(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 117724089 A
(43)申请公布日 2024.03.19

(21)申请号 202311816853.8

(22)申请日 2023.12.27

(71)申请人 北京建筑大学
地址 100044 北京市西城区展览馆路1号
申请人 北京申信达成科技有限公司

(72)发明人 郭明 张潇澜 高楚天 郭可才

(74)专利代理机构 北京远大卓悦知识产权代理有限公司 11369
专利代理师 史霞

(51)Int.Cl.
G01S 13/86(2006.01)
G06T 7/33(2017.01)
G06V 10/26(2022.01)
G06V 10/774(2022.01)
G01S 13/88(2006.01)
G01S 19/39(2010.01)
G01C 21/16(2006.01)

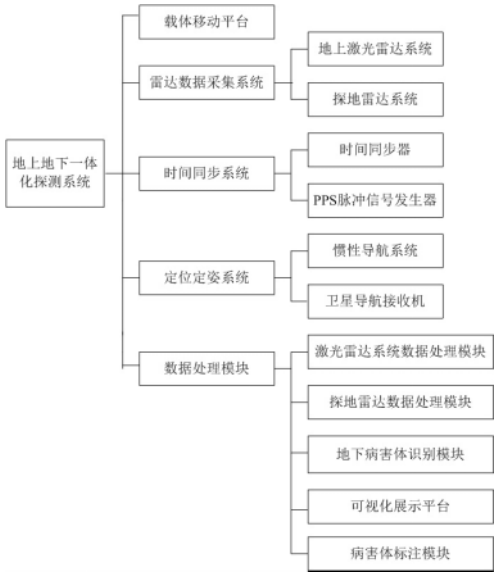
权利要求书3页 说明书12页 附图6页

(54)发明名称

地上地下一体化智能移动探测系统

(57)摘要

本发明公开了一种地上地下一体化移动探测系统,包括:载体移动平台;雷达数据采集系统,其包括地上激光雷达系统和探地雷达系统;定位定姿系统,其包括结合使用的惯性导航系统和卫星导航接收机;时间同步系统,其用于给雷达数据采集系统和惯性导航系统提供统一的时间基准,其中,将惯性导航系统、三维激光扫描仪、探地雷达以及时间同步器进行集成,从而使采集到的不同数据实现时间和空间上的对齐;数据处理模块,其对获取的地面物体三维信息数据和地下三维信息数据进行处理,并进行同步融合,生成连续统一的三维模型。该系统能够对地上空间和地下空间同时进行移动探测,并实时进行数据处理和融合,生成连续、统一的地上地下一体化三维模型图。



CN 117724089 A

1.地上地下一体化移动探测系统,其特征在于,包括:

载体移动平台;

雷达数据采集系统,其设置在所述载体移动平台上,包括:用于获取地面物体三维信息数据的地上激光雷达系统和用于获取地下三维信息数据的探地雷达系统;

定位定姿系统,其设置在所述载体移动平台上,包括结合使用的惯性导航系统和卫星导航接收机,用于连续记录所述载体移动平台运动过程中的位置和姿态数据;

时间同步系统,其设置在所述载体移动平台上,用于给所述雷达数据采集系统和所述惯性导航系统提供统一的时间基准,其中,将所述惯性导航系统、所述地上激光雷达系统中的三维激光扫描仪、所述探地雷达系统中的探地雷达以及所述时间同步系统中的时间同步器进行集成,从而使采集到的不同数据实现时间和空间上的对齐;

数据处理模块,其与所述雷达数据采集系统和所述定位定姿系统连接,所述数据处理模块对获取的地面物体三维信息数据和地下三维信息数据进行处理,并进行同步融合,生成连续统一的三维模型。

2.如权利要求1所述的地上地下一体化智能移动探测系统,其特征在于,所述数据处理模块包括激光雷达系统数据处理模块,对获取的地面物体三维信息数据进行处理,具体过程为:

对所述三维激光扫描仪获取的原始点云数据进行预处理,得到WGS84坐标系统下的激光点云数据;

通过深度神经网络模型提取激光点云数据中重叠区域的同名特征,并结合多约束特征配准方法,识别和纠正激光点云数据中的偏差,得到纠正配准后的激光点云数据;

获取所述地上激光雷达系统中的多相机系统采集的纹理影像和色彩信息,与纠正配准后的激光点云数据相结合,并利用2D影像数据进行3D点云的语义分割方法,得到真彩色点云的三维图像;

其中,在所述地上激光雷达系统采集地面物体的三维信息数据前,需采用特征点校验和特征面校验相融合的方法对所述地上激光雷达系统进行整体校验。

3.如权利要求1所述的地上地下一体化智能移动探测系统,其特征在于,所述数据处理模块还包括探地雷达数据处理模块,对地下三维信息数据进行处理,具体过程为:

获取所述探地雷达探测的回波数据;

数据预处理:使用子空间分解算法对获取的回波数据进行地下目标特征提取和降维处理,以滤除噪声和干扰;

稀疏性特征提取:对预处理过的数据进行字典学习,得到表示地下目标形态特征的稀疏性特征,所述地下目标形态包括管线、井以及地下病害;

生成三维模型:使用有限差分时域方法模拟所述探地雷达信号在地下介质中的传播和相互作用,根据获取的地下目标在WGS84坐标系统下的坐标,自动生成能被有限差分时域方法读取的文件,经处理生成三维仿真模型,实现地下目标模型在空间上的同步,所述文件包括地下目标的位置坐标、大小,介电常数以及电磁波的频率。

4.如权利要求1所述的地上地下一体化智能移动探测系统,其特征在于,所述时间同步系统还包括用以产生PPS脉冲信号的信号发生器,所述时间同步器包括卫星授时接收芯片和微控制器,所述用于给所述雷达数据采集系统和所述惯性导航系统提供统一的时间基

准,具体过程为:

所述卫星导航接收机接收卫星时间信号和PPS脉冲信号,然后将卫星时间信号传输给所述时间同步器中的卫星授时接收芯片,同时将PPS脉冲信号传输给所述时间同步器中的微控制器;

所述微控制器将卫星时间信号转换为时间戳,同时将PPS脉冲信号经过处理后传输给所述惯性导航系统和所述雷达数据采集系统。

5.如权利要求2所述的地上地下一体化智能移动探测系统,其特征在于,所述采用特征点校验和特征面校验相融合的方法对所述地上激光雷达系统进行整体校验,具体包括:

特征点校验:在进行道路扫描时,需要在道路的两侧放置含参标靶,并确保含参标靶的朝向是可以被扫描的角度,具体为:使用高精度全站仪对含参标靶进行定位,获取其坐标,然后所述三维激光扫描仪对含参标靶进行扫描,扫描的点云坐标根据所述高精度全站仪所获取的坐标数据进行修正;

特征面校验:对所述三维激光扫描仪采集到的点云数据进行特征面校验,包括检测地物表面的平面、曲面或其它几何特征;

将特征点和特征面的校验结果与地理参考系统的测量数据通过扩展卡尔曼滤波器算法进行融合校验,从而实现整体校验。

6.如权利要求2所述的地上地下一体化智能移动探测系统,其特征在于,对所述三维激光扫描仪获取的原始点云数据进行预处理,得到WGS84坐标系统下的激光点云数据,具体包括:

从所述定位定姿系统获取PosT文件,所述PosT文件根据时间序列记录了所述载体移动平台的位置和姿态数据;

获取所述三维激光扫描仪扫描得到的原始点云数据,对原始点云数据进行解码;

结合所述载体移动平台的位置和姿态数据,对解码后的原始点云数据进行坐标转换,得到WGS84坐标系统下的激光点云数据。

7.如权利要求2所述的地上地下一体化智能移动探测系统,其特征在于,所述通过深度神经网络模型提取激光点云数据中重叠区域的同名特征,具体包括:

提取激光点云数据中重叠区域的局部特征,即激光点云数据中的小范围结构或模式;

提取激光点云数据中重叠区域的全部特征,即激光点云数据中的整体结构;

通过深度神经网络模型从重叠区域中提取出大量的同名特征;

所述多约束特征配准方法具体包括:

利用从重叠区域中提取出的同名特征对重叠区域的这两个数据集进行配准,配准过程中采用的约束包括:几何约束,确保配准后的激光点云数据在几何上保持连续性和一致性;

光谱约束,若激光点云数据中包含颜色或其它光谱信息,则使用颜色或光谱信息作为约束;

结构约束,确保激光点云数据中的局部结构在配准后得到保留。

8.如权利要求2所述的地上地下一体化智能移动探测系统,其特征在于,所述利用2D影像数据进行3D点云的语义分割方法,具体为:

构建一个结合自适应采样半径和通道注意力机制模块的融合分割网络,以能够自动分割移动测量点云中的关键特征,达到对道路两侧地物进行去噪和精确识别。

9.如权利要求3所述的地上地下一体化智能移动探测系统,其特征在于,所述数据处理模块还包括地下病害体识别模块,具体处理过程为:

根据仿真模拟和实际测量的数据,对不同的病害体探地雷达图像特征进行对比,构建具有代表性的病害体样本数据集,从而对地下病害体进行快速识别;或者

采用自适应深度神经网络的学习方法,以便更准确地识别道路下方的塌陷病害体或地下设施;

其中,所述地下病害体识别模块对病害体识别并提取后,与卫星导航系统和所述地上激光雷达系统扫描的数据相结合,实现对地下设施与病害体的精确定位。

10.如权利要求9所述的地上地下一体化智能移动探测系统,其特征在于,所述数据处理模块还包括:

可视化展示平台,其用以对生成的连续、统一的三维模型进行展示;

病害体标注模块,其用以对识别的病害体进行标注。

地上地下一体化智能移动探测系统

技术领域

[0001] 本发明涉及雷达技术领域,移动多谱段探测雷达研发与智能感知关键技术与应用。更具体地说,本发明涉及一种地上地下一体化智能移动探测系统。

背景技术

[0002] 随着城市数字化、网络化、智能化的建设和快速发展,对于城市基础建设需要更加透视地感知。但是一座城市,不仅有地上的高楼林立、车水马龙,还有看不见的地下空间里各种管线纵横交错,特别在一些老旧城区,地下空间设施已是迷雾重重、暗藏隐患,严重的,还存在城市道路空洞、疏松、富水等土体病害信息。因此,需要通过各种技术手段来对地上物体、地下结构进行探测,以便更直观地了解这个城市。

[0003] 探地雷达(Ground Penetrating Radar,GPR)是一种非侵入性的地下探测技术,它通过发送电磁波并分析返回的回波来检测和映射地下结构。但是,在实际探测中探地雷达在数据采集时易受到数据采集区域条件(地形、土壤性质、电磁场干扰等)、系统配置和测量方式等因素影响,也就是说,电磁波不仅仅与地下目标发生相互作用,还会与其他多种介质、障碍物或环境杂波发生相互作用,这导致得到的回波信号既包含目标的信息,也包含了大量的噪声或干扰,使得到的雷达图像上干扰波较多,在不同程度上也增加了雷达图像上目标信息识别和解译的难度。此外,车载式三维探地雷达探测技术在国内很少被应用,也无法将探测成果转化成三维模型。

[0004] 而对于地上物体的探测,也同样存在很多问题。如在车载激光扫描系统中,激光扫描仪的初始数据是基于其自身的坐标系产生的。但由于车辆在行驶过程中的移动和姿态调整,这个坐标系持续地发生变化。这意味着每个扫描点实际上都位于不同的坐标系中,因此无法直接进行处理。当我们尝试直接可视化这些原始数据时,所有的点都好像被挤压在“一条线”或“一个平面”上。且对于海量的点云数据,也存在智能处理能力不足的问题。

[0005] 且在目前的现有技术中,对于地上物体的探测和地下物体的探测都是单独进行的,我们无法看到地上物体和地下结构结合在一起的整体图像。

发明内容

[0006] 本发明提供一种地上地下一体化移动探测系统,其能够对地上空间和地下空间同时进行移动探测,并实时进行数据处理和融合,生成连续、统一的地上地下一体化三维模型图。

[0007] 为了实现本发明的这些目的和其它优点,提供了一种地上地下一体化移动探测系统,包括:

载体移动平台;

雷达数据采集系统,其设置在所述载体移动平台上,包括:用于获取地面物体三维信息数据的地上激光雷达系统和用于获取地下三维信息数据的探地雷达系统;

定位定姿系统,其设置在所述载体移动平台上,包括结合使用的惯性导航系统和

卫星导航接收机,用于连续记录所述载体移动平卫星台运动过程中的位置和姿态数据;

时间同步系统,其设置在所述载体移动平台上,用于给所述雷达数据采集系统和所述惯性导航系统提供统一的时间基准,其中,将所述惯性导航系统、所述地上激光雷达系统中的三维激光扫描仪、所述探地雷达系统中的探地雷达以及所述时间同步系统中的时间同步器进行集成,从而使采集到的不同数据实现时间和空间上的对齐;

数据处理模块,其与所述雷达数据采集系统和所述定位定姿系统连接,所述数据处理模块对获取的地面物体三维信息数据和地下三维信息数据进行处理,并进行同步融合,生成连续统一的三维模型。

[0008] 优选的是,所述的地上地下一体化智能移动探测系统,所述数据处理模块包括激光雷达系统数据处理模块,对获取的地面物体三维信息数据进行处理,具体过程为:

对所述三维激光扫描仪获取的原始点云数据进行预处理,得到WGS84坐标系统下的激光点云数据;

通过深度神经网络模型提取激光点云数据中重叠区域的同名特征,并结合多约束特征配准方法,识别和纠正激光点云数据中的偏差,得到纠正配准后的激光点云数据;

获取所述地上激光雷达系统中的多相机系统采集的纹理影像和色彩信息,与纠正配准后的激光点云数据相结合,并利用2D影像数据进行3D点云的语义分割方法,得到真彩色点云的三维图像;

其中,在所述地上激光雷达系统采集地面物体的三维信息数据前,需采用特征点校验和特征面校验相融合的方法对所述地上激光雷达系统进行整体校验。

[0009] 优选的是,所述的地上地下一体化智能移动探测系统,所述数据处理模块还包括探地雷达数据处理模块,对地下三维信息数据进行处理,具体过程为:

获取所述探地雷达探测的回波数据;

数据预处理:使用子空间分解算法对获取的回波数据进行地下目标特征提取和降维处理,以滤除噪声和干扰;

稀疏性特征提取:对预处理过的数据进行字典学习,得到表示地下目标形态特征的稀疏性特征,所述地下目标形态包括管线、井以及地下病害;

生成三维模型:使用有限差分时域方法模拟所述探地雷达信号在地下介质中的传播和相互作用,根据获取的地下目标在WGS84坐标系统下的坐标,自动生成能被有限差分时域方法读取的文件,经处理生成三维仿真模型,实现地下目标模型在空间上的同步,所述文件包括地下目标的位置坐标、大小,介电常数以及电磁波的频率。

[0010] 优选的是,所述的地上地下一体化智能移动探测系统,所述时间同步系统还包括用以产生PPS脉冲信号的信号发生器,所述时间同步器包括卫星授时接收芯片和微控制器,所述用于给所述雷达数据采集系统和所述惯性导航系统提供统一的时间基准,具体过程为:

所述卫星导航接收机接收卫星时间信号和PPS脉冲信号,然后将卫星时间信号传输给所述时间同步器中的卫星授时接收芯片,同时将PPS脉冲信号传输给所述时间同步器中的微控制器;

