



SUNDRAY
信锐技术

常见物联网通信技术

2018 年 3 月 28 日

【前言】

物联网是新一代信息技术的重要组成部分也是“信息化”时代的重要发展阶段。其英文名称是：“Internet of things (IoT)”。

顾名思义，物联网就是物物相连的互联网。这有两层意思：其一，物联网的核心和基础仍然是互联网，是在互联网基础上的延伸和扩展的网络；其二，其用户端延伸和扩展到了任何物品与物品之间，进行信息交换和通信，也就是物物相息。物联网通过智能感知、识别技术与普适计算等通信感知技术，广泛应用于网络的融合中，也因此被称为继计算机、互联网之后世界信息产业发展的第三次浪潮。物联网的发展离不开物联网通信技术的发展，物联网的无线通信技术很多，下面对常见的物联网技术做一个讲解。

【蓝牙-Bluetooth】

1.1 概述

蓝牙(Bluetooth) :是一种无线技术标准，可实现固定设备、移动设备和楼宇个人域网之间的短距离数据交换(使用 2.4~2.485GHz 的 ISM 波段的 UHF 无线电波)。蓝牙技术最初由电信巨头爱立信公司于 1994 年创制，当时是作为 RS232 数据线的替代方案。蓝牙可连接多个设备，克服了数据同步的难题



如今蓝牙由蓝牙技术联盟 (Bluetooth Special Interest Group, 简称 SIG) 管理。蓝牙技术联盟在全球拥有超过 25,000 家成员公司, 它们分布在电信、计算机、网络、和消费电子等多重领域。IEEE 将蓝牙技术列为 IEEE 802.15.1, 但如今已不再维持该标准。蓝牙技术联盟负责监督蓝牙规范的开发, 管理认证项目, 并维护商标权益。制造商的设备必须符合蓝牙技术联盟的标准才能以"蓝牙设备"的名义进入市场。蓝牙技术拥有一套专利网络, 可发放给符合标准的设备

1.2. 蓝牙基本信息

传输速率	1Mbps~24Mbps
工作频段	2400-2483.5MHz
传输距离	1-100m
发射功率	1-100mw
典型应用	鼠标、无线耳机、手机、电脑等邻近节点数据交换

1.3. 传输与应用

蓝牙的波段为 2400 - 2483.5MHz (包括防护频带)。这是全球范

围内无需取得执照(但并非无管制的)的工业、科学和医疗用(ISM)波段的 2.4 GHz 短距离无线电频段

蓝牙使用跳频技术,将传输的数据分割成数据包,通过 79 个指定的蓝牙频道分别传输数据包。每个频道的频宽为 1 MHz。蓝牙 4.0 使用 2 MHz 间距,可容纳 40 个频道。第一个频道始于 2402 MHz,每 1 MHz 一个频道,至 2480 MHz。有了适配跳频(Adaptive Frequency-Hopping,简称 AFH)功能,通常每秒跳 1600 次

最初,高斯频移键控(Gaussian frequency-shift keying,简称 GFSK)调制是唯一可用的调制方案。然而蓝牙 2.0+EDR 使得 $\pi/4$ -DQPSK 和 8DPSK 调制在兼容设备中的使用变为可能。运行 GFSK 的设备据说可以以基础速率(Basic Rate,简称 BR)运行,瞬时速率可达 1Mbit/s。增强数据率(Enhanced Data Rate,简称 EDR)一词用于描述 $\pi/4$ -DPSK 和 8DPSK 方案,分别可达 2 和 3Mbit/s。在蓝牙无线电技术中,两种模式(BR 和 EDR)的结合统称为"BR/EDR 射频"

蓝牙是基于数据包、有着主从架构的协议。一个主设备至多可和同一微微网中的七个从设备通讯。所有设备共享主设备的时钟。分组交换基于主设备定义的、以 312.5 μ s 为间隔运行的基础时钟。两个时钟周期构成一个 625 μ s 的槽,两个时间隙就构成了一个 1250 μ s 的缝隙对。在单槽封包的简单情况下,主设备在双数槽发送信息、单数槽接受信息。而从设备则正好相反。封包容量可长达 1、3、或 5 个时间

