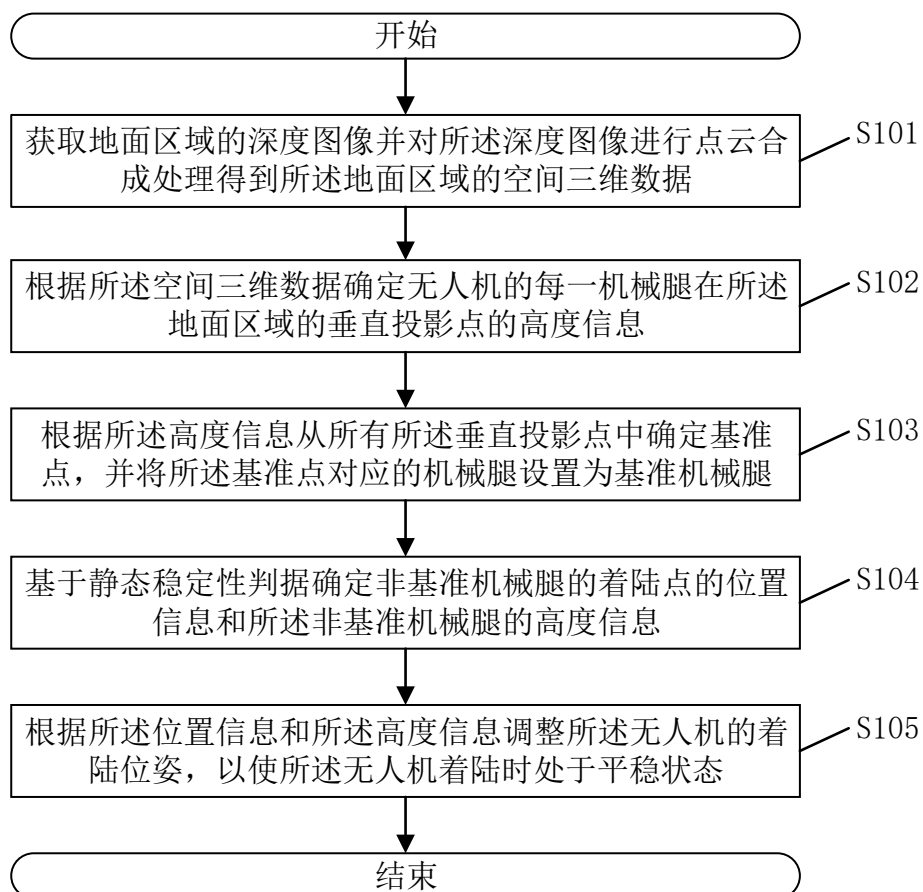


说明书摘要

本申请公开了一种无人机的着陆位姿调整方法，所述着陆位姿调整方法包括获取地面区域的深度图像并对深度图像进行点云合成处理得到地面区域的空间三维数据；根据空间三维数据确定机械腿在地面区域的垂直投影点的高度信息；根据高度信息从所有垂直投影点中确定基准点，并将基准点对应的机械腿设置为基准机械腿；基于静态稳定性判据确定非基准机械腿的着陆点的位置信息和高度信息；根据位置信息和高度信息调整无人机的着陆位姿，以使无人机着陆时处于平稳状态；本方法能够控制无人机根据着陆地面状况调整着陆位姿，实现无人机的平稳着陆。本申请还公开了一种无人机的着陆位姿调整系统、一种计算机可读存储介质及一种无人机，具有以上有益效果。



摘要附图



权 利 要 求 书

1、一种无人机的着陆位姿调整方法，其特征在于，包括：

获取地面区域的深度图像并对所述深度图像进行点云合成处理得到所述地面区域的空间三维数据；

根据所述空间三维数据确定无人机的每一机械腿在所述地面区域的垂直投影点的高度信息；

根据所述高度信息从所有所述垂直投影点中确定基准点，并将所述基准点对应的机械腿设置为基准机械腿；

基于静态稳定性判据确定非基准机械腿的着陆点的位置信息和所述非基准机械腿的高度信息；

根据所述位置信息和所述高度信息调整所述无人机的着陆位姿，以使所述无人机着陆时处于平稳状态；其中，所述无人机着陆时所述基准机械腿的着陆点为所述基准点。

2、根据权利要求1所述着陆位姿调整方法，其特征在于，根据所述高度信息从所有所述垂直投影点中确定基准点包括：

按照所述垂直投影点的空间位置从高到低排序得到排序结果；

将所述排序结果中的第N位的垂直投影点设置为所述基准点。

3、根据权利要求1所述着陆位姿调整方法，其特征在于，在基于静态稳定性判据确定非基准机械腿的着陆点的位置信息和所述非基准机械腿的高度信息之前，还包括：

将所述基准机械腿的高度调节为最大可调节范围的 $\frac{1}{M}$ 。

4、根据权利要求1所述着陆位姿调整方法，其特征在于，当所述基准机械腿的数量为1且所述非基准机械腿的数量为3时，基于静态稳定性判据确定非基准机械腿的着陆点的位置信息和所述非基准机械腿的高度信息包括：

将与所述基准机械腿不相邻的第一非基准机械腿的着陆点设置为所述第一非基准机械腿在所述地面区域的第一垂直投影点，并根据所述第一垂直投影点与所述基准点的高度差调整所述第一非基准机械腿的高度，以使着陆后的所述第一非基准机械腿与无人机机身的第一连接点的高度等于所述基准机械腿与所述无人机机身的基准连接点的高度；



基于所述静态稳定性判据确定与所述基准机械腿相邻的第二非基准机械腿的着陆点并调整所述第二非基准机械腿的高度，以使着陆后的所述第二非基准机械腿与所述无人机机身的第二连接点、所述第一连接点和所述基准连接点构成的平面与水平面的夹角小于第一预设角度；

基于所述静态稳定性判据确定与所述基准机械腿相邻的第三非基准机械腿的着陆点并调整所述第三非基准机械腿的高度，以使着陆后的所述第三非基准机械腿与所述无人机机身的第三连接点、所述第一连接点和所述基准连接点构成的平面与水平面的夹角小于第二预设角度；

分别记录所述第一非基准机械腿、所述第二非基准机械腿和所述第三非基准机械腿的着陆点的位置信息和高度信息。

5、根据权利要求1所述着陆位姿调整方法，其特征在于，所述平稳状态具体为无人机机身处于水平位姿且任意两条所述机械腿的受力差小于预设差值的状态。

6、根据权利要求1所述着陆位姿调整方法，其特征在于，根据所述位置信息和所述高度信息调整所述无人机的着陆位姿包括：

根据所述位置信息和所述高度信息计算所有所述机械腿的目标位置信息，并根据所述目标位置信息为每一所述机械腿生成运动规划数据；

控制每一所述机械腿按照所述运动规划数据运动，以便调整所述无人机的着陆位姿。

7、根据权利要求1至6任一项所述着陆位姿调整方法，其特征在于，还包括：

判断所述无人机的当前位姿是否为所述着陆位姿；

若是，则将所述无人机的运动状态调整为降落状态，以便所述无人机的每一所述机械腿均降落在相应的着陆点。

8、一种无人机的着陆位姿调整系统，其特征在于，包括：

点云合成模块，用于获取地面区域的深度图像并对所述深度图像进行点云合成处理得到所述地面区域的空间三维数据；

高度信息获取模块，用于根据所述空间三维数据确定无人机的每一机械腿在所述地面区域的垂直投影点的高度信息；



基准确定模块，用于根据所述高度信息从所有所述垂直投影点中确定基准点，并将所述基准点对应的机械腿设置为基准机械腿；

着陆点确定模块，用于基于静态稳定性判据确定非基准机械腿的着陆点的位置信息和所述非基准机械腿的高度信息；

位姿调整模块，用于根据所述位置信息和所述高度信息调整所述无人机的着陆位姿，以使所述无人机着陆时处于平稳状态；其中，所述无人机着陆时所述基准机械腿的着陆点为所述基准点。

9、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上存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现如权利要求 1 至 7 任一项所述无人机的着陆位姿调整方法的步骤。

10、一种无人机，其特征在于，包括：

存储器，用于存储计算机程序；

处理器，用于执行所述计算机程序时实现如权利要求 1 至 7 任一项所述无人机的着陆位姿调整方法的步骤。



说明书

一种无人机的着陆位姿调整方法、系统及相关组件

技术领域

本发明涉及无人机控制技术领域，特别涉及一种无人机的着陆位姿调整方法、系统、一种计算机可读存储介质及一种无人机。

背景技术

近几年来无人机的技术日渐成熟，已经在侦察、航拍、农业、快递运输、灾难救援、电力巡检、影视拍摄等多个领域广泛应用。随着其成本的逐渐降低和应用领域不断拓展，无人机也开始承担越来越复杂的任务和使命，许多时候都要求无人机能够随着工作的进行随时着陆和起飞。但无人机着陆和起飞时都需要机身平稳，尤其在气流环境相对恶劣的情况下不平稳的着陆和起飞很容易造成机身倾覆对无人机产生毁灭性的伤害，而复杂的工作环境有时却无法完全满足降落要求，因此无人机的着陆问题显得日渐突出，在许多应用领域上限制着无人机的发展。

