



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105352476 B

(45)授权公告日 2018.02.27

(21)申请号 201510817851.X

(22)申请日 2015.11.23

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105352476 A

(43)申请公布日 2016.02.24

(73)专利权人 青岛秀山移动测量有限公司

地址 266590 山东省青岛市经济技术开发区前湾港路579号山东科技大学科技园综合服务楼506室

(72)发明人 卢秀山 石波 景冬 马跃 刘振王明伟

(74)专利代理机构 济南舜源专利事务有限公司 37205

代理人 王连君

(51)Int.Cl.

G01C 7/04(2006.01)

G05B 19/042(2006.01)

(56)对比文件

CN 103743383 A, 2014.04.23,

余建伟,等.中海达船载水上水下一体化三维移动测量系统.《测绘通报》.2013,(第7期),  
张则飞.水上水下一体化测量设备应用分析.《山西建筑》.2015,第41卷(第25期),

审查员 张梅

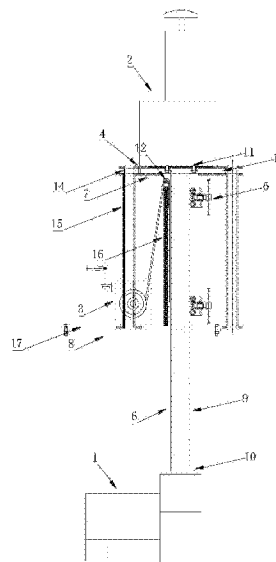
权利要求书2页 说明书8页 附图11页

(54)发明名称

船载水岸线水上水下一体化测量系统集成方法

(57)摘要

本发明提供船载水岸线水上水下一体化测量系统集成方法,通过一体化测图装置的多传感器升降平台设计实现测量系统的硬件集成,满足测量船在不同工况条件下改变传感器上下位置的要求。该系统设计了数据采集显控软件框架,以实现多传感器的协同数据采集、点云实时显示等。通过点云数据预处理、数据内插、空间配准等步骤,对多源数据进行融合解算,从而得到点云产品,用以解决不易不宜到达岛礁地形测量、涉海单位海岸带和滩涂地形测量问题。本发明实现了水岸线上下一体化测量,克服了传统的测量技术限制,大大提高了测量效率,为智慧航道、数字水利、码头、岸线及远海岛礁和众多工程建设所需的高精度三维测量问题提供了全新的测量技术手段。



1. 船载水岸线水上水下一体化测量系统集成方法,其特征在于,该系统包括船载水上水下一体化测图装置,包括固定机构和升降机构,固定机构包括四根第一钢管,第一钢管的上下两端分别焊接有固定机构的顶板和固定机构的底板,固定机构的顶板和固定机构的底板之间连接有一横截面为三角形的中间钢板;

所述升降机构包括主板,主板的四个角处设置有四根第二钢管,主板的中间位置处固定连接为主钢管;第二钢管能够伸入到第一钢管内,并沿第一钢管内壁滑动,主钢管插入中间钢板内,并自固定机构的底板伸出,固定机构的底板上还设置有升降机,中间钢板上设置有滑轮和旋转固定装置;

所述主板上端固定连接有激光扫描仪和GNSS/INS组合导航设备封装外壳,主钢管下端通过法兰盘固定连接有多波束测深仪外壳;

所述升降机为手摇式升降机,升降机上通过卡扣连接有钢丝绳,钢丝绳的另一端穿过滑轮与主钢管下端的法兰盘相连;

所述固定机构的顶板上设置有基座,固定机构的底板上还设置有盖板,固定机构的底板下部固定连接有用与船体连接的连接板;

该系统的传感器包括激光扫描仪、多波束测深仪和GNSS/INS组合导航设备,系统集成方法包括:

步骤1:构建数据采集显控软件的总体框架,数据采集显控软件的总体框架由控制层、数据层和显示层三部分组成;

步骤2:建立网络通信机制,数据采集显控软件包括监控端和采集端,监控端通过与采集端进行通信连接,发送控制命令,并接收采集端的反馈信息及传输的采集数据信息,采集端同时与监控端和传感器建立通信,各个传感器发送至显控软件监控端需要保存并实时显示的数据称之为上行数据,监控端发送至各传感器的控制命令、设置参数数据为下行数据;

步骤3:优化多线程控制算法,数据传输采用多线程传输,在算法中设置有主线程、三个子线程和缓冲区,三个子线程分别对应多波束测深仪、激光扫描仪和GNSS/INS组合导航设备,主线程负责下行数据的通讯传输,三个子线程用于传输上行数据,在上行数据由采集端发送至监控端的过程中,上行数据先保存到缓冲区中,然后再以报文的形式发送到监控端;

步骤4:规划点云实时显示模块,数据采集显控软件通过可视化技术来规划点云实时显示模块,将源、过滤器、映射器、角色和渲染器依次连接起来;

步骤5:进行多源数据融合解算,多源数据融合解算包括点云数据预处理、数据内插和空间配准三步;

步骤6:点云数据预处理,包括点云滤波和点云抽稀,点云滤波包括回波信号去噪、距离去噪和时间去噪,点云抽稀是对密集的点云数据进行缩减;

步骤7:数据内插,数据内插采用线性内插,将低频率的数据按照高频率的数据进行内插,在进行数据内插时,首先,导入惯导姿态数据,根据检校参数得到各个时刻激光扫描仪和多波束测深仪中心点的坐标及姿态;然后,导入原始激光数据和测深数据,对其进行解析,从而得到测点在传感器坐标系下的坐标以及GPS时;根据各个点的时间对应查找此时刻传感器的位置与姿态,以得到坐标匹配模型中构成旋转矩阵的三个角度,以及三个平移参数;

步骤8:空间配准,定义五个坐标系统,包括载体坐标系、激光扫描仪坐标系、多波束测

深仪坐标系、站心坐标系和大地坐标系,激光扫描仪坐标系和多波束测深仪坐标系为传感器坐标系,载体坐标系的坐标原点位于惯性测量单元的质心, $Y_i$ 轴指向前进方向, $X_i$ 轴垂直于 $Y_i$ 轴指向前进方向的右侧, $Z_i$ 轴垂直于 $X_i$ 、 $Y_i$ 轴指向上方,构成右手坐标系;激光扫描仪坐标系是一个以垂线和扫描平面为参考的右手坐标系,以激光发射参考点为原点,以垂直向上的方向为 $Z_s$ 轴,以载体前进方向为 $Y_s$ 轴, $X_s$ 轴垂直于 $Y_s$ 轴指向前进方向的右侧;多波束测深仪坐标系以换能器接收端中心为坐标原点,以换能器前进方向为 $Y_m$ 轴,沿接收端阵列平面垂直于 $Y_m$ 轴向右为 $X_m$ 轴,过该点垂直于接收端阵列向连接法兰方向为 $Z_m$ 轴,建立右手坐标系;站心坐标系原点位于GNSS天线的相位中心, $Y_1$ 轴指向当地北子午线方向, $X_1$ 轴与 $Y_1$ 轴垂直指向东方向, $Z_1$ 轴向上与 $X_1OY_1$ 平面垂直构成右手坐标系;大地坐标系为地心地固坐标系;

步骤9:根据坐标匹配模型得到测点在大地坐标系下的坐标,通过传感器坐标系到载体坐标系的转换、载体坐标系到站心坐标系的转换和站心坐标系到大地坐标系的转换,将传感器的点位坐标归算到大地坐标。

2. 根据权利要求1所述的船载水岸线水上水下一体化测量系统集成方法,其特征在于,所述数据采集显控软件的主界面设置有任务栏和显示区域,任务栏由控制命令按钮组成,控制命令按钮有搜索、项目、连接、对准、设置、开始、暂停、断开和完成,显示区域由定位类模块、姿态类模块、点云实时显示类模块和日志监控类模块组成。

## 船载水岸线水上水下一体化测量系统集成方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及海洋测绘技术领域,具体涉及一种船载水岸线水上水下一体化测量系统集成方法。

### 背景技术

[0002] 准确的海岛(礁)和大陆架海底地形是确定我国领海、专属经济区的重要依据,远海岛礁浅水区海底地形及近岸水上地形测量一直是国内外测绘领域的一个难点问题。

[0003] 传统的外业测绘一般使用船载单波束回声测深仪进行水下浅滩测量,采用人工跑滩、航空摄影以及卫星遥感等技术手段进行水上地形测量;由于不是一体化的测量方式,不仅使得成本较高,而且很难在相近的时刻获得水上和水下数据,从而引入额外的测量误差。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种船载水岸线水上水下一体化测量系统集成方法,解决了海岸带、海岛礁、内河航道及水中构筑物等的水上下一体化测量问题。

