

**ITU-R**

国际电联无线电通信部门

**ITU-R SM.2423-0**报告

(06/2018)

工作于SRD操作频率范围、  
适用于机器式通信与物联网的  
低功率广域网的技术和操作问题

**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
<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>	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.2423-0报告

工作于SRD操作频率范围、适用于  
机器式通信与物联网的低功率广域网的技术和操作问题

(2018年)

## 1 引言

已经在低功率广域网（LPWAN）的通用名称下开发了一种新型无线系统，其可以在短距离设备（SRD）的规则下运行。这些创新补充了现有无线解决方案的范围。LPWAN系统不依赖于单独的技术，而是依赖于低功率、广域网技术集群，这些技术可能是专有的或开放的标准。

这些新系统能帮助解决大量设备每天只需传输少量消息的环境下广泛应用带来的挑战。本报告的第4节详细介绍了LPWAN针对的应用，诸如与智慧城市、制造业、家庭自动化、环境和农业、运输与物流、能源及公共事业相关的应用。

这些解决方案有大量通用的技术和操作特性，因而适于促进大规模机器式通信（MTC）和物联网应用的发展。

本报告的第5.1节详细介绍了技术问题，包括常见的频谱接入技术、扁平网络架构以及在超低速度下每天传输几次的帧大小。

本报告的第5.2节详细介绍了可以使具有相对较低输出功率水平的低成本无线电设备进行大量连接，以提供平均数千米的连接，同时保持更长电池寿命的LPWAN操作性能。

为了响应ITU-R第66号决议“对用于物联网（IoT）发展的无线系统和应用的研究”，本报告提供了MTC的LPWAN的技术和操作问题以及用于SRD操作的协调频率范围内的物联网。

## 2 相关的ITU-R决议、建议书和报告

- ITU-R第54号决议“实现短距离设备协调的研究”
- ITU-R第66号决议“对用于物联网（IoT）发展的无线系统和应用的研究”
- ITU-R SM.1896建议书 – 短距离设备的协调频率范围
- ITU-R SM.2153-5报告 – SRD的技术和操作参数以及频谱使用

## 3 缩略语

- AFA 自适应频率捷变
- APC 自适应功率控制

APT	亚太电信组织
CEPT	邮政和电信管理局会议
CFR	美国联邦法规（美利坚合众国）
CSS	线性调频扩频
DL	从接入站到设备的下行链路通信
ETSI	欧洲电信标准化协会
IETF	互联网工程任务组
ISM	工业、科学和医疗
IoT	物联网
LPD	低功率设备
LIPD	低干扰电平设备
LPWAN	低功率广域网
LTN	低吞吐量网络
M2M	机对机
MTC	机器式通信
mMTC	大规模机器式通信
RFID	射频识别
SDR	软件定义无线电
SDO	标准化发展组织
SRD	短距离设备
UL	从设备到接入站的上行链路通信
UNB	超窄带
xPON	无源光网络

#### 4 基于LPWAN系统的物联网应用

LPWAN可支持不同的物理设备连接至物联网网络，以优化城市运转和服务的效率，并与市民建立良好的联系。在可预见的扇区应用中，在低吞吐量网络（LTN）、LPWAN传感器和控制网络的子集方面，ETSI TR 103 249 V1.1.1（2017-10）也描述了由LPWAN系统覆盖的典型使用案例的范围。

一些基于现有LPWAN解决方案的使用案例如下所示：

##### – 交通和运输系统管理

LPWAN可以支持战略化地部署带有传感器的设备，以24×7为基础检测灯的工作状态，最大限度地减少拥堵或事故的发生。

##### – 供水系统

LPWAN可以通过检测泄漏和溢出来支持传感器/设备解决城市供水系统中出现的故障或发现过时的基础设施，并通知当局。

– **公共照明**

LPWAN技术可被用于智能公共照明网络管理，并通过将信息/道路交通事故场景/路障信息转发到附近地点来加强安全考虑。

– **智能停车系统**

LPWAN可通过向用户通知附近可用的停车位，来实现对于市政停车场和区域的最佳利用。

– **污染监测器**

对于大量涌现的环境污染，LPWAN技术能通过智能地放置传感器通知相关人员当地污染监测器监测到的情况来维持生态平衡。在发电厂和重工业园区附近，这些设备能追踪监测环境能源的整体消耗/浪费。

