

基于侦测遥控信号的无人机目标位置快速识别

姚尧, 李首庆

(中国民用航空飞行学院, 四川 广汉 613800)

摘要: 无人机飞行环境中含有大量噪声及干扰信号, 无法确认多个无人机目标侦测遥控信号的频段与参数, 识别误差和识别速度受限, 为快速获取无人机目标位置信息, 提出基于侦测遥控信号的无人机目标位置快速识别方法; 计算无人机远程遥控制量, 设置无人机遥控信号量化生成过程, 采用加权平均法, 获得初始生成的高质量的无人机遥控信号, 分析无人机遥控信号的载波波形, 构建无人机目标位置坐标系, 权衡和融合各个无人机飞行环境特征向量的权值, 计算无人机目标与地标距离之间的距离参数, 求解地面遥控信号发射姿态角, 应用特征匹配度检测方法, 快速识别无人机目标位置; 实验结果表明, 综合单一目标和多目标实验场景后, 识别误差分别降低了 6.2 m 和 9.3 m, 同时运行时间开销的平均值仅为 8.7 s, 位置识别速度得到明显提升。

关键词: 侦测遥控信号; 无人机; 目标位置; 快速识别

Rapid Recognition of Drone Target Position Based on Detection and Remote Control Signals

YAO Yao, LI Shouqing

(Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 613800, China)

Abstract: There are a large amount of noise and interference signals for drones in their flying environment, it is difficult to confirm the frequency band and parameters for multiple drone target detection and remote control signals, resulting in limited recognition error and speed. In order to rapidly obtain the information of drone target position, a rapid drone target position recognition method based on detection and remote control signals is proposed. Calculate the control value of the drone remote control, set up the simulation process of the drone remote control signal, use the weighted average method to obtain the initially generated high-quality drone remote control signal, analyze the carrier waveform of the drone remote control signal, construct the drone target position coordinate system, weigh and fuse the weights of various drone flight environment feature vectors, calculate the distance parameter between the drone target and the landmark distance, solve the attitude angle of the ground remote control signal transmission, apply the feature matching detection method, and quickly identify the target position of unmanned aerial vehicles. Experimental results show that after integrating the experimental scenarios for a single target and multiple targets, the recognition errs are reduced by 6.2 m and 9.3 m, respectively, with an average running time of only 8.7 s, and it significantly improves the position recognition speed.

Keywords: detection and remote control signals; drones; target location; quick identification;

0 引言

无人机技术的广泛应用已经渗透到多个研究领域, 在地区冲突、反恐战争、国防、公共安全、环保、电力、农业、测绘、航空摄影、消防、搜救、监测和评估重要基础设施等不同领域均发挥着重要作用。由于无人机飞行高度高, 易受环境、天气和恶意人类活动的影响, 飞行中无人机飞行信号的丢失不仅影响其作战效能并使其面临风险, 还可能导致无人机设备的损失。为了获得无人机目标的位置信息, 确保无人机的飞行状态始终处于可控范围内, 提出了无人机目标位置快速识别方法。

目前较为成熟的无人机目标位置识别方法研究成果包括: 文献 [1] 提出一种基于仿射近似投影模型的无人机对地目标定位方法。基于平行透视投影模型的迭代因子分解法框架, 依据无人机序列影像特征的多视图几何约束, 结

合优化最小化框架的低秩矩阵分解技术, 通过机载导航系统获取摄像机的高精度位置信息, 实现对地无人机的高精度定位。但该方法在复杂场景下存在较高的定位误差。文献 [2] 提出的基于改进麻雀搜索算法的无人机集群置信传播协同定位方法, 其基于置信传播原理构建无人机集群的因子图模型, 通过不断更新推断, 以求得每个节点的后验概率分布, 解决原始麻雀搜索方法易陷入局部极小值的问题。该方法未处理传感器测量误差、通信延迟等实际问题, 对无人机集群的定位精度和鲁棒性产生影响。文献 [3] 提出的 GPS 拒止环境下基于定位置信度的多无人机协同定位方法, 其在基于持久性激励的相对定位法的基础上, 自适应地调节协同定位过程中各无人机自主定位所占比重, 在 ROS 平台上实现多无人机的协同定位任务。但该方法在存在 GPS 拒绝环境的情况下效果受限。文献 [4] 提出了一种

收稿日期: 2023-09-19; 修回日期: 2023-11-13。

作者简介: 姚尧 (1989-) 男, 大学本科, 工程师。

引用格式: 姚尧, 李首庆. 基于侦测遥控信号的无人机目标位置快速识别[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(11): 228-234.