所述微控制器将卫星时间信号转换为时间戳,同时将PPS脉冲信号经过处理后传输给所述惯性导航系统和所述雷达数据采集系统。

[0011] 优选的是,所述的地上地下一体化智能移动探测系统,所述采用特征点校验和特征面校验相融合的方法对所述地上激光雷达系统进行整体校验,具体包括:

特征点校验:在进行道路扫描时,需要在道路的两侧放置含参标靶,并确保含参标靶的朝向是可以被扫描的角度,具体为:使用高精度全站仪对含参标靶进行定位,获取其坐标,然后所述三维激光扫描仪对含参标靶进行扫描,扫描的点云坐标根据所述高精度全站仪所获取的坐标数据进行修正;

特征面校验:对所述三维激光扫描仪采集到的点云数据进行特征面校验,包括检测地物表面的平面、曲面或其它几何特征;

将特征点和特征面的校验结果与地理参考系统的测量数据通过扩展卡尔曼滤波器算法进行融合校验,从而实现整体校验。

[0012] 优选的是,所述的地上地下一体化智能移动探测系统,对所述三维激光扫描仪获取的原始点云数据进行预处理,得到WGS84坐标系统下的激光点云数据,具体包括:

从所述定位定姿系统获取PosT文件,所述PosT文件根据时间序列记录了所述载体移动平台的位置和姿态数据;

获取所述三维激光扫描仪扫描得到的原始点云数据,对原始点云数据进行解码;

结合所述载体移动平台的位置和姿态数据,对解码后的原始点云数据进行坐标转换,得到WGS84坐标系统下的激光点云数据。

[0013] 优选的是,所述的地上地下一体化智能移动探测系统,所述通过深度神经网络模型提取激光点云数据中重叠区域的同名特征,具体包括:

提取激光点云数据中重叠区域的局部特征,即激光点云数据中的小范围结构或模式;

提取激光点云数据中重叠区域的全部特征,即激光点云数据中的整体结构;

通过深度神经网络模型从重叠区域中提取出大量的同名特征;

所述多约束特征配准方法具体包括:

利用从重叠区域中提取出的同名特征对重叠区域的这两个数据集进行配准,配准过程中采用的约束包括:几何约束,确保配准后的激光点云数据在几何上保持连续性和一致性;

光谱约束,若激光点云数据中包含颜色或其它光谱信息,则使用颜色或光谱信息作为约束;结构约束,确保激光点云数据中的局部结构在配准后得到保留。

[0014] 优选的是,所述的地上地下一体化智能移动探测系统,所述利用2D影像数据进行3D点云的语义分割方法,具体为:

构建一个结合自适应采样半径和通道注意力机制模块的融合分割网络,以能够自动分割移动测量点云中的关键特征,达到对道路两侧地物进行去噪和精确识别。

[0015] 优选的是,所述的地上地下一体化智能移动探测系统,所述数据处理模块还包括地下病害体识别模块,具体处理过程为:

根据仿真模拟和实际测量的数据,对不同的病害体探地雷达图像特征进行对比,构建具有代表性的病害体样本数据集,从而对地下病害体进行快速识别;或者

采用自适应深度神经网络的学习方法,以便更准确地识别道路下方的塌陷病害体或地下设施;

其中,所述地下病害体识别模块对病害体识别并提取后,与卫星导航系统和所述地上激光雷达系统扫描的数据相结合,实现对地下设施与病害体的精确定位。

[0016] 优选的是,所述的地上地下一体化智能移动探测系统,所述数据处理模块还包括:

可视化展示平台,其用以对生成的连续、统一的三维模型进行展示;

病害体标注模块,其用以对识别的病害体进行标注。

[0017] 本发明至少包括以下有益效果:

第一、由于设置的定位定姿系统包括结合使用的惯性导航系统和卫星导航接收机,因此,本发明将惯性导航系统和卫星导航系统进行融合,弥补各自单个导航系统的不足,提高了整个移动探测系统的导航定位精度。

[0018] 第二、本发明设置的时间同步系统,包括时间同步器和用以产生PPS脉冲信号的信号发生器,用于给所述雷达数据采集系统和所述惯性导航系统提供统一的时间基准。且由于PPS脉冲信号提供的时间精度可以达到纳秒级,大大提高了整个移动探测系统的时间精确度。此外,本发明将所述惯性导航系统、三维激光扫描仪、探地雷达以及时间同步器进行集成,确保移动探测系统中的硬件设备的空间相对位置关系固定,进行标定后为整个移动探测系统提供统一的空间基准,从而使采集到的不同数据实现时间和空间上的对齐,以便能够实现多种数据配准融合。

[0019] 第三、在所述地上激光雷达系统采集地面物体的三维信息数据前,需采用特征点校验和特征面校验相融合的方法对所述地上激光雷达系统进行整体校验,消除了激光雷达系统中内部和外部参数的误差,大大提高了所述地上激光雷达系统采集数据的精确度。对所述三维激光扫描仪获取的原始点云数据进行预处理,即POS计算、数据处理以及坐标转换,得到WGS84坐标系统下的激光点云数据,从而解决了三维激光扫描仪的坐标系由于载体移动平台在行驶过程中的移动和姿态调整而持续地发生变化,导致每个扫描点实际上都位于不同的坐标系的问题。基于轨迹的点云优化与多约束配准方法,显著提高了地上激光雷达系统的测量结果精度,解决了地上激光雷达系统在移动测量中结果误差过大的难题。针对移动探测系统海量点云智能处理程度低的问题,提出了基于二维影像数据的三维点云语义分割算法,建立了基于自适应采样半径和通道注意机制模块引导的融合分割网络,实现了对移动测量点云关键特征的自动分割。

[0020] 第四、针对地下环境杂波低秩特性和目标回波稀疏特性,使用子空间分解方法进行杂波抑制以及字典训练方法进行目标稀疏表示,实现高质量目标图像信息的提取;以仿真与实测数据中不同病害体探地雷达图谱特征差异,构建病害体样本数据集,从而对地下病害体进行快速识别;以及针对道路地下的塌陷病害体,提出以自适应深度神经网络的学习方法,以便更准确地识别道路下方的塌陷病害体或地下设施,有效地提高了数据解译效率。

[0021] 本发明的其它优点、目标和特征将部分通过下面的说明体现,部分还将通过对本发明的研究和实践而为本领域的技术人员所理解。

附图说明

[0022] 图1为本发明实施例所述的地上地下一体化移动探测系统的结构关系示意图;

图2为本发明实施例所述的时间同步系统工作过程示意图;

图3为本发明实施例所述的数据处理模块对获取的地面物体三维信息数据进行处理的流程示意图；

图4为本发明实施例中利用2D影像数据进行3D点云的语义分割方法时使用的分割条件框架；

图5为本发明实施例中所述数据处理模块对地下三维信息数据进行处理的流程示意图；

图6为本发明实施例中所述数据处理模块对地下三维信息数据进行处理时特征提取和字典学习的图示；

图7为本发明实施例中使用有限差分时域方法生成三维模型的图示；

图8为本发明实施例中对地下疑似病害进行标注的图例；

图9为本发明实施例中对地下空间正常扫描的图例。

[0023]

具体实施方式

[0024] 下面结合附图对本发明做进一步的详细说明,以令本领域技术人员参照说明书文字能够据以实施。

[0025] 应当理解,本文所使用的诸如“具有”、“包含”以及“包括”术语并不排除一个或多个其它元件或其组合的存在或添加。

[0026] 需要说明的是,下述实施方案中所述实验方法,如无特殊说明,均为常规方法,所述试剂和材料,如无特殊说明,均可从商业途径获得;在本发明的描述中,需要说明的是,除非另有明确的规定和限定,术语“安装”、“相连”、“设置”应做广义理解,例如,可以是固定相连、设置,也可以是可拆卸连接、设置,或一体地连接、设置。对于本领域的普通技术人员而言,可以具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。术语“横向”、“纵向”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,并不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。