– **垃圾箱管理**

当垃圾箱满了或需要被清空时，LPWAN可以通过智能传感器检测垃圾箱内的填充率以帮助进行适当的垃圾管理。这些传感器还能收集公众丢弃的垃圾类型的数据。

– **智能货运和库存管理**

LPWAN驱动的传感器可成为智能库存系统的便捷性补充（即，置于货运车辆和它们携带库存的港口之间）。这些传感器将传递有关货运车辆位置和库存状态的定期更新信息。当货运车辆需要维修或保养时，LPWAN也能通知运营商这些信息。

– **火灾检测系统**

LPWAN技术驱动的火灾报警器和传感器可迅速向当地消防部门发出紧急通知，以通知其提供救助并限制损害范围。

– **连接消防栓**

这些设备有助于检测有缺陷的消防栓和无法正常工作的消防栓。他们还可以监测消防栓的用水情况。

– **城市绿地管理**

土壤湿度、土壤温度，室外温度传感器优化了公共绿地的管理，减少了耗水量。

– **能源消耗**

监测系统能更准确、频繁地计费。

– **牲畜管理**

畜牧场的本地化系统提供监测和可追溯性能力，检测由于温度、活动、行为和牲畜产犊等变化引起的异常。

– **智能灌溉**

减少耗水量，促进灌溉的发展，以获得畅销产品并减少产品损耗。

– **包裹拾取服务**

放置在信箱内的智能按钮可以通知邮递员已经收到了一个包裹，并允许顾客从家里寄送包裹。

– **工业资产管理系统**

工厂和供应商网点之间的备件跟踪。

#### – 铁路道口栅栏的电池管理

该解决方案降低了关键性资产的服务失效率。设备维修工可立即被通知备用电源上任何检测到的事件。

#### – 被盗车辆追踪

通过隐藏的GPS跟踪装置定位并追回被盗车辆。

### 5 LPWAN的技术和操作问题

#### 5.1 技术问题

以下各节列出了LPWAN适用于大量物联网使用案例的主要技术共性。以下典型值来自LPWAN系统在全球范围内运行的标准和规则（即ETSI EN 300 220、47 CFR 15.247等）。

##### 5.1.1 发射接收机参数

#### – 发射机输出功率/辐射功率

LPWAN系统通过网关和接入站连接物体和设备。所有系统并不总是平衡的，等效全向辐射功率根据技术和系统中每个发射机的作用而变化。

对于接入站而言，典型值范围（e.i.r.p.）介于200 mW至4 W；对于终端设备而言，典型值范围介于5 mW至500 mW。

#### – 天线特性

多数发射机使用全向天线。典型值范围介于0 dBi至6 dBi。

#### – 发射类别

没有用于LPWAN系统的特定发射类别。多数系统使用复杂或组合式数字调制。

#### – 调制带宽

该参数取决于使用的技术。调制带宽的典型值介于100 Hz至500 kHz。

#### – 无用发射

低功率设备（LPD）需遵从相关规则和标准规定的无用发射。ITU区域的典型限制基于ITU-R SM.329建议书，ITU-R SM.2153报告 – 短距离无线电通信设备的技术和操作参数对其进行了进一步描述。这些限制应该根据相邻频段中的服务和系统分配来定义。

#### – 接收机灵敏度

LPWAN系统具有极高的灵敏度（即100 Hz为-140 dBm），可以帮助低功率设备和装置提供长距离通信。这是LPWAN系统的一个关键特性，取决于下述各种技术：

超窄带（UNB）解决方案，其中高选择性滤波与较窄的信号带宽相结合，提高了灵敏度阈值（参见ETSI TR 103 435 V1.1.1）。

直接扩频或线性调频扩频（CSS）技术由于扩频因子的编码增益（参见ETSI TR 103 526 V1.1.1），将灵敏度水平降低至本底噪声以下。

### 5.1.2 频谱接入技术

LPWAN系统多用于支持大量具有低吞吐量要求的物联网使用案例。LPWAN的频谱接入应遵守短距离设备规则，这些规则通常被认为是免许可的，具有针对不同应用的特定访问条件。

