

基于 MSP432 与 OptiTrack 的无人机室内导航系统设计

王 演,王 鑫,曹龙辉,康健宾

(天津理工大学 工程训练中心,天津 300384)

摘要:该文针对室内无人机导航飞行控制技术进行了研究,系统以实现无人机室内自主编队巡逻、识别及定位悬停为研究目标,提出了一种实现室内编队飞行及定位悬停的方法。首先,无人机采用基于MSP432的TIVA飞控,结合OptiTrack三维定位技术向无人机传输的实时坐标,实现无人机在室内的精准定位与辅助编队飞行;其次,由无人机上超声波测距模块来确定障碍物的位置,引导多个无人机自行协调最优队形并及时避障;最后,通过无线串口模块将障碍物位置发送给上位机。通过多次试验数据表明,所提出的方法具有较好的稳定性和实时性。

关键词:无人机;MSP432;室内导航;OptiTrack

中图分类号:TP242.6

文献标识码:A

文章编号:1001-9944(2022)04-0006-04

Design of UAV Indoor Navigation System Based on MSP432 and OptiTrack

WANG Yan, WANG Xin, CAO Long-hui, KANG Jian-bin

(Engineering Training Center, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China)

Abstract: This paper studies the navigation and flight control technology of indoor UAV. Aiming at realizing the indoor autonomous formation patrol, identification and hovering location of UAV, the system puts forward a method to realize indoor formation flight. Firstly, the UAV adopts TIVA flight control based on MSP432 and real-time coordinates transmitted to the UAV combined with OptiTrack three-dimensional positioning technology to realize the indoor accurate positioning and auxiliary formation flight of UAV. Secondly, the ultrasonic distance measuring module on the UAV determines the location of the obstacle, and guides multiple UAVs to coordinate the optimal formation and avoid obstacles in time. Finally, the obstacle location is sent to the host computer through the wireless serial port module. The experimental data show that the proposed method has good stability and real-time performance.

Key words: UAV; MSP432; chamber flight; OptiTrack

近年来,无人机技术在国内外的应用领域越来越广泛,得到了科研和工程领域的重点关注^[1]。无人机的广泛应用可以节省大量的劳动力,而且对于一些危险和不便的地方,应用无人机可以轻松实现。无人机编队飞行已在多个领域发挥重要作用。多架无人机编队飞行,协同侦察、作战的模式,可以在一

定程度上提高单机单次作战任务的成功概率^[2]。无人机编队飞行是各国军队和科研工作者一直以来就追求的技术,其关键技术问题,主要包括队形设计、气动耦合。

航迹规划、信息互换以及编队飞行控制策略等问题,是各个无人机研发强国的研究热点^[3-4],但是

收稿日期:2021-10-14;修订日期:2021-12-16

基金项目:天津市级大学生创新创业训练计划项目(201910060041);2020年天津理工大学校级重点教学基金项目(ZD20-15)

作者简介:王演(2000—),男,在读本科生,研究方向为无人机系统;王鑫(1986—),男,硕士,实验师,研究方向为自动控制、嵌入式系统、故障诊断。

近年来,无论是国内外,对于无人机在室内的编队飞行技术始终无法突破,究其原因可能是因为室内环境具有更多的时变性和不可预测性,而用于定位的如GPS等则无法在室内使用或是定位精度不够^[5-6]。

本文使用 OptiTrack 运动捕捉系统建立坐标,并加以对地光流以辅佐完成无人机在室内的寻迹避障功能^[7],使用“从-主”的编队飞行模式来扩大搜查范围以及提高效率,并改进超声波测距模块的自动目标识别方法,来对室内的复杂地形情况和位置进行识别与确认,再通过主机将所偏移的误差发送到上位机进行进一步的校准,进而实现无人机在室内的精准导航飞行。

1 无人机硬件设计

无人机由 MSP432R401R Launchpad 作为飞行控制模块,并搭载电机驱动模块,HC-SR04 超声波测距模块,光流模块等。飞行控制系统硬件组成如图1所示。

