

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)01-0033-04

# 基于数字媒体技术与机器视觉的无人机自动化循迹方法

王思聪

(陕西农林职业技术大学 旅游与管理学院,陕西 咸阳 712100)

**摘要:**现有的无人机自动化循迹方法普遍缺乏对无人机视觉图像的色彩空间转换,导致循迹精度不佳。对此,提出基于数字媒体技术与机器视觉的无人机自动化循迹方法。首先结合色彩空间转换技术,将视觉图像的原始颜色空间转换为HSV空间,并针对无人机的拍摄图像进行细节层线性映射处理。然后结合霍夫变换对图像中的直线进行检测,提取出无人机路径。最后选择PID算法作为自主循迹控制算法,调整无人机期望轨迹偏差值。测试结果表明,相比于对比方法而言,采用提出的方法对无人机进行自动化循迹时,无人机期望轨迹偏移量更低,具备较为理想的循迹精度。

**关键词:**数字媒体技术;机器视觉;无人机;自动化循迹

中图分类号:TP273

文献标志码:A

文章编号:1003-7241(2026)01-0033-04

## Automatic tracking method of UAV based on digital media technology and machine vision

WANG Sicong

(School of Tourism and Management, Shaanxi A&amp;F Technology University, Xianyang 712100, Shaanxi, China)

**Abstract:** Due to the lack of color space conversion of UAV visual images in the existing UAV automatic tracking methods, the tracking accuracy is poor. In this paper, an automatic UAV tracking method based on digital media technology and machine vision is proposed. Firstly, by combining color space conversion technology, the original color space of the visual image is converted into HSV space, and a linear mapping of the detail layer is applied to the captured images of drones. Then, combined with Hough transform, the lines in the image are detected to extract the path of the drone. Finally, the PID algorithm is chosen as the autonomous tracking control algorithm to adjust the expected trajectory deviation value of the drone. The test results show that compared with the comparison method, the proposed method has lower expected trajectory offset and better tracking accuracy.

**Keywords:** digital media technology; machine vision; UAV; automatic tracking

无人机以其高效、灵活和低成本的特点,在航拍、农业、环境监测、灾害救援等诸多领域展现出了巨大的潜力和应用价值。然而,无人机的自主飞行与智能控制一直是研究的热点和难点。特别是在复杂多变的环境中,如何确保无人机能够稳定、准确地沿着预定轨迹飞行,成为了无人机技术发展的关键问题。

在无人机自动化循迹技术的研究领域,国内外学者已经取得了一系列重要成果。早期的研究主要集中在基于GPS、惯性导航系统的无人机循迹方法上,这些方法虽然可以实现基本的导航功能,但在复杂环境下往往难以保证精度和稳定性。对此,文献[1]构建了一个包含图像处理和循迹控制两个主要部分的系统框架。图像处理部分采用引导滤波算法,对无人机采集的图像进行预处理,提取出巡检目标的特征信息,实现无人机的自主循迹。然而,该方法的不足之处在于,对于复杂多变的环境适应性有待

提高。文献[2]通过利用DFT算法,对无人机采集的图像进行频谱分析,提取出电力设备的特征信息,实现无人机的循迹检测。但是DFT算法的计算复杂度较高,可能导致无人机在实际应用中,处理速度较慢,无法满足实时性的要求。文献[3]构建了一个包含多个正则化项的目标函数,然后通过优化求解该目标函数,得到最优的相关滤波器,提高无人机的循迹精度。但对于高速运动的无人机,可能会出现跟踪延迟或丢失目标的问题。文献[4]构建一个包含时空上下文信息的特征表示模型,然后通过学习该模型的参数,对无人机跟踪循迹效果进行优化。但该方法对于不同场景下的动态背景干扰、目标形变等因素,也需要进行进一步处理。

针对现有研究存在的问题和不足,本文提出了一种基于数字媒体技术与机器视觉的无人机自动化循迹方法。该方法结合了数字媒体技术的高效数据处理能力和机器

收稿日期:2024-02-28;录用日期:2024-05-07

基金项目:陕西省重点研发计划一般项目(2021GY-044)

作者简介:王思聪(1997—),女,硕士,助教,研究方向:数字媒体技术。

引用本文:王思聪. 基于数字媒体技术与机器视觉的无人机自动化循迹方法[J]. 自动化技术与应用, 2026,45(1):33-36. (WANG Sicong. Automatic tracking method of UAV based on digital media technology and machine vision[J]. Techniques of Automation and Applications, 2026,45(1):33-36.)

