



大会 — 第 42 届会议

技术委员会

议程项目 24：航空安全与空中导航优先倡议

减轻航空业 GNSS 脆弱环节的影响：增强韧性与运行连续性

（由航空航天工业协会国际协调委员会（ICCAIA）、
民用航空导航服务组织（CANSO）、国际航空公司飞行员联合会（IFALPA）
和国际公务航空委员会（IBAC）提交）

执行摘要

本文件分析了当前GNSS的脆弱环节及其对航空业的影响，探讨了可能的缓解措施，并向ICAO及民航界提出一系列建议，旨在减轻GNSS压制式干扰和欺骗式干扰的影响。

行动：提请大会：

- a) 呼吁各成员国开发干扰检测系统和支持手段，及时向运营商提供与运行相关的 GNSS 干扰信息；
- b) 指示 ICAO 与各国及/或行业合作，协助制定相关标准和指引，以便向运行商提供与运行相关的干扰信息；
- c) 指示 ICAO 加快推进相关工作，界定并制定标准，以规范功能超越现有常规导航辅助设备的补充 PNT（C-PNT）系统；；
- d) 指示 ICAO 加快制定针对 GNSS 核心星座及其增强系统的信号认证标准；
- e) 指示 ICAO 与各成员国、标准制定机构（如 RTCA、EUROCAE、IEEE 等）及业界合作，制定覆盖所有飞行领域的时间同步要求和辅助绩效标准，以提升运行安全性与效率。这些标准应包括关于“保障性时间同步”所需等级的指引，涵盖时间同步的精度、完整性和连续性；和
- f) 敦促各国与行业合作，鼓励并支持其持续开发和部署相关技术，以提升 GNSS 接收器及集成该接收器的飞机抵御 GNSS 干扰和欺骗的能力。

战略目标:	本工作文件涉及的战略目标：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:	无

¹ 阿拉伯文、中文、英文、法文、俄文和西班牙文文本由ICCAIA提供。

参考文件:	A32-20: 研究和拟订规范全球导航卫星系统实施的适当的长期法律框架
-------	-------------------------------------

1. 引言

1.1 全球卫星导航系统（GNSS）对现代航空业至关重要。它能提供关键的位置、导航和授时（PNT）信息，以辅助实现多项功能，从而提升运行安全性与效率。然而，压制式干扰和欺骗式干扰等形式的 GNSS 射频干扰事件与日俱增，给航空安全和运行可靠性带来了重大挑战。

1.2 本文件分析了当前 GNSS 的脆弱环节及其对航空业的影响，探讨了可能的缓解措施，并向 ICAO 及民航界提出一系列建议，旨在减轻 GNSS RFI（即压制式干扰和欺骗式干扰）的影响。

2. 讨论

2.1 多年来，GNSS RFI 事件持续增多。纵观当前形势，在全球某些地区，GNSS RFI 引发的运行中断已成为日常现象，使民航运行的安全裕度、可靠性和效率均受到影响。

2.2 对 GNSS 信号的干扰主要分为两大类：1) 无意干扰，包括来自电子设备的信号、环境因素，以及邻近系统（例如存在缺陷或安装不当的 GNSS 中继器）产生的非故意干扰；2) 有意干扰，即旨在干扰 GNSS 信号的蓄意行为，例如压制式干扰和欺骗式干扰。

2.3 GNSS RFI 可能通过多种方式影响 GNSS 系统的性能。干扰可能造成轻微影响，例如参与 GNSS PVT（定位、测速和授时）解算的卫星数量减少；但也可能严重干扰系统运行，导致其无法输出正确数据，甚至可能输出错误数据。

2.4 由于 RFI 导致 GNSS 系统性能下降，在飞机层面，部分系统功能可能失效（如广播式自动相关监视（ADS-B）输出；所需导航性能（RNP）），和/或运行异常（如地形意识和告警系统（TAWS）误报警）。飞机能力下降削弱了航空安全裕度，在某些空域已成为日常现象，在很大程度上是由于飞行活动接近冲突地区所致。

2.5 GNSS RFI：后果

2.5.1 鉴于蓄意压制式干扰和欺骗式干扰日益严重，而飞机运营商几乎没有切实可行的手段来保障运行可靠性，因此减轻 GNSS RFI 带来的风险，已成为关键的风险管理任务。由于全球冲突地区数量众多，且可轻易获取的 GNSS 信号压制式干扰和/或欺骗式干扰技术正在不断扩散，短期内这一状况不太可能改变。

2.5.2 航空电子系统配置的差异，以及各航空公司特有的运行程序，使飞行阶段的程序性应对措施更加复杂；各国监管机构对应急程序的认证方式不一，也进一步加剧了问题的复杂性。

2.5.3 在 GNSS 失效的空域，其条件特性也会影响飞机回退至备用导航方式的过程。一旦依赖 GNSS 的功能和服务丧失，可能导致运行中断，增加机组人员和航空管制员的工作负担，进而降低安全裕度。

2.5.4 即使在大陆空域中可以回退使用常规地面导航辅助设备（GBNA），GNSS RFI 仍可能带来挑战。例如，TAWS 误报警等飞机系统问题，也可能增加飞行安全风险，因为这可能导致机组人员对系统失去信任，进而忽视 TAWS 发出的真实警报。

2.5.5 当受到射频干扰时，机载 GNSS 接收器的恢复时间可能超过 30 分钟，进而增加运行中断的风险。在某些情况下（以北大西洋空域为例），如果基于 GNSS 的服务（例如协调世界时同步）出现异常，例如在到达远洋空域入口点前丧失数据通信，飞机可能会被拒绝进入该空域。