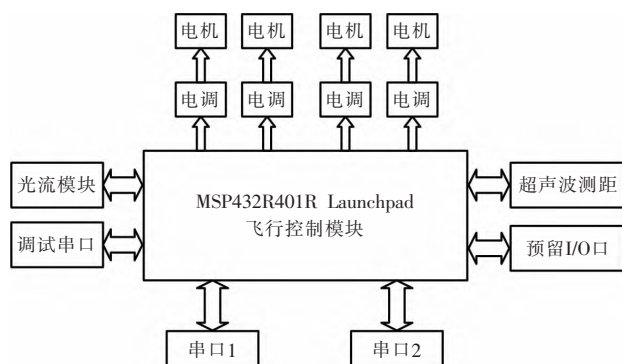


图1 飞行控制系统硬件框图

Fig.1 Hardware block diagram of flight control system

1.1 飞行控制模块

MSP432 Launchpad 包含一颗低功耗、高性能 MSP432P401R MCU。32 位 ARM Cortex M4F 内核,主 48 MHz 带浮点单元和 DSP 加速功能,256 KB Flash、64 KB RAM,功耗低,95 μ A/MHz 工作功耗和 850 nA RTC 待机操作功耗,24 通道 14 位差分 1MSPS SAR ADC,两个比较器、高级加密标准(AES256)加速器、CRC、DMA、32 位硬件乘法器、4 个 16 位、2 个 32 位定时计数器、通信接口丰富,多达 4 个 I²C、8 个 SPI、4 个 UART^[8]。

1.2 驱动模块

由于无刷电机具有噪声小、转速稳定、动力足等优点,在飞行时避免了由于噪声产生对编队飞行

的影响故选择无刷电机和电调模块驱动四旋翼。

1.3 超声波测距模块

采用 HC-SR04,鉴于该模块性能稳定,测度距离精确,模块高精度,盲区小,探测距离最高可达 450 cm,精度可达 0.2 cm,满足无人机编队飞行的测距要求,同时具有 GPIO、串口等通信方式,故可以与无人机实现实时通讯。

2 OptiTrack 运动捕捉系统

2.1 搭建区域选择

搭建区域选择在阳光较少,无反光的空间内,并保证所搭建的区域内的障碍物较少。其场地搭建如图2所示。

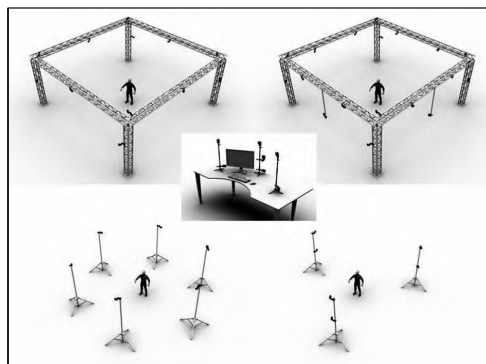


图2 OptiTrack 系统场地搭建

Fig.2 OptiTrack system site construction

2.2 固定相机位置

将相机等距环绕分布在捕获区域,且必须保证至少有 2 台相机捕获到 Marker 点。对于低高度的目标,相机放置于较低高度处,聚焦在低处位置。相机固定位置如图3所示。



图3 OptiTrack 相机固定

Fig.3 OptiTrack camera fixed

2.3 相机角度与对焦

首先要确保相机位置摆放正确,之后调节相机

的角度、对焦等内容(按下相机后按钮进行)。选择相机为灰度模式,提高曝光时间(EXP),LED 亮度(LED)。在此基础上,将 Marker 点放在捕捉区域内,调整为相机正对角位置并查看图像,确保捕获空间在相机覆盖区域中,放大 Marker 点的图像,使其充满画面,调整相机焦距,重复以上步骤直至调整完所有相机。

2.4 标定

Motive 中的 Rigid Body 是由安装在被测物体上的 Marker 点创建的,在 Rigid Body 中可以获得位置(X 、 Y 、 Z)和姿态(Pitch、Yaw、Roll),Motive 中 Rigid Body 通常由 3 个以上的 Marker 点组成,且 Marker 点相对位置关系不会发生改变,即安装的 Marker 点之间的空间位置关系保持不变,且 Marker 点之间的距离不会超出对应 Rigid Body 下设置的偏移公差范围,否则可能无法重建出 Rigid Body。

放置 Marker 点需保证点不在同一平面,形成一个立体形状。对于多个刚体,要保证每个刚体唯一。创造唯一刚体的关键思想是避免 Motive 内多个刚体的几何一致性。

