



第十二次空中航行会议

2012年11月19日至30日，蒙特利尔

议程项目 6：未来的方向

6.1：实施计划和方法

实施全球导航卫星系统（GNSS）的问题

（由秘书处提交）

执行摘要

本工作文件讨论与全球导航卫星系统（GNSS）的实施有关的两项问题：

- a) GNSS信号易受蓄意和非蓄意来源的干扰和其他作用的影响。本文件提出使基于GNSS的服务减少遭到扰乱和在GNSS信号暂时失去时降低对航空器运行产生影响的措施的建议；和
- b) 新的和强化的GNSS核心星座提供了增强GNSS效益的可能性。本文件讨论了多星座/多频率的GNSS环境的潜在效益和实施挑战。

行动：请会议同意本工作文件中的各项建议。

战略目标：	本工作文件涉及航空运输战略目标中的安全、环境保护及可持续发展目标。
财务影响：	实施多星座/多频率的全球导航卫星系统（GNSS）的效益对航行效绩至为巨大。成本费用主要与购取新的航空电子仪器有关。 不能有效降低GNSS的脆弱性将无法取得基于GNSS的服务提供的巨大安全和效率效益。实施减轻影响措施的成本费用对所有利害关系方都为数不多，除建立备份定位、导航和授时系统（APNT）（2.5.2）的情况除外，如需采用新技术，则其成本费用可能至为巨大。
参考文件：	附件10 ——《航空通信》，第I卷 ——《无线电导航辅助工具》 Doc 9849号文件，《全球导航卫星系统（GNSS）手册》

1. 引言

1.1 过去几十年，全球导航卫星系统（GNSS）已在全世界逐步实施。今日，全球导航卫星系统是通信、导航和监视（CNS）基础设施的基石，是采用基于性能的导航（PBN）的基础。这份文件讨论在实施全球导航卫星系统（GNSS）的过程中出现的两个问题：GNSS 信号的内在脆弱性；和与利用多个GNSS 星座得到的效益有关的挑战。

2. 减少 GNSS 的脆弱性

2.1 背景

2.1.1 从卫星发出的极为微弱的GNSS信号使GNSS易遭干扰和受到可能波及的广大区域内多架航空器的其他各种影响。然而，GNSS作为一个飞行所有阶段使用的全球系统，至今并没有查出足以使它停止使用的脆弱性。不过，各国和空中航行服务提供者（ANSPs）都应该采取减少其脆弱性的战略，降低发生GNSS服务中断的可能性。

2.2 GNSS 脆弱性的来源

2.2.1 GNSS脆弱性的来源可分类如下：

- a) 非蓄意干扰；
- b) 蓄意干扰；
- c) 电离层和太阳活动（空间天气）的影响；和
- d) 其他。

2.2.2 下文对这些脆弱性作出简短阐述。进一步资料，见附录A。

2.2.3 对GNSS信号的非蓄意干扰可来自若干在GNSS使用的同一频段或其他频段进行操作的来源，其中部分来源可能包括移动式或固定式甚高频通信设备、电视信号、某些雷达信号、移动式卫星通信系统、军事系统、点对点微波耦合链接、GNSS转发器和伪卫星¹以及航空器机载系统（航空电子设备和旅客电子用品）。

2.2.4 目前对GNSS信号的蓄意干扰（“干扰”）一般都针对非航空使用者，但它也可能对航空使用者产生影响。这方面的一个明显例子是使车辆跟踪系统失去效用的“个人隐私”干扰装置的广泛采用，在有些情况下，这已经影响到航空的应用。随同航空和其他领域使用GNSS的情况越来越多，蓄意干扰产生的威胁也可能随之增加。

¹ GNSS转发器和伪卫星是发射信号以补充建筑物内和一般难以收到GNSS信号地区所需的GNSS信号的系统。

2.2.5 电离层是来自太阳的辐射对上层大气部分电离后形成的一个区域。GNSS信号随同根据太阳活动强度变化的电离层中的离子密度产生延迟效应。对GNSS信号产生的两种影响必须加以考虑：电离层延迟效应快速和大幅变化；和闪烁（快速的信号强度和相位起伏）。电离层延迟效应导致卫星测距发生误差，这必须通过系统设计加以修正。严重的闪烁能导致一个或一个以上的卫星信号暂时丢失。

2.2.6 一般而言，空间天气能对GNSS产生直接影响。空间天气能定义为太阳表面以及太阳风、磁层、电离层和热层的状态，它能对空间和地面技术系统的性能和可靠性产生影响，并能危及人类的生命或航空飞行机组和旅客的健康。

