



# 物联网通信技术

主讲人：宁 磊

Email: [ninglei@sztu.edu.cn](mailto:ninglei@sztu.edu.cn)

# 目录

## CONTENTS

第1章.物联网通信概述

第2章.基带传输技术

第3章.频带传输技术

第4章.链路传输技术

第5章.网络传输技术

第6章.应用传输技术

第7-8章. 无线通信系统

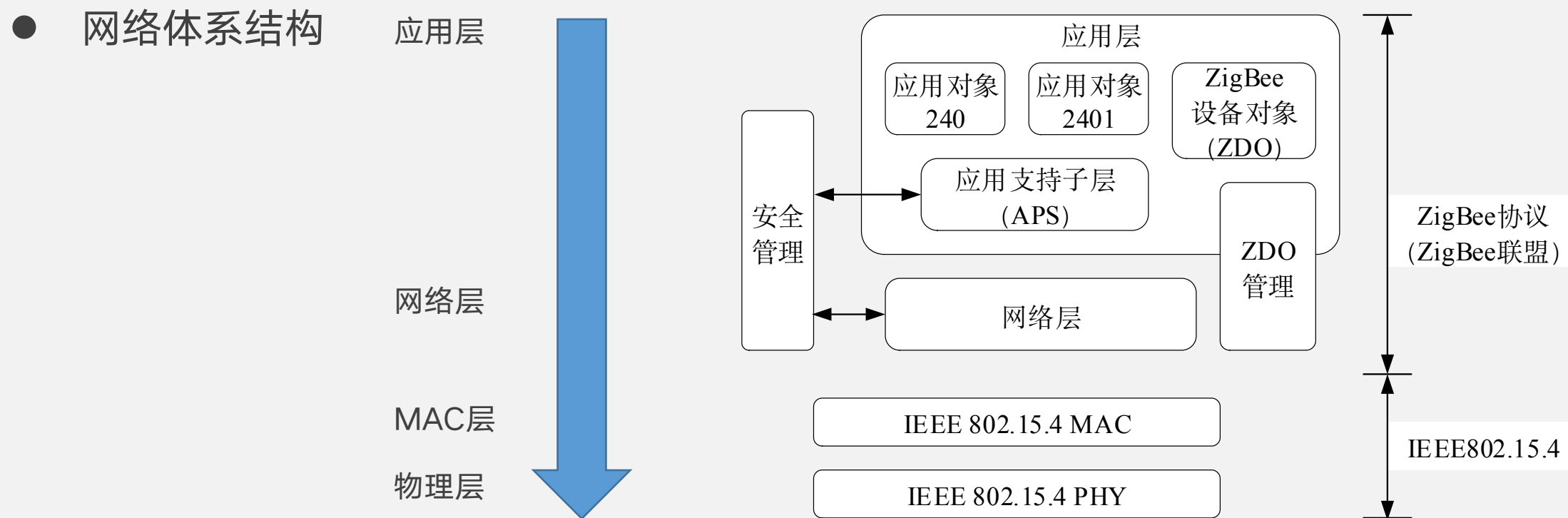
- 本章主要内容：ZigBee、蓝牙、Wi-Fi 和LoRa 通信系统的基本原理、协议架构和系统特点。
- 本章学习目标
  - 了解ZigBee、蓝牙、Wi-Fi 和LoRa 通信系统的主要特点;
  - 熟悉上述系统的协议架构;
  - 掌握上述系统的基本原理与使用方法。

01

## 物联网**无线**传输系统

- ZigBee
- 蓝牙
- Wi-Fi
- LoRa

- ZigBee基于IEEE 802.15.4标准，由ZigBee联盟制定，具有自组网、低速率、低功耗的特点，尤其适合小型设备、节点之间组网的需要



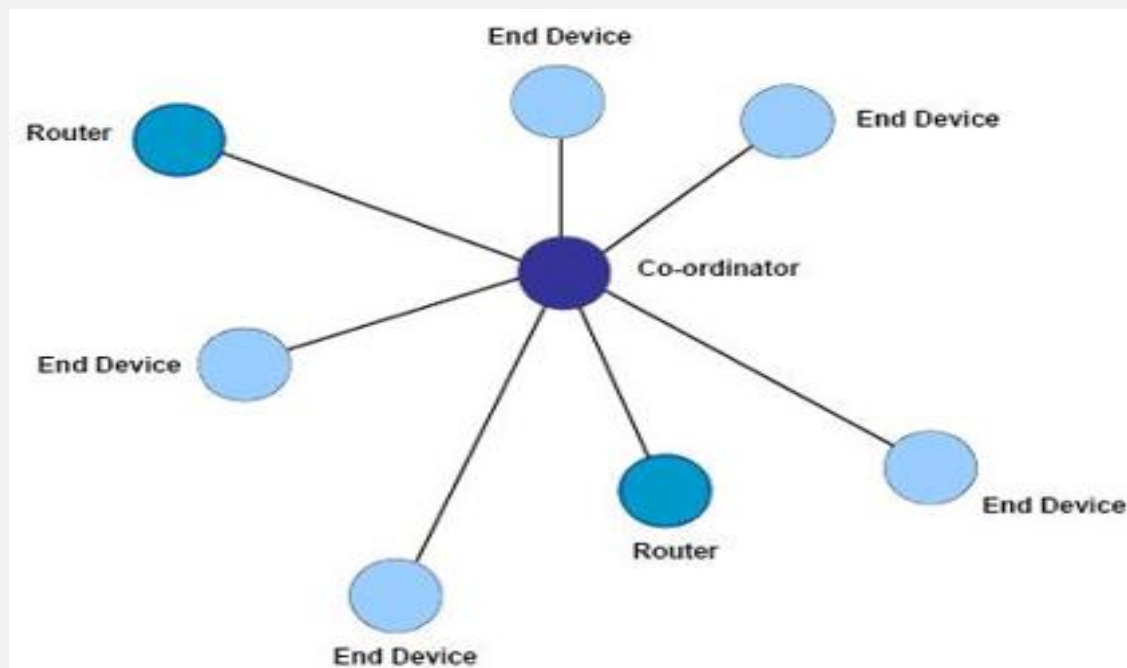
ZigBee网络体系结构简图

- IEEE 802.15.4协议标准
  - 主要规范了用于低速率无线PAN的物理层和MAC层的协议
  - 支持消耗功率最少并且通信范围在**百米量级**工作的简单设备
  - 支持两种网络拓扑，即**单跳星型网络**和超过通信范围的**多跳对等拓扑网络**

- ZigBee网络架构

- 星形拓扑

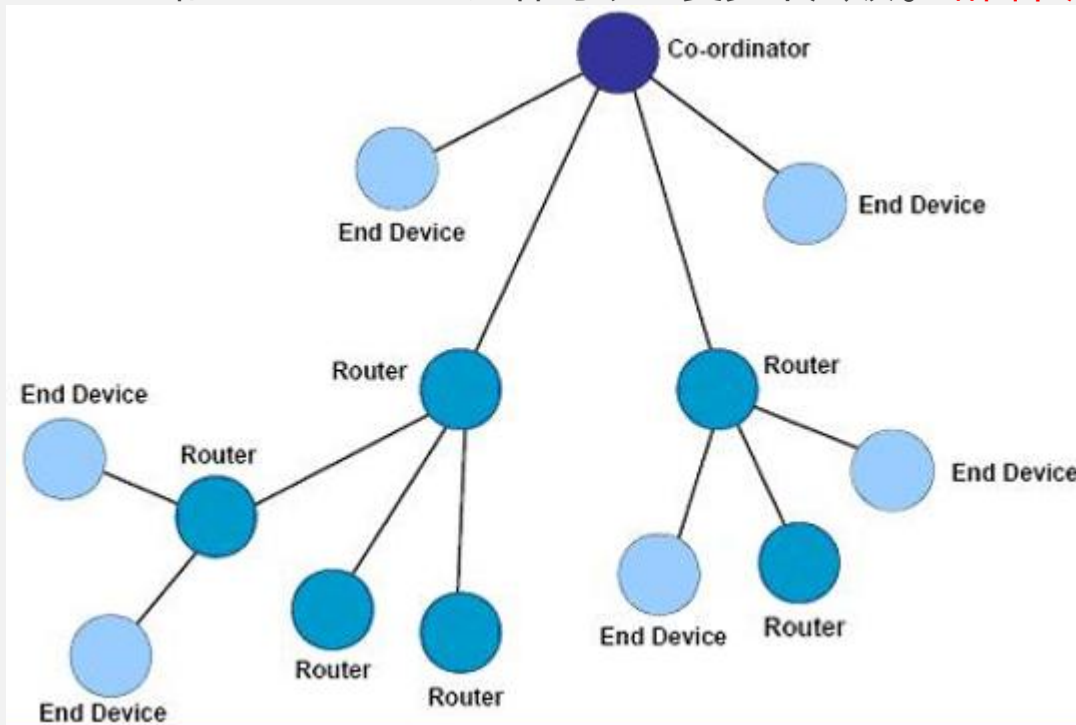
- 星形拓扑是最简单的一种拓扑形式，他包含一个Co-ordinator（协调者）节点和一系列的 End Device（终端）节点。每一个End Device 节点只能和 Co-ordinator 节点进行通讯。如果需要在两个 End Device 节点之间进行通讯必须通过Co-ordinator 节点进行信息的转发。



- ZigBee网络架构

- 树形拓扑

- 树形拓扑包括一个Co-ordinator（协调者）以及一系列的 Router（路由器）和 End Device（终端）节点。Co-ordinator 连接一系列的 Router 和 End Device，他的子节点的 Router也可以连接一系列的 Router 和End Device. 这样可以重复多个层级。**路由节点之间不可直接通讯。**