基于量子多模式识别算法的雷达目标检测方法。使用了相位旋转的量子多模式识别算法 (PRQMPRA), 通过优化算法避免了搜索成功概率降低的缺陷。该方法未考虑在实际无人机雷达探测环境中存在的噪声和干扰信号, 对目标检测的准确性和鲁棒性产生负面影响。文献 [5] 提出了一种新的基于深度学习算法, 以解决基于 YOLOV3 算法的无人机中不完整的飞行器目标无法识别, 以及无人机飞行器附近的飞行器失联的问题。该方法在获得高质量无人机遥控信号时受干扰较大, 影响无人机目标位置识别的准确性。文献 [6] 使用动态时间规整 (DTW) 和差异向量算法计算舰船位置距离矩阵和方向距离矩阵。通过层次聚类方法获取舰船编队信息, 以推断舰船类型。将编队信息和其他属性信息作为贝叶斯网络的节点, 进行舰船类型的推断。将不同阈值下识别结果转化为证据的集合, 并进行融合得到最终的识别结果。但该方法未对噪声和干扰信号进行处理, 导致结果准确性较低。

为了降低干扰, 将侦测遥控信号应用到无人机目标位置快速识别工作中, 通过量化生成高质量的无人机遥控信号, 有效降低了识别误差。通过分析载波波形和构建目标位置坐标系, 能够更准确地确定无人机目标位置。通过权衡和融合各个环境特征向量的权值, 能够更好地适应不同的飞行环境。

1 无人机遥控信号量化生成与分析方法

1.1 量化生成无人机遥控信号

无人机的远程遥控功能包括: 拍照状态切换、刹车与返航、变焦、前进、飞行高度控制、加速、减速等, 遥控功能的实现需要遥控信号、无线信号传输和遥控数据处理 3 个部分, 遥控器主要安装在地面的控制终端位置, 根据无人机控制内容生成相应的遥控信号并传输到信号传输环境中, 无人机遥控信号量化生成过程如图 1 所示。

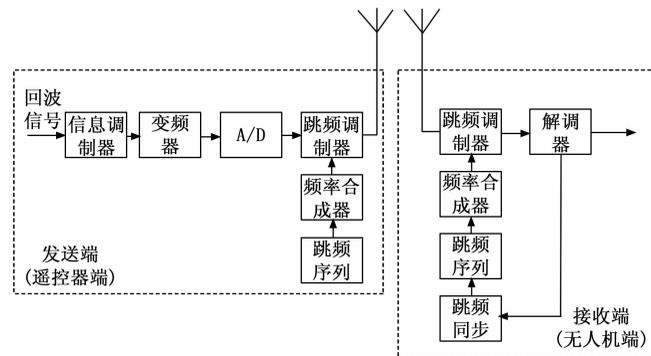


图 1 无人机遥控信号量化生成过程

图 1 中, 无人机跳频通信传输环境是一种载波频率随跳频规律而不断变化的通信收发系统, 即在可利用的信道带宽中, 划分出了多个连续的频率间隙, 利用伪随机码序列来选择不同的载波频率, 从而达到信号跳变的目的。

以偏航运动控制任务为例, 无人机远程遥控控制量 ΔK 的计算公式如下:

$$\Delta K = |\theta_{yaw}(t) - \theta_{yaw-target}| \quad (1)$$

公式中, $\theta_{yaw}(t)$ 和 $\theta_{yaw-target}$ 分别表示 t 时刻无人机的实际偏航角和偏航角的控制目标值。同理可以得出其他控制任务下生成的遥控信号, 并将遥控信号发射到具有跳频特征的传输环境中, 并将无人机遥控信号转换成无人机遥控跳频信号。无人机遥控信号在传输环境中的传输形式可以表示为:

$$g_{transmission} = \sum_{k=0}^{N_{frequency\ hopping}} \psi_k(t) J_k(t) \quad (2)$$

公式中, $\psi_k(t)$ 和 $s_k(t)$ 分别表示分配到第 k 个跳频载波频率上的基带信号和跳频信号分量, 其中参数 $J_k(t)$ 的求解公式如下:

$$\begin{cases} J_k(t) = e^{2\pi f_k(t - kT_{frequency\ hopping} - t_0) + \varphi_k} \cdot u_{T_{frequency\ hopping}}(t - kT_{frequency\ hopping} - t_0) \\ u_{T_{frequency\ hopping}}(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq T_{frequency\ hopping} \\ 0, & t > T_{frequency\ hopping} \end{cases} \end{cases} \quad (3)$$

式中, f_k 和 φ_k 分别表示第 k 个跳频信号的瞬时频率和初始相位, $T_{frequency\ hopping}$ 和 t_0 分别表示跳频周期和遥控信号的起跳时间, $u_{T_{frequency\ hopping}}$ 为宽度为 $T_{frequency\ hopping}$ 的门函数。但是无人机目标遥控信号中含有大量噪声及干扰信号, 且往往存在于较高的频率范围, 使用低通滤波可以有效过滤这些高频噪声, 并保留信号的核心控制信息, 可以提高信号质量, 降低噪声对识别的干扰。同时, 噪声信号高斯滤波可以平滑信号波形, 消除随机噪声的影响, 使得信号更加稳定和可靠, 进而提高信号的识别和分析精度, 提高系统的可靠性。因此, 在滤波处理过程中, 采用低通滤波和高斯滤波相结合的方式, 以保证遥控信号中有效部分全部得到保留。

低通滤波的规则是低频信号可以通过, 而超过一定阈值的高频信号会被屏蔽和削弱。低通滤波的处理过程如下:

$$\varphi_{low\ pass} = \kappa_{filtering} \cdot s_i(t) + (1 - \kappa_{filtering}) \cdot s_i(t - 1) \quad (4)$$

式中, $\kappa_{filtering}$ 为滤波系数, $s_i(t)$ 和 $s_i(t - 1)$ 分别表示 t 和 $t - 1$ 时刻提取的无人机目标遥控信号。

