

GPS 技术在滑坡监测中的应用

陈红卫, 杨红生

(新疆地矿局第三地质大队, 新疆维吾尔自治区 库尔勒 841000)

摘要: GPS 以它显著的优势得到了测量行业的广泛使用, 在测量的各个方面发挥了巨大的作用。它能够克服传统的地面监测的缺陷, 可进行连续的自动化观测, 提供高精度地面点位的 3 维坐标。为了说明 GPS 在变形监测方面的突出优势, 本文结合新疆某水电站滑坡变形监测的过程, 详细介绍了 GPS 滑坡监测方案的设计, 以及数据处理与分析过程。

关键词: 滑坡; 变形监测; 数据分析

中图分类号: P228.4

文献标识码: B

文章编号: 1672 - 5867(2012)01 - 0145 - 03

The Application of GPS in the Landslide Monitoring

CHEN Hong - wei, YANG Hong - sheng

(The Third Geological Brigade of Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Korla 841000, China)

Abstract: With significant advantages GPS has a great effect in measurement industry. It conducts the continuous automatic monitoring by overcoming the ground monitoring default and provides three dimensional coordinates. To introduce its advantages in deformation monitoring, this paper presents the data processing of landslide monitoring by using GPS and the design of deformation monitoring in the reservoir area in Xinjiang.

Key words: landslide; deformation monitoring; data analysis

0 引言

滑坡是一种严重的地质灾害。许多大型基础设施的建设, 如高速公路、铁路、水电站等设施, 在开挖山体时, 都有发生滑坡的可能。这就要求采用一种成本低、易于推广和有效的监测手段, 对这些潜在或是正在滑动的滑坡体进行监测, 以避免大面积滑坡产生时造成难以预料的损失。传统的测量方法需要人到现场观测, 工作量大, 特别在南方山区, 树木杂草丛生, 作业十分困难。GPS 卫星定位系统是利用接收空中卫星信号测距进行定位, 采用静态相对定位技术, 其精度可达到毫米级^[1]。监测站点之间不用通视, 大大减少了工作量。而且利用无线通信技术可以将观测数据传到数据处理中心, 直接获得地面点的 3 维坐标^[2-4]。本文结合新疆某水电站详细讨论了 GPS 在滑坡变形监测中的应用。

1 GPS 滑坡监测网的建立

基准网布设如图 1 所示网形。全网由 11 条独立基线构成, 包含 6 个基准点, 每条基线观测两个时段, 每时段长 5 h, 采样间隔 10 s, 卫星截止角 15°。为提高基线解算精

度, 位于测区中间的 II03 点连续观测 24 h, 并与附近 IGS 连续运行参考站进行联合解算, 求得 II03 点在 WGS - 84 坐标系下的坐标。

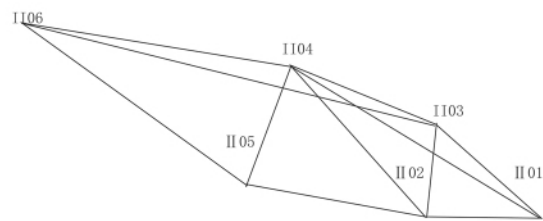


图 1 基准网的设计

Fig. 1 Design of the base net

由于滑坡体数目多, 所以在该测区布设了 36 个监测点, 按照滑坡体划分为 5 个监测网, 每个监测网有 3 个基准点和若干个监测点。为了说明问题, 笔者选取了其中一个监测网, 如图 2 所示。

该网由 3 个基准点 (II04, II05, II06)、6 个监测点 (H23 - H28) 构成。网中有 21 条基线, 每条基线长度不超过 10 km, GPS 接收机在这些监测点上以与基准点上的接