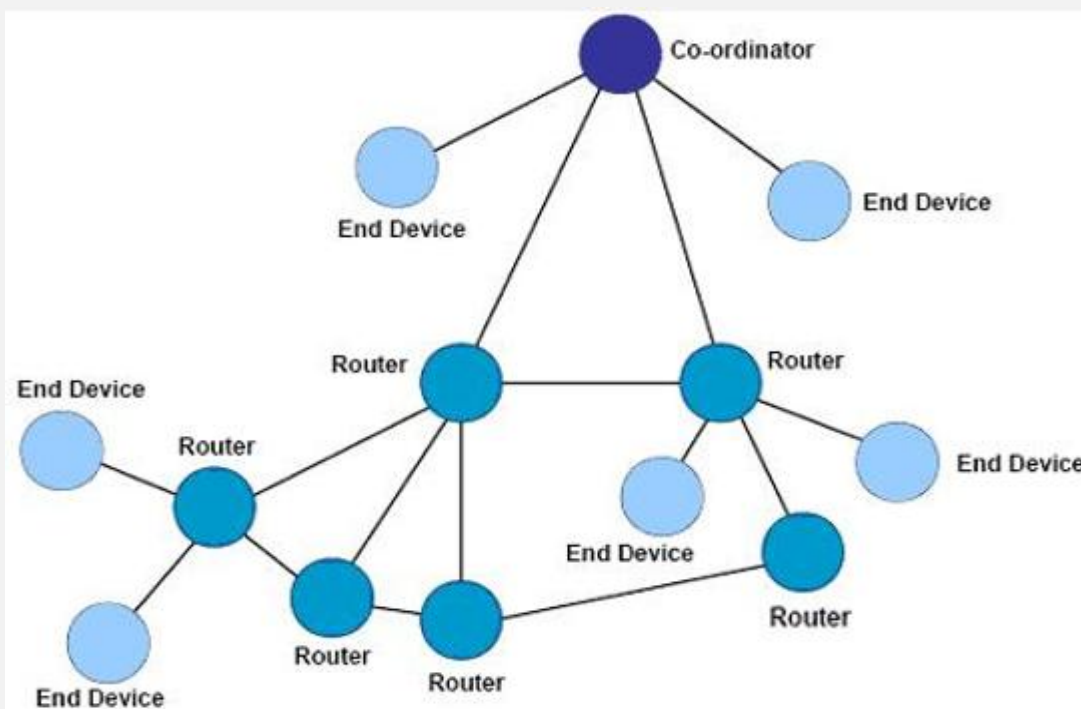




- ZigBee网络架构

- Mesh拓扑（网状拓扑）

- 包含一个Co-ordinator和一系列的Router 和End Device。这种网络拓扑形式和树形拓扑相同；请参考上面所提到的树形网络拓扑。但是，网状网络拓扑具有更加灵活的信息路由规则，在可能的情况下，**路由节点之间可以直接的通讯**。



- ZigBee物理层协议规范

- ZigBee物理层概述

- ZigBee工作频率的范围

- ZigBee所使用的频率范围主要分为868/915MHz和2.4GHz ISM频段

国家和地区ZigBee频率工作范围

工作频率范围/MHz	频段范围	国家和地区
868~868.6	ISM	欧洲
902~928	ISM	北美
2400~2483.5	ISM	全球

- ZigBee物理层协议规范

- ZigBee物理层概述

- 信道分配

- 定义了27个物理信道，信道编号从0到26，在不同的频段其带宽不同

- 2450MHz频段定义了16个信道，每个信道2MHz带宽；915MHz频段定义了10个信道，868MHz频段定义了1个信道

- 信道k的中心频率为  $f_k$  MHz，满足

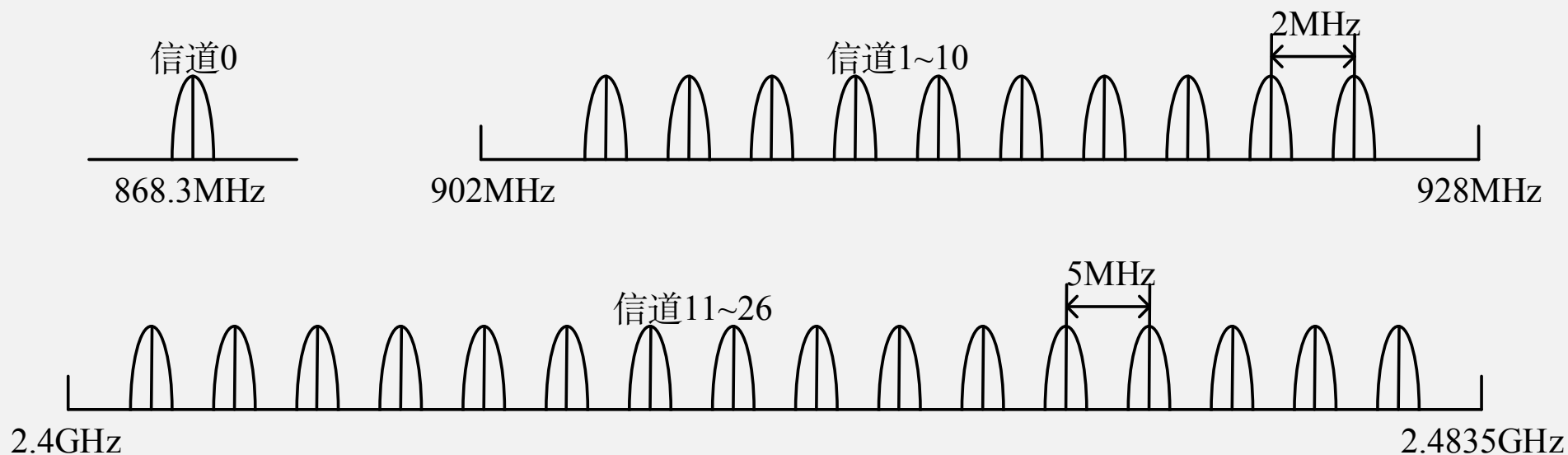
$$f_k = \begin{cases} 868.3 & k = 0 \\ 906 + 2(k - 1) & k = 1, 2, \dots, 10 \\ 2405 + 5(k - 11) & k = 11, 12, \dots, 26 \end{cases}$$

- ZigBee物理层协议规范

- ZigBee物理层概述

- 信道分配

- 频率和信道分布状况其频率和信道分布如下图所示



频率和信道分布

- ZigBee物理层协议规范

- ZigBee物理层概述

- ZigBee工作频率的范围

- IEEE 802.15.4规范标准对于不同的频率范围，规定了不同的调制方式，因而在不同的频率段上，其数据传输速率不同

频段和数据传输率

频段（MHz）	扩展参数		数据参数	
	码片速率（kchip/s）	调制	比特速率（kbit/s）	符号速率（kBaud）
868-868.6	300	BPSK	20	20
902-928	600	BPSK	40	40
2400-2483.5	2000	O-QPSK	250	62.5

- ZigBee物理层协议规范

- ZigBee物理层概述

- 发射功率

- ZigBee的常规发射功率范围为0 ~ +10dBm，通信范围通常为10m，可扩大到约300m

- 接收灵敏度

- 在给定接收误码率的条件下，接收设备的最低接收门限值，通常用dBm表示
      - 测量条件：在无干扰条件下，传送长度为20个字节的物理层数据包
      - 误码率小于1%的条件下，在接收天线端所测量的接收功率为ZigBee的接收灵敏度，通常要求为-85dBm

- ZigBee媒体访问控制层规范
  - IEE802.15.4定义的MAC层协议提供数据传输服务和MAC层管理服务
    - MAC公共部件子层（MAC Common Part Sublayer, MCPS）保证MPDU在物理层数据服务中的正确收发，负责MAC帧的传输
    - MAC子层管理实体（MAC sub-Layer Management Entity, MLME）负责从事MAC层的管理工作，并维护一个数据信息库。主要管理信道的访问，PAN的开始和维护，PAN节点的加入和退出，设备间的同步以及传输事务等

- ZigBee媒体访问控制层规范

- MAC层的主要功能

- 支持PAN的构建与解体，即承担PAN的关联和取消关联操作
    - 为协调器生成并发送信标帧
    - 设备与信标同步
    - 支持信道接入采用CSMA/CA机制
    - 支持时隙保护机制
    - 在两个对等的MAC实体之间提供个可靠的通信链路
    - 支持设备的安全机制



- ZigBee媒体访问控制层规范

- IEEE 802.15.4的网络通信模式

- **有信标网络模式**，即信标使能通信
      - 在有信标网络中，采用超时帧的结构，规定将包括信标帧的超时帧分为16个时隙（0~15），协调器定期发送信标帧，信标帧除了作为同步之外，也传送网络的相关信息
    - **无信标网络模式**，即信标不使能通信
      - 在无信标网络中，协调器不发送信标，一直处于“听”的状态，设备发送信息采用CSMA/CA竞争信道

- ZigBee媒体访问控制层规范

- IEEE 802.15.4的网络通信模式

- 超时帧结构（有信标方式）

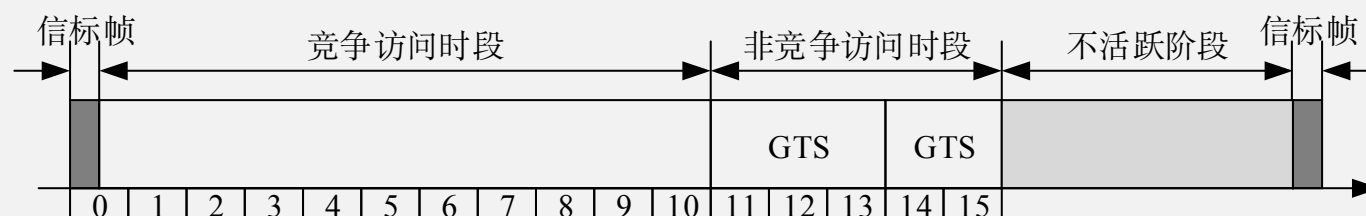
- 超时帧将通信时间分为“活跃”时段和“不活跃”时段两部分

- 活跃时段分成16个相等的时隙，所有设备只能在特定的时隙中进行数据收发

- ① 信标发送时段（占用第一个时隙）

- ② 竞争访问时段

- ③ 非竞争访问时段



超时帧结构简图

- ZigBee媒体访问控制层规范

- MAC层帧结构

在说明帧结构时全部用表格的形式列出，表格中的各列为帧的某一部分的组成部分。第一行为该部分的长度，以字节或位为单位用斜线隔开的2个数字，表示在不同情况下其长度的可能取值；第二行为各组成部分的名称