[0027] 如图1所示,本发明实施例提供的地上地下一体化移动探测系统,包括:

载体移动平台；

雷达数据采集系统,其设置在所述载体移动平台上,包括:用于获取地面物体三维信息数据的地上激光雷达系统和用于获取地下三维信息数据的探地雷达系统；

定位定姿系统,其设置在所述载体移动平台上,包括结合使用的惯性导航系统和卫星导航接收机,用于连续记录所述载体移动平卫星台运动过程中的位置和姿态数据；

时间同步系统,其设置在所述载体移动平台上,用于给所述雷达数据采集系统和所述惯性导航系统提供统一的时间基准,其中,将所述惯性导航系统、所述地上激光雷达系统中的三维激光扫描仪、所述探地雷达系统中的探地雷达以及所述时间同步系统中的时间同步器进行集成,从而使采集到的不同数据实现时间和空间上的对齐；

数据处理模块,其与所述雷达数据采集系统和所述定位定姿系统连接,所述数据处理模块对获取的地面物体三维信息数据和地下三维信息数据进行处理,并进行同步融

合,生成连续统一的三维模型。

[0028] 在上述实施例中,载体移动平台,可以为车辆,也可以为其它可以移动的移动平台,在本实施例中,优选为车辆,用于运载各种设备,以便进行移动量测。

[0029] 雷达数据采集系统包括地上激光雷达系统和探地雷达系统。所述地上激光雷达系统主要包括三维激光扫描仪和数码相机。三维激光扫描仪用于采集场景目标的几何和反射强度信息,通过发射激光脉冲并接收反射回来的激光信号来测量物体的距离。所述数据处理模块获取激光的发射角度和方向,就可以确定物体的三维坐标。数码相机用于采集场景目标的纹理影像和色彩信息。所述探地雷达系统主要包括探地雷达,采用GRP技术对地下结构进行探测,发射电磁波信号并接收反射回来的雷达回波,形成波形图。所述数据处理模块获取探地雷达采集的数据,模拟出电磁波波形,根据电磁波反演出三维模型,从而得到地下的三维模型。

[0030] 设置的定位定姿系统,能够连续记录载体移动平台运行过程的位置和姿态数据,以便进行轨迹解算,为数据采集提供准确地位姿。具体来说,姿态数据包括载体移动平台相对于某个参考方向的三个旋转角度:俯仰角、滚动角和偏航角。为了能够方便获取位置和姿态数据,本实施例将惯性导航系统和卫星导航接收机结合起来使用,以便能够弥补各自单个系统的不足,提高导航定位的精度。惯性导航系统(Inertial Navigation System ,INS)是一种基于牛顿定律的自主导航技术,它的核心组成部分是一个或多个陀螺仪和加速度计,这些传感器可以检测载体移动平台在三维空间中的角速度和线性加速度。通过将这些测试数据与时间进行积分,可以得到载体移动平台的速度和位置。与许多其它导航系统不同,惯性导航系统不依赖于外界参照来确定其位置,速度或姿态,不受到外界干扰,输出数据频率高,信息丰富。但由于惯性器件的固有误差,使得导航误差随时间的逐步积累越来越大。因此,为了克服惯性导航系统的限制,将惯性导航系统与卫星导航接收机结合使用。在本实施例中,所述卫星导航接收机为GNSS接收机。

[0031] 由于所述数据处理模块需要对获取的地面物体三维信息数据和地下三维信息数据进行处理,并进行同步融合,所以雷达数据采集系统和所述定位定姿系统必须在时间和空间上对齐,这样才能实现多种数据的配准融合。设置的时间同步系统,能够给所述雷达数据采集系统和所述惯性导航系统提供统一的时间基准。而将所述惯性导航系统、所述地上激光雷达系统中的三维激光扫描仪、所述探地雷达系统中的探地雷达以及所述时间同步系统中的时间同步器进行集成,如此设置,不同硬件设备之间的空间相对位置关系也被固定,经过系统标定,为移动探测系统提供统一的空间基准,这样使所述雷达数据采集系统采集到的不同数据能够实现时间和空间上的对齐。由于系统标定和数据采集都要以时间同步为前提,所以整个移动探测系统的时间同步显得尤为重要。在整个移动探测系统已经具有较为精确的统一时间基准的基础上,分别对移动探测系统中各硬件设备进行标定,使移动探测系统具有统一的空间基准。

[0032] 综上,在上述实施例中,在整个移动探测系统具有统一的时间基准和空间基准条件下,在载体移动平台移动过程中,通过雷达数据采集系统采集地上物体和地下结构的数据,然后再经过数据处理模块处理,并进行同步融合,生成连续、统一的地上地下一体化三维模型。

[0033] 对于惯性导航系统和GNSS卫星导航系统的组合,还需要说明的是,GNSS与INS融合

解算通常选择差分后处理模式,在基站和移动站的数据完全加载后,可以选择采用紧耦合或松耦合的融合策略。紧耦合用来描述两个或多个系统或组件之间的关系,它们之间存在高度的互依性。与紧耦合相反的是松耦合,其中组件间的依赖性相对较低。在INS和GNSS的组合中,紧耦合是一种融合策略,INS和GNSS的数据在一个统一的滤波器中进行融合,以提供更高的导航精度和鲁棒性。紧耦合的INS和GNSS组合系统可以实现在信号丢失时继续提供准确地定位信息,以确保信息的完整性。在紧耦合策略中,GNSS提供的星历数据与INS的位置和速度信息被用于计算伪距和伪距率。这些计算的伪距和伪距率与GNSS测量的值进行对比,差异结果作为测量输入送入卡尔曼滤波器。这个滤波器提供了GNSS与INS误差状态的最佳估计,这些误差之后被用于对两系统进行微调和校准。而在松耦合策略中,GNSS独立于INS运作。GNSS的输出直接被送入惯性导航处理器,使得其输出与GNSS的位置和速度测量对齐。基于GNSS的导航解决方案,INS的位置和速度被重新初始化。尽管这种方法操作简单,但由于GNSS接收机对干扰的抵抗能力受限,其定位精度可能较低。因此,在进行GNSS和INS融合解算时,更偏向于使用紧耦合策略。但在某些情况下,例如当卫星信号强且数据存在显著的分层时,松耦合策略可能更为合适。

[0034] 在其中一具体实施方式中,所述的地上地下一体化智能移动探测系统,如图3所示,所述数据处理模块包括激光雷达系统数据处理模块,对获取的地面物体三维信息数据进行处理,具体过程为:

S100、对所述三维激光扫描仪获取的原始点云数据进行预处理,得到WGS84坐标系统下的激光点云数据。

[0035] 其中,预处理的具体过程为:

S101、POS(Position and Orientation System,POS)计算:从所述定位定姿系统中获取PosT文件,所述PosT文件根据时间序列记录了所述载体移动平台的位置和姿态数据。

[0036] S102、获取所述三维激光扫描仪扫描得到的原始点云数据,对原始点云数据进行解码。

[0037] S103、结合所述载体移动平台的位置和姿态数据,对解码后的原始点云数据进行坐标转换,得到WGS84坐标系统下的LAS格式的激光点云数据,其中,WGS84坐标是为GPS全球定位系统使用而建立的坐标系统。

[0038] 需要说明的是,在所述地上激光雷达系统中,三维激光扫描仪的初始点云数据是基于自身的坐标系产生的。但由于载体移动平台在行驶过程中的移动和姿态调整,这个坐标系持续地发生变化,这意味着每个扫描点实际上都位于不同的坐标系中。需要将这些原始点云数据统一到一个共同的坐标系中,结合所述载体移动平台的位置和姿态数据,从而计算出实际地理坐标。

[0039] S200、通过深度神经网络模型提取激光点云数据中重叠区域的同名特征,并结合多约束特征配准方法,识别和纠正激光点云数据中的偏差,得到纠正配准后的激光点云数据。

