

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R SM.2424-0报告
(06/2018)

测量技术和卫星监测新技术

SM系列
频谱管理



国际电信联盟

前言

无线电通信部门的职责是确保卫星业务等所有无线电通信业务合理、平等、有效、经济地使用无线电频谱，不受频率范围限制地开展研究并在此基础上通过建议书。

无线电通信部门的规则和政策职能由世界或区域无线电通信大会以及无线电通信全会在研究组的支持下履行。

知识产权政策 (IPR)

ITU-R的IPR政策述于ITU-R第1号决议的附件1中所参引的《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策》。专利持有人用于提交专利声明和许可声明的表格可从<http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>获得，在此处也可获取《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策实施指南》和ITU-R专利信息数据库。

ITU-R系列报告

(也可在线查询<http://www.itu.int/publ/R-REC/en>)

系列	标题
BO	卫星传送
BR	用于制作、存档和播出的录制；电视电影
BS	广播业务（声音）
BT	广播业务（电视）
F	固定业务
M	移动、无线电定位、业余和相关卫星业务
P	无线电波传播
RA	射电天文
RS	遥感系统
S	卫星固定业务
SA	空间应用和气象
SF	卫星固定业务和固定业务系统间的频率共用和协调
SM	频谱管理

注：本ITU-R报告英文版已按ITU-R第1号决议规定的程序批准。

电子出版
2018年，日内瓦

©国际电联2018

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

ITU-R SM.2424-0报告

测量技术和卫星监测新技术

(2018年)

1 引言

《国际电联频谱监测手册》提供了有关信号参数测量和频谱监测基本程序的详细信息，但缺乏对先进测量技术和卫星监测新技术的描述。本报告的目的是全面介绍卫星监测站的必要功能，以及新监测解决方案的相关技术要求，作为希望建立卫星监测能力的主管部门的系统和直观导则。

在逐步形成本报告时，已经考虑了与频谱监测有关的、国际电联的下列文件：

- ITU-R RA.769建议书 – 用于射电天文测量的保护准则；
- ITU-R SM.1600建议书 – 数字信号的技术识别；
- ERC Report 171: “Impact of Unwanted Emissions of IRIDIUM Satellites on Radio Astronomy Operations in the Band 1610.6-1613.8 MHz”
- 国际电联频谱监测手册（2011年版）。

其它文件：

通过方向角重建卫星轨道（几何与图形学报，第4卷（2000），A.M.Farag和Gunter Weiss）。

2 术语和定义

8PSK	八态相移键控
16QAM	十六态正交调幅
AOA	到达角度
BPSK	二进制相移键控 – 两态相移键控
CDMA	码分多址
CW	连续波
DVB-CID	DVB载波识别
e.i.r.p.	等效各向同性辐射功率
EVM	误差向量幅度
FDMA	频分多址
FDOA	到达频率差
LDPC	低密度奇偶校验 – 线性纠错码
pdf	适用带宽中的功率通量密度 (dBW/m ²)
POA	到达功率

RS	Reed Solomon编码
SDMA	空分多址
SOA	面向服务的架构
spfd	空间功率通量密度 (dBW/m ² /Hz)
TCA	最接近时间
TDMA	时分多址
TDOA	到达时间差
Turbo	高性能前向纠错码
QPSK	正交相移键控 – 四态相移键控

3 卫星监测的目标

频谱管理的目标是实现最大频谱效率，最大限度地减少干扰并消除对频谱未经授权的和不适当的使用。频谱监测支持频谱管理过程。相比地面无线电监测，监测空间无线电业务需要不同的方法和技术。因此，主管部门建立功能齐全的卫星监测站就显得尤为重要。

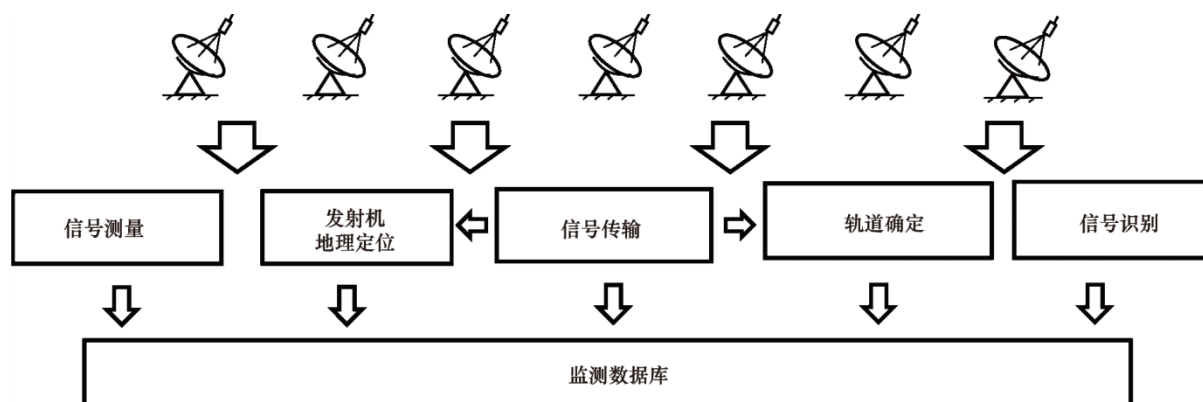
卫星监测有两个主要目标，即：

- 目标1：卫星资源利用情况的评估：
 - 载波和收发机电平；
 - 轨道位置占用情况；
 - 频率占用情况；
 - 轨道位置和频率分配情况（长期使用）；
 - 功率通量密度（pfd）和其它技术参数合规性；
 - 波束覆盖范围。
- 目标2：干扰的检测和解决：
 - 地理定位地球表面上的干扰发射机；
 - 确定干扰发射机是移动的还是固定的；
 - 干扰卫星通信网络的检测和技术分析；
 - 确定地面干扰源的确切位置；
 - 根据许可条件调查和核实辐射参数；
 - 消除干扰。

4 监测系统的功能

本节描述卫星监测站的基本功能。一个典型的固定监测站的结构如图1所示。

图1
典型固定监测站的结构



4.1 信号接收

为了监测来自卫星的信号，最常用的天线类型是抛物面天线，因为它可以指向感兴趣的卫星并且可以用于跟踪卫星。天线的大小决定了天线的增益，因此它应足够大以允许正确的信号接收。高阶调制方案需要更高的 C/N 比。可以使用天线的方位角和仰角来近似计算卫星轨道位置。连接到天线的频谱分析仪将显示接收的频谱。

相控阵天线通过调整阵列中辐射元件的信号馈送相位来改变其辐射图案的形状。这有助于几乎同时扫描大空间弧内的多个卫星。因此，相控阵天线可能是一个好的、用于监测多个GSO卫星信号的选择。

用于GSO和非GSO的天线系统的要求在《ITU-R频谱监测手册》第5.1.3.3节至第5.1.3.6节中有更详细的描述，天线使用情况的例子见第5.1.6.1.1节。

卫星监测站通常监测的GSO卫星频段是UHF、L、S、C、X、Ku和Ka频段。卫星监测站通常监测的非GSO卫星频段是UHF、L、S、X、Ku和Ka频段。随着宽带互联网卫星通信使用的日益增多，带宽需求不断扩大，监测频段将扩展至Q频段及以上。

4.2 信号测量

现代接收系统应具有执行实时、非实时（稍后分析数据，称为后处理）和固定时间测量的能力。系统的测量带宽应比正在接受评估的典型卫星载波宽。不过，系统至少应支持大于100 MHz的测量带宽。系统还应能够在信号的全带宽下记录IQ数据。IQ记录支持对信号的后处理和分析。

接收系统应实时测量以下RF参数：

- 中心频率；
- 多普勒频率；
- pfd参考带宽和总的pfd；
- 等效各向同性辐射功率（e.i.r.p.）；

- 载噪比 (C/N_0) ;
- 收发机带宽和载波带宽;
- 带外频谱;
- 接收的信噪比。

4.3 信号识别

如上所述, 来自接收系统的IQ数据可以支持信号参数的后处理和分析。通过适当的触发, 接收系统可以在检测到信号后记录信号, 从而可以保留信号的特征以供将来分析。有关制作和分析IQ记录过程的导则, 请参阅ITU-R SM.1600建议书 – 数字信号的技术识别。接收系统应该能够确定以下信号属性:

- 代码率和符号率;
- 调制类型, 即QPSK、8PSK、BPSK、16QAM;
- 源编码和信道编码类型 (即RS、Turbo、LDPC) ;
- 多址, 即TDMA、FDMA、SDMA、CDMA;
- DVB载波识别 (DVB-CID)。DVB-CID是根据ETSI TS 103 129识别卫星信号所有者的唯一标识符。

以下显示的其它参数可用于识别通信系统:

- 通信协议类型, 即IP、DCME;
- 通信系统, 即SNG、DVB-S、DVB-S2、COMTECH;
- 通信网络类型, 即SkyWAN、iDirect、LinkWay/LinkStar。

