

# 基于ROS的自主多旋翼飞行器视觉导航系统

王国胜, 郭峰, 吕强, 张洋

装甲兵工程学院控制工程系, 北京 100072

**摘要** 针对在GPS信号缺失的环境下多旋翼飞行器的定位和自主飞行问题, 构建了一个基于视觉导航的多旋翼无人飞行器控制系统。采用目前流行的pixhawk飞行控制模块和单目视觉定位算法, 基于机器人操作系统(ROS)构建了通信网络系统, 并选用一个低功耗的机载主控计算机实时地在板运行该系统。测试结果表明, 搭建的无人飞行器平台能实现较精确的视觉定位和自主飞行。

**关键词** 多旋翼飞行器; 视觉导航; 机器人操作系统; 自主飞行

使用无人飞行器对建筑物内部环境进行有效探索已成为近几年的研究热点, 多旋翼无人飞行器(unmanned aerial vehicles)具有垂直起降、灵活机动、可靠性高和负载能力强等特点, 更加适合充满挑战的室内任务, 可以携带更多的探测、处理等设备<sup>[1]</sup>。特别在自然灾害中, 使用多旋翼无人飞行器探测建筑物内部的受损情况, 有助于更有效的灾后救援工作。

目前的无人飞行器广泛采用GPS和惯性导航系统进行定位和导航, 然而在建筑物内等GPS信号缺失的地方, 需要一个可靠的定位系统对无人飞行器进行定位和姿态估计。视觉导航即采用无人飞行器携带视觉传感器获取周围环境图像, 通过图像算法对飞行器进行位姿估计。视觉传感器在成本、功耗、质量上独具优势, 较适用于多旋翼无人飞行器系统。传统的视觉导航方法将搭载的视觉传感器采集到的图像通过无线模块传输到地面站计算机, 通过地面站计算机进行视觉处理后再将控制命令以无线的形式发送给飞行器<sup>[2]</sup>。然而现如今的微处理器处理能力还不足以处理高帧率的图像, 利用WiFi等无线方式传输图像数据到地面站处理器处理, 存在实时性和鲁棒性不足等问题。所以本文采用一个嵌入式低功耗、高性能的机载主控计算机来处理视觉传感器数据, 所有软件都是实时在板运行(onboard), 避免了图像和控制命令无线传输过程中存在的延迟和干扰, 保证了控制的实时性和飞行的精确性。

为了使用多旋翼飞行器平台对室内环境进行探索和地图构建, 本研究搭建了一个基于ROS的飞行器视觉导航控制系统, 采用视觉传感器对室内飞行的飞行器进行位姿估计,

实现定位, 并利用机载主控计算机控制无人飞行器完全自主起飞、悬停和降落, 地面站计算机只是进行飞行状态和数据的监控。自主控制命令和位姿估计则通过Mavlink微型无人通信协议进行传输。

## 1 系统硬件设计

本文采用的六旋翼无人飞行器主要包括: pixhawk飞行控制板(PX4)、视觉传感器、低功耗的机载主控计算机、无刷电机和供电模块。主控计算机实时处理视觉传感器采集的图像, 对飞行器定位和位姿估计, 并以ROS消息格式将控制命令发送给pixhawk飞行控制板, 进而利用6个无刷电机控制飞行器的飞行, 达到六旋翼无人飞行器室内定位和自主飞行的目的。图1为多旋翼无人飞行器平台。



图1 多旋翼飞行器平台

Fig. 1 Multi-rotor aircraft platform

自行搭建了一个六旋翼无人飞行器, 能够满足载荷要求, 具有足够的机载处理计算能力, 最短续航时间达20 min,

收稿日期: 2015-07-21; 修回日期: 2015-12-28

作者简介: 王国胜, 副教授, 研究方向为机器人自主控制, 电子信箱: gswang@126.com

引用格式: 王国胜, 郭峰, 吕强, 等. 基于ROS的自主多旋翼飞行器视觉导航系统[J]. 科技导报, 2016, 34(18): 275-278; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2016.18.038