[0040] 其中,所述通过深度神经网络模型提取激光点云数据中重叠区域的同名特征,具体包括:

A、提取激光点云数据中重叠区域的局部特征,即激光点云数据中的小范围结构或

模式,例如物体的角、边缘或表面纹理。

[0041] B、提取激光点云数据中重叠区域的全部特征,即激光点云数据中的整体结构,例如物体的整体形状或空间分布。

[0042] C、通过深度神经网络模型从重叠区域中提取出大量的同名特征,用以后续的配准步骤。

[0043] 需要说明的是,在三维激光扫描仪大规模扫描的场景中,当多次测量相交或重叠时,由于各种原因(如扫描仪误差、地面变动或测量角度等)可能出现数据不一致性,即重叠区域点云的重复性精度可能较低。为了解决这个问题,采用基于深度神经网络的整体纠偏算法。在上面的处理步骤中,对于重叠区域的激光点云数据,使用深度神经网络模型(DNN模型),如PointNet或3D-CNN,来捕获并提取激光点云数据中的局部和全部特征。

[0044] 所述多约束特征配准方法具体包括:

利用从重叠区域中提取出的同名特征对重叠区域的这两个数据集进行配准,配准过程中采用的约束包括:几何约束,确保配准后的激光点云数据在几何上保持连续性和一致性;光谱约束,若激光点云数据中包含颜色或其它光谱信息,则使用颜色或光谱信息作为约束;

结构约束,确保激光点云数据中的局部结构在配准后得到保留。

[0045] 需要说明的是,从两个重叠的激光点云数据集中提取了同名特征,就可以利用这些特征来对这两个数据集进行配准。配准的目标是确定一个变换,该变换可以最大程度地对齐这两个数据集中的相应特征。一旦找到了最佳的配准变换,就可以将其应用于其中一个激光点云数据集,从而纠正其在重叠区域中的偏差。纠正后的点云数据应该在重叠区域中显示更高的重复性精度,从而提供更一致和准确的三维表示。

[0046] S300、获取所述地上激光雷达系统中的多相机系统采集的纹理影像和色彩信息,与纠正配准后的激光点云数据相结合,并利用2D影像数据进行3D点云的语义分割方法,得到真彩色点云的三维图像。

[0047] 其中,所述利用2D影像数据进行3D点云的语义分割方法,具体为:

构建一个结合自适应采样半径和通道注意力机制模块的融合分割网络,以能够自动分割移动测量点云中的关键特征,达到对道路两侧地物进行去噪和精确识别。

[0048] 具体实施时,使用如图4所示的分割框架设置相应的分割条件形成了对道路路面点云进行提取的方法,同时对道路两边的杂乱点进行剔除,构建了对车辆、护栏和进行识别的算法框架,并根据路灯、树木等的特征将提出的编码方式应用到四叉树编码中对路灯进行快速提取,使用一种局部自适应预制的提取方法对道路两侧地物进行识别,提高了道路特征感知的精度和可靠性。

[0049] 其中,在所述地上激光雷达系统采集地面物体的三维信息数据前,需采用特征点校验和特征面校验相融合的方法对所述地上激光雷达系统进行整体校验。整体校验的具体过程包括:

特征点校验:在进行道路扫描时,需要在道路的两侧放置含参标靶,并确保含参标靶的朝向是可以被扫描的角度,具体为:使用高精度全站仪对含参标靶进行定位,获取其坐标,然后所述三维激光扫描仪对含参标靶进行扫描,扫描的点云坐标根据所述高精度全站仪所获取的坐标数据进行修正;

特征面校验:对所述三维激光扫描仪采集到的点云数据进行特征面校验,包括检测地物表面的平面、曲面或其它几何特征;

将特征点和特征面的校验结果与地理参考系统的测量数据通过扩展卡尔曼滤波器(EKF)算法进行融合校验,从而实现整体校验,所述地理参考系统为GPS或IMU(Inertial Measurement Unit,惯性测量单元)。

[0050] 具体实施时,将特征点和特征面校验融合到扩展卡尔曼滤波算法的步骤为:

第一、初始化:在开始时,需要初始化EKF的状态和协方差矩阵,可以通过GPS、IMU或其它传感器提供的信息来估计。

[0051] 第二、预测步骤:在每个时间步,执行EKF的预测步骤,使用状态方程来估计地上激光雷达系统的下一个状态,具体为:预测状态,使用上一个时间步的状态估计和状态方程来估计当前时间步的状态,通常包括位置、速度和姿态等信息;预测协方差,使用上一个时间步的协方差矩阵和状态方程的雅可比矩阵来估计当前时间步的协方差矩阵;考虑过程噪声,考虑地物状态的不确定性和系统噪声。

[0052] 第三、特征点和特征面的观测:在每个时间步,使用地上激光雷达系统获取特征点和特征面的测量值,这些测量值包括特征点的位置和特征面的参数。

[0053] 第四、更新步骤:在预测步骤后,执行EKF的更新步骤,使用观测方程对特征点和特征面进行观测;计算卡尔曼增益,使用预测协方差矩阵、观测噪声和观测方程的雅可比矩阵来计算卡尔曼增益;更新状态估计,使用卡尔曼增益和观测残差(测量值与预测值之间的差异)来更新状态估计,包括地物的位置、速度、姿态和特征面参数等;更新协方差矩阵,使用卡尔曼增益来更新协方差矩阵,以反映状态估计的不确定性。

[0054] 第五、重复迭代:随着时间的推移,不断重复预测和更新步骤、以估计地物的状态,包括特征点和特征面的位置和参数。

[0055] 第六、状态估计输出:根据需要,提取地物状态估计,包括特征点和特征面的位置、速度、姿态和参数等。

[0056] 通过三维激光扫描仪的初始化,执行预测步骤,随着时间估计系统的下一个状态的位置、速度、姿态和噪声等,通过三维激光扫描仪获取的特征点和特征面,不断计算、迭代、更新,得到较为精确的特征点和特征面的位置参数,从而实现整体校验。

[0057] 在上述具体实施方式中,首先,采用特征点校验和特征面校验相融合的方法对所述地上激光雷达系统进行整体校验,提高了所述地上激光雷达系统测量数据的精度;其次,对三维激光扫描仪获取的原始点云数据进行预处理,将这些原始点云数据统一到一个共同的坐标系中,使这些数据具有了实际意义;再次,结合深度神经网络模型的特征提取能力和多约束配准方法,有效地识别和纠正点云数据中的偏差,从而提供了更准确的三维环境表示;最后,为了解决移动测量中海量点云数据智能处理能力的不足问题,探索利用了2D影像数据进行3D点云的语义分割方法,通过构建一个结合自适应采样半径和通道注意力机制模块的融合分割网络,自动分割了移动测量点云中的关键特征,获得鲁棒的点云特征,提高了点云数据的自动处理和特征提取能力。

[0058] 在其中一具体实施方式中,所述的地上地下一体化智能移动探测系统,如图5、图6和图7所示,所述数据处理模块还包括探地雷达数据处理模块,对地下三维信息数据进行处理,具体过程为:

获取所述探地雷达探测的回波数据；

数据预处理：使用子空间分解算法对获取的回波数据进行地下目标特征提取和降维处理，以滤除噪声和干扰；

稀疏性特征提取：对预处理过的数据进行字典学习，得到表示地下目标形态特征的稀疏性特征，所述地下目标形态包括管线、井以及地下病害；

生成三维模型：使用有限差分时域方法(FDTD)模拟所述探地雷达信号在地下介质中的传播和相互作用，根据获取的地下目标在WGS84坐标系统下的坐标，自动生成能被有限差分时域方法读取的文件，经处理生成三维仿真模型，实现地下目标模型在空间上的同步，所述文件包括地下目标的位置坐标、大小，介电常数以及电磁波的频率。

