



Views & Comments

航空移动通信——窄带至宽带的演进

张军^{a,b}^a Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China^b State Key Laboratory of CNS/ATM, Beijing 100191, China

1. 引言

航空运输是国家或地区重要的战略性、先导性和创新性产业，也是国家或地区经济发展和产业升级的驱动力。航空移动通信系统是保障航空运输系统安全高效运行的核心基础设施。随着全球航空运输的快速发展，空中交通管制（air traffic control, ATC）、航空公司运行控制（airline operation control, AOC）、空中旅客通信（airline passenger communication, APC）等航空业务对地空通信系统的通信能力提出了越来越高的要求。传统航空通信系统受限于技术体制、航空应用壁垒等因素，通信效率不高、传输速率有限，难以满足不断增长的大带宽、高可靠、广覆盖的航空多样化通信业务要求。推动航空移动通信由窄带向宽带的发展已成为建设现代化航空运输系统、保障航空运行安全、提高航空运行效率、改善航空服务质量的必然选择，也是国际航空业界形成的共识。

近年来，以5G/B5G通信、卫星互联网为代表的新一代宽带通信技术以及人工智能技术的发展，为航空移动通信系统的发展进步带来了新的可能。与其他领域的通信系统相比，航空移动通信系统作为保障航空器安全高效运行的核心手段，在技术需求、业务场景、政策环境等方面具有自身的特点，发展航空宽带移动通信系统面临着自有的技术挑战。本文将结合航空通信系统的特点，分析航空通信系统宽带化所面临的技术挑战，提出

应对这些挑战的技术对策，在此基础上提出空天地一体化新一代航空移动通信系统的构想，并给出未来发展与应用的建议。

2. 航空宽带移动通信的特点与挑战

航空移动通信系统具有广覆盖、高移动、高可靠、多业务、多场景等特点。按照通信区域可分为机场场面通信、陆地航路通信和跨洋/偏远地区航路通信，覆盖机场场面、起飞、巡航、降落的全飞行阶段；按照通信业务又可分为ATC、AOC、APC等多种业务[1]。

目前机场场面通信除了地空窄带通信系统外，还有航空移动机场通信系统（aeronautical mobile airport communication system, AeroMACS）[2,3]。为提升航路地空通信速率，2009年美国联邦航空管理局（FAA）和欧洲空中航行安全组织（EUROCONTROL）联合提出了L波段数字航空通信系统（L-band digital aeronautical communication system, L-DACS）的技术方案[4,5]；面向空中旅客通信服务，国内外也积极开展了基于3G、4G无线宽带通信技术的地空通信系统（air-to-ground, ATG）试验验证[6]；国际海事卫星组织（International Maritime Satellite Organization, INMARSAT）计划在第5代海事卫星系统中采用Ka频段通信卫星实现全球宽带接入服务。航空宽带移动通信已成为大势所趋。然而，发展航空宽带通信技术仍然面临诸多亟待解决的技术挑战。

(1) 受限带宽资源的地空高速率通信。航空新兴业务的出现也对通信容量提出了更高的要求,如智慧机场大规模设备的智能互联、机场场面实时视频监控、航班“黑匣子”数据实时采集与监控、机上旅客上网等。然而,航空通信容量受制于有限的专用频段,如AeroMACS必须严格限制在5091~5150 MHz有限的频段下使用,L-DACS宽带通信技术的应用面临着频率资源不足的窘境。在有限的带宽下如何实现高速率大容量的信息传输,是航空移动通信系统宽带化首先需要解决的问题。

(2) 在高度动态和复杂的电磁环境中安全可靠的通信。航空飞行事关生命安全,航空移动通信对安全性和可靠性有着极高的要求。然而,航空器起降阶段飞行姿态不断变化,巡航时速达到1000 km,地空无线通信信道时变快、多普勒效应明显;同时,航空器有限空间内密集安装了通信、导航、监视等各类无线电设备系统,一架波音777飞机至少须安装30副天线,机载电磁环境复杂,机载通信存在临频、同频、带外、互调等多类干扰问题。因此,航空宽带通信须解决高动态飞行、多干扰环境下的地空高可靠通信技术挑战。

