



清华大学

Tsinghua University

# 智能家居无线互联的发展趋势

王兴军 教授 博导

国家高层次人才  
国务院特殊津贴专家  
广东省南粤百杰人才  
深圳市物联网协会首席专家

2024.11.02



# 个人简介



国务院特殊津贴专家，国家千人计划专家，南粤百杰人才，国家工信部数字电视关键件标准工作组组长，UTI机卡分离标准工作组组长，国家新闻出版广电总局ChinaDRM数字内容版权保护HN标准工作组组长，TVOS安全标准工作组副组长，IEEE会员，中国电子学会高级会员，中国广播电视台技术委员会理事，中国医促会常务理事、标准委员会秘书长，中国欧美同学会理事，广东省睡眠相关疾病专业委员会副主任委员。  
深圳市信息安全与内容保护工程实验室 主任

## 研究方向

混合网络宽带接入+BCDN技术；  
网络安全、数字内容保护、区块链、视频水印与版权追踪技术；  
视频大数据分析与内容推荐技术；  
医疗健康AI+智能传感器+可穿戴+大数据云平台技术；  
广电白频谱超宽带与5G通信技术；  
低时延高可靠物联网技术。

## 研究成果

领导制定四项国家行业标准和12项团体标准；  
ChinaDRM已经推广超过2000万用户；  
DRM算法和系统获得美国Merdan最顶级A级认证；  
获得中国广播电视台科学技术奖等多个省部级奖项；  
领导多个国家省市重大项目和国内外企业的横向科研项目。



