

## ITU-R SM.1755-0 建议书\*

## 超宽带技术的特性

(2006年)

## 范围

为研究超宽带设备对其它无线电通信业务的影响，需要了解这些设备的技术和操作特性。本建议书介绍了超宽带技术的各类术语、定义和一般特性。

## 关键词

超宽带、短距离、调制、无线电通信业务、无线电通信业务

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 利用超宽带（UWB）设备进行的有意发射可能会扩展到极大的频率范围；
- b) 目前研制中的使用超宽带技术的设备，具有横跨多种无线电通信业务的频率分配的发射；
- c) 因此，使用超宽带技术的设备可能同时影响在多种无线电通信业务中工作的多个系统，其中包括一些国际系统；
- d) 超宽带技术可集成在许多应用中，如短程室内和室外通信、雷达成像、医疗成像、资产跟踪、监测、车载雷达和智能交通；
- e) 可能很难将超宽带发射与亦包含其它技术的设备产生的发射或无意辐射区分开来，对于这种情况可能要采用不同的限值；
- f) 使用超宽带技术的应用可能会使一些行业受益，这些行业包括公众防护、建筑、工程、科学、医疗、面向消费者的应用、信息技术、多媒体娱乐和交通；
- g) 在已经或即将部署无线电通信业务台站的环境中，针对特定应用使用超宽带技术的设备，可能会使这些应用的部署密度大为提高；
- h) 使用超宽带技术的设备的频谱要求和操作限制，可能会随应用而有所差异；
- j) 使用超宽带技术的设备通常是在无保护、无干扰的基础上工作的；
- k) 为研究使用超宽带技术的设备对无线电通信业务的影响，需要了解采用超宽带技术和应用的设备的技术和操作特性；

---

\* 无线电通信第1研究组于2018和2019年根据ITU-R第1号决议对此建议书进行了编辑性修正。

1) 需要了解与超宽带技术相关的术语和定义以及使用超宽带技术的设备的情况，  
做出建议

**1** 应使用附件1中所含的术语、定义和缩写词来描述超宽带技术和使用超宽带技术的设备；

**2** 应使用附件2中所含的一般特性来描述超宽带技术的特性；

**3** 在研究使用超宽带技术的设备（目前未被视为在分配给无线电通信业务的频带中工作的设备）对无线电通信系统的影响时，应考虑附件3中所含的技术和操作特性；

**4** 以下注释应被视为本建议书的一部分。

注1 - 按照《无线电规则》的规定，授权或许可使用超宽带技术设备的主管部门应确保，这些设备不会对《无线电规则》中定义并按此规则工作的其它主管部门的无线电通信业务造成干扰、要求这些业务给予保护或对它们设置限制。

注2 - 一旦收到注1中提及的有关使用超宽带技术的设备对无线电通信业务产生干扰的通知，主管部门应立即采取行动消除此类干扰。

## 附件1

## 超宽带术语、定义和缩略词

## 1 超宽带术语和定义

在描述超宽带（UWB）技术和设备时，以下术语具有其后给出的定义：

**超宽带技术：**用于短程无线电通信的技术，其中涉及在极大频率范围内分布的射频能量的有意生成和发射，此频率范围可能与分配给无线电通信业务的若干频带相重叠。使用超宽带技术的设备的天线一般生成两种有意辐射：至少500MHz的-10dB带宽或大于0.2的-10dB部分带宽。<sup>1</sup>

**超宽带发射：**使用超宽带技术生成的辐射。

**激活因子：**使用超宽带技术的设备用于发射的部分时间。<sup>2</sup>

**突发：**通常用于激励超宽带限频滤波器的单向极性尖波，此滤波器的辐射输出为一个超宽带脉冲。

**脉冲：**一个短瞬时辐射超宽带信号，其标称持续时间为其-10dB带宽的倒数。

**雷达成像设备：**用于获得受阻目标影像的设备，其中包括墙内和穿墙检测、探地雷达、医疗成像、施工和住宅修缮成像、采矿和监测设备。

**探地雷达（GPR）设备：**为检测或绘制地下结构而与地面接触或接近地面工作的一种雷达成像设备。虽然它主要用于“地下”检测，但“地面”这一术语的含义可引伸至包括所有有损耗的非介质材料。

**墙壁雷达成像设备：**用于检测和绘制墙体内部的一种传感器。墙壁通常由混凝土结构或类似的能够吸收大量无线电波能量照射的非渗透密实材料构成。典型应用包括加固的钢筋混凝土楼宇墙壁、挡土墙、隧道内层、矿井墙壁、桥梁侧壁，或其密度和厚度均足以消耗和吸收成像设备发射的大部分信号强度的另一种物理结构。

---

<sup>1</sup> -10dB带宽 $B_{-10}$ 和-10dB部分带宽 $\mu_{-10}$ 的计算方法如下：

$$B_{-10} = f_H - f_L$$

$$\mu_{-10} = B_{-10}/f_C$$

其中：

$f_H$ ：最大频率，在此频率时超宽带发射的功率频谱密度相对于 $f_M$ 为-10dB

其中：

$f_M$ ：最大超宽带发射的频率

$f_L$ ：最小频率，在此频率时超宽带发射的功率频谱密度相对于 $f_M$ 为-10dB，

$f_C = (f_H + f_L)/2$ ：-10dB带宽的中心频率。

部分带宽可以百分比来表示。

<sup>2</sup> 有关多个设备的情况见附件3的第3节。

**穿墙雷达成像设备：**一种用于发射穿透不透明结构（如墙壁或天花板）的能量的传感器，可探测位于墙壁另一侧的人或物的移动或位置。此类设备的独到设计可将穿越不透明结构的能量转移最大化。此类别可包含销钉定位器等产品，此类产品可用于定位墙另一侧的厚度或密度均不足以吸收发射信号的物体，如石膏、灰泥或类似墙体。