(3) 全球广域飞行的低时延无缝通信。航空器全球飞行航空通信系统应具备全球广域覆盖能力。同时随着国际民航基于航迹的运行概念(trajjectory based operation, TBO)的提出,要求航空器具备秒级的定时到达控制能力,这对指令共享的实时性提出了更高的要求。而航空器与卫星或地面通信设备相距较远,如何在航空器高速远距离飞行过程中保持连续的低时延通信能力,是航空宽带移动通信系统面临的另一技术挑战。

(4) 多场景多业务的自适应融合通信。有人驾驶、无人驾驶等不同类型的航空器,运输航空、通用航空等不同性质的飞行活动,以及ATC、AOC、APC等不同的业务,对航空移动通信系统的性能有着不同的要求。如何为不同种类飞行活动、不同业务场景下的航空器提供通信性能需求自适应的地空通信服务,是航空宽带通信系统发展所需解决的又一挑战性问题。

3. 实现航空宽带移动通信的技术对策

针对上述航空通信系统所面临的挑战,以下关键技术需要重点突破。

(1) 针对受限带宽资源的地空高速率通信问题,发展高效频谱利用技术。新一代5G/B5G空口技术如新型

调制编码、多址技术[7],大规模天线(massive multiple-input-multiple-output, Massive MIMO)技术[8],全双工通信技术以及智能超表面[9]等无线传输物理扩围技术等,可以有效解决航空通信系统频谱资源受限的问题;此外,使用通信导航监视一体化技术,可以实现与监视、导航频段的复用,或可利用认知无线电技术复用其他频段的频谱资源,提升频谱资源利用率。同时,由于航空通信系统中节点灵活、高动态的特性,传输环境复杂且具有时变性,传统的频谱分配和接入方案无法保障频谱的高效利用,机器学习等人工智能(AI)技术可以实现频谱的智能分配,是支持航空通信高频谱效率的重要候选技术。

(2) 针对高动态多干扰的安全高可靠通信问题,开展机载通信抗干扰与适航符合性技术研究。针对航空系统高动态的问题,时频同步等技术可提高地空传输的抗频偏能力;基于压缩感知、小波变换的强脉冲干扰消除等技术可有效解决复杂机载电磁环境中的抗干扰问题。对于新型航空通信航电系统,亟需突破航电系统的适航安全性、适航符合性验证等基础理论与关键技术[10],为新型机载宽带通信航电系统的研制、适航和验证提供支持。

(3) 针对全球广域飞行的低时延无缝通信问题,发展空天地一体化的航空通信系统。航空器空空通信网络因其节点动态组网、自组织[11]等优点,与地空数据网和航空移动卫星通信系统等同构成空天地一体化网络,可以支撑实现全球无缝覆盖。空天地一体化信息网[12]架构复杂,涉及天、空、地多个通信系统,各系统节点繁多且能力差异大,因此需要设计安全、可靠、高效的网络接口及通信协议,以确保航空器在系统间切换时信号的平滑过渡;部分接入节点移动性较强,因此需要低时延、高效率、健壮的网络结构和灵活的节点组网机制以应对空基接入点的频繁切换。

(4) 针对多场景多业务的自适应融合通信问题,攻克航空异构网络智联技术。航空移动通信涉及卫星通信、机场场面通信、空地通信等多类型异构通信网络,需借助数字传感器、智能终端、全息光传输与5G、AI等智联网关键支撑技术[13],设计安全、可靠、稳定、高效的网络接口,实现异构网络的互联互通、新旧通信体制网络协议的转换。网络功能虚拟化、网络切片等5G核心网技术[14]能够动态管理异构网络资源适配不同业务需要,提供多类型业务服务质量保障;边缘计算、AI等技术可以优化频谱资源分配、飞行器移动性管理等

