

NB-IOT技术揭秘

谷雨文档中心

<http://doc.iotxx.com>

2021-04-11

NB-IOT技术揭秘

首先快速预览了解一下NB-IOT的特性，专为低带宽、低功耗、远距离、大量连接的物联网应用而设计。

NB-IOT的核心特点如下：

- 海量连接：每小区可达5万连接
- 超低功耗：电池寿命长达十年
- 深度覆盖：能实现比 GSM 高 20db 的覆盖增益；
- 低成本：低速率低功耗低带宽带来的是低成本优势



1 物联网的差异化需求

一直以来，人们通过相应的终端（电脑、手机、平板等）使用网络服务，“个人”一直是网络的用户主体。个人对网络质量的要求“高”且“统一”：玩网络游戏必需要低时延，下载文件或看网络视频则期望高带宽，通话需要声音清晰，而接收的短信绝不能有遗漏。

对于移动通信网络，运营商们尽可能地维系着低时延、高带宽、广覆盖、随取随用的网络特性，以保证良好的用户体验，以及营造出丰富多姿的移动应用生态。

对于个人通信业务，虽然用户的要求很高，但整体上对网络质量的需求是一致的，运营商只需要建立一套网络质量标准体系来建设、优化网络，就能满足大多数人对连接的需要。

随着网络中用户终端（手机、PAD等）数量的增长逐渐趋缓，M2M应用成为了运营商网络业务的增长发力点，大量的M2M应用终端则成为了网络的用户。M2M应用终端（传感设备、智能终端），本质上就是物联网终端，它们通过装配无线通信模组和SIM卡，连接到运营商网络，从而构建出各类集中化、数字化的行业应用。

不同于个人通信业务，在物联网终端构建的行业应用中，各领域应用对信息采集、传递、计算的质量要求差异很大；系统和终端部署的环境也各不相同，特别是千差万别的工业环境；此外，企业在构建应用时，还需要考量技术限制（供电问题、终端体积等）和成本控制（包括建设成本和运营成本）。因此，千姿百态的行业应用具有“个性化”的一面，使得连接的需求朝着多样性的方向发展。

体现在两个方面：

一方面，不同的终端和应用对网络特性有不同的要求。传统的网络特性包括：网络接入的距离、上下行的网络带宽、移动性的支持、还有数据收发的频率（或称为周期性）、以及安全性和数据传输质量（完整性、稳定性、时效性等）。这几个方面可浓缩成三个方面，为“接入距离”、“网络特性”、“网络品质”。“接入距离”主要分为近距离接入和远距接入两种。网络的“特性”和“品质”则是体现需求差异化的主要因素，例如传感器终端的“网络特性”可能是：只有向云端发送的“上行数据”，而没有接收的“下行数据”。

另一方面，网络还需要“照顾”原本不太被关注的终端特性，以适应各类的行业应用需求：对“能耗”和“成本”的控制。

1.1 能耗

个人用户大多数时间都是处于宜居的环境中，智能终端常伴左右，并且在人类活动的环境中总能找到充电的“电源插头”，所以这些终端的生产厂家对电池的电量并不敏感。

而物联网终端的工作环境相比较个人终端的工作环境，则要复杂的多。有些物联网终端会部署在高温高压的工业环境中，有些则远离城市、放置在人迹罕至的边远地区，还有一些可能深嵌地下或落户在溪流湖泊之中。

很多设备需要电池的长期供电来工作，因为地理位置和工作环境无法向它们提供外部电源，更换电池的成本也异常高昂。所以“低功耗”是保证他们持续工作的一个关键需求。在不少应用场景中，一小粒电池的电量需要维持某个终端“一生”的能量供给。