最大直径为 75 cm。

pixhawk 是一款最新的飞行控制系统<sup>[9]</sup>, 装配了具有强处理能力的 STM32F427Cortex M4168 MHz 微处理器, 除了这个主处理器外, 还有一个 STM32F103 失效保护控制器, 避免因主 CPU 失效时无人机失控。并配备了陀螺仪、加速度计、气压计和 GPS 对飞行状态进行实时的估计和处理。为了满足视觉导航的实时性, 采用一台高性能的小型主控计算机, 质量仅为 220 g, Intel 酷睿 I7 双核 3537U 处理器, 主频为 2.0 GHz, 内存 8 GB。搭载 Ubuntu 12.04 LTS 操作系统、Hydro 版的机器人操作系统 (ROS) 和 OpenCV 图像处理库。单目视觉传感器选用 PS3Eye, 分辨率为 (640×480) 像素, 其直接通过 USB 连接在主控计算机上。图 2 为系统硬件架构。

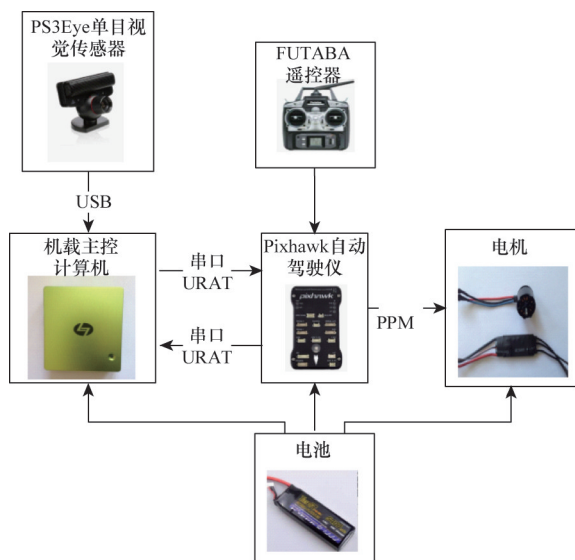


图2 系统硬件连接

Fig. 2 Connection of system hardware

单目视觉传感器对地面图像数据进行采集, 通过 USB 传送到机载主控计算机, 主控计算机进行图像预处理和视觉定位算法计算传感器的位姿, 将位姿估计结果通过串口发送给 pixhawk 飞行控制板, 实现室内的定位。飞行控制板从串口将飞行器当前位置、姿态、高度等数据传送到主控计算机上。最终由机载主控计算机通过位置控制实现自主飞行。

## 2 系统软件设计

系统的软件部分主要完成各模块的通信, 传感器数据的采集, 位姿估计和位置控制的实现。图 3 给出了视觉导航控制系统的结构。软件系统的核心部分为主控计算机与 PX4 的通信接口节点设计, 主要采用的是机器人操作系统 (ROS)<sup>[4]</sup> 的架构。ROS 是一款新颖的主要定位于机器人平台开发的次级操作系统, 具有代码复用率高、点对点设计、工具包丰富、系统模块化等优点。所以采用基于 ROS 的通信节点设计, 节点与节点之间通过主题进行通信, 利用节点发送特定

