



大会 — 第42届会议

技术委员会

议程项目24：航空安全和空中航行优先举措

全球导航卫星系统（GNSS）在射频干扰（RFI）环境中的韧性

（由丹麦代表欧洲联盟及其成员国¹、欧洲民用航空会议其他成员国²以及欧洲空中航行安全组织提交，并由加拿大、日本、新加坡和航空公司驾驶员协会国际联合会联署）

执行摘要

有害且非法的全球导航卫星系统（GNSS）射频干扰（RFI）事件持续增多，正逐渐损害民用航空的安全与安保。本文探讨了此类干扰对空中交通管理（ATM）运行环境的当前及未来影响，并分析了在GNSS频率上使用干扰与欺骗设备所引发的安全、安保及网络安全问题。文中指出，干扰机等发射机的获取和使用已愈发容易，因此亟需提升现有通信、导航和监视系统应对GNSS干扰的稳健性与韧性。

行动：请大会注意本文件内容并核准以下行动：

- a) 要求国际民航组织责成其相关专家组和工作组在航空电子设备标准中制定有关提升韧性的措施，并特别注意使其尽可能适用于现役航空器的改装；
- b) 要求国际民航组织针对有人驾驶和无人驾驶自主航空器及电动垂直起降航空器制定标准，包括用于增强应对 GNSS 射频干扰的韧性的适当措施；
- c) 对国际民航组织大会 A41-8 号决议附录 C 第 5 段作如下修订：
敦促各国采取必要措施，避免干扰机等非法发射机的商业化/扩散、购买、持有和使用，并避免滥用可能影响到 CNS 系统的测试和维护设备；
- d) 要求国际民航组织与标准制定机构（如欧洲民用航空设备组织/航空无线电技术委员会）开展协调，提升航空器电子设备架构应对 GNSS 射频干扰的韧性与稳健性，包括推进 GNSS 信号认证工作，并在可行情况下将军事技术应用于民用航空领域；

¹ 奥地利、比利时、保加利亚、克罗地亚、塞浦路斯、捷克、丹麦、爱沙尼亚、芬兰、法国、德国、希腊、匈牙利、爱尔兰、意大利、拉脱维亚、立陶宛、卢森堡、马耳他、荷兰、波兰、葡萄牙、罗马尼亚、斯洛伐克、斯洛文尼亚、西班牙、瑞典

² 阿尔巴尼亚、亚美尼亚、阿塞拜疆、波斯尼亚和黑塞哥维那、格鲁吉亚、冰岛、摩尔多瓦共和国、摩纳哥、黑山、北马其顿、挪威、圣马力诺、塞尔维亚、瑞士、土耳其、乌克兰和联合王国

e) 要求国际民航组织考虑将建立替代方法/机制的必要性纳入《全球空中航空计划》，以便能够实时系统地收集与发布GNSS干扰事件并取代现有航行通告，从而为GNSS性能降级提供精准且用户友好的信息通报服务； f) 要求国际民航组织更新关于驾驶员和空中交通管制员在遇到GNSS干扰时应使用术语的规定及指导； g) 敦促各国加强对可能对民用航空造成有害干扰的系统的监管措施； h) 请各国维持独立于GNSS的最低限度导航监视系统运行网络，并确保空中航行服务提供者与航空器运营人落实相关措施（如培训、运行程序、报告、航空电子设备升级、GNSS监控工具等），以应对GNSS服务丢失或性能降级情况，同时提升陆基导航监视网络的韧性； i) 请制造商支持开发并引入能够有效检测欺骗攻击的稳健服务，例如伽利略OSNMA、SBAS认证服务，以及未来可能由GNSS或SBAS供应商提供的类似服务； j) 请制造商加快技术研发，通过采用补充性的非GNSS系统等手段，提升应对可影响多机载系统的干扰的稳健性和韧性，以便使导航系统更具稳健性，并确保依赖系统的正确与安全运行； k) 敦促业界加速开发具备高效干扰信号抑制、干扰信号定位以及虚假信号空间检测与抑制能力的GNSS接收机/航空电子设备。	
战略目标：	本工作文件涉及战略目标：每次飞行都安全和安保；和航空实现无缝、无障碍和可靠的全民出行。
财务影响：	本文件所述活动将在经常方案预算和/或预算外捐款的可用资源范围内进行。
参考文件：	大会A41-8号决议：国际民航组织关于全球空中交通管理（ATM）系统以及通信、导航和监视/空中交通管理（CNS/ATM）系统的持续政策和做法的综合声明。 Doc 10209号文件：《第十四次空中航行会议（AN-Conf/14）报告》

1. 引言

1.1 全球导航卫星系统（GNSS）在空中航行中发挥着关键作用，随着空中交通管理（ATM）系统的持续现代化，航空业对这些系统的依赖程度将不断提升。除提供精确的定位与导航信息外，许多机载与地面系统均依赖 GNSS 数据获取高精度授时，这对保障其持续安全运行至关重要。

1.2 近年来，对民用航空造成有害影响的 GNSS 射频干扰（RFI）事件呈指数级增长³。2022 年监测到的干扰事件数量激增，随后三年间，干扰与欺骗事件数量均出现急剧上升。在特定地理区域，GNSS 干扰与欺骗行为呈现常态化趋势，导致航空器位置、导航与授时（PNT）性能显著降级。

³ 欧洲地区上报的年度干扰事件从2022年的3 200起激增至2024年的12 000起，致使安全裕度相应降低。

1.3 欧洲方面提交第十四次空中航行会议的关于 GNSS 干扰问题的文件⁴所提出的建议已被纳入最终的《第十四次空中航行会议（AN-Conf/14）报告》（Doc 10209 号文件）中。

