



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114782847 A

(43) 申请公布日 2022. 07. 22

(21) 申请号 202210694718.X

G06V 20/52 (2022.01)

(22) 申请日 2022.06.20

G06T 7/33 (2017.01)

G06T 7/62 (2017.01)

(71) 申请人 南京航天宏图信息技术有限公司  
地址 210000 江苏省南京市高淳区经济开发  
区古檀大道3号1幢

申请人 中国矿业报社

(72) 发明人 向杰 邹谢华 王宇翔 颜秋宇  
聂大海 朱清 严煦 邢凯  
温鹏飞 陈志勇

(74) 专利代理机构 北京超凡宏宇专利代理事务  
所(特殊普通合伙) 11463  
专利代理师 张萍

(51) Int. Cl.

G06V 20/17 (2022.01)

G06V 20/10 (2022.01)

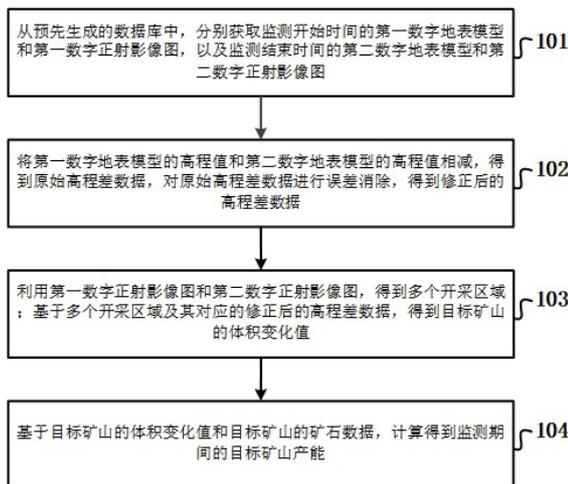
权利要求书2页 说明书10页 附图4页

## (54) 发明名称

一种基于无人机的矿山产能监测方法及装置

## (57) 摘要

本申请提供了一种基于无人机的矿山产能监测方法及装置,涉及矿山监测技术领域,具体为:获取监测开始时间的第一数字地表模型和第一数字正射影像图,以及监测结束时间的第二数字地表模型和第二数字正射影像图;将第一数字地表模型的高程值和第二数字地表模型的高程值相减,得到原始高程差数据,对原始高程差数据进行误差消除,得到修正后的高程差数据;利用第一数字正射影像图和第二数字正射影像图,得到多个开采区域;基于多个开采区域及其对应的修正后的高程差数据,得到目标矿山的体积变化值,由此计算得到监测期间的目标矿山产能。本申请利用无人机遥感技术实现对露天开采矿区产能的动态监测,具有方便、快捷、准确和性价比高的优点。



1. 一种基于无人机的矿山产能监测方法,其特征在于,包括:

从预先生成的数据库中,分别获取监测开始时间的第一数字地表模型和第一数字正射影像图,以及监测结束时间的第二数字地表模型和第二数字正射影像图;

将第一数字地表模型的高程值和第二数字地表模型的高程值相减,得到原始高程差数据,对原始高程差数据进行误差消除,得到修正后的高程差数据;

利用第一数字正射影像图和第二数字正射影像图,得到多个开采区域;基于多个开采区域及其对应的修正后的高程差数据,得到目标矿山的体积变化值;

基于目标矿山的体积变化值和目标矿山的矿石数据,计算得到监测期间的目标矿山产能。

2. 根据权利要求1所述的基于无人机的矿山产能监测方法,其特征在于,所述数据库的生成步骤包括:

采集无人机拍摄的目标矿山的多期影像集;

对每期影像集进行处理,获得每期的数字地表模型和数字正射影像图;

将每期的无人机拍摄时间、数字地表模型和数字正射影像图存入数据库。

3. 根据权利要求2所述的基于无人机的矿山产能监测方法,其特征在于,每期影像集包括多张影像;对每期影像集进行处理,获得每期的数字地表模型,包括:

将带有无人机的拍摄位置信息的每期影像集的多张影像进行对齐,生成点云数据;

去除点云数据中的植被或噪声点;

将点云数据导入ArcGIS工具,采用自然邻域法插值获得数字地表模型;所述数字地表模型包括根据预设分辨率得到的目标矿山地形的多个网格的高程值;

利用预先确定的地面控制点的位置信息,对数字地表模型进行高程值配准。

4. 根据权利要求3所述的基于无人机的矿山产能监测方法,其特征在于,所述将第一数字地表模型的高程值和第二数字地表模型的高程值相减前包括:

将第一数字地表模型与第二数字地表模型进行比对,从第二数字地表模型中选取多个高程值未发生变化且特征明显的点,作为第一数字地表模型的地面控制点;

利用第一数字地表模型的地面控制点的位置信息,对第一数字地表模型的高程值进行配准。

5. 根据权利要求4所述的基于无人机的矿山产能监测方法,其特征在于,将第一数字地表模型的高程值和第二数字地表模型的高程值相减,得到原始高程差数据,对原始高程差数据进行误差消除,得到修正后的高程差数据;包括:

分别获取第一数字地表模型每个网格的高程值和第二数字地表模型每个网格的高程值;

将第二数字地表模型每个网格的高程值减去第一数字地表模型对应网格的高程值,得到每个网格的初始高程差;

计算每个网格的t统计量值t:

$$\delta_{DoD} = \sqrt{\delta z_{new}^2 + \delta z_{old}^2}$$

$$t = \frac{|z_{new} - z_{old}|}{\delta_{DoD}}$$

式中： $\delta_{DOD}$ 为传播误差， $\delta z_{new}$ 为第二数字地表模型的误差； $\delta z_{old}$ 为第一数字地表模型的误差； $z_{new}$ 为第二数字地表模型的所述网格的高程值； $z_{old}$ 为第一数字地表模型的所述网格的高程值；