业务,进一步综合提升网络性能。

4. 新一代航空宽带通信系统构想

新一代航空宽带通信系统将基于空天地一体化信息网络技术的天基、空基、地基多网融合方案,为航空宽带通信网络全球广域覆盖、无缝连接提供技术支撑。如图1所示,天基系统包括高中低轨互联网卫星网络;空基系统包括机载航电系统以及航空器自组网系统;地基系统包括地面通信台站、机场场面通信系统等。

新一代航空宽带移动通信系统能够满足飞行各阶段的业务需求,为航空管制部门、航空公司、机场、旅客、无人驾驶航空等提供可靠的宽带数据通信与增强服务,可强有力支撑未来智慧民航系统各类运行场景的实现,包括机场场面无人驾驶交通系统、航空器智能滑行引导、旅客无感安检等智慧机场的场景,四维精准定时到达、空中交通自主运行、有人机无人机融合运行等智慧空管系统的场景,以及智能飞行驾驶、智慧旅客服务、智慧物流系统等智慧航空公司的运行场景。

5. 发展建议

纵观全球科技发展,新一代通信技术与航空系统的

加速融合发展将倒逼航空移动通信系统的自我革新与跨代发展。航空通信在适航性、安全性、标准化等方面具有严苛要求,新一代航空移动通信系统的发展与应用须做好顶层设计与科学规划。

(1) 系统规划设计新一代航空移动通信的未来发展路径。鉴于机载适航性要求等级的差异,宽带通信新技术及服务的应用总体上建议遵循“先易后难”的发展思路:先应用于通用航空、无人航空,再过渡到运输航空;运输航空方面先应用于航空器客舱、旅客的通信服务,再过渡到航空器前舱的宽带安全通信服务。

(2) 加强与国家空间信息基础设施的协同规划。未来的航空移动通信系统必将依赖于互联网卫星等国家级乃至全球性的空间信息基础设施(spatial information infrastructure, SII)。因此,航空移动通信系统的建设应与空间信息基础设施的发展建设进行协同规划,空间基础设施的频率资源分配、空间载荷设计、系统运行控制等应满足可用性、连续性、完好性等航空通信性能需求。

(3) 加强国际组织间的协调与合作。航空通信新技术的发展与应用必须加强国际组织与国家间的密切协作,特别是应加强国际民用航空组织(ICAO)与国际电信联盟(ITU)、国际航空工业标准化组织的全球协调与合作,统筹协调与优化利用航空通信频率资源,共同制定航空宽带移动通信的技术标准与应用规则。

