

第 11 次航行会议

2003 年 9 月 22 日至 10 月 3 日，蒙特利尔

B 委员会关于议程项目 6 的报告

（草案）

所附草案构成议程项目 6（6.2 分项）报告的一部分，
提交 B 委员会批准后再提交给全会。

议程项目 6: 航空导航问题

6.2 基于当前和设想的 GNSS 服务、结构、完好性和备选方案的导航政策问题

6.2.1 引言

6.2.1.1 根据目前 ICAO 对引入通信、导航和监视/空中交通管理 (CNS/ATM) 系统的战略的设想, 将从现有的地面导航基础设施逐步过渡到更多地使用卫星的导航基础设施。ICAO 通过制定关于全球导航卫星系统 (GNSS) 的标准和建议措施 (SARPs), 以及出版关于使用基本 GNSS 接收机¹运行的程序和标准, 为这一过渡的初步步骤提供了支持。

6.2.1.2 GPS 已在很多航空器上使用, 特别是在欧洲, 已作为满足基本区域导航 (RNAV) 要求的手段。SBAS 正在发展中, 美国起用了广域增强系统 (WAAS), SBASs 将在 2004-2006 的时间范围内在欧洲、日本和印度投入运行。GBAS 的开发也在进行中, 初期可以支持 I 类精密进近。

6.2.2 GNSS 在提供航空导航服务方面的作用和过渡战略的考虑

6.2.2.1 会议获悉了各国的进展情况, 这些情况表明卫星导航在提供空中航行服务方面已正在发挥与日俱增的作用。一个国家提交了逐步淘汰某些现有的地面设施的计划, 随着商业机队和通用航空的装备取得的进步, 首先停止使用全向无线电信标 (NDPs)。其他一些国家也指出, 由于对卫星导航的依赖日益增强, 它们计划逐步淘汰地面助航设备。

6.2.2.2 会议了解到, 在欧洲地区正在制定一个共同的航空立场, 空域用户和空中导航服务提供者也参与在内。设想的最终目标是利用 GNSS 来实现唯一的导航服务, 条件是这一服务须证明是安全、可靠和成本效益最佳的解决方法。

6.2.2.3 航空公司关于航空导航需求的立场对上述情况做出了补充, 支持使用 GNSS 作为近期用于定位和定时的主要无线电导航系统。空域用户呼吁各国与其紧密合作, 从当前的陆基系统迅速地过渡到具有成本效益的、协调统一的和可互用的基于空间的无线电导航系统。这一系统在飞行的所有阶段、在所有空域都能使用。航空公司的立场也鼓励以协调方式实施 GNSS 程序, 旨在尽早实现从航路上到至少 I 类最低标准的世界范围导航能力。

6.2.2.4 根据大家对于加速过渡到星基导航所达成的协商一致, 会议讨论了关于制定有关战略的建议, 该战略将为过渡到未来以使用 GNSS 为中心的世界范围航行服务奠定基础。但是, 会议承认, CNS/ATM 系统的全球空中航行计划 (Doc 9750 号文件) 和地区空中航行计划是能够符合这一建议意图的战略文件。不过会议仍然同意重申过渡目标并确定了在过渡过程中要达到的一套条件。

6.2.2.5 然后, 会议讨论了过渡过程中的近期目标。会议指出, 根据所提交的关于 GNSS 开发现状的资料, 一个星基增强系统, 即美国的 WAAS 已在 2003 年中期投入运行, 另外三个 SBAS 计划于

¹ “基本 GNSS 接收机”一词是指至少符合附件 10 第 I 卷所载对 GPS 接收机的要求, 和经 FAA TSO-C129A 或 JAA TSO C129 修改的 RTCA DO-208 或 EUROCAE ED-72A (或与之等同) 规范的 GNSS 航空电子设备。

2004-2006 年的时间范围内投入运行。会议审议了所提交的在一个国家计划实施垂直引导进近（APV）的资料。该国的计划设想是分阶段实施这种进近。展开这项工作的目的在于补充常规的进近程序和着陆助航设备，特别是仪表着陆系统（ILS），并且涉及下列工作：

- a) 批准以使用 ABAS 为基础的非精密进近；
- b) 评估大气压垂直引导 APV 程序的使用；和
- c) 最后，通过使用 SBAS 垂直引导的 APV 进近和着陆程序，给所有空域用户带来的运行方面的益处。

6.2.2.6 此外，某些国家报告了在加勒比、南美洲和非洲地区使用 WAAS 和 EGNOS 试验台评估 SBAS 性能的重要活动。服务提供者对这些试验提供了支持，对初期的结果表示满意。会议同意应该促进这方面的活动。

6.2.2.7 基于上述，有人提出建议，即应该鼓励空域用户装备 SBAS 接收机²，以便利用其优于基本 GNSS 接收机的卓越性能和经过改进的服务的可用性。还提交了另外一个建议，提倡采用以 SBAS 为基础的 APV-1 运行，作为全球范围的要求。会议对这些建议的意图表示支持，同意鼓励各国和服务提供者、空域用户和制造业为实现上述目标携手合作。因此，会议拟定了以下的建议：

