

# 滑坡地表位移可视化监测系统的研究

陈文俊, 周 策, 刘一民, 陈 欢

(中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 610081)

**摘要:** 主要介绍研究一种非接触式、可视化监测滑坡方法, 利用近景摄像机在固定测点对滑坡体表面及安装的靶标进行实时监测; 将得到的数字图像进行自动分析处理, 计算出地表的变形量; 然后把数据无线传输到室内监测中心, 结合实时滑坡外貌图像及其它监测参数进行对比印证, 探索实现滑坡全过程监测预警方法。

**关键词:** 滑坡监测; 地表位移; 可视化; 靶标; 图像处理

**中图分类号:** P642.22; TH763 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2013)07-0012-04

**Research on Visual Monitoring System of Landslide Displacement of Ground Surface/CHEN Wen-jun, ZHOU Ce, LIU Yi-min, CHEN Huan** (Institute of Exploration Technology CAGS, Chengdu Sichuan 610081, China)

**Abstract:** In this paper, study of a non-contact method, visual monitoring of landslide, camera in real-time monitoring on the fixed point on the landslide surface and installation of the target using close-range, digital image obtained by automatic processing analysis, to calculate the deformation of the earth's surface, through the wireless transmission to the interior monitoring center, combined with real-time landslide appearance image, compared with other monitoring parameters confirm, exploring the whole process monitoring and early warning of landslide.

**Key words:** landslide monitoring; the surface displacement; visualization method; drone; image processing

随着可视化近景摄影测量技术的发展和成本的降低, 将其应用于滑坡监测的各阶段, 能多点面阵测量, 精度高, 可长时间实时连续监测, 对分析滑坡体的蠕变、位移、突变过程具有可靠详实的依据, 将监测得到的数据与其它组监测参数进行对比印证, 提高地质灾害监测手段的多样化和预警水平。

## 1 系统组成与原理

### 1.1 系统组成

本监测系统由监测靶标、基准靶标、摄影监测仪、无线数据传输设备、监测中心处理软件等组成。测量时, 将摄影监测仪放置在滑坡正对面或者侧面的远处, 实时监视安置在滑坡表面的监测靶标和基岩上的基准靶标, 将得到的数字图像进行自动分析与处理, 计算出不同时间点, 监测靶标和基准靶标之间的距离, 然后换算出滑坡地表变形的位移量。

### 1.2 地表位移计算原理

基准靶标安装在滑坡外的基岩上, 是假设不动的标准点; 多个监测靶标分布安装在滑坡体的表面, 是需要监测的目标点; 基准靶标和监测靶标的图形图案、尺寸大小是精心设计的, 它们在监测所得图像中所占像素数量与自身实际大小有一个比例系数;

本监测系统的软件能从监测图像中自动识别和获取基准靶标和监测靶标之间图像距离的像素数量, 然后经过比例系数自动计算出基准靶标和监测靶标之间的实际距离; 监测靶标在不同时间相对基准靶标不同的距离变化量, 就是滑坡表面的位移变化量。

### 1.3 精度计算举例

本监测系统的精度主要取决于仪器中的工业相机的分辨率, 其次是环境、靶标和图像处理分析算法等, 这里主要以相机分辨率来计算, 分辨率越高精度就越高, 以下是用一个普通工业相机来计算精度。

(1) 系统相机参数: 采用 FTI5001SAM - GE14 黑白摄像头, 分辨率为  $2592 \times 1944$ , 像元尺寸为  $2.2 \mu\text{m} \times 2.2 \mu\text{m}$ ;

(2) 测量系统的物距: 500 m 以内;

(3) 测量系统的视场:  $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ ;

(4) 测量精度:  $X$  方向(横向)单位像素对应长度 =  $20000 \text{ mm} / 2592 < 15 \text{ mm}$  ( $X$  方向分辨率);  $Y$  方向(纵向)单位像素对应长度 =  $20000 \text{ mm} / 1944 < 15 \text{ mm}$  ( $Y$  方向分辨率方向)。