因此，如何控制无人机根据着陆地面状况调整着陆位姿，实现无人机的平稳着陆是本领域技术人员目前需要解决的技术问题。

发明内容

本申请的目的是提供一种无人机的着陆位姿调整方法、系统、一种计算机可读存储介质及一种无人机，能够控制无人机根据着陆地面状况调整着陆位姿，实现无人机的平稳着陆。

为解决上述技术问题，本申请提供一种无人机的着陆位姿调整方法，该着陆位姿调整方法包括：

获取地面区域的深度图像并对所述深度图像进行点云合成处理得到所述地面区域的空间三维数据；

根据所述空间三维数据确定无人机的每一机械腿在所述地面区域的垂直投影点的高度信息；

根据所述高度信息从所有所述垂直投影点中确定基准点，并将所述基准点对应的机械腿设置为基准机械腿；



基于静态稳定性判据确定非基准机械腿的着陆点的位置信息和所述非基准机械腿的高度信息；

根据所述位置信息和所述高度信息调整所述无人机的着陆位姿，以使所述无人机着陆时处于平稳状态；其中，所述无人机着陆时所述基准机械腿的着陆点为所述基准点。

可选的，根据所述高度信息从所有所述垂直投影点中确定基准点包括：

按照所述垂直投影点的空间位置从高到低排序得到排序结果；

将排序结果中的第 N 位的垂直投影点设置为所述基准点。

可选的，在基于静态稳定性判据确定非基准机械腿的着陆点的位置信息和所述非基准机械腿的高度信息之前，还包括：

将所述基准机械腿的高度调节为最大可调节范围的 $\frac{1}{M}$ 。

可选的，当所述基准机械腿的数量为 1 且所述非基准机械腿的数量为 3 时，基于静态稳定性判据确定非基准机械腿的着陆点的位置信息和所述非基准机械腿的高度信息包括：

将与所述基准机械腿不相邻的第一非基准机械腿的着陆点设置为所述第一非基准机械腿在所述地面区域的第一垂直投影点，并根据所述第一垂直投影点与所述基准点的高度差调整所述第一非基准机械腿的高度，以使着陆后的所述第一非基准机械腿与无人机机身的第一连接点的高度等于所述基准机械腿与所述无人机机身的基准连接点的高度；

基于所述静态稳定性判据确定与所述基准机械腿相邻的第二非基准机械腿的着陆点并调整所述第二非基准机械腿的高度，以使着陆后的所述第二非基准机械腿与所述无人机机身的第二连接点、所述第一连接点和所述基准连接点构成的平面与水平面的夹角小于第一预设角度；

基于所述静态稳定性判据确定与所述基准机械腿相邻的第三非基准机械腿的着陆点并调整所述第三非基准机械腿的高度，以使着陆后的所述第三非基准机械腿与所述无人机机身的第三连接点、所述第一连接点和所述基准连接点构成的平面与水平面的夹角小于第二预设角度；

分别记录所述第一非基准机械腿、所述第二非基准机械腿和所述第三非基准机械腿的着陆点的位置信息和高度信息。



可选的，所述平稳状态具体为无人机机身处于水平位姿且任意两条所述机械腿的受力差小于预设差值的状态。

可选的，根据所述位置信息和所述高度信息调整所述无人机的着陆位姿包括：

根据所述位置信息和所述高度信息计算所有所述机械腿的目标位置信息，并根据所述目标位置信息为每一所述机械腿生成运动规划数据；

控制每一所述机械腿按照所述运动规划数据运动，以便调整所述无人机的着陆位姿。

可选的，还包括：

判断所述无人机的当前位姿是否为所述着陆位姿；

若是，则将所述无人机的运动状态调整为降落状态，以便所述无人机的每一所述机械腿均降落在相应的着陆点。

本申请还提供了一种无人机的着陆位姿调整系统，该着陆位姿调整系统包括：

点云合成模块，用于获取地面区域的深度图像并对所述深度图像进行点云合成处理得到所述地面区域的空间三维数据；

高度信息获取模块，用于根据所述空间三维数据确定无人机的每一机械腿在所述地面区域的垂直投影点的高度信息；

基准确定模块，用于根据所述高度信息从所有所述垂直投影点中确定基准点，并将所述基准点对应的机械腿设置为基准机械腿；

着陆点确定模块，用于基于静态稳定性判据确定非基准机械腿的着陆点的位置信息和所述非基准机械腿的高度信息；

位姿调整模块，用于根据所述位置信息和所述高度信息调整所述无人机的着陆位姿，以使所述无人机着陆时处于平稳状态；其中，所述无人机着陆时所述基准机械腿的着陆点为所述基准点。

本申请还提供了一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，所述计算机程序执行时实现上述无人机的着陆位姿调整方法执行的步骤。

本申请还提供了一种无人机，包括存储器和处理器，所述存储器中存储有计算机程序，所述处理器调用所述存储器中的计算机程序时实现上述无人机的着陆位姿调整方法执行的步骤。



本申请提供了一种无人机的着陆位姿调整方法，包括获取地面区域的深度图像并对所述深度图像进行点云合成处理得到所述地面区域的空间三维数据；根据所述空间三维数据确定无人机的每一机械腿在所述地面区域的垂直投影点的高度信息；根据所述高度信息从所有所述垂直投影点中确定基准点，并将所述基准点对应的机械腿设置为基准机械腿；基于静态稳定性判据确定非基准机械腿的着陆点的位置信息和所述非基准机械腿的高度信息；根据所述位置信息和所述高度信息调整所述无人机的着陆位姿，以使所述无人机着陆时处于平稳状态；其中，所述无人机着陆时所述基准机械腿的着陆点为所述基准点。

本申请首先获取地面区域的深度图像进而确定无人机需要着陆的陆地空间三维数据，即地面各个位置的高低状况。通过选择基准点和基准机械腿并基于静态稳定性判据确定其他非基准机械腿的着陆点和高度信息，实现无人机着陆位姿的确定，由于无人机的各条机械腿的着陆点和高度根据空间三维数据确定，因此本申请能够控制无人机根据着陆地面状况调整着陆位姿，实现无人机的平稳着陆。本申请同时还提供了一种无人机的着陆位姿调整系统、一种计算机可读存储介质和一种无人机，具有上述有益效果，在此不再赘述。

附图说明

为了更清楚地说明本申请实施例，下面将对实施例中所需要使用的附图做简单的介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例，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。

图1为本申请实施例所提供的一种无人机的着陆位姿调整方法的流程图；

图2为本申请实施例所提供的另一种无人机的着陆位姿调整方法的流程图；

图3为无人机机身结构示意图；



图 4 为一种基于 ROS 系统的无人机全地形视觉定位着陆系统的 3D 效果示意图；

图 5 为一种基于 ROS 系统的无人机全地形视觉定位着陆系统的整体工作流程图；

图 6 为本发明提出的无人机着陆点选取算法的工作流程图；

图 7 为本发明提出的主机在 ROS 系统下进行机械腿部运动规划的工作流程图；

图 8 为本发明提出的主机与从机和从机与执行器进行通信的工作流程图；

图 9 为本申请实施例所提供的一种无人机的着陆位姿调整系统的结构示意图。

具体实施方式

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。基于本申请中的实施例，本领域普通技术人员在没有做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。

下面请参见图 1，图 1 为本申请实施例所提供的一种无人机的着陆位姿调整方法的流程图。

具体步骤可以包括：

S101：获取地面区域的深度图像并对所述深度图像进行点云合成处理得到所述地面区域的空间三维数据；

其中，本实施例的目的在于调整无人机的着陆位姿，以使无人机平稳着陆。平稳着陆指无人机着陆时机身平面与水平面的夹角小于预设夹角，同时无人机的各条机械腿受力较为均匀，任意两条机械腿的受力差小于预设压力，也就是说判断无人机是否平稳着陆是机身平面水平程度和机械腿受力均匀程度二者综合考量的结果。



可以理解的是，在本步骤之前可以存在无人机接收到着陆指令的操作，在接收到着陆指令之后执行本实施例所提及的 S101 至 S105 的相关操作。在本步骤的执行过程中无人机始终处于飞行状态，首先获取地面区域的深度图像，此处提到的地面区域是相对于无人机的空间位置选定的，地面区域可以为无人机正下方预设大小的一块区域，本实施例不对地面区域的形状和大小进行限定，只要保证无人机的垂直投影落在地面区域内即可。本实施例可以采用多种深度相机完成深度图像的采集，例如主动深度相机 KINECT、Intel RealSense、Enshape, Ensenso、Xtion Pro、Prime Sense、PMD 和图漾等，再例如被动深度相机、双目视觉（Stereo）如 Leap Motion, ZED, 大疆等。但是合成点云和测距算法会相对复杂，使用 KINECT 一类的主动相机可以直接合成点云和测距，相对处理流程相对简单一些。

