

基于 LabVIEW Vision 的无人机自主着陆系统设计与实现

张 佳

(西安航空学院 电子工程学院, 西安 710077)

摘要: 四旋翼无人机具有低成本、垂直起降、机动性好等优点, 在民用领域诸如航拍、植保、物流、电力巡线等场合得到了广泛的关注和应用; 随着四旋翼无人机应用的普及, 一些新的问题也随之出现, 其中一个亟待解决的问题是如何提高无人机的降落精度和可靠性, 特别在超视距应用场景下, 这一需求尤为突出; 通过采用机器视觉技术, 利用 LabVIEW Vision 编制视觉识别软件, 可以控制四旋翼无人机实现高精度的自主降落。

关键词: 无人机; 虚拟仪器; 机器视觉; 自主降落

Design and Implementation of Autonomous Landing System for UAV Based on LabVIEW Vision

Zhang Jia

(School of Electronic Engineering, Xi'an Aeronautical University, Xi'an 710077, China)

Abstract: The four-rotor unmanned aerial vehicle (UAV) has many advantages such as low cost, vertical take-off and landing, good maneuverability. It has been widely used in civilian fields such as aerial photography, plant protection, logistics and power inspection. With the popularization of four-rotor unmanned aerial vehicles, some new problems have arisen. One of the problems is how to improve landing precision and reliability of the UAVs, especially in the over-the-horizon application scenario the demand is particularly prominent. With the use of computer vision technology, the four-rotor unmanned aerial vehicle can be controlled to achieve high precision autonomous landing with the visual recognition software developed by LabVIEW Vision.

Keywords: UAV; virtual instrument; machine vision; autonomous landing

0 引言

近年来, 无人机系统因其低廉的成本、优异的特性在诸多领域得到了广泛的应用。从宏观角度来讲, 无人机种类繁多, 根据飞行机理不同可以分为三种类型: 固定翼型、旋翼型以及扑翼型。其中旋翼型无人机由于其体积小, 拥有优秀的机动性能, 尤其适合在狭小空间内飞行, 因此在实践中得到了广泛应用, 特别是小型四旋翼无人机在航拍、植保、物流、电力巡线等领域得到了飞速的发展, 并且展现出了巨大的市场潜力。

目前, 四旋翼无人机的应用绝大部分依赖操作员手工操作, 这就对操作员的操作技巧和经验提出了很高的要求, 特别是在超视距飞行的应用场景下, 人工操作往往降落精度差, 事故率较高。针对四旋翼无人机降落阶段设计自主着陆系统可以提高着陆的可靠性和精度, 基于机器视觉的着陆系统是一种有效的解决方案。美国南加州大学的自主飞行器项目研究了直升机的自主飞行控制方法, 并且实现了自主视觉降落^[1]; 华南理工大学的李永健设计了基于 OpenCV 的四旋翼无人机定点着陆系统, 在实验室实现了通过 WiFi 传输数据的视觉着陆系统^[2]。

机器视觉技术是在计算机技术基础上发展而来的, 目前机器视觉技术已经发展的非常成熟, 在很多工程领域都得到了广泛应用, 相应的图像处理工具也非常丰富。NI Vision 图像处理库是美国国家仪器公司推出的一款图像处理模块。NI Vision 视觉开发模块专用于开发和配置机器视觉应用程序。NI Vision 模块为用户提供了数百种图像处理函数, 并且能够适配多种相机, 采集图像和视频。NI Vision 具有人性化的界面和符合用户使用习惯的操作方式, 通过类似图形语言的方式即可编制出图像处理算法, 而且能够将用户编制的算法导出为 C 语言代码或 LabVIEW 程序框图, 方便用户移植调用。

本文使用 NI Vision 生成图像处理算法, 将其嵌入 LabVIEW 中编制为最终的地面站软件实现无人机的自主着陆。LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) 是一种用图标代替文本行创建应用程序的图形化编程语言。LabVIEW 允许使用图形的方式编程, 摒弃了晦涩难懂的文本代码, 极大的提高了编程效率, 降低了编程门槛。LabVIEW 的应用范围已经覆盖了工业自动化、测试测量、嵌入式应用、运动控制、图像处理、计算机仿真、FPGA 等众多领域。以 LabVIEW 为核心, 采用不同的专用工具包, 统一的图形编程方式, 可以实现不同技术领域的需求。LabVIEW 软件是 NI 设计平台的核心, 也是开发测量或控制系统的理想选择。

