

遥感影像在矿山排土场安全监测中的应用

刘 伟

(云南磷化集团有限公司, 云南 昆明 650600)

摘 要:为了能够直观地展示排土场分布和形态的特点以及将监测设备布置、监测数据与排土场分布有效结合在一起,将遥感数据融入到排土场监测平台中,形成了基于遥感的排土场监测系统平台.为了解决了多幅影像融合时的变形与亮度问题,利用仿射变法的方法将大区域的遥感数据进行配准、融合成一张影像,并通过矿山的坐标系对融合好的影像进行纠正,保证了影像数据与监测布置的坐标系一致;为了解决遥感数据量大引起的无法在网络上快速浏览的问题,重点研究了图像分割的瓦片技术,将大影像分割为 256×256 的小影像瓦片,基于分割的瓦片数据,利用哈希格网的改进桶球四叉树的方法来建立快速的索引,使得影像浏览、查询的时间大为缩短,进一步利用遥感影像数据与监测设备布置的坐标系一致,将监测设备布置与排土场分布有机地结合在一起,从而可通过监测平台直接查看排土场分布与监测设备的分布,并通过监测设备查询各类型的日常监测数据曲线.遥感影像安全监测平台通过在云南磷化集团的应用,验证理论研究的意义和实际工程应用的价值.

关键词:遥感;排土场;监测;镶嵌配准;瓦片技术

中图分类号:TU454;TB115

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2013.03.003

0 引 言

露天开采是国内外矿山开采的普遍形式,其中露天矿采掘剥离废石排弃的堆积体被称为排土场,它由承纳废石的基底和排弃的散体废石两部分组成.由于一些矿山的剥采比越来越大,导致排土量十分巨大,一些大型排土场的最大垂高达到了 400 m 左右,最大容量达 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[1].露天矿排土场的失稳在我国露天矿山,特别是多雨的南方矿山非常普遍.排土场失稳将导致矿山土场灾害和重大工程事故,不仅影响到矿山的正常生产,也将使矿山蒙受巨大的经济损失^[2].

根据 1991 年对我国的 12 个大型露天矿的排土场及维护现状调查结果表明,露天矿排土场潜在着严重的不稳定因素^[3-4],所以对排土场进行监测以及搭建对应的监测平台十分必要.本文充分利用遥感影像能够高清度的显示排土场分布的特征,将遥感影像和排土场的监测结合起来,形成基于遥感的排土场监测系统平台,并在云南磷化集团得到了应用.

1 遥感监测系统平台构架

1.1 设计理念

平台在建设采用有效沟通、独立建设、有效

集成的理念,通过制定一套遵循标准规范的遥感数据共享服务接口,结合各类专业监测的设备提供的数据,以网络服务(Web Service)的方式发布为标准的数据服务,保证在新增加的监测数据集成行和数据的发布上能有较高的扩展性.

1.2 平台总体架构

排土场遥感监测平台运行在单位的局域网环境中,依据数据层、基础软件层、服务层、应用层的多层体系架构进行搭建,采用服务导向架构(Service-Oriented Architecture,以下简称:SOA)的思想进行各类应用间的聚合^[5],总体构架如图 1 所示.在数据上,最主要的是将遥感影像数据与当地的矿山坐标系进行结合,保证能在系统中进行距离量测、监测点布置等相关工作.在平台上,针对数据量大的特点,为了能够快速浏览数据,需要在网格数据发布的时候采用瓦片技术,从而使浏览的时候只需要调度可视区域的数据,使浏览的速度大幅提升.在监测数据集成方面,通过坐标系统与监测点进行关联,监测点再与监测数据进行关联,从而在遥感平台上面可以直接查看监测点监测到的数据.