视觉技术的环境感知能力,通过优化算法和系统设计,实现了无人机在复杂环境下的高精度、高稳定性循迹<sup>[5]</sup>。

## 1 无人机自动化循迹方法设计

### 1.1 无人机采集图像分层滤波处理

由于无人机搭载的视觉传感器在对航拍图像进行采集时可能会受到采集环境以及设备硬件因素等多方面因素的限制而出现过多噪声,如果不对噪声进行滤除将会导致图像失真,从而影响循迹效果。因此本文首先结合数字媒体技术中的色彩空间转换技术,将视觉图像的原始颜色空间转换为 HSV 空间,并针对无人机的拍摄图像进行细节层线性映射处理,并结合 sigmoid 函数对其进行线性变换处理,从而得到分层滤波处理后的无人机视觉图像<sup>[6]</sup>。

对此,首先需要将原始视觉图像的 RGB 值进行归一化处理,假设无人机视觉图像归一化后的像素值分别为  $R', G', B'$ , 那么可以通过对图像的色调  $H$ 、饱和度  $S$  以及亮度  $V$  进行计算,从而调整 HSV 值的范围,从而实现色彩空间转换,具体计算公式为

$$\begin{cases} H = \text{across} \frac{(R' - G') + (R' - B')}{(R' - G')(G' - B')} \\ S = 1 - \frac{3}{R' + G' + B'} \\ V = \max(R', G', B') \end{cases} \quad (1)$$

通过上述公式即可完成对于无人机视觉图像的色彩空间转换,假设  $f$  代表待滤波的视觉图像,  $D$  代表引导图像,那么可以得到图像基础层所输出的滤波图像  $f_b$  为<sup>[7]</sup>

$$f_b = a_k D b_k \quad (2)$$

其中,  $a_k$  和  $b_k$  分别代表像素索引值为  $k$  时对应的线性函数参数以及非线性函数参数<sup>[8]</sup>。

图像细节层所输出的图像可以由像素数据以及基础层输出图像进行求和而得,细节层  $f_d$  具体表达式为

$$f_d = f_v \pm f_b \quad (3)$$

其中,  $f_v$  代表无人机视觉图像在 HSV 空间中  $V$  通道的像素数据。假设无人机视觉图像的归一化处理结果为  $f'$ , 那么结合伽马校正因子  $\alpha(x, y)$ , 可以对图像基础层的亮度进行增强,由此得到的增强处理后的基础层图像表达式为<sup>[9]</sup>

$$f_{b_g} = f' \times \alpha(x, y) \quad (4)$$

针对上述图像基础层的亮度增强结果,本文结合 sigmoid 函数对其进行非线性变换处理,从而完成基础层与细节层之间的线性映射,具体映射表达式为

$$f_{d_g} = \frac{\beta \max\{|f_d|\} \text{sigmoid}(f_d)}{-\beta \max\{\text{sigmoid}(f_d)\}} \quad (5)$$

其中,  $[-\beta, \beta]$  代表细节层图像的映射范围,  $f_{d_g}$  代表细节层图像的线性变换映射结果。针对上述的基础层以及细节层的映射结果进行加权融合,所输出的融合结果即为引导滤波图像处理结果,其具体表达式为

$$f_g(x, y) = \eta(x, y) (f_{b_g} \pm f_{d_g}) \quad (6)$$

其中,  $\eta(x, y)$  代表加权融合因子,  $f_g(x, y)$  代表最终输出

的分层滤波图像处理结果。

通过上述步骤即可完成对于无人机视觉图像的分层滤波处理,通过对视觉图像基础层以及细节层进行线性变换映射处理,从而实现图像去噪,为后续的无人机自动化循迹提供可靠帮助<sup>[10]</sup>。

### 1.2 基于机器视觉的无人机路径提取与拟合处理

根据在完成了图像分层滤波处理后,本文结合机器视觉算法,对无人机视觉图像中的边缘部分进行检测,并结合霍夫变换对图像中的直线进行检测,从而提取出无人机路径,并对其进行拟合处理,从而得到平滑的飞行路径数据<sup>[11]</sup>。边缘检测作为机器视觉领域中不可或缺的图像处理技术,其原理在于通过获取 sobel 算子在不同方向上的卷积核,从而得到图像边缘像素数据。对此,本文对 sobel 算子在  $x$  轴以及  $y$  轴方向上的卷积核  $G_x, G_y$  进行获取,从而实现图像边缘检测,具体获取表达式为