**超宽带通信设备：**用于在设备之间发射和/或接收信息的一种短程通信设备。

**超宽带测量设备：**一种用于测量距离或位置的设备。

**医疗成像设备：**一种用于检测人或动物体内物体的位置或移动的传感器。

**位置遥感和跟踪：**安装于精确测定的位置的一个传感器网络，用于测量使用超宽带技术的远端设备的位置。

**车载雷达设备：**安装于陆地交通工具上的雷达设备，用于检测车辆附近的人或物的位置和移动。

**多功能设备：**用于实现多种超宽带应用（如雷达成像、车载雷达、位置遥感和跟踪以及通信功能）的设备，此类设备采用一个共用平台。

注1 - 《无线电规则》第1条中所定义的必要带宽、占用带宽、无用发射、带外域和杂散域等术语，通常与超宽带发射无关。

## 2 与超宽带有关的缩略词

DS-CDMA	直接序列码分多址
DSSS	直接序列展频
GPR	探地雷达
MB-OFDM	多频带正交频分复用
OFDM	正交频分复用
PPM	脉冲位置调制
PRF	脉冲重复频率
PSD	功率频谱密度
RBW	解析带宽
SRR	短程雷达
UWB	超宽带
WPAN	无线个人网

## 附件2

## 超宽带技术的一般特性

## 1 潜在的高密度用途

超宽带技术具有集成到多种应用的潜力，这些应用可使公众、消费者、企业和产业获益。例如，通过使用车载雷达设备，超宽带可集成到应用中来改进公共安全，用于碰撞防范、气囊激活和道路传感器、短程高数据速率通信设备、标签设备、液位检测器和传感器、监测设备、定位设备，并可在短距离替代有线高速数据连接。尽管多数使用超宽带技术的设备的运行功率极低，许多潜在的超宽带应用却可大大提高使用超宽带技术的设备在特定环境（如写字楼和商业中心）中的部署密度。

## 2 高数据速率

使用超宽带技术的设备能以极低的功率运行，并可支持多用户的高数据速率应用（如数据速率大于100Mbit/s的短程无线个人网（WPAN））。

## 3 安全通信

与非超宽带无线电通信信号相比，超宽带信号可能更为隐秘，也更难检测到。这是由于超宽带信号占用较大带宽，可变得类似噪声，并可以数百万计比特每秒的速率与一种独特的随机化时间码进行通信。每一比特一般表现为通常低于噪声等级的大量极低幅脉冲。这些特征可提高发射的安全性，但其检测（LPD）和截取概率（LPI）都很低。

## 4 强健通信

使用超宽带技术的设备通常具有较大的处理增益，这是衡量设备抗干扰强健性的一个指标。

## 5 通信系统容量

任何通信系统（包括超宽带系统）的理论系统容量均可通过香农关系算得：

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{\int P_d(f) df}{\int_B N_0 df} \right) \quad (1)$$

其中：

C: 信道容量 (bit/s)

- $B$ : 信道带宽 (Hz)
- $P_d(f)$ : 信号功率频谱密度 (W/Hz (或 dBm/Hz))
- $N_0$ : 噪声功率频谱密度 (W/Hz (或 dBm/Hz))。

香农关系表明：由于其带宽的关系，超宽带通信系统的理论信道容量非常大，不过其功率频谱密度很低且幅度有限。

## 6 超宽带功率频谱

基本脉冲位置调制生成的超宽带信号具有大量频谱峰值。可采用随机化来使信号更类似噪声。所发射的超宽带信号的功率频谱密度的波形，通常可以通过适当选择脉冲波形、调制技术、定时抖动以及用于将超宽带脉冲加以随机化的伪噪声代码序列加以控制。超宽带发射的频谱波形亦可由诸如天线之类的元件加以确定。

### 6.1 对大带宽的需求

与非超宽带发射不同的是，超宽带发射分布在较大的频率带宽上，为此需应对的挑战之一是寻找一个合适的频谱及引入超宽带应用的方法，且不对无线电通信业务造成干扰。

### 6.2 脉冲整形

脉冲整形可实现对超宽带发射的频率内容的控制，从而减少对无线电通信系统的干扰。很重要的一点是，超宽带通信的脉冲波形必须具有零平均值，原因是天线不能在零频率上辐射信号。在超宽带通信系统的设计中，可融入有创意的脉冲波形设计和多种调制方案。

### 6.3 超宽带调制

对超宽带脉冲而言，信息编码可采用脉冲位置调制（即二进制或多进制PPM）、脉冲幅度调制（即二进制或多进制PAM）、脉冲极性的双相调制（即BPM）、由一对正脉冲加负脉冲或负脉冲加正脉冲进行的调制，以及通断键控（OOK）。此外，也可以将上述调制方法结合使用。例如，现已证明混合的双相和PPM调制方案，可以消除UWB PSD的离散成分。

超宽带信号的发射包括脉冲整形、展频、调制和随机化。对UWB信号加以适当的混合调制和随机化，可使其频谱呈相加白高斯噪声状。选择UWB调制方案将影响辐射信号的功率频谱密度，继而影响无线电通信业务。应特别指出，PSD的离散成分的影响既可以缓解，也可以消除。