在获得深度图像之后，本步骤通过点云合成处理操作将深度图像上的二维数据转化为三维数据，即得到地面区域各个位置的空间三维数据。根据三维空间数据可以确定地面区域各个点的高度信息。由于无人机在复杂地面进行降落的技术难点在于：复杂地面各个位置的高度不同导致无人机着陆后机身平面与水平面的夹角过大、各条机械腿受力不均匀。因此本实施例首先拍摄地面区域的深度图像进而得到地面区域的空间三维数据，以便在后续操作中根据空间三维数据调整各条机械腿的位姿，最终达到平稳着陆的目的。

S102：根据所述空间三维数据确定无人机的每一机械腿在所述地面区域的垂直投影点的高度信息；

其中，本步骤建立在已经得到地面区域各个位置的空间三维数据的基础上，首先确定每一机械腿在所述地面区域的垂直投影点的高度信息。本实施例不限定无人机的机械腿的数量，可以根据机械腿的当前位置信息结合深度相机坐标系和无人机坐标系的转换关系确定机械腿的空间三维数据。在本步骤中确定的高度信息为当前时刻机械腿所处空间位置在地面区域进行垂直投影对应的点的高度。可以理解的是，无人机机械腿为具有形状且在三维空间占据一定空间的实体结构，本实施例所提到的机械腿的垂直投影为无人机着陆时机腿与地面接触的部位的投影，该投影对应的区域可以包括多个投影点，可以选择机械腿与地面接触的部位的投影区域所有点的平均高度作为每



一机械腿在所述地面区域的垂直投影点的高度信息。本实施例中所提到的垂直投影点为垂直于水平面方向的投影得到的点。

S103: 根据所述高度信息从所有所述垂直投影点中确定基准点, 并将所述基准点对应的机械腿设置为基准机械腿;

其中, 为了实现无人机的高效、快速着陆, 因此在无人机着陆过程中需要尽量减少无人机的移动, 本实施例从所有垂直投影点中选择基准点, 以使在无人机着陆后该基准点所对应的机械腿恰好处于基准点上。

本实施例不限定基准点的个数, 即不限定基准机械腿的个数, 默认将无人机的机械腿划分为两类, 一类是基准机械腿, 另一类是非基准机械腿。对于基准机械腿来说, 当无人机着陆时基准机械腿落在相对应的基准点上。本实施例可以进一步通过 S104 的相关操作调整非基准机械腿的位姿实现平稳着陆。

S104: 基于静态稳定性判据确定非基准机械腿的着陆点的位置信息和所述非基准机械腿的高度信息;

其中, 静态稳定性判据为判断无人机处于静止状态时是否稳定的依据。可以理解的是, 本实施例所需要无人机处于的平稳状态指无人机机身所在平面与水平面的夹角小于预设夹角, 因此在本实施例中静态稳定性判据具体为无人机机身所在平面与水平面的夹角小于预设夹角。进一步的, 无人机机身所在平面与水平面的夹角大小取决于各个机械腿与无人机机身连接点的高度, 当各个机械腿与无人机机身连接点高度差较小时无人机机身所在平面与水平面的夹角才能符合平稳状态的需求。

由于地面区域各个位置的高度不尽相同, 因此可以通过调整非基准机械腿的着陆位置以及非基准机械腿的高度使着陆后的无人机保持平稳状态。需要说明的是, 地面区域各个位置的高度存在一定的差异, 而非基准机械腿只能在一定范围内实现高度调节, 因此在本步骤中可以综合考虑地面区域的高度以及非基准机械腿的最大或最小高度调节范围实现着陆点位置的确定。具体的, 本步骤确定的是每一条非基准机械腿的着陆点的位置信息及每一条非基准机械腿着陆时需要保持的高度信息。

S105: 根据所述位置信息和所述高度信息调整所述无人机的着陆位姿, 以使所述无人机着陆时处于平稳状态;



本步骤建立在已经确定每一条基准机械腿和非基准机械腿的着陆点及高度信息的基础上实现的，按照确定的着陆点位置及高度信息可以生成控制每一机械腿运动的运动规划指令，以便无人机按照该运动规划指令调整至着陆位姿。可以理解的是，当无人机着陆时所述基准机械腿的着陆点为所述基准点。

本实施例首先获取地面区域的深度图像进而确定无人机需要着陆的陆地空间三维数据，即地面各个位置的高低状况。通过选择基准点和基准机械腿并基于静态稳定性判据确定其他非基准机械腿的着陆点和高度信息，实现无人机着陆位姿的确定，由于无人机的各条机械腿的着陆点和高度根据空间三维数据确定，因此本实施例能够控制无人机根据着陆地面状况调整着陆位姿，实现无人机的平稳着陆。

下面请参见图 2，图 2 为本申请实施例所提供的另一种无人机的着陆位姿调整方法的流程图，本实施例中的无人机为包括四条机械腿的无人机，具体的着陆位姿调整方法可以包括以下步骤：

S201：获取地面区域的深度图像并对所述深度图像进行点云合成处理得到所述地面区域的空间三维数据；

S202：根据所述空间三维数据确定无人机的每一机械腿在所述地面区域的垂直投影点的高度信息；

S203：按照所述垂直投影点的空间位置从高到低排序得到排序结果；

S204：将排序结果中的第 N 位的垂直投影点设置为所述基准点，将所述基准点对应的机械腿设置为基准机械腿；

其中，S203 和 S204 按照从高到低的顺序对垂直投影点进行排序的目的在于，选取高度中位数附近的一点作为基准点，以便其他的机械腿进行高度调节。例如，本实施例提到的无人机为包括 4 条机械腿的无人机可以选择高度排序第三的机械腿的垂直投影点作为基准点，以便其他机械腿在基于静态稳定性判据调整过程中减少高度调整的数据量。当无人机包括四条机械腿时，基准点的数量可以为 1。

S205：将所述基准机械腿的高度调节为最大可调节范围的 $\frac{1}{M}$ 。



其中，本步骤建立在已经确定基准机械腿的基础上，首先将基准机械腿的高度调节为最大可调节范围的 $\frac{1}{M}$ （例如 M 可以取值为 2），以便其他机械腿进行高度上的上下调节。

S206：将与基准机械腿不相邻的第一非基准机械腿的着陆点设置为第一非基准机械腿在地面区域的第一垂直投影点，并根据第一垂直投影点与基准点的高度差调整第一非基准机械腿的高度，以使着陆后的第一非基准机械腿与无人机机身的第一连接点的高度等于基准机械腿与无人机机身的基准连接点的高度；

本步骤实际上是相当于将与基准机械腿对角的非基准机械腿的高度进行调节。通过将调节第一非基准机械腿的高度能够使得着陆后第一非基准机械腿与无人机机身的第一连接点与基准机械腿与无人机机身的基准连接点的连线与水平面平行。也就是说，本步骤首先通过调节第一连接点的高度，确定了无人机机身上一条平行于水平面的一条线。

S207：基于静态稳定性判据确定与基准机械腿相邻的第二非基准机械腿的着陆点并调整第二非基准机械腿的高度，以使着陆后的第二非基准机械腿与无人机机身的第二连接点、第一连接点和基准连接点构成的平面与水平面的夹角小于第一预设角度；

S208：基于静态稳定性判据确定与基准机械腿相邻的第三非基准机械腿的着陆点并调整第三非基准机械腿的高度，以使着陆后的第三非基准机械腿与无人机机身的第三连接点、第一连接点和基准连接点构成的平面与水平面的夹角小于第二预设角度；

其中，S207 和 S208 均建立在确定第一非基准机械腿的高度的基础上，通过为第二非基准机械腿和第三非基准机械腿确定合适的着陆点和高度使得着陆后的无人机机身保持水平状态。请参见图 3，图 3 为无人机机身结构示意图，举例说明上述过程，在已经确定一条与水平面平行的线段 AB 后，需要选择第三连接点 C 和第四连接点 D 使得平面 ABC 与水平面的夹角即 α_2 小于第一预设角度，且使得平面 ABD 与水平面的夹角即 α_1 小于第二预设角度；平面 ABC 和平面 ABD 与水平面的夹角均为 0。需要说明的是，以上提到的“以使着陆后的第二非基准机械腿”、“以使着陆后的第三非基准机械



腿”和相类似描述，均是指假设无人机已经着陆使无人机机身和机械腿的状态。

S209：分别记录第一非基准机械腿、第二非基准机械腿和第三非基准机械腿的着陆点的位置信息和高度信息。

S210：根据位置信息和高度信息调整无人机的着陆位姿，以使无人机着陆时处于平稳状态；

其中，无人机着陆时基准机械腿的着陆点为基准点。本实施例中所提到的平稳状态具体为无人机机身处于水平位姿且任意两条所述机械腿的受力差小于预设差值的状态。水平位姿指无人机机身平面平行于水平面的位姿。

作为一种可行的实施方式，S210 中调整无人机姿态的具体操作可以包括以下步骤：

步骤 1：根据所述位置信息和所述高度信息计算所有所述机械腿的目标位置信息，并根据所述目标位置信息为每一所述机械腿生成运动规划数据；

步骤 2：控制每一所述机械腿按照所述运动规划数据运动，以便调整所述无人机的着陆位姿。

步骤 3：判断所述无人机的当前位姿是否为所述着陆位姿；若是，则将所述无人机的运动状态调整为降落状态，以便所述无人机的每一所述机械腿均降落在相应的着陆点。

上述操作在无人机调整好着陆位姿后，可以控制无人机进入降落状态，实现平稳降落。

下面通过在实际应用中的实施例说明将上述实施例应用于基于 ROS 系统的无人机全地形视觉定位着陆系统的具体过程。如图 4 所示，图 4 为一种基于 ROS 系统的无人机全地形视觉定位着陆系统的 3D 效果示意图。