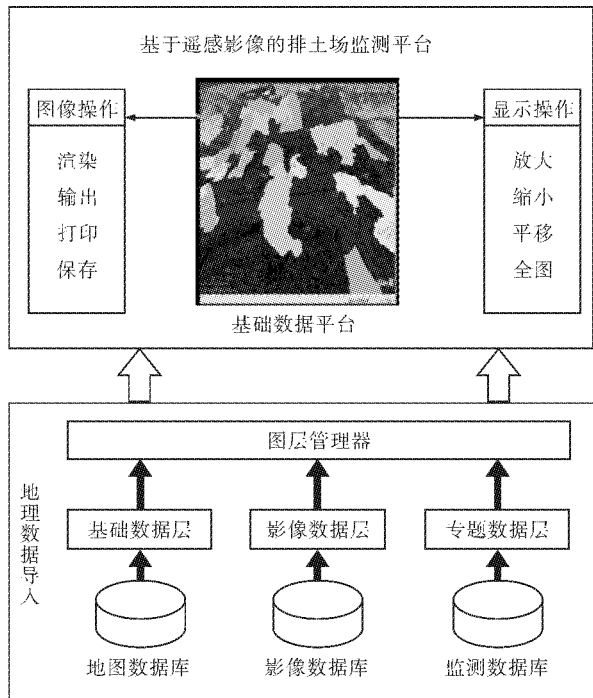


图 1 基于遥感影像的监测平台总体构架

Fig. 1 Overall framework based on remote sensing images monitoring platform

2 关键性技术研究

2.1 遥感数据配准与镶嵌

由于高精度卫星影像每幅数据的范围是一定的,而露天矿山的范围远远大于影像的图幅范围,所以在制作整个矿山区域的遥感数据时就需要将多幅影像进行配准与镶嵌。

遥感影像配准镶嵌流程一般可分为遥感影像预处理、影像配准和影像镶嵌三个步骤,如图 2 所示。在完成处理的过程中,图像配准技术、图像镶嵌技术是图像拼接的两个关键环节。

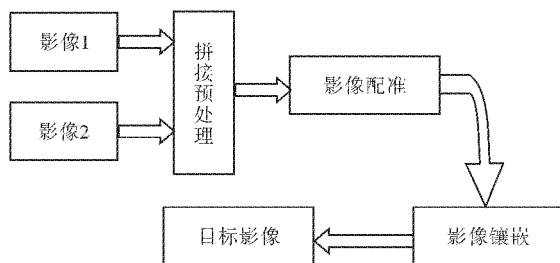


图 2 遥感影像处理流程图

Fig. 2 Remote sensing image processing flow chart

a. 影像的预处理主要解决两幅影像间的色差或者图像增强、平滑等基础图像处理,使得图像的色彩更加能表达关注物体的特征。

b. 影像配准主要解决传感器通过的光路不同或者拍摄时间和成像体制不一样,各幅影像间可能出现相对的平移、旋转、比例缩放等,影像的镶

嵌或融合不能直接处理进行的相关问题。影像配准是指依据一些相似度量决定影像间的变换参数使从不同传感器不同视角不同时间获取的同一场景的两幅或多幅影像变换到同一坐标系下的像素层上得到最佳匹配过程,待配准图像相对于参考图像的配准可以定义为两幅图像在空间和亮度上的映射,两幅图像可以分别用两个二维数组 $I_1(x, y)$ 和 $I_2(x, y)$ 表示,他们分别表达了两幅图像的亮度值(或其他度量值),则两幅图像间的映射可以定义为:

$$I_2(x, y) = g(I_1(f(x, y))),$$

式中: f 为二维空间坐标变换, g 为一维亮度(或其他度量值)变换。最佳空间变换是影像配准的关键,当需要配准多幅影像时,选取其中某一幅影像作为参考影像,其余影像分别相对参考影像进行配准。

c. 影像镶嵌是指将两幅或多幅影像(有可能在不同摄影条件下获得)拼在一起,构成一幅整体图像的技术过程。镶嵌时一个很重要的问题就是在待镶嵌影像的重叠区选取曲线,利用这条曲线将图像拼接起来,待镶嵌的影像按照这条曲线拼接后曲线两侧的亮度变化不显著或最小时,就认为找到该拼接线。

2.2 遥感数据的纠正

对于拼接后遥感影像纠正到对应的矿山坐标系中,一般通过在影像上选取控制点与矿山坐标系中的对应点进行坐标转换,根据对应的关系求得转换参数,并根据这些转换参数来求取影像上其他点的新坐标,以达到坐标纠正的目的。常用的遥感影像几何纠正的数据方法很多,主要包括相似变换法、仿射变换法以及多项式拟合法等。在此采用的是仿射变换法。

仿射变换主要是对图形作绕原点的旋转、比例缩放以及平移等变换。定义二维欧氏空间中的仿射变换为 $\omega: R^2 \rightarrow R^2_f(\xi_k, \eta_k)$ 为变换前二维空间中的一点,其仿射变换后影像上的点为 (x_k, y_k) , 写成矩阵形式^[6]为:

$$\begin{pmatrix} x_k \\ y_k \end{pmatrix} = \omega \begin{pmatrix} \xi_k \\ \eta_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_1 \cos \alpha - u_2 \sin \alpha \\ u_1 \sin \alpha + u_2 \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \xi_k \\ \eta_k \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_0 \\ b_0 \end{pmatrix}$$