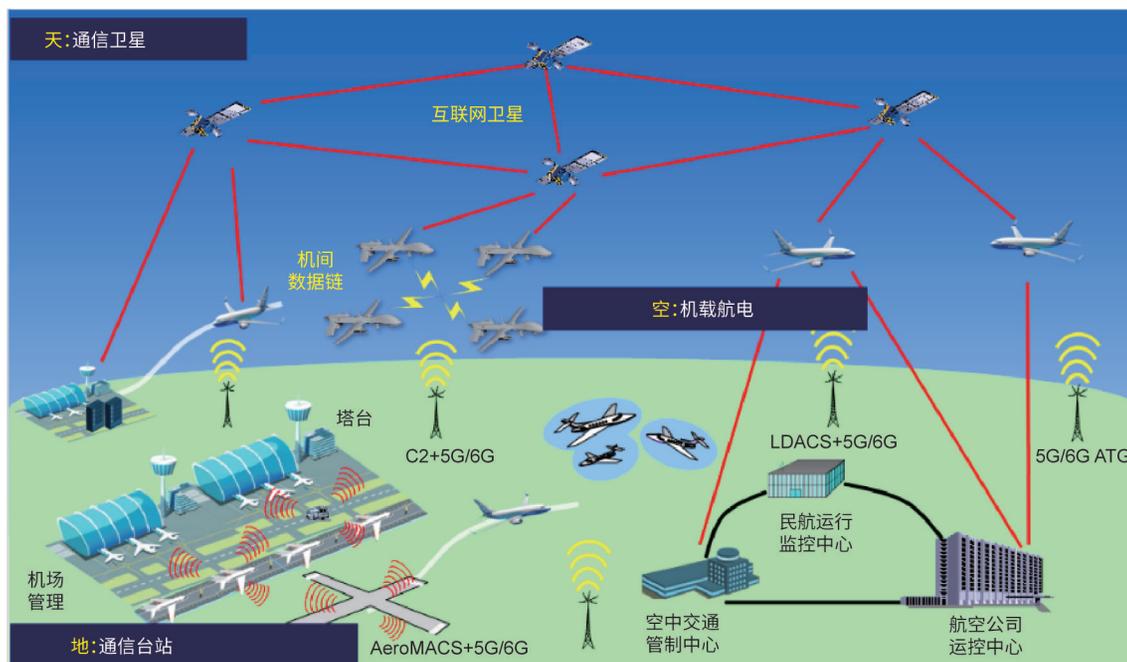


图1. 新一代航空宽带移动通信系统。

References

- [1] International Civil Aviation Organization. ICAO handbook on radio frequency spectrum requirements for civil aviation. 2nd ed. Montreal: ICAO; 2018.
- [2] International Civil Aviation Organization. Manual on the aeronautical mobile airport communications system. Montreal: ICAO; 2019.
- [3] Bartoli G, Fantacci R, Marabissi D. AeroMACS: a new perspective for mobile airport communications and services. *IEEE Wirel Commun* 2013;20(6):44–50.
- [4] Boegl T, Rautenberg M, Haindl B, Rihacek C, Meser J, Fantappie P, et al. LDACS White Paper—A Roll-out Scenario. Report. Montreal: International Civil Aviation Organization; 2019 Oct.
- [5] Schnell M, Epple U, Shutin D, Schneckenburger N. LDACS: future aeronautical communications for air-traffic management. *IEEE Commun Mag* 2014;52(5):104–10.
- [6] International Telecommunication Union. RESOLUTION 251. In: World radiocommunication conference 2019 (WRC-19) provisional final acts. Sharm El-Sheikh: ITUPublications; 2019. p. 545.
- [7] Islam SMR, Avazov N, Dobre OA, Kwak K. Power-domain non-orthogonal multiple access (NOMA) in 5G systems: potentials and challenges. *IEEE Commun Surv Tutor* 2017;19(2):721–42.
- [8] Larsson EG, Edfors O, Tufvesson F, Marzetta TL. Massive MIMO for next generation wireless systems. *IEEE Commun Mag* 2014;52(2):186–95.
- [9] Wu Q, Zhang R. Towards smart and reconfigurable environment: intelligent reflecting surface aided wireless network. *IEEE Commun Mag* 2020;58(1):106–12.
- [10] ARINC 792—2018: Second-generation Ku-Band and Ka-Band satellite communication system. ARINC standard. Cedar Rapids: ARINC Industry Activities; 2019.
- [11] Zhang J, Chen T, Zhong S, Wang J, Zhang W, Zuo X, et al. Aeronautical ad hoc networking for the internet-above-the-clouds. *Proc IEEE* 2019;107(5):868–911.
- [12] Zhu L, Shi J, Zhao Y. Research on integrated space–air–ground communication network based on air-based platform. *Natl Def Technol* 2019;40(6):19–23. Chinese.
- [13] Song L. Intelligent networks and the next generation internet. *China Ind Inf Technol* 2020;9:54–8. Chinese.
- [14] Navarro-Ortiz J, Romero-Diaz P, Sendra S, Ameigeiras P, Ramos-Munoz JJ, Lopez-Soler JM. A survey on 5G usage scenarios and traffic models. *IEEE Commun Surv Tutor* 2020;22(2):905–29.