

ITU-R RS.1166-4建议书
有源星载传感器性能和干扰标准*

(1995-1998-1999-2006-2009年)

范围

本建议书简述了在划分给地球探测卫星业务（EESS）（有源）的频段上有源航天传感器的性能和干扰标准。附件说明了为各种有源航天传感器制定性能和干扰标准的技术基础。传感器类型包括高度计、散射计、测雨雷达、合成孔径雷达和云廓线雷达。

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 有源航天微波遥感根据所要观察的物理现象需要特定的频率范围；
- b) 某些频段已划分给有源航天微波遥感；
- c) 这些频段也划分给其它无线电业务；
- d) 很多研究已确定测量灵敏度要求；
- e) 有源传感器的性能要求可以用卫星测得的物理参数和可用性的精确度表示，前提是系统中其它因素产生的衰减很小；
- f) 有源航天微波传感器的性能指标是确定相关干扰标准的一个前提条件；
- g) 需要干扰标准以确保系统在设计上能够在有干扰的情况下保证性能正常、评估与其它业务系统之间的兼容性，且在必要时可用来帮助制定共用标准；
- h) 附件1说明了根据只有代表性的有源传感器确定性能和干扰标准的技术基础，

* 干扰标准并不一定包含共用标准。

建议

1 表1给出的性能标准应当适用于对陆地、海洋和大气的有源遥感仪器：

表1

频段	遥感仪器的性能标准				
	散射计	高度计	SAR成像仪	测雨雷达	云廓线雷达
432-438 MHz			最小 反射率 -21 dB		
1 215-1 300 MHz			最小 反射率 -32 dB		
3 100-3 300 MHz		海平面精确度 ≤ 3 cm	最小 反射率 -26 dB		
5 250-5 570 MHz	风速 ≥ 3 m/s	海平面精确度 ≤ 3 cm	最小 反射率 -24 dB		
8 550-8 650 MHz	风速 ≥ 3 m/s	海平面精确度 ≤ 3 cm	最小 反射率 -21 dB		
9 300-9 900 MHz ⁽¹⁾	风速 ≥ 3 m/s	海平面精确度 ≤ 3 cm	最小 反射率 -18 dB		
13.25-13.75 GHz	风速 ≥ 3 m/s	海平面精确度 ≤ 3 cm		最小降雨强度 0.7-0.75 mm/h	
17.2-17.3 GHz	风速 ≥ 3 m/s			最小降雨强度 0.7-0.75 mm/h	
24.05-24.25 GHz				最小降雨强度 0.7-0.75 mm/h	
35.5-36 GHz	风速 ≥ 3 m/s	海平面精确度 ≤ 3 cm		最小降雨强度 0.1-0.2 mm/h	-17 dBZ $\pm$ 10%
78-79 GHz					-27 dBZ $\pm$ 10%
94-94.1 GHz					-30 dBZ $\pm$ 10%
133.5-134 GHz					-34 dBZ $\pm$ 10%
237.9-238 GHz					-44 dBZ $\pm$ 10%

dBZ: 气象学中使用的“单位”雷达反射率，表示一个与雷达反射率系数Z（其参考值为 $1 \text{ mm}^6/\text{m}^3$ ）有关的对数功率比（分贝或dB）。

SAR: 合成孔径雷达。

⁽¹⁾ 见2007年世界无线电通信大会（WRC-07）相关决定。

2 表2给出的干扰和数据可用性标准适用于对陆地、海洋和大气的有源遥感仪器。

表2

传感器类型	干扰标准		数据可用性标准 (%)	
	性能衰减	I/N (dB)	经常性	偶然性
合成孔径雷达	像素功率标准偏差下降了10%	−6	99	95
高度计	高度噪声下降了4%	−3	99	95
散射计	用于推测风速的标准雷达后向散射下降8%	−5	99	95
测雨雷达	最小降雨强度提高了7%	−10	N/A	99.8
云廓线雷达	最小云层反射率下降了10%	−10	99	95

对于得到次要划分的频段，所提供的干扰标准仅表示有关主要业务的性能衰减。

附件1

有源航天传感器的性能和
干扰标准

1 引言

我们需要了解有源航天传感器的性能标准，才能确定干扰标准。而干扰标准又可以用于评估共用频段的无线电导航、无线电定位和有源传感器之间的兼容性。

本附件说明了为各种有源航天传感器确定性能和干扰标准的技术基础。传感器类型包括高度计、散射计、测雨雷达、合成孔径雷达和云廓线雷达。

尽管标准是根据目前在用和规划中的空间科学系统设计和相关操作要求确定的，预期未来的空间科学系统在设计上能够承受至少是同等电平的干扰信号和相关空间和时间条件。

2 高度计

本段给出了在 3.1-3.3 GHz 、 5.25-5.57 GHz 、 8.55-8.65 GHz 、 9.5-9.8 GHz 、 13.25-13.75 GHz和 35.5-35.6 GHz频段上工作的航天高度计性能和干扰标准方面的信息。

2.1 性能标准

航天高度计继数据处理之后，可测量海平面高度，精确度误差小于3cm。高度计在测量高度时产生的噪声电平在低海况为2-2.4 cm。干扰导致高度噪声提高0.1cm，不会对数据造成重大影响而且在可以接受的水平。换句话说，高度噪声衰减4%与任务目标相一致。