1 工作原理分析与系统设计

四旋翼无人机可以进行垂直起降, 这就使其具备了优良的

收稿日期: 2017-01-05; 修回日期: 2017-02-11。

基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划项目(20161173601); 西安航空学院校级科研基金项目(2016KY1206)。

作者简介: 张 佳(1987-), 男, 甘肃张掖人, 硕士, 助教, 主要从事导航、制导与控制方向的研究。

操控性。基于四旋翼无人机的这一特性，本文着重讨论四旋翼无人机在飞临目的地上空之后如何实现自主降落。当无人机到达目的地上空准备着降时，开启超声波高速传感器测量无人机高度，同时在目的地设置清晰可辨识的目标标识，无人机飞临目的地上空之后，机载相机采集对地观测图像然后通过图像传输无线电台传输到地面站。地面站对收到的图像按特定的算法进行处理以凸显出目标标识，通过图形匹配与目标追踪算法分析出目标在图像中的位置，从而得出无人机与目标之间的偏离程度。通过该偏离值计算出无人机需修正的方向，并将相应的指令通过数传无线电台发送至无人机来控制其向目标中心移动。四旋翼无人机自主着降系统的数学模型可以用如图 1 所示的结构图来表示。

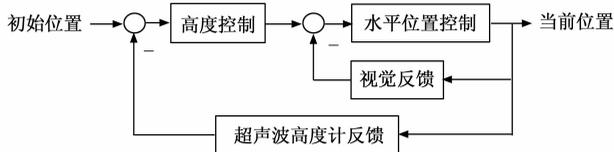


图 1 四旋翼无人机自主着降系统数学模型

自主着降系统可以看作是一个双环位置伺服系统，其中内环为水平位置控制环，以图像匹配的形式将机器视觉作为反馈量，作用是在下降过程中确保无人机中心与目标中心对齐；外环是高度控制环，以超声波高度传感器测量到的高度作为反馈量，作用是确保无人机平稳着陆。

系统设计时，为改善系统的稳定性和动态特性，在地面站控制程序中选用 PID 算法实现对该双环系统的滞后—超前校正。

1.1 平台设计

目前，四旋翼无人机已得到了广泛的应用，从技术层面来讲，其硬件壁垒并不高，主要是一些精密零件的组装和空气动力学的设计，而软件和应用开发则成为各大企业和研究机构的创新来源和主攻方向。目前无人机遥控飞行作业过程中，无人机姿态信息的获取主要依靠操控手人眼观测。这种观测方式容易受到周围环境和操控人员经验等主客观因素的影响，导致获取的位姿信息出现错误，进而使得操控手不能准确地操控无人机进行精细作业。本文通过图像匹配的形式寻找目标点，控制无人机自主降落，结合图像处理、信息传输、测量测绘等技术，来提高无人机着陆的自主性和安全性。为实现无人机的自主着降，保证无人机中心能够准确着降在目标中心点上，机载相机紧贴于无人机，安装在无人机腹部，设置机载相机焦点垂直于地面向下俯拍，而且相机焦点垂线与无人机中心垂线相重合，这样图像处理时分析得到的目标与图像中心的偏离值也就反映了无人机中心与目标的偏离程度。机载相机安装方式如图 2 所示。

为使无人机能快速准确找到着陆点，需要清晰、易于辨识的标志。本文着重讨论无人机着降的位置精度，暂不考虑其姿态精度，所以选用了对称的十字标志，如图 3 所示。

十字标志由两个黑色矩形垂直交叉而成，矩形的长边 A 是短边 B 的长度的四倍。这样设置着陆标识可以与周围环境中的景物区别开来，有利于无人机捕捉到目标。

1.2 通信链路设计

由于无人机机载设备运算能力有限，自主着降系统将大部



图 2 无人机结构与机载相机安装方式 图 3 目的地十字标识

分数据运算操作都集中在地面站上进行。无人机需要将采集到的数据实时传输到地面站，地面站则要将运算处理后得出的控制指令发送给无人机，为此要在无人机与地面站之间建立起通信链路，主要包括两部分：图传链路和数传链路。

系统运行过程中，地面站经由通信链路的向无人机发送控制指令，而无人机将图像数据和高度数据反馈给地面站。通信链路传输的控制指令和高度数据的比特率较低，可以通过窄带链路传输，本文选用了 2.4 GHz 的数传电台，通过 MAVLink 协议收发控制指令和姿态数据；图像数据比特率较高，需通过专用的宽带链路传输^[3]，本文选用 5.8 GHz 图传电台传输图像数据。

