZ12 和 XZ13 上), 多天线监测系统在连接 6 个天线的情況下又连续运行了 44 h。

在本次试验中, GPS 接收机的数据采样间隔设置为 5 s, 多天线开关的切换间隔为 1 min, 计算结果输出的时间间隔设置为 1 h。利用较长时间的 GPS 观测值可以削弱多路径效应的影响和提高精度。

数据处理中心设在距离监测试验现场约 55 km 的绥德县城, 数据备份服务器则位于深圳市。利用 GPRS 无线网络, GPS 多天线监测系统能够实时地将监测数据传送到数据处理中心和数据备份服务器。图 4、5 分别是监测点 XZ08 和 XZ12 1 h

测量结果的三维(N, E, U)位移序列。其中, N 为北方向; E 为东方向; U 为垂直方向。

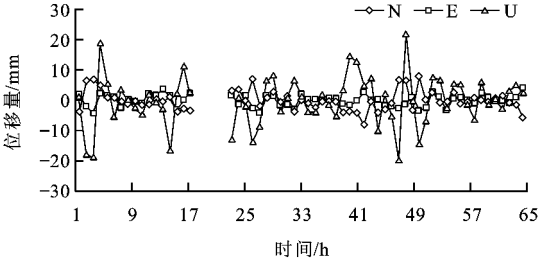


图 4 XZ08 点 1 h 测量结果的三维位移序列
Fig. 4 Displacement Series in Three Directions with 1-hour Measurements of Point XZ08

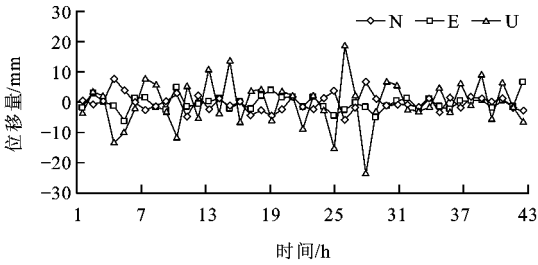


图 5 XZ12 点 1 h 测量结果的三维位移序列
Fig. 5 Displacement Series in Three Directions with 1-hour Measurements of Point XZ12

从图 4、5 以及其他几个监测点的数据统计结果可以看出:

- (1) 由于监测点位于同一坡体上, 其观测条件基本类似, 所有监测点的精度基本一致。
- (2) 在监测点坐标的 3 个分量中, 北方向和东方向上的精度(约为 2.6 mm 和 2.3 mm)比垂直方向上的精度(6.4 mm)要高。
- (3) 从整体上看, 水平方向上的精度在最不利情况下可达到 11.0 mm, 而垂直方向上则达到了 29.0 mm。
- (4) 由于该滑坡体比较稳定, 所以图 4、5 中显示的位移主要是由观测误差引起的。
- (5) 长时间观测可以有效地削弱或消除多路径效应及其他误差的影响, 从而提高监测精度。
- (6) 基于无线通讯网络的 GPS 多天线监测系统完全可用于滑坡等地质灾害的实时或准实时变形监测。

4 结语

由于滑坡、崩塌等地质灾害特有的地形及环境

条件, 工程区域通常都位于高山深谷等危险或偏远地区, 为了保证人身安全和实现无人值守的工作模式, 提出了基于无线通讯网络的 GPS 多天线监测系统。试验结果表明:

- (1) 基于无线通讯网络的 GPS 多天线系统的监测精度已接近连续运行站式的 GPS 监测系统。目前, 其 1 h 测量结果的精度已达到 3.0 mm 左右。
- (2) 与常规的 GPS 静态相对定位定期监测模式和连续运行站式的 GPS 监测系统相比, 基于无线通讯网络的 GPS 多天线监测系统避免了这两种模式的缺点, 继承了它们的优点。
- (3) 综合考虑滑坡安全监测的精度要求和成本等因素, 采用基于无线通讯网络的 GPS 多天线监测系统既能自动连续地对滑坡灾害进行监测, 又能大幅度降低整个监测系统的费用, 是滑坡等地质灾害变形监测的理想技术之一。

参考文献:

[1] 张 勤, 李家权. GPS 测量原理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.

[2] 李征航. GPS 定位技术在变形监测中的应用[J]. 全球定位系统, 2001, 26(2): 18-25.

[3] 王新洲, 邹双朝. GPS 天线阵列接收机及其配套软件[J]. 测绘工程, 2007, 16(3): 43-47.

[4] Ding X L, Chen Y Q, Huang D F, et al. Slope Monitoring Using GPS: a Multi-antenna Approach[J]. GPS World, 2000, 11(3): 52-55.

[5] 丁晓利, 黄丁发, 殷建华, 等. 新一代多天线 GPS 系统研制[J]. 测绘通报, 2003(12): 13-15.

[6] 王 利, 张 勤, 赵超英, 等. GPS 一机多天线技术在公路边坡灾害监测中的应用研究[J]. 公路交通科技, 2005, 22(增刊 1): 163-166.

[7] Huang D F, Ding X L, Chen Y Q. A New GPS System for Continuous Deformation Monitoring[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2000, 8(2): 169-176.

[8] 黄丁发, 丁晓利, 陈永奇. 多天线 GPS 自动变形监测系统[J]. 铁道学报, 2000, 22(6): 90-94.

[9] 王 利. 公路边坡监测理论与 GPS 一机多天线系统研究[D]. 西安: 长安大学, 2006.

[10] 龙建辉, 李同录, 蒋丽君. 滑坡监测远程无线数据传输系统研制[J]. 地球科学与环境学报, 2007, 29(2): 192-195.

[11] 曹修定, 阮 俊, 展建设, 等. 滑坡的远程实时监测控制与数据传输[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2002, 13(1): 61-65.