对高度计的任务要求是获得海平面以上所有可用数据的90%。设计的目标要高于最低要求，它确立了所有可用数据95%的标准。必须在尽可能靠近陆海交界的地方进行观测（距陆海交界处15米以内，高度计将发生波形失真并妨碍估算精确的高度）。数据丢失预算必须包含造成数据丢失的各种原因，包括航空器系统、高度计仪器和操作原因等。

高度测量数据的可用性要求是95%，条件是假设单次故障非常短暂并且在整个观测期间和地域的出现带有偶然性（即大部分故障持续2秒或更短）。

总是在一个特定的地理位置出现的干扰比偶发干扰产生的影响更严重，原因是在那些区域无法获得测量数据。在这种情况下要求高度计在所有重要地域获得的有效数据应为99%。

2.2 干扰标准

一般高度计的链路预算在39.9dB/Hz的接收器分辨率带宽上产生13dB的信噪比（S/N）（在35.5-36 GHz工作的高度计除外）。高度计高度噪声在 $1 + 2/(S/N)$ 左右浮动。对于受扰前S/N为13dB的返向信号，增加干扰会导致高度测量噪声升高，如下文所示：

干扰电平	S/N (dB)		衰减 (%)	
	非白干扰	白干扰	非白干扰	白干扰
无	13	13	基线	基线
比噪声低10dB	12.6	12.99	1	0.05
比噪声低3dB	11.25	12.5	4.5	1
与噪声相等	10	11.5	9	3.8
比噪声高10dB	2.6	3	91	82

对于在35.5-36GHz工作的高度计，大气效应和技术限制会减少链路预算（S/N接近于10dB），所以提高干扰电平的敏感度，应当考虑以下各值：

干扰电平	S/N (dB)		衰减 (%)	
	非白干扰	白干扰	非白干扰	白干扰
无	10	10	基线	基线
比噪声低10dB	9.6	9.98	1.7	0.08
比噪声低6dB	9.0	9.9	4.2	0.5
比噪声低3dB	8.2	9.5	8.4	1.2
比噪声低1.5dB	7.7	9.1	11.8	3.8
与噪声相等	7.0	8.5	17	6.9
比噪声高10dB	-0.4	0	167	150

高度测量噪声衰减超过4%将无法满足任务要求。考虑到非高斯干扰，干扰门限值应设定在噪声底限以下3dB。由此可以看出，对于噪声底限以上的干扰电平，性能衰减幅度急剧增大。

因此对高度计造成有害干扰的标准是，在13-14GHz频段上的干扰信号功率电平-117 dB（W/320 MHz）和35.5-36.0 GHz频段的电平-119 dB（W/450 MHz）的总和。这两个数值的电平均导致高度测量噪声升高到不能接受的水平。

在共用频段上，如果数据丢失为偶然性，则高度计数据的可用性应超过传感器服务区内全部地点的95%，如果数据丢失在相同地点经常发生，可用性应超过全部地点的99%。

3 散射计

本段说明了在5.25-5.57 GHz、8.55-8.65 GHz、9.5-9.8 GHz、13.25-13.75 GHz、17.2-17.3 GHz和35.5-36.0 GHz频段工作的航天散射计的性能和干扰标准。它给出了有源航天散射计的性能和干扰标准，这些标准可用于分析有源航天散射计与在这些频段上工作的无线电导航和无线电定位系统的兼容性。

散射计接收器接收的无用射频放射会妨碍雷达散射计的测量值 σ_0 ，这里的 σ_0 系规范化的雷达后向散射系数。衰减幅度取决于对外部干扰的统计。

3.1 性能标准

在散射计系统中，可通过测量“信号+噪声”功率（即回波加系统噪声部分），然后减去“纯噪声”功率（仅对系统噪声的估值，或称为“噪声底限”）的方法估计出。系统噪声包括地球散热，以及由天线、波导和接收器噪声指数引发的热辐射。为优化系统性能，可在不同带宽和/或不同时间进行测量“信号+噪声”以及“纯噪声”。这一方法取决于测量过程中（静态、扁平化频谱功率分布）额定系统噪声是否是白噪声。

如果出现外部干扰，新的复合背景噪声是干扰和额定系统噪声之和。根据强度、调制、天线增益方向图、干扰源的几何特性等因素，复合噪声在测量过程中可能不是白噪声。因为“纯噪声”测量与“信号+噪声”测量值中的噪声并不对应，所以对 σ_0 的估值将产生误差。

给定“纯噪声”测量误差产生的 σ_0 估值误差可通过下式计算得出：

$$\sigma_0 \text{ Error (dB)} = 10 \log [1 + (\alpha - 1) / \text{SNR } \sigma_0] \quad (1)$$

当：

$$\text{SNR } \sigma_0 \text{ (dB)} = 10 \log (S/N) = \sigma_0 \text{ 估值过程中的信噪比}$$

式中：

S: 为回波功率频谱密度

N: 额定噪声底限功率频谱密度（对于“扇形波束”和“点状波束”天线来说，散射计接收器输入端的密度均约等于-200 dB (W/Hz)）

以及

$$\alpha \text{ (dB)} = 10 \log ([N + (I_{s+n} / B_{s+n})] / [N + (I_n / B_n)]) \quad (2)$$

式中：

I_{s+n} : “信号+噪声”测量期间 B_{s+n} 中的干扰源产生的平均功率

B_{s+n} : “信号+噪声”测量带宽

I_n : 在“纯噪声”测量期间 B_n 中的干扰源产生的平均功率

B_n : “纯噪声”测量带宽

外部干扰的影响在低速风动的情形下最为严重。航天散射计测得的最低风速是3 m/s。对NSCAT散射计造成的非静态干扰的计算机模拟结果表明，在3m/s风速下满足性能要求， α 的最大值（见等式（2））应为0.7 dB。