收稿日期: 2010 - 10 - 25

作者简介: 陈红卫(1967 -), 男, 河北安平人, 工程师, 主要从事测量工作。

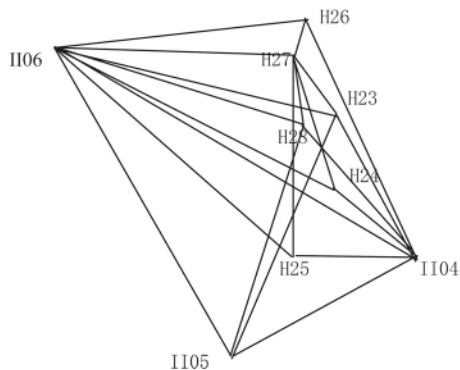


图 2 滑坡监测网

Fig. 2 Landslide monitoring network

收机同样的卫星高度截止角和采样间隔进行数据采集, 每条基线观测两个时段, 每个时段 3 h。每次至少要观测

4 颗卫星, 并且尽可能从卫星均匀分布 4 个象限时开始观测, 这样能获得较小的 GDOP 值, 提高观测成果的质量。在量取天线高时, 用三角板直接丈量到天线相位中心的参考点 ARP。

2 数据的处理与分析

2.1 数据处理

本次数据处理采集第六期和第七期的 GPS 观测数据, 由于精密星历的时延为两周, 显然不利于滑坡的短期预测; 而快速精密星历的时延为两天, 并且卫星轨道的精度、精密星历、快速精密星历十分接近(都不超过 5 cm); 卫星钟差的精度、精密星历、快速精密星历接近(不大于 0.1 ns) [6-8], 所以先将 3 个基准点(II04, II05, II06) 与已知站联测, 采用 Bernese 软件和快速精密星历解算, 获得基准点的精度和位移量(见表 1)。

表 1 测点在坐标方向的精度

Tab. 1 Accuracy of testing points along the direction of coordinate

测点	第六期			第七期			六期 - 七期
	σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z	位移量
II04	0.5 mm	0.5 mm	0.7 mm	0.5 mm	0.5 mm	0.9 mm	0.2 mm
II05	0.9 mm	0.8 mm	1.3 mm	1.0 mm	0.9 mm	1.5 mm	0.3 mm
II06	0.6 mm	0.5 mm	0.8 mm	0.5 mm	0.6 mm	0.9 mm	0.2 mm

由表 1 可以看出基准点的位移量和两期精度都在亚毫米级, 基准网的精度要远大于变形观测变化量, 这样为下一步做变形分析减少误差源, 同时可以忽略基准网的误差而进行对比分析变形情况。在参考前 5 期的数据后得知: 基准点基本稳定, 符合设计要求。

对于各期的监测网数据处理, 采用随机软件 TGO 1.62 进行解算。在数据处理过程中, 对同步边观测数据的检核: 两期观测数据的基线向量剔除率均在 4.5% 以内, 合乎规范要求; 根据软件生成的残差图如图 3 所示。

可以看出, 载波相位观测值中的残差均未超过 0.05 周, 且残差图曲线基本平滑连续而且数值比较小, 说明观测数据质量比较好, 符合高精度 GPS 监测的要求。

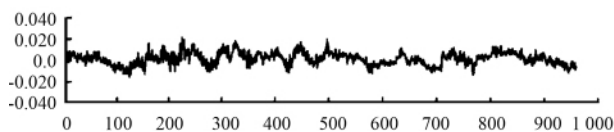


图 3 历元数

Fig. 3 Epoch number

表 2 列出了观测网平差后, 各点经过坐标转换后在地方坐标系中点位误差统计表, 从表中可以算出各期观测的单位权中误差, 第六期和第七期单位权中误差分别为 2.11 mm 和 2.32 mm。