4.4 信号监视和告警

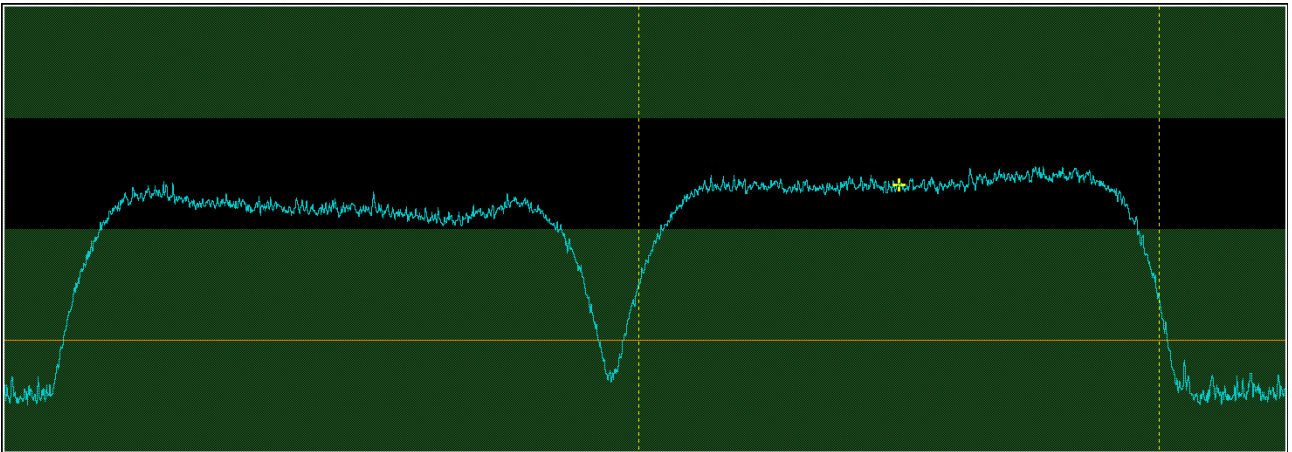
为了检测未经授权的发射机并识别收发机或给定带宽上的异常, 应执行信号监视。应连续比较测量参数与标称 (预期) 参数之间的偏差。

监测系统可以生成一个警报, 以便在超过某个给定阈值时通知操作员。低信号功率告警电平和高信号功率告警电平的示例如图2所示。现代卫星监测系统能够设置高功率电平阈值和低功率电平阈值。当出现电平违规时, 软件可以自动采取措施为卫星操作提供有用的信息。在图中, 显示了两个信号以及相关的高功率电平和低功率电平 (阴影部分)。

可以为不同的参数测量建立类似的限制, 从而为操作员提供有关变化的操作条件的实时告警。

图2

低信号功率告警电平示例



这可以手动（仅针对少数载波）或自动（针对多个载波）提供24/7小时监测。可以自动启动IQ记录、调制分类和监测操作员通知等任务，以帮助识别异常。另外，无论何时检测到干扰事件或未经授权的辐射，都可以设置和启动地理定位系统。

以下参数可用于检测异常或未经授权的传输并设置一个告警：

- 中心频率；
- 带宽；
- e.i.r.p.；
- S/N比；
- 保护频段噪声电平的变化；
- 调制特性（符号率、EVM）；
- 操作员可以使用频谱图来显示短持续时间干扰、快速时隙漂移和扫描信号。

4.5 地球上发射机的地理定位

地理定位地球上的发射机应使用一颗、两颗或三颗卫星的互相关算法来完成。

由于算法的局限性和影响地理定位测量精度的众多因素，地理定位结果是一个干扰发射机最有可能位于的区域，而不是一个精确的位置。

结果通常以具有如下所示参数的区域的形式来呈现：

- 区域中心点的经度和纬度；
- 可以用椭圆（主轴、短轴和相对于北的区域角度）来表示的地理定位精度；
- 发射机是静止的还是移动的。

4.6 信号传输

空间无线电监测站的信号传输系统主要用于从一个已知的远程位置来发送一个参考信号，以帮助提高地理定位精度。参考信号通常是一个扩频信号。由于扩频信号的频谱特性，难以检测并且不会对卫星收发机上的信号造成干扰。

4.7 轨道确定

卫星星历数据的准确性将极大影响地理定位的精度。强烈建议使用精度优于5 km的卫星星历进行地理定位。

获得卫星星历有三种方法。第一种方法是从互联网或卫星运营商那里获得卫星星历。来自运营商的星历表是最新的和准确的。第二种方法是使用主动方法来测量卫星星历。第三种方法是使用被动方法来测量卫星星历。

使用无线电测量的有源星历测定方法通常基于多普勒频移、干涉测量或雷达，它通常需要分布在不同位置上的若干个发射机来连续向卫星发送信号，并同步从卫星接收相同的信号数小时，然后计算出卫星的轨道要素以及卫星星历。也可以使用光学轨道测定方法。

不过，比较有源的卫星星历测定方法，无源的卫星星历表测定方法不需要向卫星发送信号，因此它降低了信号本身干扰卫星的可能性。它使用至少三个远程接收站的到达时间差（TDOA）线。在数百公里的三角形上对接收站进行派送，并且在GPS信号上准确地实施时间同步。通过执行随时间积分TDOA值的轨道模型回归来计算TDOA值。

4.8 信号归位

信号归位使用移动监测站来确定干扰授权卫星通信信号的地面发射机或其它干扰源的位置和操作者。用于干扰调查的常用技术包括使用到达角（AOA）、到达功率（POA）和TDOA互相关算法。信号归位起始于卫星地理定位测量的结果，它描述了干扰最可能来自的区域。使用移动资产的迭代过程可实现对地面发射机的成功定位。地面搜索和确认的结果如下所示：

- 目标发射机的经度和纬度（位置）；
- 目标发射机的操作者（识别）。

4.9 文件和数据库

监测程序和结果可以自动记录在数据库中，以支持长期趋势分析和记录计划之变更的影响以及干扰事件。该数据库包含从该区域或国家的监测站中不同类型操作和设施记录的数据记录。此外，它还可以支持生成定期（每日、每周）报告，以支持正常的运营和维护。可以存储以下主要参数：

- 频谱图数据、I/Q数据；
- 信号测量数据；
- 信号识别数据；
- 地理定位数据；
- 干扰调查数据；
- 音频和视频数据；
- 监测时的设备配置参数；

- 操作文件；
- 工作日志。

4.10 监测数据可视化

为了逐步了解卫星系统的性能，可以通过显示不同格式的数据来显示监测数据库，包括传统的频谱分析、频谱图、瀑布图、星座图（用于解调信号），以及有关位置参考数据的数字地图。定期测量将显示短期的或长期的参数变化，并提供对系统性能（如天气、当地事件、设备变化等）相关之其它因素的趋势和影响的深入了解。

可以采用以下格式来观察监测数据：

- 音频和视频显示（用于先前解码的数据）；
- 空间域、时间域、频率域和调制域中的信号数据图形显示，即频谱图、瀑布图和星座图；
- 地图显示地理定位结果；
- 监测车辆的驾驶路线显示。

4.11 统计与分析

为了管理卫星和地球站的频谱使用情况，使用一个高度集成的数据库来对第4.2节和第4.3节中列出的测量数据与历史数据进行比较，以便了解正常的操作并确定异常传输的来源。数据允许示例通过以下分析：

- 识别未经授权的辐射和异常情况；
- 干扰和未经授权的卫星通信网络（即VSAT）的部署情况，包括干扰频率、调制类型、干扰数量、干扰源地理分布；
- 卫星轨道位置；
- 频率占用情况。

4.12 设备控制

计算机化的监测设备可以执行许多自动测量功能，并便于数据库的构建。它还有助于操作者执行手动操作，并检查和维护工作站。站的远程控制可以提供类似的功能。此外，监测车与固定监测设施之间的实时通信可以通过经由广域网连接的音频或视频来建立。它还可以提供从远程/移动站到固定设施的监测数据。

由于监测设备和制造商种类繁多，因此这些监测设备有不同的应用程序编程接口（API）标准和数据格式。由于可能无法实现对这种设备的自动化和智能化控制，为了解决这些问题，可以根据功能而不是设备来划分卫星监测。提供相同功能的设备应具有相同的API。为了便于有效使用监视功能，主管部门应考虑在控制软件中采用面向服务的体系结构（SOA）。

SOA是一种组件模型，它通过这些服务之间定义良好的接口来链接监视设备的不同功能单元（称为服务）。接口应独立于实现服务的硬件平台、操作系统和编程语言。这允许构建于各种各样系统上的服务可以以一种统一的和通用的方式来进行交互。

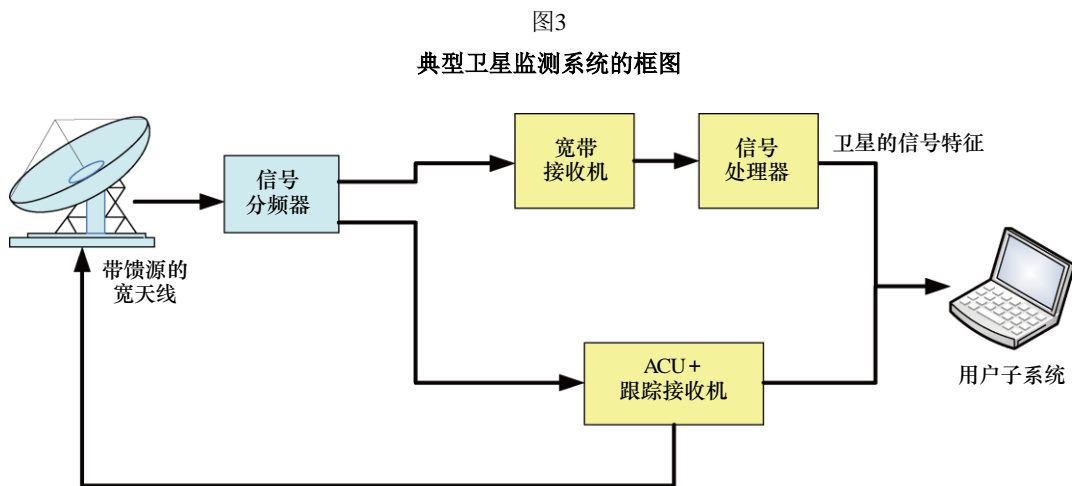
5 卫星资源利用情况的评估

GSO卫星轨道位置的数量有限。重要的是要验证卫星轨道位置和频率是否得到恰当使用，以及实际监测参数是否符合其标称值，以支持选择新的卫星轨道位置并在卫星之间做好协调。