2.5.6 某些欺骗式干扰事件曾导致 GNSS 接收器报告错误的时间和/或日期。在个别情况下，即使飞机已不再接收活跃的欺骗式干扰信号，错误的时间基准仍可能持续存在。这可能会影响多个下游系统。例如，由于有时间同步安全/认证系统检查，可能导致无法登录数据网络。

3. 减轻 GNSS RFI 的影响

3.1 GNSS RFI 是一个非常复杂的问题。在所有运行情境下，没有任何单一措施能够完全奏效。要有效减轻 GNSS RFI 的影响，必须采取多层次的防护手段、接收器和飞机层面的技术解决方案、源头层面的技术解决方案，以及运行层面的缓解措施，例如回退至其他导航方式。

3.2 源头层面的防护。理论上，通过调整卫星及其信号可以增强 GNSS 的抗干扰能力。

3.2.1 源头层面的缓解措施通常需要较长时间才能实施，因为必须替换整个星座中相当一部分卫星，才能具备相应能力。此类技术也存在局限性：一是可用的功率和频宽有限，二是 GNSS RFI 源通常距离受干扰对象更近，因此在物理位置上更具优势。此外，用户设备通常也需作出相应调整，才能让卫星和信号的改进发挥作用，这可能会进一步延长此类缓解措施投入使用的时间。

3.2.2 采用双频多星座（DFMC）GNSS 能在一定程度上增强对 GNSS RFI 的抵抗能力。现代化信号采用更高的码片速率（即更宽的带宽），从而在对抗射频干扰方面具备更高的处理增益。然而，这种优势也有限，相较于全球定位系统（GPS）L1 信号，对 RFI 的抗干扰能力最多只能增加约 15 分贝。此外，未来引入更先进的信号有望进一步提升抗干扰能力，但这一过程可能需要数十年才能实现。DFMC GNSS 的应用已被纳入民航发展路线图，其在提升抗干扰能力方面的作用也已得到充分认可。DFMC 使用两个频段，其频率多样性可在一定程度上缓解仅发生在其中一个频段的 RFI。然而，如果是蓄意的 GNSS RFI，干扰者很可能会同时在两个频段上进行服务阻断攻击或生成欺骗式干扰信号。

3.2.3 针对特定类型的欺骗式干扰攻击，可采用加密认证技术，确保用户追踪的信号确实为真实所需信号，而非欺骗式干扰信号。启用此类技术需对卫星系统和用户设备进行调整，其对信号重放攻击的防护效果可能有限。此外，由于要管理加密密钥并通过安全方式定期更新密钥，这些技术也会给用户群体带来一定负担。目前，业界正在推动将加密认证功能纳入星基增强系统（SBAS）标准的相关工作。伽利略系统（Galileo）已经为其空间标准信号提供加密认证服务。但 ICAO 对这一现有服务的标

准化工作尚处于起步阶段。尽管这些缓解欺骗式干扰攻击的方法在某些情境下可能有效，但若不加快标准化进程，它们在未来许多年内仍将难以投入使用。

3.3 接收器层面的缓解措施。目前已有一些值得关注的技术，可用于在接收器层面减轻 GNSS RFI 的影响。可以采用先进的信号处理算法，提高对压制式干扰和/或欺骗式干扰信号的检测能力。这些技术在检测是否存在 GNSS RFI 方面效果显著。然而，此类接收器缓解技术在识别各类欺骗式干扰攻击（尤其是更复杂的干扰）方面，能力可能仍有不足。

3.4 通过多元天线缓解 RFI 自适应天线或受控接收模式天线（CRPA）在军事领域已有超过 40 年的应用历史。不过，由于多种原因，这类天线尚未用于商业领域。部分 CRPA 技术因其军事用途而受到出口限制。此外，与迄今在民航领域中应用的常规固定接收模式天线（FRPA）相比，CRPA 向来体积庞大、耗电量高，且成本昂贵。尽管出口限制的局面正在逐步改善，但 CRPA 的部署仍面临重大障碍：一方面是高昂的成本，另一方面是在有 RFI 的情况下，否能验证 GNSS 可否维持完整性性能方面存在不确定性。

3.5 飞机 PNT 层面的缓解措施。在飞机层面，可以通过整合多个传感器提供的 PNT 信息，并在各个 PNT 子系统层面（如天线、GNSS、惯性、导航等）实施分层防护，以缓解 GNSS RFI 的影响。这种整合方式既可用于检测 GNSS RFI，也能起到缓解作用。通过将 GNSS 定位结果与其他传感器数据进行交叉比对，可有效识别出多种欺骗式干扰事件。在 GNSS 信号被拒止或出现不可信 GNSS 事件的情况下，多传感器整合系统中的其他非 GNSS 传感器也可以作为 PNT 信息的备用来源。然而，在许多情况下，这些替代导航传感器无法长期提供与 GNSS 等效的服务水平，因此可能需要采取运行层面的缓解措施，例如执行专为传统导航辅助系统设计的替代飞程序。

4. 结论

4.1 目前已有多种技术方案可提升 GNSS 的抗干扰能力，但尚无一种能在所有场景下被证明完全有效。GNSS 的抗干扰能力存在上限，因此，回退至备用导航能力可能始终是整体解决方案中不可或缺的一部分。

4.2 当前大量 GNSS RFI 源于军事活动，且与民航监管机构提前协调往往难以实现。因此，出于飞行安全的考虑，除了回退使用传统导航辅助设备，业界也在进一步探索替代和/或补充定位、导航与授时（APNT 或 CPNT）选项。

4.3 尽管 ICAO 和 ITU 已出台相关决议，航空业仍持续受到 GNSS RFI 影响，因此有必要采取更多措施和行动以保障飞行安全。此外，GNSS RFI 威胁预计还会不断演变升级，因此当务之急是尽快采取行动。