

基于摄影测量的矿井巷道围岩变形监测装置

王敬茹 朱元栋

山东科技大学泰安校区

DOI:10.32629/gmsm.v2i4.254

[摘要] 基于摄影测量原理,设计自动、准确监测矿井围岩变形装置,应用近景摄影测量方法采集巷道围岩结构信息,结合双目摄影原理构建巷道围岩三维模型,通过人机交互方式标识围岩体结构面,确定变形规律,实现围岩变形量的精确监测。同时基于分析变形监测数据,建立时间序列模型预测巷道围岩变形量,有助于提前采取加强支护措施。该装置在测量过程中不会对被测测量目标造成损伤,同时内存信息容量大,所用技术可反复使用,不仅可测量静态目标,同时还能测量动态目标,时效性高。

[关键词] 绝对变形量; 摄影测量; 双目摄影原理; 动态目标

引言

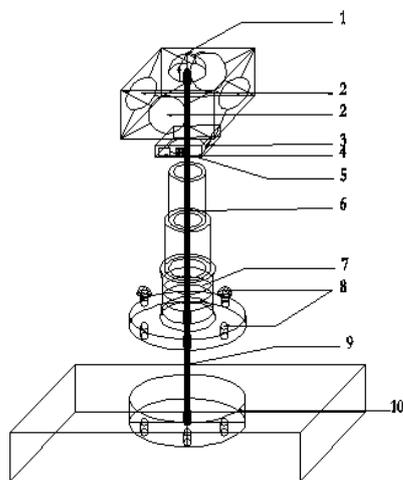
煤矿开采工作大多为地下开采,随采煤生产规模的不断扩大和开采深度的不断增加,受矿山压力的影响,巷道围岩体内部形成了大量随机分布、规模不一的塑性破坏结构弱面,造成深部巷道围岩变形量大,巷道断面收缩严重,影响矿井安全高效生产。

目前,我国矿山测量仪器主要有水准仪和全站仪等,个别矿区依然使用最老式的仪器设备,严重影响矿山测量工作。发展新矿山测量仪器,使其在矿山得以普及,成为当前亟需解决的问题。随着机器视觉、数字图像处理等学科的迅速发展,数字摄影测量技术的出现,测量地质信息采集手段迎来了一次重大革命。通过上世纪八九十年代的研究与推广,数字近景摄影测量已在航天器变形监测、地质测绘、滑坡监测等多个领域得到广泛应用。基于摄影测量与变形检测的相关研究成果,本作品提出了一种基于摄影测量与变形检测的自动矿井巷道围岩变形监测仪,弥补矿井巷道围岩绝对变形量无法监测的空白,有助于实现矿井巷道围岩变形动态监测,为实现巷道围岩变形控制提供技术手段。

1 设计方案

1.1 纯机械结构

总机械系统结构设计,如图1所示:



(1)球形摄像头;(2)摄像头;(3)SD卡插孔/USB接口;(4)存储设备数字输入器;(5)存储设备数字显示屏;(6)可伸缩支撑杆;(7)手握防滑花纹;(8)螺丝孔;(9)对中轴;(10)底座。

图1 “影变哥”总机械图

1.1.1 顶部半圆镜头:上方数据采集系统,半球形设计增大了数据采集范围。

1.1.2 上下分别八个镜头:镜头采用凸出倾角设计,减少镜头的伤损;上下分两层镜头且有一定倾角,增大数据采集面积,提供足够数据。

1.1.3 显示器:显示作用。

1.1.4 键盘:输入作用。用于仪器的设置,功能的切换,数据的导出等操作。

1.1.5 USB/SD 硬盘:输出作用。可用于导入导出相关数据,方便数据的收集、存储与导出。

1.1.6 其它:无线网络连接与使用。在开阔的有无线信号的工作环境中,可设置仪器与电脑无线连接,可实现边测量边绘图的功能。

1.2 测量摄像头

该装置核心部分为测量摄像头,摄像头基于 Sirovision 岩体遥测和结构分析系统,利用双目视觉技术学习人类双眼视觉成像原理,应用数字化影像采集设备模仿人类左右眼从两个不同角度拍摄同一物体。根据同一物点在图像平面中两个像点的坐标差,计算物点在三维空间中的坐标方位,从而实现目标物体三维表面模型的构建。

1.2.1 双目立体视觉三维测量原理

双目立体视觉基于视差,由三角法原理获取物体三维信息,即由两个摄像机的图像平面和被测物体之间构成一个三角形。已知两个摄像机之间的位置关系,便可获得两摄像机公共视场内物体的三维尺寸及空间物体特征点的三维坐标,如图2所示。

下图所示为双目立体成像原理图,两摄像机投影中心连线的距离为基线距离 B 。两摄像机在同一时刻观看时空物体的同一特征点 P ,分别在“左眼”和“右眼”上获取了点 P

的图像, 他们的坐标分别为 $P_{left}=(X_{left}, Y_{left}), P_{right}=(X_{right}, Y_{right})$ 。将两个摄像机拍摄的图像放置在同一平面, 则特征点 P 的图像 Y 坐标一定是相同的, 即 $Y_{left}=Y_{right}=Y$ 。

