

# 物联网

物联网是通过部署一定**感知、计算、执行和通信**能力的各种设备，获得物理世界信息，通过网络实现信息的传输、协同和处理，从而实现**人与物、物与物**之间信息的**交换和互联**的网络。

物联网本身也有一个 3I 概念，即 Instrumented ( 物联化，强调设备 )、Interconnected ( 互联化，强调联系 )、Intelligent ( 智能化、强调智能 )。

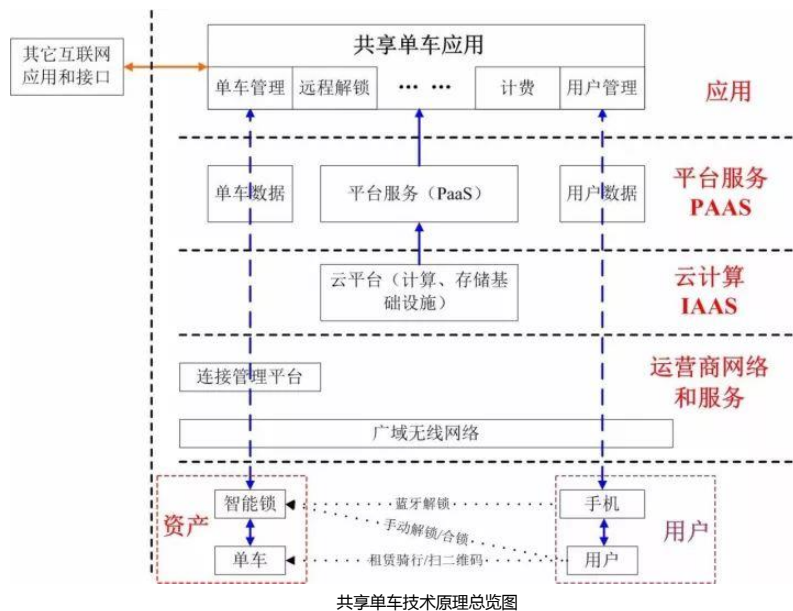
物联网的因为为 IoT ( Internet of Things )，最近还有一个新的概念叫 AIoT，即 AI+IoT，智能物联网。

## 以共享单车为例

下面将以共享单车的使用为例，简单讲述一下其背后的技术实现。共享单车的开锁和还车主要可以分为基于蓝牙方式的和基于短信或流量方式的两种。

批注 [刘1]: 参考：

<http://m.elecfans.com/article/604600.html>，  
[https://www.sohu.com/a/337285678\\_114731](https://www.sohu.com/a/337285678_114731)，  
<https://www.bilibili.com/video/BV1B4411i7py?from=search&seid=7018908228796776695>。



## 共享单车的构成

现在的共享单车除了本体的自行车以外，还包括一下几个模块：

1. 控制芯片：用于负责通信、车锁控制和状态信息收集。
2. 移动通信芯片：内置运营商的 sim 卡，负责和云端应用后台通信。
3. 蓝牙通信模块：用于连接用户手机实现解锁、闭锁。
4. GPS 通信模块：用于实现物理定位。
5. 车锁的传感器：用于感知车锁的开、关状态，并将车锁状态信息向控制芯片上报。
6. 车锁的执行器：控制芯片通过执行器对车锁进行开、关操作。
7. 蜂鸣器：发出异常状态报警音。
8. 电源模块：电池、太阳能充电板。

## 基于蓝牙方式的解锁还车

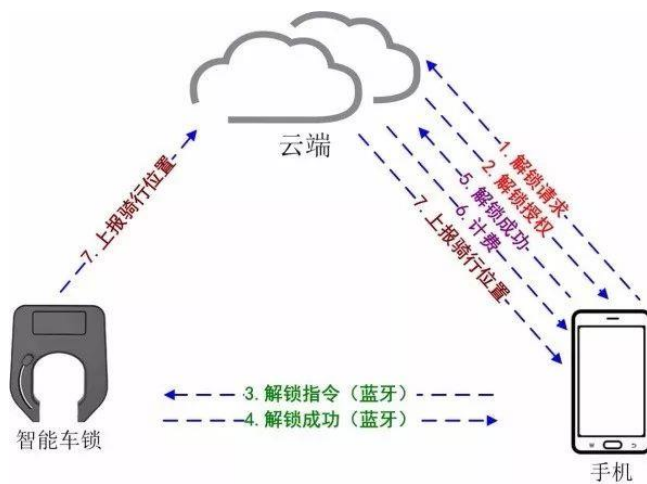
目前的共享单车大多采用这种方式进行解锁、还车，其主要原因是这种方式下，虽然

信息交互流程较繁琐,但与云端的交互大多由用户手机直接完成,这大大减少了单车运营商的通信成本和单车的耗电。

## 开锁

开锁流程如下：

1. 手机扫描单车二维码,将自身信息与单车信息一并发送至云端,同时手机与单车上的蓝牙进行配对。
2. 云端核查用户信息和单车信息,并将授权信息发送回手机。
3. 手机在接收到授权信息后,通过蓝牙接口将授权信息和解锁指令发送给车锁。
4. 车锁中的控制芯片核验授权信息后,控制车锁执行器打开车锁,同时通过蓝牙向手机发送解锁成功的信息。
5. 手机接收到解锁信息后,将解锁信息发送到云端。
6. 云端通知手机开始计费。
7. 运行过程中,手机和云端同时上报骑行位置。

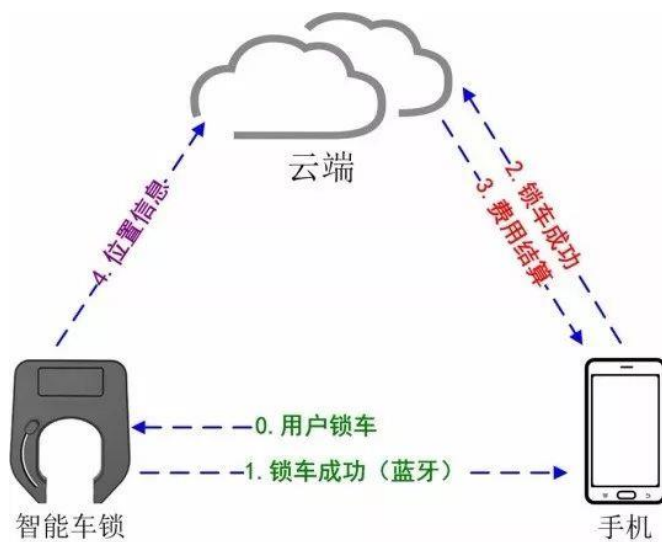


基于蓝牙方式的解锁流程

## 还车

还车流程如下：

1. 用户锁车后，车锁通过蓝牙像手机发送锁车成功的信息。
2. 手机将锁车成功的信息发送到云端。
3. 云端向用户发送结算费用的信息。
4. 在车锁被锁上后，车锁本身还会向云端发送自身的位置信息。



基于蓝牙方式的还车流程

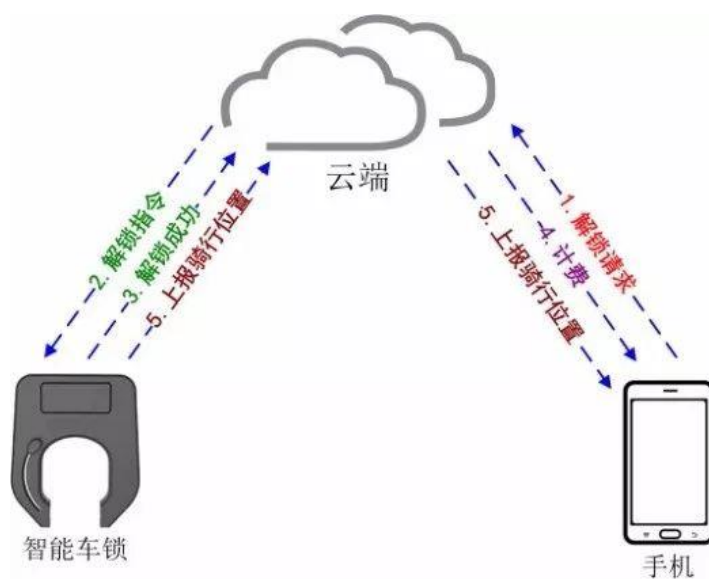
## 基于短信或流量方式的解锁还车

早期的共享单车大多都是使用这种方式进行智能锁的开锁和还车。这种解锁方式虽然信息交互流程简单，但与蓝牙解锁相比会更耗电、运营成本也更高（通信资费都由单车运营商承担）。不过一般出于使用稳定性考虑，这一解锁方式依然会被保留。

## 开锁

开锁流程如下：

1. 手机扫描单车二维码，将自身信息与单车信息一并发送至云端。
2. 云端核查用户信息和单车信息，并将解锁指令发送给单车车锁。车锁控制芯片接收到云端发来的信息后，控制车锁执行器打开车锁，同时向云端发送打开车锁的指令。
3. 云端接收到打开车锁的指令后，向用户发送车锁已开的信息，同时开始计费。
4. 在用户骑行过程中，单车和手机都会实时地向云端发送数据。

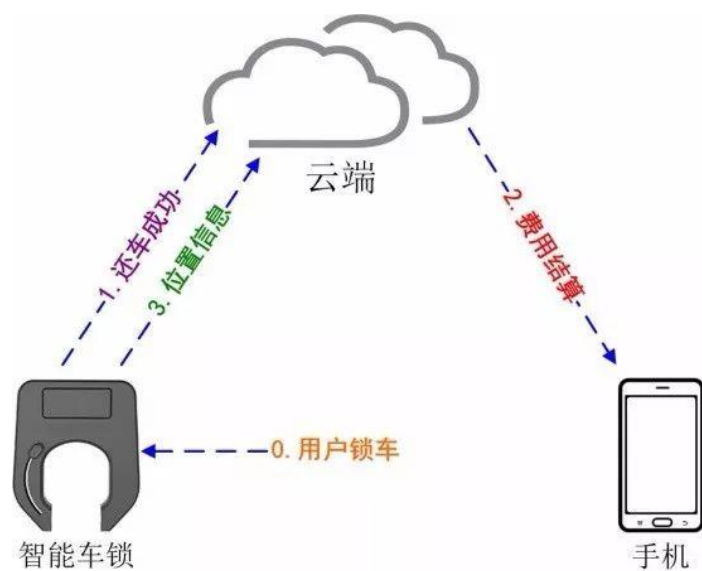


基于短信或流量方式的开锁流程

## 还车

还车流程如下：

1. 用户锁车后，车锁向云端发送锁车成功的信息。
2. 云端向手机发送费用结算信息。
3. 在车锁被锁上后，车锁本身还会向云端发送自身的位置信息。



基于短信或流量方式的还车流程

## 电子围栏

电子围栏实际上就是用于限制共享单车位置的技术，一般会通过在特定区域设置电子围栏，以实现共享单车在特定范围的聚集停放，避免乱停车、带车回家等问题的发生。

由上面的还车流程我们可以看到，在还车时，单车会向云端发送自身的位置信息。因此电子围栏的具体实现其实很简单，只要在单车发送自身的位置信息时，判断单车是否在电子围栏的范围之内。只有在范围内，才向手机发送计费信息；否则拒绝停止计费，直到用户将车辆移动到范围内为止。

