

吉林大学“大学生创新创业训练计划”项目 结 题 鉴 定 书

项 目 名 称 _____ 飞行器全地形着陆系统 _____

项 目 编 号 _____

项 目 负 责 人 _____ 姜 景 文 _____

学院、年级、专业 _____ 汽车工程学院 2016 级车辆工程 _____

联系电话 _____ 13154379665 _____

电子邮件 _____ 286100139@qq.com _____

指导教师姓名 _____ 吴量 _____ 职称 _____ 讲师 _____

填表日期 _____ 2019 年 4 月 2 日 _____

吉林大学教务处制表

项目名称	飞行器全地形着陆系统				
项目负责人	姜景文	专业	车辆工程	年级	2016 级
联系电话	13154379665		E-mail	286100139@qq.com	
主要参加人	蒋泽明	赖宣淇		吕睿	赵培旭
立项时间	2018 年 5 月		完成时间	2019 年 4 月	
项目经费	批准经费： 国家级			支出经费： 9562 元	
指导教师签字					
成果形式	A. 系列论文[] B. 研究报告[] C. 实际应用[√] D. 专利[√] E. 其它[]				
主要研究成果					
序号	成果名称	成果形式	作者	出版社、发表刊物或采用单位	时间（刊期）
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					
7.					
8.					
9.					
10.					
11.					
12.					

项目成果简介（3000 字以内，包括项目实验成果、创新性、应用情况、项目学术交流情况等）：

一、项目简介

无人机技术近几年来日臻成熟，已经在侦察航拍、快递运输、灾难救援、电力巡检等多个领域广泛应用。本项目意在解决无人机工作过程中面对复杂路面时的难以平稳着陆问题，构建了一种基于 ROS 系统的无人机全地形视觉定位着陆系统。该设计符合高内聚低耦合设计要求，充分地利用了 ROS 系统分布式的特点，有效地利用上位机强大的处理运算能力，形成了闭环反馈控制，实现了无人机面对复杂地形的安全平稳着陆，具有广泛的应用前景。

二、计划与执行情况

表 1 项目预期成果

预期成果	预期完成时间
飞行器全地形着陆系统算法一套	2019.04
飞行器全地形着陆系统样机一套	2019.04
申请发明专利一项	2019.04

表 2 项目实际成果

成果	完成时间	备注
飞行器全地形着陆系统算法一套	2019.04	已上传至 Github
飞行器全地形着陆系统样机一套	2019.04	
发明专利一项	2019.04	已受理，审核中

三、研究成果

3.1 系统整体层次模型



图 1 实物图

如图 2 所示，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 系统的下位机(本项目采用 Raspberry pi)，起到承上启下的作用。向上，负责驱动 KINECT 和加载相机标定参数并将图像传输到上位机；向下，接受上位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。决策规划层负责处理合成校准点云，根据静态稳定性判据寻找最佳着陆点，腿部运动规划。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上位机，进行反馈调节。电源供应层负责为 KINECT、下位机和舵机进行供电，主要通过电源模块来实现不同电压的输出。