#### 6.3.1 脉冲位置调制（PPM）

PPM是一种UWB调制技术，可将数据表示为偏离基准时间的时移。二进制PPM是初期的热选，也较早地出现在超宽带通信的有关记载中。经PPM调制的超宽带信号可能包含不承载信息的离散频谱，且可造成干扰。通过伪噪声序列将脉冲位置随机化，便可大大减轻此类干扰，从而使频谱显著白化。这种PPM的随机化过程通常被称为跳时（TH）。另一种消除PPM超宽带信号干扰的方法是延长脉冲串周期，以减少PSD离散成分的出现频率。

脉冲位置调制的一种形式为多频带突发 (MB-I) 超宽带, 其中包括一种将频谱分为子频带的方法。持续时间很短的突发在若干子频带上以频率和跳时序列发送出去。数据的极性 or 双相调制则与时间频率跳跃突发共同使用。此外, 也可通过用突发来填充一个时间和频率矩阵的方法, 使用一种多维调制空间, 或也可以使用复杂而有效的 (对于  $E_b/N_0$ ) 相干检测调制。类似于噪声的信号质量源自时间频率跳跃。

### 6.3.2 双相调制

二进制相位调制使用一种特定的脉冲波形及其负波形来表示零和一。在免受多径干扰的环境中, 双相调制相对于PPM具有3至6 dB的优势, 且峰值功率和平均功率的比率小于3 (正弦波的此比率为2)。

### 6.3.3 脉冲幅度调制 (PAM)

PAM技术根据所要传输数据来改变所发射脉冲的幅度。在PAM调制设备中, 选择一组幅度来代表所要传输数据, 平均值为零的任意波形脉冲的幅度可在 $\pm 1$ 的偏差 (二进制信令) 或在 $M$ 偏差 ( $M$ 进制PAM) 范围内调制。可采用非相干技术解调PAM信号。

### 6.3.4 通断键控 (OOK) 调制

OOK是PAM超宽带调制的一个特例, 其中一个时隙内脉冲的有无代表一或零。

### 6.3.5 线性调制的超宽带

在线性调制的特定脉冲间隔内, 载频扫过极宽频带。按照设备要求, 用于数据编码的扫描模式可为线性或非线性。

### 6.3.6 由一对极性相反的偶极子进行的调制

由正脉冲加负脉冲 (或反之) 组成的偶极子可提供另一种形式的调制。此类调制的一个好处是可在偶极子的两个脉冲之间进行分离选择, 而偶极子之间的时间分离可使频谱整形, 起到减轻干扰的作用。

### 6.3.7 直接序列和直接序列码分多址 (DS-CDMA) 超宽带

直接序列超宽带 (DS-UWB) 采用脉冲的高占空比极性编码序列, 以数百兆比至千兆比每秒乃至更高速率进行数据编码。对固定脉冲速率而言, 一个比特以多个脉冲来表示, 从而以每比特的能量换取数据速率。DS-UWB的超宽带带宽是各码片的次纳秒脉冲持续时间的函数。超宽带信号类似噪声, 其检测概率和截取概率都很低。对保证多径环境中的高性能而言, 为DS-UWB设计一种较好的展频码是至关重要的。在DS-CDMA中, 多个用户可利用适当代码来同时共享同一频谱。

## 6.4 多频带调制和多用户技术

### 6.4.1 多频带正交频分复用 (MB-OFDM)

MB-OFDM将频谱划分为若干子频带。数据采用时间频率码 (TFC) 在带上传送。在每一子频带内采用一种OFDM调制机制来传送信息。

### 6.4.2 用于多频带的跳频 (FH-UWB)

在FH-UWB中, 信号可在短时间内分布到若干频带中的一个。这种在频带间的跳跃是根据一种预定模式 (统一或非统一) 进行的。

多频带系统可遵循以周期性序列在不同频带中传送不同符号的原则, 这与跳频十分类似。可通过修改跳频速率、符号和频带数量来实施不同的操作模式。

### 6.4.3 用于多频带的时分复用频率调制

时分复用频率调制是类似于跳频的一种调制机制, 因为它采用多频带, 但由于频带间的关系而又有所差异。其主要优点是可以增加每个符号的比特数目, 从而降低符号码率。这可以减少延迟分布带来的符号间干扰效应。

### 6.4.4 用于多频带的跨频带灵活多址接入

多微微网无线个人局域网的跨频带灵活超宽带多址接入机制, 采用特别设计的编码和解码矩阵, 以获得相对于多用户干扰 (MUI) 的弹性, 适应各种展频方案, 同时实现完全的多径分集以及可扩展的频谱效率 (从低到中再到高数据速率)。