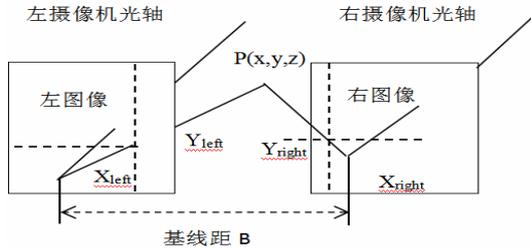


图2 双目立体成像原理图

则视差为: $Disparity=X_{left}-X_{right}$, 由此可以计算出特征点 P 在摄像机坐标系下的三维坐标:

$$\begin{cases} x_c = \frac{B \times X_{left}}{Disparity} \\ y_c = \frac{B \times Y_{left}}{Disparity} \\ z_c = \frac{B \times f}{Disparity} \end{cases}$$

因此, 左摄像机像面上的任意一点只要能在右摄像机像面上找到对应的匹配点, 就完全可以确定该点的三维坐标。这种方法是点对点的运算, 像平面上所有点只要存在对应的匹配点, 就可以参与上述运算, 从而获取对应的三维坐标。

1.2.2 双目立体视觉数学模型

在平视双目立体视觉的三维测量原理基础上, 即可对巷道围岩表面进行测量。设左摄像机 O_l-xyz 位于世界坐标系原点, 且没有发生旋转, 图像坐标系为 $O_l-X_1Y_1$, 有效焦距为 f_l ; 右摄像机坐标系为 O_r-xyz , 图像坐标系为 $O_r-X_2Y_2$, 有效焦距为 f_r 。根据摄像机的投射模型可得到如下关系式:

$$s_1 \begin{bmatrix} f_l & 0 & 0 \\ 0 & f_l & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

空间点三维坐标可以表示为

$$\begin{cases} x = \frac{zX_1}{f_1} \\ y = \frac{zY_1}{f_1} \\ z = \frac{f_1(f_l t_y - Y_l t_x)}{Y_r(r_7 X_1 + r_8 X_1 + f_l r_9) - f_r(r_4 X_1 + r_5 X_1 + f_l r_7)} \end{cases}$$

因此, 只要通过计算机标定技术获得左右计算机内焦距 f_r, f_l 和空间点在右、左摄像机中的图像坐标, 就能够重构出被测点的三维空间坐标。

2 工作原理及性能分析

2.1 基于“影变哥”相机图像的多角度超分辨率测量原理

利用相机从多个角度采集具有一定重叠区域的图像序列, 利用重叠区域内的物体特征, 通过坐标变换模型, 求出图像的对应关系并将多张图片变换到统一坐标系; 对图像进行像素插值, 以得到一张分辨率更高的图像。最后, 对该图像进

行分析, 即可获得更高精度的变形测量分辨率。

2.2 性能分析

将拍摄的数字像对分组导入装置内部 SiroV5 软件, 软件系统自动匹配已检校的像片内方位元素 x_0, y_0, f 软件系统自动检测像片的内方位元素 x_0, y_0, f , 对像对进行内定向, 将像片扫描坐标转化为像片坐标系坐标。

2.3 “影变哥”摄像头对矿井围岩数字化建模

通过同名像点自动搜索匹配或手动拾取匹配, 以图像中同名像点的投影光线对对相交为标准, 对同区域异角度图像进行相对定向, 恢复同组像对的相对位置关系, 生成与目标范围相似的三维数字模型。通过软件自动检索或手动选取拼接参照点, 将不同区域三维数字模型进行拼接, 生成矿井围岩表面三维数字模型。将测量控制点坐标导入软件系统, 以人机交互操作方式将控制点坐标与模型表面控制点标记进行匹配, 借助已知的测量控制点, 可以对模型进行平移、旋转、缩放, 将其纳入大地坐标系, 使其与真实围岩重合。

2.4 矿井围岩稳定性分析

基于真实彩色三维数字模型, 可根据色彩识别原理对围岩进行岩性分析。以济宁市某一矿井为例, 对该装置所拍摄的图像进行分析。

通过数据的分析, 可知该围岩主要分为两种岩性, 左半边大范围以及右侧边墙部位分布大量的黄色断层夹泥。通过人机交互方式, 对围岩结构面进行人工识别、手动标记与产状参数导出。系统中对结构面采用圆盘模型进行标记, 圆盘的圆心坐标、直径, 以及圆盘与掌子面的交线是结构面分析的重要参数。

3 创新点及应用

3.1 装置核心部分为摄像头部分, 其应用 Sirovision 系统建立岩体表面三维模型; 利用双目立体视觉技术的原理对数据进行采集, 利用装置内部装置内部 SiroV5 软件自动检测像片的内方位元素 x_0, y_0, f , 将像片扫描坐标转化为像片坐标系坐标;

3.2 仪器方便快捷易操作, 极大地提高监测工作效率; 仪器外部设有防爆壳, 适用于井下危险的操作环境。

【参考文献】

[1]王佩军,徐亚明.摄影测量学[M].武汉大学出版社,2016:17.
 [2]肖庆生.摄影测量技术及其在航天器变形测量中的应用[J].航天器环境工程,2014,31(6):651-656.
 [3]于英.双目立体工业摄影测量关键技术研究与应用[D].解放军信息工程大学,2010,(02):106.

作者简介:

王敬茹(1997--),女,山东省威海市人,汉族,在读本科,山东科技大学资源与土木工程系测绘工程 2016 级,研究方向为测绘工程。