此外，随着微卫星使用的日益增加，非GSO卫星与地面设备之间将更有可能出现干扰。监测非GSO卫星的参数以维持卫星通信和地面通信的正常使用就显得尤为重要。

5.1 系统组成

典型卫星监测系统的框图如图3所示。



5.2 GSO卫星监测的测量技术

5.2.1 卫星轨道位置精度测量

根据《无线电规则》（RR）第22条第III节和《无线电规则》附录30，使用分配给卫星固定业务或卫星广播业务任何频段GSO卫星星上空间站，应有能力将其位置保持在其标称位置所在经度 $\pm 0.1^\circ$ 的范围内。不过，工作于11.7-12.7 GHz频段上的对地静止卫星的卫星广播业务中的空间站必须将其位置维持在其标称位置所在经度 $\pm 0.5^\circ$ 的范围内。

因此，有必要在至少12小时内对当前轨道位置进行测量，并将其与卫星的标称轨道位置进行比较。应记录上述更大的差异。

5.2.2 频谱占用率测量

频谱占用率表示一个收发机或某个给定带宽的实际使用情况。应执行以下程序。

- 将天线转向某颗GSO卫星或某个轨道位置；
- 在某个给定带宽上执行信号测量，见第4.2节。信号测量应由GSO卫星监测系统来自动执行；
- 将信号测量结果记录到数据库中；

- 通过查询数据库，可以根据需要来计算不同持续时间内不同频段的频谱占用率。此外，如果某个轨道位置的频谱占用率从长期来看接近零，则该轨道位置可以被确定为是一个可以用于向国际电联注册的空闲轨道位置。

如果有若干颗卫星共用一个轨道位置，则除非知道每颗卫星的极化和收发机计划，否则很难将频谱与卫星当中区分开来。

5.2.3 检测未经授权的辐射

为了检测收发机或给定带宽中未经授权的和异常的发射，应自动测量信号参数（如第4.2节所述），并与标称（预期的）参数连续进行比较。

在未经授权的发射的情况下，应努力确定信号内部参数的特性，参见第4.3节。

此外，根据《无线电规则》第21条第V节，应将不当发射的测量pfd与国际电联的限值和卫星运营商应用的标称pfd限值进行比较。

5.3 非GSO卫星监测的测量技术

5.3.1 非GSO卫星的识别

在频段占用率测量、发射前监测期间，必须识别出非GSO卫星，以便减轻干扰。

由于不同的前提条件，有不同的识别方法。可能的情形如下所述：

- 出现干扰的时间是已知的。非GSO卫星的指示是多普勒频移；另一种是在一天的类似时间重复发生。例如：客户有干扰案例协议。必须考虑接收干扰之天线的方向性/辐射方向图。
- 监测站能够跟踪未知的卫星，并记录时间、方位角、仰角。
- 监测站能够使用全向天线记录感兴趣的频段。

识别方法

请记住，卫星不一定连续传输信号。

方法A：可以使用轨道元素

- 前提条件：可以获得所有卫星的一整套轨道要素；
- 软件以实时模式预测可见性（和观测角度）；
- 与所观测对象进行比较；
- 通过重复测量来减少可能的卫星的数量；
- 采用轨道元素来引导天线，以便做进一步测量。

方法B：来自观测角的轨道元素

- 前提条件：天线在适当的信号上工作于自动跟踪模式；
- 记录方位角和仰角；
- 计算轨道元素（参见文献）；
- 预测飞越，以便做进一步测量。

方法C：观测时间的比较

- 前提条件：在全向天线上进行频谱记录；
- 最接近时间（TCA）之间的测量时间差；
- 在数据库中搜索匹配期；
- 获得具有该周期的卫星TLE；
- 计算可见性，并将可见时间与观测时间进行比较；
- 采用轨道元素引导天线做进一步测量。

关于方法C的若干评论

当地球在其轴上旋转时，非GSO卫星环绕地球。因此，观测者（除非位于地球自转轴附近）在卫星轨道下通过两次，一次卫星来自北方，第二次来自南方。为了获得更精确的测量结果，建议确定各次飞越之间的时间差，大约相隔24（48，72，...）小时并除以转数。当卫星沿相同方向（北/南）移动并以相似的观测角接收时，可以获得最佳结果。

由于大多数非GSO卫星的轨道为低轨道，高度为160~2000 km（低地球轨道（LEO）），其周期为84~127分钟，因此，当观测者在轨道下通过时，它们可以多次看到。这导致一系列飞越。根据观测者的纬度，两个系列（来自北方的卫星、来自南方的卫星）都是可见的，具有相同的（观测者接近赤道）或不同的时间间隔。时间间隔的变化指明了卫星的倾斜度。例如，如果观测者在北半球并且在一系列飞越过程中的时间间隔首先减小、然后增加，那么卫星的倾斜度将大于90度。

有些频率由诸多卫星共享，大多数为相同的星座。飞越必须与单颗卫星相关联。这可以通过识别具有几乎相等之时间差的飞越组来实现。

若干定义

飞越：从地平线到地平线，卫星通过一次接收站。

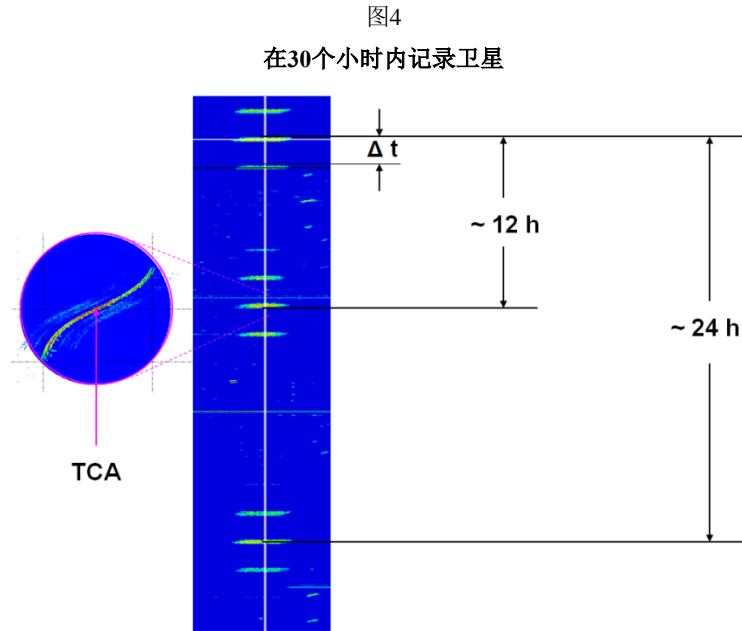
系列飞越：可以观测到的卫星的连续旋转（轨道）。

TCA：最接近的时间。多普勒频移使得飞越可见为S形曲线。在最接近时，卫星相对于监测站的速度为零。这是曲线的拐点。此时，所接收的频率对应于所发射的频率。

Δt ：两次飞越之间的时间差；

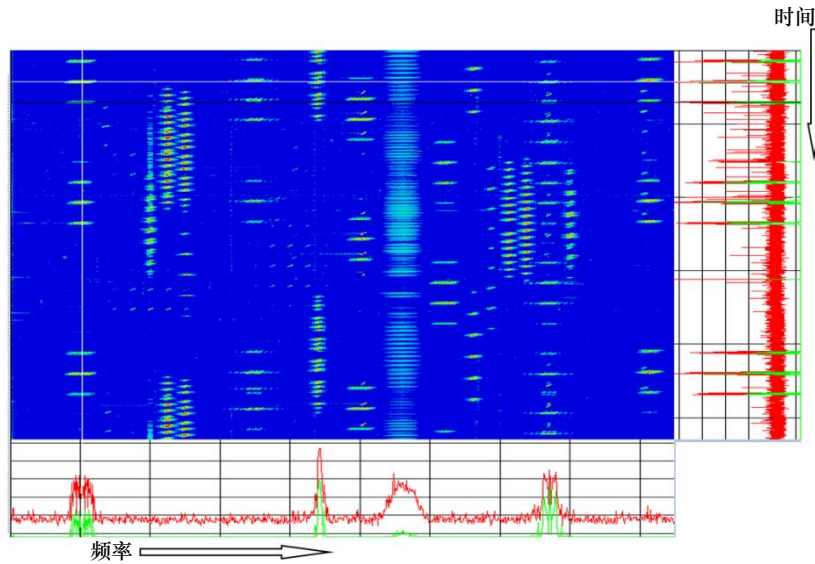
在一系列飞越后约12小时，卫星从相反方向（北/南）通过观测者；

在一系列飞越后约24小时，卫星从相同方向（北/南）通过观测者。



频谱记录（频段记录）：能够随时间显示频谱（频谱图或瀑布图）的记录系统，存储时间至少为48小时，时间分辨率在几秒间，频率分辨率足以识别多普勒曲线中的TCA。

图5
频谱记录示例



5.3.2 轨道位置测量

应计算非GSO卫星的轨道，并以地理坐标（卫星星下点和高度 – 也可以以参考地球中心的xyz坐标形式来定义）或天体网格的形式来提供。这可以通过24小时内的单脉冲跟踪或通过使用光学装置来实现。

5.3.3 载波pfd曲线测量

可以使用卫星星历来预测非GSO卫星的接收时间。利用该数据，地球站天线可以跟踪卫星，并自动测量pfd曲线。测量结果应存储于数据库中，并以图形方式进行显示。

6 干扰分辨率

透明卫星收发机容易受到有意和无意之上行链路和下行链路的干扰。无意干扰通常由以下原因之一引起：

- 许可卫星服务的不恰当操作：
 - 操作员错误；
 - 设备故障；
 - 交叉极化干扰；
- 相邻卫星的干扰。

以下方式可造成故意干扰，即出于政治或犯罪目的的故意干扰以及非法占用闲置卫星频率的未经许可的地球站，这会造成经许可业务的有害退化或中断。因此，卫星干扰的地理定位和调查就显得非常重要。

