

基于人工智能技术的无人机避障系统研究

苏永亮 汤为伟 瞿勤阳

南京航天器智能装备有限公司 江苏南京 210000

DOI: 10.12238/ems.v7i3.12289

[摘要] 伴随现代信息技术的不断演进,尤其是多类型传感器在无人机平台上的深度融合,基于人工智能技术的无人机避障系统已成为未来发展的重要方向。相比传统基于预设航线的被动避障方式,通过应用深度学习算法与传感器数据融合,无人机能够动态探测飞行环境并作出实时决策,不仅提升了飞行安全系数,也在很大程度上拓宽了无人机执行任务的场景和功能边界。本文将围绕无人机避障系统的设计思路和关键模块展开讨论,着重剖析视觉、激光与雷达三类主要避障技术所涉及的原理、算法以及技术挑战,并展望在人工智能赋能背景下的未来优化方向。

[关键词] 无人机避障; 人工智能; 传感器融合; 深度学习

近年来,无人机技术在物流运输、环境监测、农业植保、安防巡检等领域得到了广泛应用,推动了智能飞行系统的发展。然而,随着无人机飞行速度和高度的提升,以及城市建筑、森林、高压线等复杂环境的增多,传统基于预设航线的避障方式难以满足动态飞行的需求。因此,基于人工智能的无人机避障技术成为研究重点。通过集成计算机视觉、激光雷达、毫米波雷达等传感器,并结合深度学习、强化学习等算法,无人机能够实时感知周围环境、预测障碍物运动轨迹,并自主调整飞行路径,提高飞行安全性和任务执行效率。

一、无人机避障系统介绍

无人机(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)在近些年实现了迅猛发展,应用范围从早期的军事侦察延伸到物流运输、测绘、影视拍摄、巡检以及农业喷洒等众多行业。若想让无人机执行更复杂和精细的任务,则需要增强其自主飞行与环境感知能力,这恰恰引出了无人机避障系统这一关键研究方向。

1. 概念及背景

无人机避障系统是指对无人机所处空间环境进行动态感知与预测,通过控制算法对飞行路线加以实时修正,躲避静态或动态障碍物的一整套技术解决方案。在传统思路下,无人机往往依赖提前规划好的航线或简单的“碰撞—退避”算法应对障碍,但此类模式灵活性有限。同时,随着城市环境的复杂化,各类障碍物可能随时出现,促使智能避障成为无人机自主飞行的核心需求。

2. 人工智能技术嵌入

在嵌入人工智能技术之前,无人机采用的多是简单的状态机或基于传感器的单一判断方式。然而,融合深度学习、强化学习以及多传感器融合等AI方法后,无人机将具备更高层次的环境认知与行为决策能力,能够“学习”并“适应”多变的飞行环境。例如,通过卷积神经网络对前方图像进行障碍物检测,可精准识别道路、建筑物、树木与人群等多种目标;再辅以基于传感器融合的滤波算法(如卡尔曼滤波或粒子滤波),就可实现复杂场景下的动态避障。

3. 系统应用场景及发展趋势

面对多样化的应用需求,无人机避障系统不仅要在平坦开阔地形中运转,还需应对城市高楼群、丛林等环境;甚至在应急救援任务中,还要对烟雾、尘埃、夜间低光等不利条件做出反应。展望未来,随着算法优化和硬件算力的提升,避障系统会进一步朝着轻量化、高精度与多任务并行的方向演进,结合5G/6G通信网络,还可以实现无人机集群间信息的协同共享。人工智能将持续作为支撑力量,使无人机在各种场景下拥有更强的自主决策与环境感知能力。

二、无人机避障系统模块分析

无人机的环境感知不仅依赖单一传感器,更需要采用多源数据融合的方法来构建高精度场景模型。视觉模块、激光模块与雷达模块作为三种较具代表性的感知方式,常在无人机避障系统中被综合应用,进而赋予无人机完善的“感官”能力。在设计和实现时,这三个模块既相对独立、又高度耦合,共同完成环境信息的采集与处理。

1. 视觉避障模块

(1) 图像采集与处理

视觉避障主要基于摄像头获取图像序列,然后使用图像处理 and 计算机视觉算法对环境进行识别与分析。由于无人机在飞行过程中,往往要经受姿态变化、运动模糊以及光照条件不稳定等因素,如何让视觉系统在动态环境中获得清晰而准确的图像信息是首要挑战。可通过在无人机云台上集成陀螺仪和加速度计,对摄像头视角进行实时校准,进而维持相机视场的稳定。此外,采用OpenCV等图像处理工具或定制化的视觉算法,对采集到的图像做滤波、边缘检测以及特征提取,可有效完成障碍物位置的初步判定。

(2) AI算法与识别机制

为了进一步提升视觉避障的准确率与实时性,会将深度学习算法融入到目标检测和语义分割中。典型模型包括YOLO系列以及SSD(等,其优点是在单帧图像上即可完成多类别目标检测与定位。对于无人机而言,如要识别三维障碍物的相对距离,需要结合双目视觉或多视角视觉成像技术,运用双目视差测距公式:

$$d = \frac{f \times B}{x_L - x_R}$$

其中, f 表示摄像头焦距, B 为左右摄像头基线宽度, x_L 与 x_R 分别代表左右图像平面中同一障碍物点的像素坐标。在人工智能算法的支持下, 系统可快速完成特征匹配与视差估计, 实现对障碍物的实时三维定位。

2. 光避障模块

激光传感器在测距精度与响应速度方面具有明显优势, 适合高精度的飞行场景或对避障要求相对苛刻的任务场景。根据测距原理的不同, 激光避障模块通常可分为三角测距法与飞行时间测距两类。