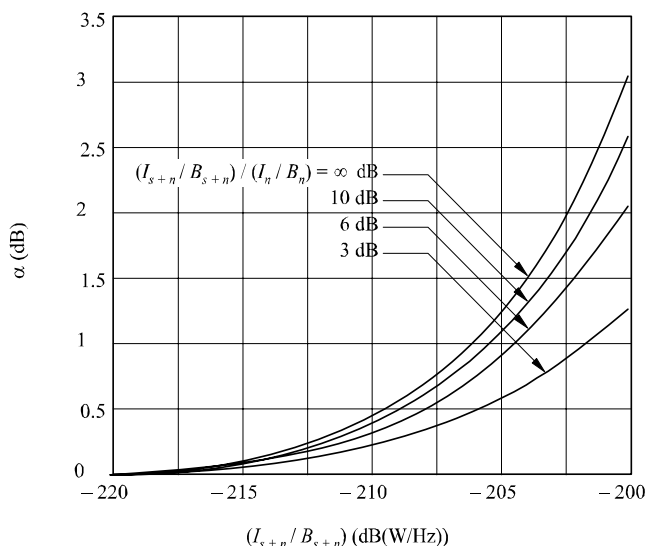
未来的散射计可能使用点波束天线，而不是NSCAT使用的那种扇形波束天线。这两种散射计除在天线方向图以外，在发射等向全效辐射功率（e.i.r.p.）和接收天线增益存在很大不同。有关非静态干扰的计算机模拟结果表明，使用“点波束”天线时 α 的最大值达到6dB（见等式（2）），但仍能在风速为3m/s的情况下达到性能要求。

来自随机分布在海上的射频台站干扰造成的散射计数据丢失率在自全球海洋收集的数据总量的5%以内是可以接受的。由经常性干扰造成的容许丢失率为1%。经常性干扰被定义为途经一海域时的大部分情况下无信号覆盖。这些最大容许丢失率根据NSCAT对于测量90%的全球海上矢量风的科学要求而得出的，并考虑了主要发生在强降雨地区的其它偶然性的数据丢失情况。

3.2 干扰标准

图1a为等式(2)的图示, 式中散射计接收器功率底限为 $N = -200$ dB(W/Hz)。如图所示, α 是干扰信号 I_{s+n}/B_{s+n} 的功率频谱密度的函数。请注意, 在不同时间和不同带宽上, 干扰会发生变化, 因此 α 值也会不同。图1a包含了参数 $10 \log [(I_{s+n}/B_{s+n})/(I_n/B_n)]$ 取不同值时的各种图形。

图1a



1166-01a

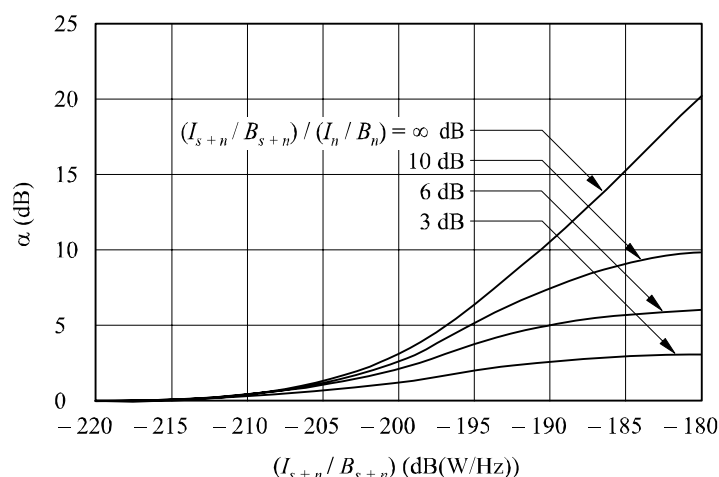
“信号+噪声”测量时间和“纯噪声”测量时间中点的间隔约为0.23秒。在这段时间内, 空载散射计与地面某一特定点形成的角度将发生约 0.1° 的变化。由于扇形波束天线的波束宽度窄(0.42° , 波束宽度为3dB), 所以当散射计旁瓣经过发射器波束时, 接收的干扰电平发生几个dB的变化是在预料之中的。从工程角度判断, 假定测量期间 $10 \log [(I_{s+n}/B_{s+n})/(I_n/B_n)]$ 的预期最大变化是6dB。从图1a可得出结论, 在测量精确度不受影响的前提下, NSCAT散射计六个扇形波束天线中的任何一个所能承受的最大干扰功率频谱密度在处理信道的1MHz带宽内任何2kHz的带宽上为 -207 dB(W/Hz)或 -174 dBW。

对于类似干扰的白噪声, 接收器输入端的最大容许干扰频谱功率密度约为 -194 dB(W/Hz), 由此推出在处理信道的1MHz带宽内任何2 kHz上的干扰标准是 -161 dBW。

在非白噪声的情况下, 对使用点波束天线的散射计的干扰标准可以通过假设 $10 \log [(I_{s+n}/B_{s+n})/(I_n/B_n)] = \pm\infty$ 的最坏情形计算得出。该情况表示在信号+噪声或纯噪声测量中出现干扰时的情形, 但二者不能同时出现。