但这样的做法虽然能够强迫用户在电子围栏的范围内还车，但一旦还车结束后，仍然无法阻止用户继续移动车辆。换言之，如果我想把车拿回家，我完全可以在电子围栏内还车，然后在确定还车后把车扛回家里。此外，如果电子围栏圈起的实际范围内已经没有停车位置了，这种机械式的范围限定范围会为用户带去麻烦。

## 物联网的经典三层结构

物联网的经典三层结构：感知层、网络层、应用层。其中感知层就是指通过传感器获取环境信息，如共享单车例子中的用于检测车锁开闭的传感器；网络层指所有与数据交互相关的环节，如共享单车例子中的开锁验证信息、位置信息、还车验证信息等等信息的交互；应用层指最终进行人-物交互、物-物交互的反馈环节。

## 物联网中的数据

物联网中对数据的操作包括存储、检索、使用、分析、保护（其实这部分也可以被视为是互联网中的对数据的操作流程）。

存储是指在本地或云端对用户的某些重要信息（如用户的 id、账户、密码，用户上传的视频、文字、音频等）的存储。

检索是指在接收到检索请求时，通过合适的搜索手段，对数据库中的数据进行检索，并返回合适的检索结果的过程。以 b 站为例，检索就是通过搜索名称获得需要的视频或视频作者的过程。

使用是指调用数据库中的数据以响应用户的指令。以 b 站为例，就是在用户点击播放视频的时候，通过调取数据库中的信息，将视频流传输给用户并在用户端实现播放的过程。

分析是指对获取到的各类信息进行分析，以期获得某种特征性的结论。以 b 站为例，就是 b 站根据以往用户的观看历史，间接得出用户的“画像”，随后选择性地向用户推送他可能感兴趣的内容。由于互联网时代面临着海量的数据，传统的统计分析面临着巨大的挑战，大数据的分析和处理已经成为了一个全新的产业。分析工作的主题也慢慢地由以前的个人、团队，转变为现在的企业、集团。

保护是指对用户隐私信息的保护。由于用户在互联网时代所产生的数据都将直接暴露给互联网公司，而这些数据往往都具有一定的隐私性，因此隐私保护成为互联网公司必须面对的一个问题。当然，目前的信息保护问题仍然没有得到很好的重视。一方面是缺少相关的法律法规；另一方面是以用户的隐私数据作为产品进行售卖所带来的收益远比为保护隐私所付出的成本要诱人的多。



# 物联网的核心技术

物联网主要的核心技术就是感知和通信技术。

## 感知与交互技术

这里所指的感知与交互，主要是物联网中用于实现数据获取或数据发送的技术。由于传感器相关的内容在“感知与传感器”中已经详细讲过了，因此这里就简单讲一些用于实现数据交互的技术。换一种方式说就是，人如何能将自己的某些信息快速、方便地提供给物联网。

### 一维码（条形码）与二维码

一维码（条形码）和二维码的本质都是将 0 和 1 转化为黑和白的单元，然后以图像的形式进行表示。

条形码用不同宽度的竖线表示不同数字。条形码中的竖线是有单位宽度的（黑白线的最小宽度相同），所有的竖线都是单位宽度的 1-4 倍。条形码中对数字的组合并不是通常二进制组合方式，它有独特的数字对照表，不同的数字对应不同宽度的竖线组合。条形码的两边最外侧都有用于表示帮助扫码器确定单位宽度的竖线。扫码器在确定竖线的单位宽度后，按一定间隔分段、分次读取条形码上的数据，并根据对照表实现解码。

我们现在使用的二维码多为 QR（Quick Response）二维码。二维码用相同大小的黑白方块表示 0 或 1。二维码的大小由 21\*21 到 177\*177 共分为 40 个级别，每上升一级都在各边上增加 4 格。

二维码的三个角上有三个定位码，用于实现二维码的正确定位；定位码附近还会有黑白相间的定位图案（时序图案），告诉扫码器横竖的标准方向；二维码一般还会有校正图形，尺寸越大，校正图形越多（我们有时候可以看到较复杂的二维码中有重复均匀的点阵，那个

批注 [刘2]: 参考：

<https://www.bilibili.com/video/BV1Y54y1D7cT?from=search&seid=8699398573168298005>。

就是校正图形)。定位码、时序图案、校正图形三者可以保证不论以何种角度的扫描，最终算法都能正确得到二维码的正面图案。

二维码在存储正确信息的同时还会存储纠错码，防止二维码被弄脏或缺失时无法正确扫描。在完成信息和纠错码的排布后，二维码还会和一个掩码进行异或运算，最终得到需要的二维码。具体的内容看上面的参考视频。

RFID

RFID，即 Radio Frequency IDentification，无线射频识别。RFID 是一种非接触式的自动识别技术。与一般的条形码、二维码识别不同，RFID 可以实现多物同时识别。目前 RFID 被广泛地应用在各种需要进行物体识别的领域，如高速公路的 ETC、公交卡、门禁卡、仓储与物流管理等。

RFID 的基本构成是标签、天线和读写器。标签被放在待识别物体上的，内部存有物体信息。天线与读写器通常为一体化，读写器通过天线发射一定功率的射频信号，标签在接收到这一信号后，将自身的信息发送回天线。天线接收到信息后，读写器根据信息确认具体的物体信息是什么。

RFID 根据工作频率可以分为低频（LF，Low Frequency）、高频（HF，High Frequency）、超高频（UHF，Ultra High Frequency）、微波（MW，MicroWave）；根据供电方式可以分为有源（有主动供电）和无源（无主动供电）。

根据工作频率分类

	低频	高频	超高频	微波
频率	30KHz-300KHz	3MHz-30MHz	860MHz-960MHz	2.45GHz-5.8GHz
距离	10cm 内	1m 内	10m 内（无源）	1m 内（无源） 50m 内（有源）

批注 [刘3]: 参考：  
<https://www.bilibili.com/video/BV1jt41167Mc?from=search&seid=14085054456752274866>，  
<https://www.bilibili.com/video/BV17t411o7km?from=search&seid=14085054456752274866>，  
<https://blog.csdn.net/pan0755/article/details/54092932>，  
<https://www.zhihu.com/question/50890786/answer/123173090>。

			100m 内（有源）	源）
抗干扰能力	强	较强	较差	差
特点	成本低，能量消耗小，信号穿透好；读取距离较短。	传输速度较快，安全性较高。	距离远	工作频率高，传输速度极快
应用场景	动物管理、容器识别、工具识别等封闭式追踪系统	二代身份证、公交卡、门禁、供应链物品追踪、智能货架等	铁路车辆识别、集装箱识别	高速公路 ETC

根据供电方式分类

RFID 根据供电方式可以分为有源与无源。

有源是指电子标签需要主动供电。天线向标签发送信号，激活电子标签后，电子标签主动将自身信息进行发送。一般有源的 RFID 通常有较远的发射距离。

无源是指电子标签没有主动供电。标签进入天线生成的磁场后因为电磁感应效应产生电流，使得标签内部的信号发射器能够向外发射信号。



无源 RFID 门禁卡样品，其中的红色方形线圈用于产生电流

## 信息编码

之前所提到的信息传递实际上传递的是经过不同标准编码的数字串，读写器在获取这个数字串后在通过数字串进行后续操作。之所以需要这样的编码是因为 RFID 希望做到的识别的唯一性。

目前比较常见的编码标准由 EPC 标准、UID RFID 标准和 IOS/IEC RFID 标准。标准不同，编码的字段分类和字段长度也不同。这里不做深入。

批注 [刘4]: 参考：

<https://zhuanlan.zhihu.com/p/269923317>。

## 通信技术

### WSN

WSN，即 Wireless Sensor Network，无线传感器网络。WSN 是物联网的关键技术，由区域内布置的大量传感器节点组成，以无线通信的方式形成一个自组织网络。节点将采集到的数据无线发送至网关，网关与现有网络系统相连接，通过软件对数据进行采集、加工、分析和显示。

批注 [刘5]: 参考：

<http://www.elecfans.com/baike/wuxian/20111107237562.html>。

### 无线电定位算法

基于无线电的室内定位算法主要有 TOA、TDOA、RSS、AOA 四种。实际应用中，一般会组合地使用多个定位技术，充分发挥各个技术的优势。

#### TOA

TOA，即 Time Of Arrival，信号到达时间。设备发射信号到达 3 个以上的基站，通过

批注 [刘6]: 参考：

<https://zhuanlan.zhihu.com/p/93742352>，  
[https://blog.csdn.net/qq\\_41011336/article/details/82981475](https://blog.csdn.net/qq_41011336/article/details/82981475)。

测量到达不同基站所用的时间，得到发射点与基站之间的距离。以基站为圆心，以所测得的距离为半径做圆，3 个圆的交点位置就是设备所在的位置。

TOA 方法的优点是定位的精度较高。

TOA 方法的缺点是，由于该方法通过计算信号的发出和到达时间的时间差求得设备与基站的距离，这要求设备与基站保持严格的时间同步。大多数场景无法实现这一要求。而且定位需要在基站间来回通信，功耗较高。

TOA 方法需要至少 3 个确定自身位置的基站才能确定未知设备的 2 维位置。

## TDOA

TDOA，即 Time Difference Of Arrival，信号到达时间差。设备发射信号到达 3 个不同的基站，通过设备的信号到达任意两个基站的时间差可以联立起 3 个方程（方程形如  $\sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} - \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2} = c * (t_1 - t_2)$ ）。注意，这里的方程其实可以理解为一个双曲线函数，双曲线函数的上的点到两焦点的距离之差为定值。在这里，两个固定的基站就是双曲线的两个焦点，设备到基站的距离在某一时刻可以视为定值。因此，实际问题就变成了求解三个双曲线的交点。

TDOA 的优点是不需要保持设备与基站的时间同步，只需保证基站之间的时间同步即可。在实际中比较容易实现。而且设备只许向外发射一次信号，功耗低。

TDOA 的缺点可能是开发略微复杂。

TDOA 方法需要至少 3 个确定自身位置的基站才能确定未知设备的 2 维位置。

## RSS

RSS，即 Received Signal Strength，接收信号强度。有时候也会看到 RSSI ( Received Signal Strength Indicator ) 的说法，两者其实原理相同，只不过 RSSI 对 RSS 的信号进行了额外的处理。RSS 方法有两种实现途径：一种方式与 TOA 类似，根据信号强度衰减来确

