

doi: 10.7690/bgzdh.2013.07.023

视觉导航技术在小型无人机撞线回收中的应用

陶琨¹, 王寅²

(1. 南京航空航天大学自动化学院, 南京 210016; 2. 南京航空航天大学航天学院, 南京 210016)

摘要: 为了提高小型无人机回收的经济性和有效性, 提出一种利用计算机视觉技术实现小型无人机撞线回收的导航系统。分析了撞线回收技术, 对现有的目标实时跟踪法进行改进, 通过采用基于模块匹配的改进算法实现对无人机目标的在线跟踪, 使其能够对尺寸和外形都有较大变化的目标进行有效的在线跟踪, 并通过仿真实现。实验结果表明: 该跟踪算法跟踪速率可以达到 15~25 Hz, 能够实时解算其空间位置, 准确地跟踪无人机目标, 基本满足导航系统的实时性要求。

关键词: 无人机; 撞线回收; 视觉导航; 模块匹配

中图分类号: TJ85 **文献标志码:** A

Application of Visual Navigation Technology in Cable-Hock Recovery of Small-Size Unmanned Aerial Vehicle

Tao Kun¹, Wang Yin²(1. College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China;
2. College of Astronautics, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: A navigation system based computer vision technology is adopted to meet efficiency and low cost requirement of small size UAV cable-hock recovery. It analyses the cable-hock recovery technology, and improves the existing real-time target tracking method by the use of improved algorithm based on template matching, so that it can tracking target online with a larger change on the size and shape in the simulation effectively. Experimental results show that: the tracking rate of the algorithm can reach 15 ~ 25Hz as well as get the real-time space position calculation, and track the UAV target accurately, which can basically meet the real-time requirements of navigation system.

Key words: UAV; cable hock recovery; visual navigation; template matching

0 引言

回收是无人机飞行任务中最困难的部分, 除了传统的跑道降落回收方法外, 还有伞降回收^[1]、深失速回收、撞网回收等。目前无人机的定点回收主要采用撞网方式, 但回收后需要花费较多时间将其从网中取出, 且容易导致无人机损坏; 另外, 该回收方式的地面设备繁多复杂, 移动灵活性差, 且要求无人机必须以固定的方向撞向回收网^[2], 进而限制了无人机回收的灵活性。相对而言, 撞线回收方式的地面设备非常简洁, 能够增强无人机回收的适用性。对于小型无人机来说, 撞线回收方法着陆区小、对无人机损伤较小, 综合成本较低。从工程应用角度考虑, 只要能够引导无人机以相对较低的速度飞入相对较大的回收窗口, 即可实现回收。

美国波音公司在 20 世纪 90 年代为美国空军航空部无人机分部研制了一种无人机拦阻索回收系统^[3], 该系统由减震设施和拦阻设备组成, 技术成熟, 已在回收舰载无人机中广泛使用。此方案的减震系统为空气囊, 安装在无人机上, 地面安装拦阻

索, 回收时由空气囊减震, 机载拦阻钩钩住拦阻索后, 拦停无人机, 但空气囊及其充气设备增加了无人机机载重量。笔者提出一种利用计算机视觉技术对小型无人机进行撞线回收的导航系统, 对现有的模块跟踪算法进行改进, 使其能够对在序贯图像中外形与大小均有较大变化的目标物体实现有效的在线跟踪, 并利用双摄像机系统和两轴伺服转动装置得到无人机空间位置信息。

1 无人机撞线回收技术

无人机的撞线回收是指无人机在地面或机载设备的引导下, 逐渐降低高度、减小速度, 然后直接飞入预定的回收窗口, 通过拦阻安装在无人机上的自锁挂钩锁定在缆线上的回收方式。无人机的撞线回收是一种比较理想的精确定点回收方式, 几乎可以实现零距离回收。如图 1, 撞线回收系统一般由拦截缆线装置、回收吊架装置和安装在无人机上的自锁挂钩装置等组成, 撞线回收的关键是准确引导无人机飞向预定的回收窗口, 并在挂钩撞击缆线并锁定后及时停车, 从而平稳、准确地实现回收。

收稿日期: 2013-02-22; 修回日期: 2013-03-11

作者简介: 陶琨(1986—), 男, 安徽人, 工学硕士, 助教, 从事计算机测试与控制研究。

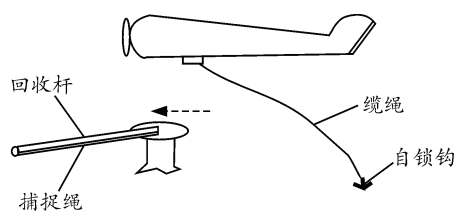


图 1 撞线回收方式示意图

基于视觉导引的无人机撞线回收方式是指通过安装在无人机或地面上的摄像机，实时跟踪无人机与降落地点的相对位置和速度，进行导引律解算，进而控制无人机的飞行速度和方向，最终引导无人机飞向目标降落点，实现准确回收。利用视觉信息导引无人机回收的主要任务是，研究从序列图像中恢复目标运动和位置信息的各种估计算法^[4]。目前，国内外研究的算法主要分为 2 类：基于特征点的方法和基于着陆点模型方法。基于特征点方法是从获取的着陆点图像中，提取着陆点(或附近)预先设置的特征点，再根据相邻图像帧(图像序列)的特征点计算出飞机的运动状态和相对着陆点的方位；基于着陆点(机场跑道)模型方法是根据预知的机场跑道的三维几何模型，利用选定的摄像机模型，生成机场跑道的预测合成透视图像，再提取图像的特征。同时用摄像机拍摄的跑道图像，并提取图像特征^[5]。目前，在视觉导引系统中，一般将摄像头安置在无人机之上，但这一方面增加了无人机的载荷，另外一方面也降低了视觉系统的可维护性^[6]，因此考虑将摄像头安装在地面回收点附近。

