

国 际 电 信 联 盟

**ITU-R**

国际电联无线电通信部门

**ITU-R SM.2256 报告**  
(09/2012)

**频谱占用率测量和评估**

**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 系列建议书

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

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

注：本ITU-R建议书英文版已按ITU-R第1号决议规定的程序批准。

电子出版  
2013年，日内瓦

© 国际电联 2013

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.2256 报告

## 频谱占用率测量和评估

(2012年)

### 摘要

在由不同无线电业务共享的数字系统和频段的密度日益增加的现代射频环境中，频谱占用率测量和评估成为监测业务的一项越来越复杂和具有挑战性的任务，根据ITU-R SM.1880建议书、ITU-R SM.1809建议书和国际电联频谱监测手册2011版提供的信息，新起草的本报告提供了有关频谱占用率测量不同方法的更为详细的论述，可能存在的与频谱占用率测量及其解决方案有关的问题。

### 目录

	页码
1 引言 .....	4
2 术语和定义 .....	5
2.1 频谱资源 .....	5
2.2 频道占用率测量 .....	5
2.3 频段占用率测量 .....	5
2.4 测量区域 .....	5
2.5 监测持续时间( $T_T$ ) .....	6
2.6 样本测量时间( $T_M$ ) .....	6
2.7 观测时间( $T_{Obs}$ ) .....	6
2.8 重访时间( $T_R$ ) .....	6
2.9 占用时间( $T_O$ ) .....	6
2.10 积分时间( $T_I$ ) .....	7
2.11 最大信道数( $N_{Ch}$ ) .....	7
2.12 传输长度 .....	7
2.13 门限 .....	7
2.14 忙时 .....	7
2.15 访问延时 .....	7
2.16 频道占用率(FCO) .....	7
2.17 频段占用率(FBO) .....	8
2.18 频谱资源占用率(SRO) .....	8

3	测量参数 .....	10
3.1	选择性 .....	10
3.2	信噪比 .....	11
3.3	动态范围 .....	12
3.4	门限 .....	12
3.4.1	预置门限 .....	12
3.4.2	动态门限 .....	13
3.5	测量时间安排 .....	15
3.6	测量天线的方向性 .....	17
4	地点考虑事项 .....	18
5	测量程序 .....	20
5.1	采用扫描接收机的FCO测量 .....	20
5.2	采用扫描分析仪的FBO测量 .....	20
5.3	采用FFT方法的FBO测量 .....	20
6	占用率计算 .....	21
6.1	结合相邻频率上的测量样本 .....	21
6.2	具有不同信道宽度的频段内发射的分类 .....	22
7	结果的表示 .....	23
7.1	单信道上的业务量 .....	23
7.2	多信道上的占用率 .....	24
7.3	频段占用率 .....	26
7.4	频谱资源占用率 .....	28
7.5	结果的可用性 .....	29
8	特殊的占用率测量 .....	29
8.1	分配给固定业务点对点系统的频段内的频道占用率 .....	29
8.2	分离在共享频率资源内不同用户的占用率 .....	30
8.3	2.4 GHz ISM频段内WLAN（无线局域网）的频谱占用率测量 .....	31
8.4	确定从模拟转换为数字集群系统所需要的信道 .....	32
8.5	在共享频段内不同无线电业务所使用射频的评估 .....	35

9	不确定性考虑事项 .....	35
10	结果的解释和使用 .....	36
10.1	概述 .....	36
10.2	共享信道内占用率结果的解释 .....	36
10.3	使用占用率数据评估频谱利用率 .....	36
11	结论 .....	37
	附件1 – 频谱占用率测量的概率方法和有关的测量数据处理程序 .....	38
A	序言 .....	38
A1	本方法的一般描述 .....	38
A2	频谱占用率的概念 .....	39
A2.1	作为统计概念的频谱占用率 .....	39
A2.2	占用率测量误差 .....	40
A2.3	占用率测量的准确度和置信度 .....	41
A2.4	影响占用率测量统计置信度的参数 .....	42
A2.4.1	脉冲信号、长信号和信号流量 .....	42
A2.4.2	重访时间的相对不稳定性 .....	43
A2.4.3	锁定和非锁定测量系统在占用率测量中的应用 .....	43
A3	测量程序 .....	44
A3.1	关于采用锁定测量系统测量占用率的建议 .....	44
A3.1.1	数据收集 .....	44
A3.1.2	占用率测量规则 .....	44
A3.1.3	选择样本数 .....	44
A3.1.4	错误的样本数选择对占用率测量置信度的影响 .....	47
A3.2	关于采用非锁定测量系统测量占用率的建议 .....	48
A3.2.1	数据收集 .....	48
A3.2.2	占用率计算规则 .....	49
A3.2.3	选择样本数 .....	49

	页码
A4 无线电信道中信号流量影响频谱占用率计算置信度的典型例子 .....	49
A4.1 情况A: 积分时间内出现单一信号 .....	49
A4.2 情况B: 积分时间内有十二个信号 .....	50
A4.3 情况C: 积分时间内有数打信号 .....	50
附件A的参考文献 .....	51

## 1 引言

无线电应用的日益增长使得在一个有限的可用频谱内容纳所有的用户变得越来越困难，有些频段有时已经过于拥挤，频谱管理者往往需要知道特定频段内的实际占用率。

在逐步形成本报告时，已经考虑了与占用率有关的国际电联的下列文档：

- ITU-R 233/1号研究课题  
该研究课题于2007年提出，要求对频道和频段占用率测量的测量、评估和表示的方法进行研究。
- ITU-R SM.1880建议书  
该建议书描述了开展占用率测量时要考虑的不同方面，并说明了测量结果的表示方法。
- ITU-R SM.1809建议书  
该建议书定义了用于信道占用率测量结果的通用数据格式，从而使得采用不同硬件和软件用于实际测量的管理部门之间能够交换数据。
- 频谱监测手册，第4.11章  
该手册的2011版总结了上述建议书中详细描述占用率测量方法。

然而，下列因素使得测量频谱占用率、以频谱管理者能够比较容易地获取必需信息的方式表示测量结果变得越来越困难：

- 自组织无线电系统  
有些现代的无线电系统没有单一的和/或固定的工作频率，而是能够感知特定频段内当前的占用，并且自动地选择一个当前空闲的频率，该设备下一次使用频谱的时候，选择的频率可能会不同，这种行为的一个例子是DECT个人电话系统。
- 频率灵活的无线电系统  
有些无线电系统会根据固定的乃至灵活的方案非常快速地改变频率，这些频率对于占用率测量系统是随机出现的，一个例子是蓝牙。标准的占用率测量系统通常不会快速到足以捕获每一个短脉冲，可能会将整个频段当作正在使用，即便只有一个站点在运行。

- 脉冲的（猝发的）数字系统

采用TDMA多址方法的数字系统通常以脉冲方式发送，即使占用率测量系统能够快速到足以捕获每一个脉冲，仍然会出现在这种情况下如何定义占用率的问题：只是因为某一个时隙使用了这个频率，该频率应该被认为是占用，或者应该将脉冲之间的这段时间表述为“可用的”？

- 被不同带宽的用户所共享的频段

在有些频段内，同时存在的系统可能拥有完全不同的信道带宽和间隔，一个例子是UHF广播频段，该频段可能被拥有8 MHz频道带宽的电视发射机和拥有25 kHz间隔的无线话筒使用，分辨率为8 MHz的占用率测量可能会显示这个被占用的TV频道，但不能识别只占用了一部分TV频道的无线话筒，如果在25 kHz频道间隔的基础上进行测量，TV传输将显示为一系列相邻的、完全被占用的无线话筒频道。

本报告更加详细地描述了测量和评估频谱占用率的不同方面，也关注了上面提到的方面。

## 2 术语和定义

### 2.1 频谱资源

频谱资源根据空间（例如位置、服务区域）、时间和信道数（在一个信道化的频带内），描述了特定地域上所有用户可能使用频谱的可用性。

对于单一的频率指配，频谱资源可能只是单个频道。在自组织网络的情况下，例如集群网络或者蜂窝系统，频谱资源可能由某一频段内所有的频道组成，但可能会受到时间的限制，例如TDMA系统的一个时隙。

因此，频谱资源非常取决于无线电业务和研究中的特定问题。

### 2.2 频道占用率测量

测量具有相同或不同信道宽度的各个频道，可能会覆盖若干个不同的频段，以便确定这些信道的占用程度（百分比）。

### 2.3 频段占用率测量

测量用起止频率表示的频段，采用的步长（或者频率分辨率）通常要小于信道间隔，以便确定整个频段的占用程度。

### 2.4 测量区域

在本文中，测量区域是指占用率结果有效的区域，可以假设已确定具有一定占用率的频率或信道代表了测量区域内的任何位置，不仅仅是监测天线的位置。



## 2.5 监测持续时间 ( $T_T$ )

这是进行占用率测量的总时间。

通常的监测持续时间为24小时的工作时间或者其它适当的时间，最佳的监测持续时间取决于占用率测量的目的和可以获得的有关使用频谱资源的无线电系统行为的先验知识，例如，如果要测量的频段只包含广播站，若可以预料所有站均24小时发射，则测量信道或频段可能一次就足够了。为了测量一个很少使用的专用移动网络，可能需要另外的极限值，在这种情况下，测量整整一周可能是必需的。

利用所有可以获取的信息使监测时间最优化，能够在不降低结果准确度的情况下大大节约人力和费用。

## 2.6 样本测量时间 ( $T_M$ )

这是每个信道或频率的实际（净）测量时间。

## 2.7 观测时间 ( $T_{Obs}$ )

观测时间是系统完成对某一信道必要的测量所需要的时间，包括所有的处理开销，例如将测量结果存储到存储器/磁盘，以及将接收机设置到想要的频率。（ $T_{Obs} = T_M +$  处理开销）。

## 2.8 重访时间 ( $T_R$ )

重访时间 $T_R$ 是访问要测量的所有信道（无论是否被占用）并返回到第一个信道所花费的时间，如果只测量一个信道，则重访时间等于观测时间。

## 2.9 占用时间 ( $T_O$ )

这是在规定的“积分时间”期间一个特定的信道具有高于门限的测量电平的时间。当测量多个信道时，不能连续地观测某一个信道。在重访时间之后，当发现一个信道仍然被占用时，可以假定该信道在对其连续两次测量之间的时间段上也已经被占用。

$$T_O = N_O \cdot T_R$$

其中：

$N_O$ ： 其电平高于门限的测量结果的数量

$T_R$ ： 重访时间。

在通过对特定的信道重复采样（“快照”）进行测量这种最通常的情况下，由上面公式计算得到的数值也许不能代表实际的占用，原因是信号在连续取样之间的变化仍然无法检测。

在采用TDMA方法的数字系统或者低占空比系统的情况下，占用率结果应该理想地反映特定的系统使用资源的时间百分比。

例如：如果自始至终存在着一个占用八个可能时隙的其中之一的GSM站，则给出的占用率数值应为12.5% (1/8)，即使该信道可能在100%的时间内均无法用于另外的系统。



## 2.10 积分时间 ( $T_I$ )

必须理解某一信道的瞬时占用率只能是0或100%：在某一个特殊的时刻，信道是被占用或空闲。从任何意义来说，计算得到的所有占用率数字都必须对特定的时间段取平均，这个平均时间被称作积分时间，是给出特定的占用率数值所用的时间，可以根据预期的占用率变化速率和想得到的结果的时间分辨率来设置它，通常的数值为5分钟、15分钟、1小时、1天，或者整个监测持续时间。这里的积分时间不要与监测设备中使用的检波器的积分时间混淆。

## 2.11 最大信道数 ( $N_{Ch}$ )

这是在重访时间内能够访问的最大信道数。

## 2.12 传输长度

这是各个无线电传输的平均持续时间。

## 2.13 门限

这个门限是在接收机输入端的、确定一个信道被认为是否占用的特定电平，它可能是一个固定的、预先规定的电平或者一个可变的电平，最后得到的占用率非常取决于该门限，因此，需要全面研究定义该门限所必需的方法，并仔细设置它的数值。关于设置该门限的不同方法，详见第3.4段。

## 2.14 忙时

忙时由60分钟时间内信道或频段的最高占用率确定。

## 2.15 访问延时

只要一个固定的信道是空闲的或者—在一个自组织网络中—仍存在可用的空间信道，一个“新的”用户就能够立即接入这个信道或网络，如果指配的固定信道或者网络的所有可用信道均被占用，则追加的用户为了使用这个资源必须要等待一定的时间，这个时间被称作访问延时，它的值取决于可用的信道数和（平均的）传输长度，最大的可以接受的访问延时可以预先规定（例如在用于生命安全服务的网络中），最大的实际访问延时能够由频谱占用率测量结果统计地计算得到。

## 2.16 频道占用率 (FCO)

只要测量得到的电平高于门限，频道就是被占用。对于一个信道，采用下面的公式计算FCO：

$$FCO = \frac{T_o}{T_I}$$

其中：

$T_o$ ： 这个频道上测量得到的电平高于门限的时间

$T_I$ ： 积分时间。

假设一个固定不变的重访时间，也可以采用下面的公式计算FCO：

$$FCO = \frac{N_o}{N}$$

其中：

$N_o$ ： 频道上与门限之上电平有关的测量样本的数量

$N$ ： 频道上获得的与积分时间有关的测量样本的总数。

### 2.17 频段占用率（FBO）

整个频段的占用率要把每一个被测量的频率都计算进去，并对整个频段计算一个以百分比计的总数，与通常的信道间隔无关。由频率分辨率决定的被测量频率的数量通常要大于频段内可用的信道数，如果每个样本的测量时间相同，则采用下面的公式计算FBO：

$$FBO = \frac{N_o}{N}$$

其中：

$N_o$ ： 其电平高于门限的测量样本的数量

$N$ ： 积分时间期间测量样本的总数。

如果频段占用率测量结果的频率分辨率很高，则FBO数值通常要比该频段内频道的FCO数值小得多。

例如：以分辨率 $\Delta F = 1$  kHz测量从 $F_{start} = 112$  MHz到 $F_{stop} = 113$  MHz的频段，则被测量频率的数量 $N_F$ 为：

$$N_F = \frac{F_{stop} - F_{start}}{\Delta F} = 1000$$

在这个频段内，通常的信道间隔为25 kHz，于是被测量的频段包含了40个可用的信道。如果20个信道被连续地占用，每个传输的带宽为4 kHz，则高于门限的样本数将为 $20 \times 4 = 80$ ，这将得出频段占用率为 $(80 \times N / 1000 \times N) = 0.08$ 或8%。

### 2.18 频谱资源占用率（SRO）

频谱资源占用率是正在使用的频道数与整个频段内频道总数之比。

如果对多个频道进行频道占用率测量，则使用下面的公式计算SRO：

$$SRO = \frac{N_o}{N}$$

其中：

$N_O$ ：所有频道上电平高于门限的样本数

$N$ ：所有频道上在积分时间期间获得样本的总数。

当只测量一个频道时，SRQ等于FCO。

当测量频段占用率时，SRQ的计算步骤如下：

首先，必须由所有的测量样本计算频道占用率，详细信息见第6.1段。

然后，计算与FCO相对应的SRQ：

$$SRO = \frac{N_{Och}}{N_{Ch}}$$

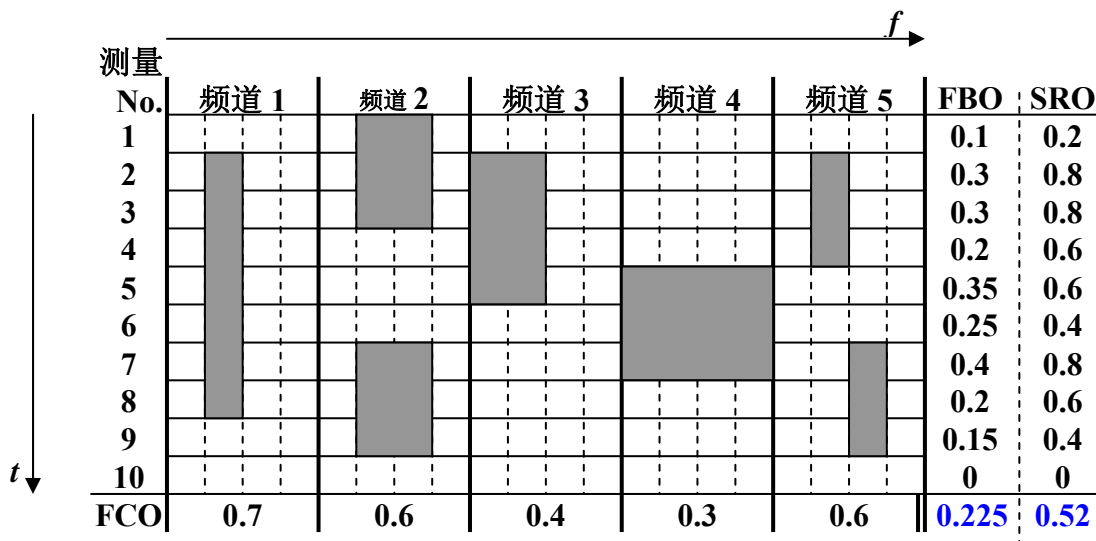
其中：

$N_{Och}$ ：所有频道中心频率上电平高于门限的的样本数

$N_{Ch}$ ：积分时间期间在所有频道中心频率上获得样本的总数。

因此，SRQ可以看作是多个频道FCO的平均（或者累计），下图用一个例子说明了FCO、FBO和SRQ之间的区别。

图 1  
占用率情况举例



在这个例子中，以¼频道带宽的分辨率对包含了5个频道的频段进行测量，因而，测量设备在重访时间内从每一个频道获得了四个样本。

对于每一个频道独立地计算FCO，只要频道内的四个样本中任何一个高于门限，就认为该频道被占用。

可以对每一个时隙独立地计算FBO（如果需要的话），时隙是可能的最短积分时间。为了计算FBO数值，必须要考虑测量结果的全部20个样本。全部10个时隙的FBO可以对各个时隙的结果取平均，或者计算在所有频率上获得的200个样本中高于门限的样本总数，并将结果除以200（在这个例子中，200个样本中有45个被占用，得到的FBO为 $45/200 = 0.225$ ）。

### 3 测量参数

#### 3.1 选择性

当测量多个频道或者整个频段时，最关键的方面之一是将发射从相邻信道中分离出来，即使它们的电平完全不同。如果测量带宽过宽，则强的发射会导致相邻的信道看来好像也被占用了。