(1) 三角测距法

三角测距主要基于几何学原理: 发射器和接收器之间的基线长度与激光返回偏移角度之间存在固定的关系。若已知激光的发射角度与接收角度, 就能通过三角函数求得障碍物距离。其数学形式可概括如下:

$$d = \frac{b \cdot \sin(\theta_1)}{\sin(\theta_2)}$$

其中, b 为发射器和接收器的基线长度, θ_1 代表激光发射角度, θ_2 代表接收端接收到反射激光时的角度。

该方法适用于短距离高精度测量, 能够在毫米级或亚毫米级别提供较高的测距精度。然而, 随着测距距离的增加, 激光束的散射效应和环境光噪声的干扰会导致测量误差加大。当激光照射到反射率较低或表面粗糙的目标时, 回波信号可能较弱, 影响接收器的信号处理能力。因此, 在实际应用中, 通常会结合滤波算法或数据拟合技术, 以提高测量精度并降低外部环境因素对测距结果的影响。

(2) 飞行时间测距

飞行时间测距 (ToF) 通过测量激光脉冲从发射到接收所需的时间来判断物体距离, 其基本公式为:

$$d = \frac{c \times t}{2}$$

其中, c 为光速常数, t 为激光从发出到接收所经历的时间。由于光速极快, 测量过程中哪怕是极小的时间误差 (如纳秒级) 都会导致较大的测距偏差, 因此需要采用高精度的定时电路与高速数据采集系统。

相比三角测距法, ToF 测距方法不依赖于角度测量, 而是直接计算光的传播时间, 因此更适用于远距离测量场景。该方法具有较好的稳定性, 在数十米乃至数百米范围内依然能够保持较高精度, 因此广泛应用于激光雷达、无人机避障、自动驾驶以及机器人导航等领域。ToF 测距系统还可采用单脉冲或连续波模式, 前者适用于高精度点云测量, 而后者可通过相位测量技术提高测距分辨率。

尽管 ToF 测距方法具有直接性和远距离适应性, 但在实际应用中仍面临挑战。例如, 由于光速极快, 若定时电路的分辨率不足, 则难以精确测量极短的时间间隔。因此, 现代 ToF 测距设备通常搭配高频时钟源 (如 GHz 级别的高速时钟), 并结合时间数字转换器来实现纳秒甚至皮秒级的时间测量。由于环境光干扰、散射现象以及目标表面的反射率不同, ToF 测距可能会受到噪声影响, 因此通常结合信号滤波、背

景光抑制和多次测量平均技术, 以提升测量精度和稳定性。

(3) 数据融合与精度提升

在激光测距过程中, 环境光干扰、散射等因素都会造成测量噪声。若只依赖单一激光模块, 噪声可能引发障碍物识别错误, 因此往往会与视觉数据或雷达数据相融合, 使用滤波算法及概率统计模型提高精度。例如, 将激光获得的精确距离信息与视觉图像中的障碍物轮廓特征相匹配, 可进一步降低姿态抖动和噪声带来的负面影响。多源传感器信息通过 EKF (Extended Kalman Filter) 或 UKF (Unscented Kalman Filter) 等方法做融合后, 能在复杂场景下达到更高的鲁棒性。

3. 雷达避障模块

与视觉和激光相比, 雷达往往擅长于在恶劣天气或低能见度环境中工作。尤其毫米波雷达和相控阵雷达在检测范围、抗干扰能力和对障碍物材质的适应度方面都具备独特优势。

(1) 工作原理与测距方式

雷达通常通过发射电磁波脉冲并捕捉到反射信号, 进而测量脉冲往返时间来计算目标位置。对于无人机避障需求来说, 使用毫米波雷达可将探测精度提升至厘米级别, 同时对雾、烟或弱光环境也有较强的穿透能力。雷达测距与 ToF 激光原理相似, 即根据波的传播速度乘以往返时间的一半来计算距离, 但电磁波在空气中的速度基本与光速相当, 故需要使用精密的信号处理硬件和算法来实现实时定位。

(2) 信号处理与 AI 融合

雷达获得的回波数据往往包含大量的背景杂波和多普勒频移信息, 需要利用脉冲压缩、频谱分析以及 CFAR 等技术对目标进行检测和跟踪。随着人工智能技术的发展, 将深度学习模型嵌入雷达信号处理流程, 可在识别障碍物属性、预测运动轨迹等方面发挥重要作用。如结合 RNN 或 LSTM 模型对多帧回波数据进行时间序列分析, 可更精准地判定障碍物的相对速度及加速度, 从而提升决策可靠性。

三、结语

综上, 无人机避障系统依托视觉、激光和雷达多模块协同工作, 通过人工智能算法完成信息融合与自主决策, 既能够在多变环境中高效运行, 又为无人机在更多任务场景下拓展应用空间提供了有力支撑。随着硬件性能的升级和算法的持续优化, 此类系统未来可能进一步发展成“类人脑”模式, 将感知与决策紧密耦合, 甚至能在不确定和动态演化环境中实现自适应学习。人工智能与无人机技术的相互交融, 势必在行业内带来更多令人瞩目的创新与变革。

[参考文献]

- [1] 董振鹏, 龙飞虎, 周德旭. 机器视觉在无人机智能避障的应用方法研究[J]. 新型工业化, 2021, 11 (03): 12-13.
- [2] 李安靛, 武丁杰, 李诚龙. 低空无人机自主避障算法综述[J]. 电光与控制, 2021, 28 (08): 59-64.
- [3] 查勇. 无人机编队避障与控制技术研究现状及发展趋势[J]. 中国设备工程, 2021, (06): 188-189.