## 7 公共信令模式 (CSM)

CSM是一种可选方法, 采用不同超宽带技术的设备可以据此协调各自的活动, 并有可能减轻它们对开展无线电通信业务的系统的影响。

## 8 多径效应

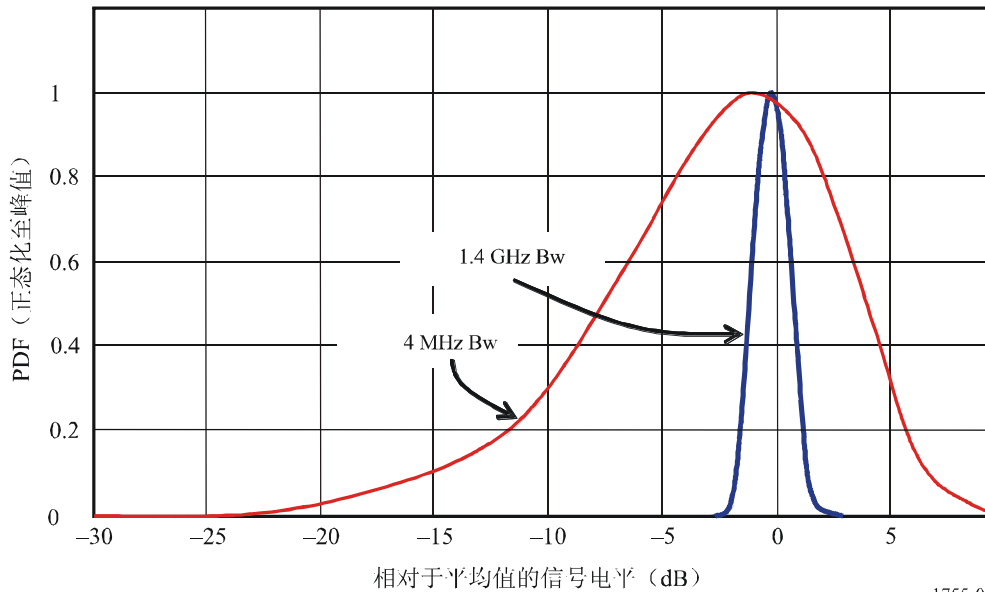
在室内环境中, 需要较宽的传输带宽来克服多径衰落。在此环境中, 在不同多径反射间分布的延迟将很小, 因此信道的相干带宽会很大。因此, 超宽带通信设备可在室内环境中抵御多径衰落, 因为它们具有很宽的传输带宽, 因此可在接收机中来解析间隔较近的多径成分。

图1比较了带宽为4MHz和1.4GHz的信号的多径衰落信号统计数据。相对于平均信号电平而言, 带宽较大的信号呈现较低的深衰落概率。



图1

一个0.7纳秒超宽带脉冲（1.4GHz带宽）  
和一个4MHz窄带信号的概率密度函数



1755-01

在传播期间，一个子纳秒脉冲被分散开来，这可能在频率域中导致瑞利衰落。然而，上述每个反射均为一个独立信号，故随后可用一部耙式接收机相干地增加从各多径成分中收到的各脉冲的能量，为单个路径的接收提供增益。

## 9 成像和定位能力

超宽带发射可穿越墙壁和障碍物，并提供高精度定位能力。这些特性也可用于探测人或物体的移动。例如，执法部门、救援和消防机构可利用雷达成像应用，在出现营救人员、火灾、楼宇倒塌或雪崩等情况时，探测到藏于墙后或埋在废墟下的人员。在医院和诊所中，超宽带可用于多种医疗应用，以获得人或动物体内器官的影像。超宽带还可用于以下应用：

- 用于矿藏、金属或非金属管道、墙内电缆和塑料地雷等物体的定位；
- 测量湖面结冰的厚度以及机场跑道的状况；
- 用于法医和考古研究；
- 探查桥梁和公路的裂痕。

## 附件3

## 使用超宽带技术的设备的技术和操作特性

## 1 操作特性

超宽带技术可集成到许多应用中。部分超宽带设备可支持多个应用。表1列出了各种超宽带应用大致类别及其操作特性。

表1  
应用的操作特性

超宽带应用	操作特性
1 雷达成像	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 一般由专业人士在偶然情况下少量使用</li> <li>- 仅用于特定位置或地理区域</li> </ul>
探地雷达	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 由专业人士不定期偶用于特定场所</li> <li>- 某一特定应用可能配置在道路上连续移动工作的有限数量的设备</li> <li>- 发射方向指向地面</li> </ul>
墙壁雷达成像	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 不定期地偶然使用</li> <li>- 专业用户：多为工程师、设计员和建筑行业的专业人士</li> <li>- 发射方向为指向墙壁</li> <li>- 设备在工作时一般直接与墙壁接触，以实现测量解析和灵敏度的最大化</li> </ul>
穿墙雷达成像	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 设备为便携设备</li> <li>- 由受过训练的人士使用：一般为警察、应急团队、安保部门和军方</li> <li>- 不定期地偶然使用</li> <li>- 少量部署</li> <li>- 发射方向为指向墙壁</li> <li>- 设备可在距离墙壁的一定距离处工作，以便在出现敌对行为时尽可能保证操作安全</li> </ul>

表1（完）

超宽带应用	操作特性
医疗成像	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 可用于获取人或动物体内影像的各种医疗应用</li> <li>- 由受过训练的人士偶然在室内固定状态下使用</li> <li>- 发射方向为指向身体</li> </ul>
2 监测	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 通过设立固定射频圆周场并检测侵入磁场的人或物体来作为“安全防护栏”使用</li> <li>- 以固定方式在室外和室内连续使用</li> </ul>
3 车载雷达	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 在移动状态下使用</li> <li>- 在公路和主要道路上可能会得到高密度使用</li> <li>- 仅用于地面交通</li> <li>- 发射一般为水平方向</li> </ul>
4 测量	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 在室内/室外固定使用</li> </ul>
5 位置遥感和跟踪	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 一般为固定基础设施；多为固定使用</li> <li>- 发射机总是处于主动控制之下</li> </ul>
6 通信	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 在某些室内环境（如写字楼）中可能得到高密度使用</li> <li>- 某些应用会在偶然情况下得到使用，如超宽带无线鼠标；其他应用则会在更高比例的时间内运行，如视频链路</li> <li>- 也可用于室外</li> </ul>