图2  
测量带宽的正确设置

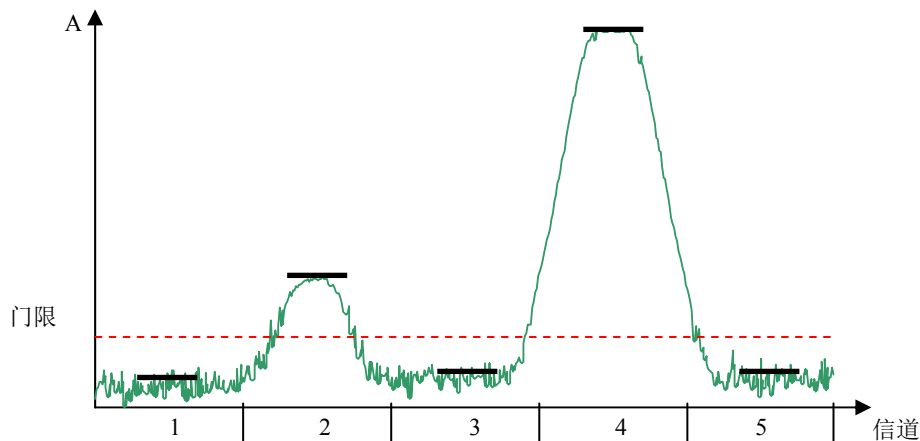
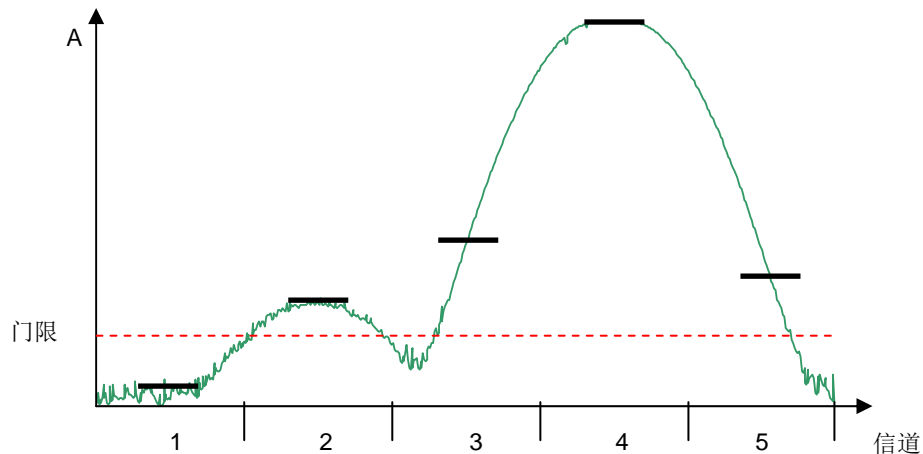


图2显示的是五个相邻邻道的射频信号的例子。信道2和信道3被不同电平的信号所占用，短水平线表示评估之后的信道电平，在这个例子中，测量带宽的设置是正确的：只有信道2和信道4具有高于门限的电平。

图3  
测量带宽设置过宽



在图3中，测量带宽过宽：尽管信道2的占用情况仍显示正确，但信道4上的强信号导致了信道3和信道5的虚假占用。

显然，测量设备的频率分辨率必须至少和被研究频段内（最窄的）信道间隔一样，然而，取决于测量装置，最大的分辨带宽可能会小得多：

- 如果使用装备了信道滤波器的标准的监测接收机，则测量带宽等于可能使用的（最窄）信道间隔，然而，建议采用较小的带宽。
- 如果使用具有高斯或者CISPR滤波器的扫描频谱分析仪，则分辨带宽不应该大于该频段内（最窄）信道间隔的1/10。
- 如果采用FFT方法计算频谱，则相邻频点之间的最大间隔为该频段内（最窄）的信道间隔。然而，在这种情况下，频点必须落在频道的中心频率上。如果做不到这一点，则相邻频点之间的间隔必须小于该频段内（最窄的）信道间隔的一半。

在跳频扩频（FHSS）系统的频段内，可以按上面描述的方法确定测量带宽，然而，跳频序列中单一脉冲99%的带宽必须用作信道间隔。

### 3.2 信噪比

测量装置的灵敏度应与该频段内普通用户设备的灵敏度在相同的范围内，这确保了用户设备可以检测的信号能在测量结果中显示出足够的信噪比（ $S/N$ ），以便将它们从噪声基底中分离出来。出于这一目的，可以假定以下最小的 $S/N$ ：

- 对于窄带模拟通信为20 dB（例如专用网络）。
- 对于宽带模拟通信为40 dB（例如调频广播）。
- 对于数字系统为15 dB（除了直接序列扩频以外）。

直接序列扩频（DSSS）频段内的占用率测量不能采用标准的测量设备，因为频率范围内的有效电平常常处于或者低于噪声基底，在这些情况下，标准的测量系统的信噪比不足以检测这些发射，DSSS发射的存在和电平只能在编码域解扩之后才能测量。

### 3.3 动态范围

占用率测量系统的一个关键参数是动态测量范围，一方面，它必须足够地灵敏甚至可以检测到弱信号；另一方面，它必须能够处理来自附近发射机的非常强的信号。当确定测量系统中适当的射频衰减或放大，以及选择测量位置的时候，必须要注意避免接收机在测量期间过载，过载常常会导致噪声电平的大幅上升。取决于门限设置，过载可能会引起即使不是整个频段也会是多个频道的虚假发射。

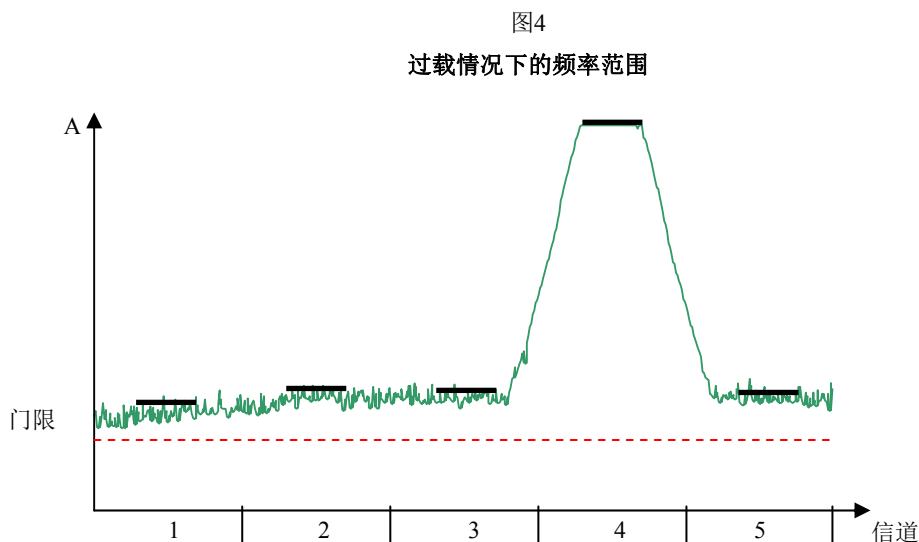


图4所示的是与图2相同的占用情况，只是信道4中的高电平发射使测量设备过载了，其结果是所有五个信道均显示为被占用。这个问题甚至不能通过提高门限来得到彻底地解决，原因是信道2中实际的占用随后将会消失。

### 3.4 门限

影响占用率结果的因素之一是门限，它应该足够地低以便能够检测到在该位置上的商业接收机将使用的所有信号，但门限设置太低，将会产生实际上不存在的虚假发射。

设置门限主要有两种不同的方法：

- 预置：在整个监测持续时间保持不变的一个固定值。
- 动态的：与当前情况相适应的一个数值。

#### 3.4.1 预置门限

当结果应准确地反映、由具有特定接收机灵敏度和带宽的用户接收机所预测的监测位置上的情况时，可能会采用一个固定的、预置的门限，还必须知道系统必需的信噪比和最小的需要的场强。

于是，门限可以设置为：

- 最小的需要的场强。
- 接收机灵敏度加上适合于特殊无线电业务的最小 $S/N$ 。

必须要注意测量带宽与用户设备的带宽相匹配，如果测量带宽（RBW）比被监测发射的占用带宽（OBW）小得多，则门限必须下降 $10 \times \log(OBW/RBW)$ 。

### 3.4.2 动态门限

如果测量的目的是为了检测到尽可能多的发射，而不管它们的电平，则建议采用与当前噪声电平相适应的动态门限，关键部分是当前噪声电平的可靠检测，大体上有几种方法：

#### 直接测量未使用频率上的噪声电平

这个方法依赖于在被监测的实际信道的附近可以得到一个不存在有用的和无用的发射的信道（或频率），噪声测量必须采用于与实际的占用率测量相同的设置（测量时间和带宽），这个方法最简单的实现是只测量一次噪声电平，并将其结果应用于整个占用率测量，这适合于以下情况：

- 要测量的所有信道（或者整个频段，分别地）均相对接近于用于噪声测量的信道的频率。
- 人为噪声电平在监测时间期间不会明显地变化，或者它会低于测量系统的噪声电平。在30 MHz以下的波段，该方法通常不可取，因为由于传播条件的变化，噪声电平会随着时间而改变。

如果不能假定噪声电平随时间保持不变，则建议在要测量的频率列表中包含一个未使用的信道（或频率），这可以确保每段重访时间噪声电平测量正好在实际占用描述开始之前。

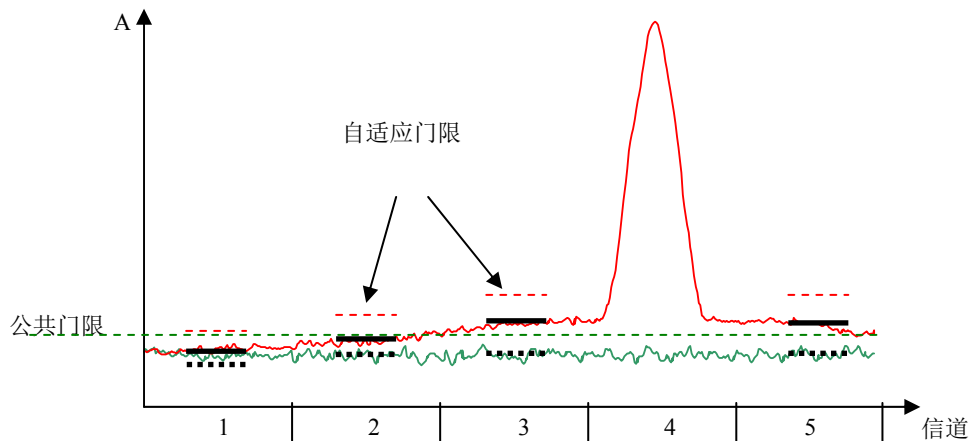
占用率测量的最后门限必须高于测得的噪声电平至少3到5 dB的余量，否则，噪声电平的短时峰值将产生虚假占用。

#### 直接测量空闲时隙的噪声电平

在TDMA系统或者模拟系统中，此时信道不是被连续地占用，可以在信道未被占用期间直接测量噪声电平，这种方法比上面描述的方法更为可取，原因是噪声测量是在用于占用率监测的实际信道上进行的。特别地，在对多个信道或者整个频段进行占用率测量的情况下，该方法的优点是能够考虑到与频率相关的和与时间相关的噪声电平。例如，由于发射机的相位噪声，一个信道中强的发射可能会引起相邻信道中噪声电平的上升。



图 5  
噪声电平和自适应门限



在图5中，由于信道4中的信号（细的红线），引起信道2、3和5中噪声电平上升。如果未使用的信道1用于测量公共的噪声电平（粗的黑虚线），最后得到的公共门限（细的绿虚线）将会很低，以至于当像例子中的一个信号出现在信道4中时，信道3和5也会显示为被占用。如果独立测量每一个信道的噪声电平（粗的黑线），则最后得到的自适应门限（细的红虚线）将会防止这些虚假的占用。整个测量的灵敏度没有下降，因为当信道4中的信号消失时（细的绿线），信道2、3和5的门限将再次下降至公共门限。

如同未使用频率上的噪声电平测量一样，关键设置（时间、带宽）必须要等于用于实际占用率测量的设置，门限必须至少比测得的噪声电平高出3到5 dB，出于与上述提到的相同的理由，如果每段重访时间噪声测量正好在实际占用率测量之前，该方法会更为准确。

### 计算得到的门限

当既不知道适合的未使用的频率、也不知道信道未被使用的时间时，还能够由一次扫描测得的电平计算门限。然而，这种方法只对频段占用率测量或者具有相同带宽的多信道占用率测量有效。

ITU-R SM.1753建议书中描述的所谓“80%方法”可以用于计算噪声电平，如下所述：将代表最高电平的全部样本中的80%丢弃，对剩余的代表较低电平的20%样本取线性平均，其结果就是噪声电平。与其它的方法一样，最后的门限必须至少比计算得到的噪声电平高出3到5 dB。

应用这种方法的最简单的方式是将所有信道（或频率）在整个监测时间期间的全部测量样本用于门限的计算，这将得到一个固定的数值作为门限。此外，只有当噪声电平不会随时间改变时才能采用这种方法。

只有当将来自一次扫描（或者分别经过所有信道的一轮）的样本用于该80%方法，并且重复计算噪声电平正好在每一次扫描之前时，才能获得一个与瞬时噪声电平更好适应的门限。

该计算方法的优点是它不需要未使用的信道或者空闲时间（或者关于它的知识），然而，它的缺点是当更多的信道被高电平占用率时，计算得到的噪声电平会上升，此时，测量灵敏度会丧失。

图6  
门限和占用率的相关性

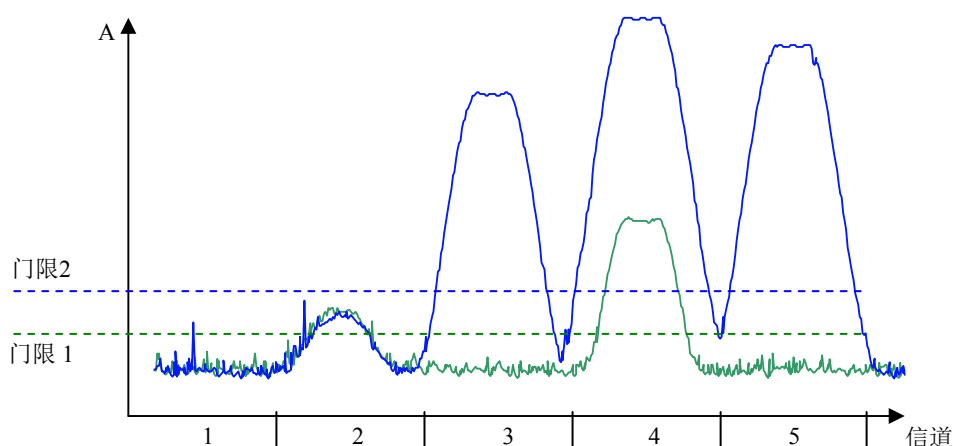


图6所示的是对五个信道进行测量、当它们中只有两个被占用（绿色的、较低的谱线）时和具有高电平的四个信道被占用（蓝色的、较高的谱线）时的例子，当只有少数具有低电平的信道被占用时，由最低的20%样本计算得到的门限较低。在高占用率和高电平期间计算得到的门限2，不能检测信道2的占用率，这意味着在此期间丧失了灵敏度。

### 3.5 测量时间安排

特别地，现代数字系统常常以短传输长度和相对长的静止时间（低占空比）的方式运行，对于一个标准的占用率测量装置，它通常不能捕获发射的每一个单脉冲，但这是没有必要的，因为不管怎样都会在统计的基础上评估结果。假如在一个信道/频率上获取了大量的样本，则低占空比的间断发射会以相当的准确度显示在结果中。除非需要研究TDMA系统帧结构内部的占用，将一个特殊的频率标记为始终占用就足够了，此时至少有一个站点正在发射，不管它使用了无线电帧中的多少个时隙。

考虑到测量系统在用于测量的扫描速度、时间设置方面的性能通常是某一信道上测量时间和重访时间之间的折衷，以下考虑事项可以作为确定时间设置时的准则：

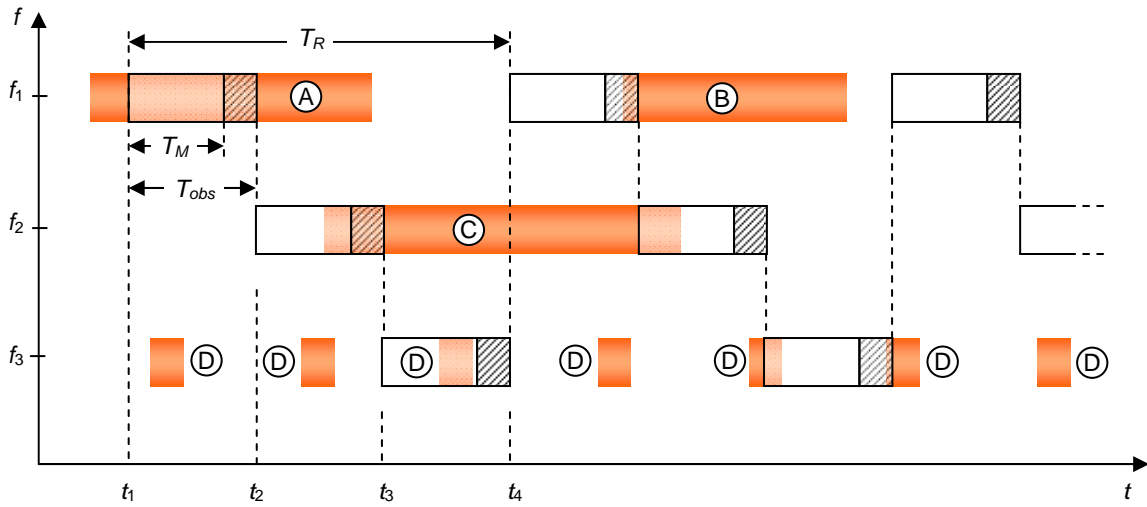
- 重访时间应尽可能地短，在任何情况下，重访时间都必须短于平均传输时间。
- 样本测量时间应尽可能地短，在任何情况下，样本测量时间都应短于TDMA系统所使用频段内的一个无线电帧。