## 2 主要研究内容

### 2.1 摄像机的标定

收稿日期: 2013-06-15

基金项目: 科技部科研院所技术开发研究专项资金项目“崩滑体多参数自动化监测技术研究”

作者简介: 陈文俊(1977-), 男(汉族), 四川西充人, 中国地质科学院探矿工艺研究所高级工程师、软件设计师, 核工程与核技术专业, 从事地质灾害监测技术的研发工作, 四川省成都市金牛区一环路北二段1号, cwj@cgiect.com。

在图像测量过程以及机器视觉应用中,为确定空间物体表面某点的三维几何位置与其在图像中对应点之间的相互关系,必须建立相机成像的几何模型,这些几何模型参数就是相机参数。工业相机 CCD 镜头通常都有一些形变,主要的形变为径向形变,也会有轻微的切向形变。在大多数条件下这些参数必须通过实验与计算才能得到,这个求解参数的过程就称之为相机标定(或摄像机标定)。

相机标定是机器视觉的基础,标定结果的好坏直接决定了机器视觉的系统精度,所以在利用机器视觉对于滑坡表面位移进行精确测量的过程之前,必须对工业相机进行标定。一般来说,工业相机的标定有以下 4 种方法:(1)变焦法;(2)辐射度学模型法;(3)纵横比值  $S_x$  法;(4)基于 OpenCV 的棋盘格标定法。本系统采用的就是基于 OpenCV 的棋盘格标定法。

### 2.2 监测靶标的设计

由于在滑坡监测中测量距离比较远,而且又有自然环境的干扰,要能精确分辨识别出目标标志点,除了对工业相机的要求高,还要设计出容易分辨识别的靶点。监测标志应该具有以下 3 个特点。

标志的图案:需要规则图案,有别于背景图案,有利于软件的搜索识别;

标志的颜色:需要和背景有适当反差,一般用对比度大的两色相间;

标志的材料:影像纸,油漆,塑料,不生锈的金属,必要时用发光材料。

### 2.3 图像处理和分

该系统中,算法模块主要实现在图像中寻找靶标,得到靶标的类型、位置、大小,计算出监测靶标到基准靶标的距离。监测图像处理工作流程见图 1。

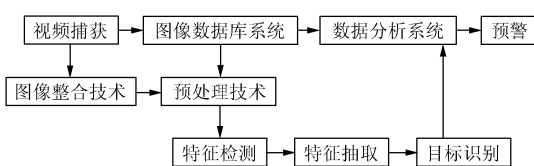


图 1 监测图像处理工作流程

视频捕获:通过摄像系统捕获现场图像信息。

图像数据库系统:对获取的图像信息直接存入图像数据库系统中,便于历史数据的查询。

数据分析系统:对图像数据库系统中的信息进行分析,以满足不同的需要,特别是将来分析灾难时使用。

图像融合技术:对多帧图像信息进行数据融合,

如多帧图像的拼接。

预处理技术:采取图像处理技术,消除图像中的外界干扰等因素影响。

特征检测:从抽取的图像特征中查找需要的滑坡证据,识别滑坡位移等重要信息。

特征抽取:对预处理后的图像,进行特征分析,获取标志的信息。

预警预报:根据滑坡位移数据和相关分析,进行预警预报。

### 2.4 图像分析处理软件的开发

本系统的开发环境是 Microsoft Visual Studio 2008 + sp1,代码使用 C/C++ 语言编写,用户界面的开发基于 MFC 中的对话框,算法主要基于开源图像库 OpenCV 2.3 编写,OpenCV 是一个开源的视觉与图像处理算法库,算法采用 C/C++ 语言编写,调用接口支持 C 和 C++ 方式。软件界面如图 2 所示。