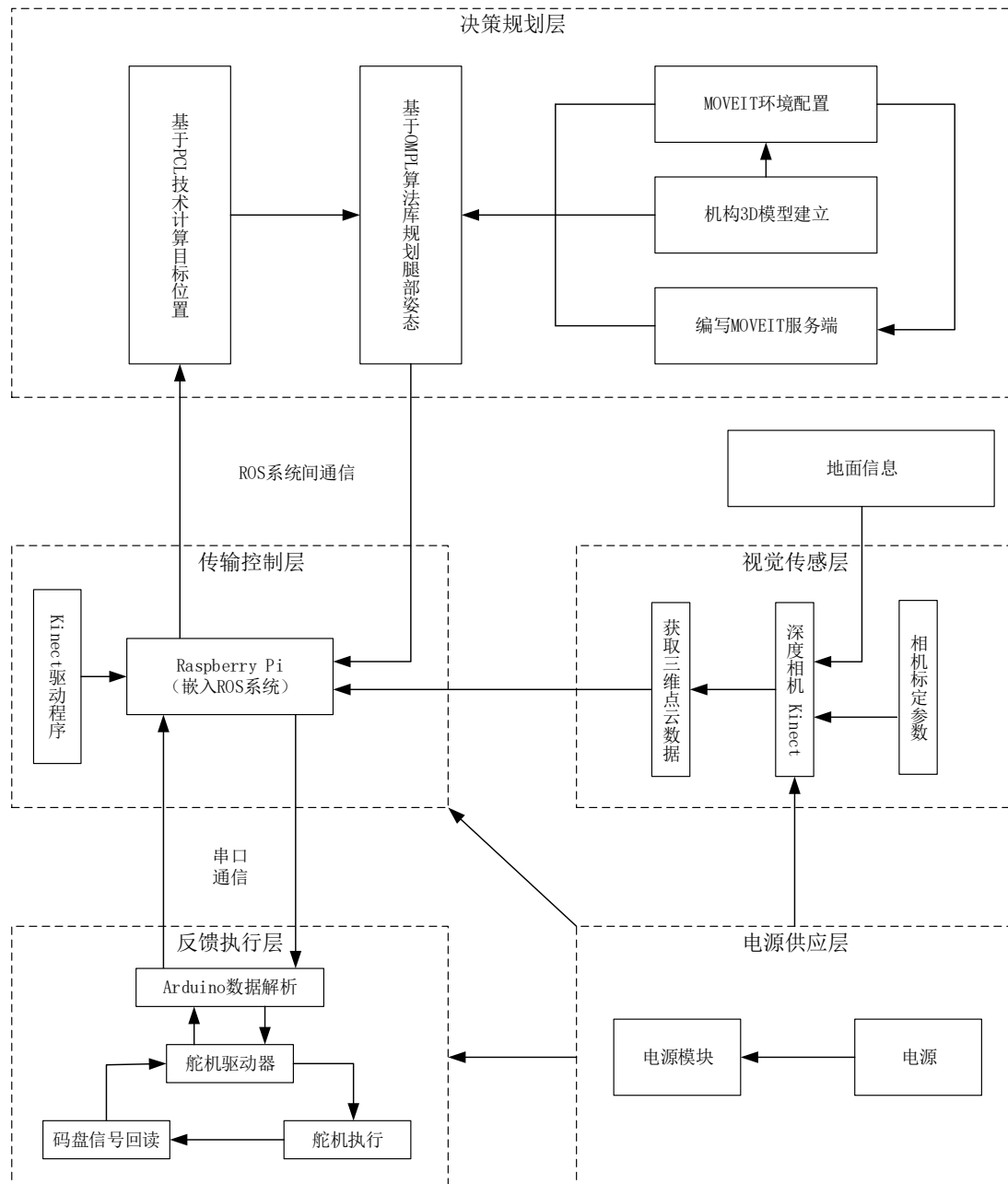


图 2

3.1.1 视觉传感层

如下图所示，首先进行相机标定

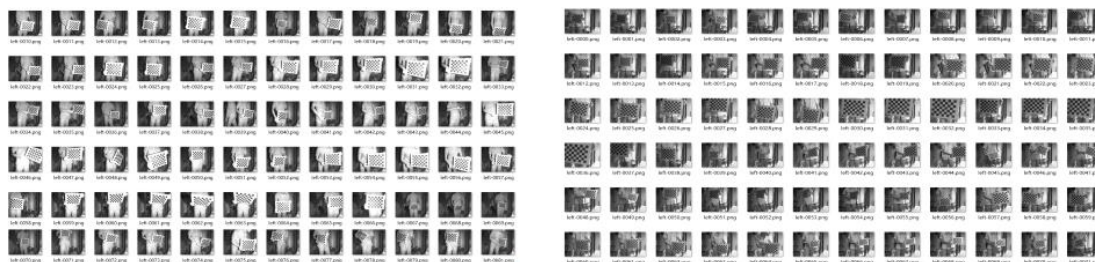


图 3 相机标定过程

```
image_width: 640
image_height: 488
camera_name: narrow_stereo
camera_matrix:
  rows: 3
  cols: 3
  data: [581.819161, 0.000000, 308.185433, 0.000000, 581.204630, 241.323859, 0.000000, 0.000000, 1.000000]
distortion_model: plumb_bob
distortion_coefficients:
  rows: 1
  cols: 5
  data: [-0.052383, 0.028827, -0.000357, 0.000730, 0.000000]
rectification_matrix:
  rows: 3
  cols: 3
  data: [1.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 1.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 1.000000]
projection_matrix:
  rows: 3
  cols: 4
  data: [573.103271, 0.000000, 307.846024, 0.000000, 0.000000, 575.103882, 240.674911, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 1.000000, 0.000000]
```

图 4 深度相机标定参数

```
image_width: 640
image_height: 480