本实施例中无人机使用的系统可以为 ROS 机器人操作系统，ROS 机器人操作系统是当今主流的机器人研究和开发平台。ROS 系统支持 C++、Python 等多种编程语言，同时提供其他编程语言的接口，方便使用不同语言进行开发。它采用节点式的设计理念使得不同的任务节点可以分布于多个相同或不同的主机中，一方面降低处理不同的任务进程所带来的计算压力，另一方面降低了整个工作系统的耦合性。另外 ROS 系统集成了大量的软件



包，可以快速实现机械臂姿态规划、移动机器人导航、机器人 SLAM 等功能。并且 ROS 系统下已经集成了许多目前阶段较为成熟先进的算法，方便研究者快速搭建自己的机器人开发平台。

MoveIt 是 ROS 提供的主要针对机械臂的控制与姿态规划所开发的功能包。MoveIt 为开发者提供了一个易于使用的集成化开发平台，由一系列移动操作的功能包组成。它的所有模块都是围绕着运动规划的实现而设计的，集成了当今主流的先进算法。它主要具有以下模块：1) 运动规划 (Motion Planning) 模块：要实现运动规划首先需要将机器人抽象到构形空间 (C-Space)，这一部分 MoveIt 已经完成，只需要提供机器人的 URDF 模型，就可以调用运动规划库的规划算法 (如 OMPL, SBPL, CHMOP 等)，自动生成机器人运动轨迹。2) 操作 (Manipulation) 模块：根据识别的物体生成一系列动作抓 (pick-and-place)，但不涉及反馈、动力学、re-grasp 等操作问题。3) 3D 感知 (Perception) 模块：可以利用传感器采集的信息 (点云或深度图像) 生成用于碰撞检测的 OctoMap。OctoMap 是以八叉树形式表示点云，可以大大降低存储空间，同时，3D OctoMap 也可以依据贝叶斯准则不断实时更新。这样，机器人就可以避开真实世界的障碍物了。4) 运动学 (Kinematics) 模块：运动学机器人工作空间与构形空间 (C-Space) 的映射关系。目前它可以支持多种运动学求解器，如 OpenRave 的 ikfast (封闭解)、KDL (数值解)、Trac_ik (考虑关节极限的数值解)、基于 service 的求解器。5) 轨迹插值 (Trajectory Processing) 模块：大多数规划器只能返回一系列路径点，MoveIt 可以根据机器人的控制参数 (速度、加速度限制等) 重新处理路径，生成一条带有时间戳、位置、速度、加速度信息的完整轨迹。利用 MoveIt 模块的诸多特性，减小腿部姿态规划的实现难度，降低机械臂的应用门槛。计算机视觉属于人工智能的一个分支。结合 PCL 技术运用深度相机在目标表面提取海量点合成三维点云信息。根据摄影测量原理得到的点云，包括三维坐标 (XYZ) 和颜色信息 (RGB)。通过一定的算法来提取目标点的空间信息。本实施例主要利用 PCL 技术和算法，在一定范围内对地面的着陆点进行筛选，以选出最佳的能够使无人机自身姿态最稳定的着陆点进行着陆。



该无人机包括：机械腿 1、支撑架 2、从机 3（Raspberry Pi）、RGBD 相机和 KINECT 相机 4、执行控制器（如 ARDUINO）5 以及其他未画出电子器件，包括舵机控制板（PCA9685）、电源和电源模块。其中，支撑架作为机械腿、KINECT、从机等设备的安装平台。机械腿是本系统的执行部分，本发明要求每条机械腿具有两个以上的自由度（本实施例实例使用的是四自由度的机械腿），机械腿的刚度和强度要符合无人机的降落要求。除此之外，机械腿的固定位置的坐标必须与主机中设定的坐标相同。KINECT 相机安装并固定在支撑架下方正中心处，以保证拍摄视角清晰无遮挡，且保证摄像头坐标系相对位置正确。主机安装有 ROS 操作系统（基于 Linux），它是整个系统的控制中枢，它的主要作用有：接收从机发送的 RGB 图像和深度图像以合成点云，搜索着陆点、机械腿运动规划以及运动信息队列的发送。从机安装有 ROS 操作系统，起到承上启下的作用，从既可以为主机传输 KINECT 采集到的 RGB 图像和深度图像，从机还可以接受主机发送的运动消息队列并进行数据封装，再通过串口发送给执行控制器。执行控制器用于接收从机发送的封装数据并解析数据，控制机械腿按规划路径执行并将各腿部实时位姿回传至主机，进行反馈调节。信息通信用于使主机和从机连接在同一无线网络下，主从机在相同的域段实现通信。

如图 5 所示，图 5 为一种基于 ROS 系统的无人机全地形视觉定位着陆系统的整体工作流程图；整个系统由五层组成，分别为视觉传感层、传输控制层、决策规划层、反馈执行层和电源供应层。

视觉传感层负责采集图像，利用深度相机 KINECT 同时采集地面的深度图像和彩色图像。传输控制层为内嵌 ROS 系统的从机，负责驱动 KINECT 和加载相机标定参数以及通过/camera/depth_registered/points 话题将图像传输到 ROS 主机。决策规划层负责处理合成校准后的点云，根据静态稳定性判断，首先寻找最佳着陆点，计算其在空间的相对位置，再转换成四元数格式，发送给 MoveIt，进行运动规划。反馈执行层负责接受运动消息队列并解析数据，控制机械腿按规划路径执行，并将各腿部实时位姿回传至主机，进行反馈调节。电源供应层负责为 KINECT、从机和舵机进行供电，主要通过电源模块来实现不同电压的输出。



如图 6 所示，图 6 为本发明提出的无人机着陆点选取算法的工作流程图；

进一步说明如下：

先对合成校正后的点云进行滤波去除边缘点，然后进行着陆点的搜索。

根据无人机的四条机械腿可以将地面区域划分为四个象限，每一象限对应一条机械腿，搜索具体过程如下：

第一象限，以该腿部高度为基准，令其高度为调节范围的一半，这样便于其它腿部高度的上下协调；

第三象限，沿着局部 Z 轴方向检测高度差，确定基准着陆点对角的着陆点；

第二象限，以其 Z 轴地面对应点为圆心，小半径范围内搜索使一、二、三象限，三个着陆点构成平面与水平面夹角 α_1 最小的点，作为第二象限着陆点；

第四象限，同样以其 Z 轴地面对应点为圆心，小半径范围内搜索使一、三、四象限，三个着陆点构成平面与水平面夹角 α_2 最小的点，作为第四象限着陆点。

搜索完毕后，以第一象限的高度为基准，计算各着陆点的相对高度差和空间相对位置，并转换成四元数，发送给 MoveIt。

最小夹角和小半径搜索不仅保证了机身的平稳也让各腿部姿态相似，从而保证各腿部受力均匀。

如图 7 所示，图 7 为本发明提出的主机在 ROS 系统下进行机械腿部运动规划的工作流程图：

进一步说明如下：

1) 通过 SolidWorks 建立机构 3D 模型，用 sw2urdf 插件导成 urdf 格式的模型文件。

2) 用 ROS 系统下的 MoveIt 初始化工具包 (MoveIt Setup Assistant Tool) 调用所创建的机构描述模型。创建步骤依次为：碰撞检测设置，虚关节设置，规划关节组设置，(其运动学求解器为 KDL Kinematics Plugin)，初始位置设置，末端执行器设置，最后生成 MoveIt 初始化程序模块 (默认运动算法规划库为 OMPL)。



3) MoveIt 端接受目标点四元数, 开启 ROS 多线程, 通过 KDL 算法对机械腿的四个规划组同时进行规划并将规划出来的运动信息队列发布出去。

4) ActionServer 端订阅并封装数据并再次发布, 以供串口初始化程序订阅。

如图 8 所示, 图 8 为本发明提出的主机与从机和从机与执行器进行通信的工作流程图;

进一步说明如下:

主从机之间为 ROS 系统间通信, 分别在两台计算机系统的/etc/hosts 文件中加入对方的 IP 地址和对应的计算机名, ping 通后, 设置 ROS_MASTER_URI, 即可实现 ROS 系统间通信。从机向主机传输图像信息, 主机向从机传输控制信息。

从机作为中间层还和执行层通过串口进行通信, 过程如下: 首先在两端初始化串口通信参数, 然后执行器读取运动消息队列并进行数据解析, 再以 IIC 通讯方式发送至舵机驱动板, 驱动板根据队列信息驱动相应舵机, 舵机以固定频率将其位置信息反馈回执行器经从机传入主机, 进行反馈调节。