建议 6/1— 向星基空中导航过渡

即：

- a) 国际民航组织根据继续制定必要的规定，以支持用于飞行各阶段的无缝隙 GNSS 引导，并促进向星基唯一导航服务过渡，同时充分考虑到飞行安全、技术、运行和经济方面的因素。
- b) 空中航行服务提供者与空域用户进行协调迅速展开行动，旨在尽早实现至少到 APV 性能的世界范围航行能力；和
- c) 各国和空域用户注意到现有的和即将出现的、提供 APV 运行的 SBAS 导航服务，并采取必要步骤对具有 SBAS 能力的航空电子设备进行安装和合格审定。

6.2.3 GNSS 的脆弱性和唯一导航服务

6.2.3.1 向会议提交了欧洲民航委员会成员国区域的航行战略，该战略旨在确定要向由全球导航卫星系统（GNSS）支持的区域导航（RNAV）环境过渡。考虑到向这种环境过渡的成本以及确保发生故障后仍能运行的需要，在可预见的将来，仍然需要陆基导航设备，以及相应产生的确保继续为这些导航设备提供频谱保护的要求。

² “SBAS 接收机”一词是指至少符合附件 10 第 I 卷所载对 SBAS 接收机的要求，和经 FAA TSO-C145A/146A 修改 RTCA DO-229C（或与之等同）规范的 GNSS 航空电子设备。

6.2.3.2 在议程项目 5 项下，会议同意应该根据需要研究该战略的频谱可用性问题的，然后讨论了 GNSS 作为唯一导航服务的潜力问题。讨论的重点放在由于 GNSS 潜在的故障形式，它是否能够成为唯一导航服务的某些尚存的不确定之处，及其对 ECAC 成员国 ATM 运行的相应影响和缓解的可能性。

6.2.3.3 会议了解到，不带任何外部增强能力的全球定位系统（GPS）已经被接受作为在整个 ECAC 地区在航路上提供基本 RNAV 能力的手段。之所以能够这样做，是因为它有能力利用陆基导航设备（例如 VOR/NDB）转为常规导航。伽利略（GALILEO）作为补充 GPS 的第二个卫星系统可用性，此及增加的导航信号，预期容许进一步依靠 GNSS，从而能够淘汰 VOR/NDB，并依赖基于 GNSS 和 DME 的 RNAV。

6.2.3.4 但是，虽然 GPS 加上 GALILEO 可能能够提供总体 RNAV 环境赖以生存的基础，但是仍须证明，这种解决方法将是具有成本效益的，因为可能需要携带双重 RNAV 系统，以满足连续性和可用性的要求。由于许多航空器仅仅装备单一 RNAV 或飞行管理系统(FMS)设备，所以以成本效益方式向总体 RNAV 环境过渡的时间段可能要大大拉长。

6.2.3.5 会议指出，即使有双重机载系统，如果要达到关于导航能力全部丧失的可接受风险的要求，则仍然需要两种不同的传感器输入，例如由 INS 扶助的 GNSS 或 DME。如果有这种要求的话，就需要改善 DME 的覆盖范围，在今后 10-20 年内在 ECAC 地区全面增加 DMEs。

6.2.3.6 欧洲地区的研究表明，在 2010-2015 的时间段内，更具有成本效益的方式可能是通过保留当前的 VOR 环境，以确保所需的服务连续性，利用机载双重 VOR 航空电子设备装置支持转换导航，而不是利用双重 RNAV/FMS 设备和双重传感器输入来做到这一点。这种 VOR 转换运行是在 ECAC 国家使用 GPS 实施基本 RNAV(B-RNAV)的安全方面考虑的基础。如果这些初步结果得到确认，那么在该时间段内预期淘汰 VOR 可能就是不行了。

6.2.3.7 在审议了这些情况之后，会议认识到，虽然未来的进展预期将大大降低与唯一 GNSS 服务相关的风险，但是某些故障形式仍然会保留下来，从而妨碍完全依赖 GNSS。会议注意到，关于 ECAC 地区的运行，正在展开工作，以查明能够用什么方法及其相关的缓解战略，使得逐步向唯一服务迈进成为可能。但是，能否实现这一终极目标以及实现该目标的时间段目前仍然是不确定的。

6.2.3.8 会议随后审议了全球导航卫星系统专家组（GNSSP）根据航行委员会的要求对 GNSS 脆弱性进行研究的成果。会议指出，近年来，一些非常胜任的机构都进行了关于 GPS 脆弱性的研究，而提交给会议的报告试图在 GNSS 的背景下研究同样的问题，而 GPS 只是 GNSS 的核心要素之一。会议上介绍了 GNSS 的各种脆弱性、对运行风险的评估、防止系统运行中断的方法以及缓解这些中断问题的指导，使会议对这些问题有了充分了解。

6.2.3.9 会议注意到研究结果表明，迄今所有已经查明的脆弱性均不妨害朝着 GNSS 作为飞行各阶段的全球系统过渡的最终目标，并理解到应该继续评估 GNSS 脆弱性问题和缓解的替代方法。会议同意，提交给会议的研究结果可以为各国提供有益的指导，帮助它们评估 GNSS 脆弱性，并选择适当的缓解办法。因此，会议拟定了下面的建议：

建议 6/2 — 关于缓解 GNSS 脆弱性的指导原则

各国在规划和实施 GNSS 服务的过程中：

- a) 评估本国空域内 GNSS 脆弱性的可能性及其影响，并在必要时按照议程项目 6 的报告附录中所载指导原则，使用其中概述的缓解办法；
- b) 实行有效的频谱管理和对 GNSS 频率的保护，以减少非故意干扰的可能性；
- c) 充分利用机上缓解技术，尤其是惯性导航；
- d) 如果确定需要保留地面导航设施，作为向 GNSS 发展过渡的组成部分，则要优先保留 DME，以支持航路上和航站区运行的 INS/DME 或 DME/DME RNAV，并优先保留 ILS 或 MLS 以支持在选定跑道上的精密进近运行；和
- e) 充分利用新的 GNSS 信号和星座将来对减少 GNSS 脆弱性的贡献。