camera_name: narrow_stereo
camera_matrix:
  rows: 3
  cols: 3
  data: [522.953575, 0.000000, 328.124415, 0.000000, 522.543565, 245.542274, 0.000000, 0.000000, 1.000000]
distortion_model: plumb_bob
distortion_coefficients:
  rows: 1
  cols: 5
  data: [0.028932, -0.079080, 0.005091, 0.003955, 0.000000]
rectification_matrix:
  rows: 3
  cols: 3
  data: [1.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 1.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 1.000000]
projection_matrix:
  rows: 3
  cols: 4
  data: [522.146790, 0.000000, 330.252488, 0.000000, 0.000000, 523.401062, 246.920031, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 1.000000, 0.000000]
```

图 5 彩色相机标定参数

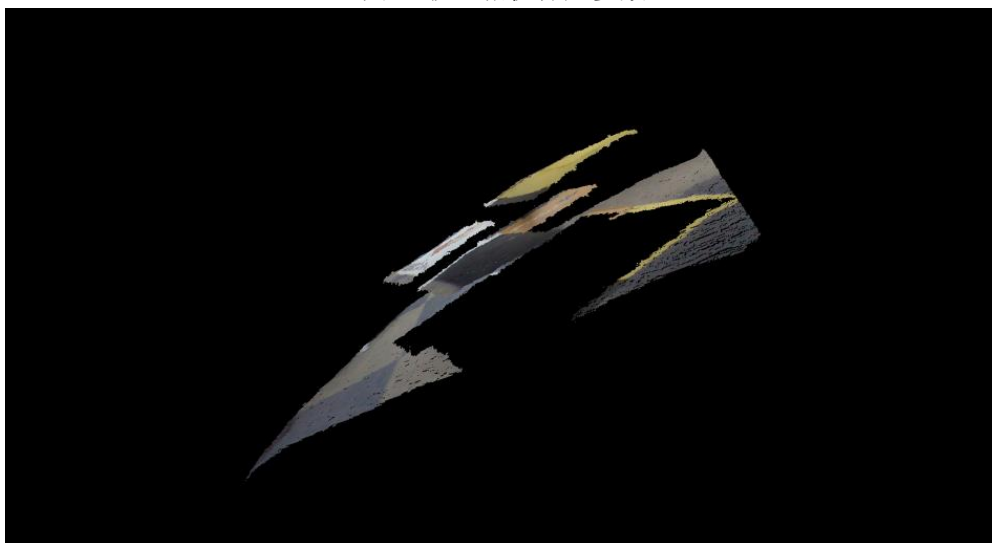


图 6 点云图像

3.1.2 关键点查找算法

如图 7 和图 8 所示，先对四个正下方高度差进行排序，以排第三位的腿部作为基准，然后进行着陆点的搜索。搜索具体过程如下：第一象限，这里假设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。