从图1b可得出结论，在不影响测量精确度的情况下，一个类似NSCAT的散射计的“点波束”天线可以承受的最大干扰功率频谱密度为-195 dB(W/Hz)。1MHz的处理信道内的任何10kHz带宽必须符合该要求。

图 1b



1166-01b

对于类似干扰的白噪声，一个带有“点波束”天线的散射计在接收器输入端的最大容许干扰频谱功率密度约为-185 dB(W/Hz)。

在共用频段上，如果数据丢失为偶然性，则散射计数据的可用性应超过传感器服务区内全部地点的95%，如果数据丢失在相同地点经常发生，可用性应超过全部地点的99%。

4 测雨雷达

本段提供了在13.25-13.75 GHz、24.05-24.25 GHz和35.5-36.0 GHz频段工作的航天测雨雷达的性能和干扰标准的相关信息。有源航天测雨雷达的性能和干扰标准可用于分析有源航天测雨雷达与在这些频段工作的无线电导航和无线电定位系统的兼容性。

4.1 基于TRMM的测雨雷达

第一部航天测雨雷达是1997年启用的TRMM测雨雷达（PR）。

为开发性能和干扰标准，并将其用于评估PR和无线电导航和无线电定位服务系统的兼容性，有关机构审查了任务目标和TRMM PR的设计。针对构成有害干扰的干扰电平以及干扰造成的数据丢失率提出了与任务目标的实现相一致的干扰标准。

4.1.1 性能标准

在处理数据之后对于TRMM PR的科学要求是完成对等于或大于0.7mm/h降雨强度的测量。可测降雨强度提高到0.75mm/h不会对数据造成重大影响，可以作为衡量性能的标准。

由于受其轨道倾角的影响，TRMM可以获取南北纬度35°之间任何地点的降雨数据。获取所有潜在降雨测量数据非常重要，但是在地球赤道和北纬10°圈定的热带辐合带（ITCZ）以及从海洋大陆延伸到南太平洋之间的宽阔地带（称为澳洲季风海槽和南太平洋辐合带或SPCZ）的测量数据尤为重要。这些最为重要的地区一般在北纬0°-10°和东经50°-180°和南纬0°-10°之间。热带降雨对于全球的水量分布非常关键。在赤道附近的降雨量最大，而降雨的三分之二以上落在热带地区。这种降雨释放的能量有助于推动全球的大气流通，从而形成天气和气候。热带降雨在偶发的、引起全球的洪水和旱灾的厄尔尼诺异常气候中起到关键作用。获得热带和亚热带多年降雨的科学数据对于了解海洋、大气和陆地之间的互相作用如何改变全球的降雨和气候举足轻重。只有使用卫星才能获得这些测量数据。

有了上述背景，TRMM项目的科学家认定，降雨数据可用性是降雨发生地的函数。最关键的地区是ITCZ以及特定的“地面实况（ground truth）”基地附近。建立这些基地是为了使PR数据与同步地表测量数据相关联。偶发干扰导致的ITCZ的数据丢失标准是可用数据的0.2%。

4.1.2 干扰标准

降雨强度测量值从0.7mm/h提高到0.75mm/h与类似噪声的干扰造成的系统噪声电平下降10%相对应。因此，干扰应当比系统噪声电平低10dB。由于系统噪声电平为-140dBW，PR的最终带宽是600 kHz，则有害干扰电平标准是-150 dB（W/600 kHz）。在13.793 GHz和13.805 GHz之间的12 MHz以外，由于接收器端的带通滤波，可容许干扰电平要高得多；对13.790-13.793 GHz和13.805-13.808 GHz，可容许干扰电平为-115dBW；而对于13.75-13.79GHz和13.808-13.850GHz，容许干扰电平为-90 dBW；对于13.85-13.86 GHz，其值为-70dBW。在35.5-36.0 GHz上，有害干扰电平标准是-152 dB（W/600 kHz）。

在共享频段上，在数据丢失偶发情况下，测雨雷达的数据可用性应超过传感器服务区所有地点的99.8%。

4.2 基于TRMM后续卫星的测雨雷达

4.2.1 引言

本附件提供了35GHz上航天测雨雷达的技术特性和性能及干扰标准，做为使用35.5-36.0 GHz频段的有源传感器的另一个示例。

4.2.2 TRMM后续项目和35GHz频段上的测雨雷达

1997年11月成功发射一颗TRMM卫星。此后，TRMM一直提供有关全球降雨分布的独家数据并不断证明这类数据在气候、天气预报、水文学等领域的具有优势。同时为接续TRMM卫星，现已规划了后续卫星。

为获得比TRMM卫星的南北纬35°更广的纬度覆盖，后续卫星需要扩大观察地区并进行更为灵敏的测量。鉴于这些原因，计划将一个35 GHz和一个13GHz的测雨雷达装载在后续卫星上。表3列出了后续卫星的概要情况。

表3
后续测雨雷达概要情况

用途	测量全球降雨分布
轨道高度	400 km （临时性）
轨道倾角	60°-75°
星载传感器	13 GHz测雨雷达 35 GHz测雨雷达 微波成像仪、可视/红外辐射计等

4.2.3 35GHz测雨雷达的技术特征

表4列出35GHz测雨雷达的技术特征，现正考虑将它作为后续测雨雷达卫星的星载仪器之一。35GHz测雨雷达的主要任务是进行高灵敏度的测量。最小可测雷达反射率的目标值应至少在14dBZ以下，而最终降雨强度小于0.2 mm/h，这是13GHz测雨雷达无论如何也做不到的。与13GHz测雨雷达相比，35GHz雷达的波束扫描功能显得十分有限。天线波束或者在最低点被固定，或者在距最低点几度的范围内被扫描。