隙，但无论是哪种情况，主设备都会从双数槽开始传输，从设备从单数槽开始传输

蓝牙主设备最多可与一个微微网(一个采用蓝牙技术的临时计算机网络)中的七个设备通讯，当然并不是所有设备都能够达到这一最大量。设备之间可通过协议转换角色，从设备也可转换为主设备(比如，一个头戴式耳机如果向手机发起连接请求，它作为连接的发起者，自然就是主设备，但是随后也许会作为从设备运行)

蓝牙核心规格提供两个或以上的微微网连接以形成分布式网络，让特定的设备在这些微微网中自动同时地分别扮演主和从的角色

数据传输可随时在主设备和其他设备之间进行(应用极少的广播模式除外)。主设备可选择要访问的从设备;典型的情况是，它可以在设备之间以轮替的方式快速转换。因为是主设备来选择要访问的从设备，理论上从设备就要在接收槽内待命，主设备的负担要比从设备少一些。主设备可以与七个从设备相连接，但是从设备却很难与一个以上的主设备相连。规格对于散射网中的行为要求是模糊的

1.4. Bluetooth 对比 Wi-Fi (IEEE 802.11)

蓝牙和 Wi-Fi (使用 IEEE 802.11 标准的产品的品牌名称)有些类似的应用：设置网络、打印、或传输文件。Wi-Fi 主要是用于替代工作场所一般局域网接入中使用的高速线缆的。这类应用有时也称作无线局域网(WLAN)。蓝牙主要是用于便携式设备及其应用的。这类应用也被称作无线个人域网(WPAN)。蓝牙可以替代很多应用场景中的便携

式设备的线缆,在能够应用于一些固定场所,如智能家庭能源管理(如恒温器)等。蓝牙存在于很多产品中,如电话、平板电脑、媒体播放器、机器人系统、手持设备、笔记本电脑、游戏手柄、以及一些高音质耳机、调制解调器、手表等。蓝牙技术在低带宽条件下临近的两个或多个设备间的信息传输十分有用。蓝牙常用于电话语音传输(如蓝牙耳机)或手持计算机设备的字节数据传输(文件传输)

Wi-Fi 和蓝牙的应用在某种程度上是互补的。Wi-Fi 通常以接入点为中心,通过接入点与路由网络里形成非对称的客户机-服务器连接。而蓝牙通常是两个蓝牙设备间的对称连接。蓝牙适用于两个设备通过最简单的配置进行连接的简单应用,如耳机和遥控器的按钮,而 Wi-Fi 更适用于一些能够进行稍复杂的客户端设置和需要高速的应用中,尤其像通过存取节点接入网络。但是,蓝牙接入点确实存在,而且 Wi-Fi 的点对点连接虽然不像蓝牙一般容易,但也是可能的

1.5. 干扰

USB3.0 设备、端口和线缆证实会与蓝牙设备发生干扰,主要由于他们发出的电子噪声落在了与蓝牙相同的操作频段上。由于蓝牙设备和 USB 3.0 设备距离很近,就会导致吞吐量的下降或导致蓝牙设备与电脑的连接完全断开

解决这一问题的策略有很多,包括加大 USB3.0 设备与其他蓝牙设备之间的距离,或购买屏蔽性能更好的 USB 线缆等简单的解决方案。其他的解决方案还包括对计算机中的蓝牙原件进行附加屏蔽等

【Zigbee】

2. 1. 概述

ZigBee 技术是一种近距离、低复杂度、低功耗、低速率、低成本的双向无线通讯技术。主要用于距离短、功耗低且传输速率不高的各种电子设备之间进行数据传输以及典型的有周期性数据、间歇性数据和低反应时间数据传输的应用



