

基于5G网络的eVTOL城市低空运行避撞策略探析

明 卉

上海民航职业技术学院通用航空与无人机学院, 上海 200232

摘要: 目前城市空中交通行业正处在快速发展阶段, 电动垂直起降飞行器(eVTOL)作为一种新型交通工具, 展现出广阔的发展前景。然而, 城市低空环境复杂, eVTOL运行面临诸多安全挑战, 其中避撞问题尤为关键。5G网络凭借其高速率、低时延、广连接的特性, 为eVTOL城市低空运行避撞提供了新的技术途径。本文深入探讨基于5G网络的eVTOL城市低空运行避撞策略, 旨在提升eVTOL运行的安全性与可靠性, 推动城市空中交通的可持续发展。

关键词: 5G网络; eVTOL; 城市低空运行; 避撞

DOI: 10.64649/yh.shfzykjc.issn3078-8994.202605001

1 引言

1.1 研究背景

近年来, 城市化进程不断加快, 地面交通拥堵问题愈发突出, 城市空中交通成为缓解这一困境的潜在解决方案, 正受到越来越多的关注。电动垂直起降飞行器(eVTOL)具有垂直起降、无需跑道、低噪音、低排放等优点, 适合在城市及其周边区域开展短途运输, 包括空中出租车、物流配送、应急救援和旅游观光等, 展现出广阔的应用前景^[1]。然而, eVTOL的实际运行高度主要受电池能量密度、旋翼/推进系统效率、电机功率等技术性能限制, 以及空域管理规则和避撞要求的双重制约。在当前技术条件和主流监管框架下, 其典型运行空域一般集中在400米以下的中低空区域^[2]。但是, 城市低空环境中有不少障碍物, 如其他飞行器、建筑物、高压线、通信塔等, 而且飞行密度还在不断增加, 这使得eVTOL运行的安全风险显著上升^{[3][4]}。此外, 当前城市低空交通管理体系还不够完善, 缺乏统一的空域规划和交通规则, 不同类型飞行器之间协同运行的难度较大。因此, 如何在有限的低空飞行空间内保障eVTOL的安全, 成为一个亟待解决的关键问题。

1.2 eVTOL城市低空运行现状

eVTOL属于新型飞行运输工具, 国内该领域当前正处在从技术验证转向商业化运营的关键过渡阶段, 多个城市已经开展eVTOL的试点运行工作, 落地项目覆盖了多类应用场景。比如深圳将eVTOL用于城市观光旅游项目, 已经完成试飞, 武汉把eVTOL应用在城市短途通勤场景, 已经完成首飞, 台州使用eVTOL开展陆岛医疗物资运输测试, 也验证成功, 各地还有不少同类试点。尽管技术上已具备初步可行性, 但是要想真正投入商业运营仍有许多安全方面的问题需要解决, 其中空中避撞问题最为关键。

2 5G网络技术及其对eVTOL运行的支持

2.1 5G网络特性

5G网络具有高速率、低时延、广连接的显著特性。其理论下行速率可达20Gbps, 上行速率可达10Gbps, 能够满足eVTOL大量数据传输的需求, 如高清视频图像、飞行状态实时数据等。5G网络的端到端时延可低至1ms, 相比4G网络大幅降低^[5]。此外, 5G网络每平方公里最多可支持100万个连接, 可承载大量eVTOL同时在线运行, 符合未来城市空中交通的高密度需求。

通信技术的迭代升级从未停止。5G-A作为5G的增强版本, 在原有特性基础上进一步升级。5G-A的峰值速率可突破100Gbps, 时延进一步降低, 同时还引入了通感一体、智能超表面等新技术, 提升了网络的感知能力和覆盖范围^{[6][7][8]}。与此同时, 6G技术作为未来的发展方向, 正朝着空天地一体化通信、智能泛在连接、普惠智能服务等目标迈进, 将实现全域无缝覆盖、极致性能体验和深度智能融合。这种持续演进所构建的高效、低时延、广域覆盖的网络环境, 是支撑eVTOL安全低空运行的核心技术基础。尤其对实时避撞决策具有决定性意义, 能够保障关键数据与控制指令的即时、可靠传输, 从技术层面消除因通信延迟引发碰撞事故的风险。

2.2 5G网络对eVTOL运行的支持

目前国内5G网络的高空覆盖推进情况较好, 多座城市已经完成特定高度范围内的低空区域覆盖, 为低空经济的发展提供了相应支撑。比如, 北京部分区域的5G-A已经完成300米以下低空的连续覆盖; 南京已在主要城区建成5G-A低空通信专网, 可适配600米以下空域的各类业务通信要求; 苏州已落地“空地一体”5G覆盖方案, 600米低空组网环境下5G覆盖率为99.2%, 还有不少案例。国内三大电信运营商正

