

文章编号: 2095-2163(2020)07-0101-03

中图分类号: V279+.2

文献标志码: A

融合光流-惯导信息的无人机组导航系统

段淇超, 皇甫萍萍, 王宇倩, 梅昊

(上海工程技术大学 电子电气工程学院, 上海 201620)

摘要: 四旋翼无人机携带动力装置, 利用空气动力来抵消自身的重量, 具有体积小、重量轻等优势, 广泛应用于工业和农业领域。目前四旋翼无人机大都利用全球定位系统和惯性导航系统进行组合导航, 但是在某些复杂环境中, 特别是室内环境或是人类无法抵达的狭缝地域, 如矿洞探索或是灾后救援, 卫星导航信息并不可靠, 甚至无法获取。本文设计了一种融合惯性导航与光流信息的四旋翼无人机组导航系统, 并对室内环境下四旋翼飞行器的导航控制与定位进行了实验研究。实验结果表明, 该系统在室内无 GPS 的环境下, 可以自适应地调整无人机自身速度和位置, 能够有效地进行室内导航与目标定位。

关键词: 四旋翼无人机; 目标定位; 全球定位系统; 惯性导航系统

UAV integrated navigation system based on optical flow and inertial navigation

DUAN Qichao, HUANGFU Pingping, WANG Yuqian, MEI Hao

(School of Electronic and Electrical Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

[Abstract] The four-rotor UAV equipped with power plant which uses aerodynamics to counteract its own weight has the advantages of small size and light weight. It is widely used in industry and agriculture. At present, most quadrotors use GPS and INS technology for integrated navigation. But in some complex environments, particularly indoors or in narrow areas inaccessible to humans, such as mine exploration or disaster relief, satellite navigation information is unreliable or even unavailable. In this paper, a four-rotor UAV integrated navigation system which integrates inertial navigation and optical flow information is designed. Experimental results show that it can adaptively adjust the speed and position of the UAV, and can effectively conduct indoor navigation and positioning.

[Key words] Quad-rotor UAV; Target positioning; Global positioning system; Inertial navigation system

0 引言

惯性导航(INS)和全球定位导航(GPS)是现代航空中广泛应用的两种导航控制技术。传统无人机运用组合导航控制技术, 将INS与GPS两套独立系统相结合, 有效的提高了导航精度^[1]。惯性测量单元(IMU)能够根据测量得到的速度变化量和角度变化量而持续输出位置和速度, 但长时间工作会导致导航精度下降。GPS导航精度高, 但在遮挡环境或者卫星数据质量不好的条件下信号弱点差, 输出频率低, 频带窄, 特别是在室内环境下, 很难用于无人机飞行器的精准定位^[2], 且当无人机进行较高机体运动时, 极易丢失信号, 进而丧失导航能力。

针对上述问题, 本文基于四旋翼无人机平台设计了一种无GPS室内环境下组合导航系统。如果系统选取INS作为主要导航系统, 在进行无人机导航时精度会随着时间而发散, 产生积分积累误差, 此时引入光流传感器进行信息融合, 将光流所获取的速度数据, 对惯性导航所获取的具有时间累计误差的导航数据进行修正, 再根据滤波模型将二者融合,

对惯性导航系统进行误差估计, 并将误差估计值进行内部修正, 即传统的惯性导航模型与光流导航模型结合, 将经典的PID控制用于本文的四旋翼的飞行控制中^[3], 对姿态和位置实时调整, 实现飞机稳定自主飞行。

1 基于INS与光流的组合导航系统

1.1 惯性导航系统与光流传感器

惯性导航系统(INS)基本工作原理是将惯性传感器(陀螺仪和加速度计)安装在运载体上, 精确测量载体的旋转运动角速度和直线运动加速度信息, 送至飞行控系统, 利用数学积分技术计算, 可以获得速度、偏航角和位置等信息。

光流传感器则是利用计算机视觉, 模拟人眼以一定速率连续采集图像并分析图像数字矩阵。在极短时间内相邻两幅图像总会产生相同特征, 通过对比对这些特征点的位置变化信息, 便可判断出物体表面特征的平均运动, 并转移为二维坐标的速度偏移量。

1.2 光流-惯导信息的融合

光流-惯导信息的融合是利用光流与惯性导航

基金项目: 上海市大学生创新训练项目(cs1902010)。

作者简介: 段淇超(1999-), 男, 本科生, 主要研究方向: 单片机及其应用。

收稿日期: 2020-03-22

中的速度建立联系,二者功能互不干扰。如图1所示,惯性传感器可以测量旋转速度和加速度,这二者都是矢量变量。陀螺仪负责测量载体角速度,对时间积分,便可得到角度信息,加速度计测量的是重力加速度,通过姿态解算算法输出飞机的姿态角信息。光流传感器是通过高度值测出地面速度数据,数据为像素速度。