格式的消息到主题, 节点订阅主题数据的方式进行数据传输。通信协议采用被广泛应用于无人机通信的 Mavlink 协议。

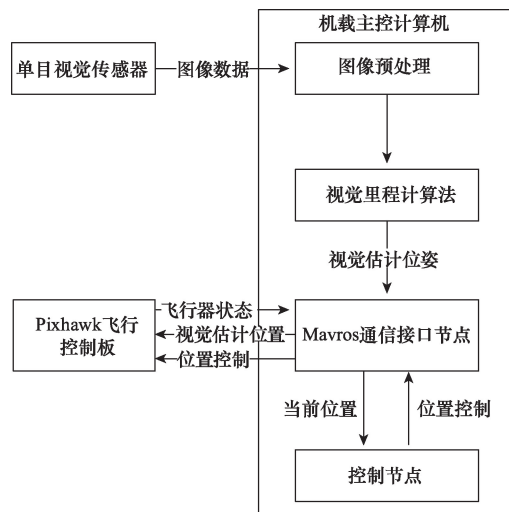


图3 视觉导航控制系统结构

Fig. 3 Structure of visual navigation control system

### 2.1 通信接口节点

通信接口节点是主控计算机与 Pixhawk 飞行控制板之间的信息传输枢纽, 该节点是实现主控计算机实时获取飞行器飞行状态和对其飞行状态进行自主控制的关键。图 4 为通信接口节点结构图, 该节点主要通过 Mavlink 协议接收 PX4 的心跳包、姿态角数据包、位置数据包等, 并按类别以特定消息格式将数据发布到不同的主题上。同时订阅了 Vision、position 等主题, 再以 Mavlink 协议的形式将这些主题数据发送到 PX4, 获取外部传感器的数据和实现飞行控制。

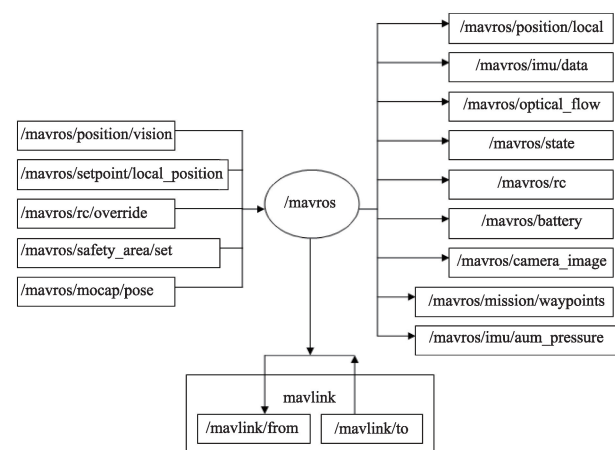


图4 通信接口节点结构

Fig. 4 Structure of communication interface node

图 4 中方框表示主题, 圆圈表示节点。其中通信节点订阅的 /mavros/position/vision 主题是视觉位姿估计结果, /mav-

ros/setpoint/local\_position 为位置控制主题。发布的主题中/mavros/position/local 是飞行器当前局部位置,/mavros/imu/data 为惯性测量单元数据。

### 2.2 视觉定位和位置控制

采用的单目视觉传感器位姿估计的方法为一个稀疏的同时定位与地图构建(SLAM)算法<sup>[5]</sup>,系统使用跟踪、局部地图构建和闭环检测3个线程并行运行,跟踪线程主要是帧对帧的跟踪,同时使用了跟踪局部地图来优化位姿并创建了关键帧。局部地图构建线程则主要是对相互可视的关键帧进行处理,创建一个以特征地图点为主体的局部地图。闭环检测线程是针对局部地图构建线程最后处理的关键帧来进行环路闭合的检测。该方法与目前流行的算法相比具有精确、快速且鲁棒性强的特点,在实时性和精度上基本满足实时定位和自主飞行的要求。

控制节点的设计采用Python语言编写,主要是对飞行器进行一个位置控制,该节点订阅了飞行器的视觉定位位置和姿态主题,提供位置反馈,再将位置控制命令发布到通信节点的/mavros/setpoint/local\_position 主题上。通过对无人飞行器状态的实时监测调整位置控制信息。