6.1 干扰类型

由于不同的信号特性，每种类型的干扰都有其优选的测量技术。因此，卫星地理定位系统必须能够处理各种各样类型的干扰信号：

- 连续波（CW）；
- 数字调制信号；
- 模拟调制信号；
- TDMA/FDMA/CDMA；
- 猝发型信号；
- 脉冲信号；
- 扫描信号；
- 扩频信号；
- 雷达脉冲。

例如，为了在CW信号上实现地理定位，仅需要进行FDOA测量。不过，在TDMA干扰情况下，必须进行额外的参数测量，以便在地理定位开始前，事先确定有多少站在线以及每个站的时隙。

6.2 地理定位原则

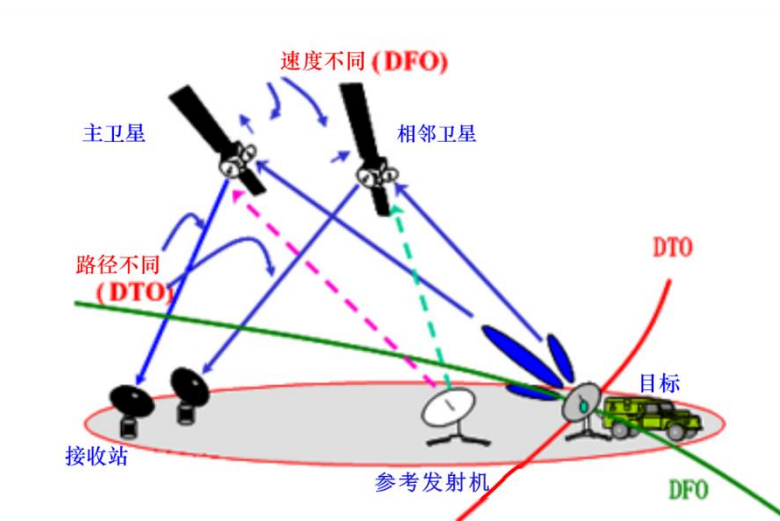
6.2.1 使用两颗GSO卫星地理定位地球上的发射机

6.2.1.1 测量原理

用得最多的、用于地理定位地球上发射机的方法是基于使用两颗GSO卫星的TDOA和FDOA测量法。该方法的概念如图6所示。

图6

主卫星-相邻卫星角度间隔与上行链路频段和天线尺寸



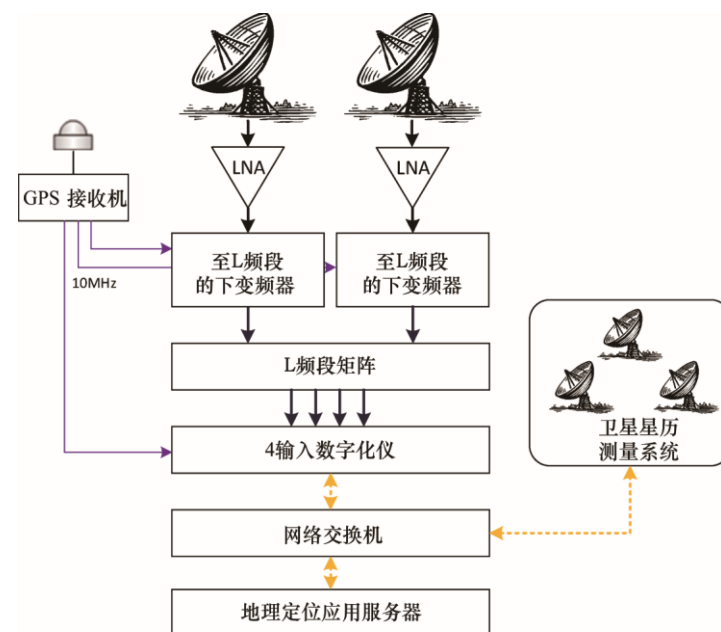
在这个例子中，主卫星是接收干扰的卫星，也称为“受害者”卫星。相邻卫星位于主卫星附近，其收发机可用于测量干扰的旁瓣。TDOA测量获得到达两个地面接收机的干扰信号的时间差，它们通过主卫星和相邻卫星实施监测。FDOA测量获得通过两颗卫星分别到达两个接收机的干扰信号的频率差。TDOA线和FDOA线的交叉通常以椭圆形区域的形式来呈现，该椭圆形区域定义了未经授权的发射机最有可能覆盖的区域。

6.2.1.2 使用两颗GSO卫星的典型地理定位系统

使用两颗GSO卫星的、典型的地理定位系统配置包括两个RF接收链、信号数字化仪和地理定位应用服务器。RF链可以使用低噪声放大器（LNA）+下变频器或低噪声模块下变频器（LNB），如图7所示。

图7

双颗卫星地理定位系统示例图



6.2.2 使用三颗GSO卫星地理定位地球上的发射机

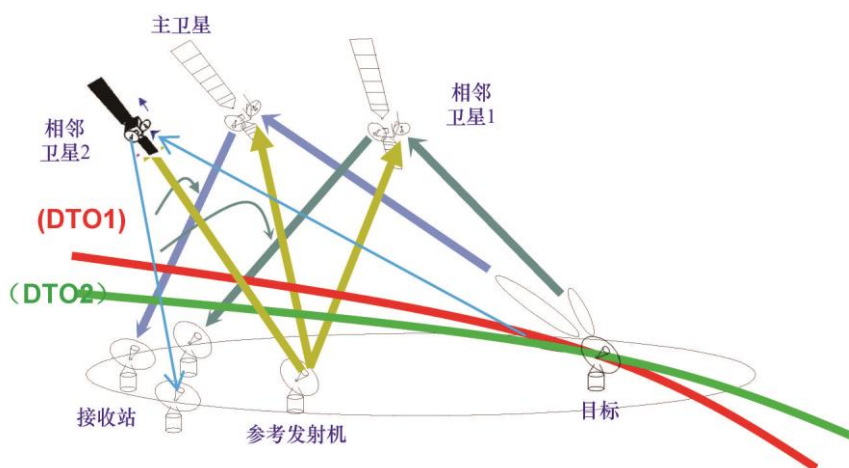
6.2.2.1 问题描述

使用两颗GSO卫星的地理定位方法的一个限制是FDOA线的不确定性，它可以上下波动，尤其是在星历不太精确的情况下。这种波动导致精度变差。使用来自多个已知参考站的测量数据将可减少不精确星历的影响，但不能完全消除它。

为了获得更准确的结果，已经开发了使用基于TDOA测量的三颗GSO卫星的地理定位方法。不过，实际上可能难以找到两颗合适的相邻卫星来支持该方法。该方法的概念如图8所示。

图8

采用TDOA/TDOA算法的三颗卫星地理定位系统概念图

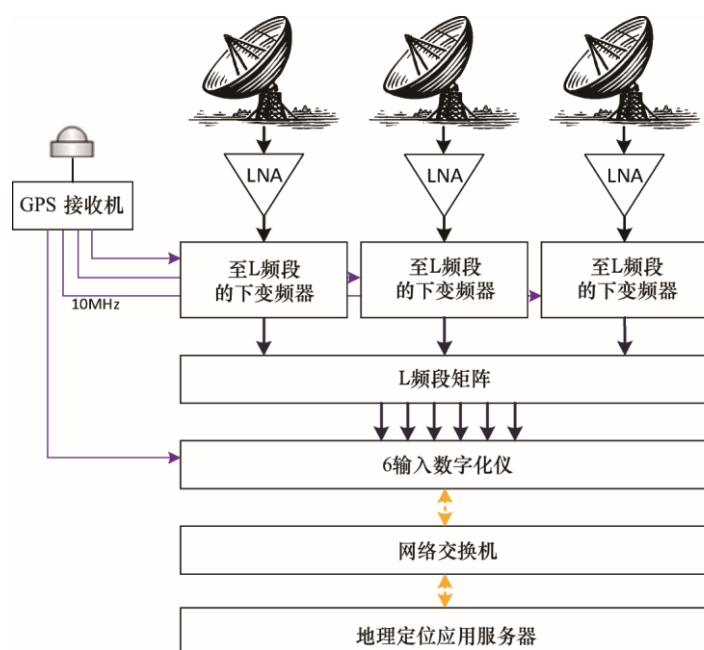


6.2.2.2 使用三颗GSO卫星的典型地理定位系统

使用三颗GSO卫星的、典型的地理定位系统配置与使用两颗GSO卫星的地理定位系统非常相似。该系统由三个RF接收链、信号数字化仪和地理定位应用服务器组成。RF链可以使用低噪声放大器（LNA）+下变频器或低噪声模块下变频器（LNB），如图9所示。

图9

三颗卫星地理定位系统示例图



6.2.3 使用单颗GSO卫星地理定位地球上的发射机

6.2.3.1 问题描述

如第6.2.1节和第6.2.2节中所述，目前有不同制造商提供的商用地理定位系统。这些地理定位原理的主要缺点是必须具有至少一颗相邻的卫星，它需离得足够近，以便具有有用的串音能量来支持计算。

尽管主要的卫星运营商有数百颗GSO卫星在运营，但仍有一些卫星处于“孤立”状态，这意味着下一颗相邻的卫星相隔10度以上。在这种情况下，串音很可能太小，以致于无法测量。

在有相邻卫星可用的情况下，如果没有精确的星历，则对地理定位而言它仍可能没有用。地理定位系统必须知道的主要参数之一是主卫星和相邻卫星的精确位置和速度。这些参数的质量对地理定位系统的精度有重大影响。此外，如果相邻卫星受到不同卫星运营商的控制，则星历数据通常是未知的或者仅具有比较粗略的精度，这使得任何地理定位结果都不可用。