加速度计测量的是机体坐标系下的值,以无人机 Pitch、Roll 为轴的坐标系,但光流测量的是无人机相对于大地的航向坐标系,在信息融合之前还需要进行坐标转换。光流传感器通过惯性传感器测得的加速度、角速度,以及激光传感器测得的高度信息进行综合互补融合计算,得出解耦后的光流数据,输出的地面速度值可用于 PID 算法控制。

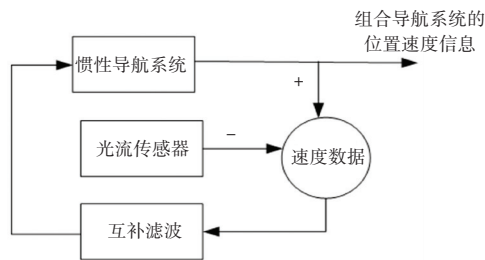


图1 光流-惯导信息融合

Fig. 1 Optical flow - inertial navigation information fusion

1.3 PID 控制算法

PID 算法是四旋翼无人飞行器的控制模块中常用的一种算法,主要用于飞行器的姿态调整,从而实现飞机的稳定飞行。

采用 PID 算法控制四旋翼无人机的飞行,主要有比例控制(P)、积分控制(I)和微分控制(D)3种。在 PID 算法中采用的位置和速度 PID 的双闭环 PID 算法。

将光流根据激光传感器或气压计测得的高度数据转化为速度数据送入串级 PID 环控制,根据 PID 公式(1):

$$U(t) = k_p * err(t) + \frac{1}{T_i} \int err(t) dt + \frac{T_d d err(t)}{dt} \quad (1)$$

其中, k_p 为比例系数; err 为误差; T_i 为积分系数; T_d 为微分系数; $U(t)$ 为 PID 控制器输出信号。

外环位置环的计算公式(2)如下:

$$U_1 = P_1(v_{x0} - F) \quad (2)$$

其中, P_1 为比例系数,期望为 X、Y 轴速度设定值 v_{x0} (以 X 轴为例);反馈 F 为无人机偏离初始点的位移,误差 $err = \text{期望} - \text{反馈}$;外环 KI、KD 系数都为 0,输出为 U_1 。

内环速度环表达式(3):

$$U_2 = P_2(U_1 - V_{x1}) + I_2 \int err(t_-) dt \quad (3)$$

其中, P_2 为内环比例系数,期望为外环输出 U_1 ,反馈 F 为光流数据输出的 X、Y 轴的速度 V_{x1} (以 x 轴为例);误差 $err = \text{期望} - \text{反馈}$; I_2 为内环积分系数, $\int err(t_-) dt$ 为前次误差积分;内环 KD 系数为零;输出为 U_2 。

利用光流数据计算位置误差,对基准位置进行更新。对当前速度和位置进行估计,将过去的几个位置数据放到队列里以备后用。最终将计算出的输出值转化为姿态角度控制 PID 即可。

在对四旋翼飞行的物理模型进行分析后,可以知道造成系统不稳定的物理表现之一就是角速度。因此,若能够直接对系统的角速度进行较好的闭环控制,将会改善系统的动态特性及其稳定性。通常也把角速度内环称为增稳环节,而角度外环的作用则体现在对四旋翼飞行器的姿态角的精确控制。

2 实验结果与分析

实验采用自主搭建的四旋翼无人机平台对本文提出的导航系统的有效性进行评估,检验光流和惯性测量单元数据融合算法的准确性。为了实验结果的可视性,使用 MATLAB 软件平台环境组合导航仿真。

本文在室内环境光线良好的条件下进行无人机的定点和定高飞行、悬停实验。当软件模块编译、调试成功后,根据预先设定好的遥控通道,控制无人机起飞并飞行至指定高度。打开光流-惯导通道开关,设定目标并进入自主飞行,飞行高度 0.8 m,飞行时间 3 min,进一步测试无人机的高度和位置的稳定性。图 2 是无人机定高飞行的截图,随着时间的推移,通过光流惯导的融合算法的位置仍然高度精准,改善了现有依靠惯性测量单元或者 GPS 定位不能稳定悬停、飞行的不足。



图2 无人机定高飞行

Fig. 2 The UAV flies at a constant altitude

图3是本文的导航与定位结果。由图2和图3可以看出,通过光流-惯导信息的融合,在无 GPS 信息情况下,本文设计的无人机系统能够有效地进行室内导航与定位。

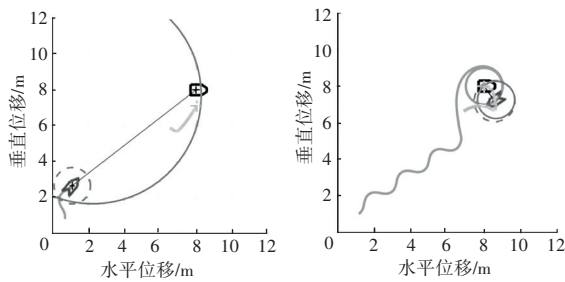


图 3 融合光流-惯导信息进行导航与定位

Fig. 3 Fusion of optical flow-inertial navigation information for navigation and positioning