- MAC层帧结构概述

- 一个完整的 MAC层由帧头（MAC HeadeR, MHR）、帧载荷（MAC Payload）和帧尾（MAC FooteR, MFR）3部分组成

2字节	1字节	0/2字节	0/2/8字节	0/2字节	0/2/8字节	可变	2字节
帧控制域	帧序列号	目的网标识	目的地址	源网标识	源地址	帧载荷	FCS
		地址域					
MAC帧头						MAC载荷	帧尾

MAC层帧结构

- ZigBee媒体访问控制层规范

- MAC层帧结构

- 数据传输的可靠性

- 影响数据可靠性的因素：无线通信误码率和多个设备共享信道而产生的冲突
      - 网络采用CSMA/CA机制、帧确认机制和帧校验机制来保证数据传送的可靠性
      - ① **CSMA-CA**是带冲突避免的载波多路侦听访问技术，通过随机退避减少数据发送冲突
      - ② 协帧**确认机制**是一种**可选项**，发送“帧”的设备可以要求接收“帧”的设备，在成功接收数据后发送确认帧

# 02

## 物联网**无线**传输系统

- ZigBee
- **蓝牙**
- Wi-Fi
- LoRa

The global standard for simple, secure device communication and positioning

## Bluetooth® Classic

### Solution Areas



AUDIO STREAMING



DATA TRANSFER

### Device Communication



POINT-TO-POINT

### Basic Rate/Enhanced Data Rate Radio



SPECTRUM: 2.4 GHz ISM band  
CHANNELS: 79 one MHz channel with Adaptive Frequency Hopping  
BIT RATES: 1 Mb/s, 2 Mb/s, 3 Mb/s

## Bluetooth® Low Energy

### Solution Areas



AUDIO STREAMING



DATA TRANSFER



LOCATION SERVICES



DEVICE NETWORKS

### Device Communication



POINT-TO-POINT



BROADCAST

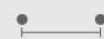


MESH

### Device Positioning



PRESENCE



DISTANCE



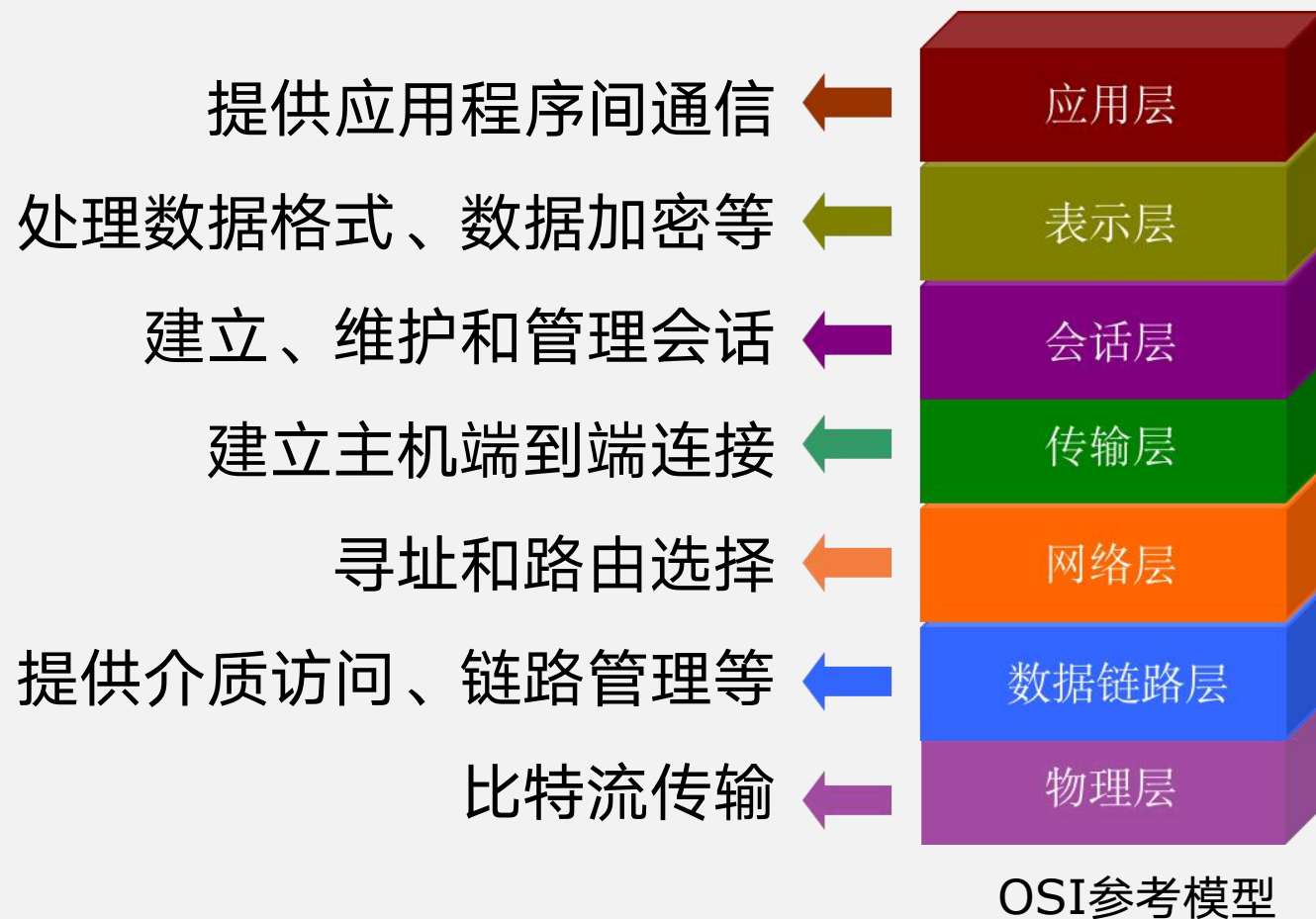
DIRECTION

### Low Energy Radio



SPECTRUM: 2.4 GHz ISM band  
CHANNELS: 40 two MHz channel with Adaptive Frequency Hopping  
BIT RATES: 125 Kb/s, 500 Kb/s, 1 Mb/s, 2 Mb/s

蓝牙协议采用分层结构，遵循开放系统互联（OSI，Open System Interconnection）参考模型





技术规范	传统蓝牙	低功耗蓝牙
无线电频率	2.4GHz	2.4GHz
理论通信距离	10m/100m	> 100m
空中数据率	1 ~ 3Mbps	1Mbps
支持活跃从设备数	7	未定义（理论最大值为232）
延迟	100ms	6ms
安全性	64/128-bit	128-bit AES
语音能力	有	无
耗电量	1W (参考值)	0.01 ~ 0.5W (依赖使用情况)
峰值电流消耗	< 30mA	< 15mA



蓝牙版本	发布时间	最大传输速度	传输距离
蓝牙5.4	2023	支持带响应的周期性广播（PAwR）	
蓝牙5.3	2021	提高低功耗蓝牙的通讯效率	
蓝牙5.2	2020	低功耗高品质音频传输	
蓝牙5.1	2019	定位增强、降低功耗	
蓝牙5.0	2016	48 Mbit/s	300米
蓝牙4.2	2014	24 Mbit/s	50米
蓝牙4.1	2013	24 Mbit/s	50米
蓝牙4.0（引入BLE）	2010	24 Mbit/s	50米
蓝牙3.0	2009	24 Mbit/s	10米
蓝牙2.1	2007	3 Mbit/s	10米
蓝牙2.0	2004	2.1 Mbit/s	10米
蓝牙1.2	2003	1 Mbit/s	10米
蓝牙1.1	2002	810 Kbit/s	10米
蓝牙1.0	1998	723.1 Kbit/s	10米



## 星闪 NearLink 点亮万物互联

星闪（NearLink）是新一代近距离无线联接技术  
始于中国，志在世界，为极致体验而生  
汇聚了国内外300多家头部企业和机构的集体智慧  
一套标准集合了多个传统无线技术的优势  
适用于消费电子、智能家居、汽车电子、工业智造等多场景  
为用户近距离的无线联接带来了六大新体验



2023年是星闪NearLink商用元年  
我们将携手共创更美好的万物互联体验

星光点点，光芒交汇  
唯有众星齐放，星光漫天，方能照亮长夜苍穹





 NearLink

VS

 Bluetooth

星 闪

蓝牙BLE

影 音 娱 乐



无线音频/放音/无线耳机、音箱



多声道无损

音质

立体声高清

地铁站、高铁站、飞机场、商场等  
无线信号强干扰环境下稳定可靠

连接稳定性

在地铁站、高铁站、飞机场、商场等  
无线信号强干扰环境下易出现卡顿、断连

端到端时延 30-40ms：满足观影、  
赛事现场直播、游戏听音辨位等  
从低到高时延要求的音画同步需求

音画同步

端到端时延 130-500ms：  
满足观影等对时延要求低的音画同步需求



**NearLink**

**VS**

**Bluetooth**

星 闪

蓝 牙 BLE



大屏游戏/游戏手柄、电竞鼠标、体感外设



高，最多支持8个手柄同时连接； 支持手柄 + 耳麦同时连接，体验流畅	配对灵活性	低，最多支持2个手柄同时连接； 手柄 + 耳麦同时连接易导致卡顿
最多支持10个体感传感器， 同步精准捕捉头部、躯干、四肢动作	多设备协同	最多支持2个体感传感器，支持有限的动作捕捉
无线操控卡顿和漏识别可能性极低	连接稳定性	无线操控卡顿和漏识别的可能性是星闪的10倍
高，设备回报率KHz级， 手持外设操作响应更快，体感运动轨迹跟踪更准	交互精准性	低，单设备回报率百Hz级