式中 a_0, b_0 为平移参数, u_1, u_2 为尺度参数, α 为旋转参数。

控制点的选取对遥感影像的纠正精度有着决定性的影响,高精度控制点的获取至关重要,因此像控制点的采用方式为内业选点后结合外业实地采集的方法。选点依据为影像上房屋、小路夹角、田埂边角或者边界清晰的明显地物点,同时要兼

顾实地采集的可能性,尽量选择交通相对便利、仪器架设方便的地方,一般情况下由于影像拍摄时间和控制点布控时间有一定时间差,导致影像地形与实际地形有出入,因此尽可能选择一些大型房屋的角点作为控制点。

2.3 基于瓦片的遥感数据分块

由于矿山区域的影像数据量十分巨大,如果直接对数据进行浏览,则打开影像的时间会十分漫长,为了解决数据浏览的快速性,采用瓦片技术进行数据分块管理。

2.3.1 基于哈希格网的改进椭球四叉树 基于哈希格网的改进椭球四叉树(Hash Table based Ellipsoidal Quadrees,以下简称:HEQT)空间索引修订了传统椭球四叉树索引方法中切片的剖分方法,采用了等边长(度为单位)的切片剖分方式,使切片的索引可以通过简单的哈希函数计算得到,如图3所示。

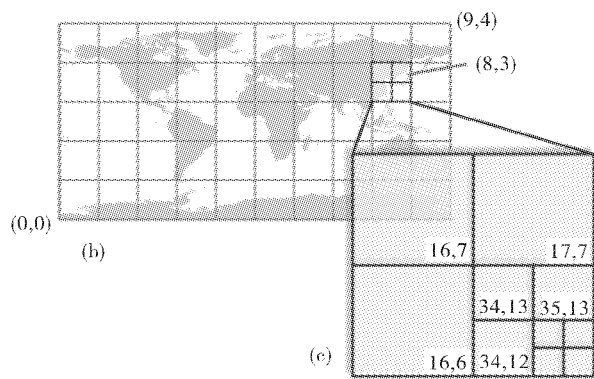


图3 基于哈希格网的改进椭球四叉树(HEQT)示意图

Fig. 3 Schematic diagram of hash table based ellipsoidal quadrees

2.3.2 HEQT 的空间索引 a. 切片大小:设 $S_{(L=0,1,2,\dots,n)}$ 为椭球四叉树各个级别节点切片的大小,以度为单位, L 为级别,0 代表根切片,依此类推,则不同级别的 $S_{(L)}$ 之间存在如下关系: $S_i = S_0 / (2^i)$ (以度为单位)。

b. 切片索引(key):每个切片都可以通过参数 L, Row, Col (四叉树切片的级别,列和行,其中 $L=0,1,2,\dots,n$) 唯一确定,任意切片的 key 可以确定为如下的字符处:

$key = L \& \text{“-”} \& Row \& \text{“-”} \& Col$,也可以通过参数 L, Row, Col 的移位运算求得唯一的整数值作为 key。

切片可以保存在计算机硬盘、网络硬盘或者关系数据库中,根据切片的索引值即可构造保存位置与切片的对应关系。

c. 根据地理位置计算切片索引:经纬度 $longitude, latitude$ 所在切片的行和列 (Row, Col) 为:

$Row =$

$Floor((|-180.0 - longitude| \bmod 360.0) / S_i)$

$Col =$

$Floor((|-90.0 - latitude| \bmod 180.0) / S_i)$

其中 S_i 为当前级别切片的大小. 这样即可根据地理位置获得切片索引,并定位到具体的物理记录。

d. 切片地理坐标和范围的计算:如果已知 L, Row, Col , 则切片左下角的经纬度坐标为 $longitude, latitude$, 有:

$longitude = -180.0 + Row \times S_i$

$latitude = -90.0 + Col \times S_i$

其中 S_i 为当前级别切片的大小。

通过以上关系即可建立基于哈希的格网索引。

2.4 监测数据的融合

在遥感数据准备好的前提下,需要将遥感数据通过坐标与监测布置的相关位置进行关联,然后通过监测位置查询相关的监测数据资料。

针对排土场的监测,根据排土场的生产要求以及变形、破坏几何因素确定排土场的监测内容^[1]如下:监测排土场的沉降压缩变形以及它和时间的相关性;对基底和排土场内部孔隙水压力和降雨量、地表径流量等进行观测;监测排土场某点在三维坐标上的变形与位移量,以及它的影响因素;监测排土场内部不同深度的变形特征和位移;雨量监测,降雨量对排土场失稳、泥石流发生有着重要的诱发作用. 研究排土场产生滑坡和泥石流的边界条件并对排土场滑坡和泥石流进行预报,这些数据通过监测录入到对应的数据库中,然后通过仪器埋设位置与遥感影像的坐标位置进行关联,形成可以基于遥感影像查询的监测数据。