将所有网格的t统计量值从小到大进行排序，将前5%的t统计量值对应的网格的高程差更新为0，后95%的t统计量值对应的网格的高程差保持不变，得到修正后的高程差数据。

6. 根据权利要求5所述的基于无人机的矿山产能监测方法，其特征在于，基于多个开采区域及其对应的修正后的高程差数据，得到目标矿山的体积变化值；包括：

根据数字地表模型，获取每个开采区域的网格及其对应的修正后的高程差数据；

将每个网格的面积和对应的修正后的高程差数据相乘得到所述网格对应的体积变化值；

将每个开采区域的所有网格的体积变化值相加，得到每个开采区域的体积变化值；

将所有的开采区域的体积变化值相加，得到目标矿山的体积变化值。

7. 根据权利要求6所述的基于无人机的矿山产能监测方法，其特征在于，基于目标矿山的体积变化值和目标矿山的矿石数据，计算得到监测期间的目标矿山产能；包括：

获取目标矿山的矿石数据，矿石数据包括：矿石平均含矿率 $\gamma$ 、矿石平均密度D以及矿石平均品位G；

通过下述公式计算监测期间的目标矿山产能C：

$$C=V \times D \times \gamma \times G$$

其中，V为目标矿山的体积变化值。

8. 一种基于无人机的矿山产能监测装置，其特征在于，包括：

获取单元，用于从预先建立的数据库中，分别获取监测开始时间的第一数字地表模型和第一数字正射影像图，以及监测结束时间的第二数字地表模型和第二数字正射影像图；

第一计算单元，用于将配准后的第一数字地表模型的高程值和配准后的第二数字地表模型的高程值相减，得到原始高程差数据，对原始高程差数据进行误差消除，得到修正后的高程差数据；

第二计算单元，利用第一数字正射影像图和第二数字正射影像图，得到多个开采区域；基于多个开采区域及其对应的修正后的高程差数据，得到目标矿山的体积变化值；

第三计算单元，用于基于目标矿山的体积变化值和目标矿山的矿石数据，计算得到监测期间的目标矿山产能。

9. 一种电子设备，其特征在于，包括：存储器、处理器和存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的计算机程序，所述处理器执行所述计算机程序时实现如权利要求1-7任一项所述的基于无人机的矿山产能监测方法。

10. 一种计算机可读存储介质，其特征在于，所述计算机可读存储介质存储有计算机指令，所述计算机指令被处理器执行时实现如权利要求1-7任一项所述的基于无人机的矿山产能监测方法。

## 一种基于无人机的矿山产能监测方法及装置

### 技术领域

[0001] 本申请涉及矿山监测技术领域,尤其是涉及一种基于无人机的矿山产能监测方法及装置。

### 背景技术

[0002] 如何快速、准确、廉价地开展矿山监测一直是国土资源领域的研究热点。从矿山产业现状来看,多数矿种生产企业数量多、规模小,存在无序发展的现象,下游产业存在产能过剩的现象。因此,对于矿山企业的产能监测对于解决产能过剩、提高产能利用率等问题具有高度指导意义。

[0003] 目前,产能监测方式常采用传统的称重方式,大多数矿山采用人工地磅称重,准确率低,且人工读数误差较大,受工人和管理者的主观影响较大,不利于矿山的治理和发展计划制定。在此基础上,提出利用统计运输车辆的方式进行产能监测,即通过在运输车辆上安装电子计量标签,统计每辆货车的货物类型和货物质量,通过设置多个统计点,建立统计网络,实现对矿山的产能统计。这种方式显著提高了精度,消除了人工测量的误差,但实现起来规模较大,价格较为昂贵,且并不便利。如果某一个统计点出现问题,很难第一时间察觉并处理,导致产能统计错误,后期想要修正错误也需要较为繁杂的过程。设备维护也需要花费大量的人力和财力,对于中小型矿山企业并不实用。

[0004] 传统的人工统计方法存在数据的时间尺度限制性。即时间尺度固定,一旦确定了统计频率,后续若想增加时间精度,只能通过投入大量人员增加统计频率的方式,且对于以往数据不可增加时间精度。而如果始终保持高时间精度,人员和财力的消耗又会成为一项巨大的开支。对于突发情况,如天气环境变化、疫情影响等,无法做出更短期间内的监控,对于矿山的应急处理以及计划制定存在较大的不利影响。

### 发明内容

[0005] 有鉴于此,本申请提供了一种基于无人机的矿山产能监测方法及装置,以解决上述技术问题。

[0006] 第一方面,本申请实施例提供了一种基于无人机的矿山产能监测方法,包括:

从预先生成的数据库中,分别获取监测开始时间的第一数字地表模型和第一数字正射影像图,以及监测结束时间的第二数字地表模型和第二数字正射影像图;

将第一数字地表模型的高程值和第二数字地表模型的高程值相减,得到原始高程差数据,对原始高程差数据进行误差消除,得到修正后的高程差数据;

利用第一数字正射影像图和第二数字正射影像图,得到多个开采区域;

基于多个开采区域及其对应的修正后的高程差数据,得到目标矿山的体积变化值;

基于目标矿山的体积变化值和目标矿山的矿石数据,计算得到监测期间的目标矿山产能。

[0007] 进一步,所述数据库的生成步骤包括:

采集无人机拍摄的目标矿山的多期影像集;

对每期影像集进行处理,获得每期的数字地表模型和数字正射影像图;

将每期的无人机拍摄时间、数字地表模型和数字正射影像图存入数据库。

[0008] 进一步,每期影像集包括多张影像;对每期影像集进行处理,获得每期的数字地表模型,包括:

将带有无人机的拍摄位置信息的每期影像集的多张影像进行对齐,生成点云数据;

去除点云数据中的植被或噪声点;

将点云数据导入ArcGIS工具,采用自然邻域法插值获得数字地表模型;所述数字地表模型包括根据预设分辨率得到的目标矿山地形的多个网格的高程值;

利用预先确定的地面控制点的位置信息,对数字地表模型进行高程值配准。

[0009] 进一步,将第一数字地表模型的高程值和第二数字地表模型的高程值相减前包括:

将第一数字地表模型与第二数字地表模型进行比对,从第二数字地表模型中选取多个高程值未发生变化且特征明显的点,作为第一数字地表模型的地面控制点;