[0059] 在上述实施方式中，探地雷达通过发送电磁波并分析返回的回波来检测和映射地下结构。由于电磁波不仅仅与地下目标发生相互作用，还会与其它多种介质、障碍物或环境杂波发生相互作用，因此，这导致得到的回波信号既包含目标的信息，也包含了大量的噪声或干扰，因此，深入分析环境杂波和目标回波之间的时间、空间、频域特性差异显得尤为重要。本实施方式中，使用子空间分解算法对获取的回波数据进行地下目标特征提取和降维处理，并滤除不需要的噪声和干扰。子空间分解算法可以将高维数据投影到低维子空间中，以减少数据噪声抑制杂波，这样可以更准确地定位和识别目标。地下的目标通常具有稀疏性特征，管线和孔洞等目标的数量有限，体积也相对较小，因此，可以利用稀疏性特征对地下目标进行分类和定位。在本实施方式中，通过字典学习来获得稀疏性特征，字典学习是一个分块又提取特征的过程，通过这个过程来对回波特征进行分块，经过训练得到一个字典，这个字典可以用来代表地下目标的形态特征。通过使用稀疏编码技术，可以将目标的信息压缩成更小的表示，从而更有效地识别和定位它们，确保目标图像的高质量提取。探地雷达接收反射回来的雷达回波，会形成波形图，在本实施例中，根据波形，使用有限差分时域的方法，在三维中求解麦克斯韦方程，模拟电磁波传播，生成三维模型，从而得到地下的三维模型。

[0060] 还需要说明的是，为了解决探地雷达系统中天线阵列中天线布局和其它发射效能的冲突问题，本发明实施例还提供了一种称为紧耦合阵列的技术。这种新型阵列采用了创新的双指渐变口面天线作为其辐射单元，这种天线设计确保了优越的带宽和发射性能。紧耦合阵列的特点是，相邻的辐射部分会有所重叠，从而产生相互之间的耦合电容。这种天线设计通过引入分散的电容优化了天线的电流分布，进而使得天线单元更为小巧。此外，利用这种重叠的电容结构和阵列的特定阻抗，可以模拟一个无尽的周期性结构，这有助于减少天线端部的反射，从而获得更优的时域和阻抗性质。还通过多通道检测，提高了对地探测效率。相对于传统探地雷达天线中的电阻负载方法，这种方法具有更高的辐射效率。这对于增加探测的深度非常有帮助。

[0061] 在其中一具体实施方式中，所述的地上地下一体化智能移动探测系统，如图2所示，所述时间同步系统还包括用以产生PPS脉冲信号的信号发生器，所述时间同步器包括卫星授时接收芯片和微控制器，所述用于给所述雷达数据采集系统和所述惯性导航系统提供统一的时间基准，具体过程为：

所述卫星导航接收机接收卫星时间信号和PPS脉冲信号，然后将卫星时间信号传输给所述时间同步器中的卫星授时接收芯片，同时将PPS脉冲信号传输给所述时间同步器

中的微控制器;

所述微控制器将卫星时间信号转换为时间戳,同时将PPS脉冲信号经过处理后传输给所述惯性导航系统和所述雷达数据采集系统。

[0062] 在上述实施方式中,为了给所述雷达数据采集系统和所述惯性导航系统提供高精度的统一的时间基准,将PPS(Pulse Per Second)脉冲信号与卫星导航系统相结合,这个脉冲信号和其它时间同步技术相比,PPS提供了非常高的精确度。虽然卫星导航系统可以为秒、分、时提供时间信息,但PPS脉冲信号提供的时间精度可以达到纳秒级。网络时间协议(NTP)或精确时间协议(PTP)与PPS脉冲信号结合使用,NTP或PTP提供完整的日期和时间信息,而PPS脉冲信号提供高精度的秒同步。

[0063] 在其中一具体实施方式中,所述的地上地下一体化智能移动探测系统,所述数据处理模块还包括地下病害体识别模块,具体处理过程为:

根据仿真模拟和实际测量的数据,对不同的病害体探地雷达图像特征进行对比,构建具有代表性的病害体样本数据集,从而对地下病害体进行快速识别;或者

采用自适应深度神经网络的学习方法,以便更准确地识别道路下方的塌陷病害体或地下设施;

其中,所述地下病害体识别模块对病害体识别并提取后,与卫星导航系统和所述地上激光雷达系统扫描的数据相结合,实现对地下设施与病害体的精确定位。

[0064] 在上述实施方式中,由于地下设施例如管线与井有明显特征,针对地质环境较好的地段,地下波形呈现出规律且均匀的特征,地下病害如空洞或断层会导致波形变得混乱且复杂不一。考虑到地下环境的杂波特性较为单一且秩较低,同时目标回波呈稀疏分布,使用了子空间分解方法来有效压制杂波,同时采用字典学习方法对目标进行稀疏表达,确保了目标图像的高质量提取。根据仿真模拟和实际测量的数据,对不同的病害体探地雷达图像特征进行对比,构建具有代表性的病害体样本数据集,从而对地下病害体进行快速识别。为了进一步弥补样本数量的不足,针对道路下方的塌陷病害体,采用自适应深度神经网络的学习方法,以便更准确地识别地下特征,从而显著提高了数据解释的效率和准确性。因此,在地下三维模型的帮助下,进一步实现了对地下异常区域的识别,从而大大减少了再次测量和其它现场工作的需要。

[0065] 在其中一具体实施方式中,所述的地上地下一体化智能移动探测系统,如图8和图9所示,所述数据处理模块还包括:

可视化展示平台,其用以对生成的连续、统一的三维模型进行展示;

病害体标注模块,其用以对识别的病害体进行标注,如图8所示。

[0066] 具体实施时,所述可视化展示平台还包括视图控制模块和图层管理模块,所述视图控制模块能够实现多视图查看,例如里程计、车速等,还可以通过相机实时观察路况。所述图层管理模块,实现了多图层查看,包括卫星地图、标准地图等。病害体标注模块,能够对病害体进行标注。因此,可视化展示平台对地上地下一体化三维模型进行展示,可以便捷定位异常点的位置和坐标,并结合预警信息系统综合人工智能解译,针对地下病害进行智能分析、实时的风险评估,预警报警,能够填补国内道路塌陷隐患预警领域的空白。

[0067] 这里说明的设备数量和处理规模是用来简化本发明的说明的。对本发明的应用、修改和变化对本领域的技术人员来说是显而易见的。

[0068] 尽管本发明的实施方案已公开如上,但其并不仅仅限于说明书和实施方式中所列运用,它完全可以被适用于各种适合本发明的领域,对于熟悉本领域的人员而言,可容易地实现另外的修改,因此在不背离权利要求及等同范围所限定的一般概念下,本发明并不限于特定的细节和这里示出与描述的图例。