在轨道测定系统的帮助下，可以计算卫星星历。这表明，成功测量的先决条件之一是参考站的可用性。需要至少三到四个参考站，以便以足够的精度计算星历数据。虽然这似乎很容易实现，但实际上这提出了真正的挑战，并且在许多情况下不能实现地理定位，原因是操作者常常不知道从哪个站发出了哪个参考信号。

如果两个条件都满足，那么下一个障碍与相邻卫星上的串音信号有关。串音信号需要与主（受影响）卫星上的干扰信号处于相同的频段和极化上。考虑到所有这三个条件，在许多情况下，使用当前可用的工具和算法无法成功进行地理定位测量。因此，使用来自单颗卫星的干扰信号和参考信号的地理定位方法将是一个很大的优势。

6.2.3.2 使用单颗GSO卫星和逆多普勒频移的地理定位方法

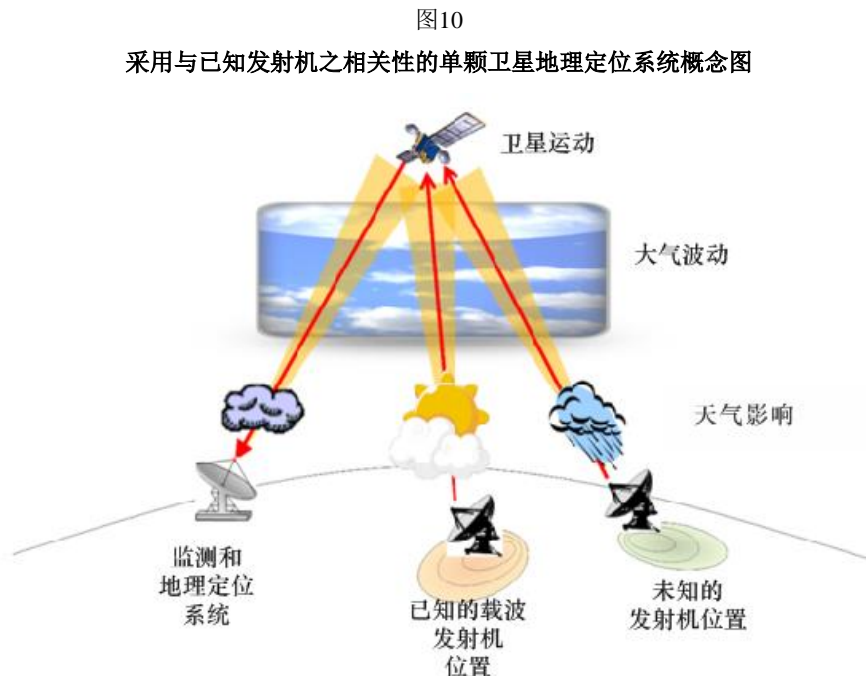
《国际电联频谱监测手册》（2011年版）第5.1.2.8节已经描述了使用单颗GSO卫星对地球上未经授权的发射机进行地理定位的可能方法。这种方法的缺点是对上行链路站监测设备硬件本身（例如受温度变化影响的频率源和锁相环（PLL）设备等）引起的频率变化的固有敏感性，它可达到或超过GSO卫星上多普勒频移的典型范围。

实际上，使用这种方法的商用地理定位系统已经表明，可实现的最佳地理定位精度大于100 km，因此确定未经授权之发射机的上行链路站并非真正有用。当通过倾斜轨道卫星接收干扰信号时，它们可以以可接受的精度开展工作，相比常规GSO卫星，它显示出更大的运动，从而导致更大的多普勒频移。

6.2.3.3 使用单颗GSO卫星的地理定位方法以及与地球上已知发射机的相关性

该技术依赖于这样的事实，即从地球上某个上行链路站发射到卫星并向下发射到接收站的卫星信号的功率会因许多因素而随时间发生变化，如图10所示：

- 卫星运动；
- 大气和天气条件（在上行链路和下行链路侧）；
- 上行链路站上功率放大器增益和天线对准的变化。



可以假设从相同的上行链路站或从相同的地理区域发送的信号将在相同的时间帧内显示相同的功率变化，而从不同的地理区域发送的信号将在相同的时间帧内显示不同的功率变化。

图11显示了在四天时间内从相同的上行链路站发送的两个信号（红色的和蓝色的）的功率变化。可以清楚地看到卫星运动产生的24小时周期性变化。图12显示了天气影响导致的功率变化（数据出现大幅飙升）。在这两种情况下，功率变化几乎相同，原因是两个信号都是从相同的上行链路天线发送的。

图11

卫星运动引起的24小时功率变化

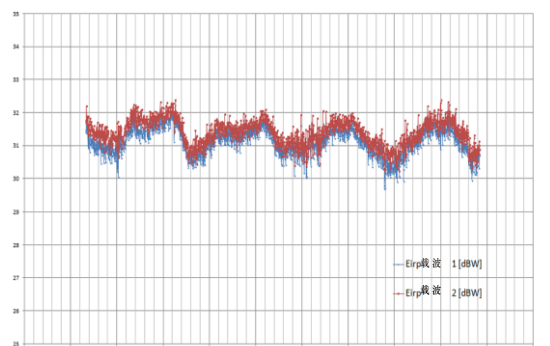
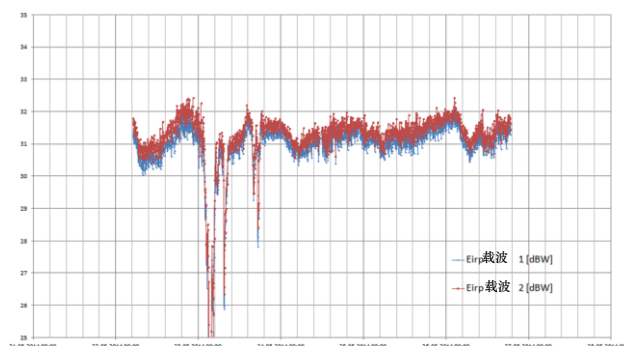


图12

天气影响引起的功率变化



利用这种方法，为了定位干扰信号，必须计算干扰信号与其它已知信号之间的相似性。通过关联信号或其一部分，这通常在频域中来完成。因此，在地理定位精度、效率和成功性方面，关联算法对于该方法而言是最关键的。

该概念适用于以下情况，即从与干扰源相同的上行链路站或相同的地理区域发送许多不同的信号。可以通过载波监测系统长期监测来自该区域的所有信号（包括干扰信号），并可将测得的干扰信号的功率、频率或带宽变化（例如因天气影响而引起）与其它（假设的）本地发射机的变化相关联。在正相关情况下，可以确定上行链路干扰发射机的位置与相关的发射机位置相同或相近。

该方法的挑战在于关联方法和监测策略，原因是测量通常不会在完全相同的时间执行（例如，同步与“循环”测量）。这将大大影响获得有意义的关联结果的能力，这需要更多的同步参数测量。对非同步测量的关联，必须研究时间增量相关加权、合理性检查、模糊度减轻等的影响。此外，可以通过考虑诸如与属于已知发送站的硬件有关的信息、第三方天气信息等来增强该方法。例如，通过确定和消除与某些天气状况相冲突的情况，天气信息可用于减轻额外的模糊度。

6.3 地理定位系统要求

6.3.1 卫星

对于使用多颗卫星的地理定位方法，主卫星和相邻卫星不应离得太近（这会导致难以进行TDOA测量），也不应离得太远（这会导致相邻卫星中的信号电平太低而无法检测到），以及相邻卫星上的串音信号需要与主卫星上的干扰信号处于相同的频段和极化上。这些卫星的星历数据对于准确的地理定位是必不可少的。建议的主卫星-相邻卫星角度分隔如表1所示。

表1

主卫星-相邻卫星角度间隔与上行链路频段和天线尺寸

天线尺寸 (m)	C频段 6 GHz	X频段 8 GHz	Ku频段 14 GHz	Ka频段 27.5 GHz	Ka频段 31 GHz
1.2	<15°	<15°	<15°	<10°	<9°
3	<15°	<15°	<15°	<10°	<8°
4.5	<13°	<13°	<12°	<8°	<7°
7.3	<12°	<11°	<10°	<7°	<5°
9	<10°	<10°	<10°	<6°	<3°
16	<10°	<9°	<8°	<3°	
32	<10°	<7°	<3°		

除非有非常准确的星历表，否则主卫星和相邻卫星不应在同一轨道上。

6.3.2 接收站

主卫星和相邻卫星中的收发机的波束覆盖范围应同时覆盖发射站和接收站。此外，还需要足够的地理定位系统性能，例如RF前端、数据采集和软件。

6.3.3 参考发射机

参考上行链路发射机用于在已知位置（精确的纬度、经度和高度）发射参考信号，并以已知的参数（频率、带宽、极化）发射到主卫星或相邻卫星。参考信号通常为经过调制的信号，但最好是扩频信号。

参考信号可用于在测量TDOA和FDOA时消除固有误差，例如收发机本地振荡器的漂移误差和卫星星历误差。如果卫星星历不够准确（从互联网下载），建议使用三到五个参考信号，以便获得准确的地理定位结果。