1.2 成本

个人使用的终端，不论是电脑还是手机，其功能丰富、计算能力强大、应用广泛，通信模块只是其所有电子元件和机械构建中的一小部分，在总的制造成本中占比较低。

个人终端作为较高价值的产品，用户、厂家对其通信单元的固定成本并不特别敏感。而物联网终端则不同，许多不具备联网功能的终端原本只是简易的传感器设备，其功能简单、成本低廉，相对于传感设备，价格不菲的通信模块加入其中，就可能引起成本骤升。

在应用场景中大量部署联网的传感设备，往往需要企业下决心提高终端的成本投入。而与此矛盾的是：简单的传感器终端上传网络的数据量通常都很小；它们连接网络的周期长（网络的使用频次低）；每一次上传信息的价值都很低。终端成本和信息价值不成比例，使得企业会在大量部署物联网终端的决策上犹豫不前。如何降低这些哑终端（单一的传感器终端）的通信成本，是一个迫在眉睫的难题。

此前提及的能耗问题，如果不妥善解决，也会影响到物联网应用的运营成本：如果终端耗电过快，就需要不断地重新部署投放或更换电池。

1.3 低功耗

低成本是物联网通信的一大需求，原本的网络对应用并不敏感，只要提供统一的高质量网络通道（标准唯一），就可以满足大多数用户的需求。不论用户喜欢使用什么样的业务，都可以通过高品质的网络质量来获得通信服务，网络能够满足个人用户的大多数要求。

然而随着行业应用的深入，网络设计和建设者必须关注到应用、终端的差异性，也就是网络需要针对终端、应用做出相应的调整和适配。

在此前提到的网络特性和终端特性中：“距离、品质、特性”和“能耗、成本”，前后两类特性存在密切的关联关系：通信基站的信号覆盖越广（“距离长”），则基站和终端的功耗越高（“能耗高”）；要实现高品质、安全可靠的网络服务（“品质高”），需要健壮的通信协议实现差错校验、身份验证、重传机制、以建立端到端的可靠连接，保证的基础就是通信模块的配置就不能低（“成本高”）

2 NB-IOT发展历程

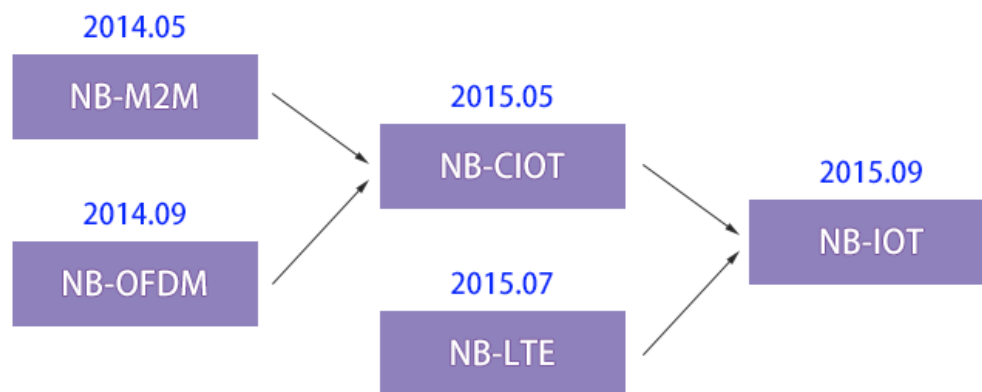
运营商在推广M2M服务（物联网应用）的时候，发现企业对M2M的业务需求，不同与个人用户的需求。企业希望构建集中化的信息系统，与自身资产建立长久的通信连接，以便于管理和监控。

这些资产，往往分布各地，而且数量巨大；资产上配备的通信设备可能没有外部供电的条件（即电池供电，而且可能是一次性的，既无法充电也无法更换电池）；单一的传感器终端需要上报的数据量小、周期长；企业需要低廉的通信成本（包括通信资费、装配通信模块的成本费用）。