批注 [刘7]: 参考：

<https://www.cnblogs.com/tuzhuke/p/11639304.html>。

批注 [刘8]: 参考：

<https://blog.csdn.net/guolinlin11/article/details/52612547>。

这块网上内容好像都挺专业的，我也不是很确定，所以这里的内容就不多写了。

定设备到基站的距离,然后通过三个基站的测距焦点确定设备位置;另一种方式在使建立基站后分别在基站周围的不同位置测试信号强度,绘制 RSS 位置指纹,在需要定位时,根据位置指纹确定具体位置。

RSS 的缺点是可能存在较大误差。

## AOA

AOA, 即 Angle Of Arrival, 信号到达角。AOA 需要基站有天线阵列用于测量设备发送信号的角度。当设备向两个基站发送信号时,两个有天线阵列的基站会各自测量出一个角度,这两个角度的交汇区域就是设备所在位置。

AOA 的缺点是对硬件要求高,且容易受到外界环境影响,误差较大。在实际应用中较为受限。

AOA 方法需要至少 2 个确定自身位置的基站才能确定未知设备的 2 维位置。

批注 [刘9]: 参考:

[https://blog.csdn.net/qq\\_23947237/article/details/82738191](https://blog.csdn.net/qq_23947237/article/details/82738191),  
[https://blog.csdn.net/weixin\\_42583147/article/details/100574253?utm\\_medium=distribute.pc\\_relevant.none-task-blog-BlogCommendFromBaidu-1.control&depth\\_1-utm\\_source=distribute.pc\\_relevant.none-task-blog-BlogCommendFromBaidu-1.control](https://blog.csdn.net/weixin_42583147/article/details/100574253?utm_medium=distribute.pc_relevant.none-task-blog-BlogCommendFromBaidu-1.control&depth_1-utm_source=distribute.pc_relevant.none-task-blog-BlogCommendFromBaidu-1.control)。

## 互联网技术

互联网的本质就是通过若干网络节点将无数的数据终端相连,使其能够相互访问的网络媒介。

互联网技术非常复杂,这里只简单的把 TCP/IP 和 ipv6 展开讲一下。

## TCP/IP

IP, 即 Internet Protocol, 网际互连协议。IP 地址是网际协议中用于表示发送或接受数据包的一串数字。互联网的本质就是终端与终端之间的通信,因此通过 ip 地址确定通信双方的具体网络路径,通信双方就能在互联网中找到对方并进行数据交换。在通信双方进行信息交换时,信息会打包成信息包进行发送。信息包的最前面会有 ip 头文件,互联网中的

批注 [刘10]: 参考:

<https://www.bilibili.com/video/BV1EW411u7th?p=28>。

批注 [刘11]: 参考:

<https://www.bilibili.com/video/BV1DD4y127r4>。  
端口:  
<https://www.zhihu.com/question/22577025/answer/103910378>。(问题里就给出解答了)  
TCP/IP 协议的三次握手和四次挥手:  
<https://www.bilibili.com/video/BV1bi4y1x7m5?from=search&seid=5174879613672861833>。(了解即可)

交换单元根据其中的 ip 地址确定信息包的投送目的地，进而将信息包转交给下一级更靠近目的地的交换单元。

TCP，即 Transmission Control Protocol，传输控制协议。TCP 是在信息包中位于 ip 头文件之后的部分，因此人们会称此为 TCP/IP。简而言之，TCP 就是一种对需要进行交互的信息进行规则化处理的协议。

TCP 中包含了端口号、校验和、序号等内容。

批注 [刘12]: 校验和是个专有名词，不是我打错了。

端口号是用于在信息包到达具体的 ip 地址后用于确定具体要将信息包传递到哪个程序的。以电脑为例，即使电脑的 ip 地址是固定的，电脑中有大量的程序在运行。信息包到达后如果缺少端口信息，电脑就无法确定要将这个信息包传递给谁。结果就是必须将信息包逐个传给所有程序，造成了极大的时间和资源的浪费。当有端口信息后，电脑就能直接将信息包传递给对应端口的程序，省时省力。

校验和是用于快速校验信息包中的数据是否丢失的。在数据发出前，通过将信息包中的所有数据加总，得到一个和，保留这个和的最低 16 位，得到一个校验和。在数据到达后，接收端再次将信息包中的数据全部加总，确定一个校验和。通过比较这两个校验和是否相等，就能确定是否存在信息丢失。

序号是指信息包的顺序号码。处于保证互联网通常的要求，一般传输数据时会将一个很大的文件分拆成几个小的信息包进行传输。由于同一文件拆分成的信息包可能是走不同的网络路径最终到达传送终端的，因此按先后顺序发送的一组信息包最终的到达顺序可能与最初的发送顺序并不相符（也有可能出现信息包丢失的问题）。此时，就需对每个信息包进行编号，方便接收端在收到信息包后能够重新将它们组合起来。

此外，TCP 还会要求接收方在接收到信息包后向发送者重新发送一个确认码（ACK，ACKnowledgement）。发送方如果接收到了确认码，说明之前的信息包已经到达；如果没

有接收到确认码,就说明之前的信息包可能并没有到达接收方,发送包此时需要将之前发送的信息包进行再次发送。

不过 TCP 的存在导致了要传输的数据量被大大增加了。因此,在一些需要很低延迟的应用中( FPS 游戏或视频会议),设备还是会选择采用一种相对更原始的传输协议——UDP ( User Datagram Protocol, 用户数据报协议,简单的说就是传输内容更少,且不需要返回确认码,这里不过多展开)。

#### ipv4 与 ipv6

ipv4, 即 Internet Protocol version 4。ipv4 地址由 32 位数构成,通常将 ipv4 分 4 段表示,每段 8 位。因此我们一般看见的 ipv4 地址都是 0.0.0.0-255.255.255.255 之间的地址。

ipv4 地址一共有  $2^{32}$  (约 40 亿) 个,我们很久以前就在说 ip 地址面临枯竭的问题,其实就是因为 ipv4 地址是有限的。之所以这一问题在 21 世纪初就提出了,可到现在大部分应用仍然能基于 ipv4 良好运行是因为 NAT ( Network Address Translation, 网络地址转换) 技术的产生。其基本思路是,ip 地址枯竭,实际是指公网地址枯竭,既然如此,只要我在不需要公网地址的地方尽量不提供公网地址,以一个公网地址组建的局域网,覆盖大片需要访问互联网但不需要被其他用户直接访问的用户,保证它们能访问到互联网,问题就解决了。

具体实施起来就是,在有必要使用 ipv4 地址的地方,统一采用运营商提供的内网地址;只有当使用者明确提出需要公网地址时,再安排从  $2^{32}$  个公网地址中的地址。如果用户采用的是内网地址,地址为 x.x.x.x,互联网中的其他用户是无法直接通过 x.x.x.x 来实现对该用户的访问的。因为 x.x.x.x 实际某个以公网地址 y.y.y.y 为接入口下的局域网中的地址,因此如果不知道 y.y.y.y,是无法找到其中的具体用户的。如果用户用的是公网地址,地址为



z.z.z.z, 则互联网中的其他用户就可以直接通过 z.z.z.z 来对其进行访问。NAT 技术的出现, 通过只给有需要的用户分配公网地址 ( 如网站、游戏服务等, 这类用户需要接受来自其他用户的直接访问 ), 对无需要的用户分配内网地址 ( 如一般家庭私人用户, 这类用户更多地是访问别人, 不需要被别人访问 ), 用在公网地址下创建局域网的方法, 避免了 ip 地址的枯竭问题 ( 不过貌似 2020 年, ip 地址最后还是枯竭了 )。

ipv6, 即 Internet Protocol version 6。ipv6 地址由 8 组每组 4 位 16 进制数组成 ( 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 – FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF ), 理论上可以提供  $16^{32}$  ( 约  $3.4 \times 10^{38}$  ) 个 ip 地址。这一数量级的 ip 地址可以说在很长时间内都解决了 ip 地址不够用的问题。此外, ipv6 协议本身也对很多网络基础内容进行了修改, 这里不多展开。

ipv4 和 ipv6 是不能直接相互连接的, 需要通过一定的手段进行转换。现阶段, 由于 ipv4 在 NAT 技术下一定程度地解决了地址枯竭的问题, 加之它是一直以来使用的网络协议, 各大通信商、网络服务提供方都没有那么大的动力去推进 ipv6 的发展。

## 无线通信技术

无线通信可以根据距离分为远距离无线通信技术和近距离无线通信技术。

### 基础概念

#### ISM 频段

ISM, 即 Industrial Scientific Medical。我们生活中大量的无线设备的信号传输都是在 2.4GHz 这个频段的, 因为这个频段是世界统一的公开使用、无需授权的无线频段 ( 除了 2.4GHz 外, 也有其他频段是 ISM 的, 但是 2.4GHz 似乎是应用最广泛的 )。

由于 ISM 的公开性, 大量无线通信技术都选择使用这一频段, 这就导致可能出现的信号干扰问题。这里所致的信号干扰并不是说信号本身会被修改, 而是指当设备在接收信号时

批注 [刘13]: 参考 :

<https://www.bilibili.com/video/BV1CW411u7RY?p=4>,

<https://zhuanlan.zhihu.com/p/137391589>。

参考书:《物联网》, 清华大学出版社, 高泽华、孙文生编著。

<https://www.bilibili.com/video/BV1Mv411b7Jv>。(可以配合文字一起理解)

批注 [刘14]: 参考 :

<https://www.bilibili.com/video/BV1L5411V7tF?from=search&seid=14062805267863881923>。

时,由于大量信号都在同一频段内,这就导致设备接收了本应该发送给其他设备的信号,而错过了发送给自己的信号。

#### 单工、双工、全双工

单工通信就是指只能单向通信,比如广播,用户只能收听不能发送。

双工通信(一般也成为半双工)是指可以实现双向通信,但不能同时,比如对讲机,同时只能有一个人说话。半双工就好像一架单车道的桥上有对行的两辆车,要想过桥必须让其中一个先过,再让后一个过,两者不能同时过桥。

全双工通信是指可以实现双向通信,且可以同时双向通信,比如电话,一个人在另一个说话时也能同时说话(电话在功能上看是全双工的,但技术上实际并不是,但这里的重点在于强调全双工的功能表现,因此不用过于深究)。

全双工的实现可以分为时分和频分。时分是指只使用一个信道传递信息,通过缩小信息传递单元,用少量、低间隔的传输来组成完整的信息流。频分是指用两个独立的信道进行信息的上行和下行,由于上下行信道分离,也就不存在信息堵塞的问题了。

#### 通信组网技术

下面提到的技术基本上都是用于提供小范围的信号覆盖及不同设备间进行点对点或多点组网的场景。

#### WiFi

WiFi(并不是 Wireless Fidelity,无线高保真技术——来自 wiki;WiFi 说到底只是一个商标)。WiFi 是一种允许电子设备连接到无线局域网(WLAN, Wireless Local Area Network)的技术。

在日常生活中,我们经常会把 WiFi 与 WLAN 相混淆。实际上,真正的用于进行数据传输的无线网络应该是 WLAN。WLAN 用无线射频信号取代通信电缆,实现设备与网络