[0005] 本发明采用以下的技术方案:

[0006] 船载水岸线水上水下一体化测量系统集成方法,该系统的传感器包括激光扫描仪、多波束测深仪和GNSS/INS组合导航设备,包括:

[0007] 步骤1:构建数据采集显控软件的总体框架,数据采集显控软件的总体框架由控制层、数据层和显示层三部分组成;

[0008] 步骤2:建立网络通信机制,数据采集显控软件包括监控端和采集端,监控端通过与采集端进行通信连接,发送控制命令,并接收采集端的反馈信息及传输的采集数据信息,采集端同时与监控端和传感器建立通信,各个传感器发送至显控软件监控端需要保存并实时显示的数据称之为上行数据,监控端发送至各传感器的控制命令、设置参数数据为下行数据;

[0009] 步骤3:优化多线程控制算法,数据传输采用多线程传输,在算法中设置有主线程、三个子线程和缓冲区,三个子线程分别对应多波束测深仪、激光扫描仪和GNSS/INS组合导航设备,主线程负责下行数据的通讯传输,三个子线程用于传输上行数据,在上行数据由采集端发送至监控端的过程中,上行数据先保存到缓冲区中,然后再以报文的形式发送到监控端;

[0010] 步骤4:规划点云实时显示模块,数据采集显控软件通过可视化技术来规划点云实时显示模块,将源、过滤器、映射器、角色和渲染器依次连接起来;

[0011] 步骤5:进行多源数据融合解算,多源数据融合解算包括点云数据预处理、数据内插和空间配准三步;

[0012] 步骤6:点云数据预处理,包括点云滤波和点云抽稀,点云滤波包括回波信号去噪、距离去噪和时间去噪,点云抽稀是对密集的点云数据进行缩减;

[0013] 步骤7:数据内插,数据内插采用线性内插,将低频率的数据按照高频率的数据进

行内插,在进行数据内插时,首先,导入惯导姿态数据,根据检校参数得到各个时刻激光扫描仪和多波束测深仪中心点的坐标及姿态;然后,导入原始激光数据和测深数据,对其进行解析,从而得到测点在传感器坐标系下的坐标以及GPS时;根据各个点的时间对应查找此刻传感器的位置与姿态,以得到坐标匹配模型中构成旋转矩阵的三个角度,以及三个平移参数;

[0014] 步骤8:空间配准,定义五个坐标系统,包括载体坐标系、激光扫描仪坐标系、多波束测深仪坐标系、站心坐标系和大地坐标系,激光扫描仪坐标系和多波束测深仪坐标系为传感器坐标系,载体坐标系的坐标原点位于惯性测量单元的质心, $Y_i$ 轴指向前进方向, $X_i$ 轴垂直于 $Y_i$ 轴指向前进方向的右侧, $Z_i$ 轴垂直于 $X_i$ 、 $Y_i$ 轴指向上方,构成右手坐标系;激光扫描仪坐标系是一个以垂线和扫描平面为参考的右手坐标系,以激光发射参考点为原点,以垂直向上的方向为 $Z_s$ 轴,以载体前进方向为 $Y_s$ 轴, $X_s$ 轴垂直于 $Y_s$ 轴指向前进方向的右侧;多波束测深仪坐标系以换能器接收端中心为坐标原点,以换能器前进方向为 $Y_m$ 轴,沿接收端阵列平面垂直于 $Y_m$ 轴向右为 $X_m$ 轴,过该点垂直于接收端阵列向连接法兰方向为 $Z_m$ 轴,建立右手坐标系;站心坐标系原点位于GNSS天线的相位中心, $Y_1$ 轴指向当地北子午线方向, $X_1$ 轴与 $Y_1$ 轴垂直指向东方向, $Z_1$ 轴向上与 $X_1OY_1$ 平面垂直构成右手坐标系;大地坐标系为地心地固坐标系;

[0015] 步骤9:根据坐标匹配模型得到测点在大地坐标系下的坐标,通过传感器坐标系到载体坐标系的转换、载体坐标系到站心坐标系的转换和站心坐标系到大地坐标系的转换,将传感器的点位坐标归算到大地坐标。

[0016] 优选地,所述数据采集显控软件的主界面设置有任务栏和显示区域,任务栏由控制命令按钮组成,控制命令按钮有搜索、项目、连接、对准、设置、开始、暂停、断开和完成,显示区域由定位类模块、姿态类模块、点云实时显示类模块和日志监控类模块组成。

[0017] 本发明具有的有益效果是:

[0018] 本发明提供的船载水岸线水上水下一体化测量系统,该系统包括一体化测图装置,测图装置通过使用不同口径的内六角安装固定,并设置有方便吊装的接口,便于测图装置与载体船之间的快速安装和拆解。

[0019] 测图装置的多传感器升降平台设计实现测量系统的硬件集成,满足测量船在不同工况条件下改变传感器上下位置的要求。多传感器升降平台可通过一体化检校方式确定传感器空间位置关系,且一次检校后各传感器之间的偏移量和旋转角系统参数不会随升降位置变化而变化,避免了测量作业过程中的多次重复标定工作。

[0020] 本发明所涉及的数据采集显控软件集成方法通过将各传感器发送给监控端的数据实时地显示在显控界面上,直观地向用户展现设备工作状态,特别是提供水上、水下地形瀑布式点云显示,提高了信息挖掘能力和现场决策支持能力。

[0021] 本发明所涉及的多源数据融合解算技术为点云实时显示提供了算法支持;严密的时间和空间配准及坐标转换模型保证了精确的点位关系,为后续点云正确显示奠定基础;点云滤波与抽稀剔除了噪声和冗余数据,提高了数据内插效率。

## 附图说明

[0022] 图1为船载水上水下一体化测图装置中升降机构落下状态时的结构示意图。

- [0023] 图2为船载水上水下一体化测图装置的平台装置的俯视图。
- [0024] 图3为船载水上水下一体化测图装置中升降机构升起状态时的结构示意图。
- [0025] 图4为数据采集显控软件总体架构图。
- [0026] 图5为多线程网络通信设计框架图。
- [0027] 图6为点云可视化通道管线设计图。
- [0028] 图7为多传感器数据融合解算流程图。
- [0029] 图8为数据内插设计图。
- [0030] 图9为点云数据配准算法流程图。
- [0031] 图10为载体坐标系的正视图。
- [0032] 图11为载体坐标系的俯视图。
- [0033] 图12为激光扫描仪坐标系示意图。
- [0034] 图13为多波束测深仪坐标系示意图。
- [0035] 图14为传感器坐标系到载体坐标系的转换示意图。
- [0036] 图15为载体坐标系到站心坐标系的转换示意图。
- [0037] 图16为站心坐标系到地心地固坐标系的转换示意图。
- [0038] 图17为各传感器仪器中心和坐标系转换关系示意图。

### 具体实施方式

[0039] 下面结合附图对本发明进行具体的说明：

[0040] 结合图1至图3,该系统包括船载水上水下一体化测图装置,该一体化测图装置包括固定机构和升降机构。

[0041] 其中,固定机构包括四根第一钢管15,第一钢管15的上下两端分别焊接有固定机构的顶板7和固定机构的底板17,固定机构的顶板7和固定机构的底板17之间连接有一横截面为三角形的中间钢板16,中间钢板16上设置有滑轮12和旋转固定装置5。固定机构的顶板7上设置有基座13,固定机构的底板17上还设置有盖板18,固定机构的底板17下部固定连接有用与船体连接的连接板8。

[0042] 升降机构包括主板4,主板的四个角处设置有四根第二钢管14,主板4的中间位置处通过固定螺栓11连接有主钢管9。主板4上端固定连接有机载扫描仪和GNSS/INS组合导航设备封装外壳2,主钢管9下端通过法兰盘10固定连接有多波束测深仪外壳1。

[0043] 第二钢管14能够伸入到第一钢管15内,并沿第一钢管15内壁滑动,主钢管9插入中间钢板16内,并自固定机构的底板17伸出,固定机构的底板17上还设置有升降机3,升降机为手摇式升降机。升降机3上通过卡扣连接有钢丝绳6,钢丝绳6的另一端穿过滑轮12与主钢管9下端的法兰盘10相连。

[0044] 结合图4至图17,船载水岸线水上水下一体化测量系统集成方法,该系统的传感器包括激光扫描仪、多波束测深仪和GNSS/INS组合导航设备,包括:

[0045] 步骤1:构建数据采集显控软件的总体框架,数据采集显控软件具备传感器控制功能、稳定的数据采集和存储功能、实时的点云可视化功能,将数据采集显控软件的总体框架分为控制层、数据层和显示层。控制层提供多传感器与数据采集显控软件的通讯连接、工作参数设置、系统控制命令等功能。数据层将系统采集到的原始数据以先前设计好的数据格

式保存,保存的数据有两个用途:第一,为显控软件的数据回放模块提供数据源;第二,为内业处理提供原始数据,以便进行数据融合、滤波、点云显示等。显示层是将各传感器发送给监控端的数据实时地显示在显控软件界面上,此信息主要包括水上水下点云实时数据显示、定位实时数据显示和姿态实时数据显示。特别是提供水上水下地形瀑布式点云显示功能,从而提高信息挖掘能力和现场决策支持能力。

[0046] 数据采集显控软件的主界面设置有任务栏和显示区域,任务栏由控制命令按钮组成,控制命令按钮有搜索、项目、连接、对准、设置、开始、暂停、断开、完成等,显示区域由定位类模块、姿态类模块、点云实时显示类模块和日志监控类模块组成。

[0047] 步骤2:建立网络通信机制,数据采集显控软件包括监控端和采集端,各传感器发送至监控端需要保存并实时显示的数据称之为上行数据,监控端发送至各传感器的控制命令、设置参数数据为下行数据。监控端通过与采集端进行通信连接,发送控制命令,并接收采集端的反馈信息及传输的采集数据信息。采集端同时与监控端和传感器建立通信,在整个数据传输中起到桥梁的作用。监控端与采集端分工明确,各司其职,组成完整的网络通信结构。

[0048] 步骤3:优化多线程控制算法,数据传输采用多线程传输,在算法中设置有主线程、三个子线程和缓冲区,三个子线程分别对应多波束测深仪、激光扫描仪和GNSS/INS组合导航设备,主线程负责下行数据的通讯传输,三个子线程分别用于传输各传感器采集的原始数据等上行数据,并且在由采集端发送至监控端的过程中,上行数据需要先保存到预先开辟的缓冲区中,待达到一定量时再以报文的形式发送到监控端,然后进行数据存储和可视化,最终实现水上、水下地形三维显示。

[0049] 步骤4:规划点云实时显示模块,数据采集显控软件通过VTK可视化技术来规划点云实时显示模块,设置高效的可视化管道,将源、过滤器、映射器、角色和渲染器依次连接起来。VTK可视化技术的算法实现过程包括数据的读取、数据的过滤、映射的实现、角色的执行及渲染显示。数据的读取是传感器实时将数据发送到数据显控软件界面,并进行数据融合,为VTK提供数据对象。采用相机设置视角、焦点,以便识别实时点位。数据的过滤是将原始数据经过过滤器的处理后,转换为可以直接用算法模块对其进行处理的形式。映射的实现是应用映射器来提供显示过程中的接口,采集到的数据对象需要通过映射器映射到角色中。角色的执行是通过角色来进行点云图形的绘制,包括物体的表面属性、物体的显示方式及物体的纹理映射等。渲染显示采用基类渲染器来管理光源、照相机和绘制点云的位置、属性等,并将位置和属性添加到渲染器窗口中将场景显示出来。

[0050] 步骤5:进行多源数据融合解算,多源数据融合解算是将系统中获得的原始激光扫描仪、多波束测深仪数据通过定位定姿数据、多传感器检校参数进行融合,将测得的点位坐标归算到统一的大地坐标系下。多源数据融合解算包括点云数据预处理、数据内插和空间配准三步。

[0051] 步骤6:点云数据预处理,包括点云滤波和点云抽稀,点云滤波包括回波信号去噪、距离去噪和时间去噪,以达到优化点云数据质量的目的。点云抽稀是对密集的点云数据进行缩减,通过点云抽稀,按照时间或空间规律创建索引,截取关键位置点云,以达到快速、精确实时显示的目的。

[0052] 在测量的过程中,点云中混入的噪声大致可分为三类。第一类是由于被测物体表

面因素产生的误差所引起的噪声。如被测地物表面的粗糙度及纹理等,当被测地物表面非常光滑时,例如海水表面,会使波束发生较强的镜面反射,从而产生误差,引起噪声。第二类是由于测量系统本身的误差所引起的噪声。例如测量设备的精度、传感器的分辨率等由硬件设备引起的噪声。第三类是偶然因素引起的噪声。例如在测量过程中,由于地面上的树木、水体中的杂质、浮游生物等干扰形成的散乱点。因此如果不对数据进行去噪处理,这些噪声点对特征点提取的精度和点云实时显示的质量产生直接影响,其结果将导致曲面不平滑,降低模型重构的精度。

[0053] 回波信号去噪,测量系统除了提供激光脚点和波束脚印的距离、角度和时间信息外,还提供回波信号的强度信息,对于不同的介质获取的回波强度信息也不同。数据内插借助回波强度信息进行相应去噪,将回波强度为零的点剔除,并去除部分冗余数据,提高数据内插效率。

[0054] 距离去噪,距离去噪是指通过判断点云中点到原点的距离,然后设置一个大小合适的阈值,大于或小于此值的点云被保留或删除,根据不同的情况,做相应的处理。经过这些处理,使得剩余的点云就是目标区域的点云,即感兴趣区域的点云。

[0055] 测量过程中,水上激光扫描仪在反射率90%的情况下,最大测量距离可以达到1400m,若超过最大量程,测量精度会大大降低;同时考虑到最小测量距离为1.5m,所以在内插时需要将水上测量距离的阈值设定在1.5m至1400m之间进行去噪。水下多波束测深仪在扇区开角为 $10^{\circ}$ 至 $160^{\circ}$ 的范围内,最大测量深度可以达到500m,最小量程分辨率为1.25cm,所以在内插时同样需要将水下测量深度的阈值设定在0m至500m之间进行去噪。

[0056] 时间去噪,由于激光扫描仪、多波束测深仪和惯性测量单元记录的都是带有时间序列的数据,同时,位置和姿态数据进行数据内插也以时间同步信号为基准,这就要求激光扫描仪和多波束测深仪所采集的原始数据在惯性测量单元记录的时间范围之内。因此,时间去噪通过对惯性测量单元记录时间内的点位进行查询,并将惯性测量单元时间范围之外的数据剔除。

[0057] 数据平滑通常采用标准高斯、平均或中值滤波算法。高斯滤波器在指定域内的权重为高斯分布,其平均效果较小,故在滤波的同时能较好地保持原数据的形貌。平均滤波器是利用滤波窗口内各采样数据点的统计平均值来代替当前点。中值滤波是一种有效的非线性滤波,常用于消除随机脉冲噪声。把它应用到点云中过滤时在距离图像上滑动一个含有奇数个点的窗口,对该窗口所覆盖点的Y值按大小进行排序,处在Y值序列中间的那个Y值称为中值点,用它来代替窗口中心的点。

[0058] 激光扫描仪和多波束测深仪可在短时间内获取大量的点云数据,目标物要求的扫描分辨率越高、体积越大,获得的点云数据量就越大,大量的数据在存储、操作、显示等方面都会占用大量的系统资源,使得处理速度减慢,运行效率降低。故需对点云数据进行抽稀。

[0059] 点云抽稀是对密集的点云数据进行缩减,从而实现点云数据量的减小,通过抽稀,可以极大地提高点云数据的处理效率。主要通过两种方法进行数据缩减:第一,在数据获取时对点云数据进行抽稀,根据目标地物的形状及分辨率的要求,设置不同的采样间隔来简化数据,同时使得相邻测区没有太多的重叠;第二,在正常采集数据的基础上,利用一些算法来进行缩减。

[0060] 步骤7:数据内插,由于测量系统中不同传感器的发射频率不同,因此,必须将低频



率的数据按照高频率的数据进行内插,从而使原始激光扫描仪、多波束测深仪数据通过定位定姿数据、多传感器检校参数进行融合解算;同时,测量船相对来说,行驶速度较慢,可认为其在短时间内保持匀速运动,内插算法可考虑采用线性内插;通过内插处理,使相应时刻的位置和姿态数据对齐,以达到位置纠偏和姿态改正的目的。通过上述步骤6进行相应的去噪后,针对单个测点的时间遍历寻找最近点的惯性测量单元信息,以此来进行线性内插,从而获取每个测点的姿态和位置信息。在进行数据内插时,首先,导入惯导姿态数据,根据检校参数得到各个时刻激光扫描仪和多波束测深仪中心点的坐标,以及它们的姿态;然后,导入原始激光数据和测深数据,对其进行解析,从而得到测点在传感器坐标系下的坐标以及GPS时;根据各个点的时间对应查找此刻传感器的位置与姿态,以得到坐标匹配模型中构成旋转矩阵的三个角度 $(\varphi, \omega, \kappa)$ ,以及三个平移参数 $(l_x, l_y, l_z)$ 。