以上这种应用场景在网络层面具有较强的统一性，所以通信领域的组织、企业期望能够对现有的通信网络技术标准进行一系列优化，以满足此类M2M业务的一致性需求。

下面是几个重要的时间节点：

- 2013年，沃达丰与华为携手开始了新型通信标准的研究，起初他们将该通信技术称为“NB-M2M（LTE for Machine to Machine）”。
- 2014年5月，3GPP的GERAN组成立了新的研究项目：“FS_IoT_LC”，该项目主要研究新型的无线电接入网系统，“NB-M2M”成为了该项目研究方向之一。稍后，高通公司提交了“NB-OFDM”（Narrow Band Orthogonal Frequency Division Multiplexing，窄带正交频分复用）的技术方案。
- 2015年5月，“NB-M2M”方案和“NB-OFDM方案”融合成为“NB-CIoT”（Narrow Band Cellular IoT）。该方案的融合之处主要在于：通信上行采用FDMA多址方式，而下行采用OFDM多址方式。
- 2015年7月，爱立信联合中兴、诺基亚等公司，提出了“NB-LTE”（Narrow Band LTE）的技术方案。
- 2015年9月，在RAN#69次全会上，经过激烈的讨论和协商，各方案的主导者将两个技术方案（“NB-CIoT”、“NB-LTE”）进行了融合，3GPP对统一后的标准工作进行了立项。该标准作为统一的国际标准，称为“NB-IoT（Narrow Band Internet of Things，基于蜂窝的窄带物联网）”。自此，“NB-M2M”、“NB-OFDM”、“NB-CIoT”、“NB-LTE”都成为了历史。
- 2016年6月，NB-IoT的核心标准作为物联网专有协议，在3GPP Rel-13冻结。同年9月，完成NB-IoT性能部分的标准制定。2017年1月，完成NB-IoT一致性测试部分的标准制定。



NB-IOT标准演进

促成这几种低功耗蜂窝技术“结盟”的关键，并不仅仅是日益增长的商业诉求，还有其它新生的（非授权频段）低功耗接入技术的威胁。LoRa、SIGFOX、RPMA等新兴接入技术的出现，促成了3GPP中相关成员企业和组织的抱团发展。

3 NB-IOT技术特性

和其竞争对手一样，NB-IoT着眼于低功耗、广域覆盖的通信应用。终端的通信机制相对简单，无线通信的耗电量相对较低，适合小数据量、低频率（低吞吐率）的信息上传，信号覆盖的范围则与普通的移动网络技术基本一样，行业内将此类技术统称为“LPWAN技术”(Low Power Wide Area, 低功耗广域技术)。

NB-IoT针对M2M通信场景对原有的4G网络进行了技术优化，其对网络特性和终端特性进行了适当地平衡，以适应物联网应用的需求。

在“距离、品质、特性”和“能耗、成本”中，保证“距离”上的广域覆盖，一定程度地降低“品质”（例如采用半双工的通信模式，不支持高带宽的数据传送），减少“特性”（例如不支持切换，即连接态的移动性管理）。