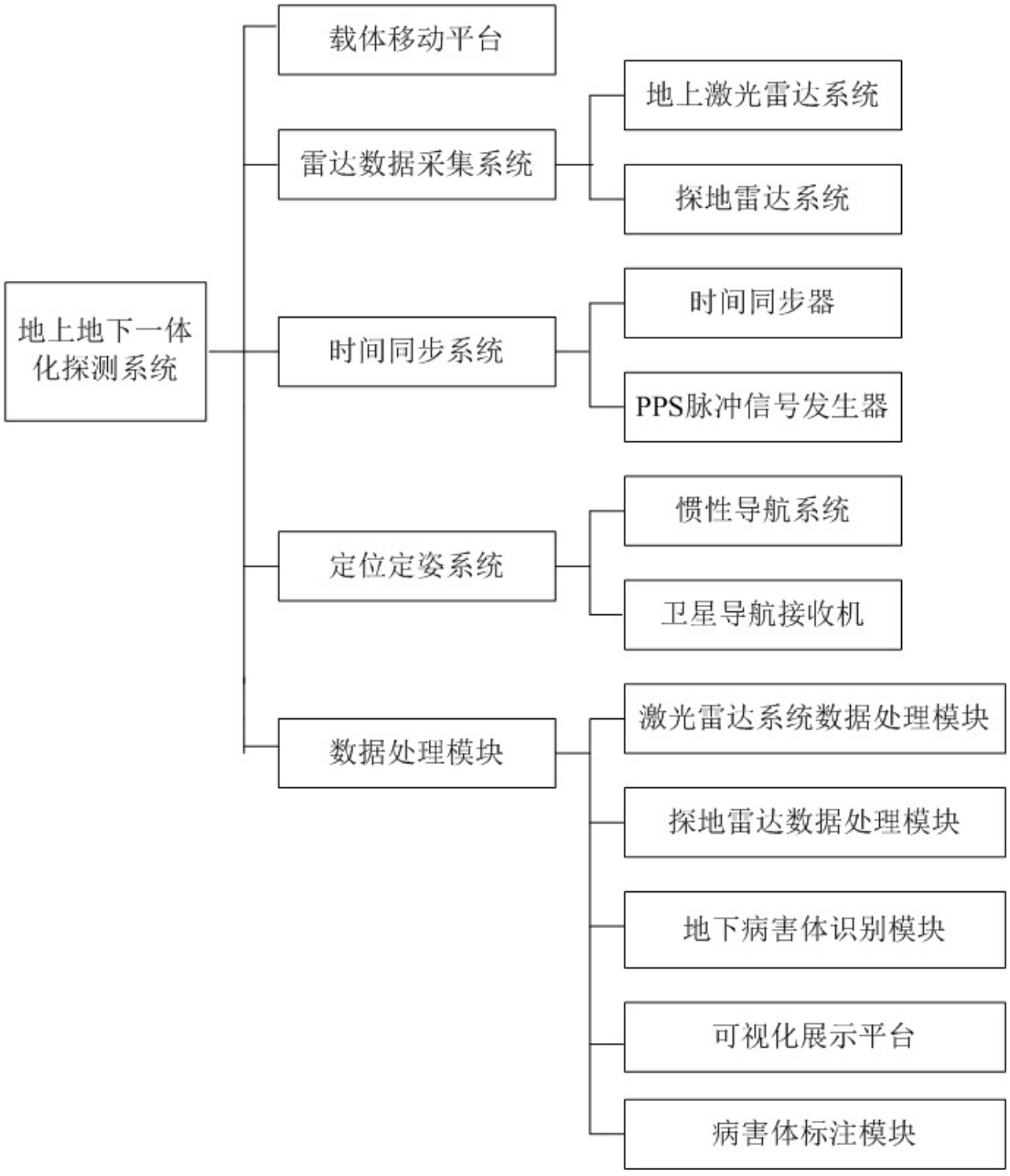

地上地下一体化探测系统
载体移动平台
雷达数据采集系统
地上激光雷达系统
探地雷达系统
时间同步系统
时间同步器
PPS脉冲信号发生器
定位定姿系统
惯性导航系统
卫星导航接收机
数据处理模块
激光雷达系统数据处理模块
探地雷达数据处理模块
地下病害体识别模块
可视化展示平台
病害体标注模块

图1

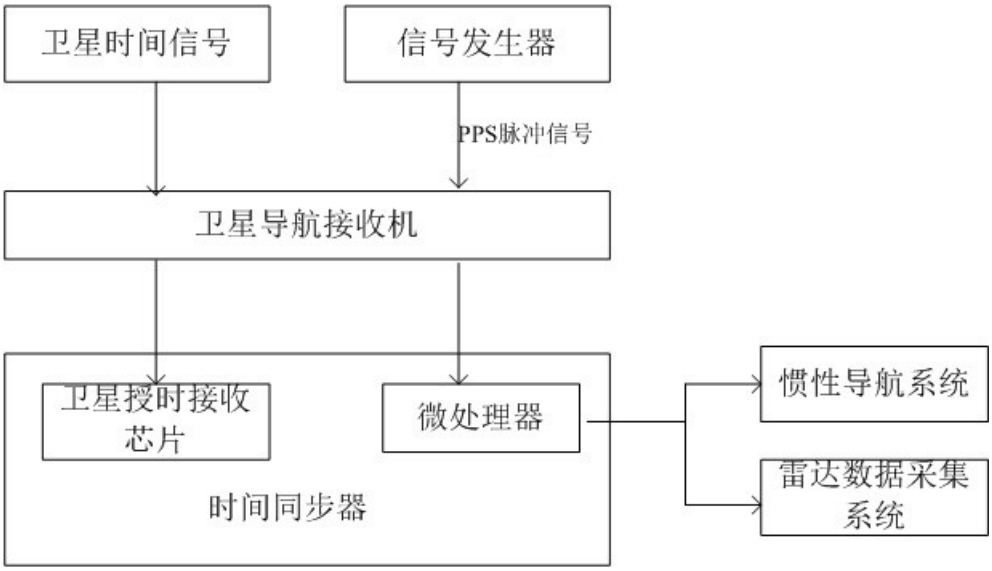

卫星时间信号
信号发生器
PPS脉冲信号
卫星导航接收机
卫星授时接收芯片
微处理器
惯性导航系统
雷达数据采集系统
时间同步器

图2


对三维激光扫描仪获取的原始点云数据进行预处理
获得WGS84坐标系统下的激光点云数据
通过深度神经网络模型提取激光点云数据中重叠区域的同名特征
多约束特征配准方法
纠正配准后的激光点云数据
获取多相机系统采集的纹理影像和色彩信息
利用2D影像数据进行3D点云的语义分割方法
真彩色点云的三维图像

图3

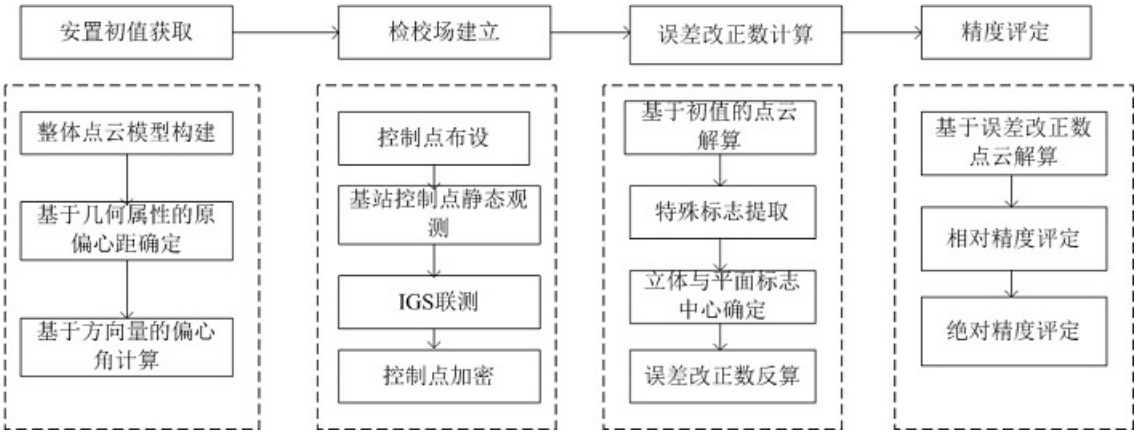

安置初值获取
检校场建立
误差改正数计算
精度评定
整体点云模型构建
基于几何属性的原偏心距确定
基于方向量的偏心角计算
控制点布设
基站控制点静态观测
IGS联测
控制点加密
基于初值的点云解算
特殊标志提取
立体与平面标志中心确定
误差改正数反算
基于误差改正数点云解算
相对精度评定
绝对精度评定