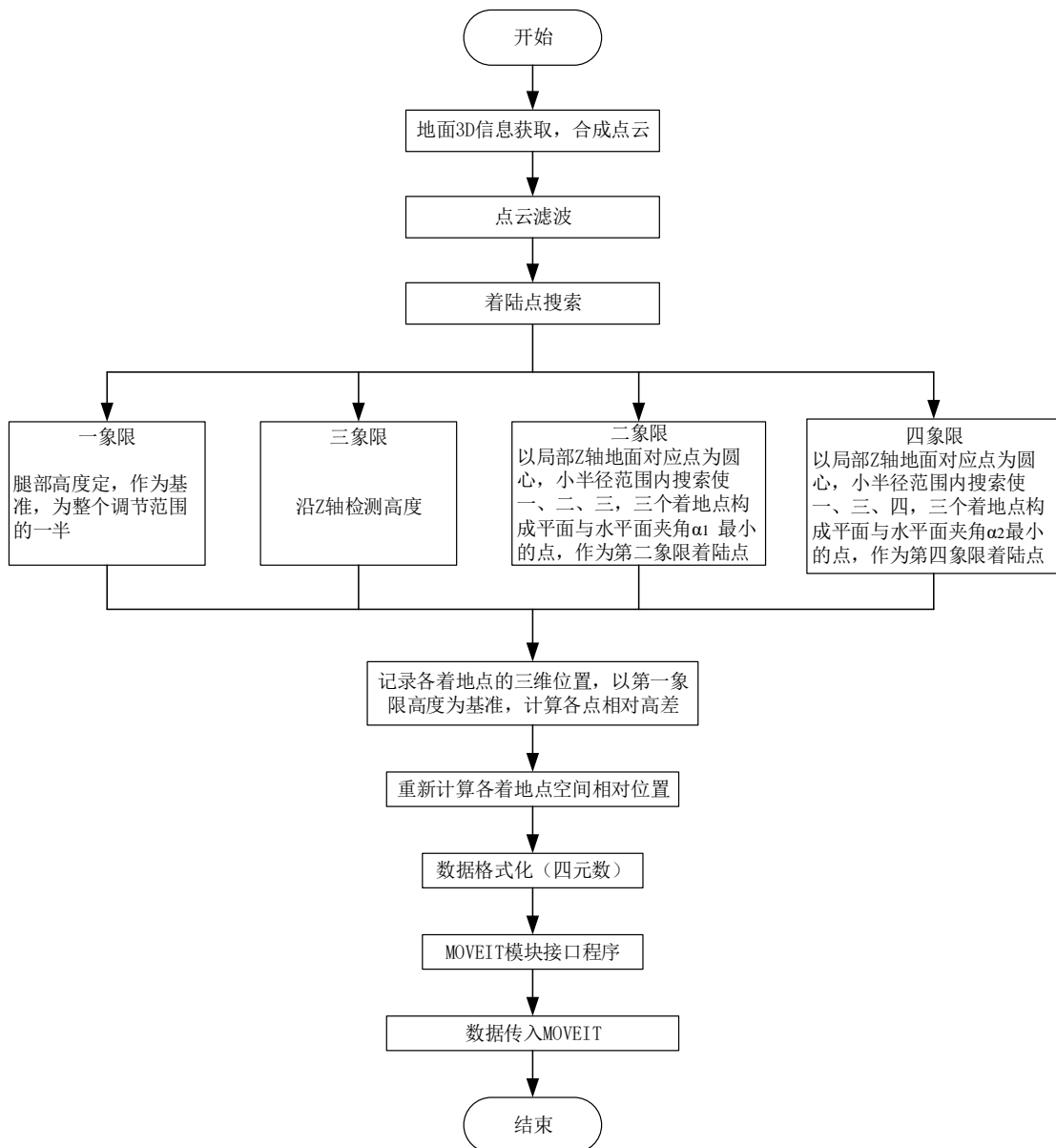


图 7

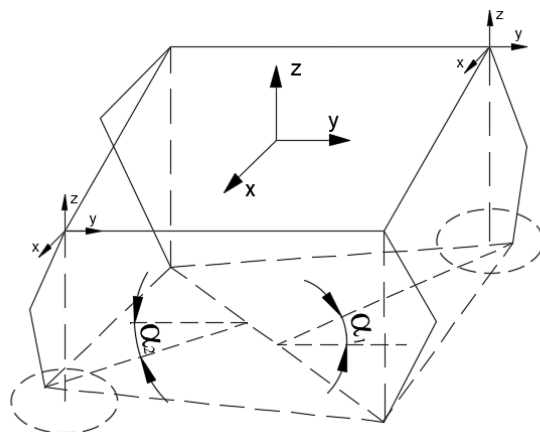


图 8

3.1.3 系统通信

如图 9 所示，该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。主从机之间的通信过程：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。从机与执行控制器之间通信过程：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。