当使用FFT设备时，样本测量时间等于捕获时间。如果不能达到对重访时间的最低要求，则必须缩短样本测量的时间，或者必须减少信道数（或FBO中频段的宽度）。

附件1提供了关于这些参数相关性的更加详细的信息。

下图说明的是与占用率测量结果有关的各种时间以及它们的相关性。

图7  
时间安排相关性



$T_R$  = 重访时间  
 $T_M$  = 测量时间  
 $T_{obs}$  = 观测时间 ( $T_M$  + 开销)

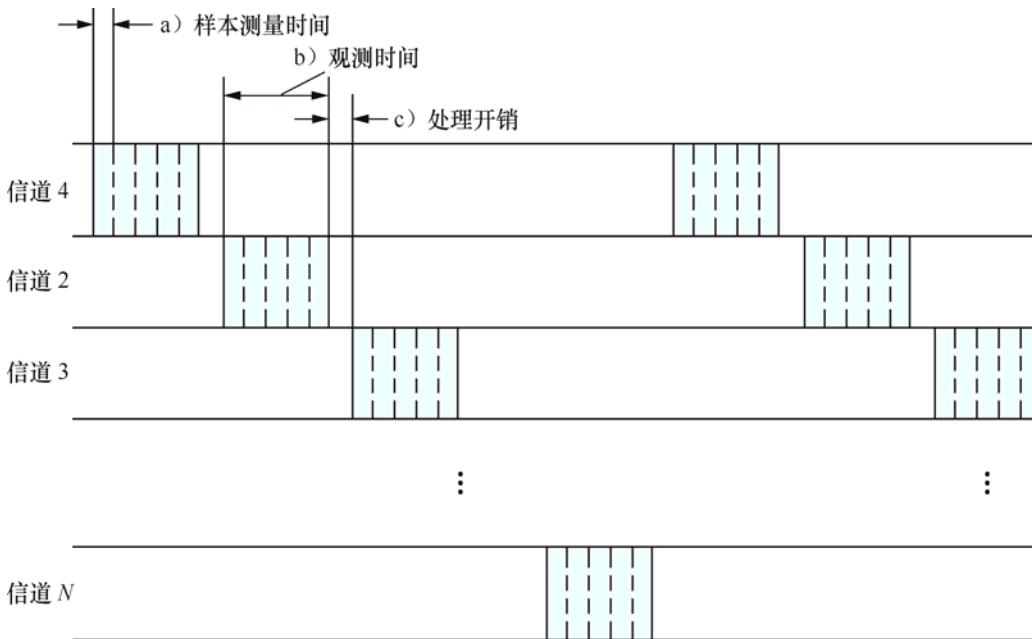
假设 $f_1$ 上的传输A从 $t_1$ 持续到 $t_4$ ，这段时间为重访时间，尽管它实际上要更短一些。 $f_1$ 上的传输B根本不会被检测到，因为它在所有测量窗口 $T_M$ 的外边。因此，重访时间必须要更短以便增加频率 $f_1$ 上的短时传输被检测到的概率。

$f_2$ 上的传输C在两次测量中均会被检测到，因为如果采用峰值检波器，最终的电平与整个或部分测量时间 $T_M$ 期间是否存在传输无关。

$f_3$ 上的传输D是具有一定占空比的TDMA系统，由于测量的重访时间和TDMA系统的帧持续时间通常不同步，若重访时间长于帧长，则有些脉冲很可能不会被检测到，在这种情况下，当在 $f_3$ 上获取大量的样本时，检测到一个脉冲的可能性将等于占空比，也将代表信道占用率。

为了提高发现来自脉冲数字系统例如WLAN的短时发射的可能性，从而增强结果的置信度，在转移到下一个信道之前，可以在一个信道上获取多个测量样本，这样会减少处理开销期间“盲”时的出现，处理开销包含调谐至另一个信道的时间，这个原理如图8所示：

图 8  
针对短持续时间信号的时间安排优化



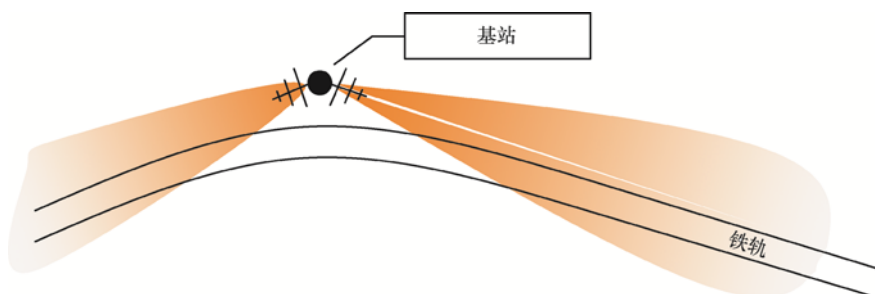
### 3.6 测量天线的方向性

大多数情况下，来自占用率测量的数据应该对于监测位置或者该位置周围的规定区域是有效的。对于监测位置周围的圆形区域，为了达到结果的有效性，必须使用无方向性测量天线，这将是大多数情况下的标准配置。

然而，下列情况下必须使用定向天线：

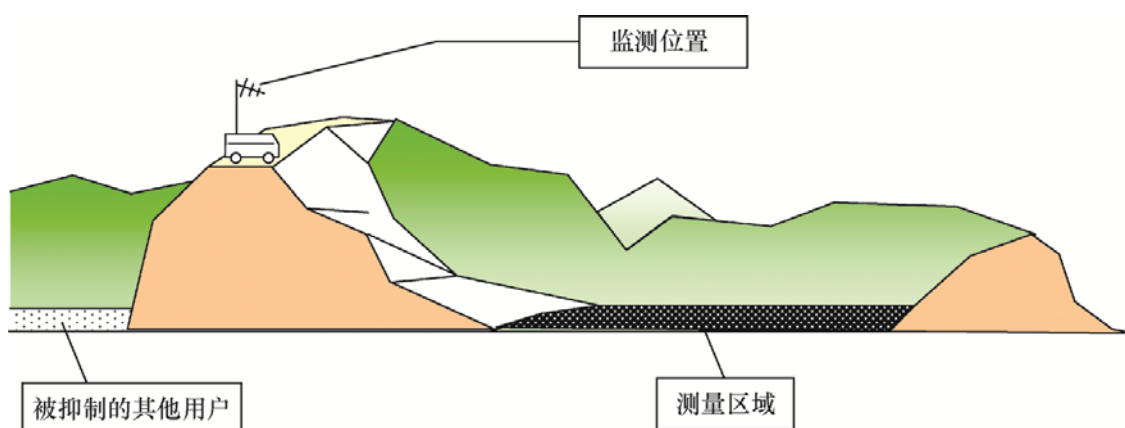
- 测量结果应显示对于某一特定位置以及也使用定向天线的业务的占用率，例如：要测量铁路公司通信网络的占用率，用户基站沿着铁轨部署，双向天线用于将无线电波束集中在轨道上（见图9）。在这种情况下，测量天线可能具有与基站天线的方向性，当测量采用点对点无线链路的频段内的占用率时，存在相同的情况。

图 9  
铁路通信网络配置举例



- 测量结果应对于监测位置四周非均匀分布的区域有效，因而监测地点位于测量区域的边界上或者甚至外边，例如：测量山谷中区域的占用率，此时，最佳的监测地点是在俯瞰该山谷的小山上（见图10），在这种情况下，定向监测天线能确保获取来自测量区域的大部分信号，其结果在很大程度上不会适用于测量区域之外（例如，位于监测地点背后的下一个山谷）的用户。

图10  
在测量区域之外的监测地点



为了进一步提高只对来自测量区域的有效发射加以考虑的概率，可以应用信号识别的方法例如解码（例如，确定来自RLAN的服务集标识符（SSID））。

#### 4 地点考虑事项

除了上面第3.6段提到的特殊情形之外，最佳的监测位置取决于关于结果有效性的预期：

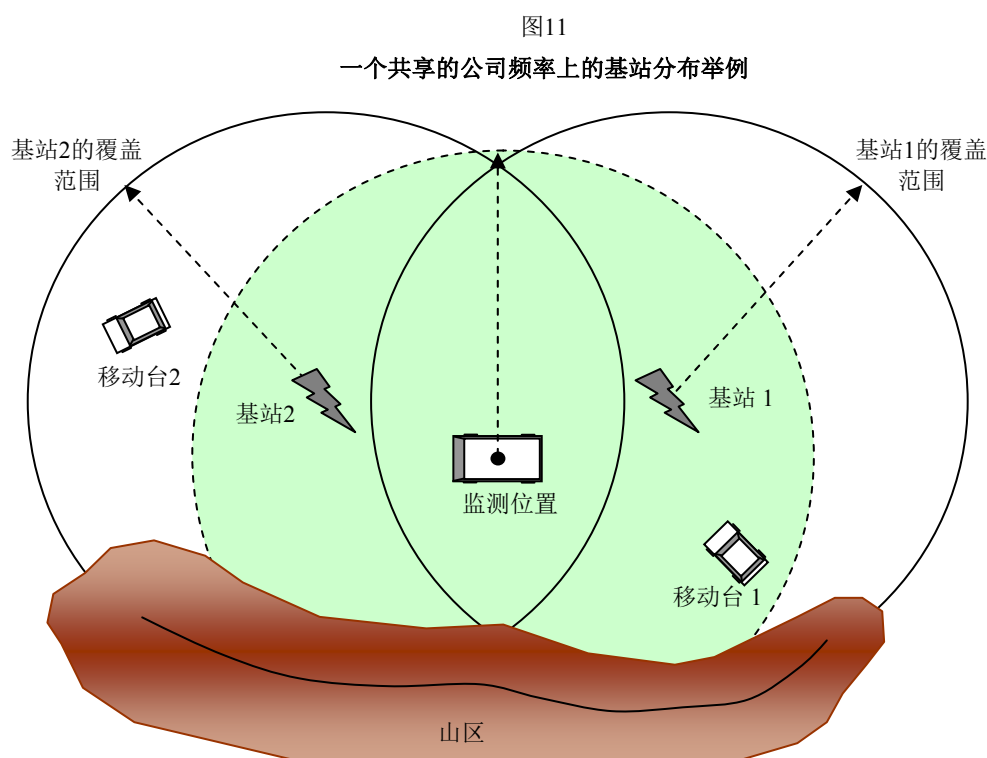
如果测量结果应只反映从一个特殊的固定用户站点看来的占用率，则监测位置应在该站点上或者非常接近于它。如果可能的话，用户天线本身应该用于测量。然而，如果该用户站已经可以运行，并且在监测期间还正在发射，则必须采取特殊的措施防止测量设备过载，举例来说，可以通过配备陷波滤波器（适合于采用单独天线的测量）或者定向耦合器（适合于在用户天线处的直接测量）来防止过载。

如果测量结果应反映一个较大区域的占用率，则最佳的监测地点是该区域（测量区域）的中心，测量区域的大小取决于以下因素：

- 门限的值（门限越低，测量区域越大）。
- 监测天线的高度（天线越高，测量区域越大）。
- 地形的高度剖面（测量区域受到丘陵或者其它障碍物的限制）。

如果测量的目的是为了尽可能多地获取监测区域内的发射，则较高的监测位置更为可取。

如果测量系统的灵敏度不高于该频段内用户设备的灵敏度，位于测量区域边缘的用户所看到的占用率可能不同于计算得到的结果。图11所示的是测量区域内两个基站共享一个公司网络的例子。



在图11中，监测车辆的位置位于测量区域的中心区，涵盖了基站1和基站2的发射，测量区域被山地限制在山地以南，但这并不严重，因为山地也限制了移动网络的覆盖范围。监测设备的灵敏度与基站的灵敏度相同，因而测量区域的大小和基站覆盖区域的大小相同。

移动台1的发射会被检测到，从相关的基站1看来这是正确的，然而从基站2来看，该频率显示为空闲，尽管基站2在测量区域内，根据定义占用率结果应是有效的。

移动台2的发射不会被监测设备检测到，这是正确的，因为移动台2在测量区域之外。然而，从相关的基站2来看，该频率显示为被占用。

如果预期的有效性是整个测量区域，这个例子中的情况就产生了不准确的占用率结果。然而，根据统计基础，该占用率结果仍然是有效的，因为可以假定两种结果的可能性相等。在我们的例子中：遗漏来自移动台2发射的概率可能与包含来自移动台1发射的概率相等。因此，从基站2来看，统计上的占用率与将监测设备部署在基站2位置上时的占用率是一样的。

为了避免上述问题，必须提高监测系统的灵敏度，有时这可以通过选择另外一个更高的监测位置（在我们的例子中，在朝南的小山上）来实现。

## 5 测量程序

根据测量任务（FBO或者FCO）和测量接收机的特性，实际的测量程序和重要设置必须要进行修改。

通常，测量结果应记录在各个信道或者频率上检测到的瞬时电平连同时间，或者，如果不能存储实际的时间，也可以由监测开始的时间和重访时间计算每个样本的实际时间，只要重访时间是一个常数。

对于电平测量，必须要使用峰值检波器，这可以确保连脉冲发射都能被以完整的电平捕获。

如果测量接收机或分析仪不具备存储结果的能力，它必须连接至完成该项功能的计算机。

### 5.1 采用扫描接收机的FCO测量

在测量期间，接收机重复地逐一扫描要测量的所有信道，为了获得最好的性能，有必要在每个信道的实际测量时间和扫描速度之间选择一个最佳的折衷（见关于时间安排的第3.5段）。

### 5.2 采用扫描分析仪的FBO测量

在测量期间，分析仪重复地从起始频率扫描到停止频率。根据第3.1段中的原则，分辨带宽（RBW）由频段内（最窄的）信道宽度决定。重访时间等于扫描时间，在设置为“自动”的情况下，大多数的分析仪能够按照RBW和量程自动地设置成最快的扫描时间。

### 5.3 采用FFT方法的FBO测量

在测量期间，FFT分析仪或者宽带接收机重复地捕获要测量的频段，理论上，可以并行地处理要测量的整个频段。然而，在FFT之后相邻频点的最大间隔必须满足第3.1段中阐明的要求。这个间隔连同FFT的阶数决定了一次能够处理的最大带宽。例如：信道间隔以及由此相邻频点之间的最小间隔为20 kHz（如果频点在信道的中心频率上），如果接收机完成1 k FFT，则一次能够捕获的最大带宽为 $20 \text{ kHz} \times 1024 = 20.48 \text{ MHz}$ 。

重访时间和观测时间等于捕获时间加上完成FFT所需要的时间。

如果设备的最大捕获带宽小于想要的频段（受限于设备的技术要求或者上面提到的计算），则必须将该频段分成相继处理的若干个分波段。在这种情况下，重访时间要高得多。



## 6 占用率的计算

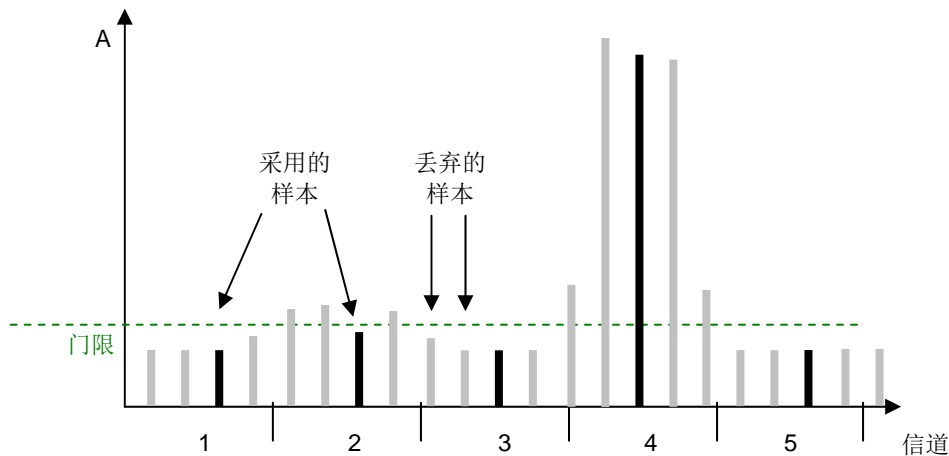
在上面的第2段中已经说明了计算频率FCO、FBO和资源占用率的原则，因此，下面只关注对测量数据进行预处理的一些特殊方法以便获得具有相当准确度的结果。

### 6.1 合并相邻频率上的测量样本

特别地，当进行FBO测量以及计算特定信道的占用率时，通常需要合并相邻信道上的测量结果以便确定信道的占用率数字，当测量的频率分辨率高于信道间隔时，这个过程常常是必不可少的。

最简单的方法是只考虑在最接近于信道中心频率的频率上的那些测量样本，丢弃所有其它的测量样本，图12显示的是这个原则。

图12  
合并测量样本的简单方法

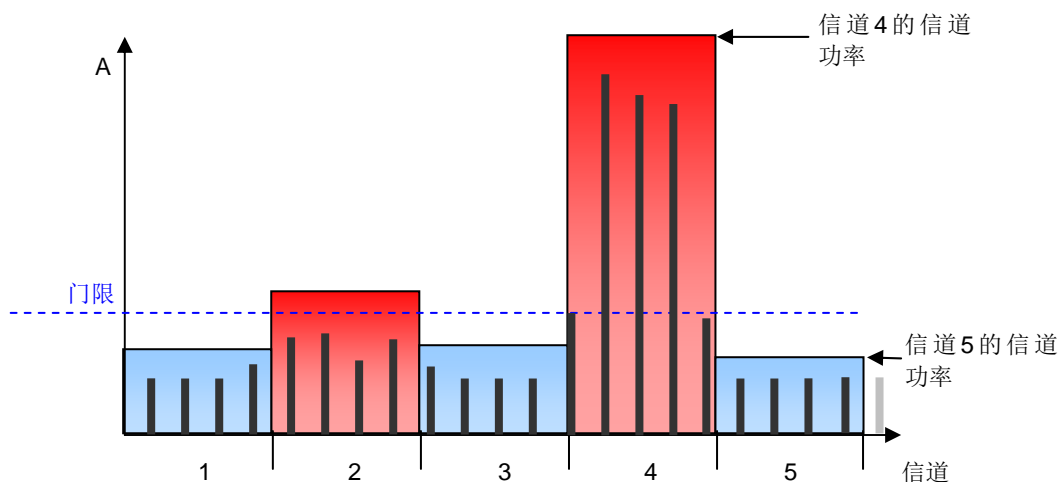


这个方法的缺点是宽带和/或数字调制信号可能不会被检测到，因为它们的频谱象噪声似的，并且频谱密度随着时间而变化，使得在瞬时测量期间所使用带宽内样本的电平可能低于门限。在图12中，信道2中的信号就是这样的一个例子。如果窄带发射的中心频率明显不同于标称的信道中心频率，可能会出现类似的问题。