2.2.7 GNSS的其他脆弱性还包括：方案制定问题（包括缺乏维持GNSS星座姿态的资源、发射失误或卫星意外故障）和在国家紧急情况（见《芝加哥公约》第八十九条）下或为了测试系统的目的，GNSS可能中断服务或使功能下降。

2.3 减少 GNSS 信号中断的可能性

2.3.1 能够采取一些措施减少上述原因可能造成的GNSS信号中断。

2.3.2 增加GNSS的新星座和新频率（见本文件第3段），以便借助多种信号频率和增多可见的卫星数目大幅减少非蓄意干扰造成的服务中断的可能性。GNSS使用双重频率也有助于补偿信号通过电离层产生的延迟效应。不过，蓄意干扰产生的一些剩余影响仍会继续存在。

2.3.3 减少发生蓄意和非蓄意干扰的主要办法是采用有效的频谱管理手段。这涉及建立强有力的监管框架，在分配和使用频谱方面做到保障GNSS使用的频率。这项框架将确保邻近GNSS频段或与其谐波有关的频率不得用于能干扰GNSS接收器的系统、GNSS中继器和伪卫星的使用受到严格监管，购买或使用能造成蓄意干扰的装置应受到禁止。侦测干扰源以支持执法方案的能力也应予以提供。

2.3.4 国际电信联盟（ITU）是联合国的一个专门机构，负责与无线电通信有关的事务。国际电联发布的《无线电规则》的目标，除其他外，是确保为安全的生活服务提供频率并保障其不受有害干扰，并协助防止和解决不同主管部门提供的无线电服务之间可能出现的有害干扰。

2.3.5 用于防止和解决有害干扰的程序详细列于《无线电规则》第十五条，其中特别规定：“如果有一个提供特定服务的专门国际组织，提供这种服务的站台造成或受到有害干扰时，可将违规和违法的报告向这个组织提出，并同时向有关主管部门提出。”因此，对用于航空的GNSS造成的干扰可向国际民航组织提出报告，它随之能警示国际电联和联合国适当机构，说明这种干扰对航空造成的影响，促使加快解决这个问题。

2.4 风险评估

2.4.1 根据上述讨论，发生GNSS信号中断的可能性尽管会大幅降低，但并不能完全排除，因此空中航行服务提供者（ANSPs）必须做好准备，应对可能失去GNSS信号的情况。对此需要进行风险评估，以决定在这种情况下仍然失去服务的可能性和失去信号对具体空域产生的影响。

2.4.2 在海洋和人口稀少的地区，这种可能性几乎不存在，但在人口密集地区，这种可能性最高。对影响作出的评估将对空域类别、交通运量和独立监视及通信服务的有无作出考虑。发生由于闪烁导致的服务中断的可能性取决于地理位置，这需要进行科学评估。

2.4.3 空中航行服务提供者（ANSPs）必须作好准备，以便驾驶员报告出现干扰时，采取行动。如果经过分析，认定的确存在干扰，空中航行服务提供者必须查明受到影响的地区、发布相关的航行通告、实施下述减轻影响的措施和最后查明干扰位置和消除干扰源。

2.5 减轻影响战略

2.5.1 发生GNSS信号中断的情况需要运用符合现实情况的有效减轻影响战略以确保航空服务的安全和正常，以及打击设法使信号中断的各方。减轻影响的措施包括运用惯性系统、地面辅助设施和雷达以及采用空中交通管制员（ATC）和驾驶员程序。

2.5.2 若干国家已经表明它们需要备份定位、导航和授时（APNT）战略，以便在失去GNSS信号时能尽量维持空中航行服务。这项战略应在全球范围进行协调（在这方面，国际民航组织的参与是有利的）、能够负担得起并能在相对较短的时间内实施。这表示应利用目前已有的系统，随后确定符合现实的前进道路。目前预期甚高频全向无线电测距（VOR）、测距设备（DME）、仪表着陆系统（ILS）和惯性系统都是关键要素，但考虑到GNSS支持的所有应用，可能需要发展新的技术。

2.5.3 考虑到空域的特性、机队设备、驾驶员和空中交通管制员的工作量以及替代间隔距离标准，采取程序上的减轻影响措施也至为有效。

3. 使用多星座/多频率的 GNSS

3.1 背景

3.1.1 目前基于GNSS的服务大都依赖单一星座——全球定位系统（GPS），它在一个频率的基础上提供服务。不过，另一个星座——格洛纳斯（GLObal NAVigation Satellite System）（GLONASS）已经开始运行，并且还有更多星座正在建立（伽利略（Galileo）系统和北斗（BeiDou）系统）。所有星座最终都将在多频段运作。相关发展预期将在GNSS增强系统方面进行。关于GNSS未来进展的信息载于附录B第1段。