ZigBee 是一种高可靠的无线数传网络, 类似于 CDMA 和 GSM 网络。ZigBee 数传模块类似于移动网络基站。通讯距离从标准的 75m 到几百米、几公里, 并且支持无限扩展。ZigBee 是一个由可多到 65535 个无线数传模块组成的一个无线数传网络平台, 在整个网络范围内, 每一个 ZigBee 网络数传模块之间可以相互通信, 每个网络节点间的距离可以从标准的 75m 无限扩展。与移动通信的 CDMA 网或 GSM 网不同

的是, ZigBee 网络主要是为工业现场自动化控制数据传输而建立, 因而, 它必须具有简单, 使用方便, 工作可靠, 价格低的特点。而移动通信网主要是为语音通信而建立, 每个基站价值一般都在百万元人民币以上, 而每个 ZigBee"基站"却不到 1000 元人民币

每个 ZigBee 网络节点不仅本身可以作为监控对象, 例如其所连接的传感器直接进行数据采集和监控, 还可以自动中转别的网络节点传过来的数据资料。除此之外, 每一个 ZigBee 网络节点 (FFD) 还可在自己信号覆盖的范围内, 和多个不承担网络信息中转任务的孤立的子节点 (RFD) 无线连接

2. 2. Zigbee 基本信息

传输速率	2. 4GHz: 250kbit/s、868MHz: 20kbit/s 和 915 MHz: 40kbit/s
工作频段	2. 4GHz (全球流行)、868MHz (欧洲流行) 和 915 MHz (美国流行)
传输距离	10-75m (还可以继续增加)
发射功率	1-100mw
典型应用	家庭自动化、楼宇自动化、智能家居

2. 3. 技术特点

(1) 低功耗: 由于 ZigBee 的传输速率低, 发射功率仅为 1mW, 而且采用了休眠模式, 功耗低, 因此 ZigBee 设备非常省电。据估算, ZigBee 设备仅靠两节 5 号电池就可以维持长达 6 个月到 2 年左右的使用时间, 这是其它无线设备望尘莫及的

(2) 成本低：ZigBee 模块的初始成本在 6 美元左右，估计很快就能降到 1.5-2.5 美元，并且 ZigBee 协议是免专利费的。低成本对于 ZigBee 也是一个关键的因素

(3) 时延短：通信时延和从休眠状态激活的时延都非常短，典型的搜索设备时延 30ms，休眠激活的时延是 15ms，活动设备信道接入的时延为 15ms。因此 ZigBee 技术适用于对时延要求苛刻的无线控制（如工业控制场合等）应用

(4) 网络容量大：一个星型结构的 Zigbee 网络最多可以容纳 254 个从设备和一个主设备，一个区域内可以同时存在最多 100 个 ZigBee 网络，而且网络组成灵活

(5) 可靠：采取了碰撞避免策略，同时为需要固定带宽的通信业务预留了专用时隙，避开了发送数据的竞争和冲突。MAC 层采用了完全确认的数据传输模式，每个发送的数据包都必须等待接收方的确认信息。如果传输过程中出现问题可以进行重发

(6) 安全：ZigBee 提供了基于循环冗余校验 (CRC) 的数据包完整性检查功能，支持鉴权和认证，采用了 AES-128 的加密算法，各个应用可以灵活确定其安全属性

【Z-Wave】

3.1. 概述

Z-Wave 是一种新兴的基于射频频的、低成本、低功耗、高可靠、适于网络的短距离无线通信技术。工作频带为 908.42MHz（美

国)~868.42MHz(欧洲),采用FSK(BFSK/GFSK)调制方式,数据传输速率为9.6 kbps,信号的有效覆盖范围在室内是30m,室外可超过100m,适合于窄宽带应用场合。随着通信距离的增大,设备的复杂度、功耗以及系统成本都在增加,相对于现有的各种无线通信技术,Z-Wave技术将是最低功耗和最低成本的技术,有力地推动着低速率无线个人区域网