利用第一数字地表模型的地面控制点的位置信息,对第一数字地表模型的高程值进行配准。

[0010] 进一步,将第一数字地表模型的高程值和第二数字地表模型的高程值相减,得到原始高程差数据,对原始高程差数据进行误差消除,得到修正后的高程差数据;包括:

分别获取第一数字地表模型每个网格的高程值和第二数字地表模型每个网格的高程值;

将第二数字地表模型每个网格的高程值减去第一数字地表模型对应网格的高程值,得到每个网格的初始高程差;

计算每个网格的t统计量值t:

$$\delta_{DoD} = \sqrt{\delta z_{new}^2 + \delta z_{old}^2}$$

$$t = \frac{|z_{new} - z_{old}|}{\delta_{DoD}}$$

式中: $\delta_{DoD}$ 为传播误差, $\delta z_{new}$ 为第二数字地表模型的误差; $\delta z_{old}$ 为第一数字地表模型的误差; $z_{new}$ 为第二数字地表模型的所述网格的高程值; $z_{old}$ 为第一数字地表模型的所述网格的高程值;

将所有网格的t统计量值从小到大进行排序,将前5%的t统计量值对应的网格的高程差更新为0,后95%的t统计量值对应的网格的高程差保持不变,得到修正后的高程差数据。

[0011] 进一步,基于多个开采区域及其对应的修正后的高程差数据,得到目标矿山的体积变化值;包括:

根据数字地表模型,获取每个开采区域的网格及其对应的修正后的高程差数据;

将每个网格的面积和对应的修正后的高程差数据相乘得到所述网格对应的体积

变化值；

将每个开采区域的所有网格的体积变化值相加，得到每个开采区域的体积变化值；

将所有的开采区域的体积变化值相加，得到目标矿山的体积变化值。

[0012] 进一步，基于目标矿山的体积变化值和目标矿山的矿石数据，计算得到监测期间的目标矿山产能；包括；

获取目标矿山的矿石数据，矿石数据包括：矿石平均含矿率 $\gamma$ 、矿石平均密度D以及矿石平均品位G；

通过下述公式计算监测期间的目标矿山产能C：

$$C=V \times D \times \gamma \times G$$

其中，V为目标矿山的体积变化值。

[0013] 第二方面，本申请实施例提供了一种基于无人机的矿山产能监测装置，包括：

获取单元，用于从预先建立的数据库中，分别获取监测开始时间的第一数字地表模型和第一数字正射影像图，以及监测结束时间的第二数字地表模型和第二数字正射影像图；

第一计算单元，用于将配准后的第一数字地表模型的高程值和配准后的第二数字地表模型的高程值相减，得到原始高程差数据，对原始高程差数据进行误差消除，得到修正后的高程差数据；

第二计算单元，用于利用第一数字正射影像图和第二数字正射影像图，得到开采区域；基于开采区域的面积和高程差数据得到目标矿山的体积变化值；

第三计算单元，用于基于目标矿山的体积变化值和目标矿山的矿石数据，计算得到监测期间的目标矿山产能。

[0014] 第三方面，本申请实施例提供了一种电子设备，包括：存储器、处理器和存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的计算机程序，所述处理器执行所述计算机程序时实现本申请实施例的基于无人机的矿山产能监测方法。

[0015] 第四方面，本申请实施例提供了一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有计算机指令，所述计算机指令被处理器执行时实现本申请实施例的基于无人机的矿山产能监测方法。

[0016] 本申请利用无人机遥感技术实现对露天开采矿区产能的动态监测，具有方便、快捷、准确和性价比高的优点。

## 附图说明

[0017] 为了更清楚地说明本申请具体实施方式或现有技术中的技术方案，下面将对具体实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图是本申请的一些实施方式，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0018] 图1为本申请实施例提供的技术路线流程图；

图2为本申请实施例提供的基于无人机的矿山产能监测方法的流程图；

图3为本申请实施例提供的DSM和DOM数据处理流程图；

图4为本申请实施例提供的基于无人机的矿山产能监测装置的功能结构图；  
图5为本申请实施例提供的电子设备的结构图。

### 具体实施方式

[0019] 为使本申请实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本申请一部分实施例，而不是全部的实施例。通常在此处附图中描述和示出的本申请实施例的组件可以以各种不同的配置来布置和设计。

[0020] 因此，以下对在附图中提供的本申请的实施例的详细描述并非旨在限制要求保护的本申请的范围，而是仅仅表示本申请的选定实施例。基于本申请中的实施例，本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本申请保护的范围。

[0021] 首先对本申请实施例的设计思想进行简单介绍。

[0022] 目前，矿山产能监测方式存在人力和财力消耗大，且实时性不高的缺点。

[0023] 无人机遥感技术是无人机驾驶飞行器技术、遥感传感器技术、遥测遥控技术、通信技术、POS定位定姿技术和GPS差分定位技术等一系列技术的组合。自上世纪80年代以来，得益于通信技术、计算机技术的快速发展，无人机在性能方面有了极大的提高。利用无人机低空飞行进行遥感测量监测已经形成了一套成熟的技术方法。无人机平台可携带GPS差分定位系统、通信遥控设备以及各种遥感传感器，可进行全天候快速获取地形、地貌、地表影像图、光谱图等遥感信息。

[0024] 与传统的航空遥感相比，无人机是一种全新的遥感测量平台。其具有的优势十分明显，即灵活性高、反应时间短、影像分辨率高、受天气状况限制小等。无人机遥感技术具备以下优点：

1) 操作简单，容易上手。无人机操控性高、操控学习成本低，适合各种人员快速学习上手，灵活性强。无人机可以在复杂的天气条件、地形条件、环境条件下进行正常起降及飞行，适合快速获取环境灾害第一手资料等。并且无人机起飞和降落无需专用的机场跑道，特别适合在地形复杂的山区以及小范围的矿山等场合使用。