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

针对上述的图像边缘检测结果,本文采用霍夫变换法,对图像中的直线进行检测。假设实现斜率以及截距分别为  $\rho$  和  $\theta$ , 那么对于每个边缘点  $(x, y)$ , 可以构建出的直线方程表达式为

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (9)$$

对于图像中的每个点,本文遍历所有可能的截距  $\theta$ , 并计算对应的直线斜率,然后在累加器中对应的  $(\rho, \theta)$  位置进行投票,从而提取出图像中的直线,得到一系列的离散路径点<sup>[12]</sup>。最后,本文结合最小二乘法,将数据点到拟合曲线的垂直距离进行最小化处理,从而完成路径拟合,具体拟合表达式为

$$F_{\text{sum}} = \min \sum_{i=1}^n [y_i - (ax_i^2 + bx_i + c)]^2 \quad (10)$$

其中,  $F_{\text{sum}}$  代表无人机路径拟合结果,  $(x_i, y_i)$  代表离散路径拟合点,  $a, b, c$  代表多项式拟合系数。

通过上述步骤即可完成对于无人机路径的提取以及拟合处理。首先结合机器视觉算法中的边缘检测技术,对无人机视觉图像中的边缘进行检测,并从中提取出直线离散路径点,通过对路径点进行拟合处理,从而得到平滑的路径数据。

### 1.3 自主循迹控制

为完成路径平滑处理后,本文通过进行局部路径规划,对控制算法进行设计,从而实现无人机自动化循迹,具体实现流程如图 1 所示。

通过上述无人机自动化循迹流程可以看出,本文首先对拟合得到的路径进行参数化,以便能够用参数(如时间或距离)来描述路径上的任意点。然后在路径上选择一

个或多个目标点作为导航的短期目标。这些目标点通常是根据无人机的速度、加速度等动力学限制来设定的,以确保无人机能够平滑地跟踪路径。在无人机当前位置和目标点之间进行局部路径规划,以生成一段可以立即执行的轨迹。将控制算法计算出的控制输入转换为无人机的实际动作,如转向、加速或减速。对此,本文选择PID算法作为自主循迹控制算法,其控制输出  $u(t)$  表达式为

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (11)$$

其中,  $e(t)$  代表期望轨迹与实际轨迹之间的偏差,  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  分别代表比例、积分以及微分项的系数,  $d$  代表微分运算符,  $t$  代表时间。通过实时监测无人机的实际位置与期望轨迹的偏差,进行反馈控制。如果发现偏差过大,则需要对控制算法进行调整,或重新进行局部路径规划,以确保无人机的路径能够被准确跟踪,从而完成自动化循迹。将本节内容与上述提到的视觉图像分层滤波处理以及路径拟合等相关内容进行结合,至此,基于数字媒体技术与机器视觉的无人机自动化循迹方法设计完成。

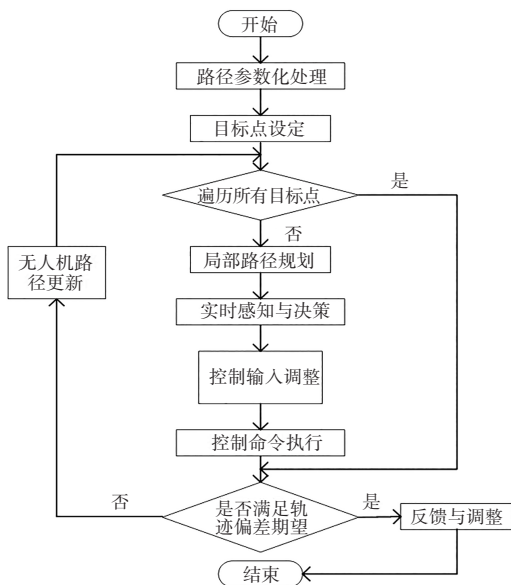


图1 无人机自动化循迹流程

Fig. 1 UAV automated tracking process

## 2 实验验证

为了证明本文提出的基于数字媒体技术与机器视觉的无人机自动化循迹方法的实际循迹效果优于常规的无人机自动化循迹方法,在理论部分的设计完成后,构建实验环节,对本文方法的实际循迹效果进行分析。