[0061] 步骤8:空间配准,定义五个坐标系,包括载体坐标系、激光扫描仪坐标系、多波束测深仪坐标系、站心坐标系和大地坐标系,激光扫描仪坐标系和多波束测深仪坐标系为传感器坐标系。

[0062] 载体坐标系的坐标原点位于惯性测量单元的质心, $Y_i$ 轴指向前进方向, $X_i$ 轴垂直于 $Y_i$ 轴指向前进方向的右侧, $Z_i$ 轴垂直于 $X_i$ 、 $Y_i$ 轴指向上方,构成右手坐标系。此坐标系的原点和坐标轴向,以及特征点位在设备的外部均有描述。

[0063] 激光扫描仪坐标系是一个以垂线和扫描平面为参考的右手坐标系,以激光发射参考点为原点,以垂直向上的方向为 $Z_s$ 轴,以载体前进方向为 $Y_s$ 轴, $X_s$ 轴垂直于 $Y_s$ 轴指向前进方向的右侧,此时, $X_sOZ_s$ 面为激光扫描竖直平面,同时给出位于仪器底部,在该坐标系下已知坐标值的4个特征点。

[0064] 多波束测深仪坐标系以换能器接收端中心为坐标原点,以换能器前进方向为 $Y_m$ 轴,沿接收端阵列平面垂直于 $Y_m$ 轴向右为 $X_m$ 轴,过该点垂直于接收端阵列向连接法兰方向为 $Z_m$ 轴,建立右手坐标系。

[0065] 站心坐标系原点位于GNSS天线的相位中心, $Y_1$ 轴指向当地北子午线方向, $X_1$ 轴与 $Y_1$ 轴垂直指向东方向, $Z_1$ 轴向上与 $X_1OY_1$ 平面垂直构成右手坐标系。

[0066] 大地坐标系为地心地固坐标系。

[0067] 步骤9:根据坐标匹配模型得到测点在大地坐标系下的坐标,通过传感器坐标系到载体坐标系的转换、载体坐标系到站心坐标系的转换和站心坐标系到大地坐标系的转换,将传感器的点位坐标归算到大地坐标。

[0068] 传感器向载体坐标系转换的6个参数为 $l_x, l_y, l_z, \omega, \varphi, \kappa$ 。在理想的安装情况下,传感器坐标系应与载体坐标系三轴平行,由于不平行而造成的轴与轴之间的偏差即为安装误差,可以通过传感器安装校准的方法求得,即校准参数——横摇(roll)偏差角、纵摇(pitch)偏差角、艏向(yaw)偏差角,分别用 $\omega, \varphi$ 和 $\kappa$ 表示;而平移参数则是传感器坐标系与载体坐标系之间的原点差,即传感器坐标系的原点在载体坐标系中的坐标值,可以在仪器安装后通过钢尺量取或间接推算得出。所以,传感器坐标系可以通过上述参数直接向载体坐标系中转换。设扫描点坐标为 $[X \ Y \ Z]^T$ ,在载体坐标系下的坐标为 $[X \ Y \ Z]^T_b$ 。则有,

$$[0069] \quad \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_b = R_s^b \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_s + \begin{bmatrix} l_x \\ l_y \\ l_z \end{bmatrix}_b$$

[0070] 其中,

$$[0071] \quad R_s^b = (R_b^s)^T = (R_y(\varphi) \cdot R_x(\omega) \cdot R_z(\kappa))^T = R_z(-\kappa) \cdot R_x(-\omega) \cdot R_y(-\varphi)$$

$$= \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \kappa - \sin \varphi \sin \omega \sin \kappa & \cos \omega \sin \kappa & \sin \varphi \cos \kappa + \cos \varphi \sin \omega \sin \kappa \\ -\cos \varphi \sin \kappa - \sin \varphi \sin \omega \cos \kappa & \cos \omega \cos \kappa & -\sin \varphi \sin \kappa + \cos \varphi \sin \omega \cos \kappa \\ -\sin \varphi \cos \omega & -\sin \omega & \cos \varphi \cos \omega \end{bmatrix}$$

[0072] 载体坐标系到站心坐标系的转换

[0073] 惯性测量单元可以测出载体的实时姿态,包括横滚角(roll)、俯仰角(pitch)和航向角(heading),这三个姿态角即为站心坐标系和载体坐标系之间的欧拉角。横滚角是指x轴与水平方向之间的夹角;俯仰角是指y轴与水平方向之间的夹角;航向角是指前进方向(xy平面)与正北方向之间的夹角,顺时针为正。通过实时获取的姿态角数据即可将载体坐标系下的点位观测量转换到站心水平坐标系下。

[0074] 设滚角、俯仰角和航向角分别为r、p、y。设扫描点在站心坐标系下的坐标为 $\begin{bmatrix} X & Y & Z \end{bmatrix}_l$ ,载体坐标系下坐标向站心坐标系转换时,需先绕z轴旋转y,再绕x轴旋转p,最后绕y轴旋转r。则有,

$$[0075] \quad \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_l = R_b^l \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_b$$

[0076] 其中,

$$[0077] \quad R_b^l = (R_y(r) \cdot R_x(p) \cdot R_z(y))^T = R_z(-y) \cdot R_x(-p) \cdot R_y(-r)$$

$$= \begin{bmatrix} \cos y \cos r + \sin y \sin p \sin r & \sin y \cos p & \cos y \sin r - \sin y \sin p \cos r \\ -\sin y \cos r + \cos y \sin p \sin r & \cos y \cos p & -\sin y \sin r - \cos y \sin p \cos r \\ -\cos p \sin r & \sin p & \cos p \cos r \end{bmatrix}$$

[0078] 站心坐标系到大地坐标系的转换

[0079] 站心坐标系原点在WGS-84坐标系下的经纬度分别为L和B。设扫描点在大地坐标系下的坐标为 $\begin{bmatrix} X & Y & Z \end{bmatrix}_e$ ,站心坐标系下的坐标转换为大地坐标系下的坐标时,需先绕x轴旋转 $-\frac{\pi}{2} + B$ ,再绕z轴旋转 $-\frac{\pi}{2} - L$ ,最后将站心坐标系原点平移到WGS-84坐标系原点,则有,

$$[0080] \quad \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_e = R_l^e \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_l + \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{oe}$$

[0081] 其中，

$$R_l^e = R_z\left(-\frac{\pi}{2} - L\right) \cdot R_x\left(-\frac{\pi}{2} + B\right)$$

$$[0082] \quad = \begin{bmatrix} -\sin L & -\sin B \cos L & \cos B \cos L \\ \cos L & -\sin B \sin L & \cos B \sin L \\ 0 & \cos B & \sin B \end{bmatrix}$$

[0083]  $\begin{bmatrix} X & Y & Z \end{bmatrix}_{oe}^T$  为站心坐标系原点在大地坐标系下的空间直角坐标。从而可得：

$$[0084] \quad \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_e = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{oe} + R_l^e \cdot R_b^l \left( R_s^b \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_s + \begin{bmatrix} l_x \\ l_y \\ l_z \end{bmatrix}_b \right)$$

[0085] 当然，上述说明并非是对本发明的限制，本发明也并不仅限于上述举例，本技术领域的技术人员在本发明的实质范围内所做出的变化、改型、添加或替换，也应属于本发明的保护范围。