3.1.2 归根结底，向多星座GNSS过渡的速度取决于航空器的设备，而航空器的设备又取决于航空器经营人的业务模式，和由预期效益和相关成本以及有待解决的挑战来决定。

3.2 预期的效益

3.2.1 使用多星座以多频段方式发送GNSS信号会提高GNSS的技术性能。这提供了实现运作效益的机会。这些效益包括提高导航性能、减少丧失服务的可能性和增加提供服务的覆盖面。

3.2.2 与多星座、多频率GNSS情景有关的技术改进将在下文进行简短讨论。这方面的进一步信息载于附录B第2段。

3.2.3 GNSS的性能与能见的卫星数目密切相关。多星座GNSS将大幅增加这个数目。这将改善服务的连续提供，特别是在电离层闪烁能造成无法锁定个别卫星的情况下。此外，目前存在的超过30个可互用的测距源将支持机载增强系统（ABAS）的发展，这个增强系统能长期对全世界提供垂直引导进近，而只需要或可能根本不需要外来的增强信号。

3.2.4 有第二个频率可用可使航空电子仪器实时计算电离层延迟效应成为可能，这有效消除了重大错误的来源。未来的星基增强系统（SBAS）将能支持强化的垂直引导进近（LPV），其决断高将低至200英尺。陆基增强系统（GBAS）的运作能力和II/III类服务的性能也将得到改善。此外，如2.3.2中讨论的情况，使用多种频率是减轻非蓄意干扰非常有效的手段，因为非蓄意干扰源极不可能同时影响超过一个以上的GNSS频率。

3.2.5 多个独立星座的存在提供了冗余能力，使之能够用以减轻核心星座内的主要系统发生故障所导致的服务中断产生的风险，并能因应有些国家依赖在其操作控制之外的单一星座系统的顾虑。

3.3 挑战

3.3.1 引进多星座、多频率的GNSS引起一些超过目前与使用GNSS相关的挑战之外的新挑战。这些挑战例如包括：不同GNSS星座的信号需要能够互用；法律责任的考虑；能够因应不同GNSS星座组合的增强系统具有更加复杂的作用；和增加航空电子仪器和航空器整合和操作控制的复杂性（特别是在不同国家需要或禁止在其各自空域使用不同GNSS信号组合的情况下）。更加详细的讨论载于本文件附录B第3段。

3.3.2 为了实现多星座提供的效益，国际民航组织、国家、空中航行服务提供者、制造商和航空器经营人需要进行协调，以克服这些挑战。最终目标是设立一个能够对使用GNSS任何组件不加限制的机构和法律框架。在到达那个阶段以前，国际民航组织和航空业界必须制定务实的解决方案，以便能够逐渐引进使用多星座的GNSS。

4. 结论

4.1.1 本文件第2节内的讨论突出了需要采取有效措施，尽量减少发生GNSS信号中断和减轻发生任何剩余中断的情况。在这个基础上，请会议同意以下各项建议：

建议6/x — 协助各国减轻全球导航卫星系统（GNSS）的脆弱性

会议要求国际民航组织：

- a) 继续对全球导航卫星系统（GNSS）的各种已知威胁进行技术评估，包括空间天气问题，并向各国提供这方面的信息；
- b) 为各国编制和发布更详细的用于评估全球导航卫星系统脆弱性的指导；

- c) 与国际电信联盟和联合国其他相关机构制定正式机制，以便处理各国向国际民航组织报告的有害干扰全球导航卫星系统的具体案例；和
- d) 评估建立一个备份定位、导航和授时系统的需求和可行性。

建议6/x — 规划减轻全球导航卫星系统（GNSS）的脆弱性

会议要求各国：

- a) 评估全球导航卫星系统在其空域出现脆弱性的可能性和效应，并在必要时，应用公认可用的减轻影响措施；
- b) 提供有效的频谱管理和保护全球导航卫星系统（GNSS）的频率，以便减少发生非蓄意干扰或GNSS性能降低的可能性；
- c) 向国际民航组织报告可能对国际民用航空运行有影响的对全球导航卫星系统进行有害干扰的案例；
- d) 制定和实施强有力的管理全球导航卫星系统的中继器、伪卫星、欺骗性干扰器和干扰器的使用的监管框架；
- e) 允许实现机载减轻影响技术的全面效益，特别是惯性导航系统；和
- f) 当决定需要利用地面辅助设施作为减轻影响战略的一部分时，优先采用测距设备（DME）以支持惯性导航系统（INS）/DME或DME/DME地区导航和在选定的跑道使用仪器降落系统。

4.1.2 本文件第3节内的讨论说明了目前GNSS朝向多星座、多频率情景的演进所具有的巨大效益。它也明确指出要获得这些效益所需克服的若干挑战。在这个基础上，请会议同意以下各项建议：