2 视觉导航回收系统的原理

无人机撞线回收的关键是获得目标在空间的方位信息，以引导飞机在最后入场阶段以一定的速度飞入预定的回收窗口。如图 2 所示，笔者提出的基本原理是在无人机不断接近回收杆直至最后入场阶段过程中，利用安置在地面上的双摄像机系统持续获取目标图像，再通过两轴伺服转动平台(转台)控制摄像机以追踪目标，利用转台角度信息确定目标空间方位，并将数据传送至导航计算机，从而实现视觉导航回收的目的。

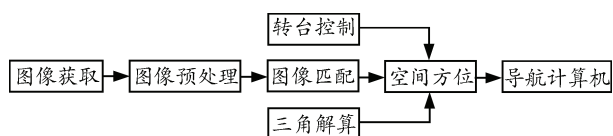


图 2 视觉导航原理框图

笔者采用双摄像机视觉导航技术^[7]。取图像跟踪系统中的某一个摄像机镜头中心为原点建立地面

坐标系，坐标系的 x 轴上安装另一个图像跟踪系统，设图像跟踪系统的两个摄像机镜头中心的距离为 s 。2 个图像跟踪系统分别独立工作，通过数据链将各自测得的转台的俯仰角和方位角传送到导航计算机。双摄像机视觉导航定位原理如图 3 所示。

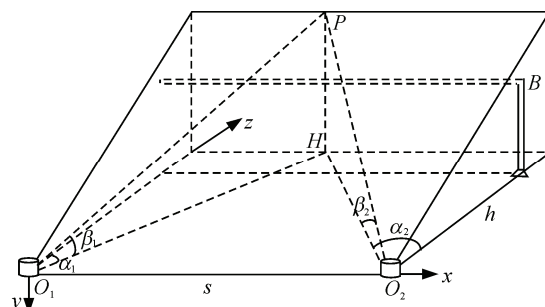


图 3 视觉导航定位原理图

图 3 中， P 为无人机空间位置， B 为回收杆空间位置示意图， O_1 、 O_2 分别为摄像机安放点， $O_1O_2=s$ ， α_1 、 α_2 ， β_1 、 β_2 可以从 2 个图像跟踪系统中的转台中直接获取， P 点在平面投影点 H 到 O_1O_2 的垂直距离为 h ，则由：

$$h \tan \alpha_1 + h \tan \alpha_2 = s \tag{1}$$

$$h = \frac{s}{\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2} \tag{2}$$

从而可以得到导航参数：

$$\begin{cases} x = h \tan \alpha_1 = \frac{s \tan \alpha_1}{\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2} \\ y = -\frac{h \tan \beta_1}{\cos \alpha_1} = -\frac{s \tan \beta_1}{\cos \alpha_1 (\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2)} \\ z = h = \frac{s}{\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2} \end{cases} \tag{3}$$

3 目标跟踪算法

利用视频序列进行目标实时跟踪的方法很多。从开始进入视场至最终回收的过程中，无人机在视场中的大小以及外形特征会随着距目标位置的距离和飞行姿态的改变而变化，采用合适的方法进行目标跟踪非常重要。祝琨^[8]采用了背景差目标检测法和颜色直方图反向投影法进行目标跟踪，在实验室下利用双目视觉系统进行实时跟踪，但由于跟踪目标的颜色直方图会随着目标在视场中的大小和外形的改变而发生显著的变化，因此该算法无法准确跟踪目标；耿明志^[9]采用了边缘检测法对无人机视频序列跟踪，但由于边缘检测算法的复杂度较高，且容易受到图像噪声的干扰，其算法无法满足实时和准确跟踪的要求。

笔者采用了基于模块匹配^[10]的改进算法实现对无人机目标的在线跟踪。

如图 4 所示, 设目标模块图像为 $T(x)$, 在图像 $I(x)$ 的背景中运动, 与模块同样大小的 $I(x)$ 中的子图为 $R(x)$, 由 $T(x)$ 到 $R(x)$ 的几何变换函数为 $W(x;p)$, 向量 $x=(x,y)$ 表示图像信号中各组成像素的坐标, $p=\{p_1, \dots, p_n\}$ 表示变换变量。由此, 上述的图像匹配问题可以通过求解式 (4) 解决, 即求解一组几何变换变量, 如位移、旋转和尺度, 使得目标模块与子图的相似度到达最大。

$$p^* = \arg \min_p \sum_{x \in T(x)} [R(W(x;p)) - T(x)]^2 \quad (4)$$

$$D = \sum_{x \in T(x)} [R(W(x;p)) - T(x)]^2$$

其中, D 为图像相似度的度量, D 的值越小, 表示子图和目标模块的相似度越高。文献[10]给出了求解上述问题的数值方法。过于复杂的几何变换可能会引入不必要的自由度, 从而导致降低匹配的精确度和实时性; 因此, 笔者所述的模块匹配算法仅考虑水平和垂直方向上的位移变换。