03

## 物联网**无线**传输系统

- ZigBee
- 蓝牙
- **Wi-Fi**
- LoRa



## 名字含义

WiFi的原意是一种**认证标志**，  
通过认证的设备保障能按照  
**802.11协议**互相兼容，全球  
的认证机构是**WIFI联盟**  
(**WFA**)，其前身是无线以太网  
兼容性联盟(WECA)。

20 YEARS  
of Wi-Fi®

1999

Six companies form  
Wireless Ethernet  
Compatibility Alliance

Organization becomes  
**Wi-Fi Alliance®**  
and introduces  
the term "**Wi-Fi®**"



2000

Wi-Fi delivers  
DATA RATES  
up to **11 Mbps**

FIRST  
**Wi-Fi®**  
CERTIFIED  
products  
announced





## Wi-Fi CERTIFIED™ Interoperability Certificate

This certificate lists the features that have successfully completed Wi-Fi Alliance interoperability testing.  
Learn more: [www.wi-fi.org/certification/programs](http://www.wi-fi.org/certification/programs)



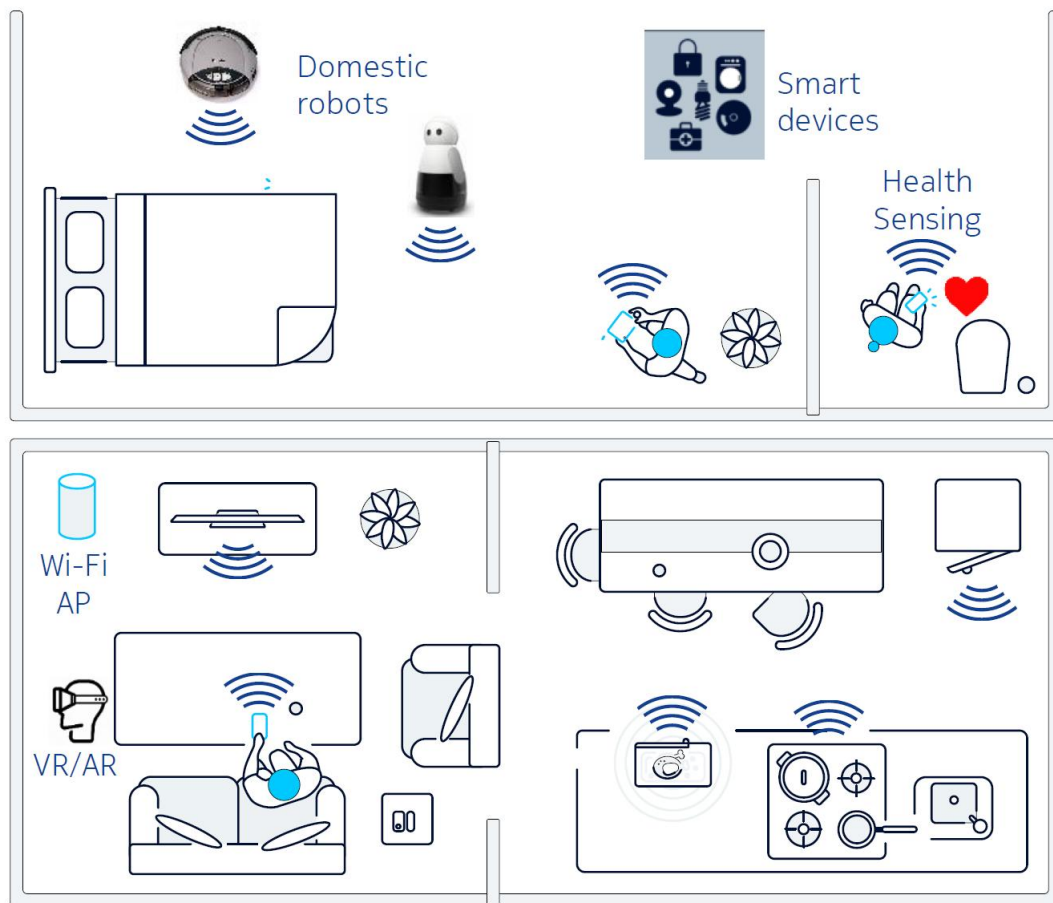
**Certification ID: WFA97787**

**Page 1 of 2**

<b>Date of Last Certification</b>	April 23, 2020
<b>Company</b>	Huawei Device Co., Ltd.
<b>Product</b>	Smart Phone
<b>Model Number</b>	OSP-AN00
<b>Product Identifier(s)</b>	
<b>Category</b>	Phones
<b>Subcategory</b>	Smartphone, multi-mode (Wi-Fi and other)
<b>Hardware Version</b>	Product: HL2WLZPM/HL2OXFPLM, Wi-Fi Component: Hi1103 V100
<b>Firmware Version</b>	Product: EMUI10.1.0, Wi-Fi Component: Hi1103 V100C03
<b>Operating System</b>	Android, version: 10
<b>Frequency Band(s)</b>	2.4 GHz, 5 GHz