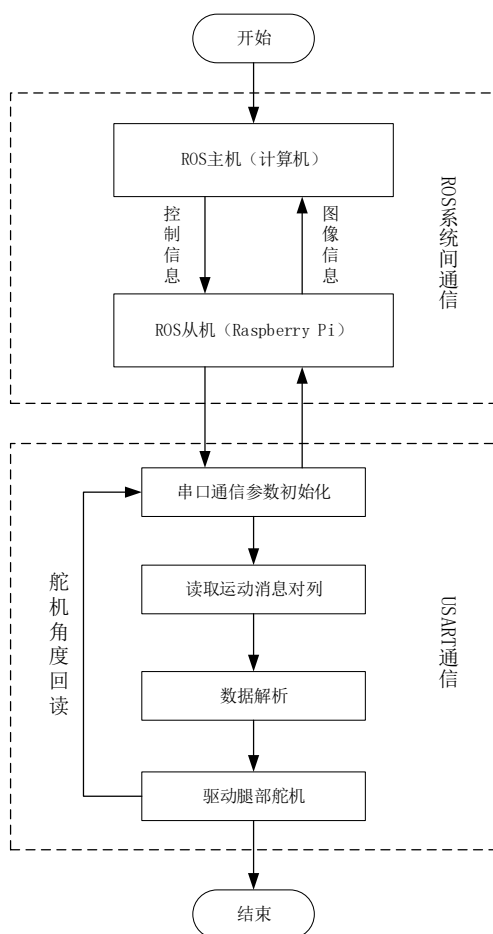


图 9

3.1.4 决策规划层

如图 10 所示，首先，通过 SolidWorks 建立机构 3D 模型，用 sw2urdf 插件导成 urdf 格式的模型文件。然后，利用 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。其次，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。最后，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。