### 2.1 实验说明

为验证本文提出的基于数字媒体技术与机器视觉的无人机自动化循迹方法在实际循迹效果方面的优越性,本文以文献[1]中的基于引导滤波的巡检无人机自主循迹自动控制方法、文献[2]中的基于DFT算法的电力巡检无人机循迹检测方法为对比方法,以本文方法为实验方法,展开对比实验验证。通过构建实验平台,采用3种循迹方法对同一组无人机

飞行任务进行循迹处理,对比不同方法的实际循迹效果。

### 2.2 实验对象

本实验选取的四旋翼无人机是“Aerial A4”型号,无人机整体尺寸:500 mm × 500 mm × 200 mm,最大起飞重量为4 kg。内置飞行控制板,支持多种飞行模式和自主飞行任务,同时配备先进的陀螺仪和加速度计,实现精确的姿态控制和稳定飞行。此外,该无人机还支持GPS和指南针,提供准确的定位和导航。该无人机的最大有效荷载为1.5 kg,可搭载各种传感器、摄像头和实验设备,满足不同的实验需求,同时提供多种扩展接口和挂载架,方便安装和拆卸载荷设备。对此,本文在无人机机体上搭载了飞行控制器,用于实现不同的循迹算法,由此得到的飞行平台硬件配置如图2所示。

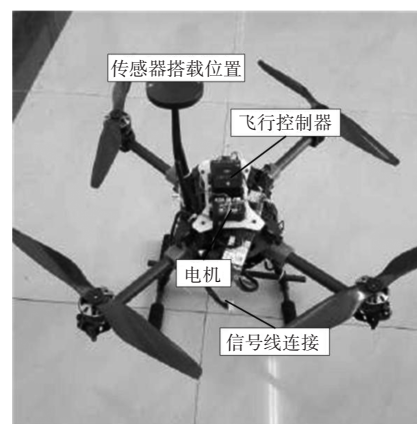


图2 飞行平台硬件配置

Fig. 2 Hardware configuration of the flight platform

为保证实验的可靠性,本次实验在进行无人机自动化循迹工作之前首先针对无人机的飞行轨迹进行了规划。得到的原始图像示例如图3所示。



图3 无人机飞行轨迹原始图像

Fig. 3 Original image of drone flight trajectory

对此,本文构建出数字图像坐标系,所得到的无人机飞行轨迹如图4所示。

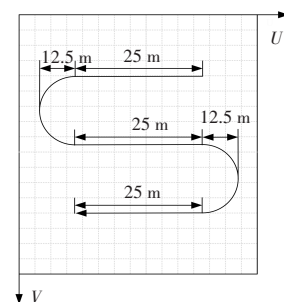


图4 无人机飞行规划轨迹

Fig. 4 UAV flight planning trajectory

在采用本文算法进行无人机循迹控制时,需要对算法的参数进行配置,具体配置情况如表 1 所示。

表 1 本文算法的参数配置情况

Tab. 1 Parameter configuration of the algorithm in this paper

参数	参数配置
线性函数参数 $a_k$	0.2
非线性函数参数 $b_k$	0.1
伽马校正因子 $\alpha(x, y)$	1.25
细节层图像映射 $[-\beta, \beta]$	$[-1.15, 1.15]$
加权融合因子 $\eta(x, y)$	0.74

根据上表的内容对本文算法参数进行配置,并分别采用 3 种方法进行无人机自动化循迹,待实验完成后,对不同控制方法下的循迹轨迹进行记录,从而对比实际循迹效果。

### 2.3 循迹效果对比

采用本文方法对无人机进行自动化循迹后,所得到的无人机飞行轨迹投影如图 5 所示。

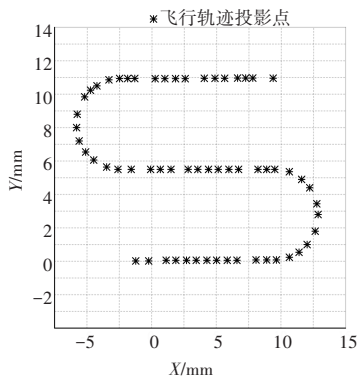


图 5 本文循迹方法下的无人机飞行轨迹投影

Fig. 5 Projection of the drone flight trajectory under the tracking method proposed in this paper