6.4 地理定位地球上发射机的技术

为了处置困难的测量情形，建议改进地理定位系统的性能以及下面提到的各项技术。

6.4.1 载波消除技术

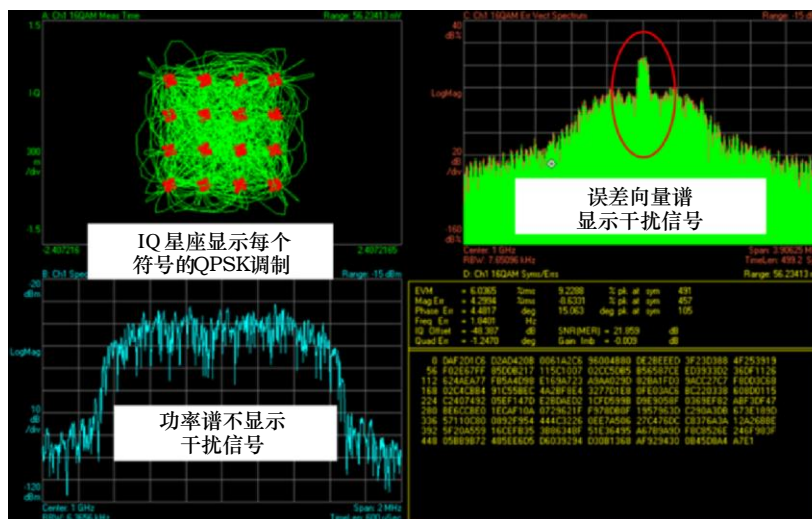
在某些情况下，相邻卫星中的强信号可能会淹没干扰的旁瓣，地理定位测量可能不会取得成功，或者地理定位结果可能是错误的。载波消除技术可以消除相邻卫星中这种强信号的影响。该技术可以通过以下方式运用：

- 测量和分析相邻卫星中初始载波参数，即频率、带宽、调制类型、符号率；
- 重构一个类似于初始载波的载波；
- 从重构的载波中扣除初始载波，然后在最大程度上从采样数据中删除初始载波。

使用向量信号分析软件及其通过使用相邻信道中强信号的IQ记录来计算误差向量幅度时间波形的能力也可以实现该过程。将记录加载到VSA软件中并输入强信号的调制参数，包括调制格式、符号率和滤波器类型，如图13所示。然后，EVM频谱可用于查看干扰信号频谱，时域EVM波形可用于重构信号。

图13

一种采用载波消除技术的应用



6.4.2 高增益处理技术

如果相邻卫星远离主卫星，则串音能量将太弱而无法检测到，这将导致地理定位失败。对这种情况的解决方案是提高系统的处理增益，从而改善系统的弱信号提取能力，并增加主卫星与相邻卫星之间的距离。

可以通过增加地理定位系统的积分时间和测量带宽来实现该技术。

6.4.3 移动性确定技术

TDOA线与从发射机到主卫星和相邻卫星的距离有关。如果发射机在地面上移动，则TDOA线将发生相当大的变化。如果发射机是静止的，则TDOA线仅在几千米范围内变化。因此，通过对发射机的长时间观测，TDOA线可用于估计发射机的移动性。

6.5 影响地理定位精度的因素

地理定位结果的精度在很大程度上取决于以下几个方面：

— 卫星星历精度：

卫星的三维位置和速度信息被认为是地理定位算法和相关方程中的已知因素。卫星星历误差直接影响定位精度，是造成误差的主要因素。

— 参考位置精度：

参考站在星历误差和固有误差修正中起着重要作用，参考站位置的精度将在很大程度上影响地理定位结果的精度。

— 参考站布局：

参考站的地理配置也将影响星历误差和固有误差所需的误差校正。通常，其中一个参考站应靠近未经授权的发射机，而其余参考站则以较宽的间隔距离分布在其周围。

– 地理定位时间：

由于卫星位置的扰动，难以准确地测量从卫星到各个上行链路站的轻微径向速度差，因此在每天的两个时段期间定位精度将会比较差。

– 时间延迟：

由于卫星信号通过对流层、电离层、接收信道和设备进行传输，因此时间延迟修正的变化将会影响地理定位结果的精度。

7 识别未经授权的发射机

基于卫星的地理定位测量结果实现了对辐射源位置的估算，其面积可覆盖数十到数百平方千米。应部署移动监测站，以便识别和定位该区域内未经授权的发射机。本节描述了这些用于识别和减轻干扰的移动系统和方法。

7.1 移动监测系统组成

为了使用移动监测系统来识别和定位未经授权的发射机，应考虑采用以下便携式设备。

– 监测平台：

- 地面监测平台，如监测车；
- 空中监测平台，如无人机、飞艇、圈养气球或浮空器；

– 便携式频谱分析仪；

– 双向和全向天线；

– LNA、LNB、适当的带通滤波器；

– 低损耗射频电缆；

– GPS接收机、指南针；

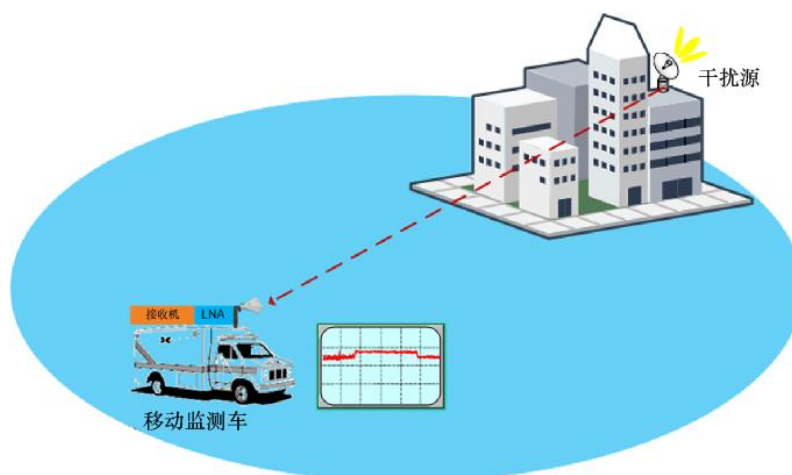
– 数据传输设备和遥控设备，如果需要数据传输的话。

7.2 地面搜索方法

7.2.1 基于幅度比较的常规方法

搜索地面发射机的传统方法起始于地理定位系统确定的区域，涉及信号归位，并通过以下方法来实现，即从多个站点进行若干次POA测量，以逐渐缩小区域，直至找到准确的、未经授权的发射机。该方法的缺点是无线电波传播路径会极大地受到复杂电磁环境的影响，因此可能需要额外的时间来找到支持信号归位视线接收的最佳位置。此外，随着更高频段的使用，确定未经授权发射机位置的复杂性将大大提高。这部分内容在《国际电联频谱监测手册》（2011年版）第5.4.5.3.2节中有详细阐述。基于幅度比较的传统方法如图14所示。

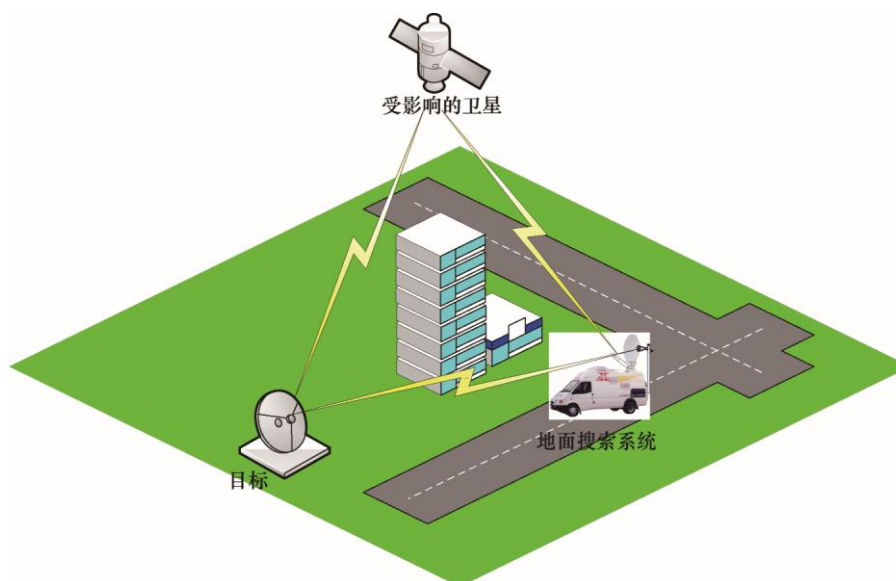
图14
基于幅度比较的干扰搜索方法



7.2.2 采用互相关算法来提高系统灵敏度

使用互相关算法的协同卫星-地面定位方法如图15所示。建立固定天线或车载接收天线，它们都指向被干扰的卫星，以接收下行链路频率上的干扰主瓣。同时，上行链路频率上的干扰旁瓣由便携式或车载定向天线来接收。这两个信号被同步收集，并通过无线网络传输，以基于交叉模糊函数进行互相关测量。如果结果中出现相关峰值，则表示目标发射机离得比较近，最大峰值表示干扰源的方向。这部分内容在《国际电联频谱监测手册》（2011年版）第5.4.5.3.3节中有详细阐述。

图15
在卫星-地面连接定位系统中采用互相关算法进行地面搜索



7.3.3 采用空中监测方法来快速检测干扰

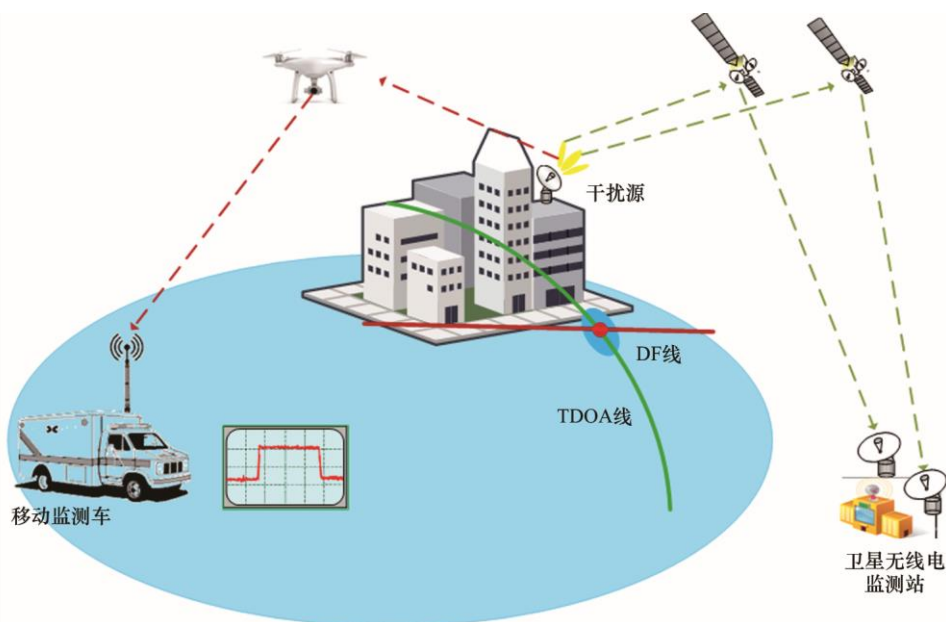
发射机天线指向卫星，而信号接收机放置于地面上，因此旁瓣信号非常弱且难以检测。此外，大多数干扰源都在市区中，信号很可能被建筑物阻挡。因此，第7.3.1节和第7.3.2节中提到的地面搜索方法非常耗时。