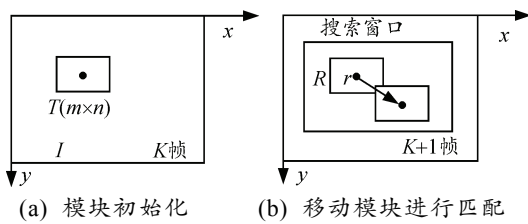


图 4 模块匹配算法原理示意图

为了处理无人机进场过程中在视场大小及外形的变化, 如图 5 所示, 笔者在上述匹配算法的基础上, 增加了一个二次匹配环节, 通过当前模块与周期性更新的关键模块 ($\tilde{T}_i(x)$) 的匹配, 得到另一组变换向量, 从而减小目标外形的突变而造成的跟踪误差。另一方面, 由于在二次匹配环节中引入的关键模块描述了目标物体在某一段周期内的外形特征, 这将提高笔者提出的改进算法对目标物体大小变化的鲁棒性。

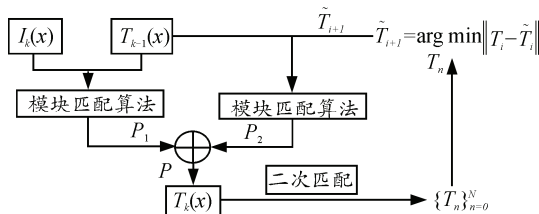


图 5 周期更新目标模块原理示意图

4 仿真实验

采用改进算法的飞机图像序列跟踪过程如图 6。

在实验室条件下, 系统的连接是将 2 个参数相同的摄像机分别安装在 2 个有俯仰和方位 2 个自由度的二轴转台上。摄像机的运动参数可以从与转台相连的工控机上得到, 跟踪过程开始给出目标初始图像。在正常跟踪后, 利用双图像信息和标定好的参数解算出目标三维信息。笔者提出的跟踪算法, 通过 VC++ 与 OpenCV 实现, 跟踪速率达到 15~25 Hz, 基本满足导航系统的实时性要求。

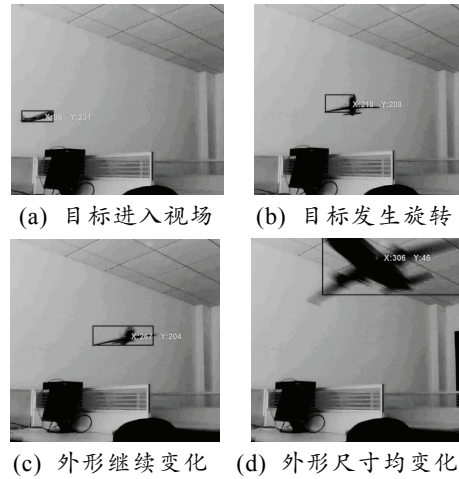


图 6 采用改进算法的飞机图像序列跟踪过程

5 结束语

仿真实验结果表明: 该算法的跟踪效果良好, 且能够在一定程度上满足导航系统的实时性要求, 在无人机撞线回收系统中具有良好的应用前景。

参考文献:

- [1] 赵云辉, 梅劲松. 伞降回收系统建模仿真与回收策略[J]. 兵工自动化, 2012, 31(2).
- [2] 裴锦华. 无人机撞网回收的技术发展[J]. 南京航空航天大学学报, 2009, 41(s): 6-11.
- [3] Sergey Khantsis. Control System Design Using Evolutionary Algorithms for Autonomous Shipboard Recovery of Unmanned Aerial Vehicles [M]. Melbourne: Royal Melbourne Institute of Technology, 2006.
- [4] 牛海涛. 双目立体视觉关键技术研究[M]. 苏州: 苏州大学, 2011.
- [5] 马颂德, 张正友. 计算机视觉[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [6] 万明. 基于视觉导航的无人机自主着陆飞行参数估计方法[D]. 南京: 南京航空航天大学自动化学院.
- [7] 隋婧, 金伟其. 双目立体视觉技术的实现及其进展[J]. 电子技术应用, 2004, 10.
- [8] 祝琨, 杨唐文, 阮秋琦, 等. 基于双目视觉的运动物体实时跟踪与测距[J]. 机器人, 2009, 31(4): 327-334.
- [9] 耿明志, 戎亚新. 图像跟踪技术在无人机自主着陆导航中的应用[J]. 兵工自动化, 2007, 26(1): 1-2.
- [10] S. Baker and I. Matthews, "Lucas-kanade 20 years on: A unifying framework"[J]. IJCV, 2004, 53(3): 221-255.