图 2 可视化监测系统的软件界面

该系统大致可以划分为:图像获取模块、靶标检测模块、图像拼接模块、信息查询模块、数据库管理模块以及用户界面模块。各模块的功能及相互关系如下。

(1) 图像获取模块:该模块由拍照系统提供,与检测系统完全独立开来。该模块定时从指定的目录中读取图像用于检测。

(2) 靶标检测模块:该模块是系统的核心部分,其对图片进行处理,获取靶标的位置,并计算相对上一幅图像靶标位置的偏移。

(3) 图像拼接模块:该模块为系统功能的扩展,其提供对两幅图像的拼接功能,使得用户可以方便地获取场景的全景图像。

(4) 信息查询模块:为用户提供历史信息的检索查询功能。

(5) 数据库模块:该模块提供数据库的增、查、删、改功能。

(6) 用户界面模块:该模块提供一个友好的用户操作界面,实现了标题、按钮、工具条等空间的定

制功能,使得界面更加整洁美观。同时,用户可以方便地通过按钮和菜单实现系统的启动、停止、参数设置等操作。用户界面上即时对检测信息和系统运行状态进行显示。

(7)共享资源模块:该模块用于在线程之间进行资源的传递,线程之间对资源进行互斥访问。

在系统模块的设计过程中,遵循“高内聚、低耦合”的设计原则,尽量保持各个模块之间的独立性。系统各模块的结构如图 3 所示。

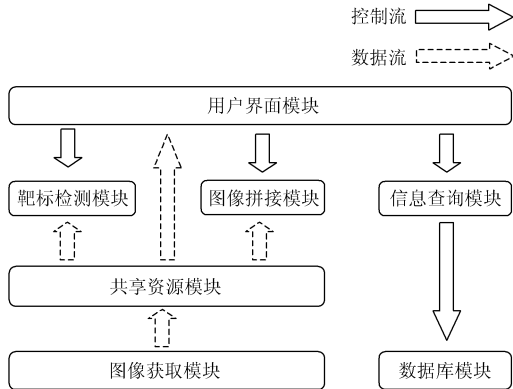


图 3 系统结构示意图

由于在该系统中,靶标检测、图像拼接等算法需要很大的运算量,为了在进行检测的过程中保证用户可以流畅地进行信息查询、系统设置等操作,该系统使用了多线程架构,系统中一共开辟 3 个线程:用户界面线程、靶标检测线程以及图像拼接线程,3 个线程的功能如下。

用户界面线程:即系统的主线程,提供用户与系统的交互功能,如图像以及检测结果的实时显示、历史信息查询、系统参数的设置等。

靶标检测线程:该线程生命周期的长度仅次于用户界面,当用户提供界面启动检测之后,该线程就启动,直到用户手动停止或者退出系统时,其生命终止。

图像拼接线程:该线程为短周期线程,之后当用户进行图像拼接的时候该线程启动,拼接完成后,其生命周期自动结束,直到下一次拼接任务的到来。

为了保证系统运行的安全性和稳定性,3 个线程的任务划分明确,减少了共享资源的情况,从而使系统线程是安全的。图 4 为系统的工作流程图。

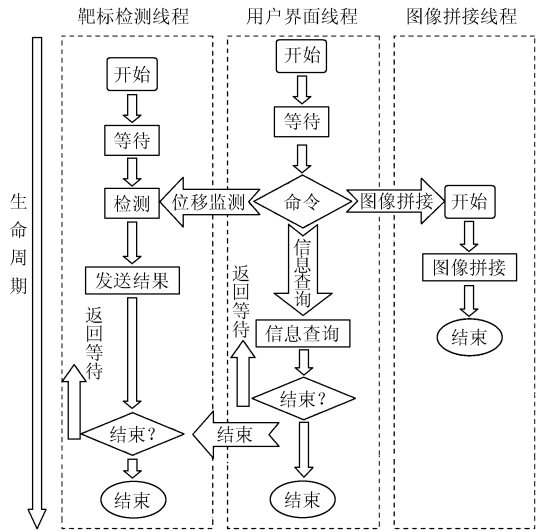


图 4 系统的工作流程图

靶标)、同心正五角形环(监测靶标)、同心正方形环(监测靶标);它们的图案都是 3 个环带,且三环同心,图案的最大外接圆半径都为 20 cm,靶标配色为白底黑环,各自环带的宽度都相等,这样有利于软件识别,如图 5 所示。