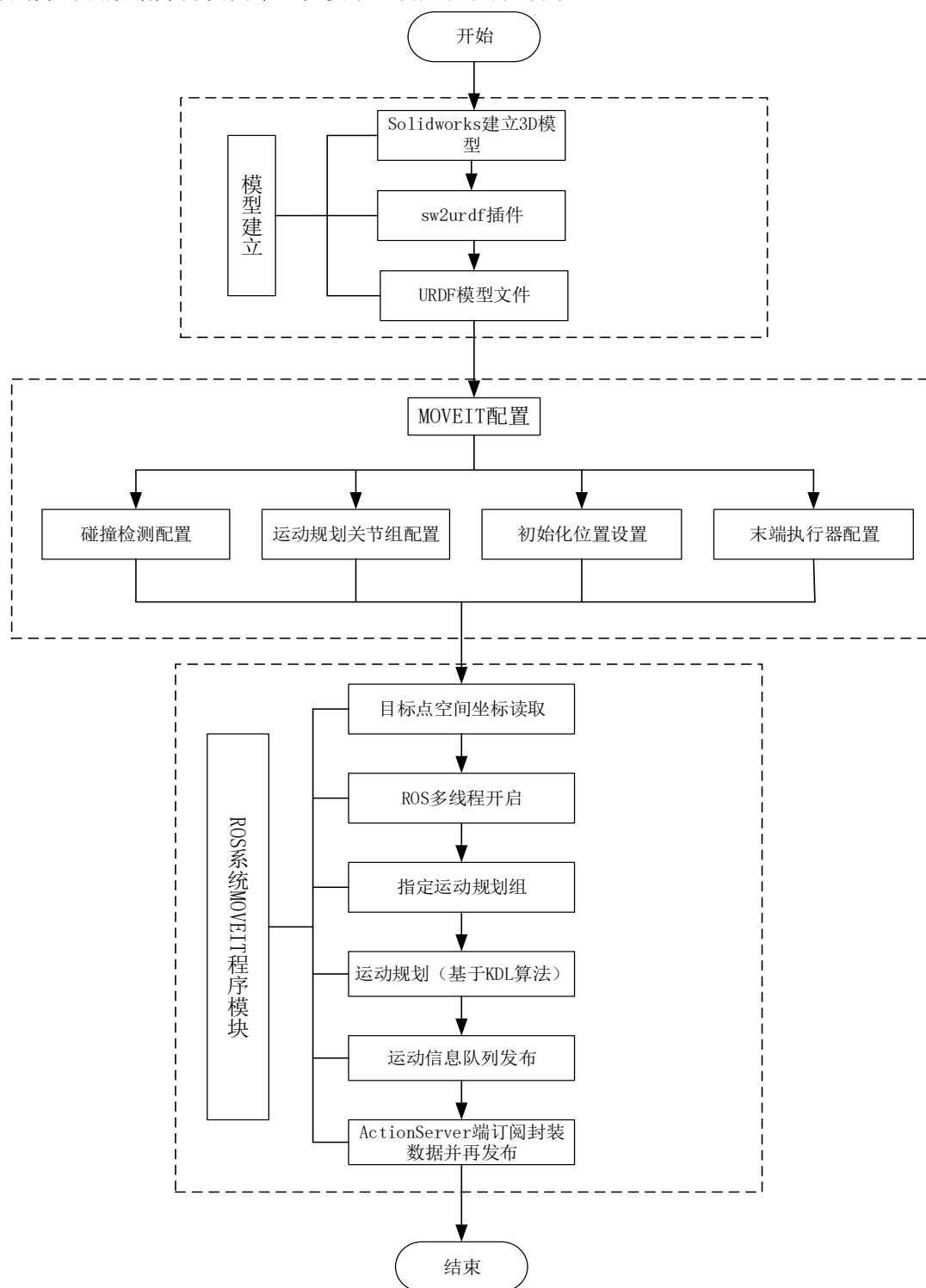


图 10

如图 11 所示，为上位机的 MOVEIT 主控。从图中可以看出，下方机械臂会随着上方点云的高度差做出相应的规划调整，点云越向上，则机械臂关节角度的调整越小。

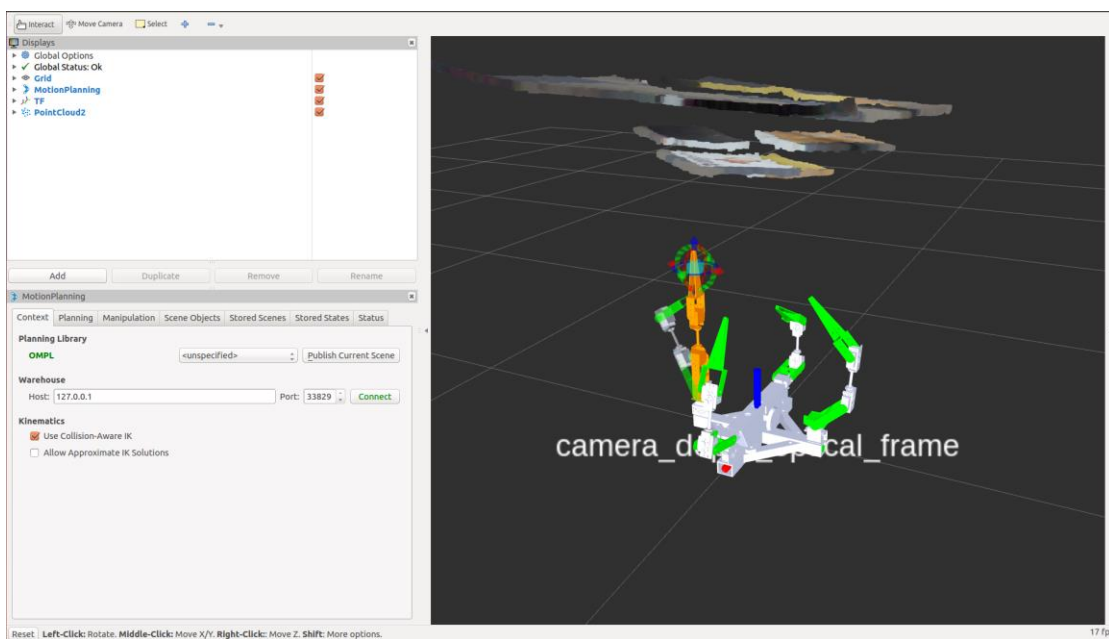


图 11 MOVEIT 主控示意图

3.2 发明专利

项目组提交一项发明专利，名称为一种无人机的着陆位姿调整方法、系统及相关组件，已经于 2019 年 4 月 9 日受理，申请号为 201910277001.3。