Z-Wave 技术设计用于住宅、照明商业控制以及状态读取应用,例如抄表、照明及家电控制、HVAC、接入控制、防盗及火灾检测等。Z-Wave 可将任何独立的设备转换为智能网络设备,从而可以实现控制和无线监测。Z-Wave 技术在最初设计时,就定位于智能家居无线控制领域。采用小数据格式传输,40kb/s 的传输速率足以应对,早期甚至使用9.6kb/s 的速率传输。与同类的其他无线技术相比,拥有相对较低的传输频率、相对较远的传输距离和一定的价格优势。Z-Wave 技术专门针对窄带应用并采用创新的软件解决方案取代成本高的硬件,因此只需花费其它类似技术的一小部份成本就可以组建高质量的无线网络

3.2. Z-Wave 基本信息

传输速率	9.6 kbps 或 40kbps
工作频段	908.42MHz (美国) ~868.42MHz (欧洲)
传输距离	30m (室内) ~100m (室外)
发射功率	1mw
典型应用	智能家居、监控和控制

3.3. 网络结构与路由技术

每一个 Z-Wave 网络都拥有自己独立的网络地址 (Home ID) ; 网络内每个节点的地址 (Node ID), 由控制节点 (Controller) 分配。每个网络最多容纳 232 个节点 (Slave), 包括控制节点在内。控制节点可以有多个, 但只有一个主控制节点, 即所有网络内节点的分配, 都由主控制节点负责, 其他控制节点只是转发主控制节点的命令。已入网的普通节点, 所有控制节点都可以控制。超出通信距离的节点, 可以通过控制器与受控节点之间的其他节点, 以路由 (Routing) 的方式完成控制

Z-Wave 采用了动态路由技术, 每个 Slave 内部都存有一个路由表, 该路由表由 Controller 写入。存储信息为该 Slave 入网时, 周边存在的其他 Slave 的 Node ID。这样每个 Slave 都知道周围有哪些 Slaves, 而 Controller 存储了所有 Slaves 的路由信息。当 Controller 与受控 Slave 的距离超出最大控制距离时, Controller 会调用最后一次正确控制该 Slave 的路径发送命令, 如该路径失败, 则从第一个 Slave 开始重新检索新的路径

【SigFox】

4.1. 概述

SIGFOX 技术是由一家法国公司开发的，该公司的名字也是 SIGFOX，目前已经在 19 个国家实现了网络部署，包括美国的旧金山，目前网络覆盖面积达 120 万平方公里，也是这方面的技术领导者。这家公司宣称在五月份将会在美国继续部署这项技术，会涉及多达 100 个城市。SIGFOX 网络技术的频率范围在 868MHz 或者 915MHz，采用二进制相移键控（BPSK）格式传输非常小的数据包，传输速率也很低（300b/s）。SIGFOX 能够实现长距离的网络覆盖以及通用的功能特性，适合各种小数据量的物联网（IoT）应用场景



SIGFOX 网络技术使用超窄频带调制技术，单个基站能够实现网络消息的传输最远达 1000 公里以上，每个基站允许多大 100 万个物联网（IoT）设备终端。每个数据包只有 12 字节，每个终端每天最多只能传输 140 条网络消息，对于这类的很多应用也是足够了

4.2. SigFox 基本信息

传输速率	100bps
------	--------

工作频段	在欧洲广泛使用 868MHz，在美国则使用 915MHz，每个载波占用 100Hz
传输距离	1-50km
发射功率	<100mw
典型应用	智慧家庭、智能电表、移动医疗、远程监控、零售

4.3. SigFox 技术特点

从接入网络上，Sigfox 技术工作在 1GHz 以下的免许可 ISM 射频频段，频率根据国家法规有所不同，在欧洲广泛使用 868MHz，在美国则使用 915MHz，每个载波占用 100Hz。Sigfox 有双向通信功能，通信往往是从终端到基站向上传送比较容易，但从基站回到终端其性能是受限制的，这是因为终端上的接收灵敏度不如基站