表4
TRMM后续35GHz测雨雷达（临时性）特征

射频中心频率	35.55 GHz
发射峰值功率	200 W
脉宽	1.67 μs
脉冲重复频率	2627 Hz
脉冲调制	无
天线增益	51.5 dBi
天线方向	最低点或有限扫描
天线直径	1.2 m (效率 = 0.7)
天线波束宽度	0.5°
水平清晰度	3.5 km
射频发射带宽	14 MHz
接收器基带带宽	600 kHz
系统噪声电平（NF = 4 dB）	-142 dB(W/600 kHz)
TX/RX馈电损耗	2.5 dB

4.2.4 性能和干扰标准

4.2.4.1 性能标准

高纬度地区的弱降雨比率高于热带地区。因此应尽可能测得弱降雨，以便对高纬度地区的降雨分布统计做出客观的评估。测量小于0.2 mm/h降雨强度是测雨雷达后续卫星的测量要求之一。因此规定低于14 dBZ的最低可测雷达反射率做为35GHz测雨雷达的性能标准。

4.2.4.2 干扰标准

14dBZ的雷达反射率与0.15mm/h的降雨强度相对应。该值可能进一步降低到0.2 mm/h。该性能衰减与系统噪声温度提高10%或系统噪声电平提高0.5dB相对应。这一标准基本上与13GHz测雨雷达的标准相同。对于干扰造成的数据丢失率的标准，适用于13GHz测雨雷达的标准也可用于35GHz测雨雷达。35GHz测雨雷达的干扰标准总结如下：

- 可容许干扰电平：-152 dB（W/600 kHz）；
- 干扰造成的可容许数据丢失率：0.2%。

5 合成孔径雷达

本段说明了在432-438 MHz、1 215-1 300 MHz、3 100-3 300 MHz、5 250-5 570 MHz、8 550-8 650 MHz和9 300-9 900 MHz频段工作的有源航天成像雷达传感器的性能和干扰标准。性能和干扰标准可以用于分析有源航天成像雷达传感器和在这些频段工作的无线电导航和无线电定位系统的兼容性。

5.1 合成孔径雷达（SAR）的性能标准

由于飞行器的运动在一般只有0.2-1.5s的孔径时间内形成合成孔径，SAR在空间一般用于绘制地形的雷达影像地图。在孔径时间内的任何干扰信号会影响到特定地况的成像。很多SAR主要为陆地和沿海岸线的陆海交界地带成像。实验者选定了有限的几个地点，当1-8日内重复轨道略有漂移时在视角范围内成像。在任何一次视角成像过程中，如果任何干扰对取自地面试验地点的数据造成破坏的话，将对性能产生负面影响。SAR的另一种用途是绘制可用于数字高程模型的地形图。有些SAR使用重复轨迹干扰测量法制作地形图。对任何一条轨迹造成的干扰将对其性能造成负面影响。一个空间SAR沿高度为233km的10日重复轨道运行，在上升轨道使用5 250-5 350MHz和9 500-9 800MHz频段收集SAR固定基线干扰测量数据，使用1 215-1 300 MHz频段收集常规的SAR数据。在距主天线30m的支架上安装有一个5 250-5 350 MHz/9 500-9 800 MHz的接收天线，与主天线同时接收数据，从而可以不必重复轨迹便可以提供干扰测量数据。SAR的扫描工作模式使用5 250-5 350MHz频段，可以收集宽为230km的覆盖带上的数据，并覆盖了南北纬度60度之间的地区。对主天线和辅天线同步接收的信号的任何干扰都将影响传感器的性能。

对于SAR成像或地形图制作功能有一个要求，即从陆上或陆/海交界处选定的地点获取99%的数据。该丢失数据的预算不包含飞行器系统和SAR仪器等其它原因造成的数据丢失。

假设数据丢失持续时间短暂且在数据获取时间段和地区内偶然发生，SAR数据的可用性要求为99%。在一个特定地理位置经常发生的干扰比偶然干扰严重，在实验者选定的、可能同时进行地面实况试验或验证试验的地点之一发生的话，情况尤为严重。就扫描式SAR（scanSAR）的地形图功能而言，一个特定地理位置的干扰可以给全球覆盖地图造成差距。

5.2 SAR的干扰标准

空间成像雷达的干扰标准已经确定，见表2所示。表2中合成孔径雷达的干扰标准为-6 dB的干扰与噪声比（ I/N ），与SAR像素功率标准偏差的性能衰减10%相对应。

考虑到对SAR处理分辨力的干扰减轻效果和在该频段工作的无线电定位和无线电导航系统的调制特征，有可能超过该干扰电平。以成像百分比计，经常性干扰至多超出该电平1%，偶然性干扰至多超出该电平5%；

为生成雷达图像，在范围和方位角上处理SAR原数据。从距离和方位角两个角度来看，点目标回返均在频率上成线性分布。处理器将按两个角度收集的数据进行关联，回波的处理增益通常在20至40dB之间。噪声和干扰信号的处理增益要低得多。接收器噪声在距离上的增益接近0dB。和噪声在同一输入电平上的干扰信号，根据波形调制种类不同具有不同处理增益。