## Residential



Bell Lab

## Enterprise

AR/VR (remote) live support



1. Human to enterprise

Sensor-based robot control



2. Robot to enterprise

3. Human to robot



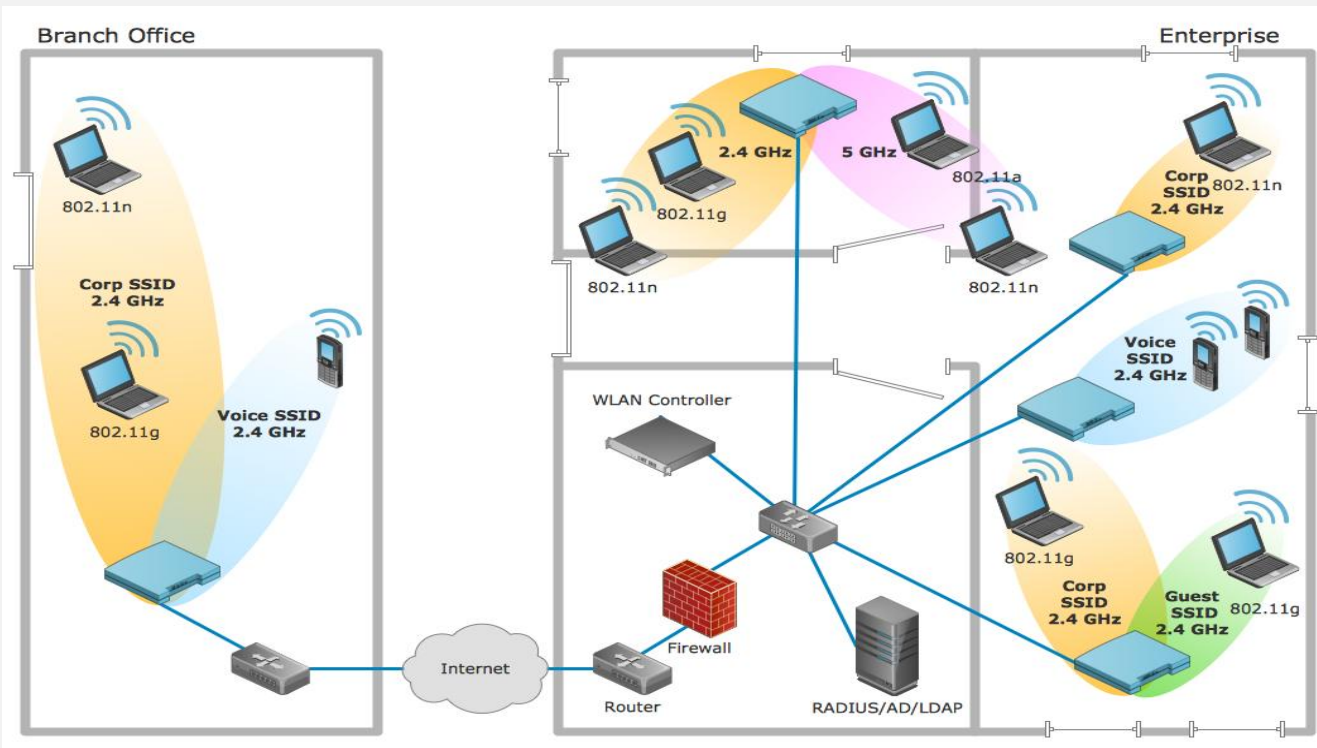
Video-based remote operation

4. Robot to Robot



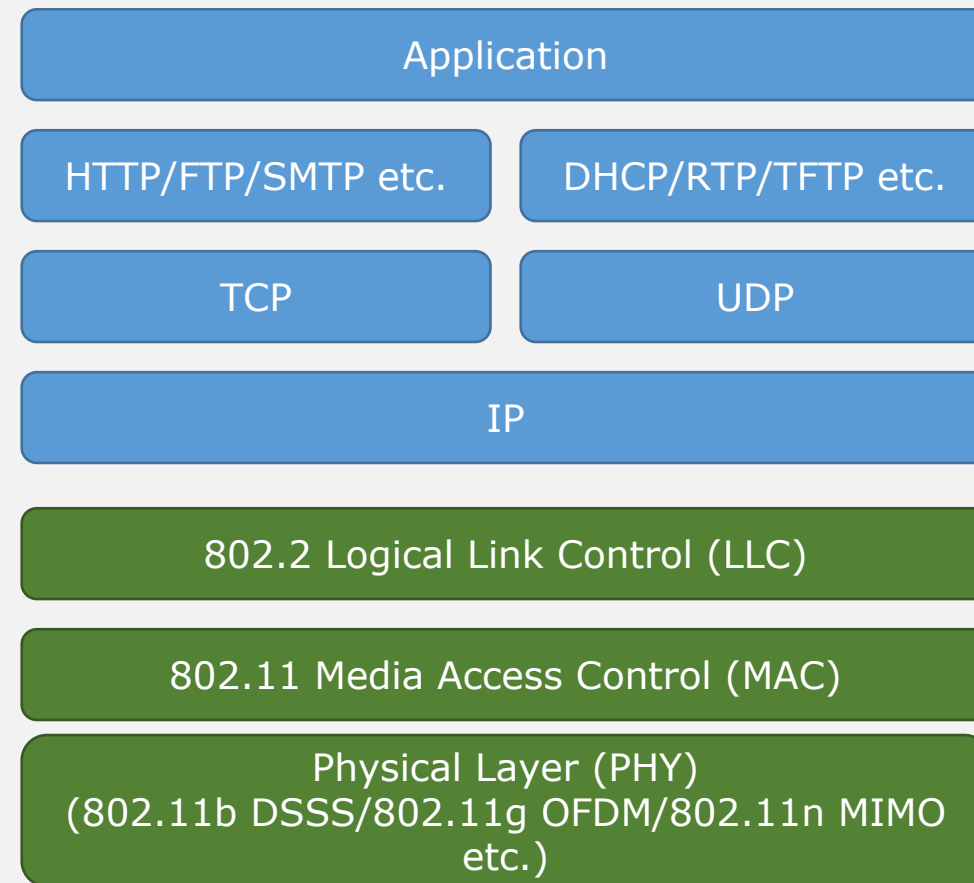
Cooperative tasks

Comms.  
use cases

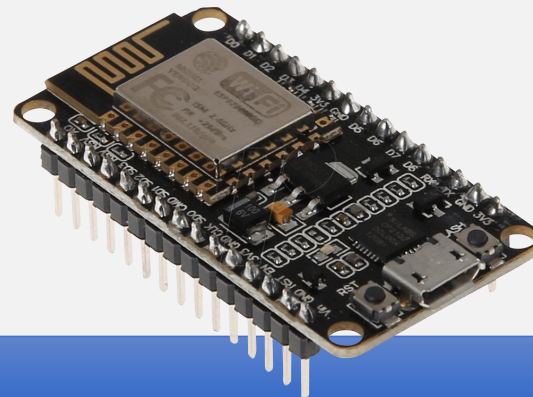


- 以中心网络架构为主，支持节点间通信
- 基于互联网络分层协议设计，Unlicensed频谱
- 半双工时分系统
- 载波侦听多路访问/冲突避免(CSMA/CA) 多用户共享信道

非接入侧



无线接入侧



## Wi-Fi产业链

### 芯片厂商

博通、高通、英特尔、联发科、德州仪器、瑞昱半导体、乐鑫科技、华为等

### 模组厂商

村田、环旭电子、TDK、太阳诱电、三星机电等

### 设备代工厂

共进股份、卓翼科技、智邦科技、中磊电子、明泰科技等

### 设备厂商

思科、华为、新华三、星网锐捷、网件、华硕、TP-LINK、UBNT、LINKSYS等



**20 YEARS of Wi-Fi®**

**1999**  
Six companies form Wireless Ethernet Compatibility Alliance

Organization becomes **Wi-Fi Alliance®** and introduces the term **"Wi-Fi®"**

**2000**  
Wi-Fi delivers DATA RATES up to **11 Mbps**

**FIRST Wi-Fi CERTIFIED products announced**

**2002**  
Membership reaches **100**

**2005**  
"Wi-Fi" is added to the Merriam-Webster's Collegiate® Dictionary

**2007**  
Wi-Fi CERTIFIED n OFFERS dual-band operation and 150 Mbps

**2004**  
First certified mobile phones and televisions enter the market

**2004**  
WPA2™ delivers heightened Wi-Fi security

**FIRST** in-flight Wi-Fi on commercial aircraft

**2009**

**ONE BILLIONTH** Wi-Fi device ships

- 100家成员
- 10亿出货量
- “空中”互联网
- 速率突破百兆
- WPA2

2010



Wi-Fi Direct®  
brings peer-to-peer  
connectivity

Global hotspots surpass  
**1,000,000**



Membership  
reaches  
**500**



2011

Wi-Fi is in **25%** OF HOMES  
WORLDWIDE



2012

Cumulative Wi-Fi device  
shipments **exceed**  
**5 BILLION**



Passpoint®  
introduces  
seamless  
authentication  
and roaming

2013

Global hotspots surpass  
**5,000,000**



Wi-Fi CERTIFIED **ac**  
BREAKS THE  
**Gigabit Barrier**



**10 BILLION**  
cumulative  
Wi-Fi device  
shipments

Wi-Fi certifications  
**REACH**  
**20,000**

2014

- 500家成员
- 热点部署增长5倍
- 累积出货增长2倍
- 支持P2P
- 支持漫游切换
- 速率突破千兆

2016

Wi-Fi CERTIFIED  
**WiGig™**  
brings multi-gigabit performance



2018

GLOBAL VALUE OF **Wi-Fi**  
**\$2 TRILLION** USD



Wi-Fi Alliance introduces Wi-Fi 6, Wi-Fi 5, and Wi-Fi 4 industry naming


**WPA3™** continues Wi-Fi SECURITY EVOLUTION

Wi-Fi CERTIFICATIONS **REACH 45,000**




2017


Cumulative Wi-Fi device shipments **REACH 20 BILLION**



Membership surpasses **800**



Home builders integrate **MOVE-IN READY WI-FI** to new home construction



2019

**30 BILLIONTH** Wi-Fi device ships

Wi-Fi CERTIFIED 6™ delivers next-generation connectivity

**WiFi 6™**  
CERTIFIED

- 800家成员
- 累积出货300亿
- “精装”送Wi-Fi
- 引入毫米波通信
- 接近万兆速率
- 正式引入数字区分版本
- WPA3





# Wi-Fi 6 vs 5G





# 关键技术与指标对比



网络类型	Wi-Fi 1	Wi-Fi 2	Wi-Fi 3	Wi-Fi 4	Wi-Fi 5	Wi-Fi 6	5G FR1
标准组织	IEEE						3GPP
协议号	802.11b	802.11a	802.11g	802.11n	802.11ac	802.11ax	TS38 NR
发布年份	1999	1999	2003	2009	2013/2016	2019	2019
工作频段	2.4 GHz	5 GHz	2.4 GHz	2.4/5 GHz	5 GHz	2.4/5 GHz	Sub 6 GHz
最大频宽	20MHz	20MHz	20MHz	40MHz	80/160MHz	160MHz	100MHz* 16cc(max)
最高调制	CCK	64QAM	QPSK	64QAM	256QAM	1024QAM	256QAM
单流带宽	11Mbps	54Mbps	54Mbps	150Mbps	433/866 Mbps	1.2Gbps	10Gbps(总)
最大空间流	1×1	1×1	1×1	4×4	8×8	8×8	Massive
MU-MIMO	N/A	N/A	N/A	不支持	不支持/ 仅下行	上/下行	上/下行
调制/多址	DSSS	OFDM	DSSS/ OFDM	OFDM	OFDM	OFDMA	OFDMA 动态SC间隔