在筹建低空智联网，会深度融合信息通信、人工智能、大数据等技术，为低空飞行活动提供各环节的信息支持与服务保障。

eVTOL与地面控制中心、其他飞行器之间的稳定、高速通信，可由5G网络提供支撑。飞行过程中，eVTOL会实时回传自身的飞行状态数据，也会接收地面控制指令、周边飞行器的位置等信息，实现信息共享与协同飞行。深圳开展的5G低空专网试点结果显示，eVTOL借助5G网络与地面控制中心保持了稳定通信，数据传输延迟有所降低，飞行安全性也有提升。

3 基于5G网络的eVTOL避撞策略

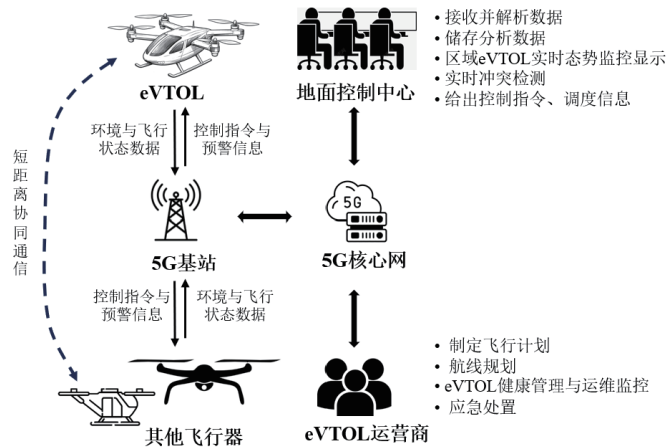


图1 基于5G网络的eVTOL避撞系统架构图

图1展示了eVTOL、地面控制中心、5G基站、5G核心网及运营商之间的信息交互流程。eVTOL通过搭载的传感器实时采集飞行状态与环境数据，并通过5G网络将数据上传至地面控制中心，同时接收来自地面控制中心的控制指令与调度信息。地面控制中心负责数据解析、态势监控与冲突检测，并将指令下发至eVTOL及其他飞行器，实现协同避撞。5G基站和核心网作为通信枢纽，保障了高速、低延迟、广连接的通信环境，使eVTOL能够在复杂城市低空中安全、高效地运行。

3.1 实时态势感知

利用5G网络的高速率和广连接特性，构建eVTOL实时态势感知系统。eVTOL配备多类传感设备，包括毫米波雷达、激光雷达、红外摄像头等，这类设备可实时采集飞行器周边的环境信息，覆盖障碍物的位置、外形、运动状态等内容。海量感知数据可经5G网络快速传递到地面控制中心，以及其他同空域运行的相关飞行器。eVTOL本身也可经5G网络，接收周边其他飞行器上报的运行状态数据。地面控制中心内，运用大数据分析人工智能算法，对这些多源数据开展融合处理，生成覆盖全面、精度高的城市低空飞行态势图，同步呈现eVTOL、周边障碍物及其他飞行器的位置、速度、航向等各类参数，为避撞决策提供依据。

3.2 冲突检测与预警

地面控制中心实时监控管控区域内的eVTOL，通过实时态势感知系统进行冲突检测与预警。系统会测算每架eVTOL与周边物体的相对位置、速度和运动轨迹，判断后续一段时期是否存在碰撞的可能，排查出潜在冲突后，依托5G网络的低时延特性，第一时间把预警信息发给eVTOL和运营商。比如，若某架eVTOL和前方障碍物或其他飞行器的间距接近安全阈值，系统会借助5G网络在毫秒级时限内把预警信息推送至eVTOL的飞行控制系统，同步告知地面控制中心，方便后续开展对应处置。预警信息包含冲突目标的位置、预计碰撞时间、建议避让方向等内容，能给eVTOL驾驶员或自动驾驶系统留出足够的反应时长。

3.3 避撞路径规划与控制

在接收到冲突预警后，eVTOL的飞行控制系统或自动驾驶系统利用5G网络获取的实时信息，结合预先设定的避撞规则和算法，快速规划出安全的避撞路径。避撞路径规划需综合考虑多种因素，如空域限制、障碍物分布、其他飞行器的运行状态等。规划出避撞路径后，通过5G网络将控制指令传输至eVTOL的动力系统和飞行姿态控制系统，实现对eVTOL飞行轨迹的精确控制，使其按照规划路径安全避让。例如，当eVTOL检测到与前方飞行器存在碰撞风险时，系统通过5G网络迅速获取周边空域信息，规划出向上爬升或侧向避让的路径，并通过控制指令调整eVTOL的飞行姿态和动力输出，实现安全避撞。

3.4 多eVTOL协同避撞

城市低空运行场景下，经常出现多架eVTOL同时作业的情况。依托5G网络的通信性能，可完成多架eVTOL的协同避撞。每架eVTOL通过5G网络将自身位置、速度、飞行意图等数据实时同步至周边其他eVTOL，若某架eVTOL监测到飞行冲突，自身开展避撞操作，同步通过5G网络将冲突信息及自身的避撞决策发送至周边可能受波及的其他eVTOL。其余eVTOL根据接收到的信息，结合自身运行状态，协同调整飞行路径，防止因各机自主避撞而诱发新的飞行冲突。举个例子，在流量较大的城市低空区域，多架eVTOL依托5G网络组成协同飞行网络，若其中一架eVTOL遇到突发障碍物需要紧急避让时，它将避撞数据发送至周边其余eVTOL，其余eVTOL参考这些数据调整自身飞行路径，保持安全飞行间隔，实现整体的协同避撞，保障空域内所有eVTOL的运行安全。