[0025] 2) 无人机获取的影像分辨率高。由于无人机遥感技术采用的是低空飞行方式，其携带的相机分辨率可达分米级甚至厘米级。无人机的工作高度一般为300米至1200米，基本不受云层的影响，且对于飞行天气的要求也很低，在恶劣天气条件下也可正常进行飞行，而由于无人驾驶的特性，无人机避免了飞行员的安全问题，可以对危险区域进行详细的探测。根据其搭载的遥感传感器不同，一台无人机可获取不同种类的遥感数据。

[0026] 3) 无人机飞行时间灵活，可以在短期对目标地区进行多次重测，与传统卫星遥感方式相比，不受重访周期的限制，特别适合需要密切观察短时间区域变化的应用场合。

[0027] 4) 成本低廉，性价比高，易于维护。目前无人机技术广泛应用于土地测绘、区域地质调查、灾害应急、灾害监测预警、气象探测、农药喷洒、空中交通管制等领域，在汶川地震、青海玉树地震等灾害应急区域均发挥了出色的作用。

[0028] 基于此，本申请提供了一种基于无人机的矿山产能监测方法及装置，通过对目标矿区进行多期无人机野外调查，利用无人机摄影测量技术获取目标矿区多期高精度的数字

地表模型(digital surface terrain model, DSM)以及数字正射影像图(digital orthophoto map, DOM)。通过预先选取的地面控制点对每期DSM进行配准,建立包含每期DSM和DOM的数据库;再对比选取的监测期间中开始和结束的两幅DOM,选取特征明显且没有发生改变的点作为早期数据的地面控制点对早期DSM进行配准,将两期数据进行匹配;最后利用改进的地形变化算法(DSM of Difference, DoD)计算两期DSM数据之差,并利用转换概率法消除误差,快速计算出矿山开采矿石体积,通过乘以该矿山矿石平均含矿率、矿石平均密度以及矿石平均品位即可得到监测期间的矿石产能。本申请利用无人机遥感技术,具有方便、快捷、准确、性价比高等特点,可以实现对露天开采矿区产能的动态监测,对于中小范围地区的矿山监测具有重要的推广价值。

[0029] 如图1所示,本申请的技术路线为:用无人机对目标矿山进行多期全面的飞行调查,拍摄带有POS信息的高清影像若干幅;利用无人机遥感影像处理软件对采集的高清影像进行预处理,获得目标矿山的DSM数据和DOM数据,并利用地面控制点进行配准;将多期数据汇总,构建目标矿山的多期遥感数据库;确定需要监测的时间期间,从数据库中获取期间开始的数据和期间结束的数据,利用两期DOM数据二次选取地面控制点,对开始期DSM数据进行二次配准提高精度;在此基础上将二者的DSM相减,即获得原始高程差数据。利用改进的地形变化算法,对原始高程差数据存在的传播误差进行t检验概率转换,由用户确定概率阈值,进行误差的消除,并得出矿山体积的变化值;最后再利用矿山的矿石数据,得出监测期间目标矿山的产能。

[0030] 在介绍了本申请实施例的应用场景和设计思想之后,下面对本申请实施例提供的技术方案进行说明。

[0031] 如图2所示,本申请实施例提供了一种基于无人机的矿山产能监测方法,包括:

步骤101:从预先生成的数据库中,分别获取监测开始时间的第一数字地表模型和第一数字正射影像图,以及监测结束时间的第二数字地表模型和第二数字正射影像图;

其中,数据库的生成步骤包括:

获取无人机拍摄的目标矿山的多期影像集,并在特征明显且无变化的区域测定地面控制点的位置;

对每期影像集进行处理,获得每期的数字地表模型(DSM)和数字正射影像图(DOM);

如图2所示,DOM和DSM的获取方式采用如下步骤:

在PhotoScan软件中将带有POS信息(无人机的拍摄位置)的影像对齐,生成点云数据;

利用cloud compare软件去除点云数据中的植被或噪声点;

将点云数据导入ArcGIS软件,采用自然邻域法插值获得DSM;

利用预先选取的地面控制点的位置信息,对DSM数据进行数据配准;

其中,利用地面控制点的对DSM数据进行配准是常规技术手段,在此不详细阐述。

[0032] 无人机数据处理采用PhotoScan软件,流程化处理获得目标矿山DOM;

建立多期数据库需包含时间戳、DOM、利用地面控制点配准的DSM。

[0033] 步骤102:将第一数字地表模型的高程值和第二数字地表模型的高程值相减,得到原始高程差数据,对原始高程差数据进行误差消除,得到修正后的高程差数据;

在该步骤前,需要对第一数字地表模型和第二数字模型进行配准:

将第一数字地表模型与第二数字地表模型进行比对,从第二数字地表模型中选取多个高程值未发生变化且特征明显的点,作为第一数字地表模型的地面控制点;利用第一数字地表模型的地面控制点的位置信息,对第一数字地表模型的高程值进行配准。

[0034] 具体的,该步骤包括:

分别获取第一数字地表模型每个网格的高程值和第二数字地表模型每个网格的高程值;

将第二数字地表模型每个网格的高程值减去第一数字地表模型对应网格的高程值,得到每个网格的初始高程差;

计算每个网格的t统计量值t:

$$\delta_{DoD} = \sqrt{\delta z_{new}^2 + \delta z_{old}^2}$$

$$t = \frac{|z_{new} - z_{old}|}{\delta_{DoD}}$$

式中: $\delta_{DoD}$ 为传播误差, $\delta z_{new}$ 为第二数字地表模型的误差; $\delta z_{old}$ 为第一数字地表模型的误差; $z_{new}$ 为第二数字地表模型的所述网格的高程值; $z_{old}$ 为第一数字地表模型的所述网格的高程值;

将所有网格的t统计量值从小到大进行排序,将前5%的t统计量值对应的网格的高程差更新为0,后95%的t统计量值对应的网格的高程差保持不变,得到修正后的高程差数据。

[0035] 步骤103:利用第一数字正射影像图和第二数字正射影像图,得到多个开采区域;基于多个开采区域及其对应的修正后的高程差数据,得到目标矿山的体积变化值;

本实施例中,该步骤包括:

根据数字地表模型,获取每个开采区域的网格及其对应的修正后的高程差数据;