## 3 结果与分析

为了测试系统通信的通畅性和控制的可行性,主要验证

主控计算机接收PX4视觉定位数据情况和发送控制指令后飞行器的飞行状态这两方面来进行分析。

为了达到运行视觉定位算法、mavros通信节点的目的,选择建立一个ROS中launch文件来同时启动ros内核和多个节点。launch启动文件如下:

```
<launch>
  <arg name=" fcu_url" default=" serial:///dev/ttyUSB0:921600" />
  <node name=" camera" pkg=" usb_cam" type="usb_cam_node">
    <node name=" mavros" pkg=" mavros" type=" mavros_node" output="screen">
      <node name="ORB_SLAM" type="ORB_SLAM" name="ORB_SLAM" args=" data/ORBvoc.yml Data/Settings.yaml" cwd="node" output="screen">
    </launch>
```

上述launch文件将通信接口节点mavros启动,端口设置为USB0,波特率设置为921600,同时启动了camera图像节点,视觉定位算法节点,并对节点中部分参数进行了配置。在启动所有节点后,通过ROS的节点订阅器可以看到如图5所示的节点关系,其中圆圈表示节点,方框为主题。

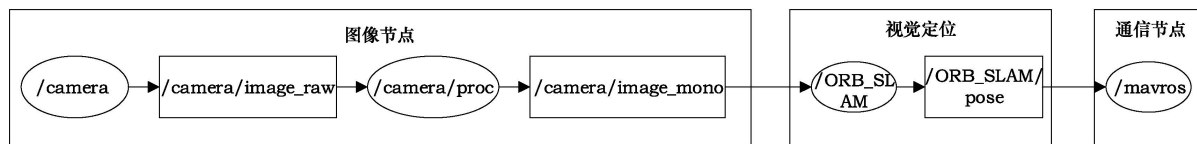


图5 运行节点关系

Fig. 5 Relationship of nodes

### 3.1 通信系统测试

系统通信的畅通性是系统数据传输、完成指令控制、实现系统功能的前提。通过启动通信节点,主控计算机通过USB0串口,通信波特率为921600完成与飞行控制模块的通信。其运行状况如图6。

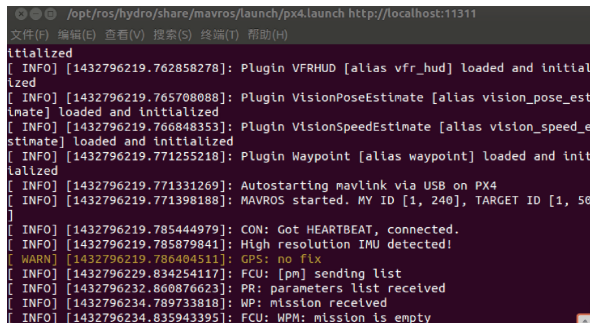


图6 通信接口节点运行状况

Fig. 6 Running state of communication node

从图6中可知计算机通过串口连接到了飞行控制板;节点已开始运行;心跳包已连接获取;高清晰度IMU数据已检测;无GPS服务;正在发送数据列表;计算机已接收参数列表;飞行任务已接收且任务为空,验证了机载主控计算机与飞行控制模块间数据传输的通畅性。

### 3.2 定位和控制系统测试

主控计算机通过订阅local/position主题获取飞行器当前位置,将位置控制消息发布在mavros/setpoint/local\_position主题上实现对飞行器的位置控制。控制的目的是实现飞行器在指定的位置全自主起飞、悬停和降落功能。飞行过程中设定的悬停位置为x=0,y=0,z=1。自主起飞、降落的高度变化曲线如图7,稳定悬停状态下无人飞行器的水平位置曲线如图8。从实验结果可以看出,其水平悬停位置能保持在±0.2m的范围内,悬停时高度的误差范围在±0.2m内,达到了较好的悬停效果。