在无人机上安装 Marker 点,进行检测观察坐标数据,如图 4 所示。

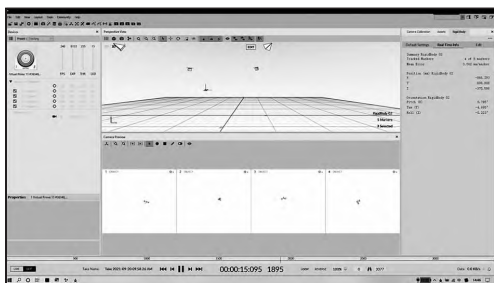


图 4 无人机在 OptiTrack 运动捕捉系统中的坐标数据

Fig.4 Coordinate data of UAV in OptiTrack motion capture system

2.5 坐标数据数据传输

OptiTrack 运动捕捉系统数据传输过程为摄像头采集到无人机上 Marker 点位置,在 Motive 软件主界面中显示,无人机的实时位置便可直观地通过 3D 图像显示出来,并在已经进行标定的固定坐标系中读出实时位置数据,精确度可达 0.1 mm;使用 MATLAB 软件编写相关程序通过串口将数据打包发送给无人机,并提供给无人机目标位置的坐标数据,无人机便可从当前位置飞行至目标位置。数据传输过程如图 5 所示。

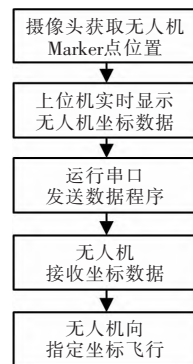


图 5 数据传输流程

Fig.5 Flow chart of data transmission

3 无人机编队飞行设计

无人机编队飞行模式采用从-主的飞行模式,在该模式中,首先设定无人机编队系统中的一架作为领航无人机,其他个体为跟随无人机,在编队飞行时,跟随无人机实时跟随领航无人机进行飞行。在此种控制算法中,由于有领航无人机和跟随无人机的这种相对运动模式,可以将无人机编队系统的队形控制问题转换成跟随无人机跟随领航者的位置运动情况。因此可以将复杂的多个个体之间的问题转换成单个个体的运动情况研究,简化了控制结构,且具有较好的控制效果。

在无人机编队飞行过程中,无人机由 OptiTrack 运动捕捉系统所提供的坐标数据来判断自己的位置,并根据所处位置来调节自身飞行的高度、俯仰角度等,同时从机由主机的飞行情况作出相应更改。无人机在飞行的过程中对目标路径障碍进行实时检测,若发现障碍,则记录下此时的坐标数据,并通过串口向上位机发送所记录的数据,完成自主避障导航功能。编队飞行定位悬停原理如图 6 所示。

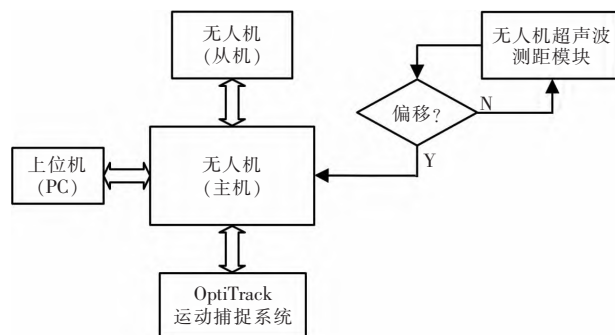


图 6 编队飞行定位悬停原理图

Fig.6 Schematic diagram of formation flying positioning hovering

4 无人机定位精度测量

应用 OptiTrack 运动捕捉系统,在四旋翼无人机上布置 Marker 点,通过对 Marker 点的数据来近似代替无人机的飞行数据,得到无人机定高(z 轴)与悬停(x 、 y 轴)的相应数据,数据分析如下所述。

4.1 对于无人机定高(z 轴)的数据检测

通过对 OptiTrack 运动捕捉系统中所传输的 z 轴数据汇总,得出无人机高度数据变化如图 7 所示。在设定高度为 60 刻度时,无人机的高度在 400 ms~800 ms 时为衰减振荡的过程,最终趋于平稳,并最终稳定在 60 刻度值处,可见无人机最终可以实现平稳的定高。

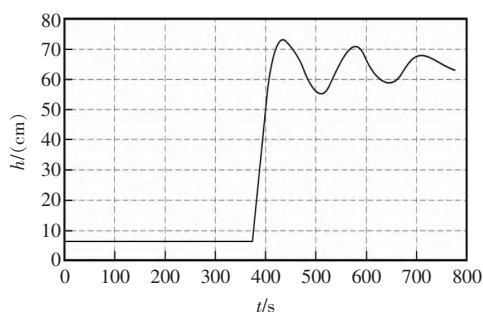


图 7 无人机定高(z 轴)的数据检测

Fig.7 Data detection of UAV fixed height(z -axis)