从技术上看，SigFox 具有成本低、功耗低的特点。谈到成本问题，必须考虑 Sigfox 所采用的 UNB 技术，该技术每秒只能处理 10 到 1000 比特的数据，能支持成千上万的连接。基于该技术的网络，不仅成本远低于传统的蜂窝网络，而且其网络所占用的 900MHz 无线频段在美国不需要授权。当电信运营商更希望通过部署短波技术以最大限度地提高携带数据的时候，SigFox 公司反其道而行，其所使用的是波段是最长波。Sigfox 网络设备消耗仅 50 微瓦到 100 微瓦的功率。相比较而言，移动电话通信则需要约 5000 微瓦。这就意味着，接入 Sigfox 网络的设备每条消息最大的长度大约为 12 字节，并且每天每个设备所能发送的消息不能超过 140 条。再说说覆盖范围，该

公司希望他们的网络可以覆盖至 1000 公里并且每个基站能够处理一百万个对象

【Wi-Fi】

5.1. 概述

Wi-Fi 是一种允许电子设备连接到一个无线局域网（WLAN）的技术，通常使用 2.4G UHF 或 5G SHF ISM 射频频段。连接到无线局域网通常是有密码保护的；但也可是开放的，这样就允许任何在 WLAN 范围内的设备可以连接上



无线网络上网可以简单的理解为无线上网，几乎所有智能手机、平板电脑和笔记本电脑都支持 WiFi 上网，是当今使用最广的一种无线网络技术。实际上就是把有线网络信号转换成无线信号，使用无线路由器供支持其技术的相关电脑、手机、平板等接收。但是 WiFi 信号也是由有线网提供的，比如家里的 ADSL，小区带宽等，只要一个无线路由器就可以吧有线信号转换成 WiFi 信号

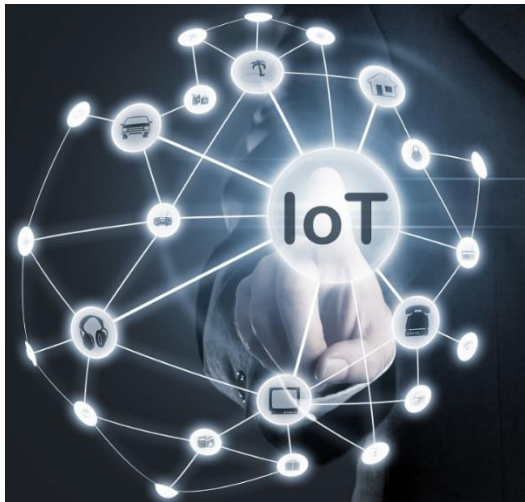
5.2. WiFi 基本信息

传输速率	802.11b: 11Mbps; 802.11g: 54Mbps; 802.11n: 600Mbps; 802.11ac: 1Gbps
工作频段	2.4GHz/5GHz
传输距离	50-100m
发射功率	<320mw
典型应用	无线局域网、家庭室内等场所高速上网

【NB-IoT】

6.1. 概述

基于蜂窝的窄带物联网（Narrow Band Internet of Things, NB-IoT）成为万物互联网络的一个重要分支。NB-IoT 构建于蜂窝网络，只消耗大约 180KHz 的带宽，可直接部署于 GSM 网络、UMTS 网络或 LTE 网络，以降低部署成本、实现平滑升级。NB-IoT 是 IoT 领域一个新兴的技术，支持低功耗设备在广域网的蜂窝数据连接，也被叫作低功耗广域网（LPWA）。NB-IoT 支持待机时间长、对网络连接要求较高设备的高效连接。据说 NB-IoT 设备电池寿命可以提高至至少 10 年，同时还能提供非常全面的室内蜂窝数据连接覆盖



NB-IOT 聚焦于低功耗广覆盖（LPWA）物联网（IoT）市场，是一种可在全球范围内广泛应用的新兴技术。具有覆盖广、连接多、速率低、成本低、功耗低、架构优等特点。 NB-IOT 使用 License 频段，可采取带内、保护带或独立载波等三种部署方式，与现有网络共存

6.2. NB-IOT 基本信息

传输速率	<100kbps
工作频段	NB-IoT 和蜂窝通信使用 1GHz 以下的频段是授权的，是需要收费的
传输距离	1-20km
发射功率	<100mw
典型应用	户外应用的位置跟踪；农林、环境、能耗数据采集与监测；智能表计、共享单车、智慧家庭、水污染监测以及车联网等领域