4 技术挑战与应对措施

4.1 5G网络覆盖与信号稳定性的挑战及优化

城市低空的运行环境比较复杂,建筑物遮挡、地形起伏,会让5G信号出现衰减或中断,建筑密集的城区还可能形成信号盲区,干扰eVTOL与地面控制中心、其他飞行器的通信质量,对避撞系统的实时性与可靠性造成干扰。

要应对当前的相关挑战,可依托多类方法优化5G网络在低空环境的部署,具体可做几方面调整:对城市中心及eVTOL高频飞行区域,要适当提升基站布设密度,合理规划基站点位排布减少遮挡。分布式天线系统和中继器可用于拓展信号的覆盖范围,自适应波束赋形等技术可同步投入使用,动态调整信号发射方向与强度,提升信号传输的连续性与稳定性。

4.2 数据安全与隐私保护的挑战及强化措施

eVTOL运行阶段生成的大量数据,都和飞行安全、用户隐私直接相关,这类数据依托5G网络传输时,存在被窃取或篡改的可能,一旦泄露就会触发飞行失控等严重安全事故。

要做好数据安全防护工作,要构建完善的数据安全防护体系,可以结合对称与非对称加密技术,给传输、存储环节的数据完成加密保护,同时部署入侵检测系统、防火墙等设备,加强网络威胁的实时监测与防御。需建立严格的数据访问权限管理制度,保证仅被授权人员可处理相关数据,从多个维度保障数据的安全性与私密性。

4.3 多系统融合复杂性的挑战及标准化推进

eVTOL避撞系统得靠5G网络、传感器、飞控系统以及地面控制中心等多个系统协同配合,不过各系统的接口、协议与数据格式有差异,使得融合难度比较大,系统稳定性受影响。

要处理好这一问题,核心是推进多系统融合的标准化,行业组织、标准化机构及相关企业要联合出台统一的传感器接口、数据格式与通信协议标准,让不同系统可以无缝对接,比如明确传感器输出数据格式适配5G传输要求,统一5G网络同飞控系统二者间的通信协议,可降低集成复杂度,提升整个避撞系统的协同效率和运行可靠性。

5 结论

城市空中交通领域不断推进,eVTOL的城市低空运行需求持续上涨,运行安全是核心要求。5G网络具备的高速率、低时延、广连接特性,已为eVTOL城市低空运行避撞给出了足够支持。搭建依托5G网络的实时态势感知、冲突检测与预警、避撞路线规划与管控,以及多架eVTOL协同避撞类策略,可提升eVTOL的运行安全性,降低碰撞事故出现的概率。不过,这类方案落地时,还存在5G网络覆盖与信号稳定性不足、数据安全与隐私保护难度大、多系统融合复杂度高等问题,可通过优化网络部署、强化数据安全防护、推进多系统融合标准化等方式解决。后续,5G网络技术持续发展与完善,以及配套避撞策略的持续优化,eVTOL有望在城市空中交通领域得到更广泛应用,给大众带来更高效、便捷、安全的出行选择,推动城市低空经济的良性发展。

参考文献:

- [1] 黄子翼. 基于eVTOL的城市垂直交通系统构建[J]. 城市交通, 2024, 22(04): 95-105.
- [2] 朱星宇. 面向城市空中交通的eVTOL飞行器航迹规划研究[D]. 中国民用航空飞行学院, 2024.
- [3] 袁乐平, 谷泽坤, 李东琪. 复杂网络城市空中交通生态下eVTOL运行风险演化分析[J]. 中国安全科学学报, 2024, 34(03): 192-199.
- [4] 王蕊. 面向eVTOL城市空中交通的起降场布局规划研究[C]. 中国城市规划学会城市交通规划专业委员会. 新空间·新业态·新交通——2025城市交通规划年会论文集. 北京市城市规划设计研究院, 2025: 1537-1544.
- [5] 高达峰. 毫米波与MIMO等5G网络关键技术特性研究及多领域创新应用分析[J]. 中国宽带, 2025, 21(09): 40-42.
- [6] 许世东. 5G无线通信技术在城市轨道交通领域的应用研究[J]. 人民公交, 2026, (06): 45-47.
- [7] 范晓磊, 霍燕超. 5G-A通感一体化技术在雄安低空经济区的应用研究与探索[J]. 通信世界, 2026, (03): 41-43.
- [8] 翟新松, 阎娟, 张贺, 等. 基于5G混合专网的城市轨道交通智慧应急平台研究[J]. 现代城市轨道交通, 2026, (03): 86-92.

作者简介: 明卉(1990.10—), 女, 湖北十堰人, 硕士, 讲师, 从事航空器维修技术研究。

项目信息: 上海民航职业技术学院校级课题(项目编号: XJKT-2025-38)。