为了避免无线信道上数据的失真、衰减以及数据丢失，从而实现可靠、高速的数据传输，在无线电台内嵌入一个调制解调器 (MODEM)，发送数据时通过该调制解调器把脉冲数据信号转变为模拟信号；相应地，接收时则执行相反的转换过程，通过调制解调器把接收到的模拟信号还原成脉冲数据信号。通信链路结构如图 4 所示。

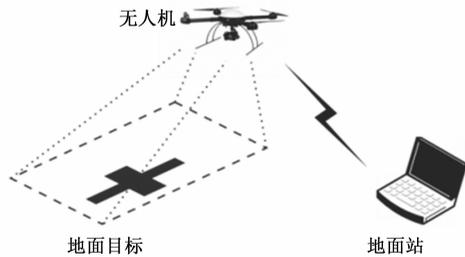


图 4 通信链路示意图

1.3 地面站软件设计

地面站是自主着降系统的数据处理中心，是整个系统的控制中枢。地面站软件接收到无人机下发的图像数据和高度数据后，先进行水平位置调节，在调节器的作用下始终保持无人机中心与地面目标中心在垂直于地面的同一条垂线上，完成每一次水平位置调节后进行高度调节，最终使无人机平稳的降落在目标中心点上。对无人机水平位置的调节采用闭环控制算法。地面站软件处理流程图如图 5 所示。

2 系统实现

为了验证以上设计的可行性，本文设计了一套包括四旋翼无人机、机载相机、地面站、图传和数传模块以及控制软件在内的无人机自主着降系统，并对其性能进行了测试。

2.1 器件选型

四旋翼无人机选用了 F450 机架，对称电机轴距为 450

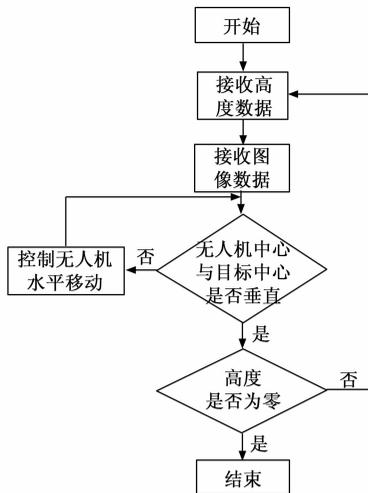


图 5 地面站软件流程图

mm。飞行控制器采用开源 APM2.8 飞控，支持多种控制模式：特技，稳定，悬停，定高，返航，降落，简单，指导，定点，盘旋，跟随，地理围栏，可自动执行用 GPS 航点编写的全部任务等，并且具备失控和低电量故障保险。

电机选用 DJI2212，这是一款 920 KV 无刷电机，无人机采用了两个正转电机，两个反转电机，其中对角线方向电机旋转方向相同，相邻电机旋转方向相反。无人机电源选用 TCB 3500mah 电池。

机载相机采用 SJ7000 运动相机，分辨率达 1200 万像素，可以实现 1080P30Hz 或 720P60Hz 拍摄，并且支持夜间拍摄功能，性能能够满足系统要求。

2.2 地面站组成

图传模块包括发射机和接收机。接收机选用 RC832，工作频率为 5.8 GHz，拥有 38 个发射频点，支持 NTSC/PAL 制式视频格式。发射机选用 TS832，发射频率 5.8 GHz，发射功率 600 mW，拥有 40 个发射频点，视频带宽达 8 Mbps。图传模块在空旷场合传输距离可达 1~2 KM。

数传模块选用 3DR 电台，该电台是 APM 飞控与地面站之间遥测连接的理想选择，能够与 APM 飞控配合实现自适应流量控制。数传模块体积小，重量轻，传输范围广，使用小全向天线传输距离即可达数公里，采用开源固件，成本低廉，接受灵敏度为 -121 dBm，发射功率为 20 dBm，使用透明串行链路传输，空中最大数据传输速率达 250 Kbps。而且该数传模块支持 MAVLink 协议帧和状态报告、跳频展帧、自适应时分多路复用等功能，并且内建错误校正代码，可以校正高达 25% 的数据位错误。MAVLink 协议一种主要应用在微型飞行器 (micro aerial vehicle) 的通讯上的协议，这种协议是基于串口的高层开源通讯协。