网络特性“缩水”的好处就是：同时也降低了终端的通信“能耗”，并可以通过简化通信模块的复杂度来降低“成本”（例如简化通信链路层的处理算法）。

所以说，为了满足部分物联网终端的个性要求（低能耗、低成本），网络做出了“妥协”。NB-IoT是“牺牲”了一些网络特性，来满足物联网中不同以往的应用需要。

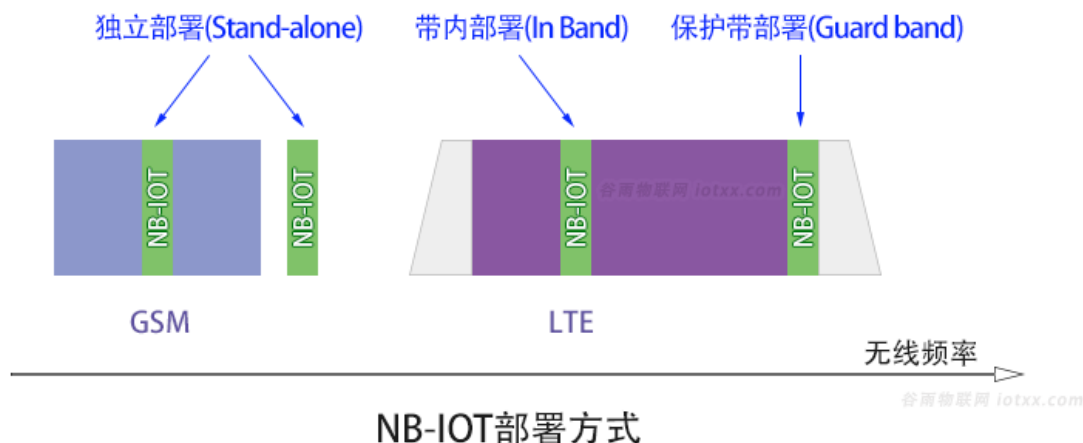
3.1 部署方式

为了便于运营商根据自由网络的条件灵活运用，NB-IoT可以在不同的无线频带上进行部署，分为三种情况：独立部署(Stand alone)、保护带部署(Guard band)、带内部署(In band)。

- Stand alone模式：利用独立的新频带或空闲频段进行部署，运营商所提的“GSM频段重耕”也属于此类模式；
- Guard band模式：利用LTE系统中边缘的保护频段。采用该模式，需要满足一些额外的技术要求(例如原LTE频段带宽要大于5Mbit/s)，以避免LTE和NB-IoT之间的信号干扰。
- In band模式：利用LTE载波中间的某一段频段。为了避免干扰，3GPP要求该模式下的信号功率谱密度与LTE信号的功率谱密度不得超过6dB。

除了Stand alone模式外，另外两种部署模式都需要考虑和原LTE系统的兼容性，部署的技术难度相对较高，网络容量相对较低。

谷雨物联网 iotxx.com



3.2 覆盖增强

为了增强信号覆盖，在NB-IoT的下行无线信道上，网络系统通过重复向终端发送控制、业务消息（“重传机制”），再由终端对重复接受的数据进行合并，来提高数据通信的质量。

这样的方式可以增加信号覆盖的范围，但数据重传势必将导致时延的增加，从而影响信息传递的实时性。在信号覆盖较弱的地方，虽然NB-IoT能够保证网络与终端的连通性，但对部分实时性要求较高的业务就无法保证了。

在NB-IoT的上行信道上，同样也支持无线信道上的数据重传。此外，终端信号在更窄的LTE带宽中发送，可以实现单位频谱上的信号增强，使PSD（Power Spectrum Density，功率谱密度）增益更大。通过增加功率谱密度，更利于网络接收端的信号解调，提升了上行无线信号在空中的穿透能力。



通过上行、下行信道的优化设计，NB-IoT信号的“耦合损耗（coupling loss）”最高可以达到164dB。（备注：耦合损耗，指能量从一个电路系统传播到另一个电路系统时发生的能量损耗。这里是指无线信号在空中传播的能量损耗）为了进一步利用网络系统的信号覆盖能力，NB-IoT还根据信号覆盖的强度进行了分级（CE Level），并实现“寻呼优化”：引入PTW（寻呼传输窗），允许网络在一个PTW内多次寻呼UE，并根据覆盖等级调整寻呼次数。

- 常规覆盖（Normal Coverage），其MCL(Maximum Coupling Loss，最大耦合损耗)小于144dB，与目前的GPRS覆盖一致。
- 扩展覆盖（Extended Coverage），其MCL介于144dB与154dB之间，相对GPRS覆盖有10dB的增强
- 极端覆盖（Extreme Coverage），其MCL最高可达164dB，相对GPRS覆盖强度提升了20dB。

4 NB-IOT低功耗的实现

要终端通信模块低功耗运行，最好的办法就是尽量地让其“休眠”。NB-IoT有两种模式，可以使通信模块只在很短暂的时间段内监听网络对其的寻呼，其它时间则都处于关闭的状态。这两种“省电”模式为：PSM（power saving mode，省电模式）和eDRX（Extended Discontinuous Reception，扩展的不连续接收）