6.2.3.10 会议建议，应该考虑将所建议的指导原则纳入 GNSS 手册，其草稿已经提供给会议作参考。秘书处注意到了这一建议。

6.2.3.11 在审议 GNSS 脆弱性的问题时，会上对关于非平面电离层空间斜面和赤道地区电离层闪烁而产生影响的问题提出了一些关注。有些国家报告指出，他们已经制定了数据收集计划，并建议国际民航组织评估这些研究结果并向各国提供适当的指导。会议鼓励各国继续这些努力并在各国和各地区之间交流数据，并且注意到在某些国际性专家小组，例如 SBAS 可互用性工作组(IWG)已经在展开数据交流。因此，会议拟定了下面的建议：

建议 6/3 — 评估赤道地区的大气效应对 SBAS 性能的影响。

为帮助缓解大气效应对 SBAS 性能的影响，国际民航组织评估各国收集数据活动的成果并拟定适当的指导材料。

6.2.3.12 会议还审议了另一项建议，涉及是否有必要将报告 GNSS 运行中断及确定中断对 GNSS 运行产生影响的自动化手段予以标准化。关于这一点，会议注意到了登在国际民航组织网站上的样板软件的信息，该软件显示了一个预测工具，可以用来支持制做飞行计划和 NOTAM 的。会议对这一倡议行动表示赞赏，认为对这些工具加以统一应用是至关重要的，因此拟定了以下的建议：

建议 6/4 — 报告和评估 GNSS 运行中断的影响的自动化手段

国际民航组织考虑将报告 GNSS 运行中断和评估其对 GNSS 运行影响的自动化手段实行标准化，并根据需要制定必要的规定。

6.2.4 所需导航性能 (RNP) 和区域导航 (RNAV) 问题

6.2.4.1 会议了解到围绕所需导航性能 (RNP) 和区域导航 (RNAV) 的不同定义和概念的一些悬而未决的问题。提出了进一步的关注, 即尽管正在努力开发和实施具有成本效益的全球性 RNP 定义, 若要在近期内在此领域协调该概念和需求尚不可行。这些关注的原因是大部分 RNAV 系统对地面基础设施的依赖性而地面基础设施又依赖于所处地点; 在不同 ATC 环境下同样的 RNP 种类所需 RNAV 功能的各种可能的变异; 出于成本效益的考虑或因为 RNAV/FMS 体系演化发展而导致的航空电子设备的多样性等等。会议承认到这些事项的复杂性并表达了同样关注。

6.2.4.2 在这方面, 有一个国家告知会议它目前正在实施基于性能的 RNAV 程序, 并调整空域, 以便利用航空器导航能力, 在其本国空域内更为精确和可预计的飞行轨迹上飞行。基于性能的 RNAV 将使得导航精确性和飞行轨迹可预计性的水平得到提高, 从而提高效率和运力。该国也在实施所需导航性能 (RNP) 进近程序, 并在制定在其他飞行阶段引入 RNP 的战略。有鉴于此, 该国也表达了对 RNP 和 RNAV 概念现状的关注。

6.2.4.3 会议获悉 2003 年 6 月 10 日, 在审议全球导航卫星系统专家小组第四次会议 (GNSSP/4) 的报告时, 空中航行委员会同意根据 GNSSP/4 建议 1/1 中的提议, 应采取行动建立联络点, 解决已经确认的问题。在审议这一事项时指出, 处理这些问题已是当务之急。以便确保采取协调的方法进一步发展 RNP 和 RNAV。因此, 成立了一个新的空中航行研究小组, 名为“所需导航性能研究小组 (RNPSG)”。参加本次会议一些国家和国际组织承诺他们将支持 RNPSG 的工作。

6.2.4.4 为支持上述行动, 会议还指出空中航行服务的提供者在实施新的 RNAV 和 RNP 程序时, 即对其航行基础设施作出投资。随着这些程序得到开发和使用, 这些国家正在修改间隔标准, 以适应增强的航空器导航能力, 并在重新设计空域, 以便最好地使用这些新程序。应该协调新要求实施时间表, 以便配合基础设施投资, 并给予经营人充裕的时间进行装备以获得这些必要的的能力。有鉴于此, 会议强调急需全面协调统一基于性能的导航概念和需求, 亦强调 ICAO 在协调活动中的领导作用。会议建议, 新成立的研究小组应致力于在 2004 年底之前开发一个框架结构, 解决 GNSSP/4 会议上确认的问题以及关于实施基于性能的导航运行的其他问题; 并在 2005 年底以前, 酌情界定或更新关于基于性能的导航运行的运行批准标准, 越障飞行标准和间隔标准。因此, 会议作出下述建议:

建议 6/5 — 及早解决由于实施 RNAV 和 RNP 运行而产生的问题。

ICAO 在 RNP 研究小组的帮助下, 将其作为当务之急, 处理和推动与引入 RNP 和 RNAV 运行相关的问题。

6.2.5 先进的 GNSS 能力及新技术选择

6.2.5.1 向会议介绍了一个国家的初期 GNSS 实施情况。介绍强调指出引入卫星导航服务的关键动力在于新的服务能够解决空域问题和改善仪表飞行程序的可用性。考虑到该国的主要机场处于山地环境中所以详细阐述了 GNSS 的一些显著特征, 用于推动改善航站区运行的进出便利和灵活性以及 RNAV 覆盖范围。为此, 向会议提交了一项建议, 即 ICAO 应竭力集中发展更新标准和程序以便实施 GNSS 的运行和安全益处包括那些与先进系统能力有关的益处。

6.2.5.2 提请会议注意, ICAO 技术标准发展现状仍不够先进, 难以在近期内支持那些能力。具体而言, 会议获悉, 航空系统专家小组 (NSP) 目前从事的拟定上述能力的有关 GNSS 性能要求的工作预期在 2007 年完成。因此, 只能在 2007 年以后完成制定相应的 GNSS SAPPs 随后制定程序和标准。也有人表示关注, 所建议的一些进一步的发展可能导致用户群体承担可观的间接成本。然而, 会议注意到, 并非所有建议的发展都必然具有技术挑战性, 而且一些国家已开始从事拟议能力的研究。会议因而作出下述建议:

建议 6/6 — 先进的 GNSS 程序设计

ICAO 为定翼航空器和旋翼航空器制定程序, 使得基于 GNSS 的 RNAV 程序能够在障碍物较多的环境中, 在较低的最低高度得到使用。

建议 6/7—包线 GBAS RNAV 程序

ICAO 开发用于定翼航空器的 GBAS 程序, 通过包线提供具备较高的航迹和速度跟踪精度的 RNAV 程序, 从而允许灵活的进近排序。

6.2.5.3 在上述讨论之后, 会议注意力转向目前世界范围航空器所具有的可观的惯性能力以及 GNS/INS 综合应用可衍生的益处。会议忆及, 在会议讨论 GNSS 脆弱性时, 这些应用被看作是宝贵的减缓办法。会议还注意到, 许多航空器使用惯性数据在精密进近和着陆运行时补充 ILS 的性能; 同样, GNSS 与 INS 结合在一起将能加强导航性能的精确性、完整性、可用性和连续性。

6.2.5.4 但是, 会议注意到, 实现 GNSS/INS 整合的最大益处仍受限于航空器的性能系统能力和特性缺乏标准化, 特别是如惯性飞行时间, 它构成了风险评估和缓解战略的重要因素。会议因此作出以下建议:

建议 6/8 — GNSS/INS 的整合

ICAO 制定用于整合 GNSS/INS 的规定, 以便降低 GNSS 对射频干扰的脆弱性, 并帮助开发先进的 GBAS 能力。

6.2.5.5 会议审议了基于 GNSS 的 II/III 类进近、着陆和机场场面运行的可行性评估。会议回忆到目前对于 GBAS 的标准和建议措施 (SARPs) 对 GLONASS 和 GPS 的核心星座提供了增强, 并且支持 I 类精密进近。核心卫星星座将增加伽里略, 而其本地组成部分将标准化, 后期作为对 GBAS SARPs 的修订。会议还注意到为支持 II/II 类运行而开发 GBAS 的目标是能够将基础的 I 类设计结构发展到 II 类, 最大限度地降低对基础系统的改变和确保向后能与现有的 I 类航空电子设备兼容。

6.2.5.6 会议还了解到一些国家目前对支持先进的场面活动指引和管制 (A-SMGCS) 所做的研究, 以及航行系统专家组为侧重使用 GNSS 作为 A-SMGCS 位置传感器所做的工作。

6.2.5.7 评估结果表明 II/III 类的能力将取决于 GBAS 的设计结构和性能要求于 2010-2015 年期间实现。目前制定性能要求和标准的最后结果, 还会对未来支持 II/III 类进近和着陆运行的 GBAS 设计结

构的复杂性产生影响。会议对未来 GBAS 设计结构的可能复杂性表示出关注，但同时支持这样的结论，即单一系统能够向所有飞行阶段提供指引的益处，证明有理由应该对解决技术和运行问题不断进行工作。

6.2.6 运行前期的经验

6.2.6.1 会议收到了一些国家和地区组织关于在加勒比、南美洲和非洲地区在地区和国家层次为对这些地区制定 GASS 设计结构收集数据所进行的试验。向会议报告了 AF1 地区实施 GNSS 的三阶段战略，以及 EGNOS 试验台的初期试验结果。还向会议介绍了 CAR/SAM 国家 WASS 和 EGAOS 试验台试验方面的资料。

6.2.6.2 会议对所汲取的教训和从试验当中所得出的建议进行了审议。这些涵盖广泛的议题，其中包括：人力资源、地区培训能力、技术合作项目和财政问题综合的必要性。会议还了解到 ICAO 和工作组为解决这些问题开始的活动。会议同时赞赏地注意到参与制定 WAAS 和 EGNOS 国家的支持是在 SBAS 试验台试验的框架范围内提供的。为鼓励继续这方面的活动，会议制定了以下建议：

建议 6/9—支持和参与 SBAS 前期运行实施活动

- a) 开发和投入使用星基增强系统的国家和其他的 SBAS 服务提供继续提供支持和参与活动，以便将其 SBAS 服务区域扩展至邻国和地区；和
- b) 参与 SBAS 实施活动的国家与其他参与国家协调，优化其努力和推动服务提供者的参与。

