

基于深度学习的无人机自主导航算法优化

陈祥阳

浙江威航智能科技有限公司 浙江 杭州 310000

摘要: 伴随科技的迅猛前行,无人机的运用范畴持续拓展,从民用层面的拍摄测绘、物流投送,直至军事领域的侦察探测。自主导航技术堪称无人机得以高效、稳定运作的核心要素。往昔传统的导航算法于复杂环境里,精准度欠佳且适应性较弱,而深度学习以其卓越的数据处置以及模式识别本领,给无人机自主导航算法的改良创造了崭新机遇。此篇文章对基于深度学习的无人机自主导航算法展开深度探究,剖析其当下状况、面临挑战以及优化举措,期望借此促使无人机自主导航性能得以提升,助力相关技术不断向前发展。

关键词: 深度学习;无人机;自主导航算法;优化策略;环境感知

引言

无人机集成多种先进技术,近年发展极为迅速。其灵活性高、成本可把控、能涉足危险区域等优势突出,在众多领域广泛应用。民用领域,农业植保无人机精准洒药助力提升生产效率,物流无人机探索攻克“最后一公里”配送难关。军事上,可深入敌方区域执行侦察获取情报,降低士兵伤亡风险。但在城市高楼、山区等复杂环境及恶劣天气下,无人机自主导航面临难题。传统GPS、惯性导航等算法,难以满足高精度、强适应性导航需求。深度学习技术的兴起,有望为无人机自主导航能力带来革新。

1 无人机自主导航技术概述

1.1 传统导航算法介绍

全球定位系统(GPS)是无人机常用导航方式,靠接收卫星信号确定自身三维位置以实现导航。开阔区域定位精度可达米级甚至亚米级,且全球覆盖。可在城市高楼、峡谷、森林等环境中,信号易被遮挡、干扰,造成定位误差变大,甚至无法定位。惯性导航系统(INS)运用陀螺仪和加速度计测量无人机加速度、角速度,经积分运算推算位置、速度、姿态。其自主性强,短期精度高,GPS信号丢失时能提供连续导航信息。只是随时间推移,惯性器件测量误差会累积,导致长期导航精度降低,定位偏差增大。

1.2 深度学习在无人机导航中的引入

深度学习模型可对无人机摄像头采集的海量图像数据学习,识别各类环境特征。与传统视觉导航手工设计特征不同,能自动提取更具代表性、鲁棒性特征,精准感知周围环境,为导航决策提供丰富信息。经大量不同环境数据训练,深度学习模型能掌握环境变化规律,有较强自适应能力。无人机进入新环境或遇环境变化,可

依已学知识快速调整,实现稳定导航,传统导航算法则常需针对特定环境进行复杂参数调整,适应性差。深度学习与强化学习结合,助力无人机实现智能决策。强化学习让无人机在环境中不断试验探索,根据奖励反馈学习最优导航策略,使无人机在复杂环境中可自主规划飞行路径、避开障碍物,高效抵达目标位置。

1.3 深度学习在无人机导航中的应用现状

运用R-CNN系列、SSD和YOLO系列等深度学习目标检测算法,无人机可快速精准识别图像里行人、车辆、建筑等目标。这对复杂城市环境导航意义重大,助其及时发现危险、障碍物并避障。语义分割技术给无人机拍摄图像各像素点分类,标注不同物体像素区域,让无人机更好理解周边环境,精确感知自身位置与环境布局,为路径规划提供准确信息。有的研究用深度强化学习算法,让无人机在模拟环境经大量训练,学会依当前环境选最优动作,实现从起点到目标点安全高效飞行。

2 基于深度学习的无人机自主导航算法关键技术

2.1 环境感知与数据采集

多传感器融合技术整合不同传感器数据,发挥各自优势。摄像头识别目标与环境特征,激光雷达精确测距提供三维信息,毫米波雷达在恶劣天气性能稳定,融合后构建更可靠环境模型,提升环境感知能力。深度学习模型性能依赖大量高质量训练数据,可从真实或模拟环境采集。真实环境采集时,无人机在多样地形、不同天气及光照条件下飞行,采集后的数据需精确标注物体类别、位置、姿态等,标注虽耗时耗力,却是训练准确模型的基础^[1]。无人机飞行实时产生海量传感器数据,快速处理对实时自主导航至关重要。利用GPU、FPGA等硬件加速技术加速深度学习模型计算,优化数据处理算法,删减不必要步骤,如采用轻量级模型结构,在保证精度