表 2 测点在坐标方向的精度

Tab. 2 Accuracy of testing points along the direction of coordinate

测点	第六期			第七期		
	σ_N	σ_E	σ_U	σ_N	σ_E	σ_U
H23	0.9 mm	0.8 mm	1.4 mm	0.9 mm	1.0 mm	1.6 mm
H24	0.9 mm	0.8 mm	1.1 mm	0.9 mm	1.0 mm	1.4 mm
H25	1.0 mm	0.8 mm	1.4 mm	0.8 mm	0.9 mm	1.5 mm
H26	1.0 mm	1.0 mm	1.5 mm	0.9 mm	1.1 mm	1.7 mm
H27	1.1 mm	0.9 mm	1.7 mm	0.9 mm	1.0 mm	1.9 mm
H28	1.0 mm	0.9 mm	1.5 mm	1.1 mm	1.0 mm	1.6 mm

从统计结果可以看出,本监测网的两期监测数据观测经无约束平差后的各项精度指标都能达到预期目标,在点位精度、可靠性和置信度等 3 个方面也都达到了预期的设计要求,该 GPS 滑坡监测网是合格的。

2.2 数据分析

根据两期数据通过平差处理得出的结果,可采用如下模型求出两期之间监测点的位移量:

$$\delta_N = N_7 - N_6$$

$$\delta_E = E_7 - E_6 \tag{1}$$

$$\delta_U = U_7 - U_6$$

其中: $\delta_N, \delta_E, \delta_U$ 分别为测站两期数据之间的南北方向、东西方向和椭球法线方向的位移分量。然后利用以下模型可求出各个分量的速度:

$$V = \delta/t \tag{2}$$

δ 为在 t 时间内的变化量,根据上述方法得到卡拉水电站滑坡的形变状况(见表 3)。

表 3 测点在坐标方向的位移及速度(y 代表一年)

Tab. 3 Displacement and speed of testing points along the direction of coordinate (y: year)

测点	δ_N	δ_E	δ_U	δ_N/t	δ_E/t	δ_U/t
H23	-1 mm	-0.2 mm	-2 mm	-1 mm/y	-0.2 mm/y	-2 mm/y
H24	-3 mm	0.8 mm	-0.4 mm	-3 mm/y	0.8 mm/y	-0.4 mm/y
H25	-2 mm	-0.3 mm	5.6 mm	-2 mm/y	-0.3 mm/y	5.6 mm/y
H26	-0.6 mm	0 mm	-5 mm	-0.6 mm/y	0 mm/y	-5 mm/y
H27	-1.7 mm	-0.8 mm	-4.2 mm	-1.7 mm/y	-0.8 mm/y	-4.2 mm/y
H28	0.1 mm	0.4 mm	5.5 mm	0.1 mm/y	0.4 mm/y	5.5 mm/y

由于随机误差的影响(系统误差由于远小于随机误差可以忽略),两期平差的坐标差 δ 并不一定反映坐标位移,必须对坐标位移进行显著性检验。且零假设 $H_0: \varepsilon_\delta = \varepsilon_2 - \varepsilon_1 = 0, H_1: \varepsilon_\delta \neq 0$; 其统计量为:

$$t = \frac{\delta - (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}{\sigma_0 \sqrt{Q_{11} + Q_{22}}} \sqrt{\frac{f_1 \hat{\sigma}_{01}^2 + f_2 \hat{\sigma}_{02}^2}{\hat{\sigma}_0^2 (f_1 + f_2)}} \tag{3}$$

其中: $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ 和 Q_{11}, Q_{22} 分别是同一点在两期的理论坐标值和权倒数; f_1, f_2 和 $\hat{\sigma}_{01}, \hat{\sigma}_{02}$ 分别是两期的自由度和单位权中误差估值。

在一定显著性水平 α 为 0.05 的情况下,如果 $t \leq t_{\alpha/2}$, 接受 $H_0: \varepsilon_2 - \varepsilon_1 = 0$ 认为该点没有运动,否则,接受 H_1 , 该点在两期之间发生移动。得到坐标差检验统计表见表 4。

表 4 坐标差检验统计表($t_{\alpha/2} = 1.96$)

Tab. 4 Statistics test of the coordinate difference ($t_{\alpha/2} = 1.96$)