图4

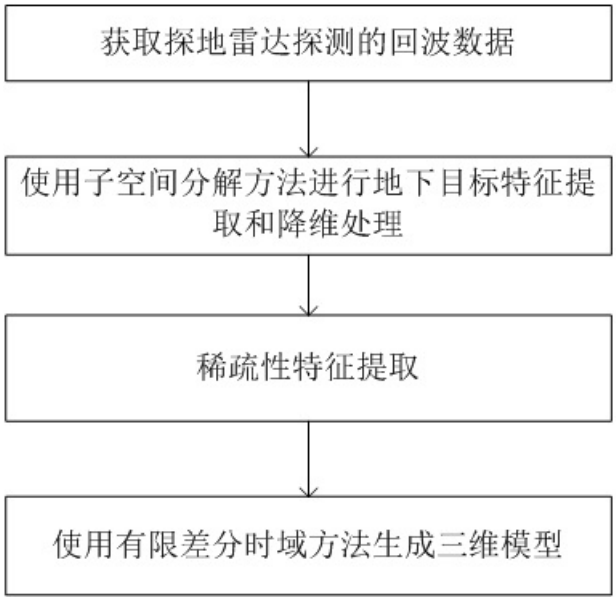

获取探地雷达探测的回波数据
使用子空间分解方法进行地下目标特征提取和降维处理
稀疏性特征提取
使用有限差分时域方法生成三维模型

图5

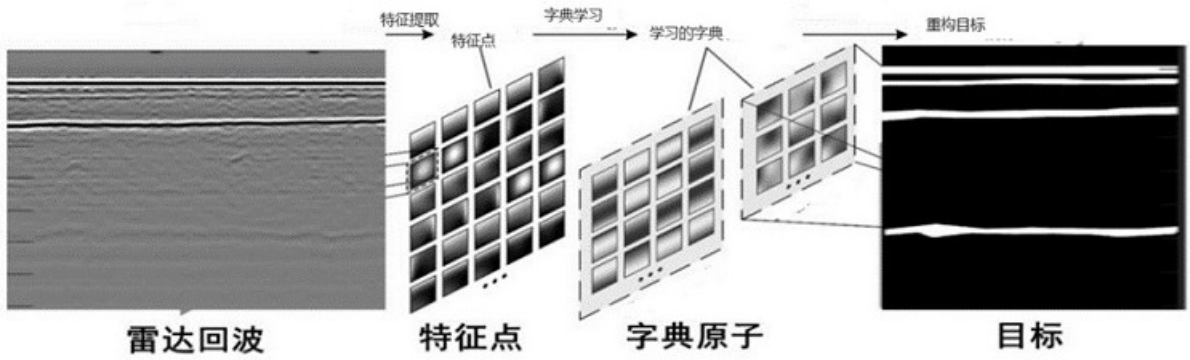

特征提取
特征点
字典学习
学习的字典
重构目标
雷达回波
特征点
字典原子
目标

图6

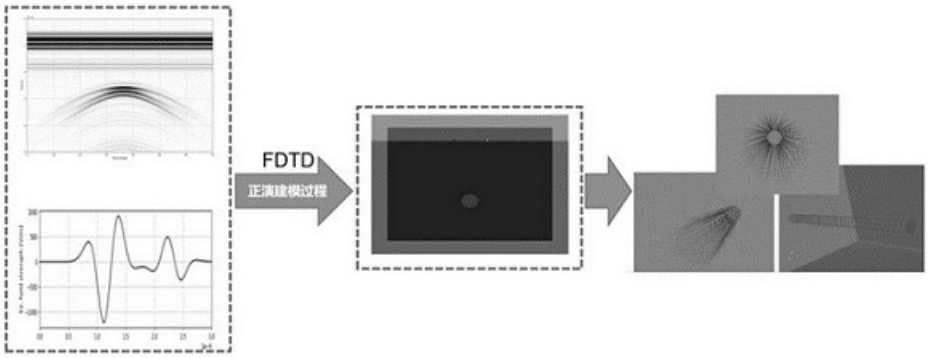


图7

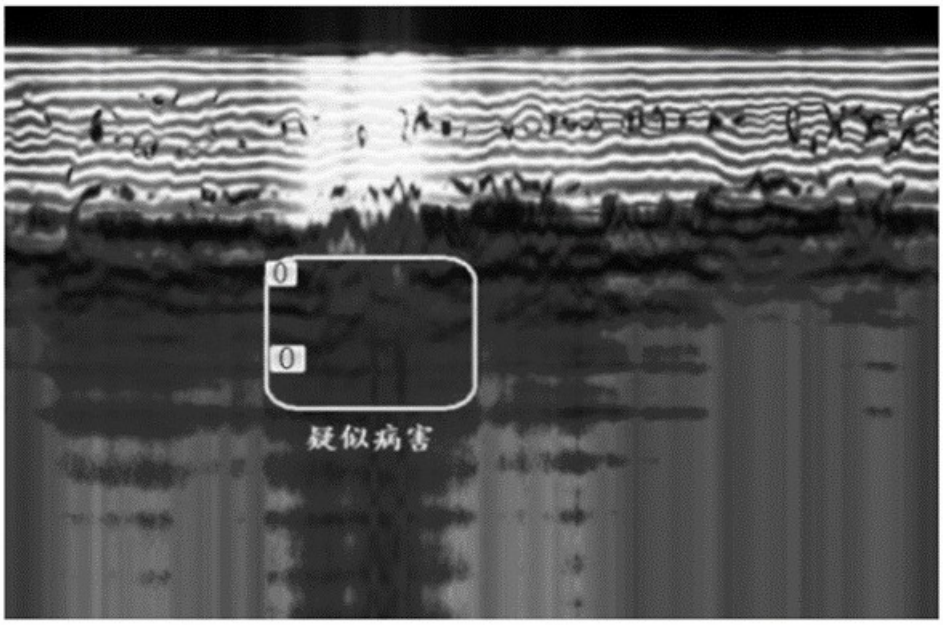


图8

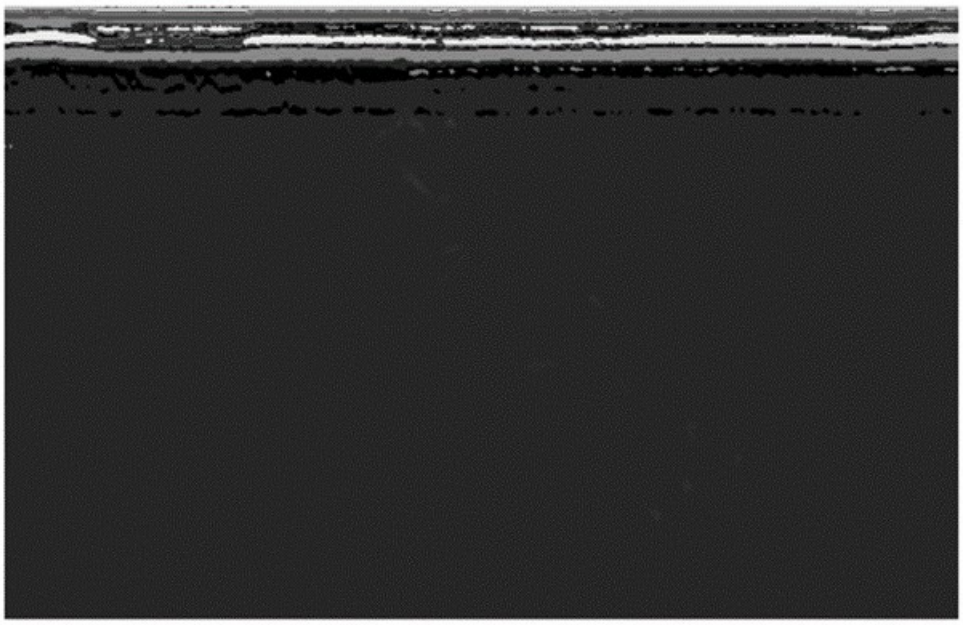


图9