高斯滤波器采用加权平均法, 每个信号点的数值, 通过对其自身及邻近区域的其它信号数值的加权平均, 求得最优解^[7]。高斯滤波器的基本思想是用模板扫描每个检测到的信号点, 然后用模板确定的相邻区域中每个信号的加权平均值替换模板中心的信号。无人机遥控信号的高斯滤波处理结果为:

$$\varphi_{Gaussian} = \frac{1}{\sqrt{2\pi} g_{transmission} \sigma} e^{-\frac{e^2}{2\sigma^2}} \quad (5)$$

其中: σ 为无人机遥控信号均值。对无人机目标遥控信号进行混叠处理。初始生成的高质量无人机遥控信号可以量化表示为:

$$g_0 = \overline{\omega}_{low\ pass}(\Delta K \cdot b) \otimes \overline{\omega}_{Gaussian} \kappa_{modulate} \cdot \kappa_{amplify} \quad (6)$$

式中, b 表示控制目标编码值, 参数 $\kappa_{modulate}$ 和 $\kappa_{amplify}$ 表示初始生成遥控信号的调制系数和放大系数^[8]。

在实际的无人机遥控信号量化生成过程中, 遥控端产生的混叠遥控信号进入信息调制器并进行调制, 由跳频频率产生的跳频信号进行调制, 再通过天线发送出去; 在

无人机端,使用与发射端相同的序列进行跳频分析,然后将现有的调制信号发送到信息解调器,通过解调可以获得最终的无人机遥控信号量化生成结果。

1.2 确定无人机遥控信号幅值特征

根据无人机遥控信号量化生成结果,发现无人机遥控信号的产生是有间隔的,这是因为 PN 码控制频率合成器产生所需的载波信号并不是一蹴而就的,需要进一步确定无人机遥控信号幅值特征,为构建无人机目标位置坐标系提供基础。

遥控时间指的是频率合成器从开始振荡到稳定状态所持续的时间,是建立时间、驻留时间、消竭时间的总和,以此生成的载波波形如图 2 所示。

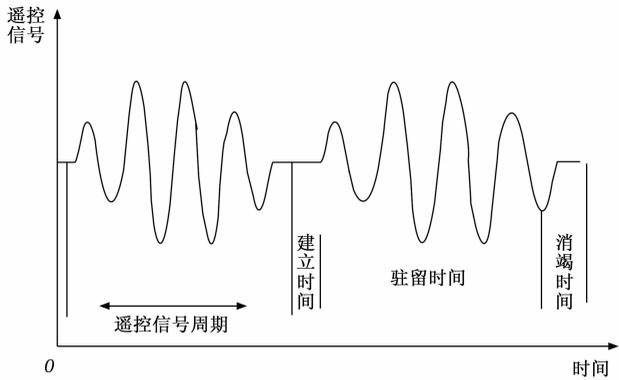


图 2 无人机遥控信号的载波波形图

图 2 中,设置标准无人机遥控信号载波波形,确定载波波形的标准特征,其中无人机遥控信号幅值特征可以表示为:

$$\tau_A = u_{T_{\text{frequency band}}}(t) y_{\max}(g_{\text{transmission}}) - y_{\min}(g_{\text{transmission}}) \quad (7)$$

公式中, $y_{\max}()$ 和 $y_{\min}()$ 表示最大值和最小值的求解函数^[9]。

整合无人机遥控信号幅值特征,得出其他无人机遥控信号标准特征分量的确定结果,最终对标准无人机遥控信号特征分量进行融合处理,将融合结果记为 τ , 以此作为复杂环境中无人机目标遥控信号的无人机目标位置坐标分析标准。

2 无人机目标位置快速识别方法

2.1 构建无人机目标位置坐标系

无人机目标位置识别是相对于复杂环境中的位置坐标系而言的,因此需要在无人机目标位置识别之前,构建相应的位置坐标系。

无人机坐标系原点取在机体重心位置上, x 轴在机体多旋翼对称平面内指向机头, z 轴在无人机对称平面内,垂直轴向下,按照右手定则确定无人机坐标系中的 y 轴。那么,无人机目标位置坐标系的构建结果可以表示为:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -Q & R \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{\text{UAV}} \\ y_{\text{UAV}} \\ z_{\text{UAV}} \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中, $\begin{bmatrix} x_{\text{UAV}} \\ y_{\text{UAV}} \\ z_{\text{UAV}} \end{bmatrix}$ 表示无人机坐标系, $\begin{bmatrix} Q & R \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ 表示两坐标系之

间的变换矩阵, Q 和 R 分别表示坐标间的平移量和旋转量。按照上述方式在已知无人机坐标系的情况下,分析根据无人机与环境之间的关系,可以得出无人机目标位置坐标系的构建结果^[10],便于简化无人机飞行环境侦测过程。

2.2 侦测无人机飞行环境

由于无人机飞行环境中,无人机目标位置坐标不是单一的,通信信号存在动态特征,因此需要在信号采集频率的支持下对采集特征进行融合,保证通信信号采集的完整性。

在无人机飞行环境通信信号接收与截获装置的支持下,将无人机飞行环境中所有通信信号的采集过程描述为:

$$s_i(t) = \sum_{i=1}^{N_{\text{frequency band}}} h_i \cdot c_i(t) + n(t) \quad (9)$$