批注 [刘15]: 参考:

<https://zhuanlan.zhihu.com/p/71385674>。

批注 [刘16]: 参考:

<https://www.zhihu.com/question/29505844>,  
<https://blog.csdn.net/chenpkai/article/details/71260384>,  
<https://www.zhihu.com/question/20587817>,  
<https://www.zhihu.com/question/372959110/answer/1213214028>。

WiFi 技术详解参考:

<https://www.bilibili.com/video/BV1eK4y1f7zU>。

之间的连接，是个很广泛的概念。而 WiFi 只是 WLAN 中使用 IEEE802.11 协议实现的一种解决方案。另外，这里补充一句，WiFi 不只能用于设备与网关间的通讯，也可以用于设备与设备简单通信，很多的无人机都是通过 WiFi 实现控制的，苹果的 airdrop 在传输文件时也是使用 WiFi 实现两个设备的连接的（airdrop 可以说是蓝牙和 WiFi 结合应用的一个优秀的实例）。

802.11 协议从 1997 年来有过若干次发展与更新（名称上就是在 802.11 后面换不同的字母，在 802.11n 后开始有了 WiFi4、5、6 的说法），其中当下最新的 WiFi 标准是 WiFi6，也称 802.11ax。这里有一点要注意一下，虽然说最新的 WiFi6 的协议是 802.11ax，但这并不意味着 802.11a 这些协议就被放弃不使用了。一般的 WiFi 依然会使用这个协议。

协议 (新命名)	802.11	802.11b	802.11a	802.11g	802.11n	802.11ac wave1	802.11ac wave2	802.11ax
					Wi-Fi 4	Wi-Fi 5		Wi-Fi 6
提出时间	1997	1999	1999	2003	2009	2013	2015	2016年7月1.0 2019正式发布
频率范围	2.4GHz	2.4GHz	5GHz	2.4GHz	2.4GHz/ 5GHz	5GHz	5GHz	2.4GHz/5GHz 6GHz待讨论
支持带宽	NA	20MHz	20MHz	20MHz	20/40MHz	20/40/80M Hz	20/40/80/160M Hz，80+80MHz	20/40/80/160MHz， 80+80MHz
信道 (20MHz)	NA	14个	24个	14个	14个/24个	24个	24个	24个
最高阶编码 方式	NA	DBPSK/ DQPSK	64QAM	QPSK	64QAM	256QAM	256QAM	1024QAM
最大物理层 速率	2Mbps	11Mbps	54Mbps	54Mbps	600Mbps	3.4Gbps	6.9Gbps	9.6Gbps
关键技术		DSSS	DSSS/ OFDM	DSSS/ OFDM	OFDM、 64QAM、4*4 MIMO	OFDM、256QAM、DL MU- MIMO Beamforming		UL/DL OFDMA、 UL/DL 8*8 MU- MIMO、 1024QAM、 空间复用、 Bss-Color、 TWT节能

各代 802.11 标准的差异

在无遮挡的情况下，配备良好的天线设备，WiFi 传输的距离可以达到 10km 以上。一般家用 WiFi 在有遮挡的情况，基本只能覆盖 100 平左右的住宅。最新的 WiFi6 的最大传输速度能达到 9.6Gbps，即大约 1GBps。

批注 [刘17]: 参考：  
[https://www.bilibili.com/video/BV1Tp411R7wT/?spm\\_id\\_from=333.788.videocard.0](https://www.bilibili.com/video/BV1Tp411R7wT/?spm_id_from=333.788.videocard.0)。

## 术语解释

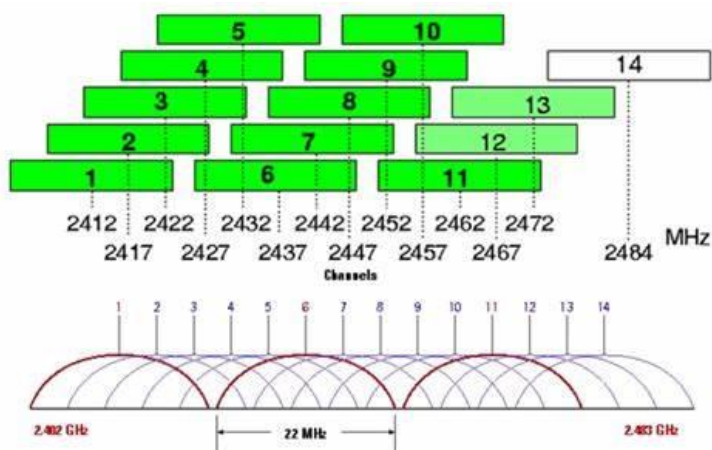
### 频率范围

目前 WiFi 常用的频率包括 2.4GHz 和 5GHz，他们都是指用于传输无线网络信号的微波波段的频率。在日常的使用中，2.4GHz 的抗衰减能力强，穿墙能力好，不过由于很多设备都使用 2.4GHz 的频率，因此容易受干扰；5GHz 抗干扰能力强，能够提供更大的带宽，速度会相对更快（频率越高，单位时间内的波形信息越复杂，可传递的内容越多；此外，5GHz 不是 ISM 频段，所以出现信号干扰的情况少），不过穿墙能力较差。

### 信道与频宽

注意，这里的频宽与一些场景中提到的无线电带宽是一致的，都是指对频率进行划分时每个信道的宽度；但它与一般的宽带中提到的用于指代数据上下行速度的带宽不同。

我们之前提到的频率范围中说到的 2.4GHz，实际是指 2.4-2.4835GHz 频段。WiFi 会将这一部分的频段划分为 13 个信道（使用时标记为 1-13 号频点），每个信道频宽为 22MHz（一般宣传时都说 20MHz，但实际是 22MHz，为了在两边留出一定的隔离；WiFi4 以后也有更宽的信道出现）。频宽越大，传输速率越快（根据香农定理，但具体原因我也说不清）。



批注 [刘18]: 参考：

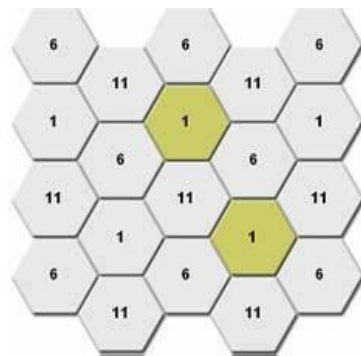
<https://www.bilibili.com/video/BV1Xz4y1R7gN?from=search&seid=15523204348740743688>。

批注 [刘19]: 参考：

[https://blog.csdn.net/wustzjf/article/details/52260938?ops\\_request\\_misc=%257B%2522request%255Fd%2522%253A%2522160585587219724835833708%2522%252C%2522scm%2522%253A%25220140713.130102334..%2522%257D&request\\_id=160585587219724835833708&biz\\_id=0&utm\\_medium=dis-tribute.pc\\_search\\_result.none-task-blog-2~all~baidu\\_landing\\_v2~default-5-52260938.pc\\_first\\_rank\\_v2\\_rank\\_v28&utm\\_term=wifi+%E5%B8%A6%E5%AE%BD&spm=1018.2118.3001.4449](https://blog.csdn.net/wustzjf/article/details/52260938?ops_request_misc=%257B%2522request%255Fd%2522%253A%2522160585587219724835833708%2522%252C%2522scm%2522%253A%25220140713.130102334..%2522%257D&request_id=160585587219724835833708&biz_id=0&utm_medium=dis-tribute.pc_search_result.none-task-blog-2~all~baidu_landing_v2~default-5-52260938.pc_first_rank_v2_rank_v28&utm_term=wifi+%E5%B8%A6%E5%AE%BD&spm=1018.2118.3001.4449)，  
<https://www.zhihu.com/question/20404191>，  
<https://zhuanlan.zhihu.com/p/27058484>。

#### 2.4GHz 上的信道分布

当不同设备的使用的信道发生重合时，就会出现信号干扰的问题（注意，一般同一台路由器下的所有设备都是在同一信道内的）。因此要实现无干扰的传输，在 13 个频点中，只能同时使用 3 个（通常为 1、6、11 号）。



密集环境下的多 WiFi 信道布置

中国大陆的 5GHz 频段的分为 5.725GHz-5.8GHz（分为 5 个频段）和 5.15GHz-5.35GHz（分为 8 个频段）。5GHz 的信道频宽从包括 20MHz、40MHz、80MHz、160MHz 等。5GHz 的频段并没有相互重叠，因此不存在信号干扰的问题，这也是 5GHz 无线网络速度更快的原因之一。

#### 最大物理层速率

这一速率就是指通过无线网络能实现的最大的数据传输速率。

#### WiFi-Mesh

WiFi-Mesh 也就是 WiFi 用于进行组网的技术。由于 WiFi 信号覆盖范围有限，因此想要一个对较大的范围进行全覆盖，就需要多个 WiFi 信号发射器。这样的构造会导致在不同的发射器间移动时，无线设备会需要较长的时间，才能完成无线连接的切换。

Mesh 节点实际上是一个类似扩展 WiFi 信号范围的设备，它本身不直接与有线网络连接，通过无线网络与连有网线的 WiFi 信号发射器进行数据交换。使用 Mesh 后，就可以保证在同一个组网内不同的设备间切换时不需要进行线路的切换。

批注 [刘20]: 参考：  
<https://zhuanlan.zhihu.com/p/94090393>。

## WiFi6

WiFi6 在技术上的提升主要表现在多设备同时连接时的通讯优化上，这一点主要通过 OFDMA 和 MU-MIMO 来实现。

### OFDM 与 OFDMA

OFDM，即 Orthogonal Frequency Division Multiplexing，正交频分复用。OFDM 是 WiFi6 以前的设备使用的设备传输技术，它只允许路由器一次（一个通讯周期内）与一台设备进行通信，这导致了当存在许多设备时，设备必须排队等待路由器处理数据，造成了网络延迟。这样的做法大大降低了路由器的数据传输效率。

OFDMA，Orthogonal Frequency Division Multiple Access，正交频分多址。OFDMA 允许路由器在一个通讯周期内同时与多个设备进行通讯，尽可能提升每个通讯周期的数据传输量。

### MU-MIMO 与 SU-MIMO

SU-MIMO，即 Single-User Multiple Input Multiple Output，上下行单用户多输入多输出。WiFi4、WiFi5 时期，路由器只能同时与单个设备进行通讯。当存在多个设备，且每个设备都在进行高速率的上传或下载时，这种一次只与单个设备通讯的方法就会导致网络阻塞（路由器在处理完 A 设备的大量数据前，不会处理 B 设备发过来的数据）。

MU-MIMO，即 Multi-User Multiple Input Multiple Output，上下行多用户多输入多输出。MU-MIMO 允许路由器通过相控阵天线同时与多个设备进行通讯，因此就不会出现这种因为多设备堵塞而造成的延迟。

WiFi6 最多支持 8\*8（8 input 8 output）的数据流。

从功能性上看，MU-MIMO 与 OFDMA 其实十分一致。但 OFDMA 更倾向于强调对通信周期内数据传输优化，而 MU-MIMO 则更加强调硬件（利用相控阵天线）方面。具体可