将每个网格的面积和对应的修正后的高程差数据相乘得到所述网格对应的体积变化值;

将每个开采区域的所有网格的体积变化值相加,得到每个开采区域的体积变化值;

将所有的开采区域的体积变化值相加,得到目标矿山的体积变化值。

[0036] 步骤104:基于目标矿山的体积变化值和目标矿山的矿石数据,计算得到监测期间的目标矿山产能;

在本实施例中,目标矿山的矿石数据包括矿石平均含矿率、矿石平均密度以及矿石平均品位;

获取目标矿山的矿石数据,矿石数据包括:矿石平均含矿率 $\gamma$ 、矿石平均密度D以及矿石平均品位G;

通过下述公式计算监测期间的目标矿山产能C:

$$C = V \times D \times \gamma \times G$$

其中,V为目标矿山的体积变化值。

[0037] 下面以北京首云铁矿为例,对该矿山进行基于无人机技术开展矿山产能监测包括

以下步骤:

1) 进行无人机勘探,采集北京首云铁矿矿山的高清影像数据:

北京首云铁矿位于北京市密云区巨各庄镇境内,属于密云铁矿的一部分,地形属于较典型的丘陵地带。首云铁矿开采方式为露天开采,矿区开采面积约为1.5平方千米,平均海拔为200米,矿区植被稀少。选定的监测时间区间为2014年8月-2016年10月,在开始期和结束期均进行了无人机飞行,两次无人机调查均采用台湾观天科技生产的X5型小型电动固定翼无人机,搭载有Sony QX100镜头。两次飞行海拔均设定为450米,航向重叠率80%,旁向重叠率60%。在2014年8月的飞行中获取了带有POS信息的影像499张;2016年10月的飞行中获取了带有POS信息的影像674张。同时利用DGPS在特征明显且无变化的区域测定了7个地面控制点,用于后续图像配准工作。

[0038] 2) 无人机数据处理

利用专业软件对无人机获取的高清影像数据进行处理,目的是获取首云矿山高精度的DSM和高空间分辨率的DOM。近年来,随着无人机遥感技术愈发成熟,市面上涌现出一大批适用于无人机遥感影像的处理软件,国内如DPMatrix、DPGrid等,国外有PhotoScan、Inpho和Pix4Dmapper等。本申请采用PhotoScan V1.2.5进行处理。其中:

DOM的获取利用PhotoScan V1.2.5进行流程化处理生成;DSM的获取方式采用如下步骤:①在PhotoScan工具中将带有POS信息的影像对齐,生成点云数据;②利用cloud compare工具去除点云数据中的植被或噪声点;③将点云数据导入ArcGIS工具,采用自然邻域法插值获得DSM。

[0039] 由于本案例中数据不足,且监控期间明确,因此未进行数据库的构建。实际操作过程中,可以定期获取无人机遥感影像数据,构建具备一定时间频率的数据库,用来动态的确定监控期间,进而动态监测矿山产能。

[0040] 3) DSM本身的配准以及两期DSM之间的配准

因为地形变化计算需要两期DSM相减得出,因此两期DSM之间的配准工作尤为重要。本申请首先采用2016年10月对目标矿山利用DGPS获取的7个地面控制点进行2016年DSM数据的配准;进一步的,在已配准完成的2016年数据基础上,对比2014年的DOM影像和2016年的DOM影像,选取特征明显且未发生改变的点作为2014年数据的地面控制点;最后利用选取出来的10个地面控制点对2014年DSM数据进行配准。此配准方法不仅解决了2014年地面控制点缺失的问题,也将两期DSM数据进行匹配,提高了地形变化的精度。

[0041] 4) 利用改进的地形变化算法计算地形变化,并消除传播误差

由于DSM在表示实际地表模型时存在不确定性 $\delta_z$ ,即

$$Z_{real} = Z_{DSM} \pm \delta_z$$

式中: $Z_{real}$ 表示实际地表的高程; $Z_{DSM}$ 表示DSM数据所表示的高程值; $\delta_z$ 表示单幅DSM存在的误差。通常 $\delta_z$ 会受到很多因素的影响,如采样密度、测量误差、插值方法等。

[0042] 为了提高矿山产能计算的精度,消除传播误差对高程差结果的影响,采用下述步骤对原始的高程差结果进行修正:

分别获取第一数字地表模型每个网格的高程值和第二数字地表模型每个网格的高程值;

将第二数字地表模型每个网格的高程值减去第一数字地表模型对应网格的高程值,得到每个网格的初始高程差;

计算每个网格的t统计量值t:

$$\delta_{DoD} = \sqrt{\delta z_{new}^2 + \delta z_{old}^2}$$

$$t = \frac{|z_{new} - z_{old}|}{\delta_{DoD}}$$

式中: $\delta_{DoD}$ 为传播误差, $\delta z_{new}$ 为第二数字地表模型的误差; $\delta z_{old}$ 为第一数字地表模型的误差; $z_{new}$ 为第二数字地表模型的所述网格的高程值; $z_{old}$ 为第一数字地表模型的所述网格的高程值;

将所有网格的t统计量值从小到大进行排序,将前5%的t统计量值对应的网格的高程差更新为0,后95%的t统计量值对应的网格的高程差保持不变,得到修正后的高程差数据。

[0043] 5) 体积变化计算及产能计算

通过4)获得的修正后的高程差数据,定量计算出首云矿山在监测期间的矿山体积变化量为:

堆积:1,262,525立方米;开挖:-14,556,857立方米;总体积变化:-13,294,332立方米。

[0044] 根据目标矿山的矿石数据包括矿石平均含矿率、矿石平均密度以及矿石平均品位,进行矿山的产能计算。本案例中首云矿山的矿山数据如下:

铁矿石平均密度:4.8 t/m<sup>3</sup>

铁矿石平均含矿率:10%

铁矿石平均品位:30%

矿山产能计算公式为:

$$C = V \times D \times \gamma \times G ;$$

式中:C:矿山产能(t);

V:矿山监测期间体积变化(m<sup>3</sup>);