本实施例主要使无人机可以面对台阶、石堆、斜坡、瓦砾等复杂路面时进行安全平稳的着陆, 可以根据路面情况主动调节机械腿部的姿态以便于平稳着陆和再次起飞。本实施例根据 ROS 操作系统的特性, 在 ROS 的框架下开发无人机的全地形着陆系统。通过使用 ROS 下的 MoveIt 模块开发机械腿部的姿态规划和控制部分, 使用 KINECT 深度相机结合 PCL 点云处理技术开发地面工况建模和解算的视觉部分, 中间采用主从机通信系统。从时间上讲, 该系统具有良好的实时性; 空间上讲, 该系统对于复杂的地面情况具有良好的适应能力, 并且具有 PID 闭环控制的能力。另外由于该系统搭载了 KINECT 深度相机, 且具有机械臂的规划和控制能力, 因此除全地形着陆能力以外, 该系统在空中或高处进行物体夹取、作业等方面都具有较强的扩展能力。

综上所述, 本发明利用现阶段计算机视觉、机械臂控制与规划领域的前沿技术成果, 构建了一套完整的无人机实时全地形着陆系统并提出了一个无人机稳定性着陆点选取的数学模型, 填补了这一领域的研究空白。该系统具有时间上实时性好, 空间上适应能力强, 控制上形成反馈闭环等诸多优点。



并且系统整体结构清晰、层次分明、耦合性低，利于该系统进行再次开发和向其他功能领域扩展。从产品应用性角度而言，该系统使得无人机随时可以向复杂的工作路面进行着陆，大大拓宽了无人机的工作领域，降低了无人机两栖工作的技术门槛。上述实施方式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技术方案范围内所做出的变化、改型、添加或替换，也均属于本发明的保护范围。

请参见图 9，图 9 为本申请实施例所提供的一种无人机的着陆位姿调整系统的结构示意图；

该系统可以包括：

点云合成模块 100，用于获取地面区域的深度图像并对所述深度图像进行点云合成处理得到所述地面区域的空间三维数据；

高度信息获取模块 200，用于根据所述空间三维数据确定无人机的每一机械腿在所述地面区域的垂直投影点的高度信息；

基准确定模块 300，用于根据所述高度信息从所有所述垂直投影点中确定基准点，并将所述基准点对应的机械腿设置为基准机械腿；

着陆点确定模块 400，用于基于静态稳定性判据确定非基准机械腿的着陆点的位置信息和所述非基准机械腿的高度信息；

位姿调整模块 500，用于根据所述位置信息和所述高度信息调整所述无人机的着陆位姿，以使所述无人机着陆时处于平稳状态；其中，所述无人机着陆时所述基准机械腿的着陆点为所述基准点。

本实施例首先获取地面区域的深度图像进而确定无人机需要着陆的陆地空间三维数据，即地面各个位置的高低状况。通过选择基准点和基准机械腿并基于静态稳定性判据确定其他非基准机械腿的着陆点和高度信息，实现无人机着陆位姿的确定，由于无人机的各条机械腿的着陆点和高度根据空间三维数据确定，因此本实施例能够控制无人机根据着陆地面状况调整着陆位姿，实现无人机的平稳着陆。

由于系统部分的实施例与方法部分的实施例相互对应，因此系统部分的实施例请参见方法部分的实施例的描述，这里暂不赘述。



本申请还提供了一种计算机可读存储介质，其上存有计算机程序，该计算机程序被执行时可以实现上述实施例所提供的步骤。该存储介质可以包括：U 盘、移动硬盘、只读存储器（Read-Only Memory，ROM）、随机存取存储器（Random Access Memory，RAM）、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

本申请还提供了一种无人机，可以包括存储器和处理器，所述存储器中存有计算机程序，所述处理器调用所述存储器中的计算机程序时，可以实现上述实施例所提供的步骤。当然所述无人机还可以包括各种网络接口，电源等组件。

利用上述无人机实现平稳着陆的过程可以包括以下步骤：

步骤 1：安装并定位 KINECT，同时将深度相机连接到从机。

步骤 2：配置上述相机在 ROS 系统下的使用环境并加载相机的标定参数。

步骤 3：将采集的 RGB 图像和深度图像传至主机的 ROS 系统中，并进行点云生成。

步骤 4：基于 PCL 技术和静态稳定性判据，搜索并计算各着陆点空间相对位置。

步骤 5：将各点目标位置传递给 MoveIt 模块并进行运动规划。

步骤 6：在从机中将规划所得运动信息队列进行封装，并通过串口下发至执行控制器。

步骤 7：执行控制器接运动信息队列并解析，控制舵机驱动板驱动腿部按规划路径执行，并将各腿部实时位姿回传至主机，进行反馈调节。

步骤 8：姿态调节完毕后，无人机由悬停状态转为降落状态，进行降落。

进一步的，所述步骤 1 中 KINECT 的安装和定位要求如下：

必须保证 KINECT 深度摄像头的法线方向与支架垂直，且位于支架下方正中心处，以保证摄像头的坐标系和主机中设定的一致。

进一步的，所述步骤 2 中相机的标定过程和使用环境配置过程如下：

首先自制 8x6,边长为 0.024m 的棋盘格标定板，在 ROS 系统下 camera_calibration 功能包对相机进行标定，将标定的参数保存到从机的 ROS 系统



中。然后在从机中使用 Freenec_camera 功能包驱动 KINECT 同时加载标定参数。

进一步的，步骤 3 中的图像传输，可以通过 camera/depth_registered/points 话题将相机采集的图像发布出去。

进一步的，所述步骤 4 中着陆点位置的搜索和计算过程如下：

第一象限，以该腿部高度为基准，令其高度为调节范围的一半，这样便于其它腿部高度的上下协调；

第三象限，沿着局部 Z 轴方向检测高度差，确定基准着陆点对角的着陆点；

第二象限，以其 Z 轴地面对应点为圆心，小半径范围内搜索使一、二、三象限，三个着陆点构成平面与水平面夹角 α_1 最小的点，作为第二象限着陆点；

第四象限，同样以其 Z 轴地面对应点为圆心，小半径范围内搜索使一、三、四象限，三个着陆点构成平面与水平面夹角 α_2 最小的点，作为第四象限着陆点。

搜索完毕后，以第一象限的高度为基准，计算各着陆点的相对高度差和空间相对位置，并转换成四元数，发送给 MoveIt。

最小夹角和小半径搜索不仅保证了机身的平稳也让各腿部姿态相似，从而保证各腿部受力均匀。

进一步的，所述步骤 5 中在 ROS 系统下进行机械腿运动规划的过程如下：

1) 通过 SolidWorks 建立机构 3D 模型，用 sw2urdf 插件导出 urdf 格式的模型文件。

2) 用 ROS 系统下的 MoveIt 初始化工具包 (MoveIt Setup Assistant Tool) 调用所创建的机构描述模型。创建步骤依次为：碰撞检测设置，虚关节设置，规划关节组设置，（其运动学求解器为 KDL Kinematics Plugin），初始位置设置，末端执行器设置，最后生成 MoveIt 初始化程序模块（默认运动算法规划库为 OMPL）。

3) MoveIt 端接受目标点四元数，开启 ROS 多线程，通过 KDL 算法对机械腿的四个规划组同时进行规划并将规划出来的运动信息队列发布出去。



4) ActionServer 端订阅并封装数据并再次发布，以供串口初始化程序订阅。

进一步的上述系统的通信分为两部分，包括主从机之间的 ROS 系统间通信和从机与执行控制器之间的串口通信。

更进一步的，主从机之间的通信过程如下：

分别在两台计算机系统的/etc/hosts 文件中加入对方的 IP 地址和对应的计算机名，ping 通后，设置 ROS_MASTER_URI，即可实现 ROS 系统间通信。

更进一步的，从机与执行控制器之间通信过程如下：

首先在两端初始化串口通信参数，然后执行器读取运动消息队列并进行数据解析，再以 IIC 通讯方式发送至舵机驱动板，驱动板根据队列信息驱动相应舵机，舵机以固定频率将其位置信息反馈回执行器经从机传入主机，进行反馈调节。

本发明利用现阶段计算机视觉、机械臂控制与规划领域的前沿技术成果，构建了一套完整的无人机实时全地形着陆系统并提出了一个无人机稳定性着陆点选取的数学模型，填补了这一领域的研究空白。该系统具有时间上实时性好，空间上适应能力强，控制上形成反馈闭环等诸多优点。并且系统整体结构清晰、层次分明、耦合性低，利于该系统进行再次开发和向其他功能领域扩展。从产品应用性角度而言，该系统使得无人机随时可以向复杂的工作路面进行着陆，大大拓宽了无人机的工作领域，降低了无人机两栖工作的技术门槛。

说明书中各个实施例采用递进的方式描述，每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处，各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。对于实施例公开的系统而言，由于其与实施例公开的方法相对应，所以描述的比较简单，相关之处参见方法部分说明即可。应当指出，对于本技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本申请原理的前提下，还可以对本申请进行若干改进和修饰，这些改进和修饰也落入本申请权利要求的保护范围内。

还需要说明的是，在本说明书中，诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来，而不一定要求或



者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且，术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含，从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素，而且还包括没有明确列出的其他要素，或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的状况下，由语句“包括一个……”限定的要素，并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。