6.2.7 其他相关的问题

6.2.7.1 关于 143、153 和 160 号工作文件提到的 GNSS 法律和机制方面的问题，会议认为所提交的范围和议程未能提供一个合适的机会讨论这些事宜。在理事会主席阿萨德·柯台特博士和法律局长的协助之下，会议同意注意到上述文件所载的资料和意见，并同意应将其提交给 ICAO 理事会进行审议，并由认为合适的 ICAO 机构做出必要的行动。

6.2.7.2 关于 107 号工作文件提到需要可靠的免费 GNSS 服务的建议，会议了解到秘书处在空中航行服务经济专家组（ANSEP）的协助下，正在进行 GNSS 成本分摊的研究，此项研究预计于 2004 年底结束。会议注意到 ANSEP 批准的用于民用航空和其他用户之间成本分摊的某些原则和设想，特别是 GNSS 的基本服务应该免费提供，而且 GNSS 服务的任何成本应该在地区基础上分摊。会议认为向直接用户免费提供可靠的 GNSS 服务的要求应该提请 ANSEP 的注意，并在其今后的工作中加以考虑。

— — — — —

附录

关于全球导航卫星系统（GNSS）的脆弱性及其缓解办法的指导原则 包括地面、机载和程序解决方法

1. 引言

1.1 GNSS 系统正在全世界崭露头角，它具有在整个导航领域实现安全和效率效益、进而满足飞行各个阶段的性能要求的潜力。随着 GNSS 运行的逐渐普及，服务提供者必须查明这一系统的脆弱性，制定出必要的缓解办法。本文件指出了 GNSS 存在的各种脆弱性和可以在适当时加以运用的相应缓解办法。在编写本文件时参考了其他几项脆弱性研究的成果，并考虑了其中的各项关注和建议。本文论及的大多数脆弱性是提供航空无线电导航服务的其他导航系统所共有的，但这些系统不属于本文件论述的范围。

2. GNSS 信号的脆弱性

2.1 干扰

2.1.1 由于 GNSS 的信号发自卫星而每个卫星的信号又覆盖着广袤的地球表面，所以收到的信号功率较低，GNSS 核心卫星星座和卫星增强系统（SBAS）发出的信号容易受到干扰。虽然地面增强系统（GBAS）的甚高频（VHF）数据广播较难受到干扰（其信号功率与地面导航设施相似），但 GBAS 依靠的还是核心卫星的信号。干扰信号仅限于视线式传播。例如，干扰区在地面以上 600 公尺（2000 英尺）处的，地面干扰源的传播范围必然局限在约 110 公里（60 海里）内。

2.1.2 关于 GNSS 的标准和建议措施（SARPs）要求在出现接收机干扰屏蔽所确定的干扰等级时，同时达到规定的性能等级。这些干扰等级一般都符合国际电信联盟（ITU）的规定。干扰超出屏蔽等级可以造成服务的丧失，但不能允许这种干扰导致产生有害的或误导的信息。

2.1.3 非故意干扰 报告的大多数 GNSS 干扰事件都追溯到机载系统，而且安装 GNSS 的经验确定了非故意干扰的几个来源（如甚高频通信设备的寄生发射和谐波，以及卫星通信设备的频带外和寄生发射）。便携式电子装置也可以对 GNSS 和其他导航系统造成干扰。

2.1.3.1 目前，地面干扰源包括移动和定点甚高频通信，使用 GNSS 频带进行的点对点无线电链接，电视台谐波，以及某些雷达系统、移动卫星通信系统和军用系统等。发生这种干扰的可能性取决于国家对频谱的管理，以及每个国家或地区内的频率管理及执行情况。

2.1.4 故意干扰 由于 GNSS 信号功率低，使用低功率发射机来阻塞 GNSS 信号是可能的。虽然迄今尚无针对民用航空的故意干扰事件的记录，但故意干扰的可能性是必须加以考虑和评估的一种威胁。

2.2 电子欺骗

2.2.1 电子欺骗是指故意侵蚀导航信号,致使航空器发生偏离并沿着虚假的航迹飞行。对卫星 GNSS 信号进行电子欺骗,在技术上要比欺骗传统的地面导航设施复杂得多。欺骗 GBAS 数据广播的难度则与欺骗传统的着陆设施相当。

2.2.2 虽然电子欺骗在理论上可以对一架航空器产生误导航向的作用,但通过正常程序(如通过监视飞行航迹和至航路点的距离以及通过雷达监视等)发现这种情况的可能性是很大的。近地警告系统(GPWS)和机载防撞系统更为防止撞地和撞机提供了额外的保护。鉴于欺骗 GNSS 的难度以及在操作上似乎并不需要采取独特的缓解办法的事实,本文件对电子欺骗的论述到此为止。

2.3 大气效应

2.3.1 天降大雨对 GNSS 信号的冲淡作用仅为零点几个分贝,对运行毫无影响。对流层效应由系统设计解决,不构成脆弱性问题。但有两个电离层现象必须加以考虑:电离层发生急速巨变和电离层发生闪烁。电离层变化可引起量程误差,必须在系统设计时加以考虑。闪烁现象则可以造成一个或多个卫星的 GNSS 信号暂时消失。