为了确定信道的占用率，合并测量样本的最好方法是对位于信道边界内的所有样本求积分，并计算信道功率。应用此方法时，必须测量信道的噪声功率，该功率确定门限，不是包含噪声的单一测量样本的功率。

图13显示的是该方法的一个例子，采用和图12一样的测量样本。

图13  
通过信道功率计算的测量样本合并



在图13中，信道2显示为被占用，因为该信道内所有测量样本的总功率高于由只包含噪声的信道（信道1、3和5）的总功率计算得到的门限。

## 6.2 具有不同信道宽度的频段内发射的分类

具有不同带宽的无线电应用有时会共享同一个的频段，一个例子是UHF广播波段（在欧洲：470-790 MHz），在该波段，带宽为6 – 8 MHz的电视信号与窄带对讲系统以及最大带宽在25 kHz范围内的无线话筒一起工作。

当在这样的频段开展占用率测量时，常常希望区分电视的占用和其它系统的占用，在这种情况下，评估必须分步实施：

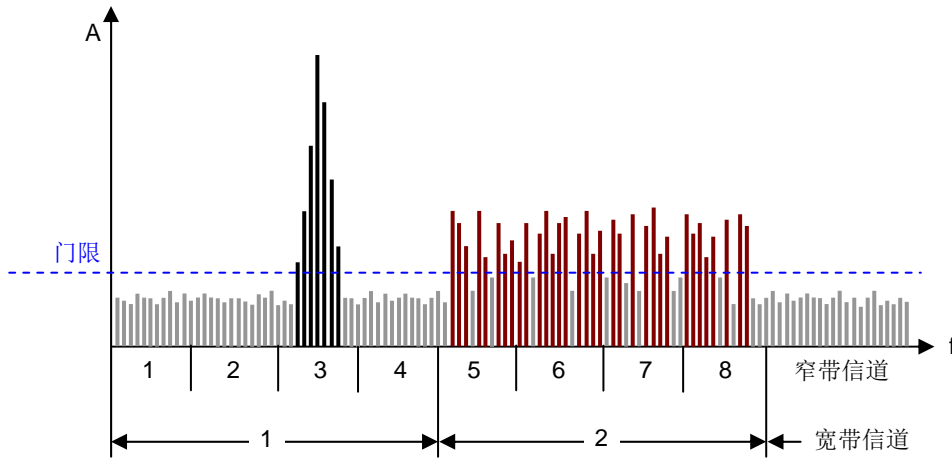
首先，确定该频段内最宽系统的占用率，然后，只使用所观测频段的剩余部分，确定下一个较窄系统的占用率等等。

为了检测一个宽带系统的占用率，必须按照如下步骤对测量样本进行评估：

1. 将频段分成宽带系统的信道。
2. 将测量样本按频率进行分类，并指配给相应的信道。
3. 对照门限，逐个检查属于某一个信道的测量样本。
4. 如果一个信道中有50%以上的样本超过了门限，则将该信道标记为被宽带系统占用。
5. 将属于已确定为被宽带系统占用的信道的所有样本排除在随后的评估之外。
6. 将频段的剩余部分分成下一个最窄系统的信道。
7. 对剩余的样本重复步骤2)到6)以确定被下一个最窄系统占用的信道。

重复这个过程直至频段内的最窄系统已经得到处理，图14显示的是2个宽带信道或者8个信道用于窄带系统的例子，该系统的宽度为宽带信道宽度的 $\frac{1}{4}$ 。

图14  
评估具有不同信道宽度的频段内的测量样本



在图14中，窄带信道3中的发射将不会显示在为宽带信道进行的第一次评估之中，因为宽带信道1所包含的48个样本，只有7个在门限以上（15%）。然而宽带信道2中的信号将会被检测到，因为48个样本中有34个样本超出了门限（71%）。在为窄带信道进行的第二次评估中，来自宽带信道2的所有样本均被排除在外，因此不会再次显示为四个窄带发射。然而窄带信道3中的信号将会被检测到，因为这个信道内的12个样本中有7个超出了门限（58%）。

对于这种评估，FBO的频率分辨率必要至少比该频段内第二窄信道的宽度高出四倍，如果采用FFT技术，则至少有4个频点必须落入第二窄信道的宽度内。

例如：要测量的频段使用的信道宽度为25 kHz、50 kHz和8 MHz，测量的频率分辨率必须超过 $50/4 = 12.5$  kHz，这可确保我们在各个50 kHz信道内至少有三个样本，从而使得50%方法可用于将这些信号和间隔为25 kHz的最窄信号区分开。

## 7 结果的表示

有很多种表示占用率测量结果的方式，最佳的方式取决于应该以测量结果作答的确切问题，以及一些测量参数，例如信道数、监测的带宽和持续时间。

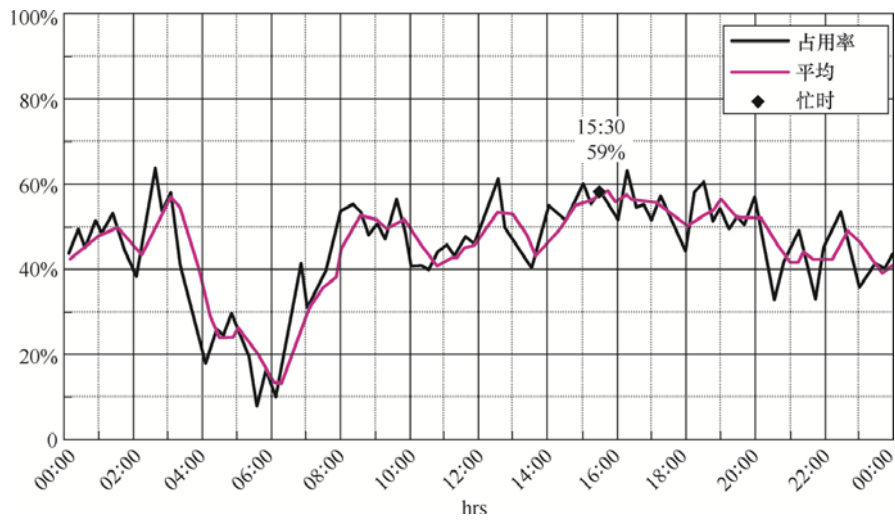
下节给出了结果表示的一些例子，不一定是所有可能方法的一个完整清单。

### 7.1 单信道上的业务量

表示FCO测量结果的最简单的方式是画一条频率或信道的相对占用率对比时间的曲线，出于这一目的，要对样本在某一个积分时间例如15分钟或1小时上求平均，较短的积分时间能提高时间分辨率，可以对占用率的短期变化进行更加详细的分析，然而，如果积分时间少于平均的传输时间，则由于占用率数值常常会为0%或100%，其结果会变得难以理解，广泛采用的积分时间是15分钟。

图15所示的是一个频道上业务量曲线的例子。

图15  
一个频道上的业务量图



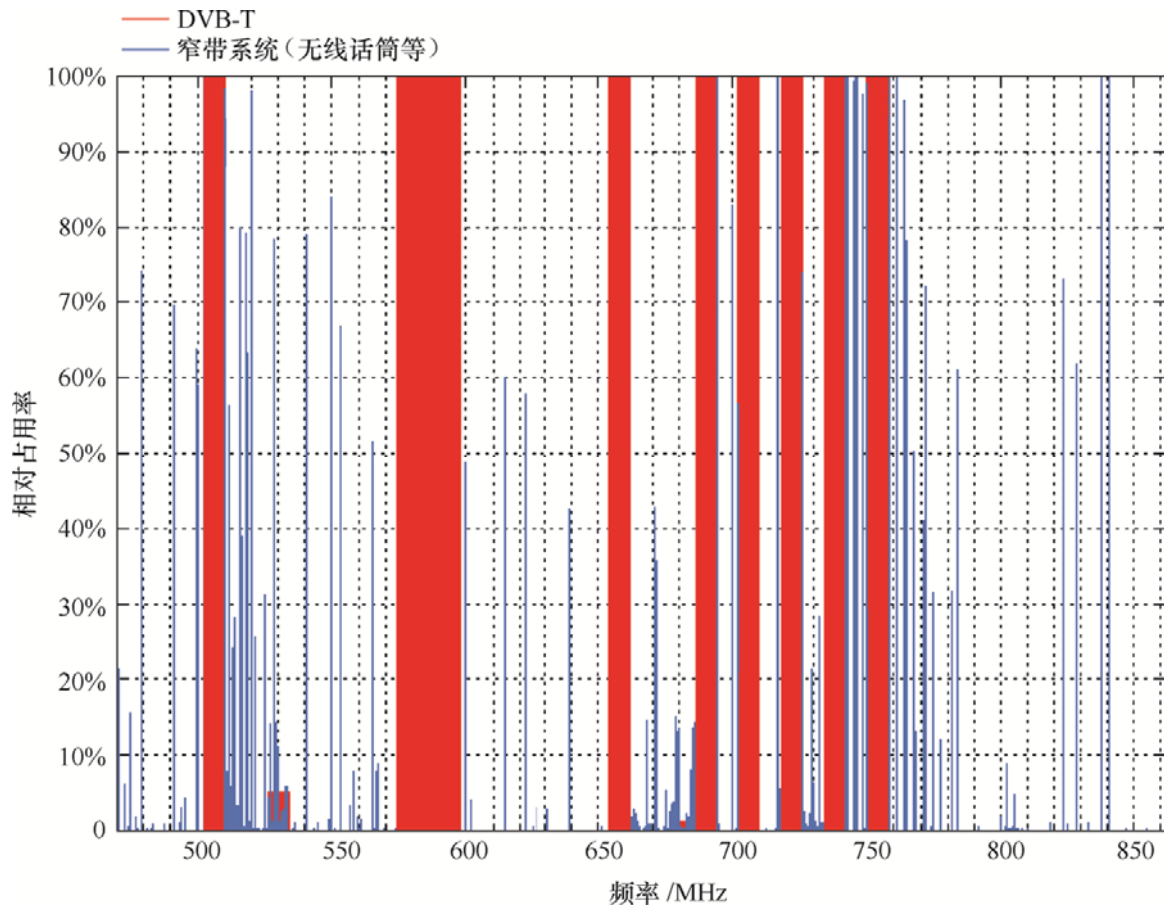
标记为“占用率”的蓝线使用的是15分钟的积分区间，标记为“平均”的品红线是最近一小时的连续平均。

## 7.2 多信道上的占用率

当没有必要表示有关全天业务负载的信息时，多个信道上FCO的结果也能够用一张图显示，X轴表示频率或信道，y轴表示在整个监测期间取平均的占用率。

图16所示的是由不同带宽和信道间隔的业务共享一个频段的例子。

图 16  
具有不同宽度的多个信道的占用率举例

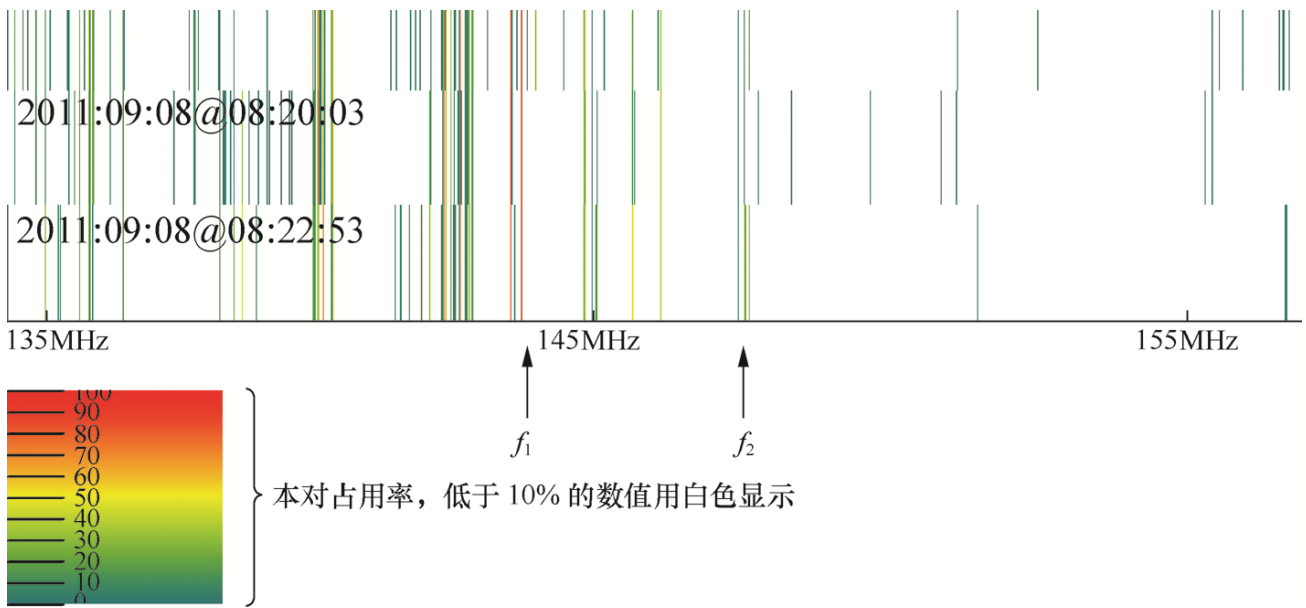


在图16中，粗红条是8 MHz宽DVB-T信号的占用率，细蓝条表示窄带无线话筒和对讲链路的占用率。

然而，这种表示不能提供关于各个信道的占用率在整个监测期间是如何分布的信息，为了获得该信息，可能要提供占用率柱状图，x轴显示频率、y轴显示时间，占用率数值用不同的颜色表示。

图17显示的是这种占用率柱状图的一个例子（放大的部分）。

图17  
占用率柱状图



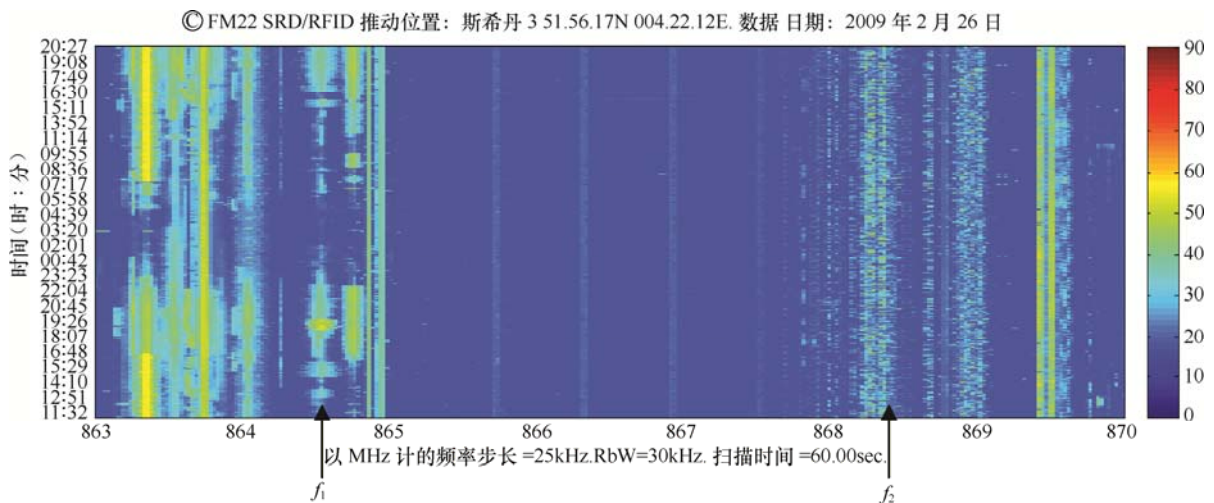
为了更好的可读性，在显示最大占用率数值期间，对图17中的结果在大约为3分钟的时间间隔上求积分，例如，频率 $f_1$ 在全部三个显示的时间间隔上被连续地占用（红线= 100%占用率），虽然频率 $f_2$ 也在全部三个时间间隔内都出现了，但被占用少于10%（深绿线）。

### 7.3 频段占用率

表示整个频段占用率结果的一个常用方法是光谱图，用x轴表示频率、y轴表示时间，发射电平用所谓“温标”中常用的颜色表示，其中，蓝色表示最低的电平、红色表示最高的电平。

图18显示的是868 MHz ISM波段内测量结果的这种表示的一个例子。

图18  
频段占用率表示

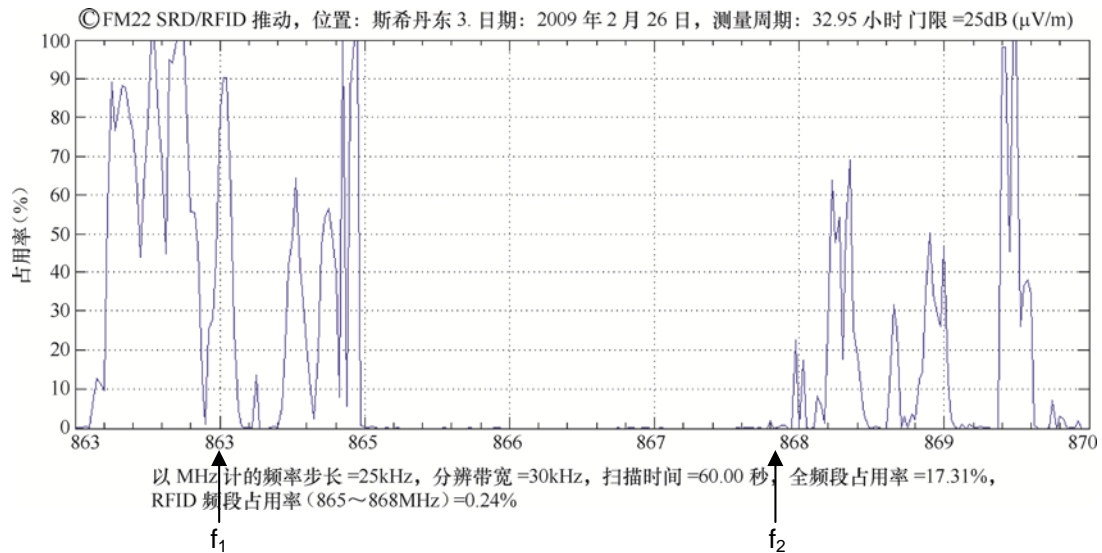




这种表示方法的优点是它能即刻提供一个完全的、关于频段占用率的印象，尽管是一个主观的印象，其缺点是没有量化各个频率的占用率，这样就没有可以与其它结果进行直接比较的客观数值。然而，这可以由显示各个频率被占用的相对时间的附图提供。对于与图18相同的测量，图19显示的就是这个附图。