6.3. NB-IOT 特点

Sigfox 和 LoRa 属于私有技术，应用时需要单独组建网络，而且使用的频谱没有授权，在安全性上也可能存在缺陷。NB-IoT 是 3GPP 推出的标准技术，经过多次讨论、已成为了目前被全球广泛接受的全新窄带物联网技术标准，可谓是技术演进和市场竞争的综合产物

从接入网络上，由于 NB-IoT 是在 LTE 基础上发展起来的，其主要采用了 LTE 的相关技术，并针对自身特点做了相应的修改。当 NB-IoT 与 LTE 并存部署时，下行链路上 NB-IoT 和 LTE 可以做到互不影响

从技术特点上看，NB-IoT 的部署方式较为快捷、灵活，支持 3 种部署场景。此外，NB-IoT 也可以部署在 2G/3G 网络。NB-IoT 单扇区支持 5 万个连接，比现有网络连接数高 50 倍，目前全球有约 500 万个物理站点，假设全球有约 500 万个物理站点，所有站点全部部署 NB-IoT，每站点三扇区共计可接入终端数将达 4500 亿个

NB-IoT解决方案亮点和价值



从功耗和性能上看，基站覆盖范围广，终端以低于 2G 的功率即可接入网络；维持网络接入的开销减少；终端工作在低功耗模式下，

如采用节能模式可使得 99%的时间里功耗只需 15 微瓦；芯片采用低功耗。对于户外应用的位置跟踪（老人、动物、非机动车）的应用，电池可以使用 2-5 年。对于资产定位，如农林、环境、能耗数据采集与监测，电池可以使用 5-10 年。和 2G 相比，NB-IoT 能实现多达 20dB 以上的增益，使得 NB-IoT 网络能够覆盖更广、更深，并有能力覆盖到地下停车场、地下管网

从成本和市场推广上看，因为 NB-IoT 可直接部署于 2G/3G/4G 网络，现有无线网络基站的射频与天线可以复用。对于小流量、时延不敏感的应用场景，NB-IoT 单个扇区可以支持 5-10 万个终端的接入，较现有 2G/3G/4G 蜂高出 50-100 倍以上。因此，运营商只需要很低的建设成本，就可以快速形成 NB-IoT 的承载能力。目前 NB-IoT 芯片的成本在 5 美元左右，未来有望降低成本至 1 美元左右

目前，NB-IoT 已被沃达丰、中国移动、中国电信、中国联通等大运营商采纳，并被华为、爱立信、高通、英特尔等产业链上游厂商追捧。NB-IoT 阵营得到全球主流电信运营商、设备商和芯片厂商的支持

在国外，沃达丰已于 2016 年 9 月 9 日宣布在在西班牙马德里成功完成首个基于现有网络的标准化 NB-IoT 商用网络试验，并计划在 2017 年正式商用部署。在国内，中国电信计划在 2017 年上半年部署基于 800MHz 的 NB-IoT 网络，并实现全网覆盖

中国联通于 2015 年 7 月在上海建成并开放全球第一个 4.5G NB-IoT 新技术示范点，2016 年全年已在在国内 7 个城市启动基于

900MHz、1800MHz 的 NB-IoT 外场规模组网试验，2017 年开始推进国内重点城市的 NB-IoT 商业部署

【LoRa】

7.1. 概述

LoRa 是 LPWAN 通信技术中的一种，是美国 Semtech 公司采用和推广的一种基于扩频技术的超远距离无线传输方案。这一方案改变了以往关于传输距离与功耗的折衷考虑方式，为用户提供一种简单的能实现远距离、长电池寿命、大容量的系统，进而扩展传感网络



LoRa 主要在全球免费频段运行，包括 433、868、915 MHz 等。LoRa 技术具有远距离、低功耗（电池寿命长）、多节点、低成本的特性。LoRa 网络主要由终端（可内置 LoRa 模块）、网关（或称基站）、Server 和云四部分组成。应用数据可双向传输