3 工程实例

云南磷化集团有限公司是中国最大的现代化露天磷矿采选企业,建设有昆阳磷矿、海口磷矿、尖山磷矿、晋宁磷矿四座大型露天矿山,原矿的生产能力每年达到 $1\,300 \times 10^4$ t. 拥有 10 多座排土场,所以排土场的监测有着重要的意义。

工程通过利用快鸟卫星遥感影像(QuickBird)对整个矿区排土场进行了管理,对重点的排土场进行了监测数据录入和分析,形成了一套基于遥感影像为基础的监测系统平台。

通过对遥感影像的配置镶嵌与纠正,获得对应的遥感图像,并将遥感影像分割为 256×256 大小的图片,作为数据发布的基础数据源,如图 4 所示.

利用排土场监测平台,将数据录入到平台中,

并通过坐标关系将数据与遥感影像结合,再结合监测的数据值以及排土场的基础信息,形成基于遥感数据的排土场监测系统平台如图 5 所示,通过平台能对排土场基础信息和排土场监测数据进行查询、对排土场面积进行量算等基础操作.

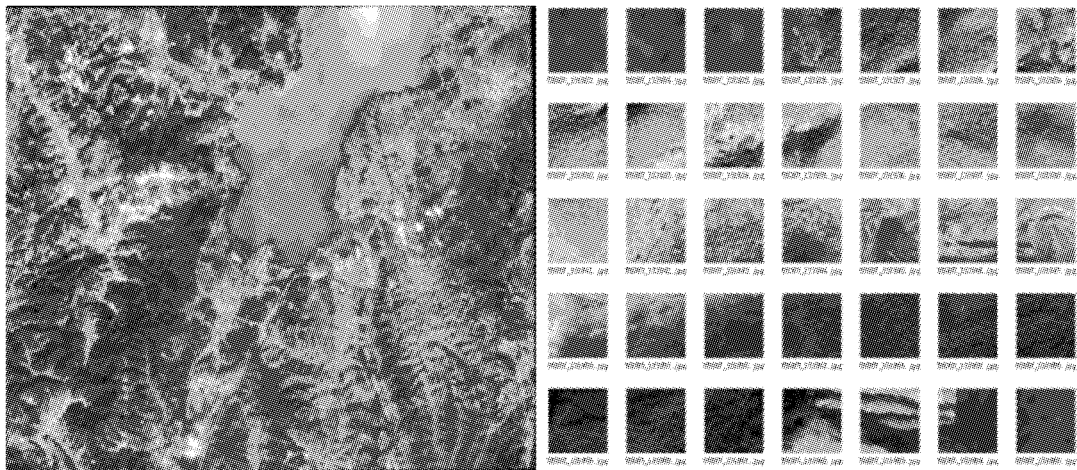


图 4 纠正后的遥感影像与瓦片数据

Fig. 4 Corrected remote sensing image and tile data

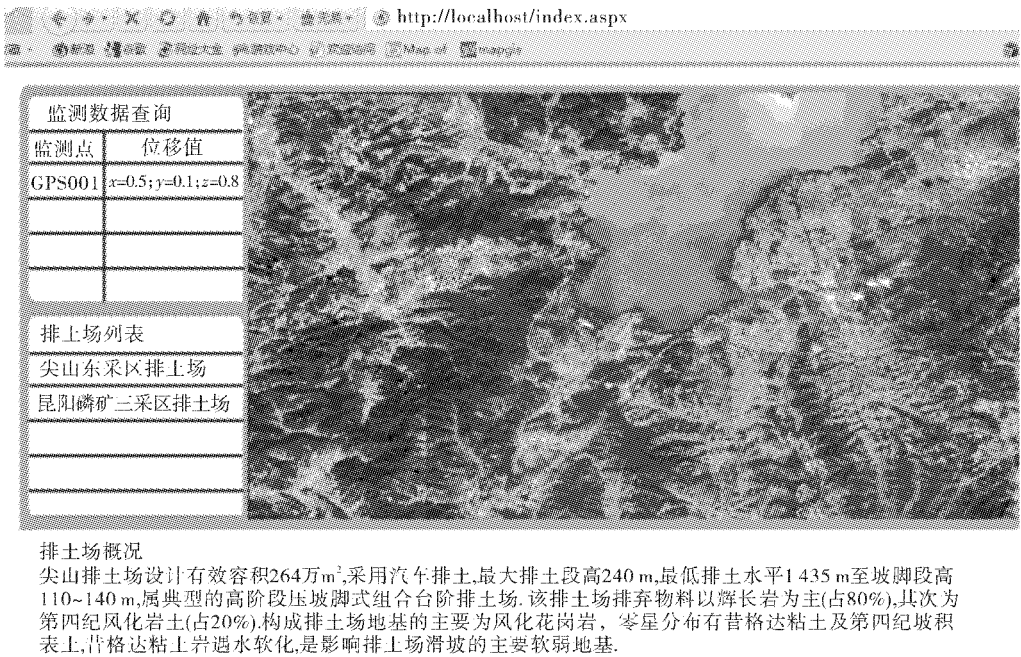


图 5 基于遥感的排土场监测系统界面

Fig. 5 System interface based on remote sensing monitoring system of the waste dump

4 结 语

本文利用遥感数据,用仿射变换对遥感数据进行拼接,形成正射的遥感影像数据,将遥感数据与监测数据进行结合,形成了统一的监测系统平台,基于该平台可以监测数据查询,排土场量测等工作,使得排土场的监测展示更加直观. 作为一个监测平台,还有以下部分需要进一步研究和改进:

- a. 将地质数据与遥感数据相结合,地形与地质对排土场的稳定性有一定影响,将地质数据套合在遥感影像数据中,对工程技术人员研究排土场的稳定有积极意义.
- b. 考虑在数据录入的时候能够接收全自动的监测仪器的录入,对不同类型的自动化监测仪器形成接收数据的标准,保证系统平台的扩展性.

致谢

感谢武汉工程大学李先福团队提供遥感影像以及影像处理!

参考文献:

- [1] 贺跃光. 露天矿山排土场的变形破坏及其监测[J]. 中国锰业, 2002, 20(2): 11-14.
- [2] 廖国华. 边坡稳定[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1995.
- [3] 蔡美峰. 金属矿山当前面临的主要问题及对策[J]. 矿业工程, 2003, 1(1): 40-43.
- [4] 中国岩石力学与工程学会地面岩石工程专业委员会, 中国地质学会工程地质专业委员会. 中国典型滑坡[M]. 北京: 科学出版社, 1988.
- [5] 尹海燕, 魏振华, 王晓辉, 等. 基于 WebGIS 的输电线路实时监测系统[J]. 现代电力, 2009, 26(5): 66-70.
- [6] 李富平, 蔡秀云. 基于迭代函数的图象生成方法的实践与认识[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 1999, 11(1): 82-84.

Application of remote sensing images in mine dump safety monitoring

LIU Wei

(Yunnan phosphate chemical group Co., Ltd, Kunming 650600, China)