图19

## 客观的频段占用率



为了获得完整的信息，两种表示都是必需的。例如，从图18，可以看出频率868.35 MHz ( $f_2$ )被占用了大约70%的时间，然而，我们不能看出占用率在这一天之中是如何分布的，对于10小时监测中的7个小时，它可能是一个持续的发射。只有当我们看图17时，发射机在整个监测期间均存在才变得清楚，但它是一个平均占空比为70%的TDMA系统，而不是一个在10小时中持续7小时的发射，864.5 MHz ( $f_1$ )的占用率数值几乎相同（65%），但它在一天之中的分布与我们从图18中看到的完全不同。

在图19的下边，17.31%的全频段占用率（FBO）是整个监测期间在所有频率上收集到的、其电平高于门限的全部测量样本的完全积分，换言之，这就是图18中非蓝色的区域，该数值不应与频率资源占用率（SRO）弄混淆，后者明显要更高一些。当只提供类似于图17的光谱图时，最终的FBO也应用一个数字给出，以便提供一种量化结果的方法，并将其与其它的结果进行比较。

例如：在865.4到867.6 MHz（RFID信道）的频率范围内只有四个可用的信道，在图18中，我们可以看出所有四个信道均被连续地占用，但具有低于门限的电平，这就是为什么这些发射不会对图18中的占用率起作用的原因，如果它们的电平已经超出了门限，它们将会在图18中显示为四条窄线，在图19中显示为四个100%的明显尖峰，这个频率范围的FBO值仍然会很低，因为图18中的大部分区域仍然是蓝色，然而，这个频率范围的SRO将达到100%，因为所有可用的资源（4个信道）均被连续地占用。

图18中的信息与图16有些类似，图16显示的也是频段测量的结果。然而，这两个图具有不同的频率分辨率：图16将每个频道（即使频道的宽度不同）显示为一根竖条，而图19中的水平分辨率是用于测量的频率分辨率（与信道的宽度无关），因此，频段占用率（FBO）不能从图16直接获得。



## 7.4 频谱资源占用率

利用频谱资源占用率测量的例子是，采用如图20所示的固定和移动监测设备对分配给FM广播链路的两个不同频段进行长期测量。

图 20

采用固定（左边）和移动（右边）监测系统测量频谱占用率

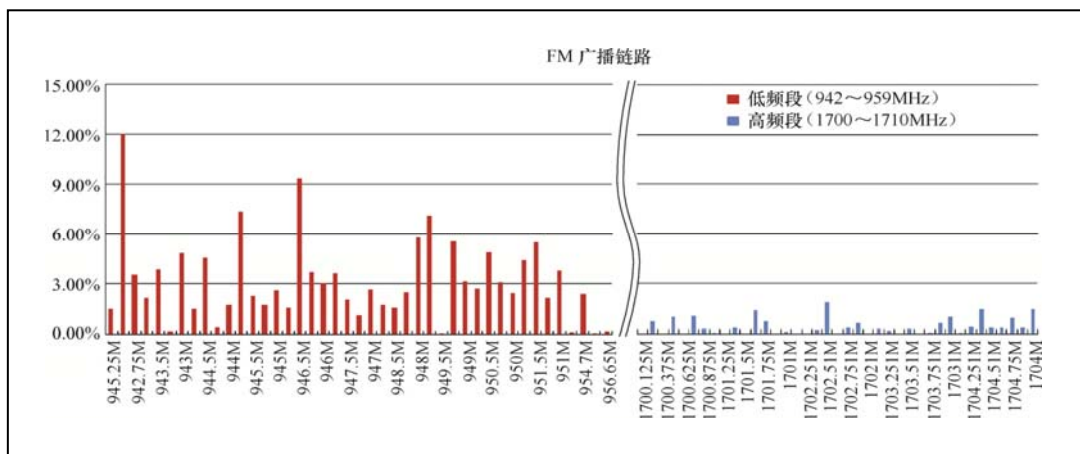


FM广播链路用于将节目内容从遥远的生产地传送到最近的演播室，在演播室之间传送，或者从演播室传送到发射机地点。

由于可以预料频谱使用会很低，其结果应能证明将900 MHz频率范围再分配给其它通信业务是正确的。图21显示的是分别在两个频段内各个可用信道的占用率结果。

图 21

(942~959 MHz, 1700~1710 MHz)FM广播链路业务的测量结果



计算得到的较低频段的SRO为3.85%，较高频段的SRO小于1%，这个结果产生了把所有的FM广播链路业务合并于较高频段的决定，从而使较低的频段能够用于正在快速增长的移动通信业务。

## 7.5 结果的可用性

在频率规划部门或者许可和执行部门，所有那些正在使用占用率结果工作的人都应该能够获得测量的结果，建议在组织的内联网乃至互联网的网站上公布它们。

在组织正在使用计算机化的频谱管理和/或许可程序的情况下，在相关数据库的监测部分应能获得测量结果，最好是通过自动化的数据接口。

相邻的管理部门可能会对交换占用率数据感兴趣，尤其是涉及国家边界附近地区的占用率数据，从而有助于频率指配。在这种情况下，采用一个唯一的和无歧义的格式很重要，这使得能够正确地判读协作各方互相传递的数据，例如，当交换占用率数据的时候，出于这一目的，ITU-R SM.1809建议书《监测站频段注册和测量的标准数据交换格式》建议采用逗号分隔的ASCII（逗号分隔值-CSV）文件格式，大多数公共数据库和电子表格程序均能读取这种格式。

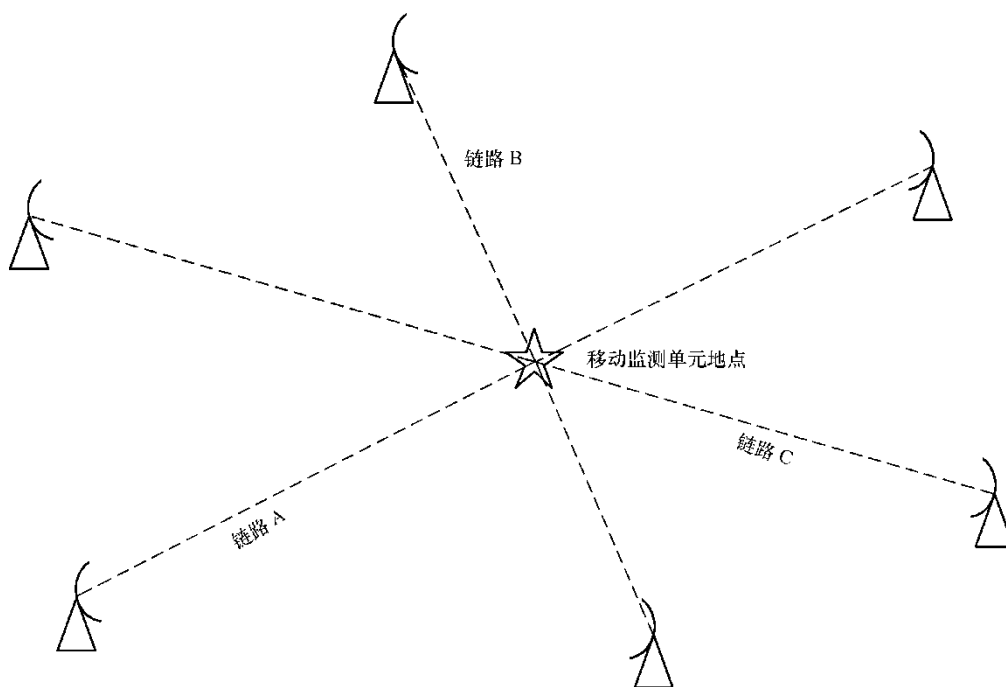
## 8 特殊的占用率测量

### 8.1 分配给固定业务点对点系统的频段内的频道占用率

有些固定业务的陆地点对点系统（例如，固定WiMAX、无线电中继通信、用于蜂窝无线电系统的基站互联等）采用定向链路，在这种情况下，采用全向天线检测一个地点上的发射得到的只是这个地点上一定数值的信道占用率（见图22），并不意味着这个信道不能用于其它的链路，即使信号电平超出了门限电平。多个固定链路能够在不产生相互之间有害干扰的情况下使用相同的信道。

图22

监测在分配给固定业务点对点系统的频段内的频道占用率



然而，在监测单元地点使用全向天线进行频道占用率测量的结果显示该频道为被占用，即使只存在来自单一链路的发射（例如，链路A）。

在这种情况下，标准的占用率测量装置通常不能提供想要的信息，根据占用率测量的目的，可能要区分以下情况：

- 如果测量是为了寻找适合于某一个提议的新固定链路的可用频率，则应采用定向天线进行测量，监测单元必须放置在所提议的新链路的两端。
- 如果测量是为了提供频段利用的概况，与准确的位置无关，则可以在图22所示的位置上使用全向天线进行测量，在该位置上能够接收到最多的链路。

## 8.2 分离在共享频率资源内不同用户的占用率

如果记录下了场强，则能够从测量结果中提取附加的信息。

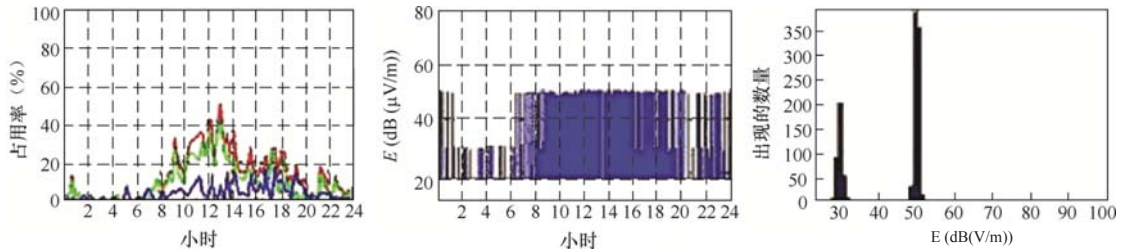
图23中的左图是采用15分钟的分辨率显示占用率的一种最常用的方式，通常只有一条曲线。左图中的红色曲线代表由该信道上所有用户引起的总的占用率，绿色曲线是由接收到的电平约为49 dB( $\mu\text{V}/\text{m}$ )的站点产生的占用率（见右边的图），蓝色曲线是由其余所有用户产生的占用率，在这种情况下，是接收到的电平约为29 dB( $\mu\text{V}/\text{m}$ )的第二个用户。

中间的图代表随着时间接收到的电平，只对在校门限电平（此处为：20 dB( $\mu\text{V}/\text{m}$ ))之上的接收电平进行评估。

右图显示接收到的场强电平的统计分布，这个例子中，在24小时的时间内，49 dB( $\mu\text{V}/\text{m}$ )已被测量了大约380次，50 dB( $\mu\text{V}/\text{m}$ )被测量了大约350次，等等。

图23

占用率数据的增强处理



SM 1880-03

### 8.3 2.4 GHz ISM波段内WLAN（无线局域网）的频谱占用率测量

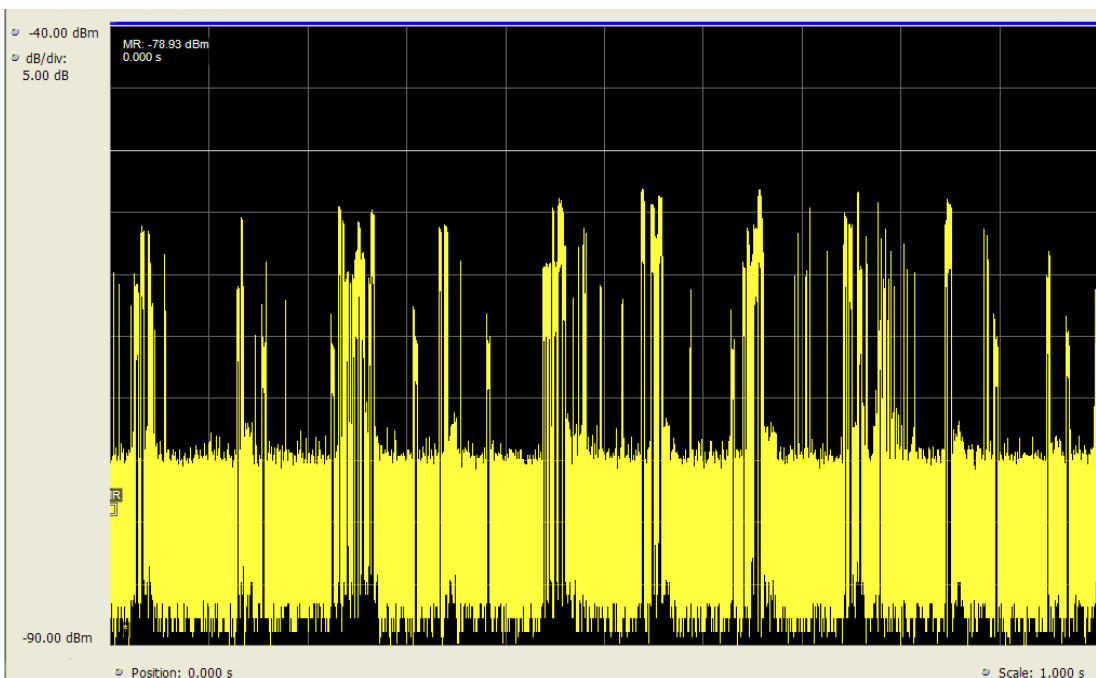
2.4 GHz ISM（工业、科学和医学）波段主要用于无线局域网（IEEE 802.11b/g/n）、蓝牙、Zigbee和DECT（在北美洲），不需要单独的许可。随着近年来无线互联网应用的迅速增长，在相同的2.4 GHz ISM信道常常会有许多个WLAN AP（接入点）和移动台。

因为信道间隔为5 MHz、通常的占用带宽会达到20 MHz，所以会存在信道重叠。在不产生潜在干扰的情况下，相邻的信道无法在相同的位置上使用。

图24所示的是WLAN信道1随着时间的功率。

图 24

WLAN信道1（频率=2.412 GHz，带宽=5 MHz）功率对比时间图



出于某些目的，获得占用率数字只对某一频率上的特定用户有用，例如，为了识别干扰源或者建议信道改变以便最有效地使用可用的频段，在2.4 GHz WLAN波段，这能够通过使用标准的用户设备作为接收机和公开可获得的扫描软件来实现，图25显示的是这样一个装置输出的例子，其中，信道11被4个不同的接入点占用。

图25  
接入点列表举例

MAC Address	SSID	RSSI	Channel	Security	Max Rate	Network Type
00:0B:86:C4:	Se	-70	11	Open	54	Infrastructure
00:0B:86:C4:	se	-66	11	WEP	54	Infrastructure
00:0B:86:C4:	Se	-70	11	Open	54	Infrastructure
00:0B:86:C4:	se	-70	11	WEP	54	Infrastructure
00:1D:93:23:	ol	-74	9	Open	72	Infrastructure
00:1D:93:23:	ol	-75	9	WPA2-Enterprise	72	Infrastructure
00:1B:53:11:	Se	-76	11	Open	54	Infrastructure
00:1D:93:00:	ol	-76	9	Open	72	Infrastructure
00:1B:53:11:	[Unknown]	-72	7	Open	54	Infrastructure
00:1A:1E:F7:	se	-77	6	WEP	54	Infrastructure
00:1A:1E:F7:	Se	-77	6	Open	54	Infrastructure
00:07:89:0E:	ol	-77	13	WPA2-Enterprise	116	Infrastructure
00:1B:53:11:	[Unknown]	-76	10	Open	54	Infrastructure
00:25:62:F9:	KW	-78	7	WPA-Personal	54	Infrastructure
00:26:66:2D:	DA	-78	9	WPA2-Personal	300	Infrastructure
00:0B:86:C1:	Se	-79	6	Open	54	Infrastructure
00:1A:1E:F7:	Se	-74	1	Open	54	Infrastructure
00:17:B2:01:	T	-81	13	Open	72	Infrastructure
00:26:66:89:	??	-81	9	WPA2-Personal	150	Infrastructure
00:1A:1E:F7:	se	-78	1	WEP	54	Infrastructure
00:17:B2:01:	T	-81	13	WPA2-Enterprise	72	Infrastructure
00:17:B2:01:	T	-81	1	Open	72	Infrastructure
00:17:B2:01:	T	-81	1	WPA2-Enterprise	72	Infrastructure
00:24:6C:26:	TE	-81	6	WPA2-Enterprise	130	Infrastructure

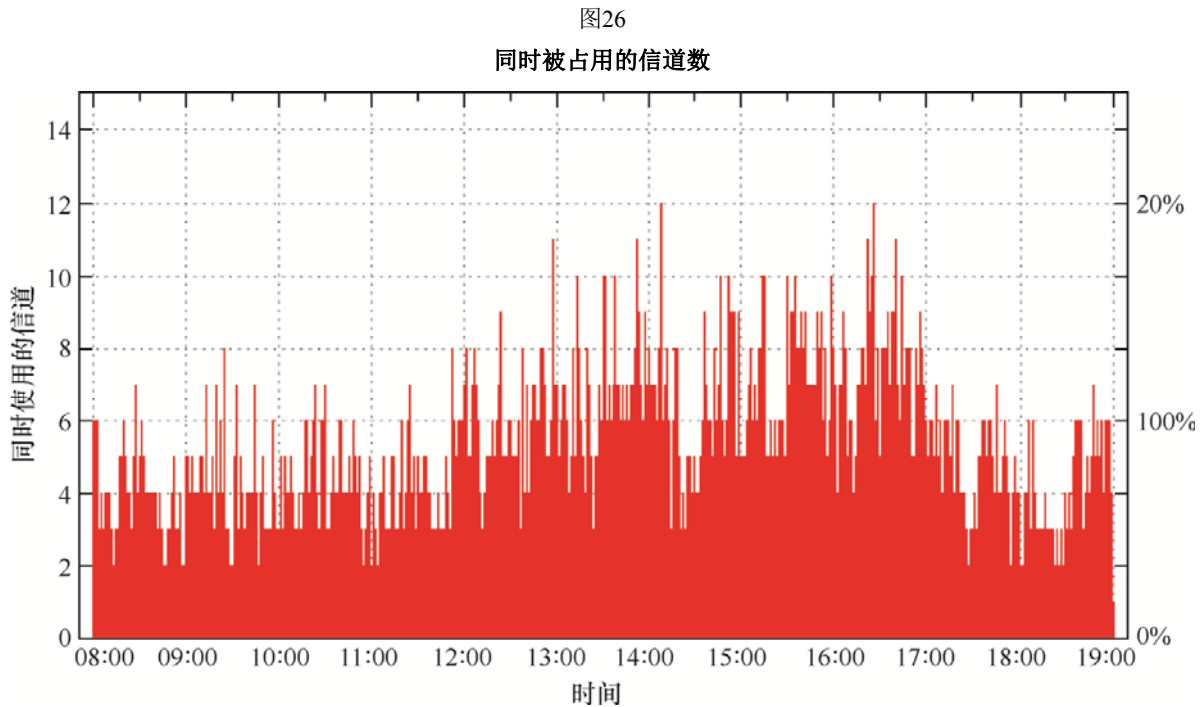
识别各个传输的MAC地址的第二个可能原因是该方法还能够将WLAN发射从相同频段内其它的ISM发射中分离出来（例如：蓝牙、Zigbee、DECT）。