7.2. LoRa 基本信息

传输速率	0.3~50kbps
------	------------

工作频段	常用频段（如 433MHz，470MHz~510MHz，780MHz 以及欧美常用的 868MHz 和 915MHz 都属于常用频段），其他以外的一些频率并不能很好的支持。目前在中国通常提供的是 470-510MHz 频段网关
传输距离	1-20km
发射功率	<100mw
典型应用	智慧农业、智能建筑、物流追踪

7.3. LoRa 技术特点

LoRa 采用线性扩频调制技术，其通信距离可达 15km 以上，空旷地方甚至更远。相比其他广域低功耗物联网技术（如 Sigfox），LoRa 终端节点在相同的发射功率下可通信的距离会更远

从接入网络上，LoRa 系统为非授权频段技术，主要工作在 1GHz 以下免许可频段，在欧洲常用频段为 433MHz 和 868MHz，在美国常用频段为 915MHz。LoRa 上下行数据工作在同一频段，因此数据的上传和下传不能同时工作。目前国内单芯片支持的 LoRa 系统带宽为 2Mbit/s

技术上，LoRa 采用星型网络架构，与网状网络架构相比，它是具有最低延迟、最简单的网络结构。基于 LoRa 的扩频芯片，可以实现节点与集中器直接组网连接，构成星形。对于远距离的节点，可使用网关设备进行中继组网连接

功耗和性能方面，LoRa 终端接收电流仅 10mA，睡眠电流 200nA，电池寿命可达 10 年。LoRa 还有网络层和应用层及设备的多重加密

方式。LoRa 基于测量多点对一点的空中传输时间差试点定位，使得在 10km 的范围内终端的定位精度可达 5m

从成本和市场推广上看，LoRa 终端通信模块成本约 5 美元，适用于具备功耗低、距离远、容量大以及可定位跟踪等特点的物联网应用。目前 LoRa 网络已经在全球多地进行试点或部署

【补充与拓展】

8. 1. 常见物联网通信技术整体对比

	蓝牙	Zigbee	Z-wave	SigFox	WiFi	NB-IOT	LoRa
传输速率	1Mbps~24Mbps	2.4GHz: 250kbit/s、 868MHz: 20kbit/s和 915 MHz: 40kbit/s	9.6 kbps或 40kbps	100bps	802.11b: 11Mbps; 802.11g: 54Mbps; 802.11n:60 0Mbps; 802.11ac: 1Gbps	<100kbps	0.3~50kbps
工作频段	2400-2483.5MHz	2.4GHz(全球流行)、 868MHz(欧洲流行) 和915 MHz(美国流行)	908.42MHz(美国)~ 868.42MHz(欧洲)	在欧洲广泛使用 868MHz, 在美国则 使用 915MHz, 每个载波 占用 100Hz	2.4GHz/5G Hz	NB-IoT和 蜂窝通信 使用1GHz 以下的频 段是授权 的, 是需 要收费的	常用频段 (如 433MHz, 470MHz~5 10MHz, 780MHz以 及欧美常 用的 868MHz和 915MHz都 属于常用 频段), 其 他以外 的一些频 率并不 能很好 的支持。 目前 在中国 通常提 供的是 470- 510MHz 频段网关
传输距离	1-100m	10-75m (还可以继续 增加)	30m (室内) ~100m (室外)	1-50km	50-100m	1-20km	1-20km
发射功率	1-100mw	1-100mw	1mw	<100mw	<320mw	<100mw	<100mw
典型应用	鼠标、无线耳机、 手机、电脑等 邻近节点数据交 换	家庭自动化、楼宇自 动化、智能家居	智能家居、监控 和控制	智慧家庭、智能电 表、移动 医疗、远 程监控、 零售	无线局域网、家庭 室内等场所高速上 网	户外应用的 位置跟踪; 农林、 环境、 能耗数据 采集与监 测; 智能 表计、共 享单车、 智慧家庭 、水污染 监测以及 车联网等 领域	智慧农业、智能建 筑、物流 追踪