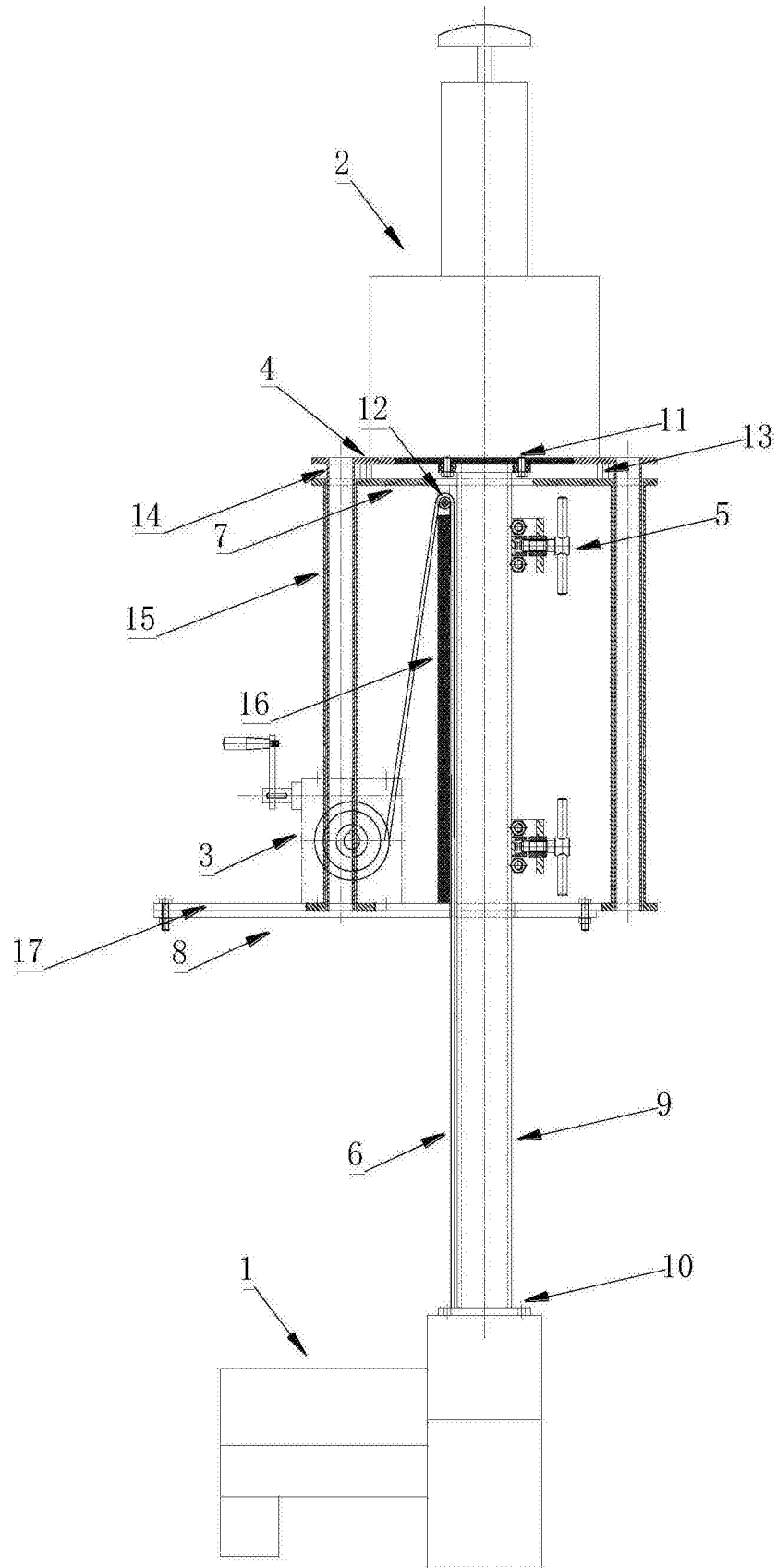


图1

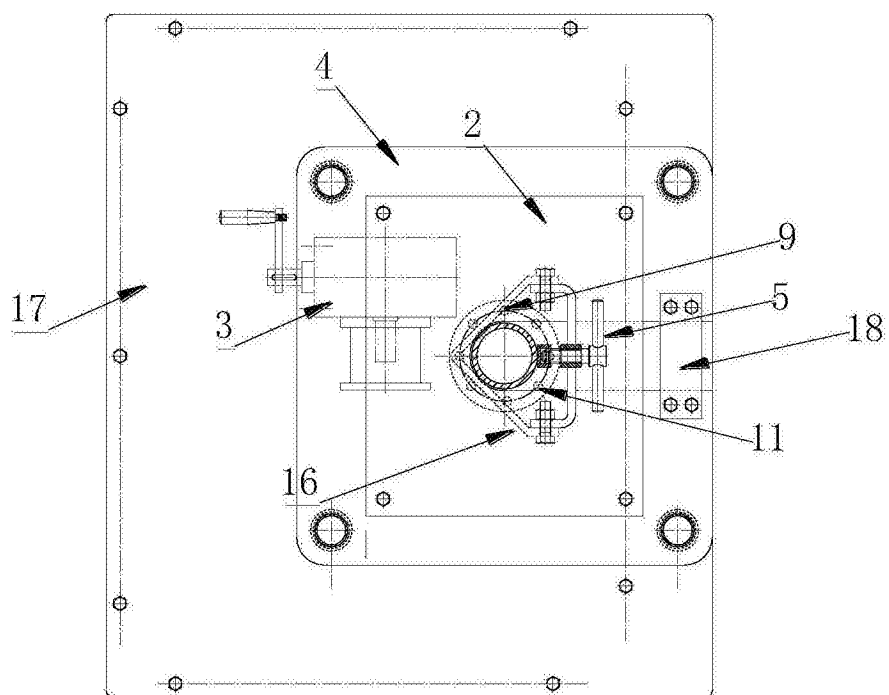


图2

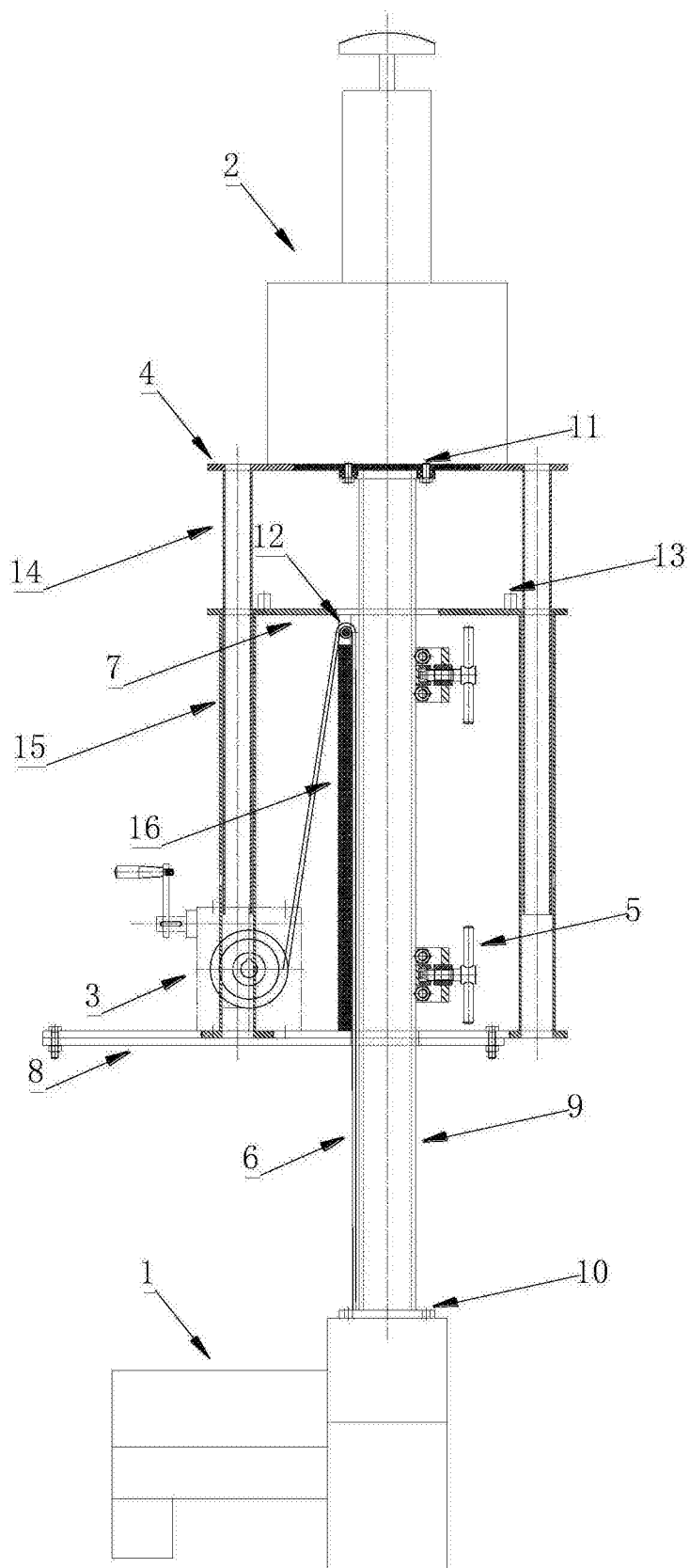


图3

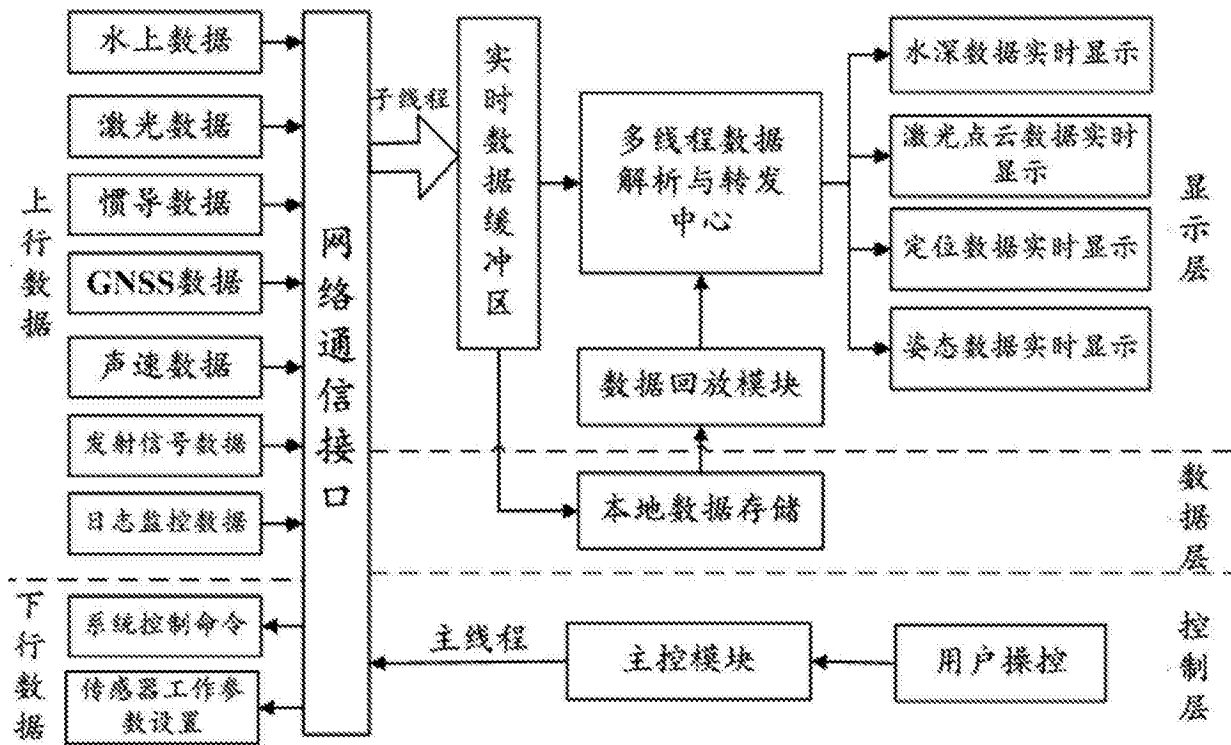


图4