5.2.1 噪声处理增益

天线端口的系统噪声主要包括天线噪声和前端接收器噪声。该噪声可以建模成白噪声、静态噪声和高斯噪声。处理器相关器本质上是线性FM（或线性调频）脉冲的匹配过滤器。噪声的距离处理增益是0dB。方位角处理增益分为两种情形：对于合成孔径的 N 回波的相干积分，增益是 N^2 ；对于噪声，增益为 N 。要将像素处理成方位角 ρ_{AZ} 内的某个分辨率水平，需要合成孔径积分时间和正确的PRF，见下式：

$$G_{N_{AZ}} = T_I PRF$$

$$T_I = \frac{\lambda R_S}{v L_{eff}}$$

$$PRF = 1.2 \frac{v}{\rho_{AZ}}$$

式中：

- G_{NAZ} : 为方位角处理增益
 T_I : 为SAR方位角积分时间
 PRF : 为脉冲重复频率
 λ : 波长
 R_S : 倾斜距离
 V : 飞行器平台速度
 L_{eff} : 方位角的有效天线长度
 ρ_{AZ} : 方位角分辨率。

例如，对于在接近9.6 GHz 工作的SAR3， $\lambda = 0.03125$ m，入射角为 20° 时， $R_S = 535.8$ km， $v = 7.05$ km/s，且 $L_{eff} = 1.56$ m，则 $T_I = 1.52$ s。设 $\rho_{AZ} = 1$ m，则 $PRF = 8\,460$ Hz，且噪声的方位角处理增益 G_{NAZ} 为 41.1 dB。

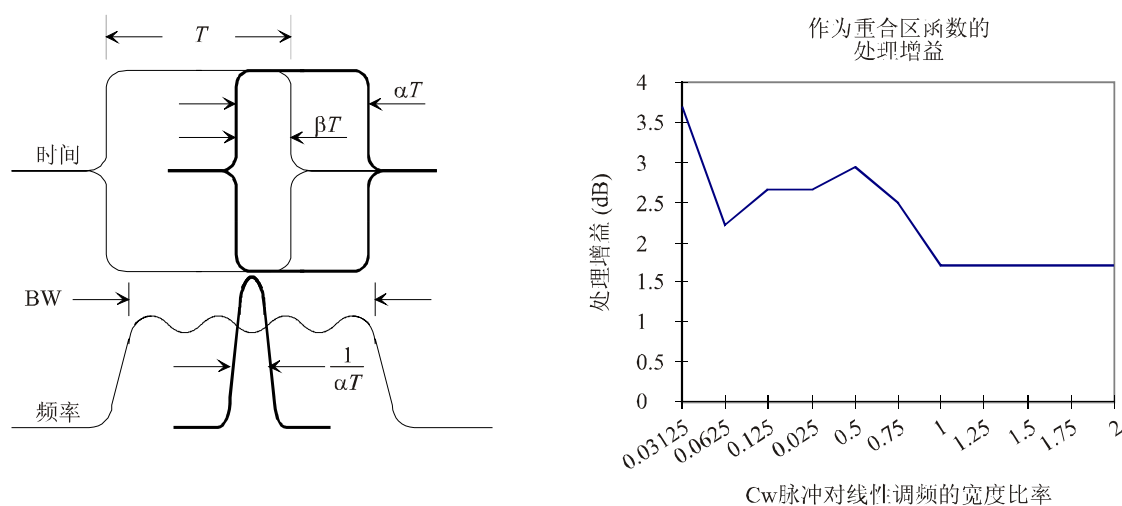
5.2.2 干扰信号的距离处理增益

5.2.2.1 脉冲CW干扰

假设干扰脉冲CW信号的RF中心频率在处理频段之内，噪声相关干扰处理增益随与线性FM脉冲宽度有关的CW脉冲宽度变化，其重合区域百分比如图2所示。

图2

线性调频和脉冲的时间和频率特征



假设干扰脉冲宽度低于线性调频脉冲宽度，并由线性调频包络（即 $\alpha = \beta$ ），则处理增益在图2中表示为部分脉冲宽度的函数。

5.2.2.2 CW干扰信号

假设CW干扰信号的RF中心频率在处理频段之内。对于与噪声电平相等的干扰信号电平，CW处理增益是2.3dB。就每个图像像素而言，与线性调频脉冲带宽相等的CW脉冲情况相同，带宽比率为一。

5.2.2.3 线性FM干扰信号

假设干扰频谱在处理频段之内，且干扰脉冲与回波脉冲重合，见图1。

设线性调频信号 $f(t)$ 以下列等式表示：

$$f(t) = \text{rect}(t/T_1) e^{j2\pi f_0 t + j\pi \mu t^2} \quad (1)$$

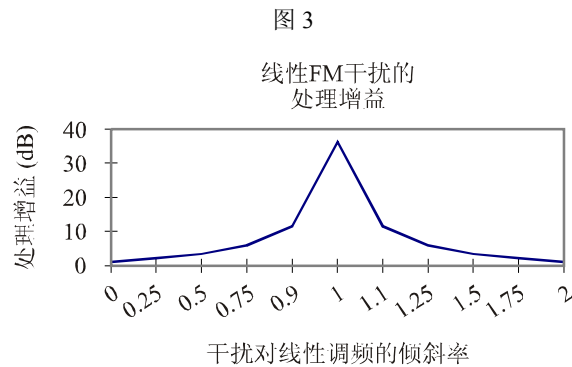
式中：

$\text{rect}(t)$: 为单位宽度的矩形函数

f_0 : 为RF载频

μ : 为倾斜度

对于近似相同的脉冲宽度（即 $\alpha = 1$ ），干扰脉冲的处理增益随着倾斜率发生变化，如图3所示。干扰脉冲的倾斜度为 μ' ，雷达线性调频的倾斜度为 μ 。