2.4 其他脆弱性

2.4.1 GNSS 地面和空域扇区的脆弱性也必须加以考虑。某个星座由于维持整个星座的资源短缺,或者发生发射故障或卫星故障,可能出现卫星数量不足的风险。管制扇区故障或人为错误也可能导致一个星座的多颗卫星发生故障。

2.4.2 另一个风险是国家出现紧急状态时服务发生中断或减损,这时国家根据《国际民用航空公约》享有行动自由的权力(参见第 89 条)。如果信号遏制限制在某个特定区域,所有民用的 GNSS 信号都有可能被阻扰,不过受影响的空域反正会对民航交通关闭。另外一个不常发生的情况,就是核心星座或卫星增强信号在整个覆盖区域发生衰减或者遏制。

3. 评估 GNSS 运行中断的风险

3.1 在评估与 GNSS 脆弱性有关的运行风险时应该考虑两个主要方面的问题:

- a) GNSS 运行中断的可能性;和
- b) GNSS 运行中断的影响。

3.2 空中航行服务提供者把这些方面当作一个空域功能问题来加以考虑,就能确定是否需要采取缓解办法;如需要,达到何种程度。对于发生概率为中度至高度且具有重大影响的服务中断,必须采取缓解措施。

3.3 评估 GNSS 运行中断的可能性

干扰

3.3.1 非故意干扰 运行经验是评估这一风险的最好办法。发生非故意干扰的可能性通常与所处的地理位置有关。无线电频率（RF）干扰源密集的大城市、工业区等，比边远地区容易遭到非故意干扰。边远地区发生这种干扰的可能性极小。

3.3.2 故意干扰 各国在确定故意干扰的可能性时必须首先考虑对 GNSS 进行干扰的动机何在。驱使这种动机的可以是对一个地区潜在的损害和对航空和非航空应用产生了运行上的影响。如果影响至微，则无干扰之动机，潜在的威胁就小。随着 GNSS 应用范围的扩大和对 GNSS 依赖性的增强，潜在影响的程度也会随之增加。

大气效应（电离层）

3.3.3 地磁赤道附近经常可以观察到电离层发生急速巨变的情况，但其效应并非大到足以影响航路上直至非精密进近运行的程度。对于垂直引导进近（APV）和精密进近（PA）运行，这些变化的效应可以在设计增强系统时进行衡量和缓解。在赤道地区，使用 GNSS 单频的 APV 和 PA 运行的数量可能是有限的。

3.3.4 电离层闪烁对中纬度地带影响较大。在赤道地区，以及较小程度上在高纬度地带，电离层闪烁可以导致一种或多种卫星信号的暂时丧失。赤道地区的运行经验表明，由于观测卫星的阵营较大，丧失现有 GNSS 服务的概率微乎其微。电离层闪烁可以阻断发自 SBAS 对地静止卫星（GEO）的广播的接收。

3.4 评估 GNSS 运行中断的影响

3.4.1 GNSS 运行中断对导航服务的影响取决于下述因素：

- a) 空域类型：纠正行动的时间选定对于航站区比对高纬度航路上空域更为关键，而对航路上空域而言，则对最低间隔标准较为严格的空域更为关键；
- b) 空中交通密集度：在交通高密集地区，由于工作量的缘故，依靠雷达引导或驾驶员程序可能不切实际；
- c) 服务等级：对于要求较低的运行，使用推测领航法也许就足以前进到有 GNSS 服务的区域；
- d) 有无可供使用的其他导航系统及其装备情况：有其他导航手段的航空器不受影响；
- e) 雷达监视：有一次雷达或二次雷达可供使用的，ATC 将得以提供更多的协助以保证间隔并引导至备降机场；
- f) 运行中断的程度：服务中断的地理范围和持续时间；

- g) 运行中断评估：空中航行服务提供者迅速评估服务中断程度的能力；和
- h) 天气条件：虽然在评估服务中断的影响时做出仪表气象条件（IMC）的假定不失为明智之举，但在任何分析中所假定的 IMC 地理范围和气象参数应该是现实的。

3.4.2 GNSS 运行中断对其他服务的影响也应该加以考虑。GNSS 常常被用作通信和雷达系统内精密定时情报的来源，而且还可以用于自动相关监视（ADS）服务。定时的脆弱性可以通过系统设计解决，ADS 的应用则不属于本文件的范围。

4. 减少 GNSS 运行中断的可能性

4.1 安装和运行

4.1.1 航空器上的干扰可以通过妥善安装 GNSS 设备、将其与航空器其他系统（如屏蔽、天线隔离和频带外滤波等）兼容连通，以及限制在航空器上使用便携式电子装置来加以预防。

4.2 频谱管理

4.2.1 频谱管理 有效的频谱管理是减轻来自人造发射装置的非故意干扰的主要手段。运行经验表明，实行有效的频谱管理可以将非故意干扰的威胁消除殆尽。有效的频谱管理包括三方面的内容：

- a) 制定管制频谱使用的法律/法规；
- b) 执行这些法律/法规；和
- c) 密切评估新的无线电频率（RF）源（新系统），确保其不对 GNSS 产生干扰。

4.2.2 干扰的发现和消除 不加拖延地发现和消除 GNSS 干扰源的能力，这是一个关键的方面。发现干扰的首要办法是通过驾驶员的报告。由于干扰最初发生时多架航空器可能会同时经历服务的中断，对服务中断采取自动报告的办法（如自动数据链电文）可以减轻工作量，有利于确定服务中断的区域及查明干扰源所在的位置。干扰探测系统可以装备在航空器上，也可以在地面装备。