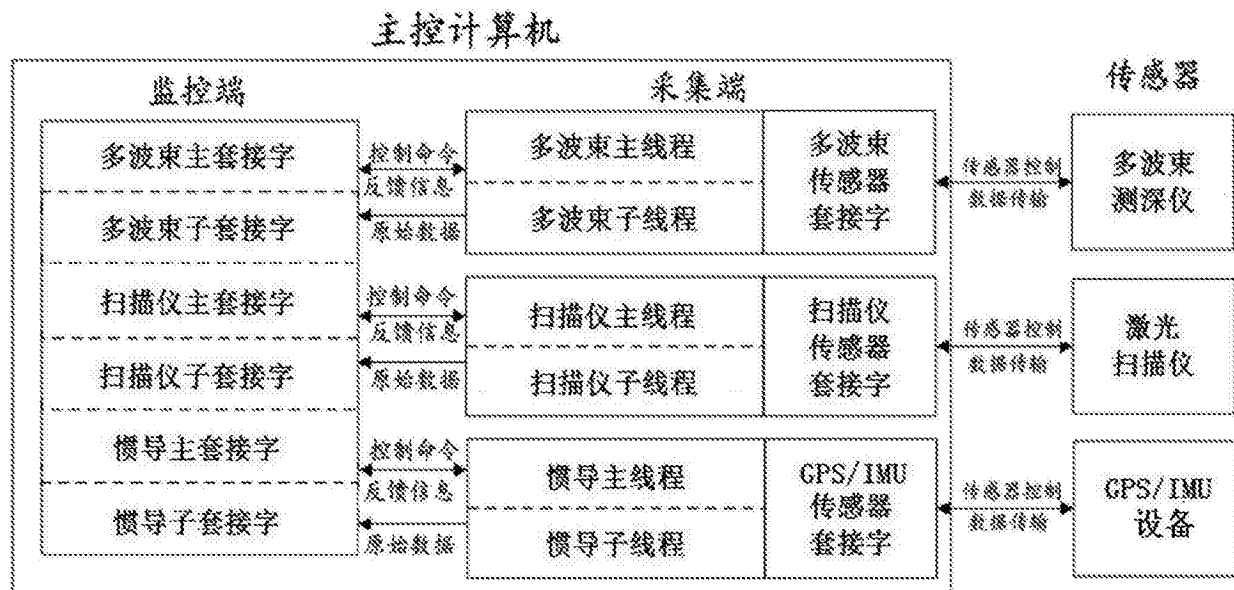


图5

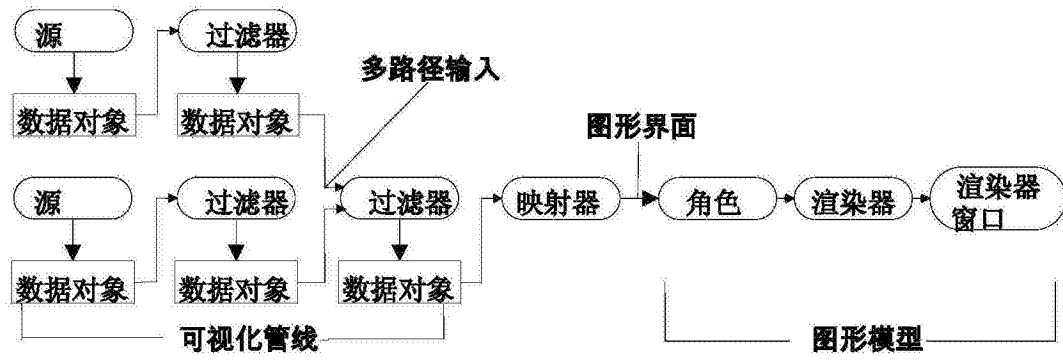


图6

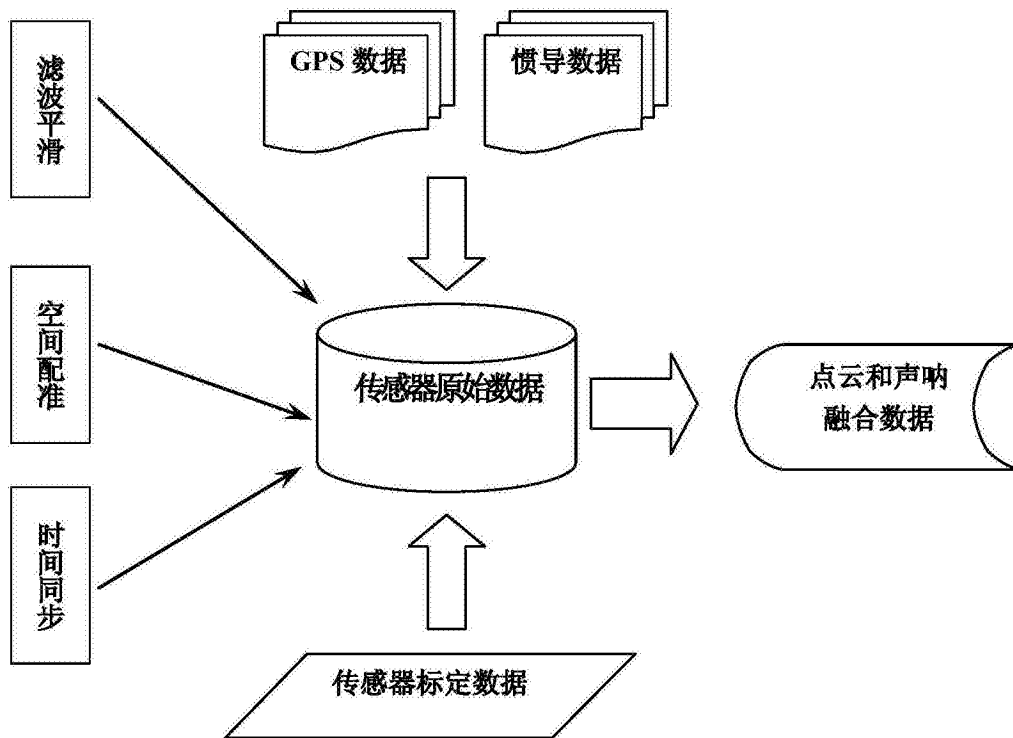


图7



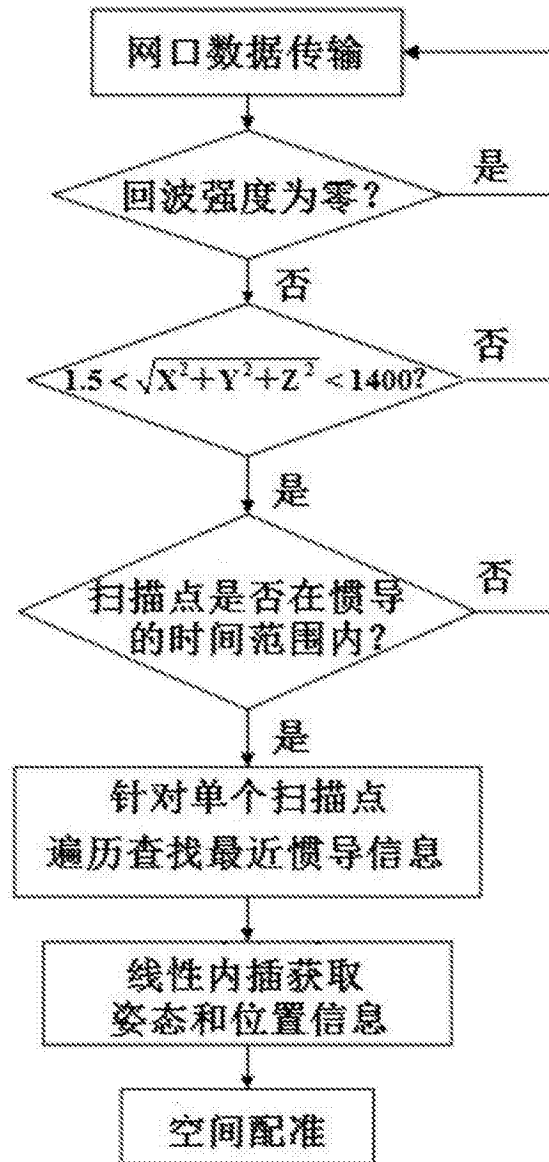


图8

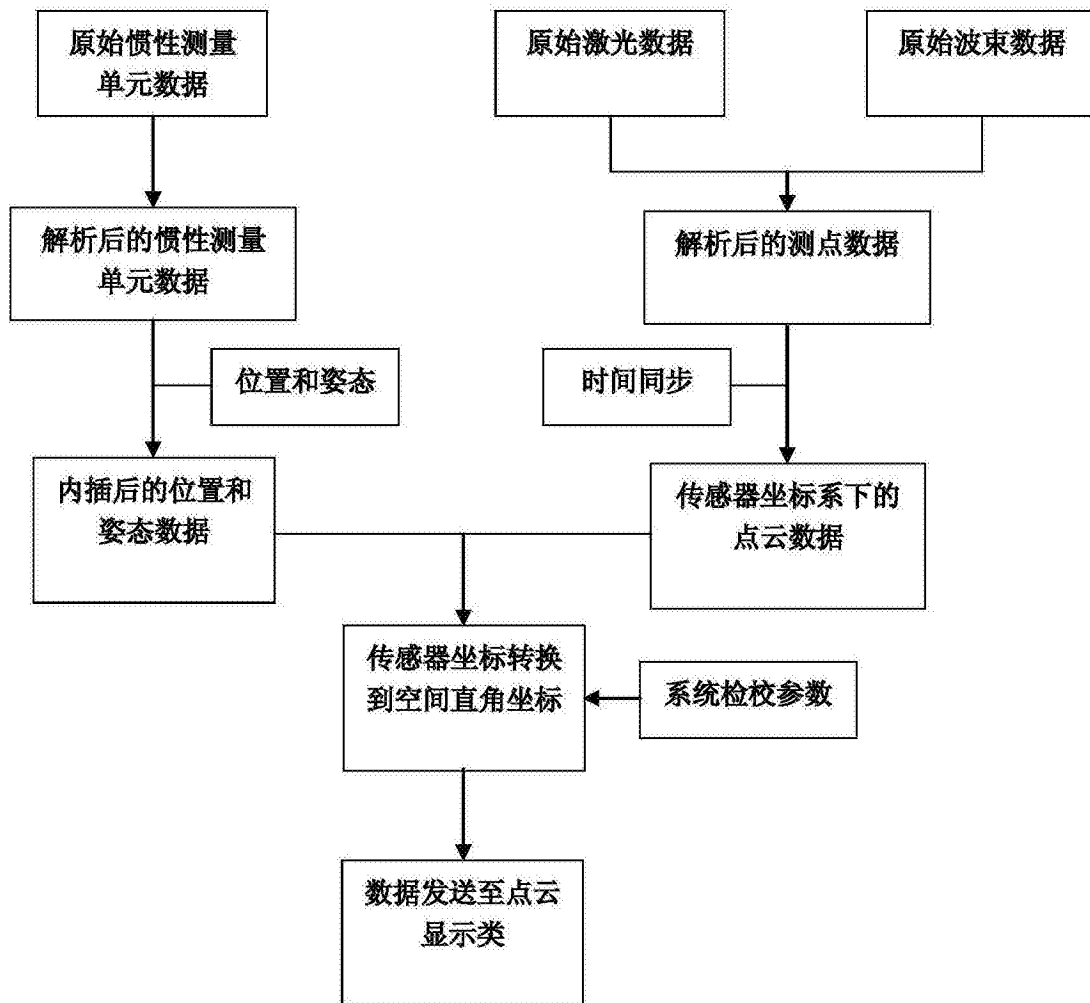