2.3 LabVIEW 软件编制

NI Vision 提供了丰富的图像处理函数，可以方便快捷的搭建起适用于自己领域的图像处理算法^[4]。NI Vision 软件包中的 NI Vision Assistant 可以将图像处理算法生成 LabVIEW 调用的 VI。

无人机自主降落过程中采集到的对地观测图像含有目标标识，但标识不可避免的会受到外界环境的干扰，这就对机器视

觉识别目标造成很大的影响。事实上，大多数情况下机器视觉无法直接识别处于自然环境中的目标。这就需要通过图像处理的方式使原始图像中的目标凸显出来，而将其他干扰因素消隐下去。

地面站收到机载相机采集到的原始图像之后，首先将 RGB 彩色图像转换为 8 位的灰度图。由于设置的目标是黑色的十字，黑色的 RGB 分量为 (0, 0, 0)，可以提取任意分量从而将原始图像转换为灰度图。本文使用 NI Vision Assistant 的色彩平面提取函数 (Color Plane Extraction) 提取出 R 分量，输出的图像为灰度图。灰度图转换完成后对图像进行滤波，NI Vision Assistant 提供了丰富的滤波函数，包括低通滤波、中值滤波、拉普拉斯滤波、Sobel 滤波等，为了提高目标标识的清晰度，这里选用了高亮细节滤波 (Highlight Details)，滤波器内核大小为 7 * 7，经过滤波处理后将目标凸显出来从而更容易查找、测量、计算目标特征。然后对图像进行二值化处理，也就是将图像变换为只有黑白两色，这里使用图像阈值函数 (Threshold Image)，阈值类型使用为手动阈值，将阈值设定为 70，也就是灰度值低于等于 70 的像素将被设置为黑色，灰度值高于 70 的像素将被设置为白色。经过二值化处理后，进一步清除了图像中的干扰因素，使目标标识更加明显。然而，二值化之后的图像往往会出现边缘不平整的情况，影响后续识别精度，需要采用滤波算法。选用快速傅立叶变换滤波器 (FFT Filter) 中的中值平滑变换 (Smoothing Median) 使目标边缘更加平滑。最后使用几何匹配函数 (Geometric Matching) 来查找图像中的目标，在进行匹配时要导入预先拍摄好的目标标识，也就是之前设置的十字标识，将该标识作为模板进行查找^[5]。几何匹配是通过匹配图形几何图像的边缘曲线实现的，能够识别旋转、缩放的目标。曲线识别算法使用同一区域算法 (Uniform Regions)，这种算法假设图像或图像背景中的目标对象由统一的像素值组成，可以更准确地计算对象的外部曲线^[6]。根据十字目标的特征将边缘阈值 (Edge Threshold) 设置为 200。完成以上步骤的配置后可以将图像处理算法通过 NI Vision Assistant 菜单栏中的 Tools > Create LabVIEW VI 功能导出为 VI。

在 LabVIEW 中调用生成好的 VI，并编制相应的控制程序，形成完整的地面站软件。软件界面如图 6 所示。

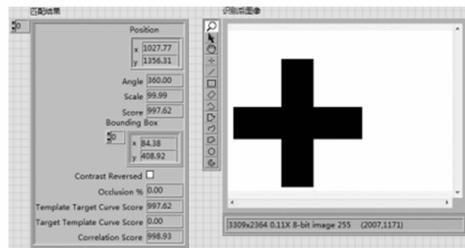


图 6 地面站软件界面

地面站软件在完成图像处理和识别之后，解析出目标在整幅图像中的位置，并计算出目标中心偏离图像中心的程度。由于运动相机是固定在无人机腹部垂直向下拍摄的，因此目标中心与图像中心的偏离值等同于无人机与目标中心的偏离值。地面软件根据该偏离值的大小和方向发送控制指令到无人机，控 (下转第 293 页)

传至 VITA 平台的统一试验数据管理系统。



图 8 基于 VITA 的系统级联合虚拟试验

实践表明 VITA 支持对产品总体、控制、力学环境等关键技术性能验证,有效解决了产品难以开展大系统联合试验的难题。

4 总结

虚拟试验支撑框架 VITA 突破了以运行中间件为核心的多项关键技术,作为虚拟试验领域的共性技术和关键产品,主要功能及技术指标已达到国内领先水平,与同类产品相比具有辅助工具丰富、使用便捷、底层代码自主可控等突出特点。后续将大力开展系统应用测试,完善跨平台功能、提升实时性指标,并逐步开展产品化应用推广相关工作,扩大应用领域,推动军工行业虚拟试验验证水平的提高。