4.3 新的信号和星座

4.3.1 新的信号和核心卫星星座将大幅减少 GNSS 的脆弱性。为 GPS、GLONASS 和 Galileo 规划使用的强信号和多频率将有效地消除非故意干扰的风险，因为这种干扰源同时影响一个以上频率的可能性极小。新增加的卫星（包括多个星座）将消除由于闪烁造成 GNSS 服务全面中断的风险，而多频率的使用则可减轻电离层变化的影响。未来的对地静止（GEO）卫星通过使用视线间隔至少为 45° 的卫星而减轻电离层对卫星增强系统的影响。GNSS 信号增强和新的频率使得故意干扰 GNSS 各项服务的难度增大。新增加的核心卫星星座可以降低系统故障、运行误差或服务中断的风险。此外，万一发生 GNSS 某个要素的提供者由于国家处于紧急状态而变更或拒绝服务的情况，这些星座仍能继续提供全球服务。

4.3.2 除国家发生紧急状态造成全球服务中断的可能性外，强有力的系统管理和供资是确保 GNSS 服务持续运行，减轻第 2.4 段所述系统脆弱性的关键所在。避免全球服务中断的一个有效办法，就是服务提供者在发生国家紧急状态时采取对特定区域遏制服务的政策。

5. 减轻 GNSS 服务中断的影响

5.1 引言

5.1.1 目前，有三种主要办法可以减轻 GNSS 服务中断对航空器运行的影响：

- a) 利用惯性导航系统和 GNSS 接收机技术的优势；
- b) 使用（驾驶员或空中交通管理的）程序办法；和
- c) 利用作为 GNSS 备份或与之一体化的地面无线电导航设施。

5.1.2 服务提供者采用本节介绍的一种或多种办法形成有效的策略，不仅能在发生 GNSS 服务中断时确保航空器安全运行，而且可以通过减轻潜在影响来打消故意干扰的企图。

5.2 惯性导航系统和接收机技术

5.2.1 惯性导航系统（INS）在 GNSS 或其他的位置更新功能丧失之后提供短期的区域导航能力。许多从事航空运输的航空器都已装备 INS 系统，而且这种惯性系统对于小型地区性航空器的经营人来说，因其财力所能及而比较容易获得。因此，在作为 GNSS 服务中断的缓解办法评估对地面设施的需要的时候，应该将这项能力考虑进去。

5.2.2 另外，还有一些可以增加 GNSS 接收机强度，从而减轻干扰的技术。抗阻塞技术包括先进的天线（如空间零置（spatial nulling））和接收机信号处理技术。随着其费用下降，这些技术对小型航空器而言，可能成为比惯性导航系统更为便宜的替代技术。

5.3 程序办法

5.3.1 在非雷达空域，如果在 GNSS 服务发生中断而又无可用的其他导航系统的情况下，航空器可以改用推测领航办法，因为大多数新航空器的导航系统都具有自动推测领航能力。可能时，驾驶员可以转换成目视领航后撤离受影响区域或者在合适的机场降落。如果发生 GNSS 能力丧失，ATC 可以估计出丧失横向间隔的可能性，在可能时，可以用垂直间隔代替。

5.3.2 雷达空域也可以采用同样的程序，另有可能引导航空器通过受影响的地区，但这需要 ATC 视其工作量和受影响的航空器数量而定。对于许多现有的航站区的运行而言，航空器已经是在雷达引导下切入精密进近航迹的。

5.3.3 在无管制的非雷达空域，驾驶员可以通过空对空频道相互通信，以保持间隔并努力确定服务

中断牵涉的地理范围。

5.3.4 依靠程序办法确保间隔和绕航的成败取决于第 3.4 段的所有因素。最重要的考虑是航空器装备另一种导航手段（如惯性导航）的程度。

5.3.5 各种程序和驾驶员、空中交通管制员的培训，应该针对 GNSS 的脆弱性，确定有效处理干扰和执行备用程序，以及报告干扰事件及其发生地点的方法。

5.4 地面无线电导航设施

5.4.1 目前，减轻 GNSS 服务中断影响最有效的办法，就是航空器恢复使用地面导航设施。随着向 GNSS 的过渡逐步完成，地面基础设施减少，将会日益依赖于其他的缓解技术。对地面基础设施所要求的运行能力，将随着 GNSS 运行逐步占据主导地位、空域和程序日渐倚重区域导航（RNAV）运行而发生变化。可以使用测距仪（DME）设施，为装备有使用多个测距仪的飞行管理系统的航空器，提供航路上和航站区运行的区域导航服务。如果 DME 的覆盖范围足够，这一同样的能力还可以用于 RNAV 进近运行。

5.4.2 属于回转性导航不提供 RNAV 能力的情况的，必须考虑过渡到备用航路和程序的工作量。但是，一旦开始了在备用航路上的运行，如果发生持续性干扰，这种运行仍然可以按需要长时间地继续进行。

5.4.3 如经确定需要备用的精密进近服务，可以使用仪表着陆系统（ILS）或微波着陆系统（MLS）。这就需要在机场或是在考虑的某个区域内保留数量数用的这种系统。

6. 结论

6.1 非故意干扰 发生干扰的可能性及其对运行的影响因环境而异。只要各国对电磁频谱，包括现有的和新分配的频率，实行恰当的管制和保护，非故意干扰就不被视为一个大的威胁。此外，在新的频率上推出 GNSS 信号，可以确保非故意干扰不致造成 GNSS 服务的全面丧失。