D:矿石平均密度(t/m<sup>3</sup>);

$\gamma$ :矿石平均含矿率(%);

G:矿石平均品位(%)

计算结果:通过查询首云铁矿2014年8月-2016年10月间的开采报告,首云铁矿监测期间实际开采量约为180万t。通过本发明方式计算得出的开采量为1,914,384 t,与实际结果十分接近,误差约为6.4%。

[0045] 采用本实施例的基于无人机的矿山产能监测方法,最终计算得出的产能数据与实际数据误差仅为6.4%,证实了该方法的实用性。在实际操作中,本实施例的方法不仅准确度高,可信性强,并且与传统方法相比具有时空灵活度高、操作简便、快捷、性价比高等优势,并且监测期间可由用户自主制定,实现了矿山产能的动态监测。由于无人机续航能力等问题,本实施例的方法相比下更适用于中小范围的露天开采矿山,可以实现中小型露天开采矿山的持续监测,减轻了人员劳动强度及产能监测投入,大大提高了工作效率和产能数据

的可靠性,对矿山动态产能监测具有指导意义。

[0046] 基于上述实施例,本申请实施例提供了一种无人机的矿山产能监测装置,参阅图4所示,本申请实施例提供的一种无人机的矿山产能监测装置200至少包括:

获取单元201,用于从预先建立的数据库中,分别获取监测开始时间的第一数字地表模型和第一数字正射影像图,以及监测结束时间的第二数字地表模型和第二数字正射影像图;

第一计算单元202,用于将配准后的第一数字地表模型的高程值和配准后的第二数字地表模型的高程值相减,得到原始高程差数据,对原始高程差数据进行误差消除,得到修正后的高程差数据;

第二计算单元203,用于利用第一数字正射影像图和第二数字正射影像图,得到开采区域;基于开采区域的面积和高程差数据得到目标矿山的体积变化值;

第三计算单元204,用于基于目标矿山的体积变化值和目标矿山的矿石数据,计算得到监测期间的目标矿山产能。

[0047] 需要说明的是,本申请实施例提供的基于无人机的矿山产能监测装置200解决技术问题的原理与本申请实施例提供的基于无人机的矿山产能监测方法相似,因此,本申请实施例提供的基于无人机的矿山产能监测装置200的实施可以参见本申请实施例提供的基于无人机的矿山产能监测方法的实施,重复之处不再赘述。

[0048] 如图5所示,本申请实施例提供的电子设备300至少包括:处理器301、存储器302和存储在存储器302上并可在处理器301上运行的计算机程序,处理器301执行计算机程序时实现本申请实施例提供的基于无人机的矿山产能监测方法。

[0049] 本申请实施例提供的电子设备300还可以包括连接不同组件(包括处理器301和存储器302)的总线303。其中,总线303表示几类总线结构中的一种或多种,包括存储器总线、外围总线、局域总线等。

[0050] 存储器302可以包括易失性存储器形式的可读介质,例如随机存储器(Random Access Memory, RAM) 3021和/或高速缓存存储器3022,还可以进一步包括只读存储器(Read Only Memory, ROM) 3023。

[0051] 存储器302还可以包括具有一组(至少一个)程序模块3025的程序工具3024,程序模块3025包括但不限于:操作子系统、一个或者多个应用程序、其它程序模块以及程序数据,这些示例中的每一个或某种组合中可能包括网络环境的实现。

[0052] 电子设备300也可以与一个或多个外部设备304(例如键盘、遥控器等)通信,还可以与一个或者多个使得用户能与电子设备300交互的设备通信(例如手机、电脑等),和/或,与使得电子设备300与一个或多个其它电子设备300进行通信的任何设备(例如路由器、调制解调器等)通信。这种通信可以通过输入/输出(Input /Output, I/O)接口305进行。并且,电子设备300还可以通过网络适配器306与一个或者多个网络(例如局域网(Local Area Network, LAN),广域网(Wide Area Network, WAN)和/或公共网络,例如因特网)通信。如图5所示,网络适配器306通过总线303与电子设备300的其它模块通信。应当理解,尽管图5中未示出,可以结合电子设备300使用其它硬件和/或软件模块,包括但不限于:微代码、设备驱动器、冗余处理器、外部磁盘驱动阵列、磁盘阵列(Redundant Arrays of Independent Disks, RAID)子系统、磁带驱动器以及数据备份存储子系统。

[0053] 需要说明的是,图5所示的电子设备300仅仅是一个示例,不应对本申请实施例的功能和使用范围带来任何限制。

[0054] 本申请实施例还提供了一种计算机可读存储介质,该计算机可读存储介质存储有计算机指令,该计算机指令被处理器执行时实现本申请实施例提供的基于无人机的矿山产能监测方法。

[0055] 此外,尽管在附图中以特定顺序描述了本申请方法的操作,但是,这并非要求或者暗示必须按照该特定顺序来执行这些操作,或是必须执行全部所示的操作才能实现期望的结果。附加地或备选地,可以省略某些步骤,将多个步骤合并为一个步骤执行,和/或将一个步骤分解为多个步骤执行。

[0056] 尽管已描述了本申请的优选实施例,但本领域内的技术人员一旦得知了基本创造性概念,则可对这些实施例作出另外的变更和修改。所以,所附权利要求意欲解释为包括优选实施例以及落入本申请范围的所有变更和修改。

[0057] 最后应说明的是:以上各实施例仅用以说明本申请的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述各实施例对本申请进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本申请各实施例技术方案的范围。