批注 [刘21]: 参考：

<https://www.bilibili.com/video/BV1k7411g7uo>，  
<https://www.bilibili.com/video/BV1Xz4y1R7gN?from=search&seid=5480988718798740034>。

批注 [刘22]: 参考：

<https://www.bilibili.com/video/BV1mA411E7Av?from=search&seid=5480988718798740034>，  
<https://www.bilibili.com/video/BV1r54y1h7yP>。

以看一下参考视频。

#### 应用场景

WiFi 是比较常见的无线通信技术,因此这边就不过多展开应用场景。但比较值得注意的是,如之前提到的,除了能够为我们日常硬件设备提供无线网络信号,WiFi 还可以用于进行无人机操控、airdrop 文件传输、手机热点功能等设备与设备间的通信(即 WiFi Direct 技术)。

WiFi 的特点是速度快,功耗大。通常 WiFi 会被用于在固定范围内将有线网络转化为无线信号,为智能设备持续地提供高速的无线网络。

WiFi 的信号覆盖有限且容易受到障碍阻挡,因此 WiFi 只适合作为某些场馆或特定空间范围内的无线信号提供方案,并不适合作为一般移动设备的信号提供方案。

#### 蓝牙

蓝牙(Bluetooth),是一种低功耗的无线连接技术,用于设备间短距离的无线通讯。蓝牙低功耗、低成本的特点使它成为物联网时代各种智能设备中不可缺少的无线通信模块。与 WiFi 的“设备-路由器”为主的信号传输不同,蓝牙实现的更多是设备与设备间的信号传输。

蓝牙是基于 802.15.1 标准的,其通信频率也在 2.4GHz,通常能够实现 10 米范围内的通信,传输速度能达到 1Mbps。与 WiFi 相比,蓝牙的功耗要小得多(能耗低),因此传输速率也小的多。

蓝牙技术规定每对设备之间必须有一个是主设备,一个是从设备。配对时,由主设备发起呼叫,从设备实现响应后完成配对。1 个主设备最多能与 7 个从设备同时进行通信(连接形成一个皮网,即 piconet,也称微微网)。在实现设备间的配对后,会使用跳频技术(FHSS, Frequency Hopping Spread Spectrum),避免不同设备间的信号干扰。跳频技术通过将

批注 [刘23]: 参考:

<https://www.youtube.com/watch?v=jzxZUJmOu3o>

。

<https://blog.csdn.net/FADE8fzw/article/details/85223078>。(跳频技术)

[https://mp.weixin.qq.com/s/ChJY4vwEz\\_8LG99ntC7Pbw](https://mp.weixin.qq.com/s/ChJY4vwEz_8LG99ntC7Pbw)。(比较深入的技术内容)

<https://www.bilibili.com/video/BV1Rf4y1v7mR>。(比较完善的视频总结)

2.4-2.4835GHz 的频率划分为 79 个（蓝牙 3.0 以前是 79，蓝牙 4.0 以后带宽翻倍，信道数为 37）、频宽为 1MHz 的不同频率的信道，约定两个设备间每秒同步地在这些信道中反复发生 1600 次跳转，以避免信号冲突问题。

#### 发展变化

蓝牙前后一共经历了 5 个版本。1.0 版本只支持单工，速率为 0.7Mbps。2.0 版本开始支持双工，新增的 EDR 技术（Enhanced Data Rate，下面有解释）使速率可达 3Mbps。3.0 版本新增了可选技术 High Speed，通过适配 WiFi 的协议实现 24Mbps 的传输（不过这一发展并没有被继续延续下去）。4.0 版本提出了低功耗蓝牙（BLE，BlueTooth Low Energy，下面有解释），使功耗比前一代降低 90%；在低功耗的条件下，传输距离可达 100 米，传输速率为 1Mbps。5.0 版本进一步提高了低功耗下的传输距离和速度，距离可达 300 米，速率可达 2Mbps。

目前最常见的还是蓝牙 4.0-4.1/2 版本，它构建和完善了一个适合低功耗的互联网应用。蓝牙 5.0 是对低功耗蓝牙的拓展，它提供了短传输距离+高吞吐量和长传输距离+低吞吐量的两个极限场景。同时提供了通过蓝牙信标实现室内定位的功能。

#### 连接方式

蓝牙有三种连接方式：点对点连接，用于两个设备之间的数据传输，常见的应用有蓝牙音箱；广播链接，用于单个设备对多个设备的广播，常见的应用有机场导航服务；mesh 链接，用于多个设备对多个设备的连接，常见的应用有大规模楼宇的自动化。

#### 技术类型

蓝牙技术可以分为传统蓝牙和 BLE 低功耗蓝牙。

传统蓝牙也即 BR（Basic Rate，基本速率）或 EDR（Enhanced Data Rate，增强数据速率）蓝牙。传统蓝牙仅支持 P2P（Point To Point，即点对点）连接。

批注 [刘24]: 参考：  
<https://zhuanlan.zhihu.com/p/37725574>。

批注 [刘25]: 参考：  
<https://www.bilibili.com/video/BV1DV411m7HV?from=search&seid=6372368003135708484>。



低功耗蓝牙也被称为 ( BLE , Bluetooth Low Energy ) , 它能支持全部三种连接方式。

低功耗蓝牙是在蓝牙 4.0 后出现的新技术。

### 蓝牙 mesh

蓝牙 mesh 是这些年在蓝牙基础上发展的多对多的连接技术。传统的蓝牙设备配对只能实现单点对单点,或单点向外广播。这样的设计实际上存在着诸多缺陷。比如,当多个设备相互连接时,如果需要更换其中一个设备,就需要对剩余所有设备的蓝牙配对进行重新设置。

另外, WiFi 的一大局限性就是范围限制,一旦设备离开信号覆盖范围,就无法继续获得通信。同样的问题也出现在一般的蓝牙设备上。但在蓝牙 mesh 中,每个设备都可以视为是独立的网关,设备间的连接关系可以被拉长。

蓝牙 mesh 的出现使得蓝牙网络的配置使用变得更加自由,同样也使得网络内的设备能更高效地进行工作。但是,蓝牙 mesh 的设备与设备间形成的实际是一个小范围的局域网,如果希望将蓝牙 mesh 中的数据传输到互联网,需要在组网中添加具有连接局域网功能的设备,如手机。

### 应用场景

由于蓝牙的主要优势是传输低功耗,但范围较小且传输速率有限,因此蓝牙通常会被应用在使用频度低、单次数据量少的情景中,如,共享单车智能车锁、蓝牙耳机、蓝牙音箱、蓝牙开关、蓝牙智能锁、蓝牙打印机、室内定位(根据信号强弱)等。

### ZigBee

ZigBee 是一种短距离、低功耗、低速率的无线通信技术。ZigBee 低成本、低功耗、低数据量、高可靠性、能实现设备组网的特征使得它现在是物联网中最常用的一种设备通信手

批注 [刘26]: 参考:

[https://www.sohu.com/a/255941767\\_132567](https://www.sohu.com/a/255941767_132567)。(蓝牙 mesh 的介绍,有点深入,了解一下就好)

批注 [刘27]: 参考:

<https://zhuanlan.zhihu.com/p/34604108>。

批注 [刘28]: 参考:

[https://mp.weixin.qq.com/s?\\_\\_biz=MzI2MTE4MTczOA==&mid=2247483790&idx=1&sn=99952f73ed6b7398d5ab791434c5dd9c&chksm=ea5f19cbdd2890dd14e5d8bad0b9667646da8d6da8647a1458e93a50135f2d7dfd1589c3198c&token=1480684017&lang=zh\\_CN#rd](https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzI2MTE4MTczOA==&mid=2247483790&idx=1&sn=99952f73ed6b7398d5ab791434c5dd9c&chksm=ea5f19cbdd2890dd14e5d8bad0b9667646da8d6da8647a1458e93a50135f2d7dfd1589c3198c&token=1480684017&lang=zh_CN#rd)。

段。

从功能上看，其实 ZigBee 与蓝牙 Mesh 有着很大的相似之处，这是因为该技术本身就是为了弥补早期蓝牙技术在低数据量、低成本、低功耗、高可靠性的应用场景中的不足所发展的。

ZigBee 的设备间形成的是局域网，如果需要将数据传输到互联网，则需要在组网内添加可以连接到局域网的设备，如手机。

特点

免执照频段

ZigBee 基于 802.15.4 标准，通常使用的频段在世界各地略有差异，一般通用的是 2.4GHz，美国用的是 915MHz，欧洲用的是 868MHz，频宽分别为 5MHz（16 个信道）、1MHz（10 个信道）、0.6MHz（1 个信道）。

安全性

ZigBee 会提供 3 级加密模式对数据进行加密。与之对应的，蓝牙的安全性是通过跳频来实现的。

低功耗、低速率、近距离

ZigBee 能实现比蓝牙更低的数据吞吐速率（250Kbps）和能耗。ZigBee 也属于近距离通信（节点到节点的距离一般在 10-50 米之间）。ZigBee 的低功耗保证它的设备能够数月或者数年才更换一次电池。

响应快

响应速度也比蓝牙和 WiFi 更快（节点接入网络只需 30ms，蓝牙要 3-10s，WiFi 要 3s，更快的接入速度也保证了更低的电能消耗）。

## 低成本

ZigBee 的通信协议简单，不论是硬件成本还是软件成本都很低。

## 能形成网络

ZigBee 也能形成网络，理论上主节点可以管理 254 个子节点，最大能形成 65535 个节点（实际中可能也就几百个）的网络。

## 抗干扰性强

由于空闲信道评估、动态信道选择、信道算法、直序扩频技术、应答重传和帧缓存，ZigBee 有着比 WiFi 和蓝牙更好的抗干扰性。

## 双工通信

ZigBee 可以实现双工通信，不仅可以发送命令到设备，还可以从设备返回设备状态和相关数据。

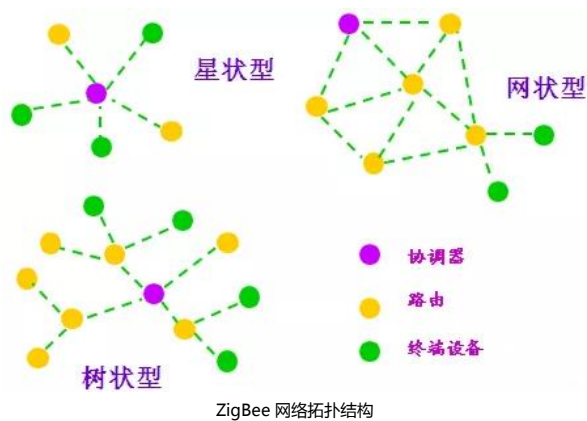
## 设备类型

ZigBee 的设备分为 3 中类型，协调器（Coordinator）、路由（Router）、终端（End Device）。路由就是用于进行信号转发的设备。协调器本身也是一个路由，但协调器是加入 ZigBee 网络的第一个设备。终端必须依附于一个路由，不能进行信息的转发，一般是网络中的传感器或执行器。