1166-03

5.2.2.4 其它干扰波形/调制方法

地面干扰雷达具有各种波形和调制方法，例如巴克码和非线性FM等。对于每种方法，可能对其进行建模，并计算相对于噪声的处理增益。本文不讨论调制方法。然而虽然本文中不讨论距离处理增益，但方位角处理增益仍然与这些脉冲波形有关。

5.2.3 脉冲干扰信号的方位角处理增益

当天线波束在地面的照射通过目标区域时，通过将回波相加进行SAR方位角处理。对于噪音，合成孔径内的 N 脉冲积分的方位角处理增益为 N 。对于干扰脉冲，每个值域窗内干扰信号的相位调整随着每次回返而各不相同，原因是地面雷达和SAR的PRF不同。对于干扰脉冲信号，以往在SAR积分间隙使用接续值域窗模拟和回返相加的方法进行的分析表明，方位角处理干扰脉冲的瞬时峰值功率为0至9.5dB不等。

5.2.4 可容许干扰的计算方法

如上文所述，考虑到对SAR处理分辨力的减扰效果和在该频段工作的无线电定位和无线电导航系统的调制特征，可容许干扰电平会有所不同。容许干扰信号功率 P_I 以下式表示：

$$P_I = I / N \cdot P_N \cdot \frac{G_{N_{AZ}}}{G_{I_{AZ}}} \cdot \frac{G_{N_{RNG}}}{G_{I_{RNG}}} \quad (2)$$

式中：

I/N ： 为处理器输出端的干扰对噪声比率

P_N ： 为天线端口的噪声功率

$G_{N_{AZ}}$ ： 为方位角噪声处理增益

$G_{I_{AZ}}$ ： 为方位角干扰信号处理增益

$G_{N_{RNG}}$ ： 为距离处理增益

$G_{I_{RNG}}$ ： 为距离干扰信号处理增益。

处理增益是距离处理增益和方位角处理增益的乘积。干扰的距离处理增益通常很小，不到4dB；然而干扰的方位角处理增益通常在20至40dB之间，低于噪声此类增益。例如，当9.6GHz的宽带SAR受到空载雷达的干扰，雷达和SAR均使用线性FM脉冲，但线性调频倾斜度差异很大。SAR的线性调频倾斜度为45-450 MHz/ μ s，而空载雷达的线性调频倾斜度为0.5 MHz/ μ s。干扰线性调频倾斜度与SAR线性调频倾斜度的比率 $|\mu'|/\mu|$ 仅为0.001至0.01，如图3所示，对应的距离处理增益约为2.3dB。如 $I/N = -6$ dB， $P_N = -83.7$ dBm， $G_{N_{AZ}}/G_{I_{AZ}} = 41.1$ dB，且 $G_{N_{RNG}}/G_{I_{RNG}} = -2.3$ dB，则 P_I 不应超过-50.9dBm。表5列出当9.6GHz的SAR3接收到空载雷达干扰信号时，其噪声、最小有用回波信号（SNR = 0 dB）和干扰信号的处理增益的计算方法。

表5

在9.6GHz工作的SAR3的噪声、信号和干扰的
距离和方位角处理增益

信号类型	输入功率 (dBm)	距离 处理增益 (dB)	方位角 处理增益 (dB)	输出功率 (dBm)
噪声	-83.7	0.0	41.1	-42.6
最小有用信号	-151.3	26.5	82.2	-42.6
最大容许干扰信号	-44.9	2.3	0.0 至 9.5	-42.6 至 -34.8

5.2.5 在432-438 MHz和1 215-1 300 MHz频段工作的SAR的输入和输出信号特征

最大可容许干扰输出信号等于系统噪声电平或输出端的接收天线噪声。表6列出了在容许距离和方位角的处理增益时，噪声、最小有用信号和最大干扰信号的输入和输出信号特征。表中列出了432-438 MHz频段和1 215-1 300 MHz频段的电平。

表6
在432-438 MHz*和1 215-1 300 MHz频段工作的SAR的
输入和输出信号特征

信号类型	输入功率 (dBm)	距离 处理增益 (dB)	方位角 处理增益 (dB)	输出功率 (dBm)
噪声	-97.7 (-103.4)	0.0 (0.0)	30.6 (33.0)	-67.1 (-70.4)
最小可用信号	-156.5 (-164.2)	28.2 (27.8)	61.2 (66.0)	-67.1 (-70.4)
最大容许干扰信号 ⁽¹⁾	-69.4 (-72.7)	2.3 (2.3)	0 至 9.5 (0 至9.5)	-67.1 至 -57.6 (-70.4 至 -60.9)

* 圆括号中列出432-438MHz频段的相应值。

⁽¹⁾ 适用于脉冲持续时间最长为2μs的非FM脉冲干扰源。对于脉冲持续时间更长的电平，其值仅在前者基础上浮动± 0.6 dB。

5.2.6 在3 100-3 300MHz和5 250-5 570MHz频段工作的SAR输入和输出信号特征

最大容许干扰输出信号等于系统噪声电平或输出端的接收天线噪声。表7列出了在容许距离和方位角的处理增益时，噪声、最小有用信号和最大干扰信号的输入和输出信号特征。文中列出有关假定雷达的电平。在5 250-5 350 MHz频段上使用了主天线参数。然而，进行地形干扰测量可能使用宽度为66μs的一个脉冲以提高信号能，并使用长度仅为8m且仰角的每个支杆上均带有LNA的吊杆天线，以降低噪声电平。