制其向目标中心移动,从而形成一个偏差值逐渐收敛的闭环控制,最终实现无人机精确稳定的自主降落。

3 试验结果与分析

为考察无人机在机器视觉辅助下自主着降的精度,本文对系统进行了试验。首先制作带有十字标识的目标板,置于空旷场地中。遥控搭载运动相机的无人机飞行之目标附近,启动自主着降程序。无人机将采集到的画面实时回传至地面站,地面站程序根据十字标识偏离图像中心的位置对无人机的姿态进行调节,使其向目标中心移动,直至无人机平稳降落至地面。试验过程如图 7 所示。

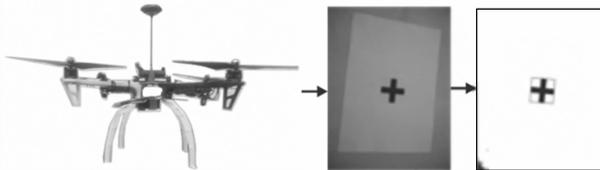


图 7 试验过程示意图

系统安装完成后进行五组试验,考察无人机降落的精度,即无人机降落后其中心与目标中心的偏差。将试验结果进行统计,如表 1 所示。

根据试验结果分析可以得出无人机自主着降系统的平均降落精度在 5 cm 以内。

4 结语

针对四旋翼无人机自主降落的需求设计了基于 LabVIEW

参考文献:

[1] 赵 雯, 彭 健. 复杂军工产品虚拟试验验证技术研究与发展 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (6): 1257-1260.

[2] 廖 建, 赵 雯, 彭 健, 等. 复杂产品虚拟试验支撑框架 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (4): 1249-1252

[3] 贾长伟, 廖 建, 彭 健, 等. 基于心跳监测机制的中间件监控方法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (11): 3654-3655.

[4] 贾长伟, 莫怡华, 廖 建, 等. 面向虚拟试验的可视化对象建模工具设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (12): 4019-4021.

[5] 蔡斐华, 彭 健, 廖 建, 等. VITA 定义语言及其编译器的设计与实现 [J]. 计算机仿真, 2014, 7 (31): 283-286.

[6] 蔡斐华, 廖 建, 彭 健, 等. VITA/HLA 异构网关自动生成技术研究 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (12): 4101-4103.

[7] 蔡斐华, 褚厚斌, 张丽晔, 等. 通用实物设备接入技术研究 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 23 (5): 1810-1812.

[8] 郑小鹏, 张丽晔, 彭 健, 等. 航天试验数据管理系统的设计与应用 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (12): 4154-4156.

[9] 张丽晔, 彭 健, 郑小鹏, 等. 试验数据统一访问技术研究 [J]. 计算机仿真, 2014, 9 (31): 319-322.

[10] 李 鑫, 郭 晶, 贾长伟, 等. 多谱段合成环境数据生成系统 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (11): 3783-3786.

[11] 郭 晶, 李 鑫, 彭 健, 等. 基于 SEDRIS 的虚拟试验合成环境建模技术研究 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (10): 3455-3457.

表 1 试验结果统计

组别	降落精度/cm
第一组	4.3
第二组	4.7
第三组	3.2
第四组	4.4
第五组	2.8

和机器视觉的自主着降系统,设计了便于识别的目的地标识,配合图传和数传模块实现了无人机的自主着降,且降落精度较高。对于四旋翼无人机的自主飞行具有一定的参考价值,能够应用在物流配送、高压线路巡查、测量测绘、地质勘探、交通监控等众多领域。

参考文献:

[1] 刘 刚. 基于视觉导航小型无人机自主着陆控制策略研究与应用 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2014.

[2] 李永健. 基于机器视觉的四旋翼无人机定点着陆系统设计与实现 [D]. 广州: 华南理工大学, 2015.

[3] 宋慧慧. 基于单目视觉的四旋翼无人机位姿估计与控制 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.

[4] 方 胜, 李有森, 李魏魏, 等. 基于 NI Vision Assistant 的机器视觉在钢球表面检测中的应用 [J]. 仪表技术, 2008, (5): 27-29.

[5] 孟庆宽, 何 洁, 仇瑞承, 等. 基于机器视觉的自然环境下作物行识别与导航线提取 [J]. 光学学报, 2014 (7): 180-186.

[6] 董 玲, 杨洗陈, 雷剑波. 基于机器视觉的激光再制造机器人离线自动编程研究 [J]. 中国激光, 2013 (10): 114-121.