建议6/x — 国际民航组织支持全球导航卫星系统（GNSS）演进的工作方案

会议要求国际民航组织进行工作方案，以便应对：

- a) 全球导航卫星系统星座和增强系统的技术互用性；
- b) 技术和运行解决办法，以便化解机构和法律上的关切；
- c) 查明运行效益，使空中航行服务提供者和航空器经营人能计算它们具体运行环境的这种效益；和
- d) 继续制定全球导航卫星系统组件的标准和建议措施及指导材料，并鼓励制定航空电子仪器的业界标准。

建议6/x — 多星座的使用

会议建议各国在拟定其空中航行战略计划和启用新运行时：

- a) 利用现有多星座全球导航卫星系统提供的强化健全效能；
 - b) 公布核准用于其空域的全球导航卫星系统组件的资料；和
 - c) 对使用全球导航卫星系统（GNSS）星座采用基于效绩的办法，特别考虑到限制或指定使用特定GNSS组件造成的困难。
-

附录A

导致全球导航卫星系统（GNSS）脆弱性的缘由

1. 非蓄意干扰

1.1 国际民航组织设定的 GNSS 标准频段或正在考虑设定的未来运作标准频段或计划运作的频段定于 1559 – 1610 MHz（GPS、GLONASS、Galileo、BeiDou 和 SBAS）；108 – 117.975 MHz（GBAS）；和 1164 – 1215 MHz（GPS、GLONASS、Galileo 和 BeiDou）。

1.2 在这些频段的 GNSS 接收器必须符合出现国际民航组织附件 10 —— 《航空电信》所指的干扰水平时所需的具体性能规定并在国际电信联盟（ITU）相关建议的范围内使用。高于设定水平的干扰可能造成服务变差或丧失的情况，但航空电子仪器的设计标准规定这种干扰不应导致生成具有危险性的误导信息。

1.3 来自频段内和频段外的电波发射器都会对 GNSS 产生一些非蓄意干扰，其中包括移动和固定式甚高频通信设施、电视台谐波、某些雷达波、移动式卫星通信设施和军事系统等。感到具体关切的是有些国家允许其点对点微波链路使用 1559 – 1610 MHz 波段。这些链接将在 2015 年以前逐渐停止使用。

1.4 其他可能产生非蓄意干扰的来源包括 GNSS 中继器和伪卫星（发射信号以补充建筑物内和一般 GNSS 信号难以收到的其他地区收到 GNSS 信号的系统）以及作为 GNSS 信号生成器的航空测试设备。当这类设备不依照具体规定操作时，就可能对使用 GNSS 的航空电子仪器和通信、导航和监视（CNS）地面设备造成干扰。在有些情况下，这些系统能使 GNSS 接收器处于计算错误位置的距离之内。这种情况应能测知，因为这会产生至为明显的位置突然跳转的现象。

1.5 据报发生 GNSS 干扰事件的许多例子都能追溯到机载系统；经验已能判定若干来源，包括甚高频和卫星通信设施以及便携式电子设备。通过适当安装使用 GNSS 的航空电子设备（例如屏蔽设备、天线分隔间距和带外数据过滤）、整合其他航空器系统和限制使用便携式电子设备都能防止受到这种干扰。

1.6 如本文件正文讨论的内容，各国采用有效的频谱管理办法能大幅减少受到这种非蓄意干扰的威胁。

1.7 目前 GNSS 核心星座使用单一频段（1559 – 1610 MHz）。GNSS 信号增用 1164 – 1215 MHz 频段的频率将切实消除非蓄意干扰造成 GNSS 服务完全失去的可能性。不过，这种干扰可能会使依赖使用多频率的强化服务的功能降低。

1.8 二代核心卫星在 1164 - 1215 MHz 频段额外发送的 GNSS 信号与测距设备（DME）和战术空中导航系统（TACAN）共用相同的频段。《国际电联规则》要求对 DME/TACAN 做出保障，不受任何干扰。目前为 DME/TACAN 基础设施进行的相容性研究得出结论认为，无线电频率干扰对处理新的 GNSS 信号的影响在能够容忍的范围之内。这些研究还认为，在新的 GNSS 频段内或频段附近操作高密

度的 DME/TACAN 设施能对海拔高的 GNSS 信号造成干扰。各国应对增加 DME/TACAN 基础设施的使用是否与扩大使用 GNSS 相容或将 DME 频率调配到 GNSS 频段之外作出评估。

2. 蓄意干扰和欺骗性干扰

2.1 今天，所有传统导航辅助工具仍在使用，并且所有航空器仍具备使用这些工具的设备。因此，要故意干扰基于 GNSS 的航空服务的动机不高。但随着对 GNSS 依赖度的增加，蓄意干扰（“干扰”）的威胁可能随之增加。