### 1.1 探地雷达的操作特性

表2为目前市场上可见的一些超宽带探地雷达（GPR）设备的操作特性范例。

表2

#### 一些超宽带探地雷达设备的操作特性

	设备A、D、E和F	设备B和C
操作和控制	远程或计算机触发	远程或计算机触发
操作高度	地下耦合 $R \approx 0$ 米	地下耦合 $R \approx 0$ 米及偶然离地至 $< 1$ 米
部署模式	一般为俯瞰	一般为俯瞰，有时用于墙壁
用户类型	一般为顾问、专业人士 或研究人员	一般为顾问、专业人士 或研究人员
使用模式	偶然用于特定位置	偶然用于特定位置

## 2 超宽带设备的技术特性

### 2.1 通信设备和测量系统

表3为三种现有通信设备的范例特性。

表3  
一些超宽带通信设备的特性

	设备G	设备H	设备I
最大平均等效全向辐射功率 (dBm/1 MHz)	-41.3	-41.3	-41.3
-20dB和-10dB的低频 (GHz)	3.1, 3.6	≥ 3.1 (-10dB下降)	3.1, 3.6
-10dB和-20dB的高频 (GHz)	9.6, 10.1	≤ 10.6 (-10dB下降)	9.6, 10.1
天线模式	全向	全向	全向
脉冲速率 (Mpps)	> 500	≥ 1	> 1 000
比特率 (Mbit/s)	≤ 100	≤ 40	≤ 500
范围 (米)	~10	< 100	4-10
960至1 610MHz时的最大平均等效全向 辐射功率 (dBm/1 kHz)	≤ -90	≤ -85.3	≤ -90
960至1 610MHz时的最大平均等效全向 辐射功率 (dBm/1 kHz)	< -90	≤ -75.3	≤ -90
1 610至3 100MHz时的最大平均等效全向 辐射功率 (dBm/1 MHz)	< -63.3	≤ -53.3	≤ -63.3

设备G用于办公或家庭内部的应用，其数据传输速率为100兆比特/秒，此外亦可用于不使用固定基础设施的室外手持设备之间的操作。此类应用包括个人数字助理或笔记本电脑之间的链路。在无线局域网中，它可在视频系统的部件之间承载多个数字视频信号，如数码摄像机和计算机之间、有线机顶盒与电视之间或高端等离子显示器和DVD播放器之间。

设备H是一种面向工业、商业和消费者应用的室内多用途设备，此类应用要求提供通信、精准定位或雷达遥测等相关设施。此设备可配置为在一个数据速率范围内操作。操作范围取决于数据速率。

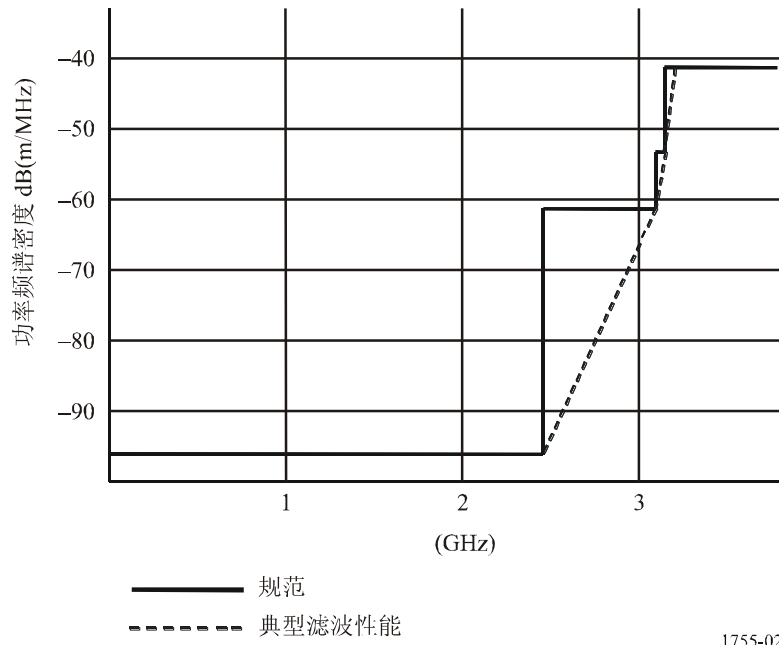
设备I用于数据传输速率最高为500兆比特/秒的办公或家庭内部应用的操作。这些具有较高数据速率的设备可为许多与设备G情况相同的应用提供无线连接，但也可为如USB或IEEE 1394一类的高速有线连接提供一种备选的无线电缆。

图2和3为另外两种设备的频谱波罩范例。

设备J用于数据传输速率高达480兆比特/秒的办公和家庭应用。针对此设备的规范要求配备近距离发射频谱波罩和接收机预选滤波器。发射频谱整形在数字域内进行，而接收机预选滤波器为一种射频部件。由于此设备为时分双工，故此预选滤波器亦可用于过滤所发射的信号。图2为应用于-41.3dBm/MHz带内功率频谱密度的上述两种滤波器特性共同作用的结果。