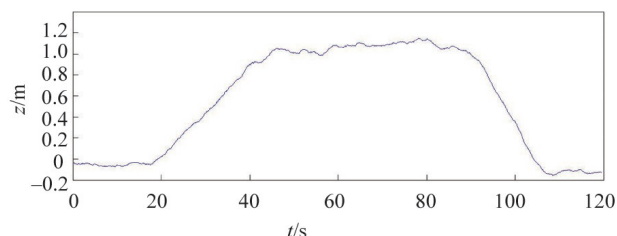


图7 高度变化曲线

Fig. 7 Curve for height variation

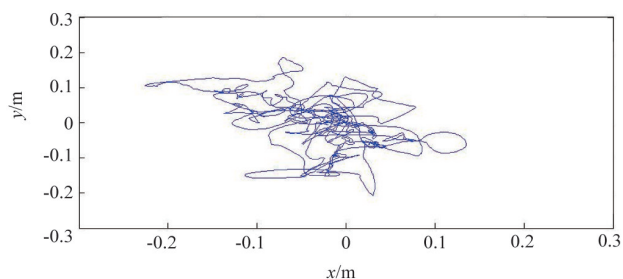


图8 悬停水平位置曲线

Fig. 8 Curve for horizontal position at hovering

#### 4 结论

以机器人操作系统(ROS)为软件框架,搭建了一个完全自主的多旋翼无人飞行器视觉导航控制系统平台,在GPS信号缺失的环境中采用一个单目视觉定位和地图构建方法实

现了飞行器的准确定位,所有节点都在一个低功耗高性能的嵌入式机载主控计算机上运行,保证了控制系统的实时性和精确性,避免了无线传输过程中的干扰和延迟。实验测试结果表明基于ROS框架的通信节点数据传输通畅,并成功实现了多旋翼无人飞行器室内环境的定位和自主起飞、悬停和降落功能,自主悬停的实验结果显示系统获得了一个较高的飞行精度。

#### 参考文献(References)

- [1] 岳基隆, 张庆杰, 朱华勇. 微小型四旋翼无人机研究进展及关键技术浅析[J]. 电光与控制, 2010, 17(10): 46-52.  
Yue Jilong, Zhang Qingjie, Zhu Huayong. Research progress and key technologies of micro quadrotor UAV[J]. Electro Optic and Control, 2010, 17(10): 46-52.
- [2] Krajník T, Vonásek V, Fišer D, et al. AR-drone as a platform for robotic research and education[M]//Research and Education in Robotics-EUROBOT 2011. Berlin Heidelberg: Springer, 2011: 172-186.
- [3] Meier L, Tanskanen P, Fraundorfer F, et al. Pixhawk: A system for autonomous flight using onboard computer vision[C]//Robotics and automation (ICRA), 2011 IEEE international conference on. IEEE, 2011: 2992-2997.
- [4] Quigley M, Conley K, Gerkey B, et al. ROS: An open-source robot operating system[C/OL]. [2015-08-20]. <http://pub1.willowgarage.com/~konnolige/cs225B/docs/quigley-icra2009-ros.pdf>.
- [5] Mur-Artal R, Montiel J M M, Tardos J D. ORB-SLAM: A versatile and accurate monocular SLAM system[J]. IEEE Transactions on Robotics, 2015, 31(5): 1147-1163, 1502.00956.

## A visual navigation control system for autonomous multi-rotor aircraft

WANG Guosheng, GUO Feng, LÜ Qiang, ZHANG Yang

Department of Control Engineering, Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China

**Abstract** Aiming at multi-rotor aircraft localization and autonomous flight in GPS-denied environments, we describe a multi-rotor unmanned aircraft control system based on visual navigation. Our system is equipped with a popular pixhawk flight control module and monocular visual localization algorithm, and a communication network system is established based on robot operating system(ROS). We use an onboard computer with low power consumption which deals with all the necessary real-time operations for the system.. Test results show that our multi-rotor aircraft platform can achieve accurate visual localization and autonomous flight.

**Keywords** multi-rotor aircraft; visual navigation; ROS; autonomous flight

(责任编辑 刘志远)