关于NB-IOT低功耗的详细描述，请阅读NB-IOT低功耗详解[\[手册 1\]](#)

4.1 PSM模式

在PSM模式下，终端设备的通信模块进入空闲状态一段时间后，会关闭其信号的收发以及接入层的相关功能。当设备处于这种局部关机状态的时候，即进入了省电模式-PSM。终端以此可以减少通信元器件（天线、射频等）的能源消耗。

终端进入省电模式期间，网络是无法访问到该终端。从语音通话的角度来说，即“无法被叫”。

大多数情况下，采用PSM的终端，超过99%的时间都处于休眠的状态，主要有两种方式可以激活他们和网络的通信：

当终端自身有连接网络的需求时，它会退出PSM的状态，并主动与网络进行通信，上传业务数据。

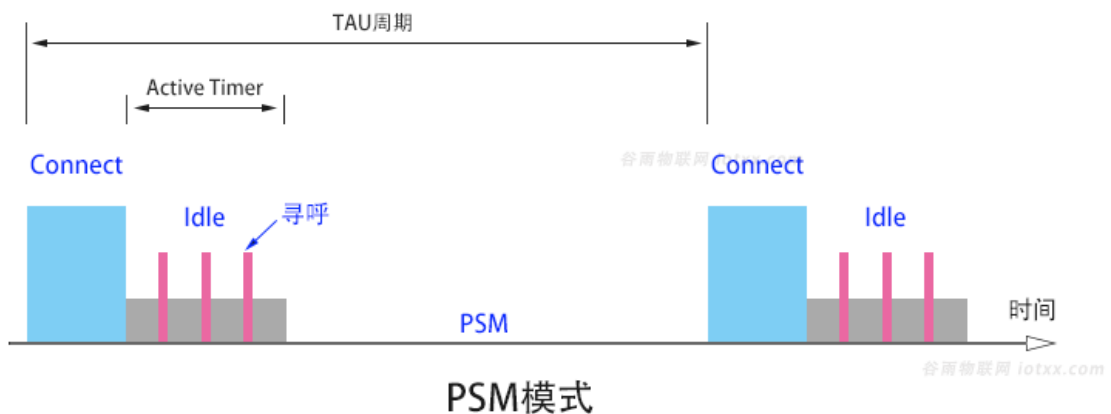
在每一个周期性的TAU (Tracking Area Update, 跟踪区更新)中，都有一小段时间处于激活的状态。在激活状态中，终端先进入“连接状态 (Connect)”，与通信网络交互其网络、业务的数据。在通信完成后，终端不会立刻进入PSM状态，而是保持一段时间为“空闲状态 (IDLE)”。在空闲状态状态下，终端可以接受网络的寻呼。

在PSM的运行机制中，使用“激活定时器 (Active Timer, 简称AT)”控制空闲状态的时长，并由网络和终端在网络附着 (Attach, 终端首次登记到网络) 或TAU时协商决定激活定时器的时长。终端在空闲状态下出现AT超时的时候，便进入了PSM状态。

根据标准，终端的一个TAU周期最大可达310H(小时)；“空闲状态”的时长最高可达到3.1小时 (11160s)。

从技术原理可以看出，PSM适用于那些几乎没有下行数据流量的应用。云端应用和终端的交互，主要依赖于终端自主性地与网络联系。绝大多数情况下，云端应用是无法实时“联系”到终端的。