说明书附图

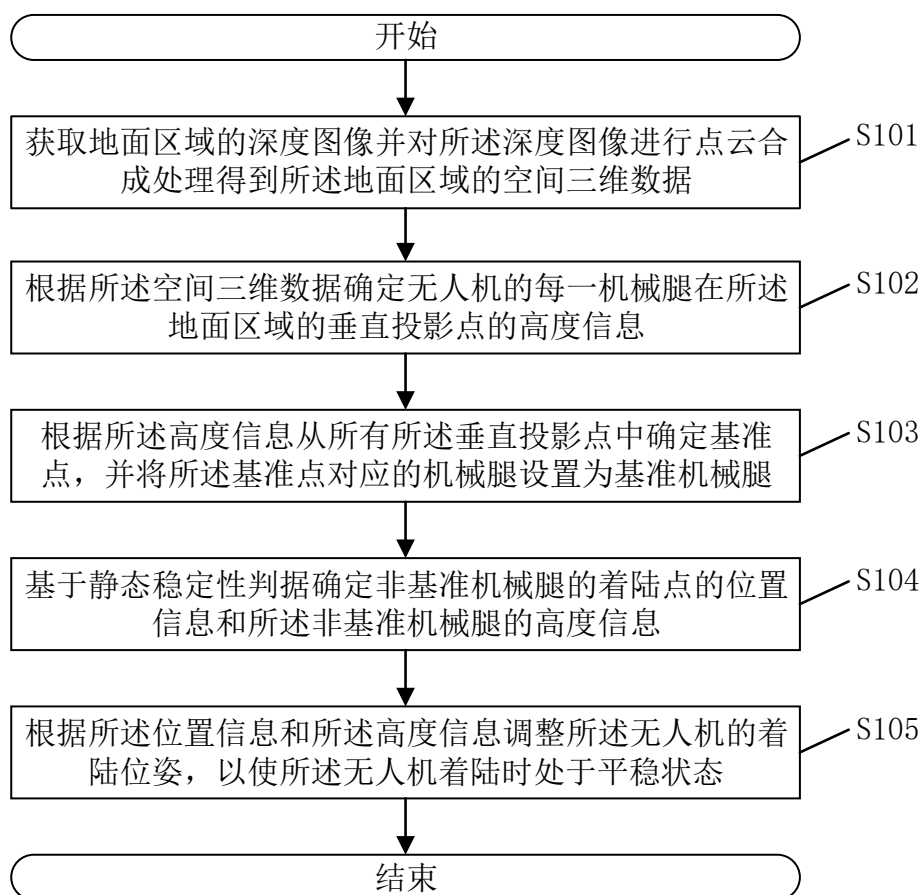


图 1



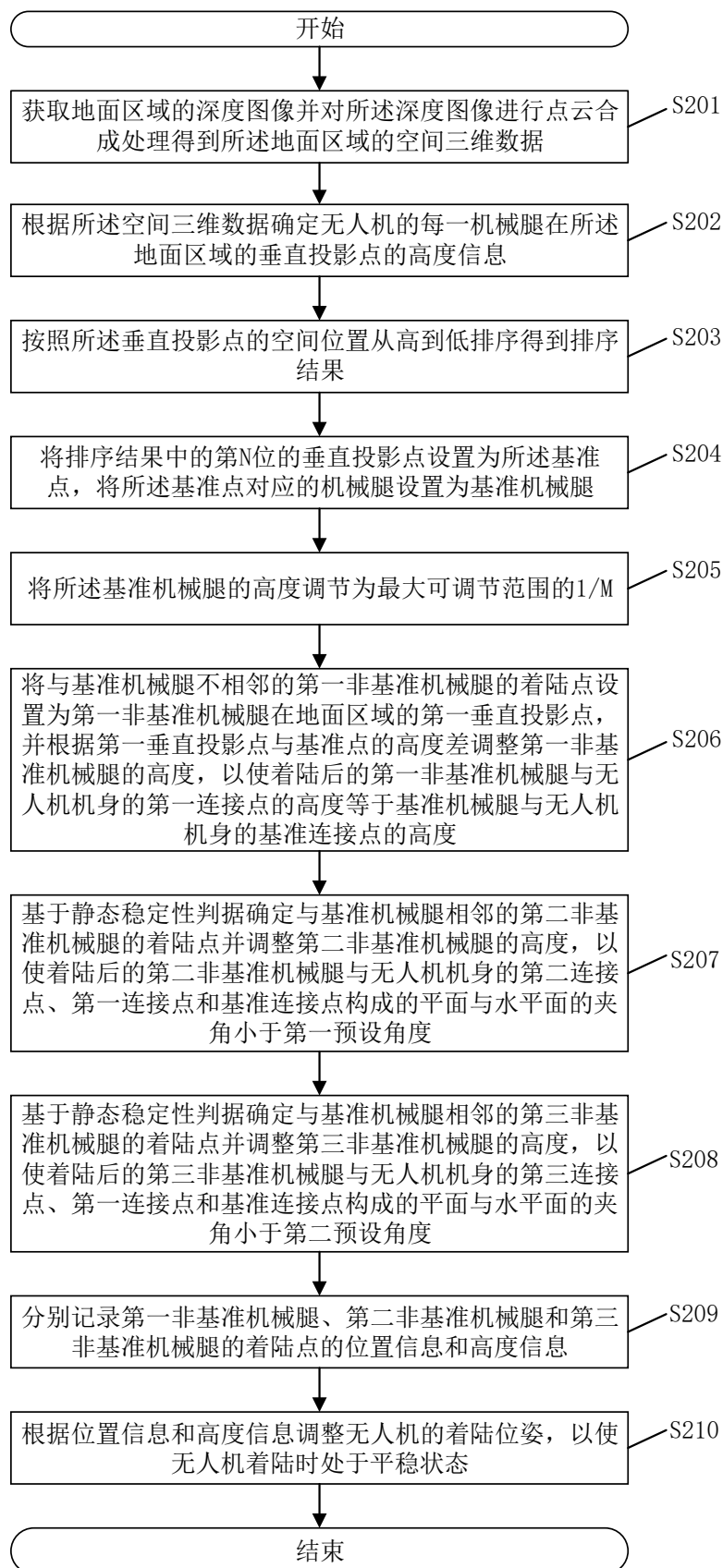


图 2



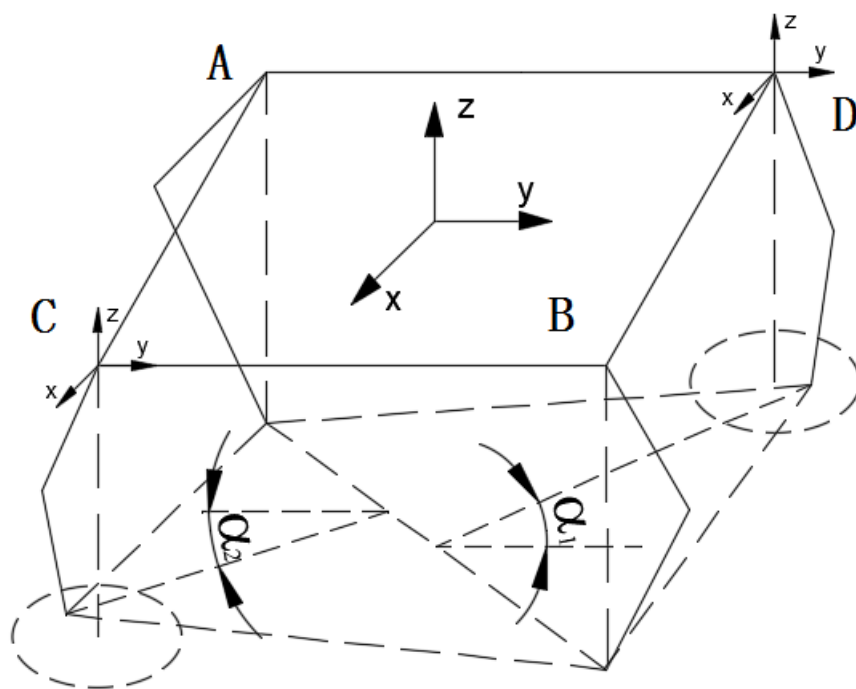