图 5 四种不同的靶标图案

因为室内距离较近,光线稳定,干扰因素少,图像清晰易辨,试验比较容易,做出的结果也比较理想,这里简略。

### 3.2 野外试验

本次试验选择三峡库区奉节县陈家沟滑坡的中部(如图 6 椭圆内),现场 4 种图案靶标竖立安装在同一平面,平面所在方向为东偏北 30°(见图 7)。



图 6 监测靶标在滑坡上的位置

在滑坡侧面距离 1 km 处的江岸,对准靶标放置可视化监测仪,对滑坡上的 4 个不同靶标进行图像监测,从摄像机获取监测图像传入电脑(如图 8)。

## 3 室内试验与野外试验

### 3.1 室内试验

经过仔细研究,我们设计的靶标图案有 4 种:同心圆环(基准靶标)、同心正三角形环(监测





图 7 滑坡中部安装的 4 个不同靶标



图 10 分开监测的局部图像 1



图 8 在滑坡侧面对准靶标放置的可视化监测仪器系统



图 11 分开监测的局部图像 2

本次试验分为 2 种方式监测分析图像:第 1 种就是整幅图片完全包含 4 个靶标;第 2 种是分别拍摄几幅不同位置的图片,一幅图片只包含部分靶标。第 1 种可以直接得出 3 个监测靶标与基准靶标之间的距离,后 2 种需要经过本监测系统软件的图像拼接功能,把不同图幅上的多个靶标拼接在同一幅图像上即能算出结果,当然精度就要高些。图 9 ~ 11 是现场监测拍摄的一些图像。



图 9 一个监测图像包含 4 个靶标

在野外试验的过程中,监测结果受一定的环境影响,晴天光线比较好的情况,监测图像清晰,计算结果精度很高;在早晚光线较暗时,图像较暗,计算精度也基本满足要求,只是软件识别目标有时有些差错;雨天和大雾天视线有遮挡时,监测图像较模糊,计算精度稍差。

#### 4 结语

通过对滑坡地表位移可视化监测系统的研究与应用,笔者认为将可视化监测引入地质灾害监测预警领域有着重要的优势和意义。首先它是一种非接触式监测的,在滑坡滑动时仪器不会被损坏的;其次它能够实现滑坡从蠕变到大位移全过程监测,具有完备的数据影像资料;再者可以宏观观测和精确测量相结合,对滑坡的动态有更全面的了解。

虽然本监测系统受一定的环境影响,但随着可视化技术在硬件设备和软件算法的高速发展,这些问题都将逐渐变小和解决。

#### 参考文献:

- [1] 陈欢,周策,刘一民,等. BH-1 型崩滑体多参数自动化监测仪的研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(2).
- [2] 季伟峰,胡时友,宋军. 中国西南地区主要地质灾害及常用监测方法[J]. 中国地质灾害与防治学报,2007,(S1).
- [3] 申杰,刘浩吾,等. 一种新的滑坡可视化方法[J]. 岩石力学与工程学报,2002,21(9):1364-1367.
- [4] 杨国强. GPS 结合近景摄影在山体滑坡监测中的应用研究[J]. 旅游纵览(行业版),2011,(6).
- [5] 杨磊,郭秀娟. 基于特征场景的快速图像匹配方法[J]. 计算机应用,2011,(7).
- [6] 韩延祥,张志胜,戴敏. 用于目标测距的单目视觉测量方法[J]. 光学精密工程,2011,(5).
- [7] 李健,陈长明. 基于 OpenCV 的改进两步法摄像机标定[J]. 计算机应用与软件,2010,(3).
- [8] 张祖勋,张剑清. 数字摄影测量学[M]. 湖北武汉:武汉大学出版社,1997.