为解决“最后一英里”搜索问题，提出了利用无人机进行卫星干扰源搜索的方法，它利用无人机的高度优势来增加可见地平线、清除障碍物或建筑物、提高接收功率（接收天线靠近干扰信号的主波瓣），从而提高完成测向的概率。地理定位结果和测向结果的结合是一种接近干扰源的有效且实用方法，如图16所示。

地理定位结果可以用作先验信息。TDOA线可以保持，原因是它非常稳定和准确。无人机通过机械扫描测向干扰信号，这将产生DF线。TDOA线和DF线的交点就是干扰源的位置。无人机上的有效载荷利用测向天线、通过幅度比较来完成测向。

图16

基于TDOA线和DF线的无人机干扰搜索方法

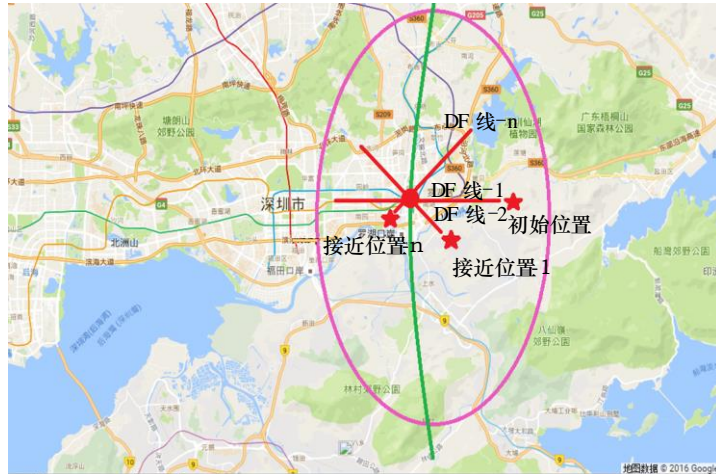


基于以下事实，即TDOA线准确且南-北方向，TDOA线与DF线之间的角度越大，则定位精度越高，搜索程序可设计如下：

完成地理定位后，到达地理定位结果给出的区域，并在TDOA线的东部或西部部署无人机。应用测向结果，并从DF线与TDOA线的交点获得干扰源的可能位置；之后调整无人机的位置，以获得另一条DF线，来减少因测向而引起的误差；而后多次调整无人机的位置，逐渐接近干扰源的实际位置。

搜索程序如图17所示。椭圆区域是地理定位结果，它显示了干扰源可能处于的区域，绿线是地理定位结果中保持的TDOA线，红星是无人机的位置，红线是从无人机获得的DF线结果，中心的红点是干扰源的位置。

图17
干扰搜索程序



附件1

卫星监测站的类别

当考虑不同的监测情形时，应考虑到灵活操作和部署各种各样类型的监测系统。

固定监测系统对某个监测站而言至关重要，尤其对全球波束卫星和区域波束卫星监测与地理定位地球上的发射机而言。非固定监测系统是点波束卫星监测、测向和电磁环境测试的必要方法，也是地理定位系统的辅助设施。

A1.1 固定监测站

为了满足《无线电规则》的测量要求，固定监测系统对卫星监测站而言至关重要。建议在符合“清洁”电磁环境要求的场所安装固定监测系统，以便在卫星信号接收过程中达到最佳性能，并有助于进一步测量和分析。

天线的大小决定天线的增益，因此它应该足够大，以便允许正确地接收信号。高阶调制方案需要更高的 C/N 比。为了长期保证测量结果的一致性，作为系统维护的一项重要工作，应定期对传输损耗进行检查。

A1.2 可移动监测站

可移动监测系统是固定监测系统的辅助系统。它可承载于监测车中，或临时安装于固定监测系统波束覆盖范围之外的任何地方。该系统通常用于在重大事件期间，沿国界、在港口附近和重要区域周边进行卫星信号测量。

此外，点波束卫星具有较小的波束覆盖范围（仅数百千米），因此可移动监测系统必将是必不可少的。

A1.3 移动监测站

移动监测系统可以在运动中或在固定位置上的监测车辆中进行安装和操作。它用于执行干扰源或其它感兴趣发射机的频谱监测、信号归位和测向，以及重大事件期间特定地区的电磁环境测试。

A1.4 空中监测站

空中监测系统是移动监测系统的辅助系统，通过无人机或飞艇的使用，来以快速方式实现频谱监测和测向。该系统可以很容易地避免因地面上的物体而引起的不需要的传播损耗，并且只需要处置视线内的传播损耗。尽管如此，无人机的不当操作可能会对飞机等飞行物造成安全问题，因此我们强烈建议遵守有关无人机操作的法律法规。

A1.5 便携式监测站

在最后一英里监测中，便携式监测系统对干扰源或感兴趣发射机的测向而言方便且有用。该系统至少由一副全向天线、一副定向天线、一个LNA（或LNB）和一台频谱分析仪组成。

附件2

卫星星历数据的格式

A2.1 TLE格式

TLE是一组列出轨道元素的两数据行，用于描述具有6个开普勒元素的地球轨道对象的时间、协调、位置和速度。TLE数据表示特定于经简化的扰动模型（SGP、SGP4、SDP4、SGP8和SDP8），因此任何使用TLE作为数据源的算法都应实施一个经简化的扰动模型，以便在感兴趣的时间正确计算一个对象的状态。

美国空间监视网络跟踪地球轨道上的所有可探测对象，并为每个对象创建一个相应的TLE，并公开来自赞助网站（即太空轨道）的非分类对象的TLE。TLE格式是地球轨道对象轨道元素分布的事实标准。

在元素数据前，TLE集可以包括一个标题行。标题不是必需的，因为每个数据行包括一个唯一的对象标识符代码。

TLE的格式如下所示：

ISS (ZARYA)

1 25544U98067A 08264.51782528 -.00002182 00000-0 -11606-4 0 2927

2 25544 51.6416 247.4627 0006703 130.5360 325.0288 15.72125391563537

表A2-1

TLE的描述

序列号	字符号	描述	示例
第1行			
1-1	1	元素数据行号	1
1-2	2	空格	
1-3	3~7	卫星号	25544
1-4	8	分类（U=未分类）	U
1-5	9	空格	
1-6	10~11	国际指定机构（发布年份的最后两位数字）	98
1-7	12~14	国际指定机构（年度发布号）	067
1-8	15~17	国际指定机构（发布的部分）	A
1-9	18	空格	
1-10	19~20	纪元（一年的最后两位数）	08
1-11	21~32	纪元（一年中的某一天和一天中的小部分）	264.51782528
1-12	33	空格	
1-13	34~43	平均运动的第一次导数除以2	-.00002182

表A2-1 (结束)

序列号	字符号	描述	示例
1-14	44	空格	
1-15	45~52	平均运动的第二次导数除以6 (假设了小数点)	00000-0
1-16	53	空格	
1-17	54~61	BSTAR拖动项 (假设了小数点)	-11606-4
1-18	62	空格	
1-19	63	数字0 (本来这应该是“星历类型”)	0
1-20	64	空格	
1-21	65~68	元素集号。当为此对象生成一个新的TLE时, 予以递增	292
1-22	69	校验和 (模10) (字母、空白、句号、加号= 0、减号= 1)	7
第2行			
2-1	1	行号	2
2-2	2	空格	
2-3	3~7	卫星号	25544
2-4	8	空格	
2-5	9~16	倾斜度 (度)	51.6416
2-6	17	空格	
2-7	18~25	上升节点的右上升 (度)	247.4627
2-8	26	空格	
2-9	27~33	偏心 (假设了小数点)	0006703
2-10	34	空格	
2-11	35~42	近地点的幅角 (度)	130.5360
2-12	43	空格	
2-13	44~51	平均异常 (度)	325.0288
2-14	52	空格	
2-15	53~63	平均运动[每日转数]	15.72125391
2-16	64~68	纪元转数[转数]	56353
2-17	69	校验和 (模10)	7

附件3

监测分配给主要射电天文业务的频段内卫星产生的干扰

A3.1 引言

用于发射后干扰测量的天线需要卫星跟踪能力、增益（通常为40 dBi）和较低噪声的接收机。由于ITU-R RA.769建议书中的阈值是针对0 dBi旁瓣入口确定的，而不是针对主波束入口确定的，因此具有这些规范的监测系统可以实现对具有适当干噪比的干扰信号的快速检测。为避免引入不需要的假象，接收机信号路径必须是高度线性的。

数据采集在第A3.2节中予以描述。所需的信号电平和阈值在第A3.3节中予以描述。需要使用已知SPDF的强天体无线电源来对监测天线进行仔细校准。该程序在第A3.4节中予以描述。最后，在第A3.5节中对RFI识别过程进行描述。