式中, h_i 表示无人机信号传输环境中的增益系数, $c_i(t)$ 和 $n(t)$ 分别表示 t 时刻频段 i 的实际传输信号和噪声信号, $N_{\text{frequency band}}$ 表示环境中包含的信号频段数量^[11]。

以初始采集的通信信号为研究对象,从时域和频域两个方面提取通信信号特征。待提取的通信信号时域特征分量包括:均值、方根幅值、峭度等,其中均值特征分量的提取结果为:

$$\tau_{\text{mean value}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{signal}}} \tau_A s_i^2(t)}{N_{\text{signal}}} \quad (10)$$

公式中, N_{signal} 为通信信号采集量^[12]。另外方根幅值和峭度特征分量的提取结果为:

$$\begin{cases} \tau_{\chi} = \left(\frac{g'_0}{N_{\text{signal}}} \sum_{i=1}^{N_{\text{signal}}} \sqrt{|s_i(t)|} \right)^2 \\ \tau_{\text{kurtosis}} = \frac{\tau_{\chi} \sum_{i=1}^{N_{\text{signal}}} (s_i(t) - \tau_{\text{mean value}})^4}{(N_{\text{signal}} - 1) \left(\frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{signal}}} |s_i(t)|}{N_{\text{signal}}} \right)^4} \end{cases} \quad (11)$$

按照上述方式可以得出其他时域特征分量的提取结果。另外通信信号频域特征中短时功率谱特征分量的提取结果如下:

$$\tau_{\text{Power spectrum}} = \left| \int_{-\infty}^{\infty} \tau_{\text{kurtosis}}[s(t)z(t)] e^{-2\pi t} dt \right| \quad (12)$$

式中,变量 $z(t)$ 为窗函数。按照上述方式可以得出采集的所有通信信号的所有时域特征向量和频域特征向量,进行特征向量的融合处理^[13],处理过程为:

$$\tau_{\text{extract}} = \bar{w}_1 \tau_{\text{mean value}} + \bar{w}_2 \tau_{\chi} + \bar{w}_3 \tau_{\text{kurtosis}} + \bar{w}_4 \tau_{\text{Power spectrum}} \quad (13)$$

式中, \bar{w}_1 、 \bar{w}_2 、 \bar{w}_3 和 \bar{w}_4 分别表示各特征向量的融合权值。

通过权衡和融合各个特征向量的权值,根据任务需求和环境变化的不同,灵活地调整权重,以适应不同情境下的需求变化,并将多个特征值融合为一个综合指标,以更全面、准确地获取遥控信号侦测结果。过程如下。

采用特征匹配度检测的方式, 量化描述信号特征的匹配过程:

$$\gamma(i) = \frac{\tau_{\text{extract}}(i) \cdot \tau}{\|\tau_{\text{extract}}(i)\| \cdot \|\tau\|} \quad (14)$$

式中, $\tau_{\text{extract}}(i)$ 表示提取的第 i 个通信信号特征, τ 为设置的遥控信号标准特征。若计算得出信号特征匹配度高于阈值 γ_0 , 说明当前信号 i 为无人机的遥控信号, 若计算得出 $\gamma(i)$ 的具体取值不满足阈值要求, 则证明对应信号为非无人机遥控信号^[14], 最终得出满足匹配阈值要求的所有无人机飞行环境通信与遥控信号, 即为无人机飞行环境侦测结果。

2.3 计算距离参数与发射姿态角

为保证侦测得出的无人机飞行环境通信与遥控信号能够为无人机目标位置快速识别工作提供精准数据支持, 需要进一步采用遥控信号相位测量原理, 计算无人机目标与地标距离之间的距离参数。

通过测量加载了测距码和导航信息的载波的相位数获得信号相位测量结果。当发送和传输的遥控信号的参数已知时, 可以获得无人机目标与地标之间的距离参数为:

$$d = \lambda(\varphi_{\text{send}} - \varphi_{\text{Detection}}) \quad (15)$$

式中, φ_{send} 和 $\varphi_{\text{Detection}}$ 分别为地面遥控终端发送遥控信号的相位值和传输环境中遥控信号侦测结果的相位值, λ 为无人机目标遥控信号波长^[15]。上述变量的计算公式如下:

$$\begin{cases} \varphi_{\text{send}} = \arccos \frac{s_{\text{send}}}{A_{\text{send}}} - \omega s_{\text{send}} \\ \varphi_{\text{Detection}} = \arccos \frac{s_{\text{Detection}} \varphi_{\text{send}}}{A_{\text{Detection}}} - \omega s_{\text{Detection}} \\ \lambda = \frac{dn_s}{\Delta t_{\text{Detection}} \varphi_{\text{Detection}} \cdot f} \end{cases} \quad (16)$$

式中, s_{send} 和 A_{send} 分别表示遥控端发送的遥控信号及其幅值, $s_{\text{Detection}}$ 和 $A_{\text{Detection}}$ 表示侦测得出的遥控信号及其幅值, ω 为遥控信号的传输速度, n_s 为侦测到的遥控信号量, $\Delta t_{\text{Detection}}$ 和 f 分别表示遥控信号的侦测时间和频率^[16-19]。将公式 (16) 的计算结果代入到公式 (15) 中, 即可得出无人机目标与地面之间距离参数的计算结果。