的同时降低计算复杂度,实现快速环境感知与决策。

2.2 深度学习模型构建与训练

CNN擅长图像,能自动提取空间特征,在目标检测等环境感知任务中广泛应用。RNN和LSTM适合时间序列数据,如无人机飞行轨迹数据,可对历史信息建模,用于预测未来状态与规划路径。实际应用需依任务和数据特点合理选择、优化模型,如在CNN中引入注意力机制提升小目标检测能力,改进LSTM结构处理长序列飞行数据。训练优化算法对提升模型训练效率和性能很关键。常见的如SGD及其变种,通过调参数降低损失函数值优化模型。训练时可采用学习率调整、正则化等技巧,加速收敛并增强模型泛化能力,还能利用分布式训练技术并行任务,缩短训练时间。模型训练后要全面评估,判断是否符合自主导航性能要求,评估指标涵盖目标检测的准确率、召回率、mAP,语义分割的IoU,路径规划的成功率等。

2.3 导航决策与路径规划

作为智能体的无人机,在环境里做出动作,依据奖励信号去摸索最优策略,像避开障碍抵达目标会收获正奖励,要是碰撞或者偏离就得到负奖励,经过多次试错来掌握最佳行动方式。为提升效率、增强稳定性,常和深度学习相结合构建价值与策略网络,借助深度学习的特征提取和函数逼近能力,加快学习进程。自主导航的核心在于路径规划,目标是找到安全又高效的飞行路线。深度学习算法里,一种是把环境地图输入模型,预测位置代价,接着通过搜索算法找寻最优路径;另一种是凭借强化学习,让无人机直接学会飞向目标点,无需构建地图。实际应用中,要考虑无人机动力学约束等情况,对路径进行平滑处理,还要验证其可行性。因无人机飞行处于动态环境,基于深度学习的导航算法得实时更新环境信息,及时调整决策。

3 基于深度学习的无人机自主导航面临的挑战

3.1 计算资源与实时性矛盾

无人机自主导航为达成高精度环境感知与智能决策,常借助深度卷积神经网络、多层循环神经网络等复杂深度学习模型。这些模型参数众多,计算节点繁杂,推理和训练阶段需开展海量矩阵运算^[2]。例如先进目标检测模型处理高分辨率图像,单次推理的计算量能达数十亿次浮点运算,这对无人机搭载的计算设备性能提出极高要求。可无人机受限于体积、重量和功耗,难以配备高性能计算设备,一般采用小型化、低功耗的嵌入式处理器,其计算和内存能力远不及传统高性能计算机。在无人机上运行复杂深度学习模型时,计算资源极为匮

乏,难以满足实时性需求。毕竟无人机飞行期间需要快速对环境变化做出响应,自主导航系统通常要求在毫秒级时间内完成环境感知、决策制定以及路径规划等任务。计算资源不足会造成无人机导航性能下滑,产生导航延迟、决策失误等状况,面对突发情况时无法及时避障,进而引发碰撞事故。

3.2 模型泛化能力不足

无人机自主导航里,深度学习模型的泛化能力要依靠大量多样训练数据,只是数据采集有不少难题。现实环境繁杂,难以把各类情况都全面采集到,并且数据采集既花时间又耗精力,在危险区域采集还有安全风险。如此一来实际训练数据集就存在局限,没办法覆盖无人机可能遇到的所有环境,使得模型在新环境里泛化能力不好,导航性能降低。无人机飞行环境受地域、气候、时间等因素影响变化多,不同城市、山区环境不一样,天气、光照改变,都会对无人机视觉感知产生影响。复杂环境变化让训练好的模型难以适应新环境,很容易出现导航决策错误。为提升模型在训练集上性能,要是增加模型复杂度或者延长训练时间,就容易引发过拟合。在数据局限、环境复杂的状况下,过拟合问题在无人机自主导航中格外突出,严重制约了模型泛化能力与实际应用效果。