2.2 GNSS 用于许多应用，包括金融、保安和跟踪、运输、农业、通信、数字天气预报、科学研究等方面。对蓄意威胁的分析必须考虑到所有对 GNSS 技术的应用和针对非航空使用者的干扰可能会影响到航空器的运行。此外，也应当考虑到非航空服务进行的减轻影响措施。这方面的主要关切是用于使车辆跟踪系统失去效用的个人隐私干扰器的四处流通。

2.3 各国必须评价和处理其空域内蓄意干扰造成的风险。如果国家认为在具体领域的风险不能接受，它们可采用本文件正文内讨论的减轻影响战略。

2.4 欺骗性干扰是发送类似 GNSS 的信号，使 GNSS 航空电子仪器计算错误的位置和提供不正确的导航信息。欺骗 GNSS 要比欺骗传统辅助工具困难，因为 GNSS 在技术上远较复杂。为了避免遭到立即侦得，欺骗性干扰需要准确、持续的航空器位置信息。要使欺骗性干扰信号配合目标接收器的各种设定并维持足够的信号强度使接收器能继续锁定欺骗性干扰信号，这是极为困难之事。如果航空电子仪器锁定欺骗性干扰信号不放，则有各种方法测得这种信号：整合后的航空电子仪器能够分辨 GNSS 定位与惯性导航系统（INS）定位或测距设备一测距设备（DME-DME）定位之间的差异；驾驶员能通过正规检视仪表和显示屏注意到各种偏差；和在雷达环境中，空中交通管制员能观察到各种偏差。如果航空器飞离航道，近地警告系统（GPWS）和机载防撞系统（ACAS）将提供保护，避免航空器与地面和与其他航空器发生相撞。

2.5 发送欺骗性地基增强系统（GBAS）数据的困难程度至少与发送欺骗性常规着陆辅助工具的信号一样困难。为了进一步保护地基增强系统，已经开发了身份验证机制，这使欺骗性干扰几乎成为不可能之事。

3. 电离层和太阳活动的影响

3.1 电离层是上层大气受到太阳辐照而部分电离的区域。GNSS 信号受到不同程度的延迟效应，这取决于电离层内电离粒子的密度，而这种密度又取决于太阳辐射的强度和其他太阳能暴。对两种电离层现象必须加以考虑：电离层延迟发生快速和大幅变化；和闪烁（快速的信号强度和相位起伏）。电离层延迟效应的变化导致卫星测距误差，这必须通过系统设计加以修正。严重的闪烁能导致一个或一个以上的卫星信号暂时丢失。

3.2 电离层风暴对航路非精密进近的影响微不足道。

3.3 严重闪烁能中断来自卫星的信号，但它不会同时影响到整个电离层的广泛区域；闪烁只会部分地区发生。因此，它一般只会影响使用者能见到的几个卫星。由于闪烁导致丧失信号跟踪是短期现象，但这种现象能在若干小时内重复发生。丧失这种跟踪信号可能会使 GNSS 服务功能降低或暂时失去这种服务。减轻这种影响的一种办法是接收器能在发生闪烁之后快速重新捕获卫星信号。闪烁会影响到 GNSS 使用的所有频率，因此，多频率接收器不会提供更多保障。另一种减轻影响的办法是使用多星座。如果接收器能够跟踪更多卫星，服务中断的可能性就会大幅降低，因为会有更多卫星没有受到影响。

3.4 闪烁在中纬度地区几乎完全不存在，而在为数不多的重大电离层风暴时，可能会在中纬度地区产生低度至中度的闪烁现象。严重的闪烁在赤道地区相当普遍。在赤道地区，一般闪烁在日落之后和当地午夜之前发生。中等严重程度的闪烁在高纬度地区时常发生，并在电离层风暴时，闪烁可达到严重程度。

3.5 利用双重 GNSS 频率能补偿电离层产生的延迟效应。由于延迟效应的作用与频率有关，因此，使用双重频率能使 GNSS 接收器测得和计算电离层的这些延迟效应。

3.6 星基增强系统（SBAS）能够侦测可能会危害修正后的信号完好性的电离层风暴的影响，并确保在电离层修正信号不足以补偿这种影响时，垂直引导进近（LPV）运行就停止进行。这种减轻影响的措施至为有效，因为足以严重危害星基增强系统修正信号有效性的电离层风暴不常发生（预计在中纬度地区约会有 1% 垂直引导进近（LPV）服务）。