地面基站发射控制信号的姿态角直接决定了遥控信号的发射方向, 从而影响无人机目标位置识别效果。地面遥控信号发射姿态角如图 3 所示。

图 3 中, 受到空气流速等因素的影响, 遥控信号的实际传输方向可能与初始发射角度之间存在细微偏差, 而信号发射角度和遥控信号的方向角为同位角, 因此两角度的大小取值相同。在地面遥控信号发射姿态角检测过程中, 无人机端的位置信息为未知信息, 因此需要根据侦测得出的遥控信号的传输方向, 确定初始遥控端发射信号的角度。根据两个连续时刻遥控信号的侦测结果, 确定遥控信号的传输方向角, 方向角的计算公式如下:

$$\cos \theta_s = \frac{s_x(t_2) - s_x(t_1)}{s_x(t_2) - s_x(t_1)} \quad (17)$$

式中, $s_x(t_2)$ 和 $s_x(t_1)$ 分别为 t_2 和 t_1 时刻侦测得出的遥控信号,

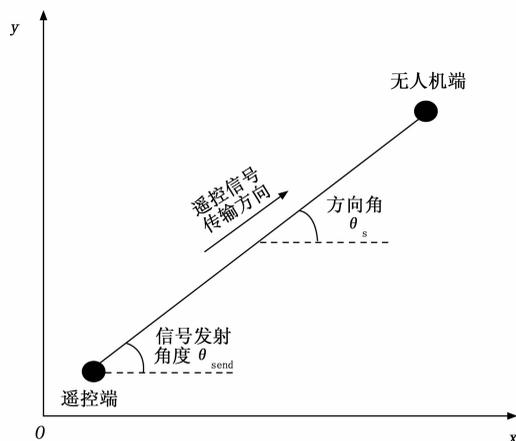


图 3 地面遥控信号发射姿态角示意图

$s_x(t_2)$ 和 $s_x(t_1)$ 为上述两时刻遥控信号在水平方向上的分量, t_1 和 t_2 为连续两个时间点。那么地面遥控信号发射姿态角的检测结果为:

$$\theta_{\text{send}} = \theta_s \quad (18)$$

由此得出地面遥控信号发射姿态角的检测结果。

无人机目标与地标距离之间的距离参数的准确度直接关系到飞行安全性, 同时对于自主飞行的无人机来说, 发射姿态角的分析结果可以进一步分析动态飞行环境变化情况。

2.4 快速识别目标位置

综合无人机目标与地标距离之间的距离参数的计算结果以及发射姿态角的检测结果, 得出无人机目标位置识别结果为:

$$\begin{cases} x_{\text{identify}} = x_{\text{base station}} + d \cos \theta_{\text{send}} \\ y_{\text{identify}} = y_{\text{base station}} + d \sin \theta_{\text{send}} \\ z_{\text{identify}} = \lambda h_{\text{flight}} \gamma(i) \end{cases} \quad (19)$$

式中, $(x_{\text{base station}}, y_{\text{base station}})$ 表示地面基站位置, h_{flight} 为无人机的飞行高度, 将公式 (15) 和公式 (18) 得出的距离与角度识别结果代入到公式 (19) 中, 如果空间环境中同时存在多个无人机目标, 则需要根据检测到的遥控信号的频带和参数确定遥控信号对应的无人机目标。通过多个目标信息的融合, 可以获得多个无人机目标的位置识别结果^[20]。

3 实验

以测试优化设计基于侦测遥控信号的无人机目标位置快速识别方法的识别性能为目的, 采用白盒与黑盒相结合的方式, 设计识别性能测试实验。

根据实验目的将识别性能测试实验分为两个部分, 第一部分是无人机目标位置识别精度的测试, 采用白盒测试方式, 即通过目标位置设置与控制设置实验的目标位置识别任务, 并根据设置情况得出目标位置预期值, 得出无人机目标位置实际识别结果, 通过与预期值的对比得出对应方法识别精度的测试结果。第二部分是无人机目标位置识别速度的测试, 采用黑盒测试方式, 通过识别任务启动时

间与识别结果输出时间的统计, 得出反映本文方法识别速度性能的测试结果。

以型号 DJI Phantom 4 Multispectral 的四旋翼无人机为实验对象, 无人机样机由电源系统、飞控系统、电机部分、机身和机架等部分组成, 其内置 3 轴陀螺仪与加速度计, 测量飞行器的线性加速度, 帮助精确控制飞行器的姿态, 同时用于检测和保持飞行器的稳定性, 为降低外部噪音及振动的影响, 配置对应的阻尼面板。

在宽敞的室外环境下, 综合考虑环境因素, 在飞控系统的支持下实现无人机实时位置信息的设置与控制, 并以此作为实验的识别任务。此次实验共设置两个实验场景, 分别为单一无人机目标识别任务和多无人机目标识别任务, 其中部分单一无人机目标识别任务的生成情况如表 1 所示。