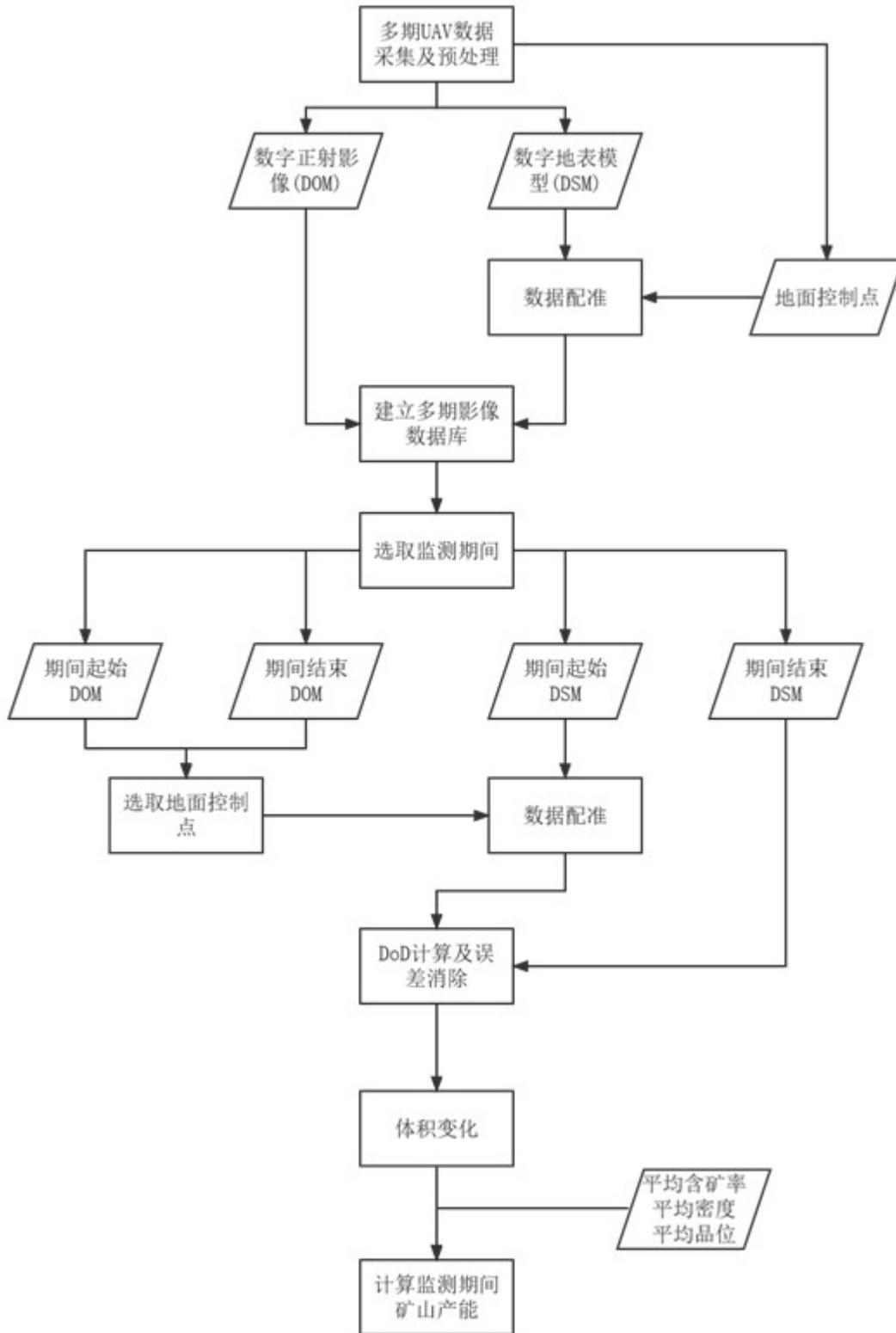


图1

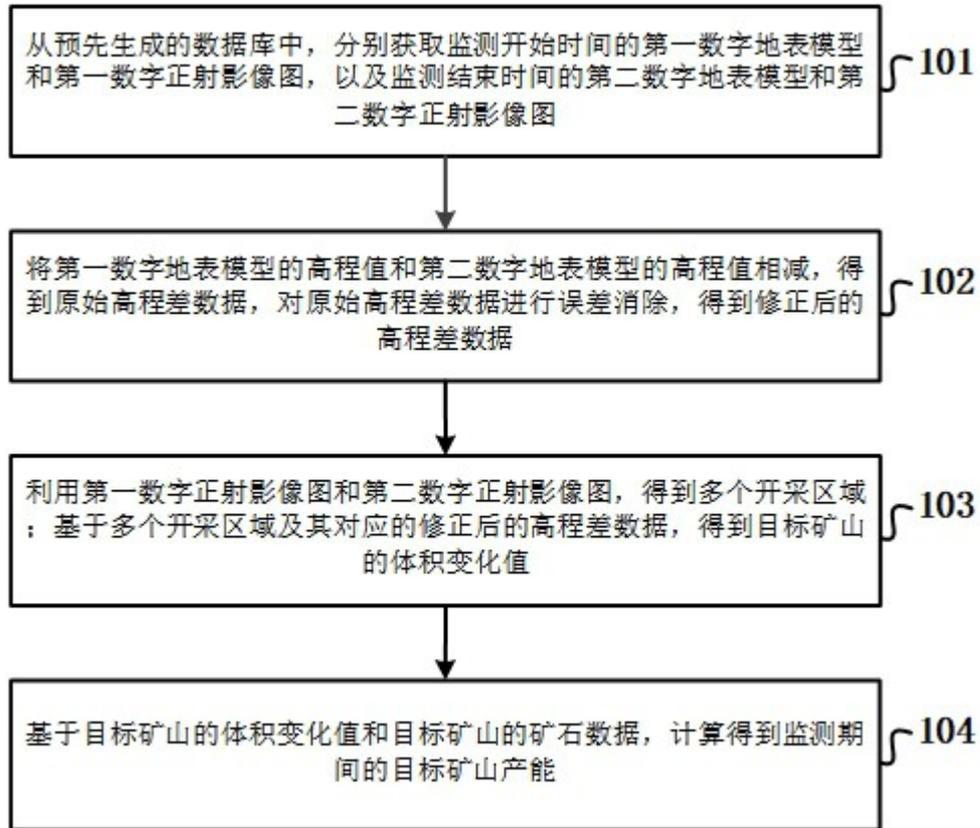


图2

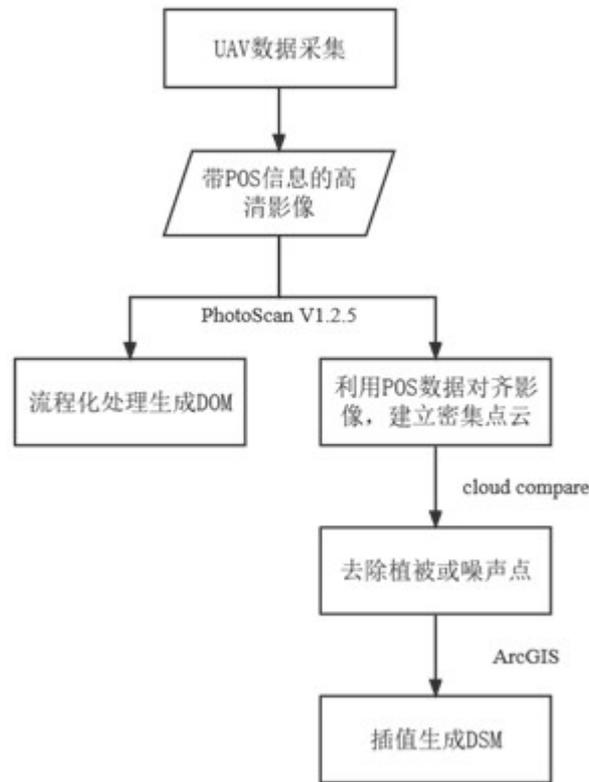