3.7 尽管在中纬度发生的严重电离层风暴可能不常会使星基增强系统（SBAS）提供的垂直引导进近（LPV）服务失效，但在赤道地区，失去这种服务的次数远为频繁，因为聚集在磁赤道南北大约 15 度内的电离粒子会形成一条辐射带。在本地日落之后并一直延续到本地夜晚，在这些辐射带内时常会生成电离粒子密度远低于周围电离层密度称为耗尽区（或耗尽泡区）的狭长柱区。这些现象的组合造成电离层时空延迟效应的巨大变化，从而对星基增强系统发送的电离层修正信号的完好性构成重大挑战。因此，在赤道地区提供单一频率的星基增强系统的垂直引导进近（LPV）服务是不实际的。

3.8 陆基增强系统发送的测距修正信号能用于纠正所有错误的信号，并提供在本地电离层受到严重扰乱时依然有效的完好性信息。不过，如果严重的闪烁导致航空电子仪器或陆基增强系统丧失锁定足够的卫星信号，这也会失去陆基增强系统的服务。陆基增强系统信号的发送本身不受电离层变化的影响。不过，陆基增强系统完好性监测器使用的电离层威胁模式必须符合当地状况，这可能在赤道地区比在中纬度地区提供较少的服务或具有更多的位置制约。双重频率陆基增强系统能抵消电离层延迟效应，能够减少制约增强效绩。

3.9 一般而言，空间天气对 GNSS 有直接影响。空间天气能定义为太阳表面以及太阳风、磁层、电离层和热层的状态，它能影响空间和地面技术系统的性能和可靠性，并能危及人类的生命或航空飞行机组和旅客的健康。日冕²的波动能造成太阳射电爆发并能在 GNSS 频段增加无线电噪声的强度，从而影响到地球向日面接收所有卫星发送的信号。在极为少数的情况下，太阳射电爆发的强度和频段能导致 GNSS 接收器暂时无法锁定能见的卫星。经验显示，这种状况能持续至一小时之久，在此期

² 这种波动称为日冕物质抛射（CMEs），它释放出大量物质和电磁辐射进入空间，并能以每秒高至数千千米的速度向地球运行。

间，大地测量的 GNSS 接收器能丧失锁定能见的所有卫星数分钟之久。不过，接收器对这种事件的脆弱性高度取决于它们设计。航空 GNSS 接收器的设计不同于大地测量接收器的设计，因此，至今没有测得这些事件对航空接收器有重大影响。

4. 其他脆弱性

4.1 方案制定问题，包括缺乏资源、发射失误或卫星意外故障等问题，都可能导致用于支持以 GNSS 为基础的具体服务所需的卫星数目不足。控制部门的失误或人为错误也极有可能导致单一星座的若干卫星服务丧失和共模发生误差。要从核心卫星星座提供可靠的服务需要有力的系统管理和资金供应。

4.2 各国必须估计到在国家紧急状况期间 GNSS 和常规导航辅助服务都有可能中断或功能降低（见《芝加哥公约》第八十九条）。各国也必须要有应急计划，以便应付国际突发冲突或另一个国家干扰 GNSS 信号使其边界之外的服务中断的情况。有些国家也正在讨论 GNSS 的保安问题，这可能导致制定新的程序，以便保障航空导航的安全和效率。

4.3 有些国家的军事当局有时为了测试其设备和系统的能力，会发射干扰信号使一些特定地区的服务中断。这种活动通常会与国家频谱办公室和空中航行服务提供者（ANSPs）进行协调。操作干扰设备的军事当局等机构应与空中航行服务提供者协调，使它们能够确定受影响的空域、对航空器营人提供咨询意见并制定所有必需的程序。

4.4 支持航空导航的地面导航辅助设备的保安是国家当局的责任。由于 GNSS 的覆盖面延伸到许多国家的领土，因此，保安应在地区一级或全球一级进行。民用航空使用的 GNSS 组件应得到保护，免遭恐怖主义或敌对行为的破坏。

—————

附录B

全球导航卫星系统（GNSS）的效益和挑战的预期演进

1. GNSS 在未来 15 年至 20 年的预期演进

1.1 核心星座

1.1.1 美国和俄罗斯联邦计划在未来几年增加全球定位系统（GPS）和格洛纳斯（GLONASS）的功能。全球定位系统通过改善对其L5频段信号的设计，计划到2020年能够具有L1—L5双重频率的全部能力。以长期而言，目前也正在为L1频段考虑采用现代化的信号。格洛纳斯计划提供L1和L3两个频段的双频率服务，并在2020年以前逐步建立全面星座能力。更长期的计划是在L1和L3频段使用相容的信号调频方案使信号现代化，这应进一步提高与其他全球系统的互用性。