通过上述实验结果可以看出,采用本文方法对无人机进行自动化循迹时,飞行轨迹的投影路线与实际规划轨迹的拟合程度较高。为提高实验结果的对比性,本次实验以不同循迹方法下无人机期望轨迹的偏移量作为对比指标,用于衡量不同方法的实际循迹精度,具体实验结果如表 2 所示。

表 2 无人机期望轨迹偏移量对比结果

Tab. 2 Comparison results of drone expected trajectory offset

实验组 编号	偏移量对比结果/m		
	本文方法	文献[1]方法	文献[2]方法
01	0.18	0.52	0.74
02	0.13	0.54	0.75
03	0.14	0.61	0.64
04	0.13	0.52	0.68
05	0.15	0.57	0.58
06	0.11	0.62	0.71
07	0.16	0.63	0.62
08	0.13	0.54	0.81
09	0.16	0.61	0.63
10	0.14	0.60	0.54
11	0.15	0.58	0.59
12	0.16	0.51	0.67
13	0.17	0.50	0.53
14	0.16	0.63	0.65
15	0.13	0.64	0.62

根据表 2 结果可知,采用本文提出的基于数字媒体技术与机器视觉的无人机自动化循迹方法,无人机期望轨迹的偏移量普遍低于文献[1]和文献[2]中所述的方法。具体而言,本文方法在实验组数中的偏移量平均值较低,且各实验组数之间的偏移量波动也较小,显示出较高的稳定性和可靠性。相比之下,文献[1]和文献[2]中的方法在不同实验组数中呈现出较大的偏移量,且波动范围较大,循迹精度相对较低。综上所述,本文方法能够有效提升无人机循迹的准确性和稳定性,为无人机自动化循迹技术的发展提供了有益的参考和借鉴。

## 3 结论

本文提出了一种基于数字媒体技术与机器视觉的无人机自动化循迹方法,采用此方法对无人机进行自动化循迹时,无人机期望轨迹偏移量更低,具备较为理想的循迹精度。此方法在理论和实验层面均展现出一定的优势和潜力,但不可避免地存在一些不足之处。首先,当前的视觉感知模型在极端天气或光照条件不佳的情况下,其性能可能会受到一定的影响,导致循迹精度下降;其次,本文设计的循迹算法在处理复杂多变的地面特征时,仍有进一步优化的空间。因此,在今后的研究工作中,将加强无人机在特殊场景下的适应性研究,提升其面对复杂环境和突发情况的应对能力。

## 参考文献

- [1]张贵勇,孙强,彭程,等.基于引导滤波的巡检无人机自主循迹自动控制[J].自动化与仪表,2024,39(1):1-5.
- [2]张杰,毛鹏飞,杨晓宇,等.基于DFT算法的电力巡检无人机循迹检测系统设计[J].湘潭大学学报(自然科学版),2022,44(2):107-115.
- [3]YE J, FU C, LIN F, et al. Multi-regularized correlation filter for UAV tracking and self-localization [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2021, 69(6):6004-6014.
- [4]YUAN D, CHANG X, LI Z, et al. Learning adaptive spatial-temporal context-aware correlation filters for UAV tracking [J]. ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM), 2022, 18(3):1-18.
- [5]黄耀然,刘智聪,康远荣.基于自适应预瞄的无人驾驶矿用卡车循迹控制研究[J].控制与信息技术,2022(5):53-59.
- [6]丁聪,赵蕾磊.有限纠偏能力的多差速单元循迹协同控制[J].机床与液压,2023,51(23):43-51.
- [7]冯宇,崔峰,高东.基于路径像素分布统计引导的无人机自主循迹[J].现代计算机,2021,27(29):28-35.
- [8]丰宇航,蒋雯怡,王冠凌,等.基于模糊控制的循迹无人机研究[J].绥化学院学报,2021,41(6):152-156.
- [9]闵小翠,朱君,李鹏,等.基于离散傅里叶变换的多旋翼无人机循迹检测系统设计[J].计算机测量与控制,2021,29(6):69-73.
- [10]崔雨晴.基于改进K-means与机器视觉的档案数据分析技术[J].电子设计工程,2024,32(2):191-195.
- [11]李阳,刘连喜,靳阳.大长宽比AGV循迹导航控制方法研究[J].机床与液压,2023,51(22):132-136.
- [12]李莉.基于多层编码的数据库指纹溯源方法[J].自动化技术与应用,2024,43(7):134-136,188.