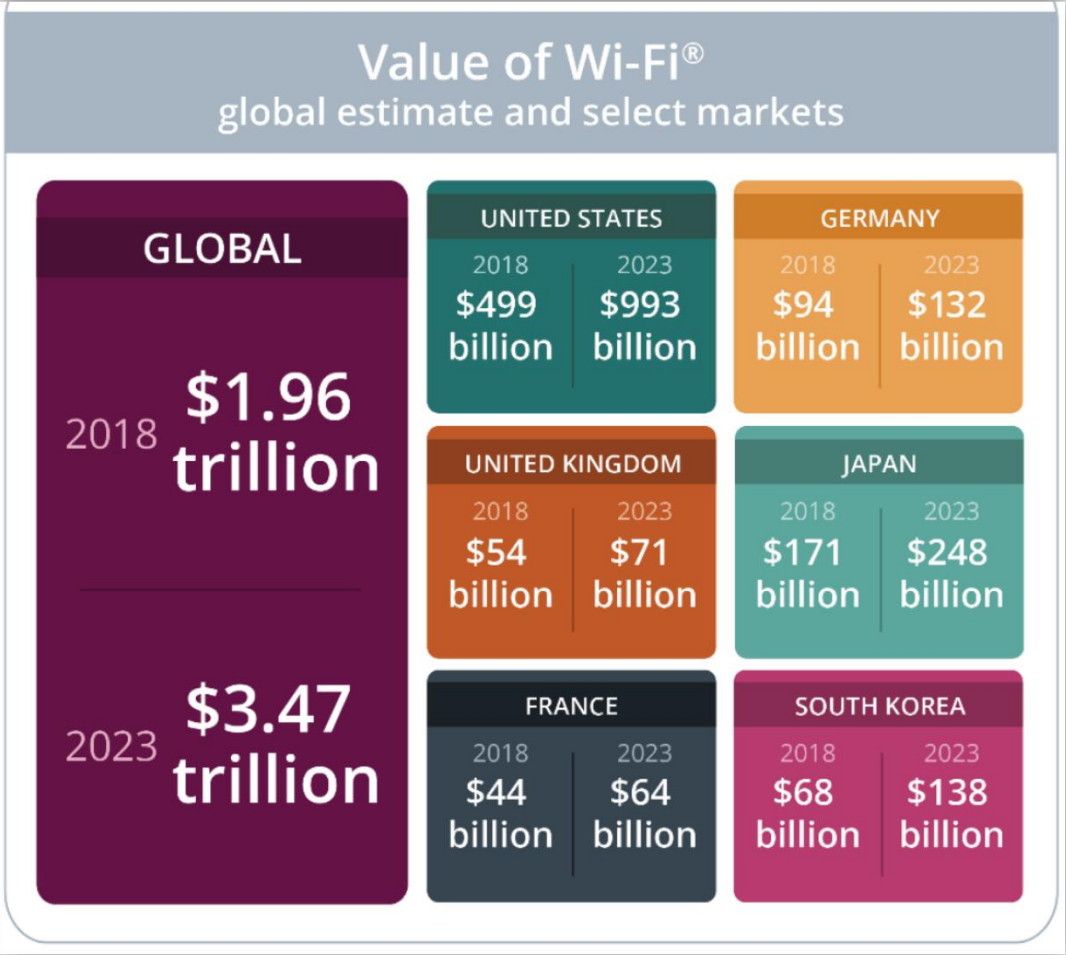




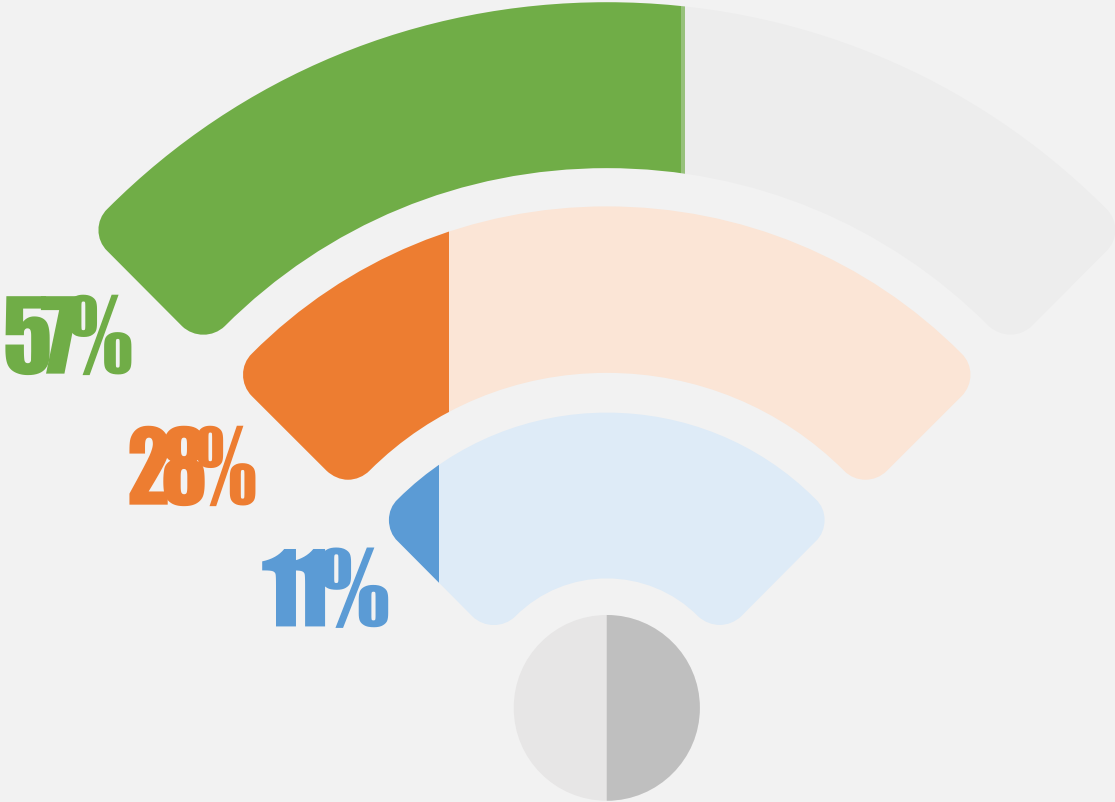
# 主要应用领域



Bell Lab



<https://www.wi-fi.org/value-of-wi-fi>



**3月底中国移动5G SA集采23万站，371亿元**  
中标份额排序：华为、中兴、爱立信、大唐

\*公开资料

THE NEXT  
20 YEARS

Relentless  
pursuit to  
connect  
everyone  
everything  
everywhere

www.20yearsofwifi.com

网络类型	WiGig	WiGig2?	Wi-Fi 7	5G FR2	6G
标准组织	IEEE			3GPP	3GPP
协议号	802.11ad	802.11ay	802.11be	TS38 NR	?
发布年份	2016	2019	2024?	2019	2030?
工作频段	60 GHz	60 GHz	2.4/5/6 GHz	24-52 GHz	0.1-10THz
最大频宽	2GHz	8GHz	320MHz	400MHz	10GHz?
目标速率(多流)	7~8Gbps	20~40Gbps	46Gbps	20Gbps	0.1-1Tbps
最大空间流	1×1	4×4	16×16	Massive	Massive
其他	10米	100米	低时延	N/A	AI 无线携能 空天地一体化

<https://www.qualcomm.com/solutions/networking/features/80211ad>  
<https://www.qualcomm.com/media/documents/files/5g-nr-mmwave-deployment-strategy-presentation.pdf>

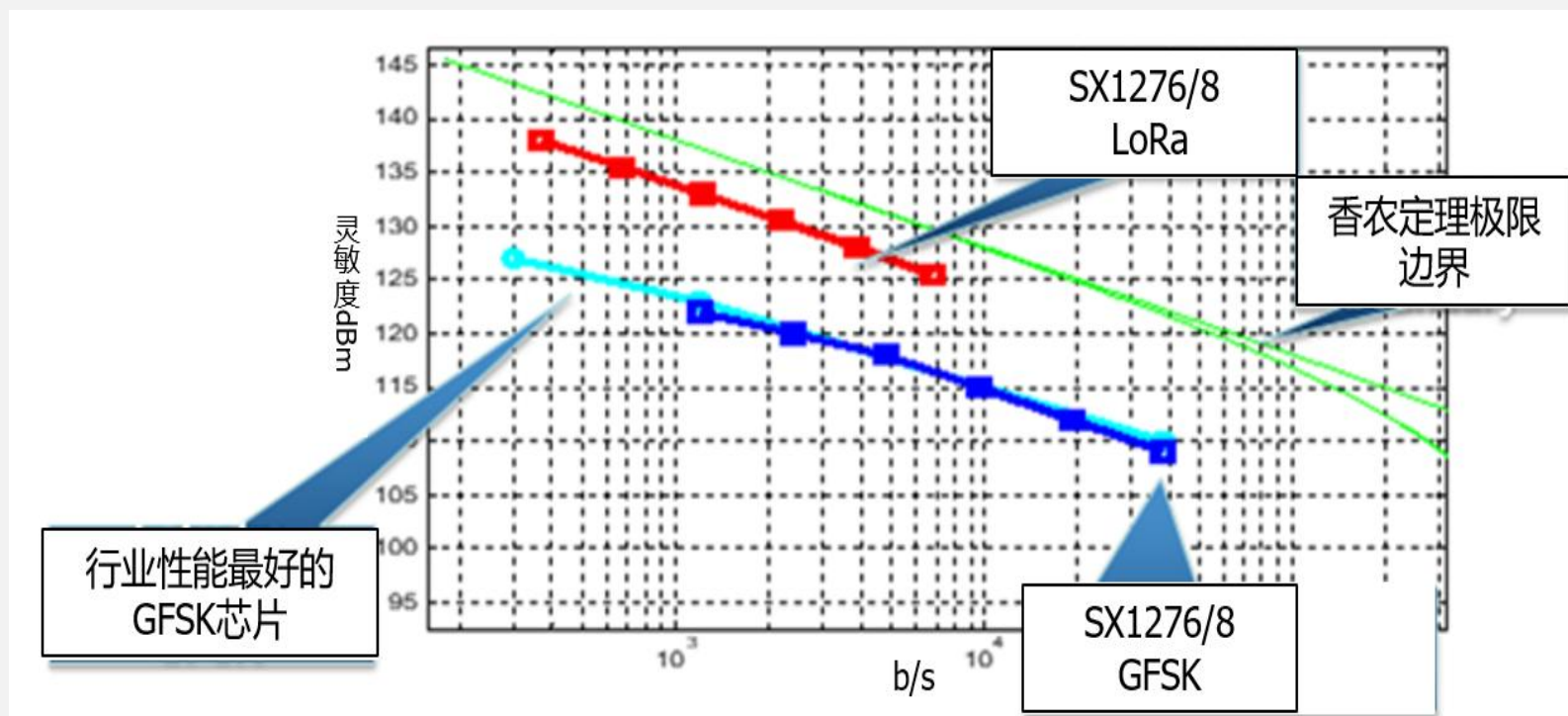
# 04

## 物联网**无线**传输系统

- ZigBee
- 蓝牙
- Wi-Fi
- **LoRa**

# LoRa技术特点—扩频跳频技术

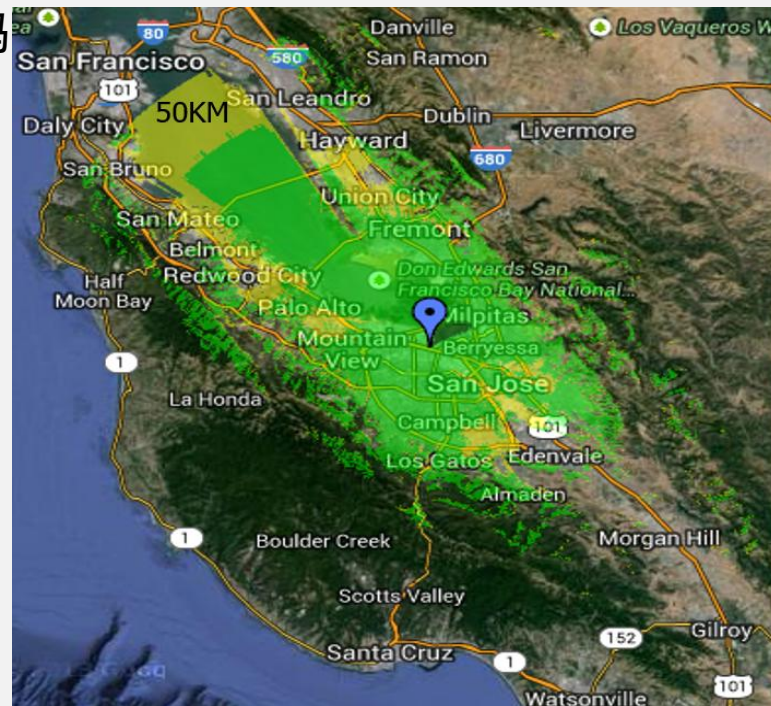
- LoRa技术是一种扩频调制技术，这种调制技术是Semtech公司独有的IP。扩频技术是一种用带宽换取灵敏度的技术，Wi-Fi、Zigbee等技术都使用了扩频技术，但是LoRa调制的特点是可以最大效率的提高灵敏度，以至于接近香农定理的极限。尤其是在低速率通信系统中，打破了传统的FSK窄带系统的实施极限