1.1.2 欧洲伽利略系统将对E1和E5频段提供双重频率服务并使用提高精确度和健全性的信号设计。该系统的部署将逐步进行，在2015年达到提供初步服务的能力，并在2020年以前完成全面星座部署。中国北斗系统将在B1和B2两个频段提供双频率地区 and 全球服务，在2011年实现提供初步服务的能力，并将在2020年以前完成全面星座部署。

1.2 各种增强系统

1.2.1 航基增强系统（ABAS）

1.2.1.1 从多星座提供两个频率的更多测距信号的办法提供了通过先进的接收器自主完好性监测（RAIM）概念改善效绩的可能性。这能在全球的基础上提供强化的服务，而减少对外来增强系统（星基增强系统和陆基增强系统）的依赖。将先进的接收器自主完好性监测（RAIM）与惯性系统结合将进一步改善服务，减少受到短期干扰或电离层扰动事件的影响。

1.2.2 星基增强系统（SBAS）

1.2.2.1 星基增强系统的首次演进将扩大现有系统的服务区域。预计这将在未来几年发生，由若干星基增强系统提供垂直引导进近（LPV）服务。第二次演进的基础是利用双重频率信号的好处。这个阶段也可包括利用多星座发送的信号，但这可能得在第三阶段考虑。预计这将在 2020 年以后的时段内发生，届时将有足够的核心星座卫星提供双频率能力。

1.2.3 陆基增强系统（GBAS）

1.2.3.1 国际民航组织为单频陆基增强系统 II/III 类服务制定的标准目前正处于运行验证阶段。陆基增强系统的下一步演进涉及使用第二个频率和一个以上的星座。双频率、多星座提供 II/III 类服务的陆基增强系统可能将在 2020-2025 年的时间段内提供。

2. 效益

2.1 引言

2.1.1 使用多星座以多频率发送信号会提高GNSS的技术效绩。这提供了实现运作效益的机会。这些效益包括提高效绩、减少丧失服务的可能性和增加服务的覆盖面。使用多星座将解决有些国家依赖在其运行控制范围之外的单一星座的忧虑。过渡到多星座GNSS可加速减少使用传统辅助工具。

2.1.2 在目前开发多星座和多频率技术的这个阶段，只可能确定质的运行效益。不过，在这项开发取得进展之后，各国、空中航行服务提供者和航空器经营人才能量化这些效益。

2.1.3 以下各节指出多星座、多频率的GNSS的关键特征、解释在技术性能上预期得到的改善和指出这些改善能如何提供运行效益。

2.2 增加其他测距源

2.2.1 GNSS的性能与能见的卫星数目密切相关。存在多个能互用的星座将提供更多测距源，会大幅提高服务的持续性，这将增加运行的健全可靠并能为导航和监视提供先进的应用。

2.2.2 在赤道地区和在严重程度较低的极区，电离层闪烁能导致失去锁定的个别卫星信号，造成失去服务。在任何时间闪烁都会影响到天空的部分区域。在能见更多卫星的情况下，闪烁导致失去服务的可能性将大幅下降。

2.2.3 目前存在超过30个能互用的测距源将支持机载增强系统（ABAS）（即先进的接收器自主完好性监测）的发展，这个增强系统能提供先进的应用，例如对全世界提供垂直引导进近，而只需要或可能根本不需要外来的长期增强信号。

2.3 使用第二个 GNSS 频率

2.3.1 单频率GNSS的主要错误来源是难以估计电离层的垂直延迟造成的错误。具有第二个频率将使航空电子仪器能够实时自动计算这种延迟，有效消除这种错误源，并且需要增强系统以便对具有双频率设备的使用者提供修正信号。未来的星基增强系统（SBAS）以多频率增强多星座的能力，这将在适当机场能支持几乎100%的垂直引导进近（LPV）服务，即使在赤道地区，其决断高（DA）也可低至200英尺。

2.3.2 未来基于使用多频率的星基增强系统的扩大将需要少得多的监测站在整个GEO卫星足迹内支持垂直引导进近。

2.3.3 单一频率的GNSS能由于非蓄意干扰而导致服务中断，诸如信号发送器发生故障在不同的频段使用多种频率是防止非蓄意干扰非常有效的办法，因为极不可能在频段之外的干扰源能同时影响一个以上的GNSS频率。升级（GPS和GLONASS）的和新出现的星座发送的信号更能阻挡干扰，因为高功率和改善的信号设计导致有更好的抗干扰能力。

2.4 运用多个独立星座

2.4.1 多GNSS星座提供了减轻由于核心星座内主要系统发生故障可能导致的丧失服务风险所需的冗余。运用独立星座提供的其他测距源和频率将能改善运行效能，以维持所需的运行性能，这样可减少改用性能较低的备用/代用系统（例如雷达、传统导航辅助工具等）的需求，而在有些情况下，这表示能力的丧失。GNSS提供传统导航系统无法复制的世界范围无缝服务。在规划上假设未来需要持续增加空域能力，这将促使拥有更多的星座和维持持续运行标准。这些标准在多星座环境中更易得到满足。