图 3



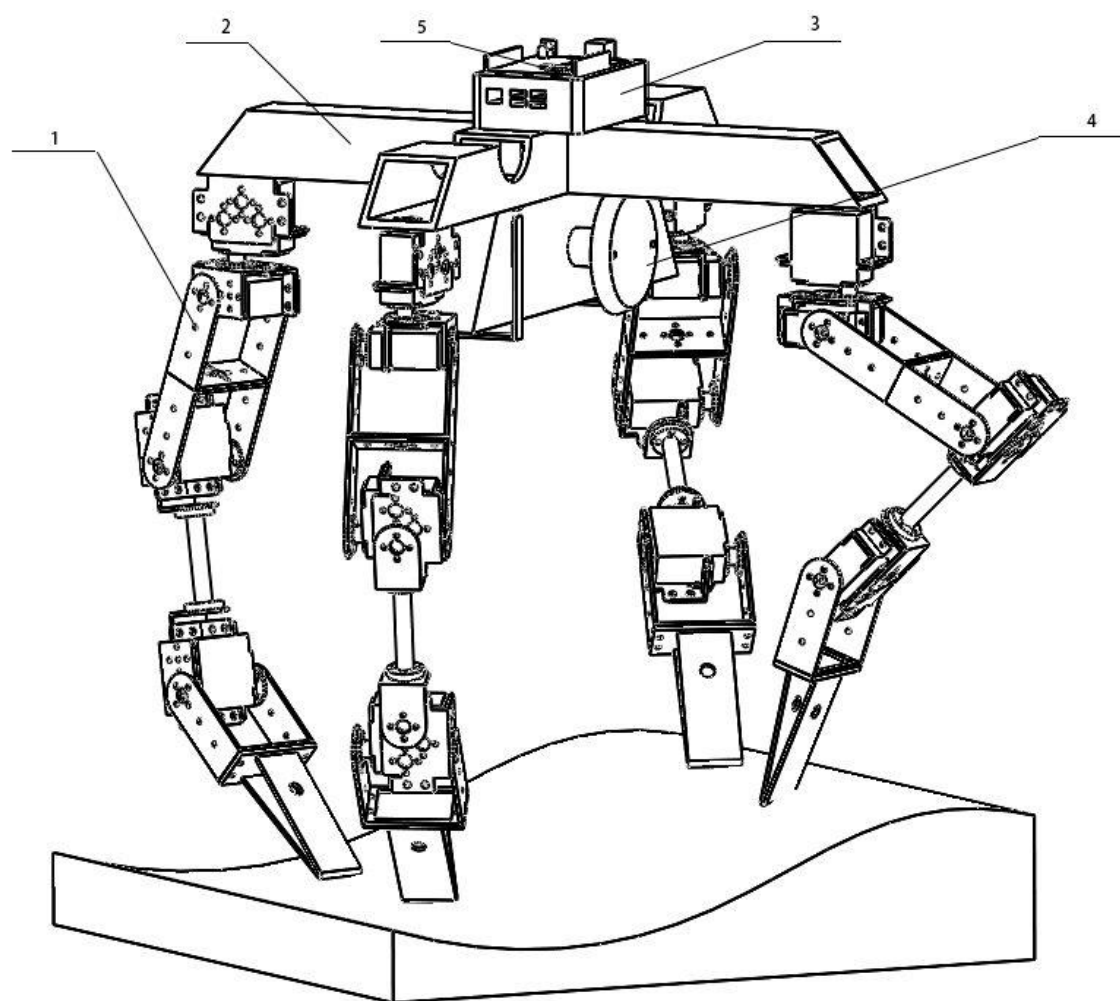


图 4



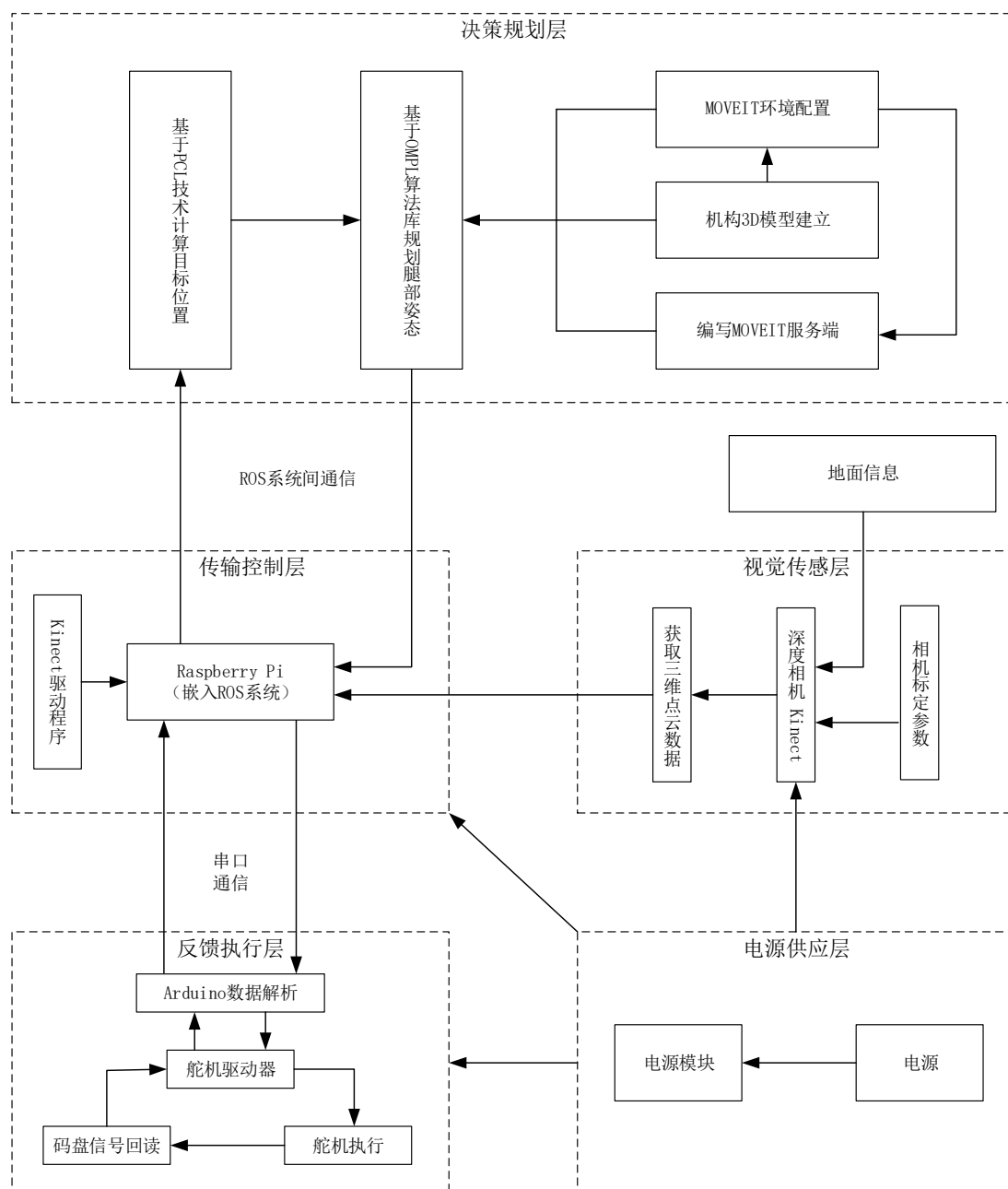


图 5



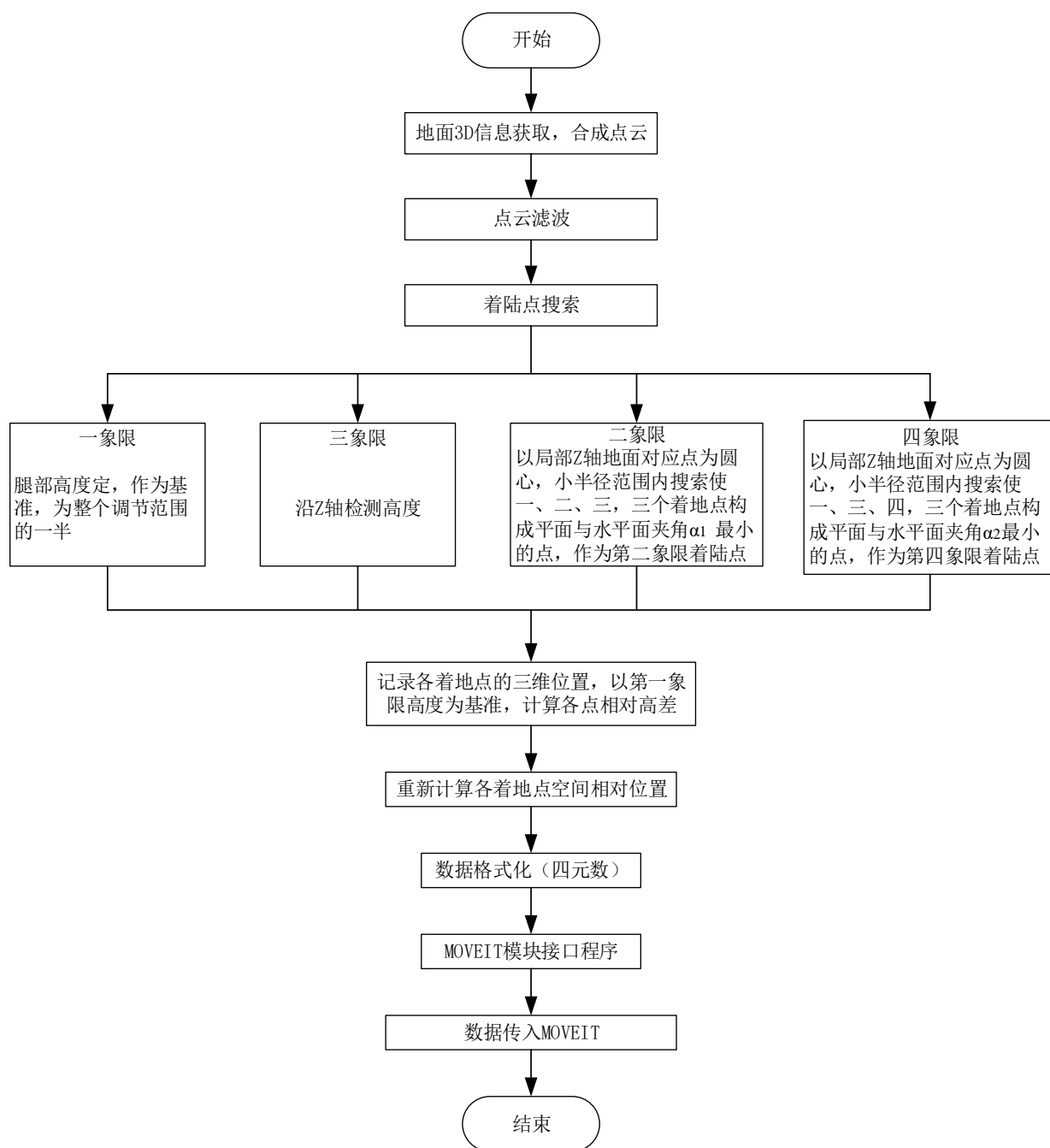