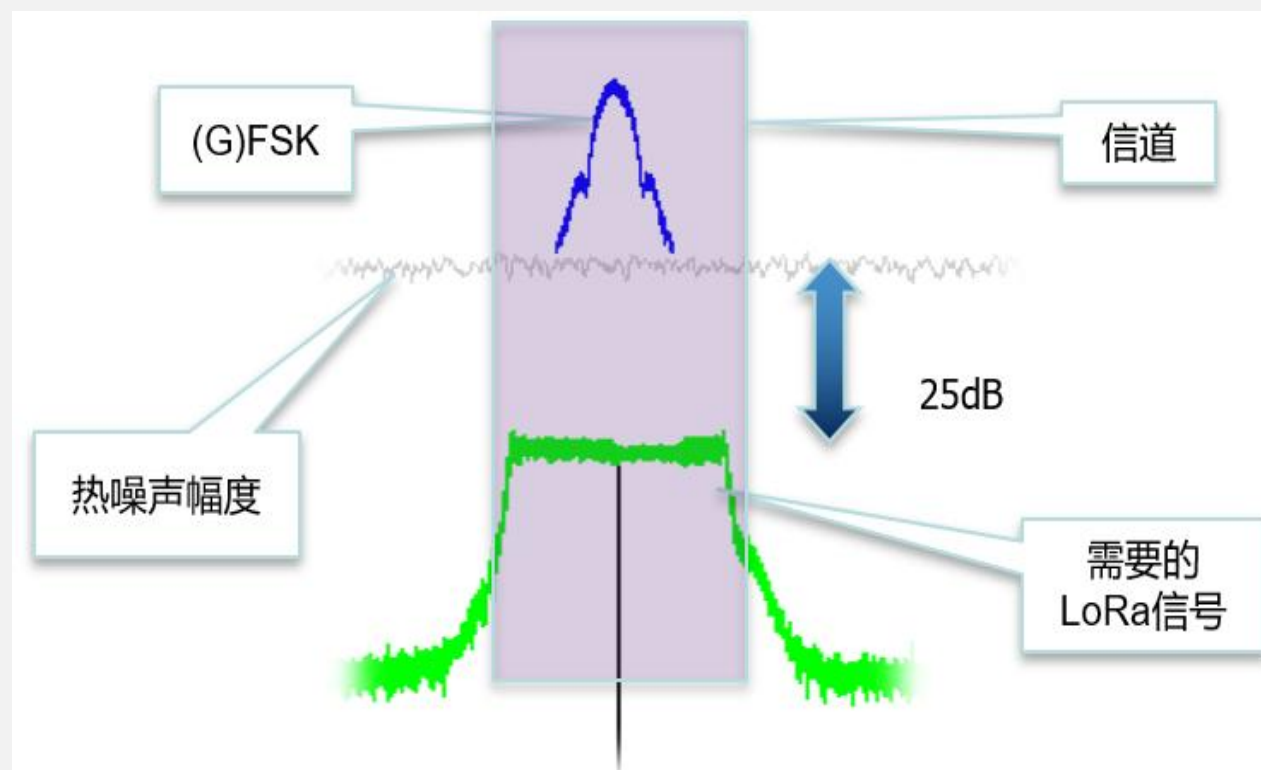
# LoRa技术特点——远距离

- 现在已经有多家卫星公司把LoRa发射到了近地卫星上，一般近地卫星距离地面600-1600千米
- LoRa的最高灵敏度可以到达-149.1dBm，而蓝牙、ZigBee等无线技术的灵敏度为-100dBm左右。LoRa灵敏度比他们好50dB，也就是说LoRa可以解调比蓝牙、ZigBee小10万倍的信号。LoRa的超高灵敏度来自于调制本身，不依赖于窄带（Sigfox使用超窄带技术）也不依赖于重传（NB-IoT技术使用重传技术），也不依赖于编码冗余（ZigBee使用编码



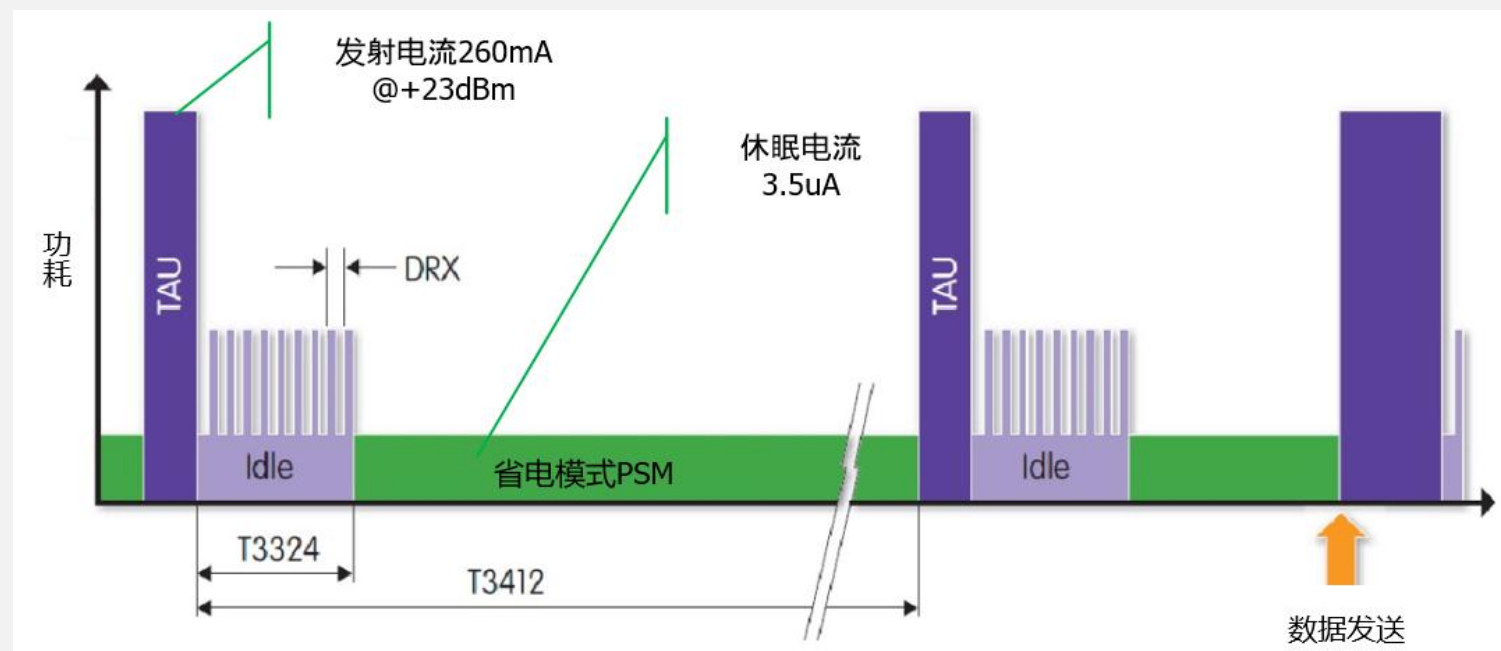
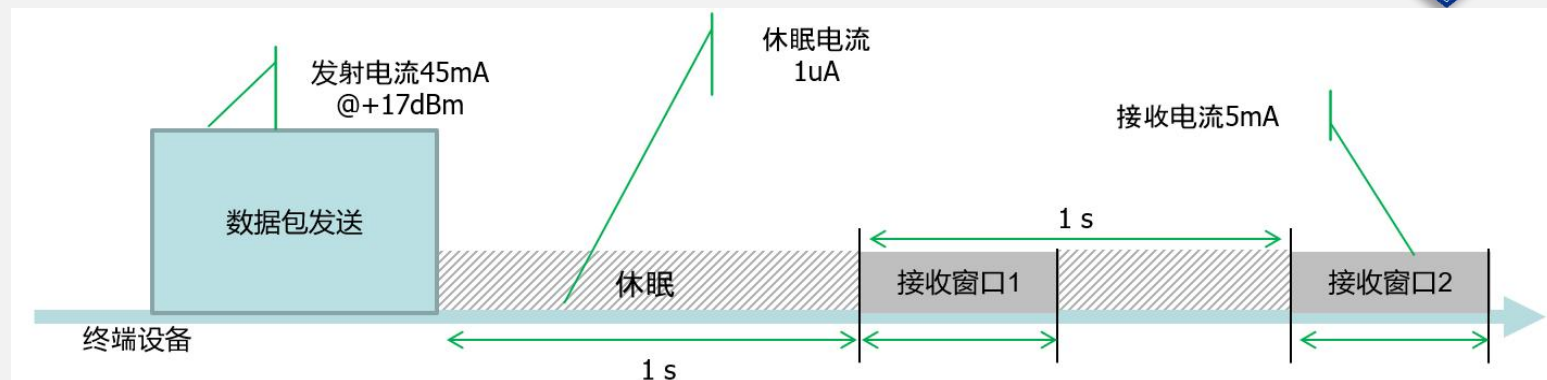
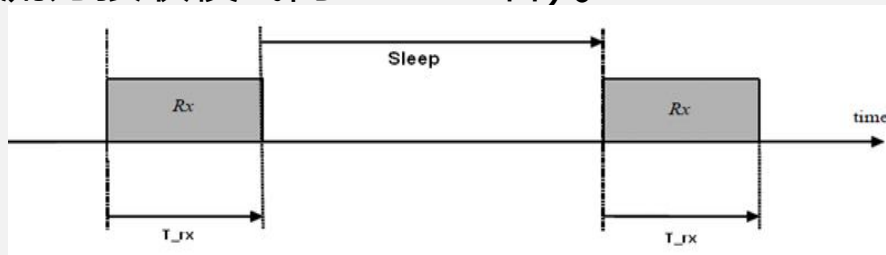
# LoRa技术特点——抗干扰能力强