1.4 国际民航组织于 2024 年 4 月 30 日就 GNSS 干扰引发的航空安全问题发布了一封国家级信件，其中包含了国际民航组织在土耳其安塔利亚举行的欧洲/中东地区无线电导航研讨会所提出的建议。虽然这些建议在协调应对有害干扰威胁方面取得了一定成效，但应更加重视设备制造商在开发集成度、韧性和稳健性⁵更高的在飞行中依赖 GNSS 数据的系统方面所起的作用。

2. 讨论

2.1 GNSS 射频干扰对民用航空的影响是一种切实的安全风险，其具体表现形式和严重程度可能因航空器装备水平和航空电子设备系统集成度等因素而异。通常而言，航空电子设备系统高度集成的航空器更易受此类影响。由于观测到的效应并非总是可预测的，因此相应的应对措施也可能有所不同。

2.2 GNSS 射频干扰事件还可能影响其他机载系统。例如：通信系统（由 GNSS 为管制员-驾驶员数据链通信（CPDLC）提供授时功能）、导航监视（广播式自动相关监视（ADS-B））（CNS）系统以及其他机载系统，如地形提示与告警系统（TAWS）和作为国际民航组织全球航空遇险与安全系统（GADSS）组成部分的自主遇险跟踪（ADT）系统。

2.3 航空器在遭遇 GNSS 射频干扰后的恢复能力取决于所发生的干扰类型，且恢复过程并非总是自动完成。若受影响系统在飞行过程中未能及时恢复，干扰效应可能在航空器离开受干扰区域后仍持续存在。这种现象可能延伸至新的空域，进而影响空中交通管理，例如需要增大航空器间隔从而导致空域容量下降。此类情况可能导致航空器无法在目的地机场着陆，或出现空中交通管制（ATC）视角下的异常行为，如转弯或爬升。航空器运营人、签派员及飞行机组应持续关注 GNSS 有害干扰区域信息并制定应急预案。因此，提请各国和国际民航组织强调提供现行有效的航行通告（NOTAM）的重要性，及时清理过期及不符合标准的航空情报，以保证有关 GNSS 干扰的安全关键信息在飞行前规划阶段得到充分重视。飞行机组必须具备预估潜在运行中断的能力，并按照飞行机组程序采取应对措施。

2.4 空中交通管制员与驾驶员之间的高效通信对于实施运行缓解措施以保障安全、降低 GNSS 干扰情况下驾驶员和空中交通管制员的工作负荷至关重要。现行的标准化用语尚有改进空间，以提升对航空器和空域所受影响以及所发生的干扰类型等信息的传达效能。空中航行服务提供者（ANSP）需对所辖空域内的 GNSS 运行状态以及进入其空域的航空器导航能力状况进行监控，这些因素可能引发潜在的射频干扰效应，这种需求正日益凸显。

⁴ AN-Conf/14-WP/61 号文件 — “GNSS 应急规划” 及 AN-Conf/14-WP/63 号文件 — “全球导航卫星系统（GNSS）干扰引发的航空安全与安保问题”。

⁵ 在该文件中，稳健性定义为系统在维持可接受性能水平的前提下耐受及抵御 GNSS 干扰的能力，而韧性则指系统从干扰中恢复运行状态的能力。

2.5 各国在优化地面导航网络（如测距仪（DME）、甚高频全向信标（VOR）、仪表着陆系统（ILS））及监视网络（将依赖GNSS的ADS-B等系统与雷达相结合）时，应充分考虑GNSS服务丧失或性能降级风险，以设计出最低运行网络（MON）地面基础设施。

2.6 在地面和飞行阶段实时监控与预警GNSS射频干扰事件可产生立竿见影的效益。利用电子飞行包（EFB）等现代技术实现实时射频干扰数据共享，将显著提升告警信息的准确性与时效性，并优化危险缓解策略。检测到威胁后的应对措施需采取多层次方案。国际民航组织应考虑建立一个推动GNSS干扰信息服务（GIIS）的框架，以提升商业航空对射频干扰数据的全球获取能力。全球航空遇险与安全系统现有成果可作为范例，该系统已成功开发出一个集中管控的数据存储库，用于收集和存储必要的数据并提供这些数据的访问服务，以通知并协助相关利害关系方。

2.7 民用航空通常并非GNSS射频干扰事件的主要目标。但是，未来民用航空可能成为攻击的对象。GNSS射频干扰事件可能导致航空器因丧失导航能力而意外侵入空域，因此不仅构成安全风险，亦存在安保风险。

2.8 干扰与欺骗设备日趋精密且越来越容易获取到。可将国际民航组织大会A41-8号决议：国际民航组织关于全球空中交通管理（ATM）系统以及通信、导航和监视/空中交通管理（CNS/ATM）系统的持续政策和做法的综合声明的附录C第5段的内容进行扩展，将干扰机等非法发射机的购买与持有行为纳入其内。

2.9 预计无人驾驶航空器系统（UAS）和电动垂直起降（eVTOL）航空器等未来技术将高度依赖GNSS进行导航。在针对此类航空器制定标准时，应考虑在GNSS服务丢失或性能降级情况下的系统韧性，以便从成本或重量角度对在这些航空器上安装相关设备的必要性进行平衡。

2.10 针对GNSS系统及接收机制定的新的航空标准应有助于干扰检测以及GNSS信号认证等缓解措施的实施。现有操作系统的升级需要时间，这意味着航空器运营人在未来数年仍将面临GNSS射频干扰的风险。因此，需要增强现有系统的稳健性和韧性，并加强对受GNSS射频干扰影响的空域及航空器的监控，以支持应急程序的实施。