图3

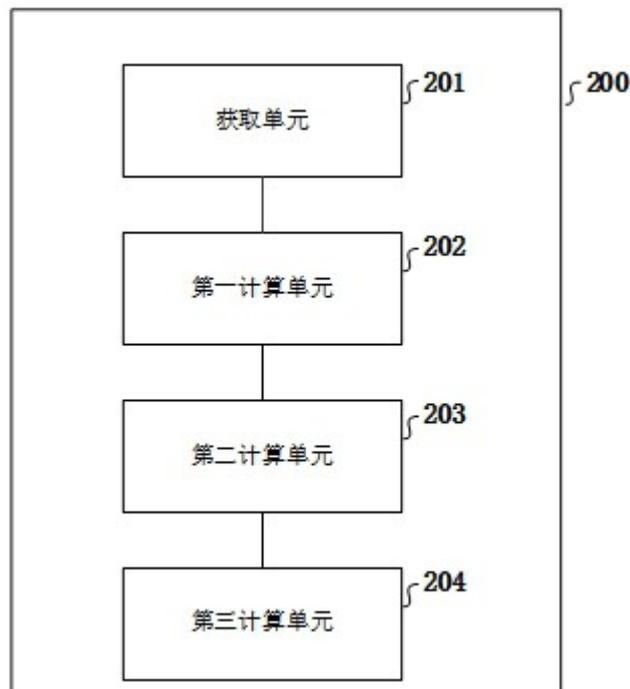


图4

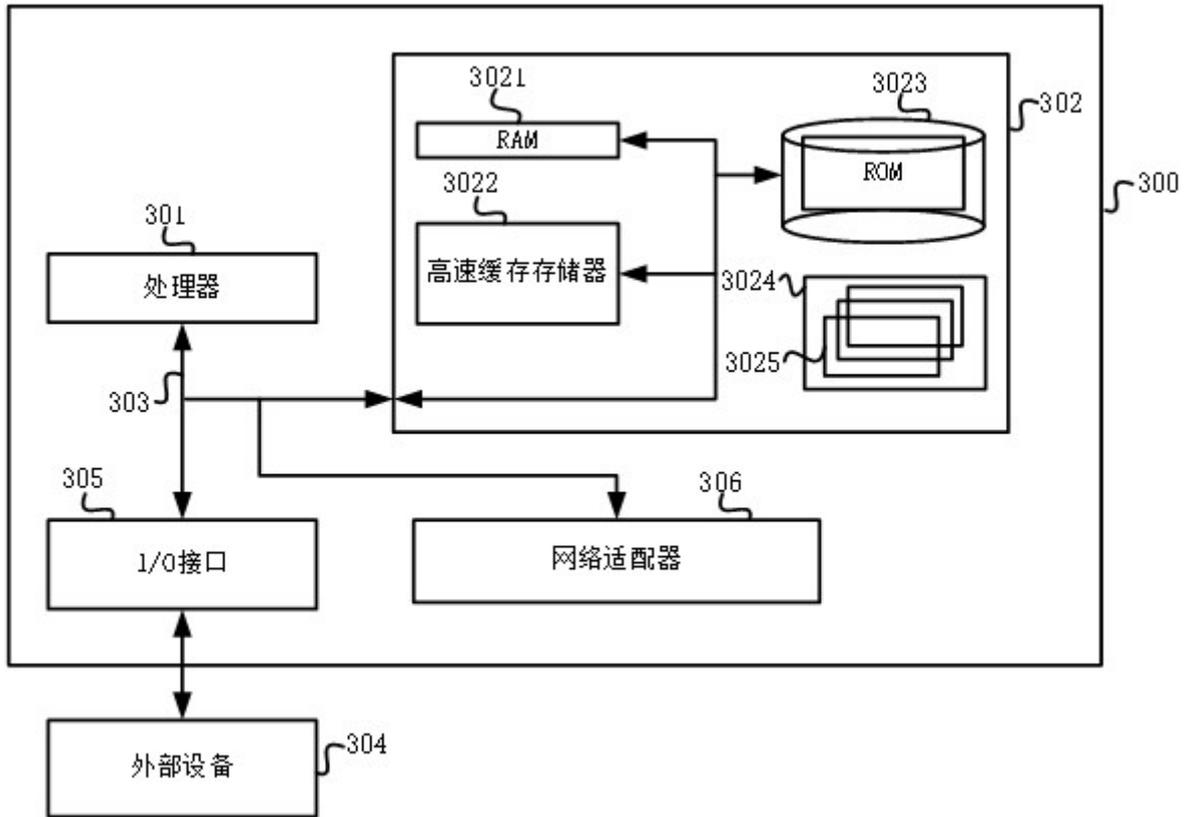


图5