除了通常用于短距离设备的频谱管理技术，LPWAN系统也可采用使用系统设计机制的随机接入技术以最大化系统间的共享，并优化业务容量和服务质量。

确保所有LPWAN用户之间适当共享的机制或限制通常是“占空比”限制，范围从1%到10%，“自适应频率捷变”系统依赖于频谱感知或“先听后说”，还有“跳频”功能。

与时间和频率分集相结合的软件定义无线电（SDR）性能也经常用于接入站以增强业务容量管理和服务质量。

### 5.1.3 接入站功能

网关功能通常在接入站和核心基础设施之间划分。

接入站部署于设备和通信网络之间，可采用不同的通信技术（例如，3G、4G、xPON、Wi-Fi和以太网）来将传输数据至LPWAN核心网络。它们支持设备和通信网络之间的通信桥接，以及与通信网络和SRD交互的多种通信技术。

此主要功能由附加性能补充，这些功能有助于系统中的端到端安全性和识别特征的实现。

## 5.2 操作问题

### 5.2.1 大量连接

LPWAN系统的典型拓扑是星型拓扑，其中数十万的设备在服务的给定区域连接至一个接入站。LPWAN的预期节点密度如下：

- 设备：每平方千米高达10万个终端设备；
- 接入站：典型地，每10平方千米1个（或每平方千米0.1个）。

LPWAN系统用于承载每个设备的低流量，通常每个方向每天高达1 kbyte的用户数据：从设备到接入站的上行链路，以及从接入站到设备的下行链路。

数据流的类型取决于应用。表1提供了一些ETSI TR 103 249 V1.1.1 (2017-10)中关于LTN使用案例和系统特性的示例。

表1

LPWAN的业务特性示例

业务范围	详细需求	发射周期	有效载荷大小	通信
用水计量	索引传输	4/天 1/天	10 200	主要为UL
智慧城市	智能停车	分钟至小时	几字节	UL和DL
	污水治理	1/天至5/天	1-15字节	主要为UL
	枪击检测	不定期	10-100字节	UL
汽车制造	地理位置辅助	不定期	250-1 000字节	UL和DL
	超时驾驶	不定期	100-200字节	UL或UL+DL
	被盗车辆监测	1/分钟	10-20字节	主要为UL
电网监测	配电监测	1/小时	10-20字节	UL
	故障路径检测	一年一次	3字节	主要为UL
农业	土壤质量	1/天至4/天	每个传感器几字节	UL

为了缓解频谱拥塞或流量过载的风险，一些LPWAN系统可以使用频谱管理策略来改善其通信功能。

频谱适配功能包括诸如传输调度、自适应功率控制（APC）、数据速率自适应，频谱占用检测或干扰检测、自适应频率捷变（AFA）等特征。

### 5.2.2 广覆盖能力

物联网广泛应用于各行业部门，因此，LPWAN预期提供设备需要互联网接入的城乡地区覆盖。LPWAN使用数字无线电通信，即使设备中的低功率发射机也能提供高链路预算。该功能通过调制技术（例如UNB和CSS）可以提高灵敏度，并可通过SDR的实施实现增强。

### 5.2.3 能源效率和电池寿命

大量分散设备需要较长的电池寿命，以降低运营成本并确保提供长期服务。LPWAN最初设计用于优化电池消耗，以将电池供电设备的连接寿命最高延长至15年。设备功耗的优化通过使用低发射功率和降低睡眠模式下的协议开销来实现。使用“无附件”协议可以减少睡眠模式下的协议开销：设备在没有事先同步或连接到网络的情况下进行传输。接入站使用软件定义无线电来连续监听操作频谱。

### 5.2.4 降低复杂性并提高成本效益

LPWAN解决了物联网设备的大规模连接问题。这种类型的部署方案既要简单又要具备成本效益。开箱即用的连接、无需现场配置设备的负担，是LPWAN应用发展的关键推动因素。对于只能通过大量节点和/或传感器实现经济平衡的应用来说，设备的管理及其整个生命周期内的连接注册也是必需的。



## 6 关于LPWAN授权制度的考虑

LPWAN被设计在多个利益攸关方使用具有低干扰电平的相同频段（其他LPWAN、警报、射频识别等）的无线电环境下运行。出于此考量，LPWAN系统符合ITU-R SM.2153报告中关于SRD的定义，因为其提供单向或双向通信且对其他无线电设备造成干扰的能力较低。

LPWAN不需要对频谱进行独占接入，并可在非干扰和非保护的基础上在共享频谱环境中工作。

当不需要地理协调来确保无线电业务和系统之间的共存时，一般授权制度或许可证豁免通常适用。如果无线电设备符合频谱接入要求和操作条件，则此类制度授权任何利益攸关方接入频谱。一般授权方案将允许现场LPWAN应用使用频谱而无需保证单个许可证。在一些需要额外协调的情况下，可以使用轻许可证制度。