## 网络拓扑结构

ZigBee 的网络拓扑结构可以分为三类，星状拓扑、树状拓扑、网状拓扑。具体看下图。

批注 [刘29]: 具体内容可以看上面那个参考文章，我感觉有点太深入了，所以只把几个特性列了一下。



#### 应用场景

ZigBee 的主要应用场景就是智能家居。智能家居设备在实际安装使用时一定要配备一个网关（通常有额外的电源供给），用于与外部设备（如手机等）进行连接。不同的开关、灯泡、插线板等设备在一般情况下，通过 ZigBee 网络进行连接，实现相互控制；在需要用手机进行控制时，通过 ZigBee 网关接收手机信号（通常为蓝牙信号或 WiFi 信号），然后再由 ZigBee 网络向具体设备传递开关信号。

#### NFC

NFC，即 Near Field Communication，近场通信技术，又称近距离无线通信。NFC 是一种短距离（小于 10cm）的电子设备之间非接触式点对点数据交换高频（13.56MHz）无线通信技术。

NFC 是在 RFID 和互联网技术的基础上演变而来的，向下兼容 RFID，主要用于为手机等手持设备提供 M2M（Machine To Machine）的通信。NFC 既可以作为标签向外发送信息，也可以作为读取装置主动读取其他 NFC 标签，还可以与其他 NFC 设备连接实现双向数据交换。

NFC 最重要的特点是短距离传输（安全）、快速响应、识别扩展性强（不只是身份识别，

批注 [刘30]: 参考：  
<https://www.bilibili.com/video/BV1tf4y1Q7Zw?from=search&seid=9492280935669630411>。

还可以配合手机应用执行额外的操作)。

不过,虽然 NFC 有响应速度快、安全性高等优点,但由于不同品牌的 NFC 设备都难以互相兼容,也没有机构对 NFC 进行统筹规划,结果就导致了 NFC 的普及受到了极大的障碍。

#### NFC 与 RFID 及蓝牙的区别

从上述的描述看来,NFC 与 RFID 及蓝牙存在着极大的相似处。

与 RFID 的区别在于,RFID 只能实现单向的数据读取功能,标签与读取设备的身份不会发生改变。而 NFC 设备可以在一定情况下充当读取设备,也可以在一定情况下充当标签。另外,RFID 根据频率不同,有着很大的传输距离差异;而 NFC 的传输距离始终只有 10cm 左右。

与蓝牙的区别在于,NFC 虽然也能执行数据交换,但传输速度只有不到 500kb/s,速度远低于蓝牙。但 NFC 的设备匹配速度要比蓝牙快得多。

#### 应用领域

##### NFC 标签的智能家居控制

手机等设备可以对实体 NFC 标签的读取添加额外的指令。通过将 NFC 标签与智能家居的开关命令进行整合,可以实现更快捷的智能家居控制。下面给出几个具体的应用场景。

在出门处贴放用于控制室内灯具开启和关闭的 2 个 NFC 标签,在离开时用手机触碰关灯标签,进门时触碰开灯标签,就能实现对家中设备的快捷控制。这样直接的触碰操作免去了在手机应用中主动对智能家居设备的调节的复杂操作。(另外,我个人觉得这一交互方式比语音控制智能音箱更有吸引力,原因主要包括:智能音箱有唤醒的交互延迟、接触式交互比语音交互要简单的多、成本差异;当然这种喜好和我个人对语音交互的不感兴趣有很大关系,NFC 标签虽然使用方便,但前期设置的复杂程度远远高于智能音箱)

批注 [刘31]: 参考:  
<https://www.zhihu.com/question/19931182>。

或者在某个手机架上添加一个自动开启倒计时 30 分钟的 NFC 标签，每次手机被放到这个架子上时，都会自动读取 NFC 标签开启计时，大大简化用户操作。

#### 不同设备间快速开启蓝牙的接口

一般的蓝牙配对需要经过“漫长”的搜索、配对等待。如果在一个设备（通常为电脑）上放置 NFC 标签，让另一个设备对此标签进行扫描，就能快速实现蓝牙连接，还能直接开启数据传输应用，减少操作成本。

#### 公交出行

NFC 可以作为类似 RFID 标签被识别的属性使得它在理论上可以充当我们日常生活中的公交卡、地铁卡、门禁卡使用（银行卡也可以，这个下面单独说）。

苹果本身支持直接添加部分城市的交通卡，允许手机在靠近读取设备时能直接通过（当然，如果所属城市不在支持列表之中，就没有办法使用这种功能了）。

门禁卡模拟则一般是通过独立的 app 实现（苹果貌似不支持这一点）。一般这种实现有两种方式，一种是用手机创建空白卡，然后找门禁所属单位对空白卡进行授权；一种是尝试破解带加密的门禁卡，然后将原始信息写入手机创建的空白卡。

#### 移动支付

类似 apple pay 的移动支付手段本来应该是最适合 NFC 的一个应用场景。但由于 NFC 的移动支付对 pos 机有额外的需求，导致支付本身存在门槛。在二维码已经大行其道的今天，NFC 支付显然没有什么额外的生存空间。

#### NFC 车钥匙

比亚迪现在已经有利用手机 NFC 功能，将手机作为车钥匙进行车辆解锁的功能了。一般 NFC 解锁区被放在后视镜的背面，用户用手机靠近后视镜，就能实现车辆解锁。

## 红外线

红外线是指波长在 750nm 到 1mm 之间的电磁波。红外通信的发送端采用单片机将待发送的二进制信号编码调制成一系列的脉冲信号,通过红外发射管发射。接收端通过接收、处理、解调脉冲信号,获得原始的二进制信息。

红外通信抗电磁干扰好、结构简单、体积小、价格低;但在空气中传播时易受云雨和光线影响,且红外发射位置与红外接收位置间不能有物体遮挡。

目前红外通信应用的场景其实很有限,基本只在空调、电视遥控器中才会使用。

这里简单拓展一些,可见光通信 ( Visible Light Communication ) 其实也是使用与红外线相同的原理,通过光的频闪实现信息的传递。其缺点也和红外类似——容易被障碍物阻挡、易受光线影响。因此实际中可见光通信的使用也十分有限 ( 其实如果把范围放宽一点的话,航海中使用灯的闪烁来表示摩尔斯电码应该也能算一种可见光通信 )。

## Z-Wave

Z-Wave 在中国使用的不多,它是一个类似 ZigBee 的、用于物联网设备组建网状网络的无线通信协议。在美国使用 908.42MHz,在欧洲使用 868.42MHz,使用非公用频段使它能够不必担心信号干扰的问题。

Z-Wave 的核心优势是互联互通性,即不同厂家生产的 Z-Wave 产品能够互相通信,这一点是 ZigBee 目前没有做到的。

## UWB

UWB,即 Ultra Wide Bandwidth,超宽带。UWB 的信号频段为 3.1GHz-10.6GHz,总频宽长达 7.5GHz,因此被称为超宽带。如果一个无线电系统拥有超过中心频率 20%的相

批注 [刘32]: 参考:

<http://www.elecfans.com/d/716384.html>、

批注 [刘33]: 参考:

[http://blog.sina.com.cn/s/blog\\_5f7711e70102yl4r.html](http://blog.sina.com.cn/s/blog_5f7711e70102yl4r.html) ,

<http://www.elecfans.com/baike/tongxingjishu/wuxiantongxin/20110824211664.html> ,

<https://www.zhihu.com/question/425238925>。

对频宽，或拥有 500MHz 以上的绝对频宽，就可以被称为是 UWB 无线电系统。

目前 UWB 凭借其定位的高精度，被广泛应用在各种定位领域。

## 特点

### 抗多径能力强

抗多径能力是指抵抗多径效应的能力。多径效应是指电磁波经过不同的路径传播后，到达接收端的时间不同。在接收端看来，就是原来的单一的信号变为多个有一定相位差的信号。接收端在统一接收这些信号时，不同相位的波会互相叠加，导致最终合成的波形发生变化，产生信号失真。

UWB 由于信号发射频率高，时间分辨率高，因此抗多径表现良好。抗多径能力强在实际应用中表现为能够实现精准测距。

### 时间戳精度高

UWB 信号脉冲宽度在数纳秒到数十纳秒之间，时间分辨率高，利于精准测距。

### 频带宽

UWB 的宽频带保证了其自身抗干扰能力强，对其他系统的干扰也小。

### 传输速率高

UWB 信号可以实现 100Mbps-500Mbps 的传输速率。

### 功率低

由于 UWB 发射信号不需要载波，仅在发射窄脉冲时消耗少量能量，因此 UWB 的功率消耗很低。

### 通信距离有限

UWB 本质上还是属于短距离通信，基本只能保持 10 米左右的通信距离。



## 应用场景

### 高精度定位

通过结合无线电定位算法（一般为 TDOA），UWB 凭借其频带宽、时间戳精度高等特点就能实现厘米级的定位。

小米的“一指连”就利用了 UWB 的精准定位能力（之前这里还有一个苹果的定向 airdrop，但我后来发现它可能是利用了蓝牙定位，所以删掉了）。此外，这种高精度定位还可以在无人车辆、室内定位、室内导航等等场合。

这里，小米的一指连是通过 UWB 实现的。具体地说，家用设备会不断地向外发射信号，而手机中的 UWB 天线阵列就通过接收到信号的时间差来估算设备的大致位置。当确定设备在手机正前方时，就将手机应用切换到对应设备的操控界面。

### 通信

UWB 本身作为电磁波就具有通信的功能。由于 UWB 的频宽非常大，发射信号时可以把信号弥散在极宽的频带范围内，对于一般设备而言，其信号就相当于噪声。因此 UWB 在进行信号传输时天然具有良好的安全性。

不过 UWB 的通信只适合 10 米以内的通信，超过 12 米，UWB 的信号会迅速衰减。

### 成像

由于 UWB 具有良好的穿透能力，因此该技术也可以被用于穿墙探测（用于灾区救援）或医学三维成像（这一点我也有点没搞清楚，案例衰减那么严重的信号是不具备良好的穿透能力的）。

## 移动通信技术

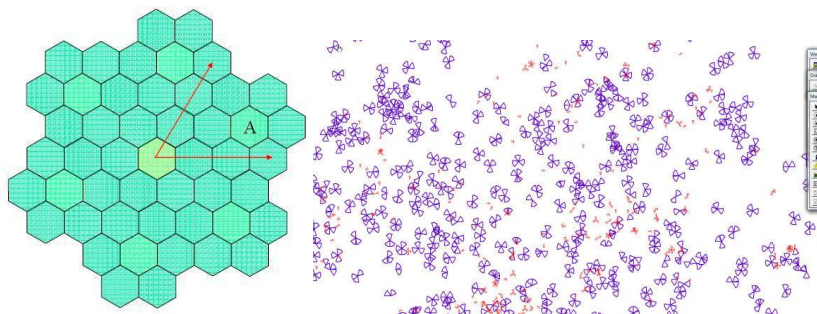
移动通信技术，指通过无线通信实现不同用户间信息交换。这里的移动通信技术就是指

批注 [刘34]: 参考：

<https://www.bilibili.com/video/BV16f4y1B7uR?from=search&seid=17835236414522970976>。