图 6



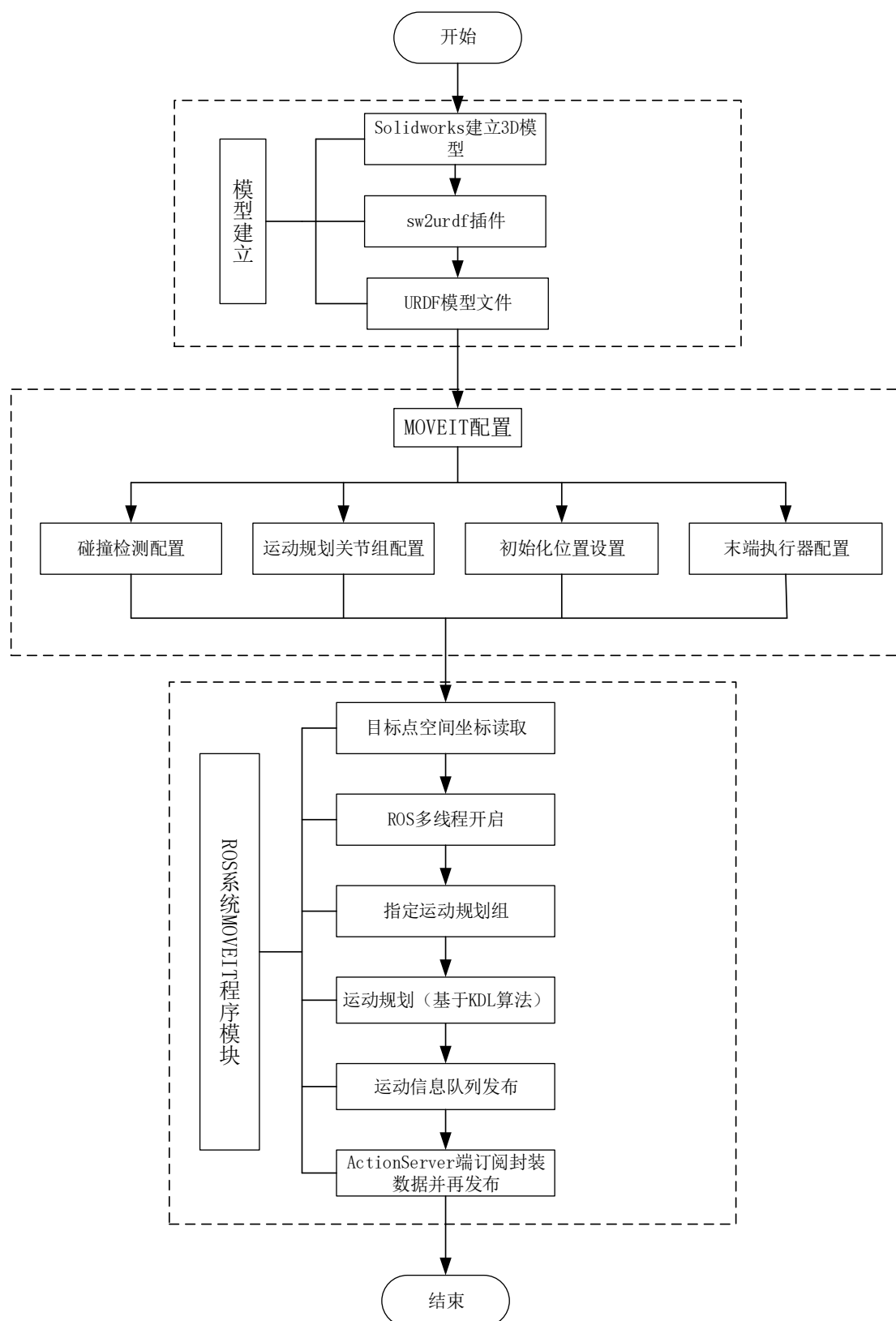


图 7



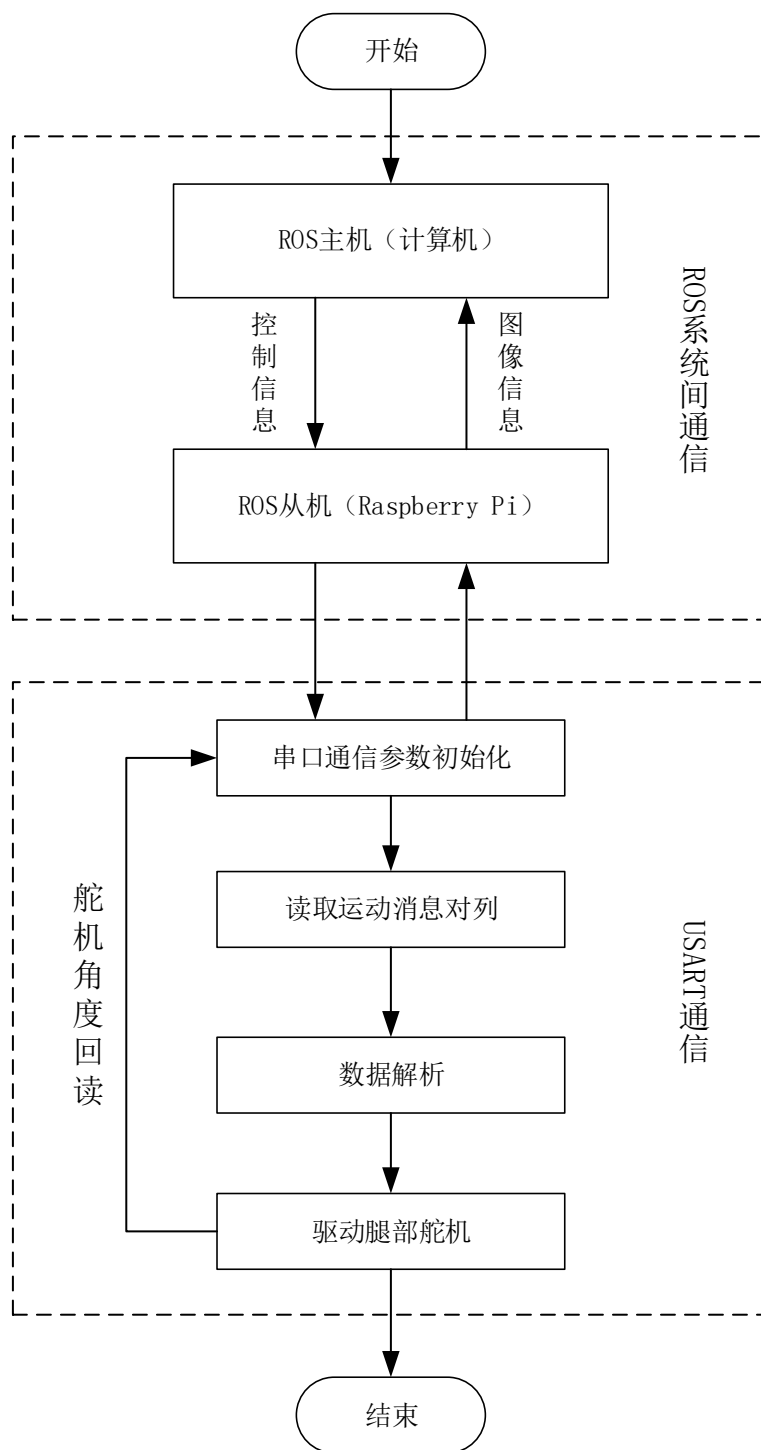


图 8

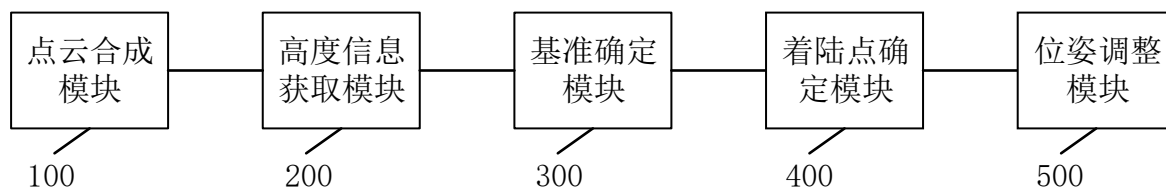


图 9