3.3 安全与可靠性问题

深度学习支撑下的无人机自主导航算法,包含环境感知、模型推理等多个繁杂环节。硬件故障、软件漏洞以及数据噪声,极易导致深度学习模型输出错误的环境感知结果;强化学习算法存在陷入局部最优解的可能,而路径规划算法在复杂环境里也有计算失误的风险^[3]。无论哪个环节出现异常,都极有可能致使无人机导航系统崩溃,或者造成决策失误,所以提升算法稳定性,对于保障无人机飞行安全意义重大。随着深度学习技术广泛应用,无人机自主导航面临新的威胁。恶意攻击者能够设计出对抗样本,对无人机的深度学习模型进行干扰,比如在视觉传感器前放置干扰物品,或者借助无线通信发送虚假数据,从而误导无人机做出错误决策。

4 基于深度学习的无人机自主导航算法优化策略

4.1 轻量级模型设计与硬件加速

轻量级模型靠简化架构、削减参数数量来降低计算复杂度,还能维持一定精度。使用深度可分离卷积替换传统卷积,减少卷积运算里的参数;构建紧凑网络结构,去掉冗余层与连接。MobileNet系列模型运用深度可分离卷积,在大幅削减计算量的同时,于图像分类、目标检测等任务中性能尚佳,契合无人机有限硬件资源下

的实时推理。GPU有强大并行计算能力,可极大加快深度学习模型的矩阵运算,部分高端无人机已着手集成小型化GPU模块,提升模型推理速度。FPGA具备可重构特性,能够依照深度学习模型需求定制硬件电路,达成高效计算,将深度学习模型部署在FPGA上,能在低功耗状态下迅速完成推理任务。

4.2 数据增强与迁移学习

数据增强通过对原始数据进行变换来扩充训练集,让数据更具多样性。于无人机视觉导航范畴,对采集到的图像进行随机翻转、旋转,以此模拟不同拍摄角度;改变亮度与对比度,使之适应不同光照环境。像图像的翻转、旋转、缩放、裁剪以及亮度对比度的调整等,都是常见办法^[4]。这么做无需增加实际采集量,便能丰富训练数据的特征,帮助模型学习到更具普适性的特征表达,提升其在不同环境下的导航性能。迁移学习会借助在其他相关任务或大规模数据集上预训练好的模型。比如在大规模图像数据集ImageNet上预训练的深度学习模型,已学到大量图像特征。把这些模型的参数迁移到无人机目标检测或语义分割模型中,可加快模型收敛速度,降低对海量标注数据的依赖。就拿在ImageNet预训练的ResNet模型来说,经过微调后用于无人机拍摄图像的建筑物检测,能让模型快速适配无人机导航任务的特点,在有限数据情况下提升泛化能力,减少训练成本与时长。

4.3 安全保障与可靠性提升

模型训练时,强化对异常数据的察觉与处置,防止异常数据干扰模型训练。引入模型融合技术,把多个结构不同或训练方式各异的模型整合,综合它们的输出结

果,提升决策的精准度与可靠性。比如融合基于不同特征提取方法的目标检测模型,能减少单一模型的误判^[5]。面对对抗攻击风险,开展对抗训练,把对抗样本纳入训练数据,让模型在训练中学会识别、抵御对抗攻击,增强模型的鲁棒性。采用防御性蒸馏等技术,对模型做特殊处理,降低模型对对抗样本的敏感度。在数据安全与隐私保护层面,运用加密技术对无人机采集、传输的数据加密,保障数据在传输、存储时的安全。

结语

深度学习给无人机自主导航带来革新契机,可也面临计算资源、模型泛化还有安全可靠这些难题。轻量级模型设计、硬件加速、数据增强与迁移学习,外加强化安全保障手段等优化办法,能切实提高无人机自主导航性能。伴随技术持续发展,往后无人机自主导航算法有希望于更多复杂场景实现高精度、高可靠运作,进一步拓展无人机在民用和军事领域应用范围,为各行业发展添入新动力。

参考文献

- [1]李贝贝.基于深度强化学习的无人机自主避障导航算法研究[D].西安电子科技大学,2024.
- [2]魏逸飞.人机共融环境下基于深度强化学习的移动机器人自主导航方法研究[D].江苏科技大学,2024.
- [3]郭子恒,蔡晨晓.基于改进深度强化学习的无人机自主导航方法[J].信息与控制,2023,52(06):736-746+772.
- [4]郭子恒.基于深度强化学习的无人机自主导航算法研究[D].南京理工大学,2022.
- [5]张运涛.面向无人机自主避障导航的深度强化学习算法研究[D].东南大学,2021.