谷雨物联网 iotxx.com



4.2 eDRX模式

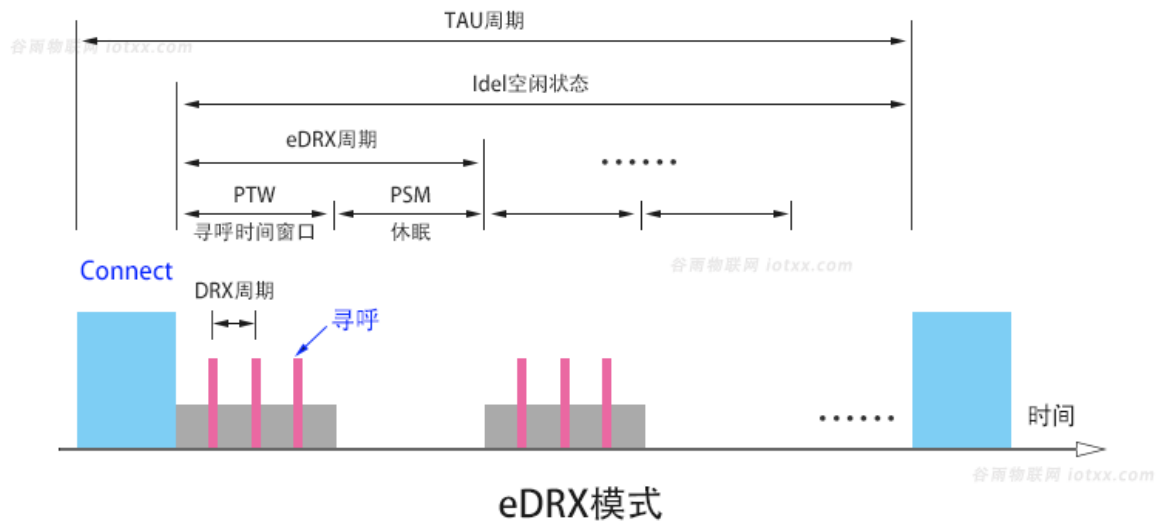
在PSM模式下，网络只能在每个TAU最开始的时间段内寻呼到终端（在连接状态后的空闲状态进行寻呼）。eDRX模式的运行不同于PSM，它引入了eDRX机制，提升了业务下行的可达性。

DRX(Discontinuous Reception)，即不连续接收。eDRX就是扩展的不连续接收。

eDRX模式，在一个TAU周期内，包含有多个eDRX周期，以便于网络更实时性地向其建立通信连接（寻呼）。

TAU周期包含一个连接状态周期和一个空闲状态周期，空闲状态周期中则包含了多个eDRX寻呼

周期，每个eDRX寻呼周期又包含了一个PTW周期和一个PSM周期。PTW和PSM的状态会周期性地交替出现在一个TAU中，使得终端能够间歇性地处于待机的状态，等待网络对其的呼叫。



eDRX模式下，网络和终端建立通信的方式同样：终端主动连接网络；终端在每个eDRX周期中的PTW内，接受网络对其的寻呼。

- 在TAU周期内，最小的eDRX周期为20.48秒，最大周期为2.91小时
- 在eDRX周期内，最小的PTW周期为2.56秒，最大周期为40.96秒
- 在PTW内，最小的DRX周期为1.28秒，最大周期为10.24秒

总体而言，在TAU一致的情况下，eDRX模式相比较PSM模式，其空闲状态的分布密度更高，终端对寻呼的响应更为及时。eDRX模式适用的业务，一般下行数据传送的需求相对较多，但允许终端接受消息有一定的延时（例如云端需要不定期地对终端进行配置管理、日志采集等）。根据技术差异，eDRX模式在大多数情况下比PSM模式更耗电。

5 NB-IoT低成本的实现

针对数据传输品质要求不高的应用，NB-IoT具有低速率、低带宽、非实时的网路特性，这些特性使得NB-IoT终端不必向个人用户终端那样复杂，简单的构造、简化的模组电路依然能够满足物联网通信的需要。