表 1 单一无人机目标识别任务生成表

识别任务编号	无人机目标位置-x 分量/m	无人机目标位置-y 分量/m	无人机目标位置-z 分量/m
D01	677	84	114
D02	485	86	102
D03	527	174	98
D04	515	103	86
D05	704	95	113
D06	623	153	105
D07	493	127	94
D08	521	139	88

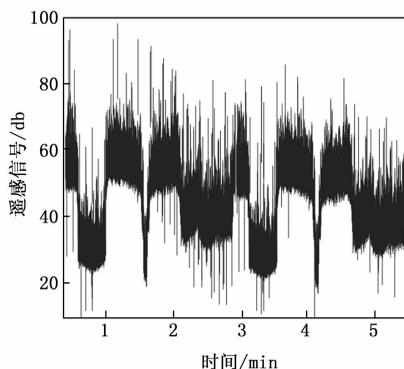
表 1 中, 单一无人机目标识别任务的目标位置坐标均在无人机所处区域的世界坐标系环境下, 该坐标系的单位为: 米, 目标位置 z 分量表示无人机的飞行高度。以 D01 任务为例, 无人机目标位置的 x 分量为 677 m, y 分量为 84 m, z 分量为 114 m。在实际实验中, 计算得到的无人机与地标的距离参数为 $d=120$ m, 发射姿态角检测结果为 $\theta=50^\circ$ 。再根据公式 (19), 将这些计算结果代入, 即可得出无人机目标位置的识别结果, 目标位置坐标为 (77.68, 92.73, 114)。因此, 根据表 1 中的数据计算距离参数和角度识别结果, 可以得出多目标场景下无人机目标识别任务的生成情况, 并记录各个无人机位置的真实数据。

根据无人机目标位置识别任务的生成情况, 在市区环境和郊区环境中, 对无人机的飞行路线进行规划, 并利用遥控设备发出相应的控制指令。图 4 表示无人机遥控信息的编辑与操作界面。

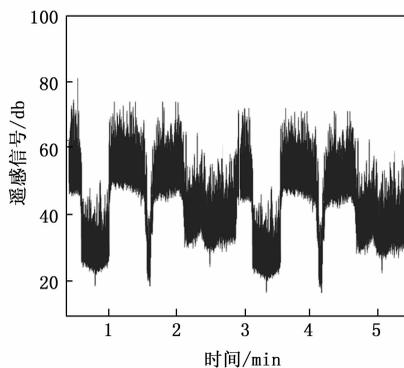
由图 4 可知, 发送的无人机遥控信息包括位置调整、速度控制、飞行状态控制等内容, 并根据遥控信息的编辑情况, 通过低通滤波和高斯滤波相结合的方式对信号进行处理, 利用遥控装置中的调制元件与信号生成元件, 产生相应的遥控信号量化生成结果, 将其发射到无人机的飞行环境中。分别采集噪声处理前处理前和处理后的无人机遥控信号, 任意无人机遥控信号的发射波形对比结果如图 5 所示。



图 4 无人机遥控信息编辑操作界面



(a) 噪声处理前无人机遥控信号发射波形图



(b) 噪声处理后无人机遥控信号发射波形图

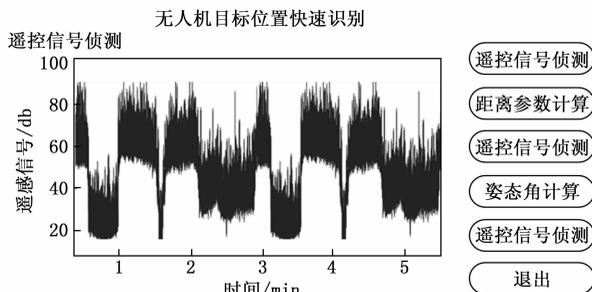
图 5 无人机遥控信号发射波形图对比结果

由图 5 可知, 处理前的无人机遥控信号呈现混乱的形态, 这是因为无人机遥控信号在发射过程中受到外部干扰或噪声的影响, 导致信号波形不规则或难以辨识。经过滤波处理后的无人机遥控信号量化波形更加清晰、稳定, 易于识别和分析, 提高了无人机目标位置的识别精度和可靠性。由此, 可以得出其他无人机遥控信号的发射波形数据样本。在多无人机目标场景中, 由于无人机只能对应一个遥控设备, 因此采用多遥控信号同时发送的方式生成遥控信号样本。

用于基于侦测遥控信号的无人机目标位置快速识别方

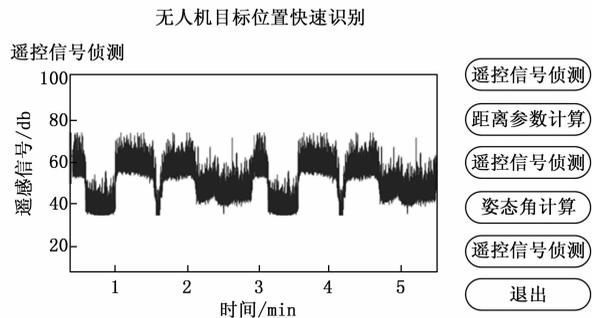
法开发与运行的硬件环境为: Core-i5-4210M2. 60 GHz 双核计算机, 4 GB 内存, 940 M 显卡。采用了 C++、Matlab 程序设计语言实现了优化设计的位置快速识别方法的开发。将选择的无人机样机接入到识别环境中, 通过侦测遥控信号、距离参数计算等环节, 得出无人机目标位置识别结果。