图2

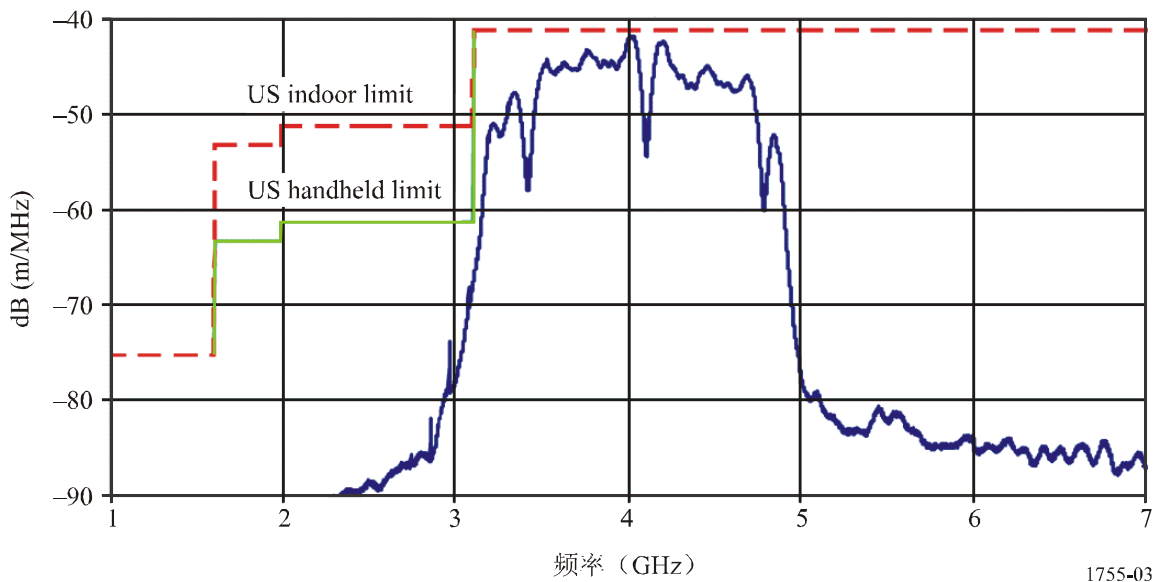
超宽带设备J的频谱波罩计算结果



设备K用于最高数据传输速率为480兆比特/秒的办公和家庭应用。图3为此设备发射频谱的测量结果。

图3

超宽带设备K的发射频谱测量结果



## 2.2 车载雷达系统

表4所示特性为现有产品的范例。使用超宽带技术的车载雷达设备在比超宽带通信设备所用频带更高的频带内工作。这些设备可检测车辆附近物体的位置和移动情况，并实现可对路面状况作出更好响应的功能，如近距离防撞、气囊激活的改进以及悬挂装置等。车载雷达在一个定义较为完善的频率范围内发射超宽带信号。

表4  
现有超宽带车载雷达设备的特性范例

参数	取值
中心频率 (GHz)	~24.125
最大等效全向辐射功率密度 (dBm/1 MHz)	-41.3
-20dB的占用带宽 (GHz)	22.125 至 26.125
脉冲重复频率 (MHz)	0.1-5
最大峰值功率 (等效全向辐射功率) (dBm/50 MHz)	0
天线模式	定向
安装高度 (米)	~0.50
范围 (米)	~20
目标间隔 (厘米)	15-25

在计算车载雷达的影响时，应考虑峰值车辆密度、达到上述密度的地面比例以及超宽带车载雷达未来的市场普及率。

## 2.3 穿地雷达 (GPR) 系统

穿地雷达设备用于绘制地下结构。尽管主要用于“地下”测量，但“地面”这一术语的含义可扩展到任何有损耗的介质材料。GPR亦指基带或脉冲雷达。GPR信号和设备的特性可总结如下：

- GPR测量原位地下材料的物理属性（即：电容率、传导性或渗透性）。这些在1-2 000MHz频率范围内出现的原位属性很难用其他方法测得。
- GPR测量旨在检测地下特征。空发信号为无用信号，为尽可能减少经由空气传送且污染有用测量的信号，目前正在尽最大可能开展相关工作。
- GPR设备为地理工具集的一部分，多年来一直用于实际工作。因装置数量较少，且一直坚持减少空射信号，故此方面的干扰已不足为虑。
- GPR设备在操作时占空比较低。实际测量中的一种常见的情况是：操作占空比为10%至1%，之后为一段较长的不使用周期，再以后进入下一测量位置或开始计划下一测量序列。

- GPR的使用机会不多，且使用位置亦不断发生变化。这些因素进一步减少了对无线电通信业务造成干扰的概率。
- GPR不同于穿墙雷达成像设备。典型的GPR墙壁应用涉及对结构内层的检测，如桥墩、隧道内层和混凝土墙壁。GPR信号分散在材料内部。穿墙雷达成像设备可向墙壁另一侧的空气发射信号。
- 随着GPR中心频率的降低，峰值功率频谱密度将增大，但平均功率频谱密度则不随之增大。随着频率的降低，脉冲重复频率（PRF）通常也会降低，而平均功率则基本保持不变。
- 低频（地理）GPR用于偏远地区，在此类地区对无线电通信业务造成干扰的可能性较小。
- 为实现理想的解析结果，GPR应务必使用带宽较大的宽带信号。

表5为目前市场上可见的一些超宽带GPR设备的操作特性范例。（此类设备的操作特性见第C.1.1节。）

表5  
一些使用超宽带技术的GPR设备的特性

	设备A	设备B	设备C	设备D	设备E	设备F
准峰值等效全向辐射功率 (dBm/120 kHz)	-65	-59	-59	-57	-57	-55
平均等效全向辐射功率 (dBm/1 MHz)	N/A	N/A	-68	N/A	N/A	N/A
-10dB时的低频 (MHz)	120	185	317	19	18	17
-10dB时的高频 (MHz)	580	840	1 437	79	125	202
天线模式	偶极地下耦合。定向向下	偶极地下耦合。定向向下	偶极地下耦合。定向向下	偶极地下耦合。定向向下	偶极地下耦合。定向向下	偶极地下耦合。定向向下
脉冲重复频率 (kHz)	可变，最大为100	可变，最大为100	可变，最大为100	可变，最大为100	可变，最大为100	可变，最大为100
范围（米）	0至5	0至2.5	0至2	0至20	1至10	0至5