## 7 支持LPWAN操作的频谱考虑

### 7.1 所需的频谱类型

LPWAN所需的频谱要求根据使用的技术和业务环境变化。在基于UNB系统的LPWAN的情况下，ETSI TR 103 435表明，对于人口非常密集的城市区域，到2023年，上行链路通信所需的带宽估计为600 kHz，每天每平方千米可支持55 000条消息。下行链路也需要600 kHz的另一个频段。

市场和技术发展已经促使业界普遍支持在低于1 GHz以下的频段部署和运营LPWAN。这些频段提供传播特性，与更高频段相比，可以实现更好的区域覆盖和建筑物穿透。这些特性使得将MTC业务传输至人口稀少的地区和建筑物内部成为可能。

具体而言，设计运行于子GHz范围共享频谱环境的LPWAN解决方案，预期将在SRD频段中部署。与用于SRD的相同频谱接入技术和最低要求的实施适合支持大量低功率和低吞吐量设备。通过这种方式，能够提供创新服务并与其他技术共存的新型数字技术可以被部署在相同的频段中。

连接至LPWAN的多数设备使用与现有SRD市场上相同的芯片组生态系统和模块。这种共通性与现有的SRD频段区域协调相结合，使得LPWAN有助于促进制造业的规模经济的发展。

### 7.2 用于支持LPWAN实施的频率示例

频谱协调能带来许多社会经济方面的优势：

- 当在国外旅行时设备将具有更强的可靠性和电源效率；
- 提供更广泛的制造基础并加大装置量（市场全球化），从而实现规模经济和更广泛的设备提供；
- 为用户和解决方案供应商降低设备成本；
- 降低系统间出现有害干扰的风险。

ITU-R SM.1896建议书为短距离设备提供协调的频率范围。

ITU-R SM.2153报告为SRD提供技术和操作参数及频谱使用。

LPWAN系统目前部署SRD的区域协调频段如下。

– **国际电联1区**

在欧洲邮电管理委员会（CEPT）国家，多数LPWAN基础设施在865-870 MHz SRD频段运行。特别地，他们通过使用占空比限制这样的缓解技术依靠25 mW e.r.p.下的865-868.6 MHz频段及500 mW e.r.p.下的869.4-869.65 MHz频段。装置应符合ETSI EN 300 220的要求。

相同地，LPWAN系统在一些非洲和中东国家规定的条件下运行，这些国家已经实施了作用于865-870 MHz范围内的SRD法规。

– **国际电联2区**

在902-928 MHz频率范围内，通常启用发射功率高达4 W e.i.r.p.的未经许可的使用。示例见47 CFR 15.247。

– **国际电联3区**

LPWAN的部署是在特定国家的基础上实现的。近来，一些亚太地区的主管部门在不同频谱接入技术和标准的基础上授权915-925 MHz范围内的LPWAN业务，诸如日本的ARIB STD-T-108。

欧洲/CEPT最近研究了运行在900 MHz范围（917.3-919.4 MHz）内的SRD操作，并计划在2018年完成相关规则的制订，为国际电联三个区域各国的LPWAN系统提供可用于SRD的频段。

表2

## LPWAN频率使用示例

频率范围	相关建议书和报告	备注	1区	2区	3区
865-870 MHz	ITU-R SM.1896 建议书 ITU-R SM.2153 报告	整个频段可被看做调谐范围。 在一些国家，调谐范围只有部分可用于LPWAN操作，由于商业移动系统的使用或SRD应用范围的限制。见各国规则。	可用	不可用	在一些国家可用
902-915 MHz	ITU-R SM.1896 建议书 ITU-R SM.2153 报告	902-928 MHz是2区的ISM频段（《无线电规则》第5.150款）整个频段可被看作调谐范围。 由于商业移动系统的使用，该频段不能在包括2区在内的许多国家中用于LPWAN。	不可用	在一些国家可用	不可用
915-928 MHz	ITU-R SM.1896 建议书 ITU-R SM.2153 报告	902-928 MHz是2区的ISM频段（《无线电规则》第5.150款）。整个频段可被看作调谐范围。 在一些国家，调谐范围只有部分可用于LPWAN操作，由于商业移动系统的使用或SRD应用范围的限制。见各国规则。	在一些国家可用	可用	在一些国家可用