位移	δ_{N23}	δ_{E23}	δ_{U23}	δ_{N24}	δ_{E24}	δ_{U24}	δ_{N25}	δ_{E25}	δ_{U25}
t	2.11	2.054	2.216	2.425	2.083	2.061	2.216	2.058	3.042
位移	δ_{N26}	δ_{E26}	δ_{U26}	δ_{N27}	δ_{E27}	δ_{U27}	δ_{N28}	δ_{E28}	δ_{U28}
	2.071	0	2.983	2.209	2.083	2.864	2.011	2.061	3.036

从表 3 和表 4 中可以看到,在六期和七期之间大部分点位都发生了移动,并且移动的方向大致相同,其中在水平面内点位移动最大的是 H24,在北方向移动 3 mm,在东方向上移动 0.8 mm。变化最小的是 H28,北方向移动 -0.1 mm,东方向偏移 0.4 mm,在椭球高上 H25 变化最大,向下移动 5.6 mm。将变化最大的点 H24 和 H25,作为下一期重点观测对象,对于有滑坡倾向的点,可以通过下一期的观测再次进行比较,预测滑坡的方向。

根据表 3 数据利用多项式拟合法建立监测网点位运动模型如下:

$$\begin{aligned} V_N &= a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 + a_5 t^5 \\ V_E &= b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3 + b_4 t^4 + b_5 t^5 \\ V_U &= c_0 + c_1 t + c_2 t^2 + c_3 t^3 + c_4 t^4 + c_5 t^5 \end{aligned} \tag{4}$$

其中: V_N, V_E, V_U 分别为监测点在坐标方向运动的平均速度; $a_0 \dots a_5, b_0 \dots b_5, c_0 \dots c_5$ 为方程系数。我们取第四期和

第五期的数据验证该模型,它们算得点位运动平均速度与模型相比,在坐标方向差别分别是 0.1 mm/年, 0.1 mm/年, 0.3 mm/年。该监测网点位运动模型是可以进行预测的,把本次处理的数据和前五期处理的数据比较可知:该滑坡体有向下滑的趋势。在用 GPS 进行监测的同时,部分监测点附近还开凿了探洞,用地质勘探方法进行了监测,其结果与 GPS 监测的结果基本一致。

3 结束语

对于 GPS 监测网,要根据监测区域中是否存在稳定的基准点而选用固定基准、秩亏基准和拟稳基准,对于选定的基准点,必要时还必须进行基准点的稳定性分析,只有通过检验,才能用于下一步的变形分析。

在数据处理过程中采用快速精密星历,其对 10 km 基 (下转第 153 页)

的适应性。

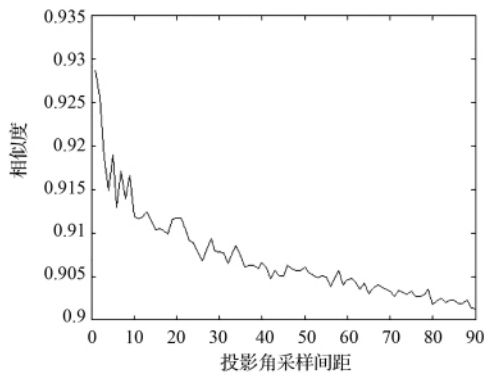


图 6 投影采样间隔 $\Delta\theta$ 对特征相似度的影响

Fig. 6 Influence of sample intervals of the projection angle on the feature similarity

3 结束语

本文分析了小波分解的实质和纹理特征经过小波分解后各尺度下的分布情况,采用树型小波系数直方图进行纹理特征的描述、提取,弥补了金字塔结构小波对纹理特征的中高频信息分解的不足。并提出将其与 Radon 变换结合处理的纹理特征描述方法,采用此方法对居民地

进行提取,取得了较好的提取结果,经验证该方法对不同的中小比例尺遥感影像都有较好的适应性。

参考文献:

- [1] 高文,陈熙霖. 计算机视觉——算法与系统原理 [M]. 北京: 清华大学出版社,1999.
- [2] 王润生. 影像理解与分析 [M]. 长沙: 国防科技大学出版社,1995.
- [3] 孙即祥. 数字图像处理 [M]. 石家庄: 河北教育出版社,1993.
- [4] 沈邦乐. 计算机影像处理 [M]. 北京: 解放军出版社,1995.
- [5] 路威. 全色遥感影像面状地物半自动提取方法的研究 [D]. 郑州: 信息工程大学,2002.
- [6] 金飞. 基于纹理特征的遥感影像面状地物半自动提取技术研究 [D]. 郑州: 信息工程大学,2009.
- [7] 吴健生,张昊. 拉东变换在探地雷达资料处理中的应用 [J]. 同济大学学报(自然科学版),2005,33(9): 1 270 - 1 272.
- [8] 安志勇,曾智勇,崔江涛,等. 基于 Radon 和小波变换的图像检索 [J]. 北京邮电大学学报,2007,30(5): 5 - 8.
- [9] 安志勇,赵珊,王晓华,等. 基于多尺度 Radon 变换的图像检索 [J]. 光子学报,2007,36(6): 1 176 - 1 180.

[编辑: 胡 雪]

(上接第 147 页)

线解算的精度影响值不大于 0.005 m,这样既提高了作业效率,可以用来进行短期预测,又能得到与精密星历相近的结果,完全符合设计的要求。可见利用 GPS 静态测量技术,通过正确的方案设计和精密的数据处理,在较大的范围、较差的作业条件下,可以达到滑坡变形测量的要求。

参考文献:

- [1] 徐绍铨,程温鸣. GPS 用于三峡库区滑坡监测的研究 [J]. 水利学报,2003(1): 114 - 118.
- [2] 李征航,黄劲松. GPS 测量与数据处理 [M]. 武汉: 武汉大学出版社,2005.
- [3] 李征航,徐绍铨. 全球定位系统(GPS)技术的最新进展 [J]. 测绘信息与工程,2002,2(2): 22 - 25.

- [4] 许其凤. 空间大地测量学 [M]. 北京: 解放军出版社,2001.
- [5] 隋立芬,宋力杰. 误差理论与测量平差基础 [M]. 北京: 解放军出版社,2004.
- [6] Shen Z K, Jackson D D, Ge B X. Crustal deformation across and beyond the Los Angeles basin from geodetic measurements [J]. J. G. R. 1996. 101(B12): 2 7957 - 2 7979.
- [7] Burchfiel B C, Chen Z, Liu Y. et al. Tectonics of the LongmenShan and adjacent regions, central China [J]. Intern. Geological Review, 1997, 37(8): 661 - 735.
- [8] Wessel P, Bercovici D. Interpolation with spline in tension: a Greens Function approach [J]. Mathematical Geology, 1998, 30(1): 77 - 93.

[编辑: 胡 雪]

(上接第 149 页)

4 结束语

本文通过主张将 GIS 业务系统中的地图分组为工作地图组和背景地图组,通过图层、矢量图集、地图服务、影像地图的方式实现对 GIS 业务系统中地图应用的分类与组织,使得系统在运行过程中,通过预先定义地图分组、地图顺序配置、地图样式配置来实现对地图的简单快捷展示,从而为 GIS 业务系统的开发与应用提供一些实际指导,以满足各业务用户的需要。

参考文献:

- [1] 姚真凯. 瓦片地图技术在水利 WebGIS 业务系统中的开发研究与应用 [J]. 浙江水利科技,2009,11(6): 40 - 42.
- [2] 邵全琴,周成虎,张明全,等. 基于图层-地图-图集层次结构的电子地图数据组织方法 [J]. 高技术通讯,2001(3): 53 - 57.
- [3] 王同合. GIS 应用中海量地图数据的组织 [J]. 测绘学院学报,2001,6(2): 141 - 143.

[编辑: 宋丽茹]