图 6 表示 D01 任务中输出的无人机目标位置识别结果。



无人机目标位置识别结果
 x: 676
 y: 84
 z: 114

(a) 市区环境



无人机目标位置识别结果
 x: 425
 y: 55
 z: 96

(b) 郊区环境

图 6 无人机目标位置识别输出结果

由图 6 可知, 在市区环境和郊区环境中, 得出无人机目标位置识别输出结果, 其输出结果稳定, 且可以得出具体的目标位置识别结果, 跟踪和定位结果可以应对无人机飞

行多环境差异。

为体现出本文方法在识别精度与速度性能方面的优势, 分别设置基于仿射近似投影模型的无人机对地目标定位方法(文献 [1] 方法)和基于改进麻雀搜索算法的无人机集群置信传播协同定位方法(文献 [2] 方法)作为实验的对比方法, 在相同的实验环境下实现对比方法的开发, 并得出对应的位置识别结果。

无人机目标位置识别精度的量化测试指标设置为位置识别误差, 其数值结果为:

$$\epsilon = |x_{\text{identify}} - x_{\text{set}}| + |y_{\text{identify}} - y_{\text{set}}| + |z_{\text{identify}} - z_{\text{set}}| \quad (20)$$

式中, $(x_{\text{set}}, y_{\text{set}}, z_{\text{set}})$ 为设置的无人机目标实际位置坐标, 该变量的具体取值由表 1 设置的识别任务决定。将得出的无人机目标位置识别结果 $(x_{\text{identify}}, y_{\text{identify}}, z_{\text{identify}})$ 代入到公式 (20) 中, 即可得出位置识别误差的计算结果, 得出识别误差越小, 证明对应方法的识别精度越高。

在无人机单目标位置识别场景下, 通过相关数据的统计得出识别精度性能的测试结果, 如表 2 所示。

将表 1 和表 2 中的数据代入到公式 (20) 中, 计算得出两个对比方法识别误差的平均值分别为 10.4 m 和 4.1 m, 而本文方法的平均识别误差为 0.9 m。

在多目标实验场景下, 使用不同的频段或者跳频技术区分和隔离每个无人机的控制信号, 以避免不同无人机之间的信号干扰。同时制定有效的通信协议, 确保每个遥控器与其对应的无人机之间的通信过程稳定顺畅, 避免信号冲突和混乱。统计相关数据通过公式 (20) 的计算, 得出识别误差的测试对比结果, 本文方法的位置识别误差更小, 通过平均值计算得出 3 种方法的平均识别误差分别为 13.4 m、7.6 m 和 1.2 m。

位置识别速度性能的测试指标为识别任务执行时间开销, 该指标的测试结果为:

$$t_{\text{execute}} = t_{\text{out}} - t_{\text{firing}} \quad (21)$$

t_{firing} 公式中, 变量和 t_{out} 表示无人机目标位置识别任务的启动时间和结果输出时间。计算得出时间开销越小, 说明对应方法的识别速度越快。

通过公式 (21) 的计算, 得出反映方法识别速度的测试结果, 如图 7 所示。

表 2 单目标位置识别精度性能测试数据表

识别任务编号	基于仿射近似投影模型的无人机对地目标定位方法输出结果/m			基于改进麻雀搜索算法的无人机集群置信传播协同定位方法输出结果/m			基于侦测遥控信号的无人机目标位置快速识别方法输出结果/m		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z
D01	673	89	111	675	84	113	676	84	114
D02	481	83	105	484	84	101	485	85	102
D03	524	171	95	526	172	96	527	174	97
D04	512	101	82	515	100	85	515	102	86
D05	707	98	111	703	94	111	704	95	113
D06	626	150	109	621	152	104	622	153	105
D07	490	124	97	491	126	93	493	126	94
D08	526	134	82	524	138	87	520	139	88

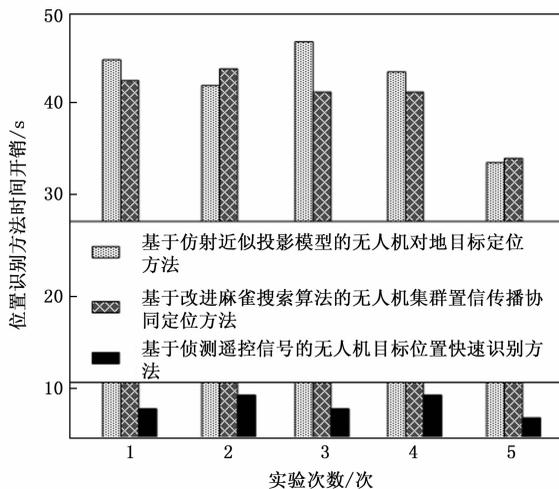


图 7 无人机目标位置识别方法时间开销测试结果

由图 7 可知, 本文方法的时间开销明显低于两种传统方法, 3 种识别方法运行时间开销的平均值分别为 43.6 s、38.8 s 和 8.7 s, 由此证明本文方法在识别速度方面更快, 对于无人机目标位置的识别和定位任务更具高效性。这是因为本文方法的优化算法和流程设计有效地减少了识别任务的执行时间开销。通过引入侦测遥控信号和加权平均法生成高质量的遥控信号, 以及分析载波波形和特征匹配度检测方法, 实现了快速准确的无人机目标位置识别。