2.4.2 GNSS提供了精确的时间参考数值，这可使地面系统、机载设备、通信网络和系统运行同步进行。预计在未来运行中（例如四维航迹运行），拥有整个系统的时间参考数值越来越成为关键。多星座将提供GNSS时间参考数值的独立来源，以便增加这些系统和相关应用的健全运行。

3. 挑战

3.1 互用性

3.1.1 不同GNSS星座发送的信号之间能够互用的程度将直接影响到航空电子仪器的复杂性和成本费用，这涉及航空器经营人的业务模式。理想的情况是多星座的各个卫星能“相互交换”，使接收器能够结合所有卫星成为单一解决办法，这样性能能够大幅提高。

3.2 多星座引起的责任问题

3.2.1 每一个国家必须保证在其主权空域内提供的空中航行服务的安全。使用全球定位系统（GPS）的经验已经显示依赖其他国家提供的GNSS服务可能引起法律责任问题。有些国家已经拒绝批准任何基于GNSS的运行。

3.2.2 可供有些国家使用的解决办法是使用GNSS监测系统和/或增强系统，以便独立监测和控制已获核准的基于GNSS服务的使用。多星座GNSS的出现再次认定需要确定GNSS国际责任的具体机制。

3.3 各种增强系统的作用

3.3.1 增强系统在多星座GNSS情景中的作用大幅增加了对使用者和航空电子仪器制造商的复杂性，在此必须设计不同的增强系统以便增强GNSS星座的不同组合。

3.3.2 目前的星基增强系统标准用于全球定位系统（GPS）和格洛纳斯（GLONASS）两种系统，但此种增强系统无法扩大用于增强多至四个星座。配合计划进行的双频率全球定位系统的升级，必须重新设计星基增强系统的电文结构以便用于多星座GNSS。

3.3.3 这种状况与陆基增强系统的情况相似，其目前拟议的单频率单星座标准必须通过国际协调后，用于多频率/多星座的GNSS框架。

3.4 对航空电子仪器的发展和航空器整合的挑战

3.4.1 对航空电子仪器的发展和航空器整合的挑战与能力整合的复杂性和GNSS接收器的运行管制有关。

3.4.2 虽然有可能设计一种用于所有各种核心星座和增强信号的单一接收器，它能有多个运行模式，这会增加它的复杂性。使用多频率也会对支持多频段使用的天线设计造成挑战。新核心星座和用于新频率的新信号波形的出现，对接收器设计者制定能用于新的、更复杂的环境，但却简单和能得到认证的架构，造成挑战。各个业界标准化论坛（例如，欧洲民用航空设备组织）目前正在应对这些挑战。

3.4.3 如果国家需要或禁止使用具体星座、信号或增强服务，则运行管制和航空电子仪器整合将是困难之事。今天，航空器使用的所有航空电子仪器几乎都只以全球定位系统为依据，在一个特定空域使用何种系统的决定相对简单：国家已经核准使用全球定位系统或尚未核准此种系统。在一个多星座的情景中，有多种替代办法存在（取决于每一国家核准使用何种星座组合），航空电子仪器需要知道在何处能用何种星座。同样的概念可延伸到多频率和多地区增强系统，如星基增强系统，其广大的增强信号可覆盖到服务地区之外的广大地区。当接收器使用多个GNSS组件时，要实施一种管制办法至为复杂。使驾驶员涉入这项决定会增加工作量和复杂性，因此，可以预计会有一些自动化的设定。此外，由于允许用于或不得用于某个空域的组件的状况会随着时间的改变，推动自动功能的信息需要定时进行更新。

3.4.4 航空器整合的另一项挑战是适航性的核准。适航证由登记国颁发。这份证书指明该航空器符合其核准的设计规定，这是设计国颁发的航空器类型证书（TC）的一部分。航空器类型证书（TC）是设计者显示特定设计符合国家设计标准，包括设计国民航局规定的相关法规之后颁发给设计者的证书。因此，包括使用没有得到设计国核准的GNSS组件的航空器类型证书将有问题。这种状况已经存在，其中美国民航局没有允许认证使用格洛纳斯（GLONASS）接收器的设计标准或指导材料。这种状况在未来可能变得更加复杂，因为GNSS核心星座成熟速度不同，而不同的设计国和登记国会不同的时间核准不同的GNSS组件。当国家同意使用或禁用特定GNSS组件时，这个问题将变得更加严重。

3.4.5 航空业愿意面对与导航设备升级和认证有关的挑战，这将在实现多星座环境提供的效益方面发挥主要作用。