#### 8.4 确定从模拟转换为数字集群系统所需要的信道

目前，许多从前的模拟系统被转换为数字系统。如果一个模拟的移动网络经历这种转换，数字集群网络可能是一个解决办法。然而，鉴于模拟网络的每个通信信道都需要一个单独的频率，集群网络能够根据当前的业务量动态地组织频率资源，因此能以少得多的频道运行，峰值时间期间模拟网络的占用率测量能够决定在集群网络中为了以相同的服务质量处理业务将需要多少个信道。

例如，在预计为峰值业务量的主要事件期间进行模拟公安网络的占用率测量，该网络将要被转换为TETRA网络，在不显著降低服务质量的情况下需要多少个TETRA信道的问题就出现了。

当前的模拟公安网络使用60个信道，这些信道以20 kHz的信道间隔覆盖了一个频率范围，用于占用率测量的装置能够以1s的重访时间测量所有的信道，在每一轮对所有信道的测量中，计算它们中有多少个信道被同时占用，其结果如图26所示。



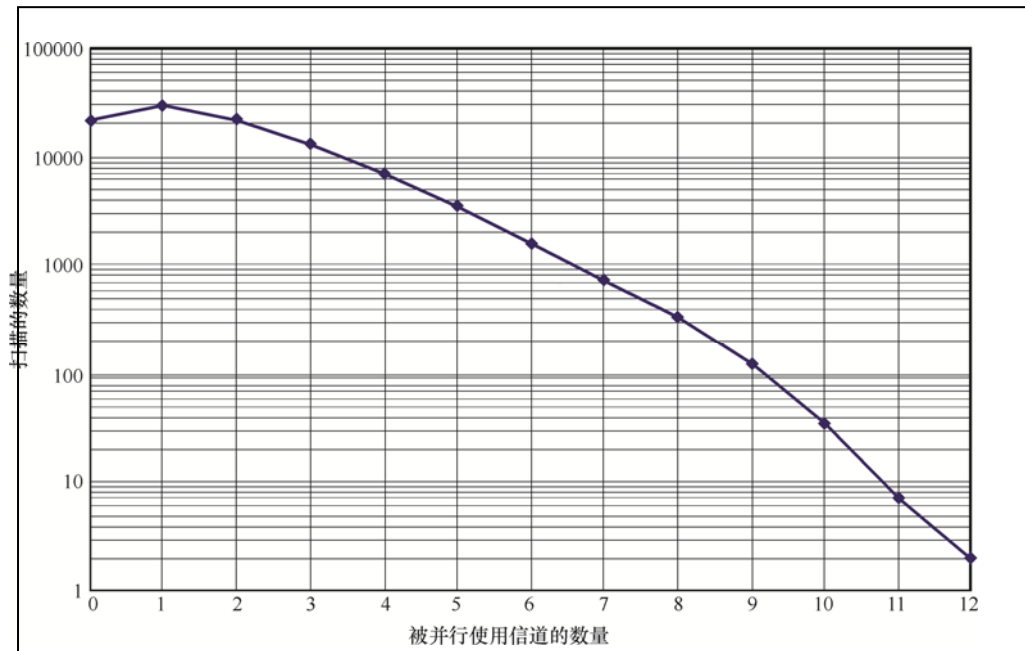
可以看出最多有12个信道被同时占用，为了处理这个数量的业务，需要3个TETRA信道，因为TETRA采用TDMA技术能够在频率上承载4个通信信道。

尽管这样已经在频谱效率方面获得了很大的改善，但是否有必要提供适合于峰值业务量情况的能力的问题可能还会出现，峰值业务量情况可能一年只出现一会儿。为了解决这个问题，有必要以不同的方式对占用率测量进行评估。

将频段上的扫描按每次扫描中被占用信道的数量进行分类，可得到一个排列，从扫描过程中没有信道被占用的扫描的数量开始，然后是扫描过程中有1个信道被占用的扫描的数量等等，这个结果可以用图形来显示，如图27。

图 27

扫描以及同时被占用信道的数量

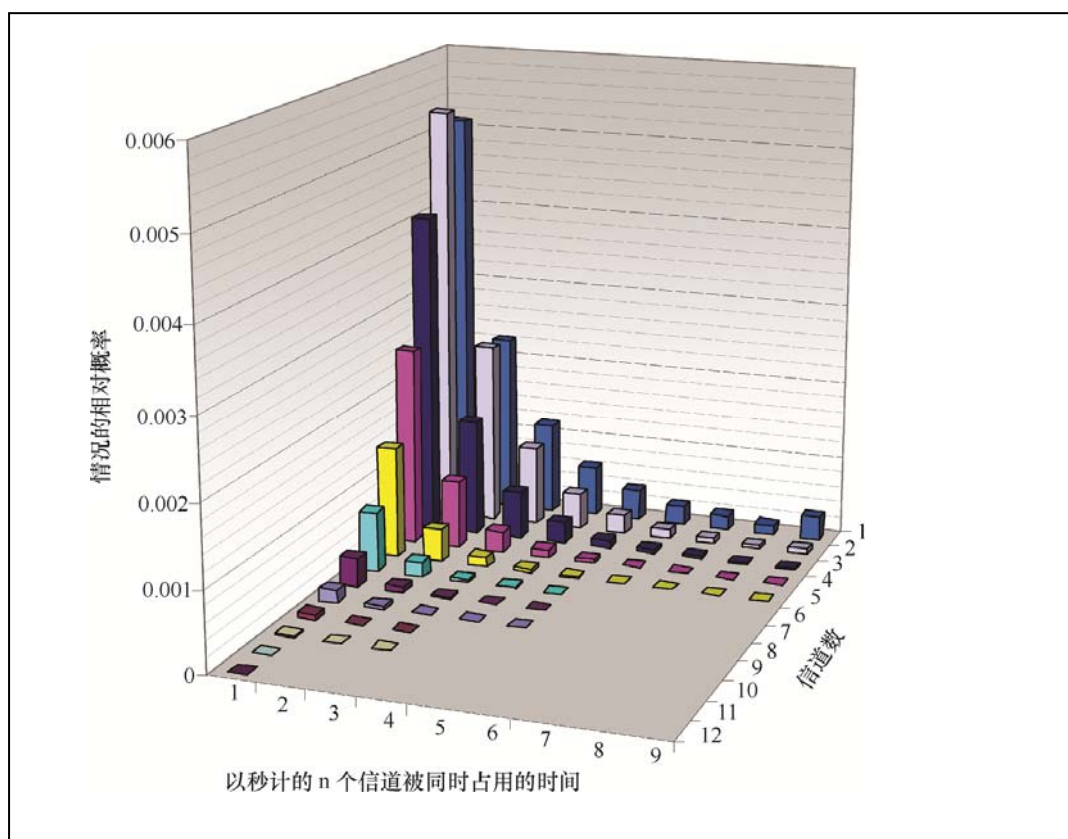


可以看到在整个监测期间，12个信道被占用的情况只出现了2次，然而，我们不能说这种占用情况是每两秒钟的时间只出现一次，还是每一秒钟的时间出现两次。同样地，为了直观地显示这一信息，可能需要画一个3维的图形，其中结合了一定数量的同时被使用信道的占用持续时间，各种情况出现的概率用y轴表示。



图28

被同时使用信道的概率和持续时间



从这个图我们可以看出，12个甚至11个信道被同时占用的情况出现的最长时间仅为1 s。这意味着，如果将来的TETRA网络只提供10个通信信道，此时第11个用户将必须等待最长1秒钟才能接入该网络，这当然可以接受，所以10个TETRA通信信道就足够了。当以最低的成本维持最高的频谱效率时，采用这种占用率测量结果评估连同用户可以容忍的访问延时，就可以确定必需的TETRA信道数。

### 8.5 在共享频段内不同无线电业务所使用射频的评估

有些频段被分配给了具有相同或者类似射频特性的不同无线电业务，HF频率范围的多个分波段就是这种情况的例子，如果在占用率测量期间可以利用信号识别方法，就可以为带内各个业务分别提供测量结果。

## 9 不确定性考虑事项

测量的不确定性取决于各种因素，例如，重访时间，信道中传输的数量和长度，测量样本的数量，监测持续时间，被测量的是否是具有脉冲发射的系统（TDMA），甚至实际的占用率数值本身。这些参数中的一些具有复杂的相关性，在本报告的附件1中可以找到这些参数的计算以及关于它们相关性的详细信息。

应注意到，虽然测量结果可能会被认为是准确的，但它们只是对于测量的位置和时间有效，然而，它们通常被用于“预测”未来时间或者不同位置/地区的占用率，这个“预测”的准确性十分依赖于所考虑的位置和/或业务：公共电话移动网络的占用率在正常工作日期间通常会相当稳定，这样在某一天进行的测量就可以用于评估该频段在所有这些工作日期间的使用情况，另一方面，一个共享的公司信道的占用率十分依赖于所有用户的实际活跃性，这种活跃性可能会一天一天明显地不同，这样在某一个工作日进行的测量根本不能用于评估该信道上的平均业务负载。

## 10 结果的解释和使用

### 10.1 概述

特定频段上频谱占用率测量的结果可能被用于建立获得有效的频谱使用和频谱资源的经济价值的频率分配和指配策略，例如，它们可以导致频段的再分配。

在相同的测量条件下重复进行占用率测量能够显示在频谱资源使用方面的趋势，这可以为特定业务将来的频谱分配提供有价值的信息。

### 10.2 共享信道内占用率结果的解释

如同在占用时间的定义中提到的一样，监测业务提供的结果应尽可能准确地反映信道的实际占用率，包括TDMA系统使用的信道在只有一个站点正在使用信道的时候不会显示100%的占用率这一事实，这使得频谱管理或许可部门有必要根据测量的目的来解释测量的结果。

例如：如果在指配给某一网络的频段内进行占用率测量的目的是为了检查哪一个业务信道正在使用、因而该信道不能用于特殊位置上的其它系统，则该网络特有的显示占用的所有频率均可以被认为是“满的”。

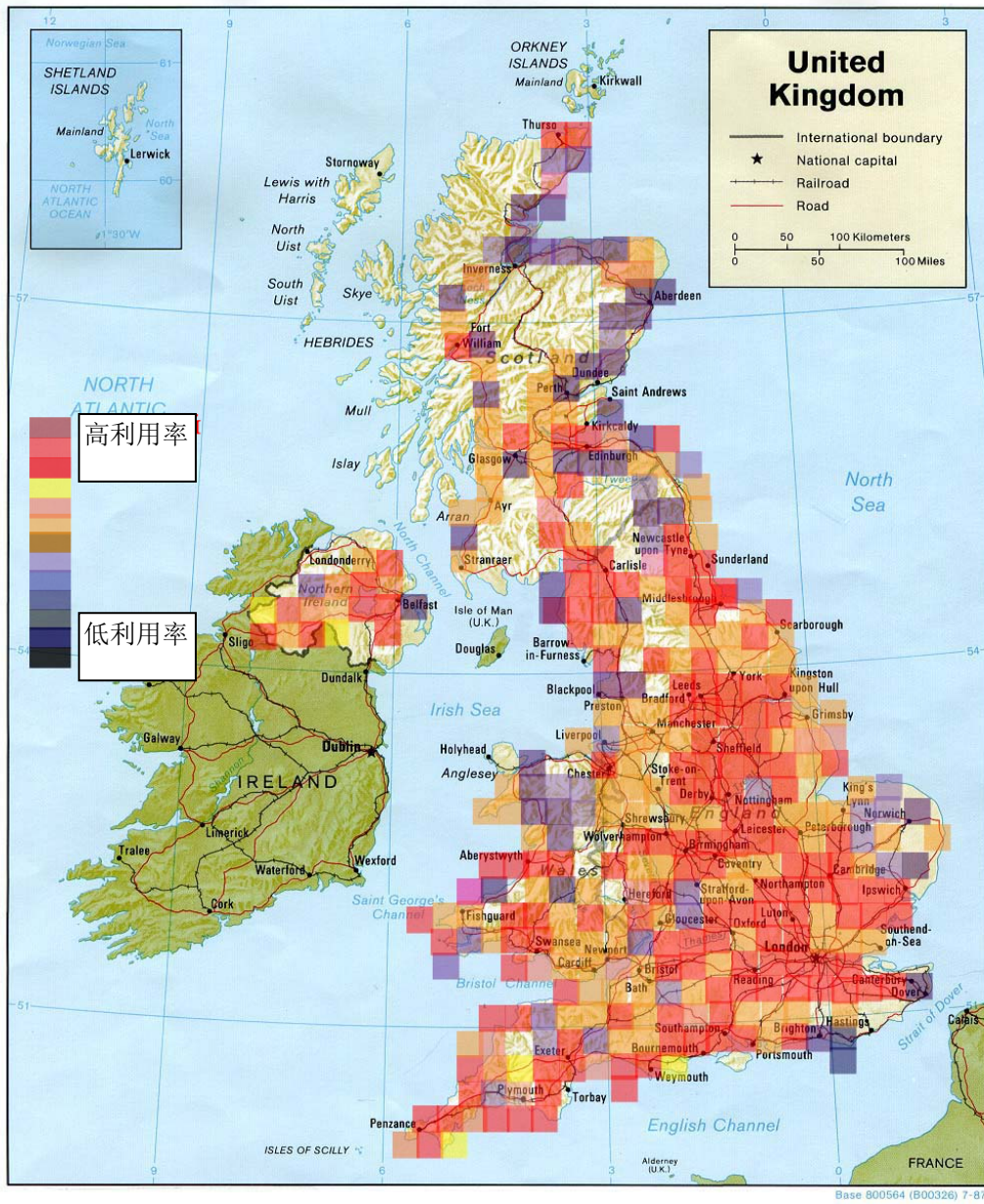
### 10.3 使用占用率数据评估频谱利用率

至此，频谱占用率只与监测位置周围特定的位置或者区域有关，有时候会关注较大地域（例如，整个国家）上资源占用的信息，为了描述其特性，ITU-R SM.1046-2建议书定义了一个频谱利用因子 $U$ ，该因子是带宽 $B$ 、几何（地理）空间（通常为面积） $S$ 和时间 $T$ 的乘积，在这个时间 $T$ 期间，其他潜在的用户不能获得该频谱资源：

$$U = B \cdot S \cdot T$$

因此，频谱利用因子是一个三维的参数：频率×空间×时间，该公式是非线性的，只在测量期间对于特殊的应用有效，当需要更大区域的“频率利用率地图”时，最有效的方法是使用移动监测车开展频谱占用率测量，将地理坐标连同当前的占用率情况存储下来，从而能够对在规定大小的地理长方形上获得的占用率取平均，其结果可以显示在一份地图上，其中不同的频谱利用率数值用不同的颜色表示。图29提供了这样一个频谱利用率地图的例子。

图29  
频谱利用率地图举例



## 11 结论

考虑到当前的ITU-R SM.1880建议书只描述了基本的程序，本报告中的各种例子已经表明，占用率的测量，尤其是占用率的评估可能是一项复杂的任务。全面了解无线电业务，尤其是深入分析测量的目的，对于指定适合的测量和评估方法必不可少。

## 附件 1

频谱占用率测量的概率方法  
和有关的测量数据处理程序

## A 序言

本附件详细包含了测量参数例如重访时间、需要的样本数等的相关性以及它们对于测量准确度和置信度的影响，该方法采用适合于下列情况的数学计算，例如：

- 时间分布不均匀的测量样本。
- 检测已使用信道时的测量延时。
- 设备被同时用于不同测量任务，因此不能够将全部时间用于占用率测量任务。

本附件原则的关联性和应用可能要视情况而定，取决于测量的目的、要求的准确度和/或置信度以及测量设备的性能。

## A1 本方法的一般描述

本附件描述了有些管理部门用于预测频谱占用率测量程序的参数对所获得的统计置信度数值影响的一种概率方法，推荐的方法规定了对于测量设备以及相关的数据处理过程的要求，使得可以以想要的准确度和统计置信度，确定大规模无线电信道集在规定的时间内频谱占用率，本附件描述的结论已经应用于实际的设备，显示出令人满意的结果[A.1]。

下面详细描述的概率方法的基础是将频谱占用率定义为概率，这个概率是指无线电信道、频段或者其它被分析的频率资源将在随机选择的时刻用于信息的传输[A.2]，它的描述见[A.3]。

本附件主要涉及与决定测量的准确度和统计置信度有关的问题，为了清晰起见，本附件集中在无线电信道占用率的测量上，尽管所获得的结果也涵盖了其它的频谱资源。

信道占用率可能会随时间而变化，为了监测这种变化，时间轴必须被分成一组积分周期，这些积分周期应是固定的持续时间，通常为5到15分钟之间，必须针对每段积分时间计算占用率数值，总的监测时间 $T_T$ 通常为合计的积分周期。