一般由通信运营商提供的蜂窝数据网络。

之所以它被称为蜂窝网络,是因为移动网络覆盖是依靠基站实现的,而如果要实现基站的完全覆盖,理想的分布方式是将基站想象为六边形,在分布时把不同基站按蜂窝状进行排列。蜂窝网络因此得名(当然现实中的情况比较复杂,一般都是不会呈现出完美的蜂窝结构)。



左图为理想的基站分布,右图为现实中的基站分布

#### 移动通信技术的发展

平常我们会听到 4G、5G,实际上这个后面的 G 就是 Generation。5G 就是指第五代移动通信技术。人类目前的经验是,每隔 10 年,通信技术会有一次快速的发展。

#### 1G

1G 时代的典型设备就是大哥大。当时的通信方式是直接将语音声波叠加在无线电载波上实现传输(模拟信号),因此 1G 只能实现语音通话。这种直接的无线电传输方式也就造成了串号、盗号等等安全问题。

#### 2G

2G 开始将之前的信号模拟调制改为数字调制,从而实现了通信的保密。

2G 时代除了电话之外,开始提供额外的数据传输服务,速度为每秒 9.6-14.4Kbps。在 2G 数据时代,手机网络基本上只能实现文字和简单的图片通信。

2G 时代的全球化通信技术标准为 GSM(Global System for Mobile communication)。GSM 规定的频宽只有 200KHz,因此无线网络速度极低。

批注 [刘35]: 参考:

<https://www.bilibili.com/video/BV14b41187yX>,

<https://zhuanlan.zhihu.com/p/62946956>,

<https://zhuanlan.zhihu.com/p/28460388>。

## 3G

3G 时代的通信标准 WCDMA ( Wideband Code Division Multiple Access , 宽带码分多址 ) 的频宽为 5MHz , 因此 3G 网络能够提供最高 2Mbps 的速度。图片通信在此时代成为主流 , 简单的视频通话也得以实现。

## 4G

4G 时代 , 频宽被提升至 20MHz , 配合高效的调制方案提升频谱效率 , 4G 可以提供 100Mbps 以上的网速。在此基础下 , 网络直播、短视频等应用取代图片通信成为主流。

现在我们经常会看到 4G LTE 这样的说法 , LTE 是指 Long Term Evolution , 即长期演进。4G LTE 就是指在原始 4G 的基础上 , 配合上面提到的、高效的调制方案提升网络速度 , 以实现 4G 原有技术的扩充和到下一代通信技术的平滑过渡。

目前就有通信商使用 LTE 链路聚合技术 , 通过合并多个数据信道为一个单一的信道来实现通信速度提升。目前已经有通过链路聚合 4G 频段实现等效 5G 速度的技术应用 , 其优点是在现有设备基础下就能实现等效 5G 的速度 , 其缺点是信号延迟上无法与 5G 等同 , 依然是 4G 的信号延迟。

## 5G

随着物联网、智能驾驶等不同使用情景对网络要求的进一步提升 , 5G 网络应运而生。5G 需要实现 20Gbps 的网速 , 频宽需要达到 1GHz 以上。5G 的目标是提供零延迟的、海量设备的连接。

## 5G 技术

5G , 即 5<sup>th</sup> Generation , 第五代移动通信标准。5G 能做到 10ms 以下的通信延迟 , 通信速度大约是 4G 的 100 倍 ( 4G 是 100Mbps , 5G 是 800-1000Mbps ) , 设备连接数量能做到 100 万个/km<sup>2</sup>。

批注 [刘36]: 参考 :

<https://wiki.mbalib.com/wiki/%E9%93%BE%E8%B7%AF%E8%81%9A%E5%90%88>。( 链路聚合 )

批注 [刘37]: 参考 :

[http://www.360doc.com/content/18/1208/11/920315\\_800168784.shtml](http://www.360doc.com/content/18/1208/11/920315_800168784.shtml) ,  
<https://www.bilibili.com/video/BV14J411k717> ,  
<http://www.openpcba.com/web/contents/get?id=5799> ,  
<https://zhuanlan.zhihu.com/p/138407065> ,  
<https://zhuanlan.zhihu.com/p/41182443> ,  
<https://www.bilibili.com/video/BV1Et411F7Ao> ,  
<https://www.bilibili.com/video/BV1X7411K71S> ,  
<https://zhuanlan.zhihu.com/p/77243484> ,  
<https://www.bilibili.com/video/BV1Vf4y1q7BM>。( 最后这个很通俗易懂 )

## 相关技术

### 频率选择：Sub-6 与毫米波

目前国际上对 5G 使用的频段有两种。一种是以中国为代表的 Sub-6 频段，即低于 6GHz 的频段（一般为 450MHz-6GHz）。国内运营商的 5G 频段基本集中在 2.5GHz-2.6GHz 之间和 3.5GHz-3.6GHz 之间，频宽一般为 100MHz。另一种是以美国为代表的毫米波频段，频率在 24.25GHz-52.6GHz 之间（这频率的电磁波波长都为毫米级，因此成为毫米波）。岔开说一句，美国其实也有提供 Sub-6 的 5G 服务的运营商，且他们使用的是 600MHz 的频段。两者各有优缺点。

Sub-6 频段是目前无线电通信大量集中的频段，因此很难划分出频宽足够的频率给 5G 使用，这就导致 Sub-6 的频宽只能达到 100MHz，用户下行速度只能达到 1Gbps。此外，手机的天线大小一般与波长成正比，波长越长，天线越大。Sub-6 的波长相较于毫米波更长就意味着接收 Sub-6 信号所需要的天线也越大。在需要天线阵列才能最好发挥出 5G 性能的情况下，更大的天线显然会给手机天线阵列的设计提出更大的难题。

但 Sub-6 频段的好处也是显而易见的。Sub-6 一直以来被称为移动通信的黄金频段。由于波长相对较长，Sub-6 的信号衰减较小、不易被遮挡物阻挡且在各种天气条件下运行稳定。这意味着 Sub-6 的基站覆盖范围广，基站铺设成本较低，换言之，5G 的使用成本也相对较低。

对应的，由于毫米波的波长较短，导致了毫米波很容易被遮挡，树叶、建筑、甚至是人都可能成为阻挡毫米波信号的障碍。同理，毫米波信号在阴雨天气的衰减严重。这就意味着毫米波信号的基站覆盖范围很小，换言之毫米波信号需要铺设大量基站才能避免信号覆盖的问题。这也间接地意味着 5G 的使用成本将显著提升。

但毫米波也有诸多优点。首先，毫米波段的目前的使用较少，这就使得毫米波段的传输

可以使用极高的频宽（400MHz），通信速度也能达到 20Gbps。另外，使用较少就意味着波段的腾退成本较低，不需要花过多的成本清退之前使用该波段的服务。其次，较短的波长意味着设备天线长度可以进一步缩小，这为设计手机中的微型天线阵列提供了很大优势。

综上所述，Sub-6 与毫米波各有所长。目前我国的 5G 策略是以推广 Sub-6 为主，大力推进毫米波研究与规划。在未来，Sub-6 配合毫米波的方式提供 5G 信号应该是大多数情况下的主流。

#### 小基站

由于毫米波下的 5G 信号受障碍物阻挡严重且衰减严重，因此要实现 5G 的全面覆盖，除了有主要的大型基站（宏基站）外，必须布置大量的小型基站（包括微基站、皮基站、飞基站），以保证用户在某个基站的信号被阻挡时，能够迅速切换到另一个基站。据说 5G 基站的建设密度约为每 200-250 米建设一个基站（应该是指微基站），且在室内场景会有皮基站和飞基站用于进一步扩展信号。

另外，这里讲一下各种基站对毫米波的支持。宏基站由于覆盖面积广，因此通常不支持毫米波，只支持 sub-6；微基站由于大小适中，因此支持毫米波；皮基站和飞基站由于体积小，无法使用相控阵天线，因此不支持毫米波，只支持 sub-6。

#### 组网方式

目前的 5G 组网方式可以分为独立组网（SA，Stand Alone）和非独立组网（NSA，Non Stand Alone）。独立组网是指手机将信号发送到 5G 基站，然后 5G 基站在将信号发送到 5G 核心网实现数据交换。而非独立组网一般是将 5G 基站挂在 4G 基站旁，手机将信号发送到 5G 基站，5G 基站将信号发送到 4G 核心网进行数据交换，由于使用的还是 4G 核心网，所以即使能够通过 LTE 链路聚合实现 5G 带宽，也无法实现 5G 的低延迟。

非独立组网在初期作为过渡方案会被广泛使用，但如果要真正发挥 5G 的功能，必须由

完整的独立组网。我国的地理环境复杂，人口分布也不均匀，因此在很长一段时间内会维持核心区尽量保证独立组网、非核心区基本保证非独立组网的组网方式。

## MIMO 技术

之前在 WiFi 中就已经提到过 MIMO 技术了。5G 采用的是 Massive MIMO 技术，从硬件层面看，就是增加天线数量，用大量的天线阵列替代单个的独立天线。以往 4G 基站的天线数量通常为 8 个，而 5G 基站的天线有 64-256 个。天线阵列的存在使得基站可以同时发送和接受更多用户的信号，大大的提升了移动网络的设备容量。多天线还可以显著降低了通信延迟。同时，天线阵列的存在也为使用波束成形（beamforming）提高信号输送精确度提供了可能。

## 波束成形（beamforming）

在之前的《感知与传感器》中已经讨论过波束成形的具体原理，这边不加赘述。在天线阵列的保证下，基站能以波束成形的手段使得信号能够在特定方向上实现增强，将有限的能量都集中在特定方向上进行传输。波束成形不仅可以保证传输距离提高，还能避免信号间的干扰。

## 全双工

5G 网络能够实现全双工，设备能够同时接受、发送 5G 信号。

## 网络架构技术（看看就好）

网络架构技术主要包括 NFV 和 SDN。NFV，即 Network Function Virtualization，网络虚拟化。NFV 是指将网络硬件设备通过虚拟化技术集成到通用的服务器或其他硬件平台上，然后执行不同功能。它将分散的网络硬件集中，统一提供分散的、不同的服务。SDN，即 Software Defined Networking，软件定义网络。SDN 是指通过软件的定义，将网络系统的控制层和数据层分离，从而在资源有限的情况下实现更高效的划分。

批注 [刘38]: 参考：

<https://www.bilibili.com/video/BV1r54y1h7yP>。

批注 [刘39]: 参考：

<https://www.zhihu.com/question/3056990>，  
<https://zhuanlan.zhihu.com/p/109404523>。