6.2 故意干扰 有无故意干扰的风险，取决于国家必须正视的一些问题。如果国家确定某些特定地区的风险是不能接受的，可以采取有效的缓解策略，综合使用机上缓解技术（如使用 INS）、程序办法和地面导航设施确保安全和效率。

6.3 电离层 在赤道地区和极光地区发生电离层闪烁，可以造成 GNSS 卫星信号的丧失，但不太可能造成 GNSS 服务的完全丧失，而且在增加了新的 GNSS 信号和卫星之后其影响可以得到缓解。在赤道地区用单一的 GNSS 频率提供的 SBAS 和 GBAS 服务，可能由于电离层变化而受到限制，因此，在设计增强系统时必须考虑到这一点。

6.4 其他脆弱性 独立管理的星座和资金来源，加上强有力的系统设计，将会大幅减少系统故障、运行误差和服务中断的现象。

6.5 各国应该评估本国空域内 GNSS 的脆弱性，根据所涉空域以及需要支持的运行的情况选定合适的缓解办法。这些缓解办法可以在向 GNSS 的过渡中确保安全运行，促使各国免于提供新的地面导航设施，减少现有的地面导航设施，并在一些地区停止使用这些设施。

附篇

GNSS 脆弱性评估实例

关于评估 GNSS 服务中断的可能性和影响的指导意见载于本文件第 3 节。本附件提供将这一方法运用于现有的 GNSS 运行的两个实例。这些实例没有考虑未来的 GNSS 信号或星座。

1. 拥塞的空域 — 中纬度 以下实例适用于航空器运行高度密集的空域和实行有效频谱管理的中纬度地区现有的 GNSS 运行。

1.1 非故意干扰 在北美和欧洲遭遇过非故意干扰的情况。在北美，过去几年内，GPS 受到干扰经确认的次数为 7 次。根据运行经验，非故意干扰可能性很小，但不容忽视。

1.2 故意干扰 对当前的运行而言，没有故意干扰 GNSS 的明显动机。此外，迄今还从未有报告关于在民用环境下故意进行干扰的情况。对现有运行故意进行干扰的可能性微乎其微。但随着对 GNSS 的依赖性增强，故意干扰的威胁可能会适时发生变化。

1.3 干扰的影响 是造成干扰源视线范围内的 GNSS 服务发生中断。在这些地区的大多数航空器经营人都装备有惯性导航设施和/或具有 DME/DME RNAV 能力的飞行管理系统 (FMS)。大多数空域也有可供使用的 DME 设施。有些航空器虽然没有配备独立的 RNAV 能力，但这些航空器的安全无虑，可以继续运行，只是效率可能受损而已。因此，非故意干扰和故意干扰的影响都是非常有限的。

1.4 电子欺骗 发生电子欺骗的威胁不大，其影响非常有限。

1.5 电离层效应 在中纬度地区从未遭遇过电离层闪烁造成 GNSS 丧失定位功能的情况，所以发生这种事情的可能性是微乎其微的。由于这种现象发生时间短促，又有地面导航设施可供使用，而且使用这些设施的设备配套性很强，所以并不存在运行上的影响。

1.6 总结 表 1 总结了已经确定的各种脆弱性的可能性及其对运行的影响。该表对可能性和运行影响进行了比照。各国应该注意减轻的是那些可能性很小但影响严重，或是影响虽有限但发生的可能性很大的任何脆弱性。此外，还应该考虑可能性很小但影响居中的脆弱性。

2. 边远地区 — 赤道地区 以下实例适用于实行有效频谱管理的赤道地区航空器运行密度很低的边远空域中现有的 GNSS 运行。

2.1 非故意干扰 边远地区非故意干扰源的发生可能性普遍较小。加上有效的频谱管理，这些地区发生干扰的可能性微乎其微。由于没有可供使用的雷达服务，服务中断的影响可以是居中到严重不等。

2.2 故意干扰 没有遇到故意干扰的情况；由于地处边远，运行密度低，并不存在对 GNSS 故意进行干扰的明显动机。对现有运行进行故意干扰的可能性被认为是小之又小的。但随着对 GNSS 的依赖性增强，故意干扰的威胁可能会适时发生变化。故意干扰的影响与非故意干扰相同。

2.3 电子欺骗 发生电子欺骗的威胁不大，其影响有限。

2.4 电离层效应 在赤道地区有可能发生影响 GNSS 性能的电离层闪烁。但其对运行的影响居中，因为它通常只会造成性能的减弱，而不会引起导航能力完全丧失。即便发生定位功能完全丧失的情况，其延续的时间也不会很长，运行密度低能够确保持续安全。

2.5 总结 表 2 总结了已经确定的各种脆弱性的可能性及其对运行的影响。最大的问题是电离层闪烁的潜在风险。各国应该采取行动减轻这一效应的影响。具体办法是：

- a) 执行 GNSS 服务发生短期中断时可以确保继续运行的运行程序；和
- b) 对严重闪烁的持续时间和可能性继续进行研究。

表 1 拥塞的空域 — 中纬度

		运行影响		
		无影响	影响居中	影响严重
可 能 性	极微小	电离层效应	故意干扰； 电子欺骗；	
	很小		非故意干扰	
	很大			

表 2 边远地区 — 赤道地区

		运行影响		
		无影响	影响居中	影响严重
可 能 性	极微小		非故意干扰 和故意干扰； 电子欺骗；	
	很小			
	很大		电离层效应	

3. 如果分析表明不存在关键的脆弱性，执行频谱管理措施对于尽可能减少服务中断的发生仍然是至关重要的。