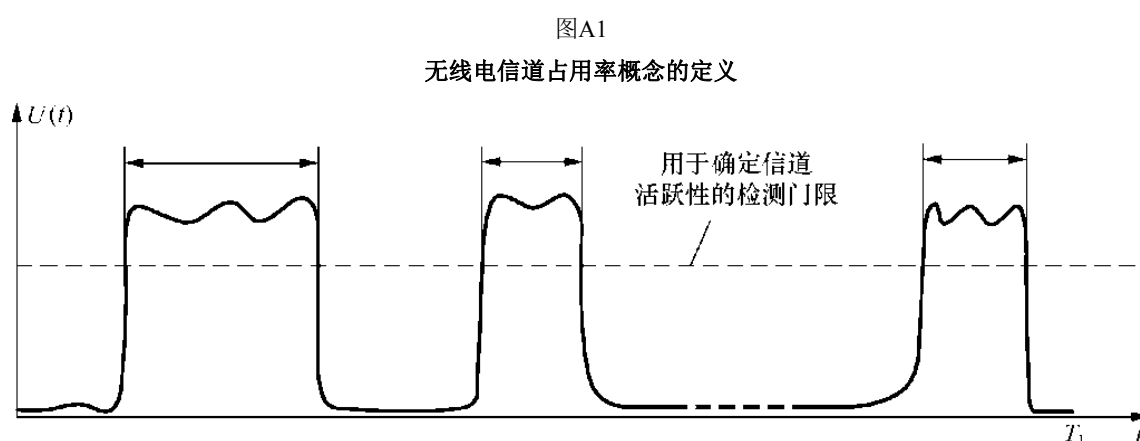
从统计的观点来看，根据有限的观测值，我们只能评估占用率，它对任何的测量和数据处理程序来说都是正确的，由于随机因素的影响，该评估可能不同于占用率的真实值，该数值只有在对所考虑的信道进行连续监测的情况下才能确定。因此，在本附件中，占用率的真实值和通过计算获得的评估值是有区别的。所以，术语“占用率”在这里的意义有些不同于在本报告主体部分中使用时的意义，为了有别于在本报告主体部分中使用的缩略词“FCO”，本附件中将使用一个通用术语“频谱占用率(SO)”相对于占用率的真实值，术语“频谱占用率计算结果(SOCR)”作为相关数据处理的实际数值，实际上，SOCR也是频谱占用率测量的结果，因为它实际上完全是以计算为基础确定的。

## A2 频谱占用率的概念

### A2.1 作为统计概念的频谱占用率

如上所述，从统计的观点来看，频谱占用率意味着无线电信道、频段或者其它被分析的频率资源将在随机选择的时刻被用于信息传输的概率。

对于频谱占用率分析来说，考虑到只有两种信道状态是可能的：“被占用”，由此该信道中的信号电平超出了选择的检测门限，和“空闲”，由此该信道中的信号电平较低，频谱占用率 $SO$ 由该信道处于占用状态的概率决定。



图A1显示的是信道中的信号电平 $U(t)$ 在积分时间 $T_I$ 期间随时间的可能变化，被占用信号状态在时间轴随机选择的采样点上被检测到的概率将等于占用状态间隔 $\Delta t_1, \Delta t_2 \dots \Delta t_v$ 的合计持续时间与总积分时间 $T_I$ 之比，因此，该积分时间上的频谱占用率可以表示为：

$$SO = \sum_{v=1}^V \Delta t_v / T_I \quad (A1)$$

其中：

$SO$ ：当前积分时间上占用率的真实值

$T_I$ ：积分时间

$V$ ：积分时间 $T_I$ 期间被占用状态间隔的数量

$\Delta t_1, \Delta t_2 \dots \Delta t_v$ ：在连续监测的情况下无线电信道中被占用状态间隔的持续时间。

## A2.2 占用率测量误差

当监测频率范围包含多个无线电信道时，对每个信道进行连续监测就成为了一个难题，为占用率测量收集数据的监测设备通常只是间歇地检查信道的状态，占用积分时间期间信道状态样本数 $J_I$ 取决于这个时间 $T_I$ 的长度和信道状态采样的重访时间 $T_R$ （该时间又取决于监测设备的运行速度和正在测量其占用率的频道的数量）。

如果采用间歇式采样，则不可能准确地指出一个信道由被占用转换为空闲状态的时刻，反之亦然；因此，对于占用率测量，有必要采用近似值来取代准确的公式（A1）。例如，对于时间轴上均匀分布的信道状态样本，可以采取以下评估来测量占用率：

$$SOCR = J_o / J_I$$

其中：

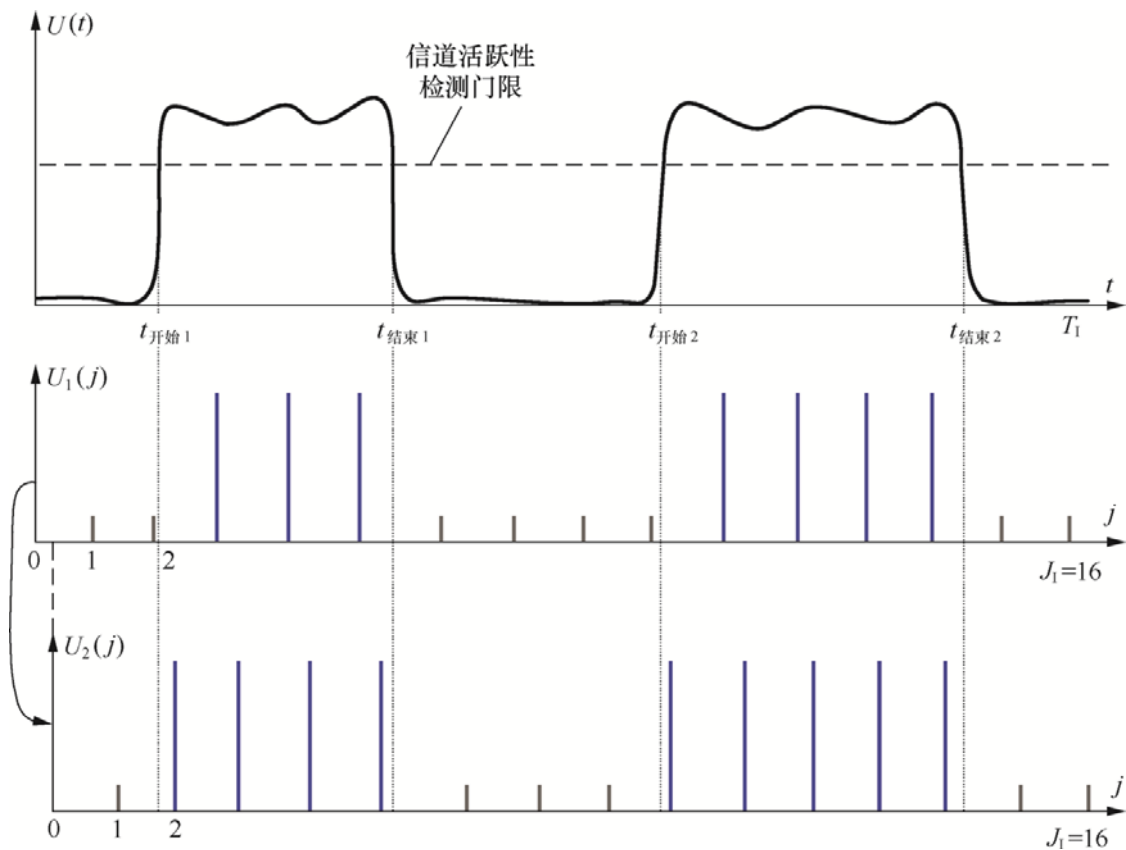
$SOCR$ ： 频谱占用率计算结果

$J_o$ ： 积分时间期间检测到的被占用信道状态的数量

$J_I$ ： 整个积分时间上信道状态样本的总数。

对于一个如图A.2所示的信号，有可能说明可能的频谱占用率测量误差。

图 A2  
占用率测量误差





上面的图 $U(t)$ ，显示了信道中信号电平随时间的连续变化，对应的真实值 $SO \approx 50\%$ ，下面的两个图说明的是采用相同的样本数 $J_I$ 进行占用率测量，但在计时起始点方面有轻微的“失配”，比较图 $U_1(j)$ 和 $U_2(j)$ ，可以看出在第一种情况下测得的占用率数值将为 $SO_{CR1} = 7/16 \approx 43.75\%$ ，在第二种情况下 $SO_{CR2} = 9/16 \approx 56.25\%$ 。

显然：

- 1) 除了呈现的第一个图和第二个图以外，关于测量起始点的不同位置还可能有其它的选择，其中正好有八个在积分时间期间信道活跃性的例子，给出了准确的占用率评估 $SO_{CR} = 8/16 = 50\%$ 。
- 2) 增加样本数 $J_I$ 可以减少测量结果的可能扩散，并且有可能确保可以忽略的误差与所选择的起始时间无关。

因此，频谱占用率计算结果 $SO_{CR}$ 是随机数，必须从统计的观点来分析占用率测量的质量。

### A2.3 占用率测量的准确度和置信度

基于上面第A2.2段考虑过的原因，无线电信道占用率测量实际上会存在着误差，可以看出（例如，见[A.3]）占用率测量误差在特定的第 $r$ 次测试情况下通常是一个接近于正态分布的随机数，不同测试中的误差大小可能会截然不同，这意味着从准确度和置信度的观点来看，测试条件必然会影响占用率评估的质量。

置信度 $P_{SOC}$ 是计算得到的占用率 $SO_{CR}$ 与真实值 $SO$ 的差异不超过容许的绝对误差 $\Delta_{SO}$ 的概率。

$$P_{SOC} = P\{|SO_{CR} - SO| \leq \Delta_{SO}\} \quad (A2)$$

其中：

$P_{SOC}$ ： 占用率测量的置信度

$SO_{CR}$ ： 针于当前积分时间获得的、计算得到的占用率数值

$SO$ ： 积分时间上占用率的真实值

$\Delta_{SO}$ ： 相当于置信区间一半的容许的绝对测量误差公差。

准确度要求通常也用容许的相对测量误差公差 $\delta_{SO}$ 表示，该公差通过以下方程式与容许的绝对误差相关联：

$$\delta_{SO} = \Delta_{SO} / SO \quad (A3)$$

准确度要求应该以绝对误差还是应该以相对误差表示，取决于占用率数值大小的类别（小还是大），它对于实际测量很重要。

容许的相对测量误差的限度对于低占用率无线电信道中测量的准确度提出了更高的要求（小的置信区间），减轻了对于高占用率信道测量的准确度需求。例如，取典型值 $\delta_{SO} = 10\%$ ，对于占用率 $SO = 2\%$ 的信道， $1.8\% \leq SO_{CR} \leq 2.2\%$ 范围内数值被认为属于置信区间（其大小为0.4%），然而当占用率 $SO = 20\%$ 时，置信区间将增加到4%，对于占用率 $SO = 92\%$ 的信道，认为在 $82.8\% \leq SO_{CR} \leq 100\%$ 较宽范围内的任何数值都可以接受。



当限制了容许的绝对测量误差时，置信区间的大小与实际的信道占用率无关。特别地，当采用建议在实践中使用的数值 $\Delta_{SO} = 0.5\%$ 时，对于低占用率和高占用率的信道，置信区间的大小均保持在1%，这对于低占用率的信道相当于一个非常粗略的评估，对于高占用率的信道则是一个非常精确的评估。例如，当占用率 $SO = 92\%$ 时，认为在 $91.5\% \leq SOCR \leq 92.5\%$ 范围内的数值都可以接受。

至于要求的置信度，建议在实践中采用的数值通常在90-99%的范围内。在本附件中，数值 $P_{SOC} = 95\%$ 此后将用作一个基数。

## A2.4 影响占用率测量统计置信度的参数

### A2.4.1 脉冲信号、长信号和信号流量

占用率计算结果的统计特性取决于被分析的无线电信道中信号的典型持续时间，如果信号持续时间大于重访时间，则这样的信号不可能被错过，并且状态转换点趋向于落在不同的、相对于样本独立的时间间隔上。对于持续时间短于重访时间的信号，只是有时候会登记它们，对于拥有这些信号的信道，占用率计算的统计特性明显不同，当然，实际上，这些类型信号之间的边界相当明显，那些持续时间 $\Delta t_v$ 至少为积分时间的千分之一的信号被认为是长信号，即满足条件 $\Delta t_v \geq 10^{-3} \cdot T_I$ ，脉冲信号是那些持续时间 $\Delta t_v < 10^{-4} \cdot T_I$ 的信号。

如 [A.3]所示，对于长信号，占用率测量的准确度和置信度十分依赖于积分时间内传输的数量（或者信道状态转换的次数），本附件的第A4段还包含了一些例子，这些例子表明，对于不同的积分时间期间检测到信号的数量，可信的占用率测量所需要的样本数可能会发生大约一个数量级的变化，在对拥有长信号的信道进行占用率测量的情况下，信号流量的概念是有益的。

信号流量 $\lambda$ 是在一个给定的时间周期内、信道中出现信号的平均数，例如，一个特殊的信道中，如果在每隔一小时的时间周期内平均观测到140个传输会话，则该信道的信号流量将为 $\lambda = 140$ 信号/小时，第A3.1.3段中给出了关于占用率测量中信号流量考虑事项的建议。

应该记住的是对于不同的时间周期，无线电信道中的信号流量 $\lambda$ 可能会发生明显的变化，这意味着必须跟踪信号流量在测量期间的变化，必须对预期在占用积分时间内信号的平均数进行相应的调整。

### A2.4.2 重访时间的相对不稳定性

有多种原因可能会导致信道状态样本在时间轴上的分布不均匀：

- 当测量信号流量明显不同的信道中的占用率时，要求的样本数可能会五倍或十倍地变化，对这种信道的状态进行严格的循环采样是无效的，而改为灵活的信道采样程序将会导致样本在时间轴上分布不均匀。
- 当要测量的信道数量较少时，最新技术发展水平的监测系统速度非常快，能够并行承担占用率测量数据收集和其它的监测任务，但是当设备资源以这种方式被分割时，样本在时间轴上的分布也会变得不均匀。

也可能存在其它的导致样本之间重访时间不稳定的原因。

令时间 $t_j$  ( $1 \leq j \leq J_I$ )相当于样本在时间轴上的实际位置，样本之间的间隔 $T_{Rj}$ 为：

$$T_{Rj} = t_j - t_{j-1}, 1 < j \leq J_I \quad (\text{A4})$$

实际上，会经历相对于重访时间平均值的随机变动：

$$T_R = T_I / J_I \quad (\text{A5})$$

其中：

$T_I$ ： 积分时间

$J_I$ ： 积分时间内信道状态样本的数量。

重访时间的相对不稳定性被称作 $\delta T$ ，它由样本之间的间隔距离其平均值的最大偏差决定，用下面的公式表示：

$$\delta T = \max_j \left\{ |t_j - t_{j-1} - T_R| / T_R \right\}, 1 < j \leq J_I \quad (\text{A6})$$

其中：

$\delta T$ ： 重访时间的相对不稳定性

$t_j$ ： 实际采样时间

$T_R$ ： 由（A5）得到的重访时间的平均值

$J_I$ ： 积分时间内样本的数量。

### A2.4.3 锁定和非锁定系统用于占用率测量

在重访时间不稳定的情况下，占用率测量的置信度还取决于所使用的测量系统是一个锁定系统还是一个非锁定系统。

锁定系统的特征是使用一个发生器，该发生器确定了时间轴上采样点的一种理想的网格，实际的信道状态样本可能会显示在这个理想网格的节点上，但对于位于积分时间不同时间段的采样点，这些位移是独立的。

非锁定系统理解为该系统中没有时间网格，测量是在近似相等的重访时间的基础上进行的，任何一点的位移会影响所有后续采样点在时间轴上的位置。

对于较短的时间间隔，系统性能上的差异不是太明显，但对于数百秒的典型积分时间 $T_I$ ，信道状态样本在时间轴上位置的差异会变得很重要，对于拥有长信号的无线电信道中占用率测量的统计特性有着明显的影响，关于锁定和非锁定系统达到测量置信度的建议将在下一节中给出。拥有脉冲信号的信道中统计上可信的占用率测量需要在积分时间上有更多的样本，尽管对于脉冲信号，锁定和非锁定系统之间的差异变得可以忽略不计。

### A3 测量程序

#### A3.1 关于采用锁定测量系统测量占用率的建议

##### A3.1.1 数据收集

为了测量占用率，必须至少要确定对于每段积分时间，被占用信道状态样本的数量 $J_o$ 。

在信道中主要是长信号的情况下，为了确保测量的置信度，还需要关于信号流量 $\lambda$ 的信息。当缺少这样的信息时，有必要去跟踪被占用和空闲状态组以便确定在第 $r$ 个积分时间内信道中被检测到信号的数量 $V_r$ ，检测到信号的数量 $V_r$ 被认为等于从空闲转换到被占用状态的次数，反之亦然。

##### A3.1.2 占用率测量规则

适用于占用率测量的规则在之前的第A2.2段已经讨论过了，采取的形式为：

$$SOCR = J_o / J_I \quad (A7)$$

其中：

$SOCR$ ： 频谱占用率计算结果

$J_o$ ： 积分时间期间检测到的被占用信道状态的数量

$J_I$ ： 整个积分时间信道状态样本的总数。

##### A3.1.3 选择样本数

对测量设备和占用率计算的相关数据处理过程的要求，对于拥有长信号的信道和拥有脉冲信号的信道是不同的。对于拥有长信号的信道，它首先由积分时间内信号的数量决定，对于被脉冲信号占用的信道，置信度取决于无线电信道占用率数值本身。

对于拥有长信号的无线电信道，可以用下面的公式计算以容许的绝对测量误差公差 $\Delta_{SO}$ 达到置信度 $P_{SOC}$ 所需要的样本数：

$$J_{I \min} = \frac{x_p}{\Delta_{SO}} \cdot \frac{\sqrt{V_{avr} \cdot (1.06 + \delta T^2)}}{2} \quad (A8)$$

其中:

- $J_{I\min}$ : 建议的（最小必需的）样本数  
 $\Delta_{SO}$ : 相当于置信区间一半的最大容许的绝对测量误差  
 $\delta T$ : 重访时间的相对不稳定性  
 $V_{avr}$ : 预期的占用积分时间内信号的平均数  
 $x_p$ : 概率积分的百分点，相当于需要的置信度数值 $P_{SOC}$ ，为了计算该百分点，建议采用下面的近似值。

$$x_p = y - \frac{2.30753 + y \cdot 0.27061}{1 + y \cdot (0.99229 + y \cdot 0.04481)} \quad (\text{A9})$$