- NB-IoT采用半双工的通信方式，终端不能够同时发送或接受信号数据，相对全双工方式的终端，减少了元器件的配置，节省了成本。
- 业务低速率的数据流量，使得通信模组不需要配置大容量的缓存。低带宽，则降低了对均衡算法的要求，降低了对均衡器性能的要求。（均衡器主要用于通过计算抵消无线信道干扰）
- NB-IoT通信协议栈基于LTE设计，但它系统性地简化了协议栈，使得通信单元的软件和硬件也可以相应的降低配置：终端可以使用低成本的专用集成电路来替代高成本的通用计算芯片，来实现协议简化后的功能。这样还能够减少通信单元的整体功耗，延长电池使用寿命。

6 业务在核心网络中的简化

在NB-IoT的核心网络（EPC- Evolved Packet Core，即4G核心网）中，针对物联网业务的需求特性，蜂窝物联网（CIoT）定义了两种优化方案：

- CIoT EPS用户面功能优化 (User Plane CIoT EPS optimisation)
- CIoT EPS控制面功能优化 (Control Plane CIoT EPS optimisation)

6.1 用户面功能优化

“用户面功能优化”与原LTE业务的差异并不大，它的主要特性是引入RRC（无线资源控制）的“挂起/恢复 (Suspend/Resume) 流程”，减少了终端重复进行网络接入的信令开销。

当终端和网络之间没有数据流量时，网络将终端置为挂起状态 (Suspend)，但在终端和网络中仍旧保留原有的连接配置数据。

当终端重新发起业务时，原配置数据可以立即恢复通信连接 (Resume)，以此减去了重新进行RRC重配、安全验证等流程，降低了无线空口上的信令交互量。

6.2 控制面功能优化

“控制面功能优化”包括两种实现方式（消息传递路径）。通过这两种方式，终端不必在无线空口上和网络建立业务承载，就可以将业务数据直接传递到网络中。

备注：通信系统的特性之一是控制与承载（业务）分离，直观来说就是业务的控制消息（建立业务、释放业务、修改业务）和业务数据本身并不在同一条链路上混合传递。NB-IoT的控制面功能优化则简化了这种惯常的信息业务架构。

7 NB-IOT技术总结

从NB-IoT的特性中可以看出，其通过“信号增强”、“寻呼优化”加强了通信覆盖的深度。主要通过三个方面，来“照顾”终端对低功耗、低成本的要求：

- 引入了低功耗的“睡眠”模式 (PSM、eDRX)；
- 降低了对通信品质要求，简化了终端设计 (半双工模式、协议栈简化等)；
- 通过两种功能优化模式 (CP模式、UP模式) 简化流程，减少了终端和网络的交互量。

这些对广域移动通信技术的“优化”设计，使得NB-IoT更加适合于部分物联网的场景应用，也就是LPWA（低功耗广域网）类型的应用。并且由于引入了睡眠模式，降低了通信品质的要求（主要是实时性要求），使得NB-IoT的基站比传统基站，能够接入更多的（承载LPWA业务的）终端。

采用NB-IoT的终端可以在满足低功耗的需求下，用于较高密度部署、低频次数据采集的应用（包括固定位置的抄表、仓储和物流管理、城市公共设置的信息采集等），或者是较低密度部署、长距离通信连接的应用（包括农情监控、地质水文监测等）。

当然，作为一种LPWAN技术，NB-IoT有其固有的局限性，它显然并不适用于要求低时延、高可靠性的业务（车联网、远程医疗），而且中等需求的业务（智能穿戴、智能家居）对于它来说也稍显“吃力”。

在物联网技术生态中，没有一种通信接入技术能够“通吃”所有的应用场景，各种接入技术之间存在一定的互补效应，NB-IoT能够依靠其技术特性在物联网领域中占据着一席之地。

8 本文参考

1. [NB-IOT低功耗详解](#), 一文读懂NB-IOT低功耗的秘密

本PDF由谷雨文档中心自动生成, 点击下方链接阅读最新内容。

取自“<http://doc.iotxx.com/index.php?title=NB-IOT技术揭秘>”

-
- 本页面最后编辑于2019年2月13日 (星期三) 23:40。