- LoRa具有低于噪声25dB依然可以通信的极限抗干扰技术，这是现有传统通信技术都不具备的
- LoRa针对更强的突发性的随机干扰也有非常好的应对能力。如果面对突发长度 $< \frac{1}{2}$  LoRa的符号长度或干扰占空比 $< 50\%$ 的强干扰源，LoRa依然可以稳定解调，且保证其灵敏度恶化 $< 3\text{dB}$



# LoRa技术特点——低功耗

LoRa具有信道活动检测（Channel Activity Detection, CAD）功能，即短时间监听附近是否有指定频率和扩频因子的LoRa信号，且这个唤醒的信号可以低于噪声，这样就不会像传统的FSK经常被误唤醒。LoRa CAD整个过程仅需要约2 个码元（Symbol）时间，其中约1个Symbol接收（接收电流为4.6mA），1个Symbol的时间计算（电流为接收模式的50%左右）。

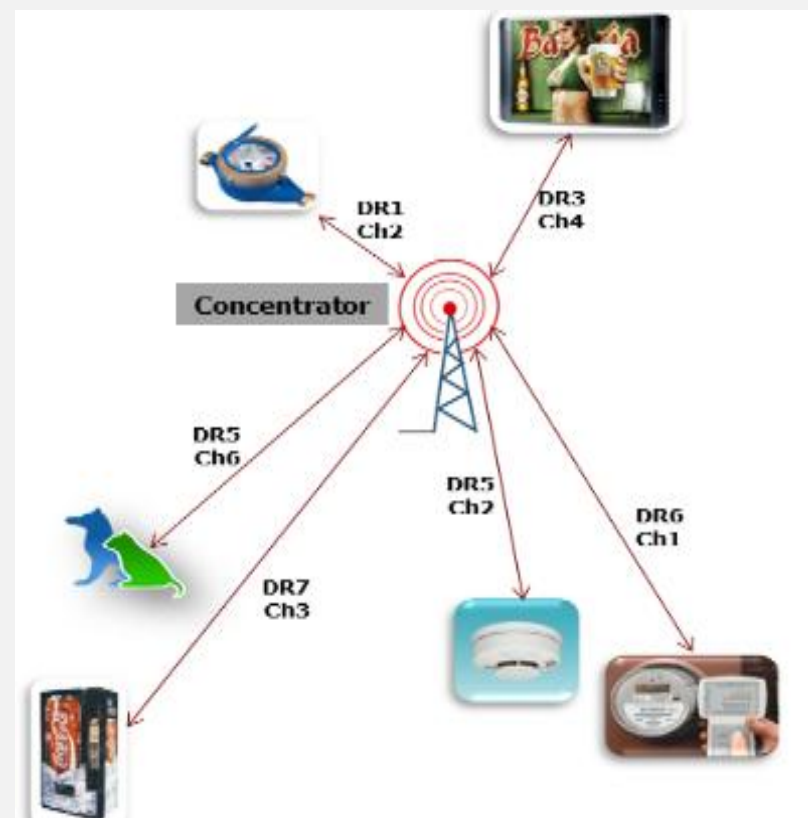




# LoRa技术特点——大容量

LoRaWAN的网络容量决定因素很多，主要跟以下几个参数相关：

- 节点的发包频次；
- 数据包的长度；
- 信号质量及节点的速率；
- 可用信道数量；
- 基站/网关的密度；
- 信令开销；
- 重传次数。
- LoRaWAN协议中具有根据终端节点状况进行调节的能力，叫做自适应速度选择（Adaptive Data Rate, ADR）



# LoRa技术特点——按需部署、独立组网

- LoRa就是一个“长Wi-Fi”技术，其部署特点与Wi-Fi非常相似。LoRa部署方便且可以独立组网，哪里有需要就在哪里建网，类比于哪里需要Wi-Fi信号哪里就放置一个Wi-Fi路由器一样。
- LoRa的部署过程也很简单，只要选择一个网关部署位置，连接网线和电源线即可。在没有网线的连接的地方可以利用运营商的4G网络或者本地的Wi-Fi无线网络完成LoRa网络部署。

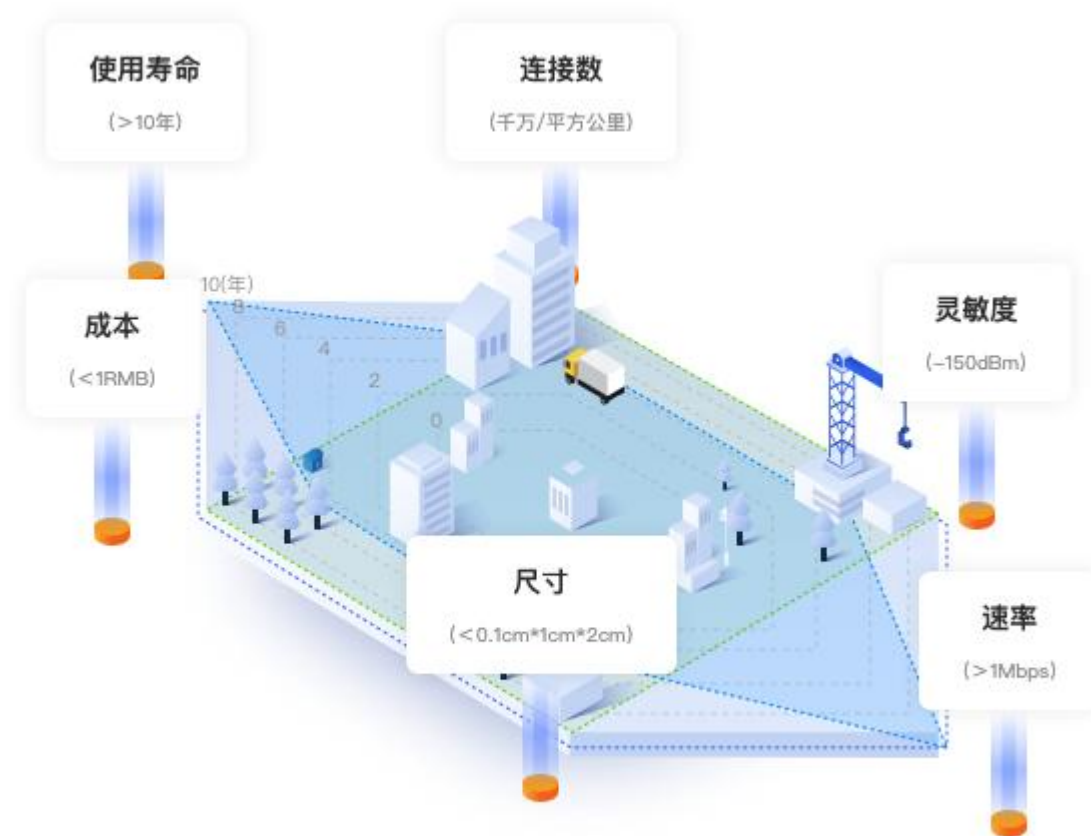


- 智慧表计 Metering;
- 智慧物流 Supply chain & Logistics;
- 智慧医疗 Healthcare;
- 智慧农业 Agriculture;
- 智慧工业 Industrial Control;
- 智慧建筑智慧家庭: Home & Building;
- 智慧社区智慧城市: Cities;
- 智慧环境 Environment;
- LoRa的应用种类还在不断扩充, 如手机应用、卫星应用、对讲机应用等层出不穷。相信随着这些应用的逐渐成熟, 会有更多新的应用进入LoRa生态之中。



## 什么是ZETA?

ZETA是由纵行科技自主研发的低功耗物联网通信技术，通过自研 Advanced M-FSK<sup>®</sup>无线通信基带，使ZETA能做到传统LPWAN技术的1/6功耗、1/8频谱占用压缩，同时最高速率提升了6倍。ZETA是全球首个支持分布式组网、首个为嵌入式端智能提供算法升级的LPWAN通讯标准，其愿景是通过持续的技术创新，研发10美分成本、10公里覆盖、10mw功耗甚至无源的窄带通信芯片IP，实现更下沉的LPWAN 2.0泛在物联。



- 本章主要内容：ZigBee、蓝牙、Wi-Fi 和LoRa 通信系统的基本原理、协议架构和系统特点。
- 本章学习目标
  - 了解ZigBee、蓝牙、Wi-Fi 和LoRa 通信系统的主要特点;
  - 熟悉上述系统的协议架构;
  - 掌握上述系统的基本原理与使用方法。