其中:

$$y = \sqrt{2 \cdot \ln\left(\frac{2}{1 - P_{SOC}}\right)} \quad (\text{A10})$$

(A8)中使用的、预期在积分时间内信号的平均数 $V_{avr}$ 可以采用下面的公式进行预测:

$$V_{avr} = \lambda \cdot T_I \quad (\text{A11})$$

其中:

- $\lambda$ : 信道中的信号流量（见第A2.4.1段）  
 $T_I$ : 占用积分时间。

当置信度 $P_{SOC} = 95\%$ 、容许的绝对测量误差公差 $\Delta_{SO} = 0.5\%$ 时，适用于锁定系统的方程式(A8)可以表示为:

$$J_{I\min} = 194.2 \cdot \sqrt{V_{avr} \cdot (1.06 + \delta T^2)} \quad (\text{A12})$$

对于不同信号流量的无线电信道，方程式(A12)应用的例子如表A1所示。

表 A1

对于拥有长信号的信道，以重访时间相对不稳定性 $\delta T \leq 0.5$ 进行测量，  
以置信度 $P_{SOC} = 95\%$ 达到不超过 $\pm 0.5\%$ 的绝对占用率测量  
误差公差，建议必需的样本数

信道 $\lambda$ 中的信号流量（在占用积分时间观测到的信号的平均数），不超过：	建议的样本数
10	703
30	1 217
50	1 572
100	2 223
300	3 850
500	4 970

注 — 假设将方程式(A7)用于锁定测量系统或者方程式(A19)用于非锁定测量系统，得到了本表右边列中的数据。

根据表A1中的数据，对于拥有长信号和低占用率（因此，也是低信号流量 $\lambda$ ）的信道，统计上可靠的测量结果是以样本数 $J_I < 10^3$ 获得的，这与[A.4]、[A.5]中给出的信息不同，这种不一致可以通过以下事实得到说明，在这里显示的表A1中，数据不是采用对相对测量误差的限制获得的，而是采用对绝对测量误差的限制获得的，在低无线信道占用率的情况下，没有假定任何的置信区间缩小（见第A2.3段）。由于缺少准确的关于无线信道从被占用转换为空闲状态的时刻的数据，会产生占用率测量误差，反之亦然[A.3]。因此，积分时间内这样的转换越多，可能的测量误差就越大。正是出于这一原因，为了使结果达到统计的置信度，有必要增加方程(A7)中的样本数，不是由于占用率数值会增加，而是由于预期在积分时间内信道中信号的平均数会增加。这样，通过给低占用率的信道和高占用率但状态变化不多的信道（例如，被广播站占用的那些信道）均设置容许绝对误差公差 $\Delta_{SO}$ ，只进行632到703次重访就足够了。只有对于在积分时间内显示出很多次状态变化的信道，要求的样本数才变得重要。

如果先前不知道占用积分时间内信号的流量 $\lambda$ ，则建议规定一个以一定余量选择的数值。为了适应测量过程中的信号流量，建立使用以下方程式：

$$\lambda_{(r+1)} = (w\lambda_r + V_r)/(w+1) \quad (\text{A13})$$

其中：

- $\lambda_{(r+1)}$ : 预期在下一段积分时间的流量
- $\lambda_r$ : 当前（已过去的）积分时间的流量
- $V_r$ : 在当前积分时间内已被确定的信号的数量
- $w$ : 决定自适应过程响应时间的加权系数，通常在 $5 \leq w < 20$ 的范围内选择。

为了按照方程式(A13)开始演化，需要一个通常预先未知的初始值 $\lambda_0$ ，建议在给定频率范围内预期的所有数值之中选择一个最大值，该数值相当于最坏的情况。

对于拥有脉冲信号的信道，计算式(A7)也给出了一个无偏差的占用率测量结果，但它明显需要更多的样本以便能够以容许的绝对测量误差公差 $\Delta_{SO}$ 达到置信度 $P_{SOC}$ 。我们可以采用以下公式计算必需的样本数 $J_{IT}$ ：

$$J_{Imin} = SO \cdot (1 - SO) \cdot \left( \frac{x_p}{\Delta_{SO}} \right)^2 \quad (A14)$$

其中：

$J_{Imin}$ ： 建议的（最小必需的）样本数

$SO$ ： 适合于拥用脉冲信号的信道的无线信道占用率

$x_p$ ： 概率积分的百分点（见（A9））

$\Delta_{SO}$ ： 相当于置信区间一半的最大容许的绝对测量误差。

当置信度 $P_{SOC} = 95\%$ 、最大容许的绝对测量误差 $\Delta_{SO} = 0.5\%$ 时，方程式（A14）可以表示如下：

$$J_{Imin} = 153664 \cdot SO \cdot (1 - SO) \quad (A15)$$

当采用脉冲类型的信号时，计算式（A7）的置信度由占用率值本身决定，几乎与沿着时间轴的样本位置的不稳定性无关，也与相关的测量是锁定还是非锁定的类型无关。方程式（A15）应用于具有不同占用率的无线信道，见表A2所示。

#### A3.1.4 错误的样本数选择对于占用率测量置信度的影响

相对于表A1和A2中建议的样本数，按因子 $K$ 减少样本数 $J_I$ 将会降低可靠性，或者按因子 $K$ 成比例地扩大置信区间。

例如，假设我们需要测量在积分时间内信号流量不超过50个信号的无线信道的占用率，从表A1的最后一列，我们可以看出在这种情况下建议的样本数是对信道状态采样1572次，按照这一建议，占用率计算式(A7)将以置信度 $P_{SOC} = 95\%$ 偏离实际值不超过 $\Delta_{SO} = 0.5\%$ ，另一方面，我们现在假设系统实际上在积分时间内只能够获取393个信道状态样本，即比建议的数少四倍，则平均起来占用率将和以前测得的占用率一样准确，但是实际的占用率数值以置信度95%出现的范围会增加四倍到测量结果上下各 $\pm 2\%$ 。

当为占用率计算收集的数据被过早地减少时，也可能观测到不足的样本数 $J_I$ 。在这种情况下，占用率计算式(A7)保持无偏差，但结果的置信度象上面讨论的例子一样会下降。

表A2

对于拥有脉冲信号的信道，以置信度 $P_{SO} = 95\%$ 达到不超过 $\pm 0.5\%$ 的绝对占用率测量误差公差，建议必需的样本数

无线信道 占用率 $SO$ (%)	建议的 样本数, $J_I$	建议的重访时间, $T_R$ (ms)	
		当 $T_I = 5$ 分钟时	当 $T_I = 15$ 分钟时
5	7 300	41.1	123.2
10	13 830	21.7	65.0
20	24 586	12.2	36.6
35	34 960	8.6	25.7
50	38 416	7.8	23.4

注 — 对于占用率 $SO^* > 50\%$ 的信道，要求的样本数与占用率 $SO = 1 - SO^*$ 的信道所要求的样本数相同，换句话说，例如，为了在占用率为80%的信道达到统计上可信的测量结果，有必要选择 $J_I = 24 586$ ，与占用率 $SO = 1 - 0.80 = 20\%$ 的情况一样。

### A3.2 关于采用非锁定测量系统测量占用率的建议

关系式(A7)也可以用在非锁定系统中用于计算占用率，但是这样系统中占用率计算的统计置信度会随着相对不稳定性 $\delta T$ 的增加而明显下降，通过准确地确定对无线信道状态进行测试的时刻可以提高计算的质量。一般来说，测量不应该检验信道中被占用和空闲状态出现的次数，而应该检验信道处于被占用或空闲状态的时长。

#### A3.2.1 数据收集

为了计算占用率，在各个积分时间至少有必要记录实际的积分时间 $T_{AI}$ 和处于被占用状态的信道所花费的总时长 $T_O$ 。

在开始测量时，应设置 $T_{AI} = 0$ 和 $T_O = 0$ ，确定与时间 $t_0$ 相对应的信道状态，在随后的每一次观测之后，数值 $T_{AI}$ 应增加由方程式(A4)确定的重访时间 $t_{Rj}$ ：

$$T_{AI}(j) = T_{AI}(j-1) + T_{Rj} \quad (\text{A16})$$

如果信道状态在两个采样点 $t_{j-1}$ 和 $t_j$ 均为被占用，则 $T_O$ 也应增加相同的增量：

$$T_O(j) = T_O(j-1) + T_{Rj} \quad (\text{A17})$$

如果在时间间隔 $T_{Rj}$ 内，观测到信道状态发生一次变化，则一半的重访时间应算入被占用状态持续时间：

$$T_O(j) = T_O(j-1) + T_{Rj}/2 \quad (\text{A18})$$



如果观测到信道在两个采样点均处于被动状态，则被占用状态时长 $T_O$ 应保持不变。

为了验证测量结果的置信度，像锁定系统的做法一样，应记录下占用积分时间观测到信号的数量（见第A3.1.1段和A3.1.3段）。

### A3.2.2 占用率计算规则

适合于计算占用率的规则采取的形式为：

$$SOCR = T_O / T_{AI} \quad (A19)$$

其中：

$SOCR$ ： 频谱占用率计算结果

$T_O$ ： 处于被占用状态的信道所花费的总时长

$T_{AI}$ ： 实际的积分时长。

### A3.2.3 选择样本数

确定信道被观测到处于占用状态的时长避免了非锁定测量特有的误差累积，因此，适用于非锁定测量系统的方程式(A19)的统计特性与适用于锁定系统的方程式 (A7)获得的质量相同，这意味着为了达到置信度 $P_{SOC} = 95\%$ 所需要的样本数可以使用上面的规则 (A7)和 (A19)计算得到，或者从表A1和A2读出。

将方程式 (A7) 用于非锁定测量在原则上是可以接受的，但随着重访时间的相对不稳定性地增加，为了达到测量置信度所需要的样本数会急剧增加。

## A4 无线电信道中信号流量影响频谱占用率计算置信度的典型例子

接下来的例子证实了当测量的目的是为了以较高的准确度和统计置信度获得占用率测量结果时，跟踪无线电信道中信号流量的重要性，分析了积分时间期间信号（通信会话）数量明显不同的无线电信道的占用率计算。在进行比较的所有情况中，实际的占用率数值保持不变，即 $SO = 5\%$ 。施加的准确度要求必然会产生一个容许的绝对测量误差 $\Delta_{SO} = 0.5\%$ ，当 $SO = 5\%$ 时，这个绝对误差相当于相对误差 $\delta_{SO} = 10\%$ 。

### A4.1 情况A：积分时间内出现单一信号

假设在占用率积分时间 $T_I$ 期间，在信道上只观测到一个持续时间为 $T_s = 0.05 \cdot T_I$ 的信号，这个持续时间相当于占用率 $SO = 5\%$ 。我们可以感到满意的是：为了利用时间轴上均匀分布的信道状态样本达到置信度 $P_{SOC} = 100\%$ ，获取 $J_I \geq 200$ 个样本就足够了。

实际上，采用由(A5)确定的重访周期 $T_R$ ，在信号活动时间 $T_s$ 期间，将会得到以下数量的样本：

$$J_{o\min} = \text{int}[T_s \cdot J_I / T_I] = \text{int} [0.05 \cdot J_I] \quad (A20)$$

其中 $\text{int}[\cdot]$ 为变量的取整运算，或 $(J_{O \min} + 1)$ 个样本。考虑到规则 (A7)，我们可以得到占用率测量误差为：

$$(SO_{CR} - SO)_r \leq \max(|SO_{CR} - SO|) \leq \max\left(0.05 - \frac{J_{O \min}}{J_I}; \frac{J_{O \min} + 1}{J_I} - 0.05\right) \quad (\text{A21})$$

当 $J_I \geq 200$ 时，根据(A21)实际可以达到的最大绝对误差为 $\max(|SO_{CR} - SO|) = 0.005$ ，这一数值相当于10%的相对误差。我们还注意到，当 $J_I \geq 600$ 时，我们从方程式(A21)可以得到 $\max(|SO_{CR} - SO|) = 0.00167$ ，这一数值（当 $SO = 5\%$ 时）相当于小于3.5%的相对误差（当置信度为100%时）。

#### A4.2 情况B：积分时间内有十二个信号

现在假设在积分时间 $T_I$ 内有12个持续时间相等、均为 $T_s = 0.00417 \cdot T_I$ 的脉冲，这个持续时间相当于占用率 $SO = 5\%$ 。采用 $485 \leq J_I < 715$ 范围内的样本数，脉冲长度继续保持大于重访时间 $T_R$ ，因此取决于每个脉冲相对于样本“网格”的位置，每个脉冲将用两个 $J_{O \min} = T_s/T_{R \max} = \text{int}[0.00417 \cdot J_{I \min}] = 2$ 或三个 $J_{O \max} = \text{int}[0.00417 \cdot J_{I \max}] + 1 = 3$ 被占用状态表示。当 $J_I \approx 500$ 时，脉冲将表示成经常会出现的被占用信道状态对，而当 $J_I \approx 700$ 时，被占用状态经常被分为三个一组。

让我们更详细地看一下 $J_I = 600$ 的情况，此时，两种样本分组情况的概率相等，在这种情况下，被登记的活跃性出现的总数可能在 $J_{O \min} = 12 \cdot 2 = 24$ 到 $J_{O \max} = 12 \cdot 3 = 36$ 之间。在数值 $J_O$ 处于27到33范围内的测量实例中，由方程式 (A7)获得的占用率将会变小，但在 $\pm 10\%$ 的相对误差限度范围之内， $24 \leq J_O \leq 26$ 或 $34 \leq J_O \leq 26$ 的概率可以由下面的规则计算得到：

$$P_{\text{error}} = 0.5^{12} \cdot (C_{12}^0 + C_{12}^1 + C_{12}^2 + C_{12}^{10} + C_{12}^{11} + C_{12}^{12}) = \frac{2 \cdot (1+12+66)}{4096} \approx 3.86\% \quad (\text{A22})$$

此处 $C_{12}^k$ 对应于在观测紧接着的12个脉冲时确定 $k$ 对被占用状态。

因此，和情况A一样，对于相同的占用率 $SO = 5\%$ ，相同的样本数 $J_I = 600$ ，尽管占用率计算 $SO_{CR}$ 满足[A.4,A.5]中的要求，但它以超过 $\pm 10\%$ 的相对误差偏离实际值 $SO$ 的概率差不多有4%。

#### A4.3 情况C：积分时间内有数打信号

最后，假设在积分时间 $T_I$ 内有80个时长相等、均为 $T_s = 6.25 \cdot 10^{-4} \cdot T_I$ 的脉冲，再一次令 $SO = 5\%$ ，当 $J_I = 600$ 时，重访时间将为 $T_R \approx 1.67 \cdot 10^{-3} \cdot T_I$ ，此时，任何一个脉冲都不会表示成一个以上的被占用状态，并将会以概率 $P_{\text{miss}} = 1 - T_s/T_R \approx 62.5\%$ 被完全地错过！这意味着此时不可能进行占用率计算吗？

不考虑脉冲重叠的概率，并将脉冲“检测”事件当作是独立的，预期的被占用状态的数量 $J_O$ 可以由下面的公式获得：

$$m_1\{J_O\} = 80 \cdot (1 - P_{\text{miss}}) = 80 \cdot 0.375 = 30 \quad (\text{A23})$$

因此:

$$m_1 \{SOCR\} = 30/600 = 0.05 \quad (\text{A24})$$

因此, 平均的占用率数值会保持无偏差, 这可以通过下面的事实得到说明, 尽管实际上有些脉冲可能会被错过, 但其余的脉冲实质上不是被看作时长 $T_s$ , 而是被看作持续了时间 $T_R$ , 这补偿了先前的影响。

为了分析占用率计算在新条件下的质量, 我们认为只有当检测到信号的数量在27到33的范围内时, 才能获得相当于 $\pm 10\%$ 以内相对误差的结果, 检测到信号的真实数量将是一个服从二项式分布的随机数。

然而, 考虑到由于检测到脉冲的总数足够地大 $n = 80$ , 该分布可能会近似于正态分布, 对于测量的置信度, 我们得到以下表达式:

$$P_{SOC} = F_{st} \left( \frac{33-30}{4.33} \right) - F_{st} \left( \frac{27-30}{4.33} \right) \approx F_{st}(0.7) - F_{st}(-0.7) \approx 52\% \quad (\text{A25})$$

其中 $F_{st}(z)$ 是标准正态随机数的概率分布函数:

$$F_{st}(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^z \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt \quad (\text{A26})$$

$\sigma = \sqrt{n \cdot (1 - P_{miss}) \cdot P_{miss}} = \sqrt{80 \cdot 0.375 \cdot 0.625} \approx 4.33$  是测量SOCR的标准偏差。

因此, 当积分时间内有大量的窄脉冲时, 获得的占用率数值平均起来将接近于实际值, 但测量的置信度会比较低(在这种情况下,  $P_{SOC} = 52\%$ )。

上面的例子表明, 对于包括长信号的无线信道, 占用率测量的置信度主要不取决于占用率数值本身, 而是取决于所考虑的信道在积分时间期间发生状态变化的次数, 在无线信道很少发生状态变化的情况下, 即使少量的样本也会确保相对准确和可靠的占用率测量, 在无线信道频繁发生状态变化的情况下, 只有显著增加积分时间内的样本数才能确保准确、可靠的占用率测量。

## 附件A的 参考文献

- [A.1] Measurement procedure qualification certificate No. 206/000265/2011 on “Measurement of radio-electronic equipment emission properties with [ARGAMAK-I](#), [ARGAMAK-IM](#) and [ARGAMAK-IS](#) Digital Measuring Radio Receivers”, including those with [ARC-KNV4](#) Remote Controlled Frequency Down-Converter. <http://www.ircos.ru/en/news.html>.
- [A.2] SPAULDING, A.D., HAGN, G.H. [August 1977] – On the definition and estimation of spectrum occupancy. IEEE Trans. In EMC, Vol. EMC-19, No. 3, p. 269-280.

- [A.3] KOZMIN, V.A., TOKAREV, A.B. – A method of estimating the occupancy of the frequency spectrum of an automated radio-control server in the following paginated issue of Measurement Techniques: Volume 52, Issue 12 (2009), Page 1336.  
<http://www.springerlink.com/openurl.asp?genre=article&id=doi:10.1007/s11018-010-9442-9>.
- [A.4] 频谱监测手册，国际电联，2011年。
- [A.5] ITU-R SM.1880 建议书 — 频谱占用测量。
-