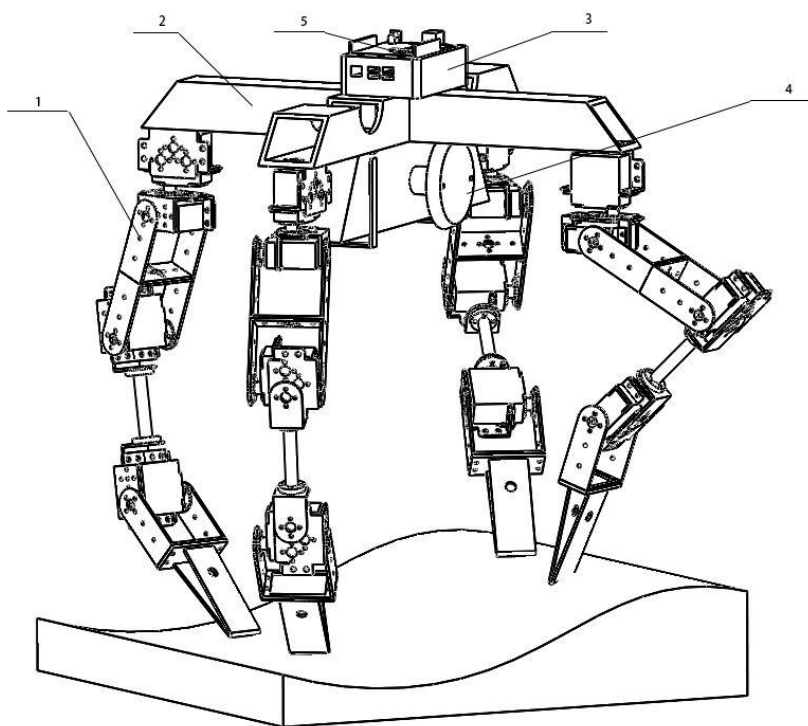


图 12 专利附图

如图 12 所示, 为本发明构建的一种基于 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: 其实中包括: 1 机械腿、2 支撑架、3 从机 (Raspberry Pi)、4 RGBD 相机 (KINECT)、5 执行控制器 (ARDUINO) 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。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。