3 结束语

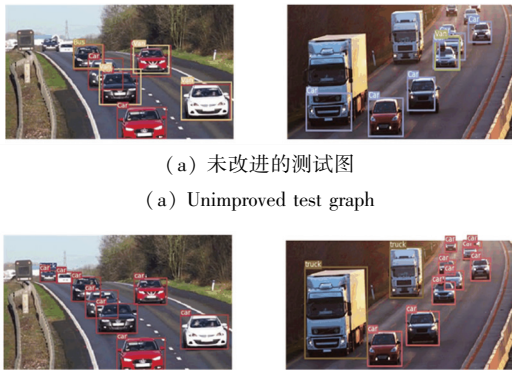
本文设计了一种融合光流-惯导信息的无人机组合导航系统。实验结果表明,该系统在室内无

GPS 的环境下,可以自适应地调整无人机自身速度和位置,且能够有效地进行室内导航与定位。在相对复杂地面情形下,光流传感器表现较佳,而对于地面特征不明显的光滑地面或者条纹地面,光流也具有一定的漂移,这也是本文未来的主要研究方向。

参考文献

[1] 何清华,李乐奇,邹湘伏. 一种基于 INS/GPS 的无人机组合导航控制系统的设计[J]. 飞航导弹,2007(2):34-37,45.
 [2] SHEN S, MICHAEL N, KUMAR V. Autonomous multi-floor indoor navigation with a computationally constrained MAV [C] // IEEE International Conference on Robotics and Automation, IEEE,2011:20-25.
 [3] 许震,毛丽民,刘同连,等. 四轴飞行器控制系统设计[J]. 常熟理工学院学报,2013,27(2):109-113.

(上转第 100 页)



(a) 未改进的测试图
 (a) Unimproved test graph
 (b) 已改进的测试图
 (b) Improved test graph

图 7 测试结果图

Fig. 7 Test result graph

4 结束语

为了提高被物体遮挡的车辆以及车辆重叠的检测精度,本文提出了一种基于改进的 Faster RCNN 的检测模型。首先,在特征提取网络中嵌入 CBAM 结构,使得特征提取网络可以提取更多的有效特征;其次,优化非极大值抑制算法,减少检测物体之间重叠部分较高的情况下会直接将原有的预测框删除的问题。实验结果表明,本文提出的改进的 Faster RCNN 模型可以有效的提高检测精度,但检测速度还有待提高,下一步将继续优化模型。

参考文献

[1] 刘杰. 基于 SIFT 特征的 SAR 图像匹配[J]. 舰船科学技术, 2016(6):166-168.

[2] 王俭,来疆亮,鲁华祥,等. 基于 SURF 算法的遥控器缺陷自动检测[J]. 计算机仿真, 2015, 32(011):420-424.
 [3] 李子彦,刘伟铭. 一种基于局部 HOG 特征的运动车辆检测方法[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 2017(35):13.
 [4] GIRSHICK R, DONAHUE J, DARRELL T, et al. Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation [C]//Proc of IEEE Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2014: 580-587.
 [5] HE K M, ZHANG X, REN S, et al. Spatial pyramid pooling in deep convolutional networks for visual recognition [C]//Proc of European Conference on Computer Vision, 2014: 246-361.
 [6] GIRSHICK R. Fast R-CNN [J]. [C] //2015 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), December 7-13, 2015, Santiago, Chile. New York: IEEE, 2015.
 [7] REN S Q, HE K M, GIRSHICK R, et al. Faster R-CNN: towards real-time object detection with region proposal networks [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2017, 39(6):1137-1149.
 [8] LIU W, ANGUELOV D, ERHAN D, et al. SSD: single shot MultiBox detector [M]. //Leibe B, Matas J, Sebe N, et al. Computer vision-ECCV 2016. Lecture notes in computer science. Cham: Springer. 2016.
 [9] REDMON J, FARHADI A. Yolov3: An incremental improvement [J]. arXiv e-prints, 2018:2308-7504.
 [10] 张毅,龚致远,韦文闻. 基于改进 Faster R-CNN 模型的交通标志检测[J]. 激光与光电子学进展, 2020,57(18):181015.
 [11] 汤伟,高涵. 改进卷积神经网络算法在水面漂浮垃圾检测中的应用[J]. 中国科技论文, 2019, 11(14):1210-1216.
 [12] WOO S, PARK J, LEE J Y, et al. Cbam: Convolutional block attention module[C]//Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV). 2018: 3-19.