图9

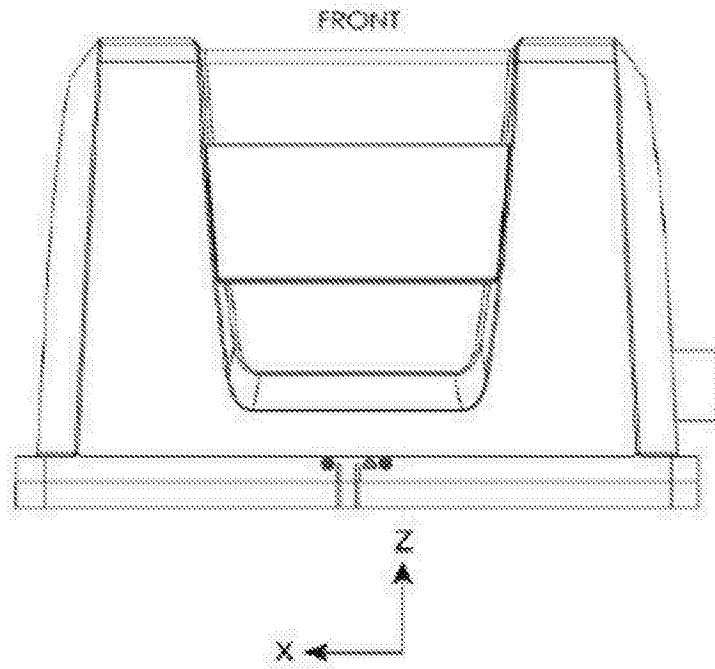


图10

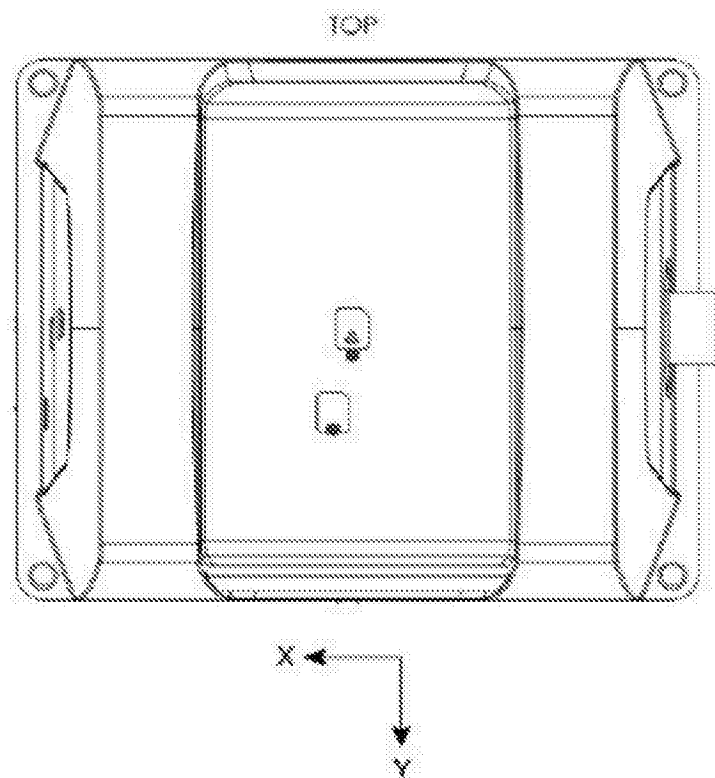


图11

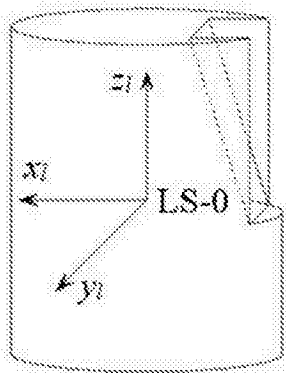


图12

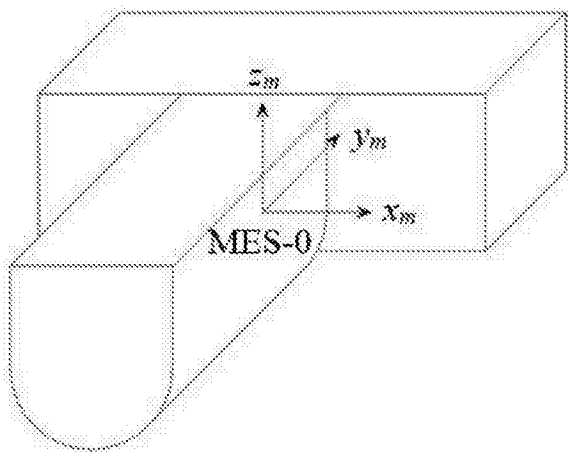