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。

三、创新点

1、本项目从传统角度出发, 结合新兴的计算机视觉、点云处理、机械臂运动规划等领域的相关知识, 赋予传统的机械结构以智慧, 使其可以根据环境进行调节, 工作范围增大工作能力增强。

2、本项目由 ROS 系统搭建而成, 具有结构清晰、耦合性低等特点。该着陆系统除着陆外, 由于搭载有视觉传感器和机械臂, 相当于拥有了“眼睛”和“手”, 可以在空中进行简单的感知和夹取工作, 拓展了飞行器的工作能力。

3、发明专利提供了一种基于 ROS 的实时性好、准确性高的着陆装置。可以使飞行器应对较为复杂的路面, 且该系统耦合性低、适配性强, 方便一般飞行器进行搭载。

四、项目交流情况

申请发明专利一项, 制作原理样机一台, 并将项目代码提交到 Github 上, 供更多对该项目感兴趣的人下载研究, 共同进步。(下载网址 <https://github.com/jjw-DL/An-All-Terrain-Visual-Positioning-and-Landing-System-for-UAV-Based-on-ROS-System.git>)

五、项目总结

本项目设计的一种基于 ROS 系统的飞行器全地形着陆系统, 装置运行良好, 着陆准确性为 80%, 完成了开题时设定的设计算法, 制造实物, 申请专利的目标。但本项目还有一些地方需要改进:

1. ROS 机器人操作系统工作的稳定性一般, ROS_MASTER 节点的宕机容易造成系统崩溃。
2. 该模型所搭载的视觉传感器和伺服电机的价格比较昂贵。
3. 由于研发阶段只考虑了该模型的工作强度符合要求, 因此模型质量较重, 需要更换材料进行轻量化改进。

随着无人机工作领域的拓展和技术的日臻成熟, 相信该系统的应用前景光明, 特别是高空领域进行工作, 有更大的应用和发展空间。同时, 系统的泛化能力和稳定性应进一步提高, 使其更加稳定地应对复杂工作环境。

六、感悟。

一年的大创项目已经结束, 辛苦且充实。项目刚刚开始时, 我们一脸懵懂, 弄不清方向。感谢重点实验室吴量老师、马芳武教授、倪利伟博士、史津竹博士对我们的耐心指导和宝贵建议, 让我们逐渐理清了头绪。在项目进行的过程中, 我们充分利用图书馆以及网上资源搜集相关资料, 购买了大量书籍, 阅读大量文献, 与老师讨论设计方案, 确定研究方向, 优化算法模型。充分地锻炼了我们的团队协作能力和独立解决问题的能力。为了使该系统能面对各种环境, 项目组进行了大量实验, 不断地改进优化代码, 最终确定了现在的方案, 并取得了不错的效果。

大创项目不仅使我们的专业水平日渐成熟，也增加了对于工作的责任感。同时，在项目的开发过程中，我们收获了面对困难与挫折勇往直前的精神。再次感谢吴量老师对我们项目方案设计和专利写作的指导，也感谢代凯博士在繁忙的学习工作中抽出宝贵的时间指导我们。

总之，大创项目充分锻炼了我们的综合能力，为我们学术生涯的开启奠定了坚实的基础。

注：本栏可加页。

项目经费使用说明（要列出具体的支出明细）

内容	金额（元）
相关领域书籍费用	1408
通用设备（机械架加工工具）	1090
自由度机械手	784
计算机外部设备（显示屏）	241
锂离子蓄电池	108
机器人舵机	115
电子元件（舵机控制板、充电器等）	800
锻件、冲压件、钣金件	1500
Stm32 开发板	600
无人机	1500
激光雷达	950
IMU	100
树莓派	366
总计 9562 元	

学院鉴定意见（鉴定意见应实事求是，注重大学生参加创新创业训练计划项目的过程，并提出项目研究的优缺点及是否同意结项的明确意见。）

专家组长签字：

学院（公章）：

年 月 日

学校审定意见

吉林大学大学生创新创业训练计划领导小组
年 月 日