### 3 使用超宽带技术的设备的激活因子

在对使用超宽带技术的多部设备在不同部署情形应用激活因子时，应考虑技术普及率、峰值使用率、使用频率和其他与部署有关的因素（包括竞争技术（有线、红外线等）的普及率）。

### 3.1 24GHz车载短程雷达（SRR）设备的激活因子和技术普及情况

本节推导得出的短程雷达激活因子将用来确定来自配备使用超宽带技术的SRR设备的大量车辆的总干扰。

计算此总干扰水平时所依赖的部署模型应考虑不同操作模式及并非所有SRR设备均同时操作的事实。

#### 3.1.1 脉冲设备、脉冲门和激活因子

脉冲SRR设备不能连续操作，原因是其固有的操作原则令典型波峰因数<sup>3</sup>超过20dB。

第3.1.2至3.1.4节介绍了影响设备激活因子的SRR操作模式。

#### 3.1.2 短程雷达操作模式

对短程雷达（SRR）而言，激活因子包括长关闭周期（如在某些驾驶情形下未使用全部传感器）及短关闭周期。

SRR设备的几种操作模式会使平均功率降低，故在推导激活因子时需将此类因素考虑在内：

- **SRR关闭**：根据车辆内控制设备的情况，SRR设备可在车辆停止时间超过一定预设间隔时自动关闭（如遇到交通信号灯或在铁路叉路口）。在有些车辆中，发动机和SRR设备可能都会关闭，而在其它车辆中，发动机可能继续工作，但一些或全部SRR设备可能会关闭。<sup>4</sup>
- **减小的脉冲重复频率**：辅助泊车和低速行驶状况下的车辆起停巡航控制应用可在PRF减小时运行，原因是此时车辆低速行驶且交通状况的变化较为缓慢。PRF的此类减小将成比例地降低SRR群组设备的平均功率。在这种情况下，标称PRF指的是SRR设备达到最大允许平均功率时的频率。根据路况的动态变化，一些应用将在较低的PRF上运行或以较长的休止周期运行。上述两种效果均会降低发射的平均功率。这种平均功率的降低可以通过激活因子来表示。
- **非超宽带模式**：目前的多数传感器亦可在24.00至24.25GHz频带内非超宽带模式下的某些驾驶情形中操作。非超宽带模式可以是此频率范围内的窄带模式或多普勒模式（连续波模式）。

采用非超宽带SRR模式的原因是一些车载应用或驾驶情形不需要太高的目标间隔能力（这使所占用的带宽大大减小），或需要更长的检测范围（这要求发射功率更高，而只有此频带或可满足要求）。SRR设备可在宽带模式或窄带模式间切换。当SRR设备在非超宽带模式下操作时，其发射并不被视为超宽带发射。

<sup>3</sup> 波峰因数（CF）的定义为： $CF = 10 \log(P_{pk}/P_{rms})$ ， $P_{pk}$ ：峰值功率  $P_{rms}$ ：平均功率。

<sup>4</sup> 一些低油耗汽车品牌已使用此技术。



- 部分频率范围和多频带超宽带操作：当SRR设备共享可用的频率范围时，将有可能进一步降低SRR群组的总平均功率，此时每部SRR设备使用相应频带内的不同频段。在此情况下，通过改变频带内不同频段的频率，可减轻对无线电通信业务的干扰。

### 3.1.3 不同SRR操作模式的激活因子典型值的估算

表6对不同驾驶情形下不同操作模式的SRR激活因子进行了估算。

表6

所有操作模式下的激活因子估算

驾驶情形	操作模式				所有操作模式的激活因子 <sup>4</sup>	所出现的驾驶情形占驾驶时间的百分比	所有操作模式的激活因子经所出现的驾驶情形加权
	“SRR关闭”模式	“PRF降低”模式 (PRF从100%减至10%)		“非超宽带”模式			
	SRR打开 <sup>1</sup> 时间占驾驶时间的百分比 (=第1个激活因子)	PRF完全 <sup>2</sup> 时间 <sup>2</sup> 占驾驶时间的百分比	此模式的激活因子 <sup>3</sup> (=第2个激活因子)	超宽带模式 时间占驾驶时间的百分比 (=第3个激活因子)			
公路，移动交通流	100	80	82	60	49.2	55.00	27.06
公路，缓慢交通流	100	100	100	80	80.0	10.00	8.00
城区驾驶	70	80	82	70	40.2	35.00	14.06
城区，前进泊车	100	0	10	100	10.0	0.05	0.01
城区，后退泊车	100	0	10	100	10.0	0.05	0.01
					最终激活因子 (%)		<b>49.1</b>

<sup>1</sup> SRR打开时间=100% – SRR关闭。

<sup>2</sup> PRF完全时间=100% – PRF减小的时间。

<sup>3</sup> 激活因子= (PRF完全的时间\*100%) + (100% – PRF完全的时间\*10%)。

<sup>4</sup> =第1个至第3个激活因子的乘积。

注1 – 表6中的数字为编制此表时的估算值。主管部门可在研究时针对上述因子作自行分析。

计算结果表明：使用不同操作模式所得的总激活因子约为50%，这将使功率降低3dB。

### 3.1.4 技术普及估计

对24GHz超宽带SRR设备所提供的一些功能而言，未来将会有一些备选技术，其中包括79GHz超宽带SRR设备（可酌情使用）、红外线、超声波和闭路视频设备。在24GHz频带内，使用超宽带技术的SRR设备实现100%的普及率是不现实的。更有可能的情况是：最终普及率将稳定在一个较小的百分比。