从名义的角度而言，它表明输入端的干扰信号在多大的电平上等于各自输出端噪声的相同功率。这些输入电平上没有接收器后端饱和，原因是另外的18dB电平不会发生饱和。接收器前端1dB的压缩点在输入端为-22dBm。接收器输入最大功率容量是+37dBm。因此最大容许干扰信号仍然大大低于达到饱和所要求的水平或最大功率容量。

表7

**在3 100-3 300MHz* 和5 250-5 570MHz频段工作的SAR的
输入/输出信号特征**

信号类型	输入功率 (dBm)	距离 处理增益 (dB)	方位角 处理增益 (dB)	输出功率 (dBm)
噪声	-96.7 (-99.3)	0.0 (0.0)	24.2 (27.7)	-72.5 (-71.6)
最小有用信号	-149.1 (-156.0)	28.2 (29.0)	48.4 (55.4)	-72.5 (-71.6)
最大容许干扰信号 ⁽¹⁾	-74.8 (-73.9)	2.3 (2.3)	0 至 9.5 (0 至 9.5)	-72.5 至 -63.0 (-71.6 至 -62.1)

* 括号中列出3 100-3 300MHz频段的相应值。

⁽¹⁾ 适用于脉冲持续时间最长为2μs的非FM脉冲干扰源。对于脉冲持续时间更长的电平，其值仅在前者基础上浮动± 0.6 dB。

5.2.7 在8 550-8 650MHz和9 300-9 900MHz¹频段工作的SAR的输入和输出信号特征

最大可容许干扰输出信号等于系统噪声电平，或输出端的接收天线噪声。表8列出了在容许距离和方位角的处理增益的噪声、最小有用信号和最大干扰信号的输入和输出信号特征。它表明输入端-74.5至-75.0dBm的干扰信号等于输出端的同一噪声功率。在该输入电平上，没有接收器后端饱和，因为只有当输入信号达到-56 dBm且接收器增益为60dB时才出现饱和。接收器前端1dB的压缩点在输入端为-22dBm。接收器输入最大功率容量是+37dBm。因此-74.5至-75.0 dBm的最大容许干扰信号仍大大低于达到饱和所要求的水平或最大功率容量。

表8

**在8 550-8 650 MHz*和9 300-9 900 MHz工作的SAR的
输入和输出信号特征**

信号类型	输入功率 (dBm)	距离 处理增益 (dB)	方位角 处理增益 (dB)	输出功率 (dBm)
噪声	-94.0 (-94.5)	0.0 (0.0)	21.8 (21.8)	-72.2 (-72.7)
最小可用信号	-145.3 (-145.8)	29.5 (29.5)	43.6 (43.6)	-72.2 (-72.7)
最大容许干扰信号 ⁽¹⁾	-74.5 (-75.0)	2.3 (2.3)	0 至 9.5 (0 至 9.5)	-72.2 至 -62.7 (-72.7 至 -63.2)

* 括号中列出8 550-8 650 MHz频段的相应值。

⁽¹⁾ 适用于脉冲持续时间最长为2μs的非FM脉冲干扰源。对于脉冲持续时间更长的电平，其值仅在前者基础上浮动± 0.6 dB。

¹ 见WRC-07相关决定。

5.2.8 干扰标准

对于成像或地形干扰测量合成孔径雷达，其不可接受的性能衰减底限是下列频段的峰值功率：

432-438 MHz	-109 dBW/6 MHz
1 215-1 300 MHz	-106 dBW/20 MHz
3 100-3 300 MHz	-110 dBW/20 MHz
5 250-5 570 MHz	-111 dBW/20 MHz
8 550-8 650 MHz	-111 dBW/20 MHz
9 300-9 900 MHz	-110 dBW/20 MHz *

* 见 WRC-07相关决定

这些标准适用于脉冲持续时间最长为2μs的非FM脉冲干扰源。对于不同脉冲持续时间，此标准在前者基础上浮动± 0.6 dB。

5.2.9 可用性标准

在共用频段上，SAR的数据可用性标准应高于被设为选定地点的所有位置或在地形图制作情形下全球覆盖的所有地点的99%。

6 云廓线雷达

本段说明了在94.0-94.1GHz、133.5-134.0GHz和237.9-238GHz工作的航天云廓线雷达传感器的性能和干扰标准。

6.1 94GHz的云廓线雷达性能标准

航天云廓线雷达的任务目标是测量视野之内最小反射率为-30 dBZ的所有云层反射廓线。

6.2 云廓线雷达干扰标准

在95%的服务区以内，干扰降低小于10%的 Z_{min} 衰减。 Z_{min} 衰减百分之十与-10 dB的干扰和噪声比对应。该干扰标准与300kHz上-155 dBW的干扰功率电平相对应。

6.3 云廓线雷达的可用性标准

对于偶然性的干扰信号，干扰将在95%的服务区以内导致低于10%的 Z_{min} 衰减。对于非偶然性干扰信号，干扰将在99%的规划服务区以内导致低于10%的 Z_{min} 衰减。