A3.2 数据采集

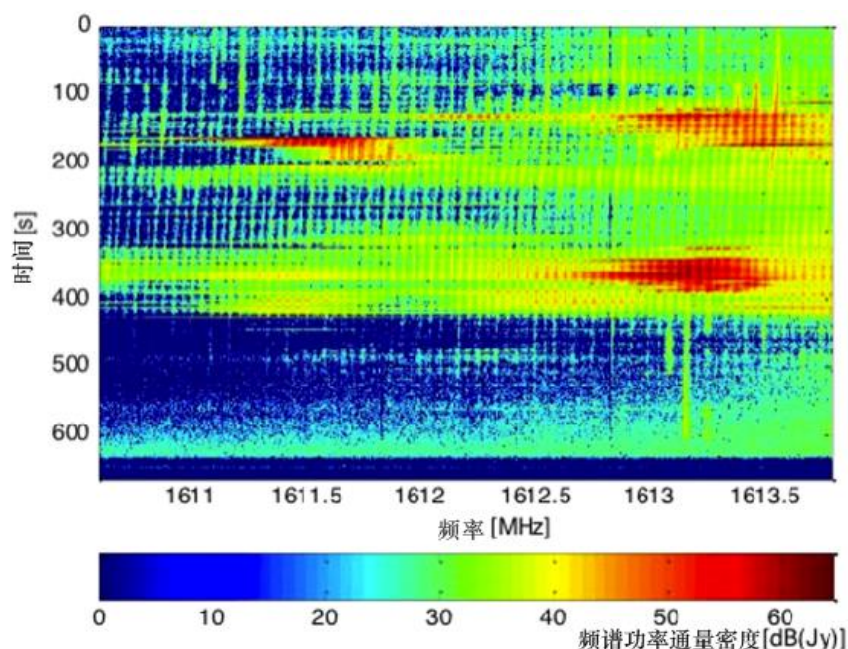
用于确定数据丢失情况的测量结果作为 N 次测量的一个时间序列，其中时间间隔 Δt 覆盖具有带宽 Δf 的 M 个频率信道。

数据采集最好通过多信道频谱分析仪来完成，例如具有数百到数千个同时、良好隔离之频率信道的数字滤波器组。这应该同时覆盖完整的射电天文频段。实际上，典型的数据速率大约是每秒一个频谱，但在某些情况下可能需要更高的速率，以捕获全范围的干扰时间尺度。

校准后所观测数据的典型显示如下面的图18所示。在这种情况下，ITU-R RA.769建议书谱线有害阈值为 $-238 \text{ dB}(\text{W}/\text{m}^2/\text{Hz})$ 或 $+22 \text{ dBJy}$ ($1\text{Jy} = 10^{-26} (\text{W}/\text{m}^2/\text{Hz})$)。本例中的频段不用于连续谱观测。

图18

RAS频段1 610.6-1 613.8 MHz上的时频占用图



测量间隔为1秒，测量信道带宽为6.1 kHz。该图包含射电天文业务（RAS）频段内的 $N = 630$ 条数据记录和 $M = 420$ 个频谱信道。

致谢：这些数据是在德国 Leeheim 的卫星监测站获得的，该站由联邦网络局（Bundesnetzagentur）负责运营，使用了德国马克斯普朗克射电天文研究院的频谱仪。

在处理期间，可以对各个数据记录进行平均（堆叠），以实现更高的灵敏度。同样，监测系统的频谱信道宽度可以窄于ITU-R RA.769建议书中提出的参考频谱带宽，范围从1 GHz以下10 kHz到60 GHz以上1 MHz，只要在分析期间完成适当的带宽转换，以确定干扰电平。

A3.3 信号电平和阈值

监测站从校准无线电源和卫星有害辐射中接收的信号通常隐藏在单个短观测值的噪音中，但在对多个观测值汇总后可予识别。由于接收机系统和天空的白噪声特性，使用较长的积分会降低测量的均方根（rms）噪音电平 ΔT ，如下所示：

$$\Delta T = T_{\text{sys}} / \sqrt{(\Delta t \Delta f)} \quad (1)$$

其中，出于公式（1）的目的， T_{sys} 是系统的噪音温度， Δt 是各个观测值平均的总时间， Δf 是各个频谱仪信道平均的带宽。

对RAS频段内数据丢失百分比的定量评估是基于对数据记录中干扰信号的识别，这些干扰信号超出了ITU-R RA.769建议书中列出之有害干扰的电平。这些基于明确定义的参考时间间隔2 000秒（约33分钟）和明确定义的参考信道宽度（ Δf_{ref} ）或参考连续谱带宽（ Δf_b ）。

在评估RAS频段内数据丢失过程中使用的通量密度电平 T_{spec} 和 T_{cont} 分别源自窄带 *spfd* 谱线（下标 *spec*）值或者宽带连续谱（下标 *cont*）观测值的 *spfd* 值。调整之，以匹配ITU-R RA.769建议书中列出的相关带宽和持续时间参数：

$$T_{\text{spec}}(\Delta t, \Delta f) = \text{spfd}_{\text{spec}}(\text{RA.769, table 2}) + 5 \log((\Delta f_{\text{ref}} / \Delta f) (2000 / \Delta t)) \quad (\text{dB(W/m}^2/\text{Hz)}) \quad (2a)$$

$$T_{\text{cont}}(\Delta t, \Delta f) = \text{spfd}_{\text{cont}}(\text{RA.769, table 1}) + 5 \log((\Delta f_b / \Delta f) (2000 / \Delta t)) \quad (\text{dB(W/m}^2/\text{Hz)}) \quad (2b)$$

其中，2 000秒是参考时间间隔。对谱线观测而言，用于 Δf_{ref} 的值等于ITU-R RA.769建议书中给出的信道带宽。对连续谱观测而言，参考带宽 Δf_b 是高达60 GHz频段的分配RAS带宽，对所有更高频段，带宽为8 GHz（参见ITU-R RA.769建议书）。

ITU-R RA.769建议书的阈值电平基于以下信号，即使用0 dBi增益和建议书中所列射电天文系统温度的检测系统中10%的集成噪声波动。这些检测阈值需要针对0 dBi以上的监测天线增益进行校正，对于两个系统温度的比率（参见公式（1）），则如下所述：

对干扰信号，监测天线进入主波束的电平等于ITU-R RA.769建议书的阈值电平：

$$S_{\text{spec}}(\Delta t, \Delta f) = -(G+10) + [10 \log(T_{\text{sys,ref}}/T_{\text{sys,mon}})] + T_{\text{spec}}(\Delta t, \Delta f) \quad (\text{dB(W/m}^2/\text{Hz)}) \quad (3a)$$

$$S_{\text{cont}}(\Delta t, \Delta f) = -(G+10) + [10 \log(T_{\text{sys,ref}}/T_{\text{sys,mon}})] + T_{\text{cont}}(\Delta t, \Delta f) \quad (\text{dB(W/m}^2/\text{Hz)}) \quad (3b)$$

来自ITU-R RA.769建议书的电平 $T_{\text{spec}}(\Delta t, \Delta f)$ 和 $T_{\text{cont}}(\Delta t, \Delta f)$ 源自公式（2a）和公式（2b），监测天线的前向增益 G 以dB表示。公式（3a）和公式（3b）中的项反映了建议书 ITUR RA.769中引用的系统温度（ $T_{\text{sys,ref}}$ ）与监测系统的系统温度（ $T_{\text{sys,mon}}$ ）之间的差。

A3.4 系统校准

监测天线测量以天线温度 (T_A) 为单位产生数据。这些数据被转换为spfd的频谱功率-通量密度单位 ($\text{dB(W/m}^2/\text{Hz)}$) 或Janskys ($10^{-26} \text{ (W/m}^2/\text{Hz)}$)。必须准确地将这些转换因子称为是频率的一个函数。建立校准的程序是:

- 1) 在若干强天体连续谱源的所需频段上执行ON观测, 每个具有已知的通量密度 (以Janskys为单位), 例如Centaurus A、Virgo A或其它强校准器; 以及
- 2) 对周边“空白”天空上的每个校准器执行OFF观测, 以确定零信号基线。

转换因子 (以Janskys/K为单位) 是通过将源强度 (以Janskys为单位) 除以测得的信号差 ($T_A(\text{ON}) - T_A(\text{OFF})$) 获得的。该灵敏度参数给出了在监测站产生1开尔文信号所需的Janskys数。无线电源强度和有害电平都可以以Janskys为单位来给出。

A3.5 识别RFI

RAS频段内的平均和峰值干扰电平应低于ITU-R RA.769建议书中分别给出的连续谱和谱线电平。如果不是, 则将其视为数据丢失。请注意, 本报告中的RAS频段仅标记为谱线、仅标记为连续谱或二者。

在谱线使用的情况下, 应使用公式 (2a) 来独立评估RAS频段内带宽 Δf 的所有信道是否存在高于谱线有害阈值的干扰。峰值必须低于每个信道中的有害电平。在连续谱使用的情况下, 应使用公式 (2b) 来评估整个频段上的平均干扰电平。

在校准数据记录并将天线温度 (K) 转换为通量密度单位后, 应评估每个测量间隔的数据记录是否存在超过谱线或连续谱相应有害阈值电平的干扰 (参见公式 (2a) 和公式 (2b))。该过程产生具有 N 个记录和 M 个频谱信道的测量结果的时间-频率占用图 (瀑布图)。图18是在卫星通过期间快速变化干扰的此类校准测量结果的一个例子。

扩频干扰源跨大带宽辐射低功率电平。扩频干扰的开-关测量需要覆盖足够的带宽, 以便检测spfd增强。

通常, 测量时间间隔应足够短, 以便揭示干扰信号的时间变化和间歇特征。不过, 当干扰源持续并且使用频率可变性或频率扫描时, 使用短时间间隔可使干扰信号低于检测阈值。在这种情况下, 需要开展综合测量, 其时间间隔需覆盖可变性周期或扫描周期。