表7对24GHz SRR的普及率及其竞争技术进行了评价。

表7

## 短程雷达的技术普及估计

技术	技术普及率 (%)		
	欧洲/2013	欧洲/2030	美国/2030
24GHz超宽带SRR传感器	7	0	40
79GHz超宽带SRR传感器	1	55	0
窄带SRR传感器 (如24.00-24.25GHz频带)	20	10	10
红外线和超声波传感器	15	15	15
照相传感器	2	10	10
未配备短程雷达的车辆	55	10	25

注1 - 表7中的数字为2005年的估算数字。主管部门在研究时可针对上述因子作自行分析。

从长远来看（2030年），可假设超宽带SRR技术将达到约55%的普及率。若国家监管机构未作强制性规定，则SRR超宽带技术在24GHz频带的普及率应可达到约40%。须指出，欧洲法规规定24GHz SRR在2013年后方可进入市场，并将其在车辆部署方面的普及率限制在7%。

即使在SRR面世多年以后，仍有相当数量的汽车将根本不会配备短程雷达。这方面可以参照许多其它汽车技术在推出时的历程。即使在未来几年后所有新车均配备此类雷达，也需花15年才可实现近100%的车载密度。这一普及率是基于一种不现实的假设，即在此期间不会再开发任何其它汽车安全技术。

24GHz超宽带SRR实现7%或40%的普及率所对应的干扰减轻因子分别为11.5dB和4dB。

### 3.2 位置遥感和跟踪系统的激活因子描述

在正常的办公部署环境中（如医院或办公室），预期工作发射机的密度将可达到大约每200平方米一部。大范围的部署则使用蜂窝结构，不同小区的超宽带发射机将使用不同超宽带信道。若两部超宽带发射机由同一小区管理，则系统将通过使用时间资源分享方案来确保两部发射机不会同时工作。

一个典型超宽带操作的位置标签将发射一个周期的信号，随后的一个周期则不再发射信号。不发射的周期取决于其工作的繁忙程度，这可能因应用类型的不同而有差异。例如，由人携带的标签可能每秒发射一个信号（即占空比为每秒24毫秒或2.4%），而放置在一部设备上的标签则可能每10秒才发射一个信号（即占空比为0.24%）。标签的发射频率将会有个上限，在此上限占空比最大。对不常移动的设备而言（如每周移动一次），占空比通常比上述数字小很多。

### 3.3 使用超宽带技术的通信设备的激活因子

本节推算了使用超宽带技术的通信设备的激活因子。在推算时考虑了几种模拟情形：

- 大量发射机对（地面或卫星）受害接收机所发射的累计功率。
- “热点”功率集中于一部受害接收机。
- 一个群组中的个别发射机对附近受害接收机产生的干扰。
- 使用超宽带技术的设备与竞争技术（有线、红外线等）的市场普及比较。

为研究大量设备对无线电电信业务产生的影响，有必要确定使用超宽带技术的设备的总工作时间或“空中通讯”时间。若干扰主要来自距离最近的使用超宽带技术的设备（而非累计效应），则在作干扰研究时不宜使用平均干扰因子。对此类研究而言，需收集足够信息才可有效建立相关的行为模型。

以下总激活因子的推算采用了以下假设：

- 假设超宽带等效全向辐射功率密度为-41.3dBm/MHz。
- 使用超宽带技术的设备未使用室外基础设施。
- 在进行室外评价时未考虑任何室外监测设备。
- 有关分析针对无线个人网（WPAN）和类似的高数据速率应用
- 在所考虑的各种情形下，流视频应用在超宽带应用中所占的比例高达95%以上。

我们推算了使用超宽带技术的多部设备的总激活因子的峰值，在此过程中考虑了超宽带市场的最高估算普及率、峰值使用率、使用频率以及与部署有关的其他因素，包括市场用户的增长及备选技术的市场份额。

预测未来的激活因子是一项极具挑战性的工作，原因是它要求预测用户在未来对技术的采纳情况，而这要受制于诸多变量（如竞争技术）。为此，我们将激活因子表达为在上述主要假设基础上的一个值域。

#### 3.3.1 室内通信设备的激活因子

- 1-5%的激活因子，在总人口中平均。
- 可能增大激活因子的因素：
  - 未编码或最少编码视频用户数的增加。此1-5%的值域假设所使用的最少编码视频的数量最少。若未编码视频成为主流，则激活因子将增大。
  - 使用超宽带技术的视频传输设备的市场普及率的增大。

- 可能减小激活因子的因素：
  - 所用压缩技术效率的提高—高级压缩技术进入市场，如MPEG4和DVM便具有减小激活因子的潜力。
  - 使用超宽带技术的视频传输设备的市场普及率的减小。

### 3.3.2 室外通信设备的激活因子

室外的总激活因子远小于室内因子，其主要原因是对室外应用尚无法提供较高数据速率的流视频源。超宽带在室外主要用于文件传送和低数据速率的流应用。

- 0.01-0.02%的激活因子，在总人口中平均。
- 室外激活因子的增减取决于超宽带在手持设备中的普及情况。

### 3.4 其他使用超宽带技术的设备的激活因子

表8为使用超宽带技术的设备针对不同应用的激活因子。

表8

超宽带应用	典型激活因子 (%)
穿地雷达	< 1
医疗成像系统	< 1
其他雷达成像系统（墙壁、穿墙等）	1
监测系统	50