4 结束语

本文设计了基于侦测遥控信号的无人机目标位置快速识别方法, 引入计算无人机远程遥控控制量和加权平均法生成高质量的无人机遥控信号, 提高了遥控信号量化生成的准确性和稳定性。在构建无人机目标位置坐标系时, 综合考虑了多个无人机飞行环境特征向量的权值, 提高了位置识别的精度和适应性。经实验验证, 该方法能够提高无人机目标位置信息的准确性和识别速度, 具有高效准确的目标位置识别能力, 有助于推动无人机在导航、自动驾驶和应急响应等领域的性能提升。然而在本次研究中设置的无人机目标数量较少, 同时无人机目标设置类型较为单一, 得出的实验结果不足以支持本文方法应用到实际的识别工作中。在进一步的研究中, 可以增加更多的无人机目标并考虑不同类型的无人机, 以更全面地评估该方法的性能和适用性。

参考文献:

[1] 孙 聪, 贾萌娜, 于起峰. 基于仿射近似投影模型的无人机对地目标定位方法 [J]. 中国惯性技术学报, 2022, 30 (1): 104-112.

[2] 熊 智, 李欣童, 熊 骏, 等. 基于改进麻雀搜索算法的无人机集群置信传播协同定位方法 [J]. 中国惯性技术学报, 2021, 29 (2): 171-177.

[3] 史殿习, 刘 聪, 余馥江, 等. GPS 拒止环境下基于定位信度的多无人机协同定位方法 [J]. 计算机科学, 2022, 49 (4): 302-311.

[4] 侯 旋, 薛 飞, 陈 涛. 无人机目标检测量子多模式识别优化算法 [J]. 计算机工程与应用, 2021, 57 (7): 228-236.

[5] ZHANG T, WAN D. Small sample vehicle target recognition method for unmanned aerial vehicle system based on deep learning [J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1982 (1): 012077.

[6] ZHANG YU, XIAO QUNLI, DENG XINYANG, et al. A multi-source information fusion method for ship target recognition based on Bayesian inference and evidence theory [J]. Journal of intelligent & fuzzy systems; Applications in Engineering and Technology, 2022, 42 (3): 2331-2346.

[7] 薛 珊, 陈宇超, 吕琼莹, 等. 基于坐标注意力机制融合的反无人机系统图像识别方法 [J]. 红外与激光工程, 2022, 51 (9): 417-427.

[8] 王鼎山, 贾世杰. 基于目标感知增强的无人机航拍目标检测 [J]. 计算机工程与设计, 2022, 43 (7): 2071-2077.

[9] 余仁伟, 朱 浩, 蔡昌恺. 基于薄板样条函数的无人机多目标跟踪算法 [J]. 仪器仪表学报, 2021, 42 (3): 168-176.

[10] 王 宁, 李 哲, 梁晓龙, 等. 无人机单载荷目标检测及定位联合实现方法 [J]. 电光与控制, 2021, 28 (11): 94-100.

[11] 孙 聪, 贾萌娜, 于起峰. 基于仿射近似投影模型的无人机对地目标定位方法 [J]. 中国惯性技术学报, 2022, 30 (1): 104-112.

[12] 陈 旭, 彭冬亮, 谷 雨. 基于改进 YOLOv5s 的无人机图像实时目标检测 [J]. 光电工程, 2022, 49 (3): 69-81.

[13] 杨蜀秦, 刘江川, 徐可可, 等. 基于改进 CenterNet 的玉米雄蕊无人机遥感图像识别 [J]. 农业机械学报, 2021, 52 (9): 206-212.

[14] 李 晨, 李 佳, 王明果, 等. 无人机 RGB 影像中人工林单木位置的提取 [J]. 林业工程学报, 2021, 6 (2): 141-147.

[15] 李 彬, 徐怡杭, 罗 杰. 采用残差神经网络的无人机遥控信号识别监测算法 [J]. 西安交通大学学报, 2021, 55 (12): 146-154.

[16] 何胜阳, 杜杰朋, 赵雅琴, 等. 基于 TDOA 的无人机集群协同单目标定位 [J]. 系统工程与电子技术, 2023, 45 (1): 1-8.

[17] 袁建华, 刘 宇, 赵子玮, 等. 基于改进滑模算法的无人机抗风雨研究 [J]. 计算机仿真, 2022, 39 (3): 85-90.

[18] 史浩然, 卢发兴, 祁江鑫, 等. 基于辅助信标的无人机协同目标跟踪 [J]. 系统工程与电子技术, 2022, 44 (7): 2302-2310.

[19] 檀立刚, 骆明伟, 李 捷, 等. 无人机光电设备对地目标单站无源定位方法 [J]. 应用光学, 2022, 43 (4): 599-610.

[20] 李洪瑶, 李小强, 韩心中, 等. 基于决策融合的多无人机协同目标检测识别算法 [J]. 系统工程与电子技术, 2022, 44 (3): 746-754.