Abstract: To intuitively display the characteristics of the form and dump distribution, which are efficiently associated with the monitoring equipment layout and monitoring data, the mine monitoring system platform based on remote sensing was formed by the method of putting remote sensing data into dump monitoring platform. A large area of remote sensing data were under registration and fused into one image by the method of affine political reform to solve the image fusion's problem in distortion and brightness. And the fusion image was modified by using the mine coordinate system to guarantee the consistent coordinate system between the image data and the mine surveying. The tile image segmentation technology, which divided the large image segmentation into 256×256 little image tiles, was focused to solve the problem of the failure of quick browsing on the network, caused by the large amount of remote sensing data. Hash grid improvement ellipsoid quadtree method, based on the integral tiles data, was used to establish rapid index to shorten greatly the image browsing and query time. Further more, the consistency of coordinate system between remote sensing image data and monitoring equipment layout was used to organically combine monitoring equipment layout with dump distribution, which allows to check dump distribution and the distribution of monitoring equipment directly through the monitoring platform, and to inquire the various types of daily monitoring data curve through the monitoring equipment. Remote sensing image safety monitoring platform is applied by Phosphate Group in Yunnan, which verifies the significance of theoretical study and practical value of engineering applications.

Key words: remote sensing image; waste dump; security monitoring; mosaic alignment; tile technology

本文编辑: 苗 变