图13

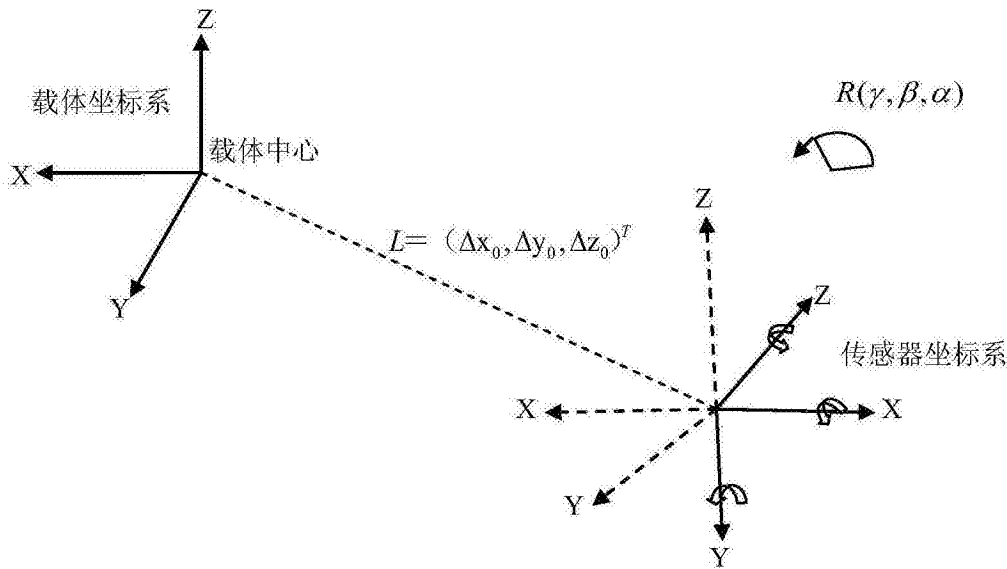


图14

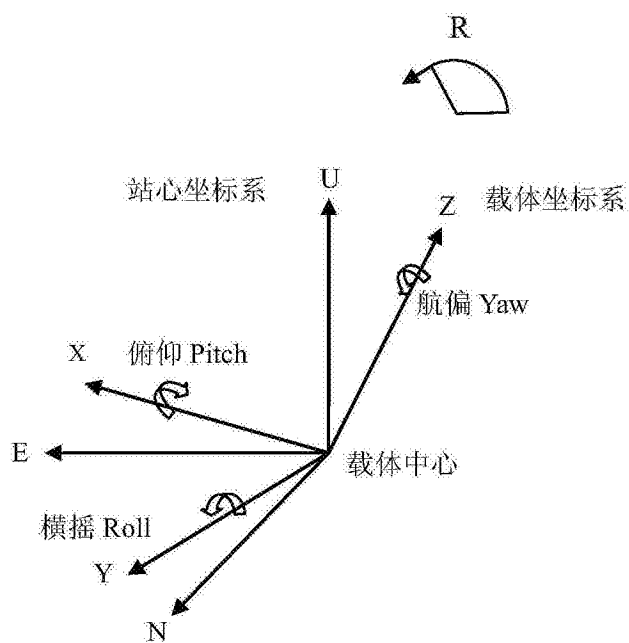


图15

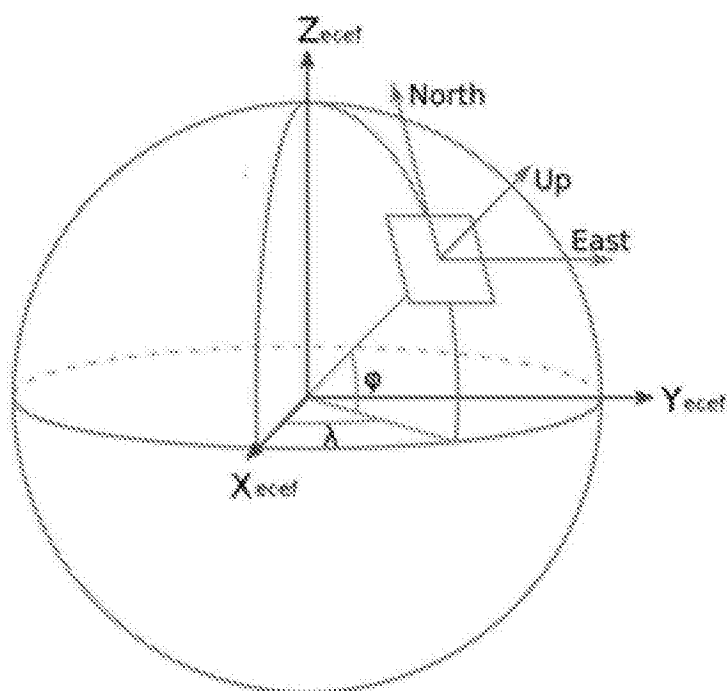


图16

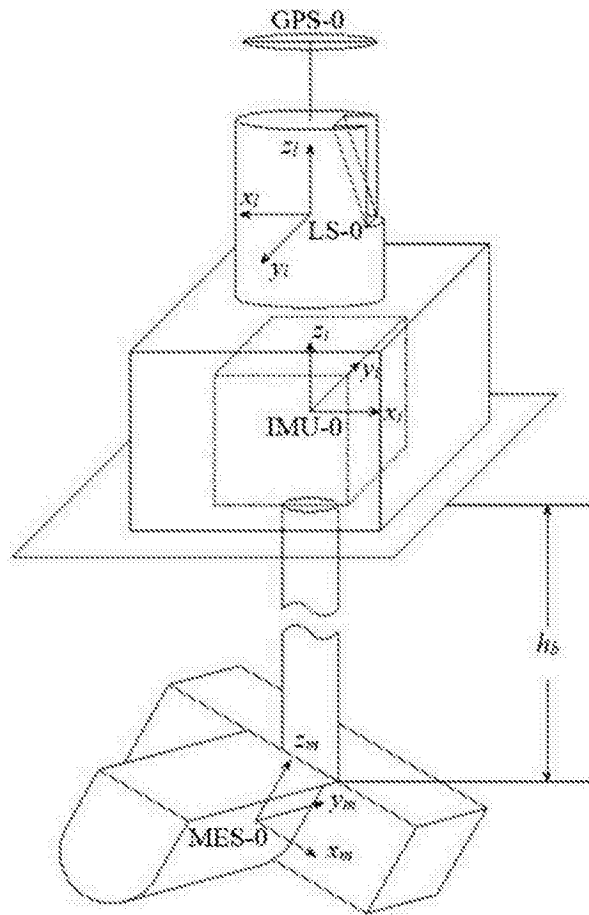


图17