4.2 对于无人机悬停(x 与 y 轴)的数据检测

通过由 OptiTrack 运动捕捉系统中所传输的 x 、 y 轴坐标数据,得出无人机悬停数据变化如图 8 所示。无人机由一开始的(-530,120)开始运动,最终较为平稳地悬停在(-650,780)坐标附近,可见最终无人机能够实现较为稳定的悬停功能。

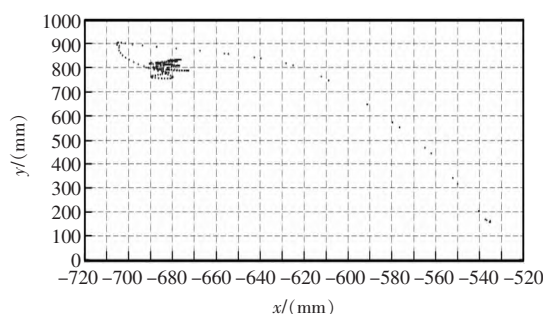


图 8 无人机悬停(x 与 y 轴)的数据检测

Fig.8 Data detection of UAV hovering(x and y axes)

系统设计在编队飞行方面采用了“从-主”的编队飞行模式,相较于“链式领航者-跟随者”模式,由于编队无人机数目较少,化简了控制结构,有更好的稳定性。并且在定高以及悬停方面结合了具有更高精度的 OptiTrack 运动捕捉系统,能够较好地完成无人机在室内的精准定位。因此,将无人机通过结合 OptiTrack 运动捕捉系统并应用于实际工厂中,有望实现较高精度的巡逻。

参考文献:

- [1] 齐垒,王鑫,李想,等.PID 控制及图像识别的自主循迹四旋翼设计[J].单片机与嵌入式系统应用,2018,18(9):66-68.
- [2] 张勃,肖雄,刘朝熙,等.基于 UWB 定位的室内无人机编队飞行规划[J].科学技术创新,2021(18):191-193.
- [3] 宁柏峰.基于深度学习的无人机巡检图像销钉故障检测[J].计算机测量与控制,2019,27(11):25-29.
- [4] 许承宇,徐绍凯.基于视觉延时补偿的无人机室内实时导航系统[J].动力学与控制学报,2021:1-8.
- [5] 姚光乐,王守雷.Pixhawk 飞控系统的四旋翼无人机室内飞行技术研究[J].电子世界,2021(7):86-88.
- [6] 杨帆,龙坤.基于 GPS 定位的四旋翼无人机位置跟踪控制[J].自动化与仪表,2021,36(8):92-97.
- [7] 吴琦,蔡志浩,王英勋.用于无人机室内导航的光流与地标融合方法[J].控制理论与应用,2015,32(11):1511-1517.
- [8] 李宏伟.基于 MSP432 的高精度质检秤设计[J].通信电源技术,2020,37(1):109-111.
- [9] 冯敏,罗旺,余磊,等.适用于无人机巡检图像的输电线路螺栓检测方法[J].电力科学与技术学报,2018,33(4):135-140.
- [10] 庄夏.基于并行粒子群和 RL 的无人机航路规划算法设计[J].西南师范大学学报:自然科学版,2016,41(3):31-36.
- [11] 徐博,陈立平,徐旻,等.多作业区域植保无人机航线规划算法[J].农业机械学报,2017,48(2):75-81.
- [12] 刘博文,张国全.基于性能约束的损伤无人机航路规划技术研究[J].西北工业大学学报,2017,35(S1):21-26.
- [13] 刘超.基于改进遗传算法的多无人机航路规划方法[J].火力与指挥控制,2019,44(1):18-22.
- [14] 杨丽春,顾颖彦,白宇.基于改进人工势场法的无人机在线航路规划算法[J].电子技术应用,2018,44(4):5-9+13.
- [15] 郑超,许阳明.无人机覆盖搜索地域通信网交叉式航路规划[J].电光与控制,2018,25(5):35-39.
- [16] 欧阳志宏,郭强.改进蚁群算法的无人机突防航路规划[J].现代防御技术,2018,46(1):74-78+114.
- [17] 崔蕾,张龙飞,张艳红.面向无人机航路规划的威胁建模研究[J].机床与液压,2017,45(24):149-153.
- [18] 张亚兰,赵成萍,严华.基于改进双向 A* 和向量场直方图算法的无人机航路规划[J].科学技术与工程,2019,19(4):179-184.
- [19] 王宏伦,雷玉鹏,姚鹏,等.基于流体扰动计算的无人机三维无碰撞航路规划[J].控制理论与应用,2016,33(3):295-303.