## 应用场景

ITU ( International Telecommunications Union , 国际电信联盟 ) 提出的 5G 三大核心应用场景包括 : 增强移动带宽 ( eMBB , Enhance Mobile BroadBand )、大规模物联网 ( mMTC , Massive Machine Type Communication )、超可靠低时延通信 ( uRLLC , Ultra Reliable and Low Latency Communication )。

eMBB 主要体现在网速提高。手机能以更快的速度实现视频下载 ( 8k 视频流传输 )、车辆能在 5G 网络下实现自动驾驶, 这些需要大量带宽进行数据传输的情景都将得益于 5G 的超高速。

mMTC 主要体现在设备接入数量的提升上。物联网追求万物互联, 海量设备的信息交换是以往通信技术无法解决的。

uRLLC 主要体现在网络延迟上。VR、自动驾驶、远程培训、远程制造、远程手术等项目全都要求信号传递的低延迟, 以保证正常的使用体验和安全、可靠的操纵。

## NB-IOT

NB-IOT, 即 Narrow Band Internet of Things, 窄带物联网。NB-IOT 是基于蜂窝网络的技术, 支持低功耗设备在广域网的蜂窝数据连接, 是一种低功耗广域网。

NB-IOT 有点像 ZigBee 版的蜂窝数据网络, 它覆盖广、速率低、成本低、连接数量多 ( 50-100 倍于 2G/3G/4G 人数 )、功耗低。

NB-IOT 是在大范围内实现物联网的良好选择, 合适的引用场景包括抄表、开锁、门禁、智能停车等领域。

## LoRa

LoRa, 即 Long Range。LoRa 是一种低功耗广域网的长距离通信技术。

批注 [刘40]: 参考 :

[https://www.sohu.com/a/288145834\\_100009973](https://www.sohu.com/a/288145834_100009973)。

批注 [刘41]: 参考 :

[https://www.bilibili.com/video/BV1Gt4y1y7CR/?spm\\_id\\_from=333.788.videocard.6](https://www.bilibili.com/video/BV1Gt4y1y7CR/?spm_id_from=333.788.videocard.6)。

LoRa 也具有长距离、低功耗、多接入、低速率的特点。简单的说，它就是一种距离特别远（15 公里）、穿透力很强的通信技术。

目前的主要应用场景包括城市井盖监测、智慧大棚、智慧路灯等。在中国应用的并不广泛。

#### Wimax

Wimax，即城域网技术，可以理解为加强版的 WiFi。它是美国在 3G 时代提出的、用于争夺 3G 市场的技术。Wimax 在当时就提出了 OFDM（正交频分复用）和 MIMO 多天线，从技术层面是颇有前瞻性的。然而由于当时 Wimax 是由 intel 牵头发起的，本身缺少成熟的通信产业链，因此最终成了一个雷声大雨点小的技术。

批注 [刘42]: 参考：

<https://www.zhihu.com/question/19687054/answer/633128466>。

## 计算技术

### 云计算与边缘计算

#### 云计算

云计算（Cloud Computing）是分布式计算的一种，用户将待计算的数据传递到网络“云”，“云”将数据划分，通过不同服务器处理和分析数据，最终将结果返回到用户的终端中。

#### 边缘计算

边缘计算与一般就是指传统的计算处理略有不同。它指在靠近数据源头的位置，用具有计算能力的平台对结果进行处理和分析。之所以说它和传统计算不同，是因为传统计算是指完全依赖本地计算，而假设云计算存在多级计算，那么靠近数据段的计算都可以认为是边缘计算。比如智能手表可以利用手机设备实现计算，这就是边缘计算，而非本地计算或云计算。



MEC ( Mobile Edge Computing ), 移动边缘计算, 指移动设备利用自身芯片实现边缘计算。

#### 云边协同

云边结合是一种数据处理趋势。它将云计算与边缘计算相结合, 根据数据的重要性和设备的不同算力, 对不同类型、体量的数据使用不同的计算分布方式。

谷歌之前发布的 Chrome Book 本质上就是一台云边协同的设备。它的软件服务全部依赖云上服务完成, 本地只执行画面渲染的计算。

#### 云计算提供的服务

云计算的出现使得用户不需要自己购买和维护数据中心或服务器, 只需要向云计算提供商 ( 阿里、腾讯、微软等 ) 购买相应的技术服务即可。

云计算服务包括三种: IaaS ( Infrastructure as a Service, 基础设施即服务 )、PaaS ( Platform as a Service, 平台即服务 )、SaaS ( Software as a Service, 软件即服务 )。从架构的角度来看, 三者有层次关系, 从上到下依次为 SaaS、PaaS、IaaS。

#### IaaS

通过虚拟化技术, 将服务器等计算、存储、网络等资源打包, 以 API ( Application Programming Interface, 应用程序接口 ) 接口的方式提供给用户。

最为常见的 IaaS 就是租用云服务器用于网站的建设和运营, 这样的做法可以避免自己花费购买服务器所需的成本, 也大大减少了日常的维护费用。

#### PaaS

PaaS 构建在 IaaS, 除了基础架构之外, 还提供软件架构的开发组件和运行环境。通常 IaaS 和 PaaS 的用户都是由一定的技术背景的。这类服务的提供商包括阿里云、腾讯云、AWS 等。

批注 [刘43]: 参考:

<https://www.bilibili.com/video/BV1Mt411w7hV?from=search&seid=3033907288924187512>,  
[https://blog.csdn.net/qq\\_25911515/article/details/89490334](https://blog.csdn.net/qq_25911515/article/details/89490334)。

非开发人员一般不怎么会了解 PaaS，比较好的例子应该是微信小程序的开发或淘宝店铺的开发。微信在最初只会给出一个空白的小程序，但小程序本身会有许多基础开发接口（如获取机型、聆听事件等等），开发者会需要根据这些基础接口对需要的功能进行开发。淘宝店铺也是一样，最初只有空白的店铺，但有如添加商品、下架商品等简单的接口，商家需要自行在这些接口的基础上完善店铺功能。

PaaS 中的云计算服务提供商为用户提供已有一定基础的平台环境，用户需要在这一基础上进一步自行拓展，实现功能的完善。

关于 PaaS 服务的几个缩写和概念：

CMP ( Connectivity Management Platform )，连接管理平台，指基于电信运营商网络提供可连接性管理、优化以及终端管理、维护等方面功能的平台。

DMP ( Device Management Platform )，设备管理平台，指对用户管理及互联网设备管理。

AEP ( Application Enablement Platform )，应用支持平台，为开发者提供成套的开发工具、中间件、业务逻辑引擎、API 接口、应用服务器等工具。

BAP ( Business Analysis Platform )，业务分析平台，通过大数据分析和机器学习等方法，对数据进行深度解析，以图表、数据报告等方式可视化呈现。

## SaaS

SaaS 是直接面向用户的应用层。通过将应用的后台放在互联网云端，用户只需要终端就可以联网使用应用。

SaaS 是一般用户最经常会接触到的，我们所有使用的手机 app 或一些网页软件（网页微信等）其实都是基于 SaaS 服务的。

## 普适计算

批注 [刘44]: 参考 :  
<https://zhuanlan.zhihu.com/p/133719619>。

普适计算 ( Ubiquitous Computing , 也称泛在计算 ) , 是一个强调与环境融为一体的计算理念, 它希望让计算机本身从人们的视野中消失。在普适计算的模式下, 人们能够在任何时间、地点以任何方式进行信息的获取和处理。

简单的说, 就是将计算单元做得更小, 将交互方式做得更自然。

## 计算芯片

### CPU

CPU , Central Processing Unit , 中央处理器。CPU 是设备用于处理各种指令并执行处理的单元, 它是计算机 ( 或手机 ) 的运算核心和控制核心。

CPU 的设计目的是进行综合的指令处理, 因此在数据处理效率上可能并不如 GPU 之类的芯片高。

常见的计算机 CPU 包括 Intel、AMD 生产的产品; 常见的手机 CPU 包括高通的骁龙处理器, 华为的麒麟, 苹果的 A12 等。

### GPU

GPU , Graphic Processing Unit , 图形处理单元。GPU 与 CPU 不同, GPU 的内部包含大量的算术逻辑单元 ( ALU , Arithmetic and Logic Unit ) , 主要功能就是进行大量的、重复的、简单的计算 ( 不像 CPU , CPU 需要进行复杂计算 ) 。在计算速度上, GPU 远高于 CPU , 其强大的浮点运算能力使其在深度学习 ( 以及挖矿 ) 领域备受青睐。

### FPGA

FPGA , Field Programmable Gate Array , 现场可编程门阵列。FPGA 是一种半定制

化芯片，芯片内部集成大量基本门电路及存储器，用户可以通过更新 FPGA 配置文件来重新定义这些门电路和存储器之间的连线。

FPGA 可以根据需求调整芯片的配置，灵活性强。

## ASIC

ASIC，Application Specific Integrated Circuit，专用集成电路。ASIC 是用于实现特定要求而定制的芯片，它为实现特定功能而设计，因此算力和功耗都能做到最优的平衡。但由于定制是发生在硬件层面的，因此 ASIC 的灵活性很差，想要修改功能就必须重新设计芯片。

一般比特币挖矿、人工智能、机器学习等领域都会需要 ASIC 来提高计算效率。

## 芯片生产流程

设计->制造->封装。

芯片生产流程正在从深紫外（DUV，Deep Ultra Violet）向极紫外（EUV，Extreme Ultra Violet）发展。

批注 [刘45]: 参考：

<https://www.bilibili.com/video/BV1Ep4y1Y7MG>。

# 车联网

车联网，即 IoV（Internet of Vehicles）。

关于车联网有以下几个概念，看到要能认出来：

V2V（Vehicle to Vehicle），车与车；

V2P（Vehicle to Pedestrian），车与行人；

V2R（Vehicle to Road），车与路；

V2I（Vehicle to Infrastructure），车与基础设施；

V2N ( Vehicle to Network ), 车与网络 ;

V2C ( Vehicle to Cloud ), 车与云 ;

V2X ( Vehicle to Everything ), 车与万物。

## 自动驾驶级别

现行的自动驾驶分为 L0-L6 六个级别：

L0 – No Automation，无自动驾驶。一切有驾驶员完成。

L1 – Driver Assistance，驾驶员辅助。在特定情况下，车辆可以自动控制方向盘转向或者车速，但两者不能同时控制。

L2 – Partial Automation，部分自动化。车辆可以在合适的情况下取代驾驶员，独立控制车辆转向和速度，完成变道等任务。驾驶员完成驾驶过程中的其他任务。

L3 – Conditional Automation，特殊条件自动化。车辆完成绝大部分的驾驶操作，驾驶员需要保持注意，以备不时之需。

L4 – High Automation，高度自动化。车辆完成所有驾驶操作，人类驾驶员无需保持注意力，但限定道路和环境条件。

L5 – Full Automation，全自动化。车辆完成全部条件下的所有驾驶操作。