## 目录

## CONTENTS

1 / 智能家居  
无线互联

2 / 无线互联  
通信技术

3 / 无线互联  
面临挑战

4 / 发展趋势



## 目录

## CONTENTS

1 / 智能家居  
无线互联

2 / 无线互联  
通信技术

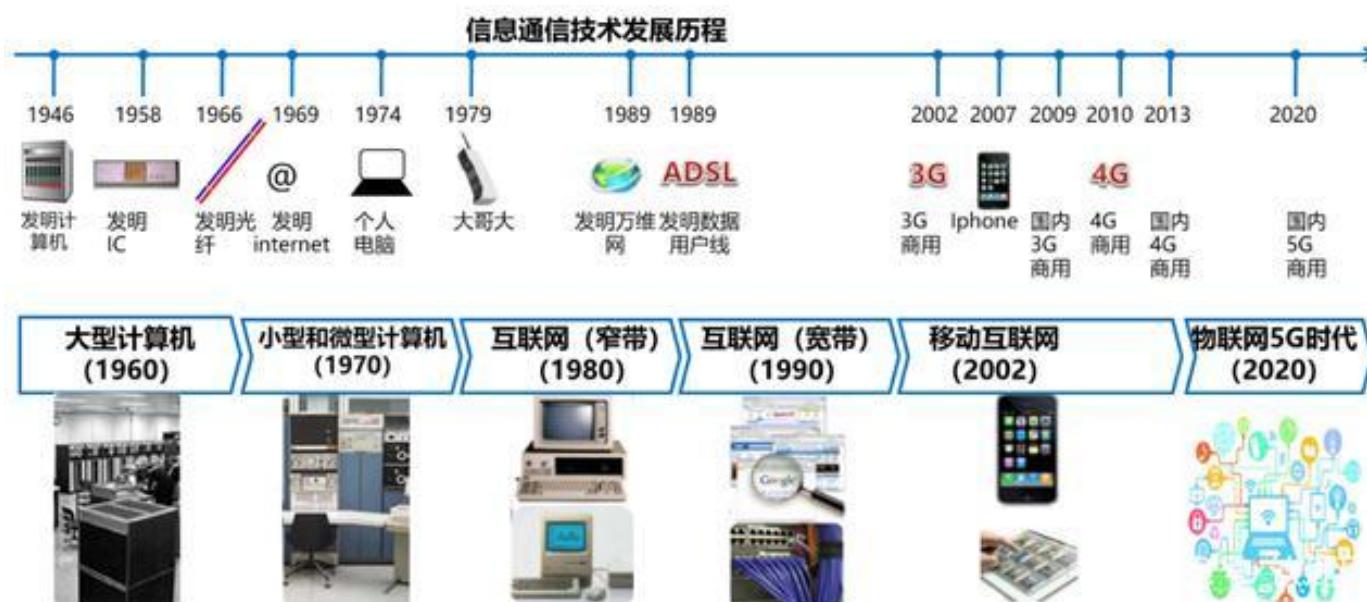
3 / 无线互联  
面临挑战

4 / 发展趋势



# 智能家居概述

随着物联网（Internet of Things, IoT）技术的发展，智能家居（Smart Home）系统正在迅速的得到普及。工信部网站于2023年公开征求了《5G应用“扬帆”行动计划（2021-2023年）》的意见。该计划详细规划了5G技术在赋能应用重点领域的方向，尤其强调了5G与智慧家居的紧密结合。



智能家居是以住宅为平台，集成网络通信、安全防范、自动控制、音视频等多种技术，将家居生活的相关设施进行智能化管理，通过传感器、控制器等设备收集家庭环境数据，并根据用户需求和预设策略自动调节家居设备的运行状态，旨在提高家居生活的安全性、便利性、舒适性和艺术性，同时实现节能环保的目标。





# 智能家居概述

智能家居架构中通过物联网实现了各种设备和系统之间的互相连接和协作，从而实现智能化的家居控制。智能家居架构的意义在于：

感知

智能网关连接本地智能硬件，通过互联网连接云平台，可通过语音、智能终端、手机APP等方式，实现全宅智能家居控制。

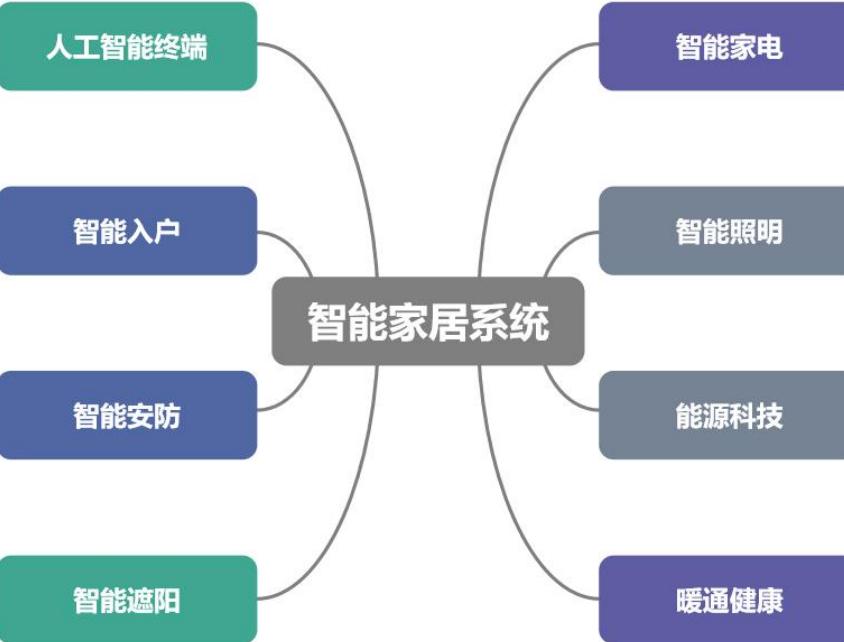
通信

人脸、指纹、密码、刷卡、动态密码、钥匙等6合一开门方式，支持智能家居场景联动。

安全

支持门锁、门磁、人体红外感应、烟雾、燃气、摄像头等多种安防设备的联动管理。

根据光线强弱自动控制窗帘开关，配合灯光管理，打造温馨的居家环境。



控制所有家电及影音设备的开启和关闭，出门在外也可以帮家人调节舒适家居环境。

控制

结合室内外光照或自定义设置，自动控制灯光和亮度，打造不同场景的家庭氛围。

交流

通过光照、温湿度、风雨雪传感器，实时调整窗户、窗帘、家电联动状态，打造绿色、环保空间。

服务

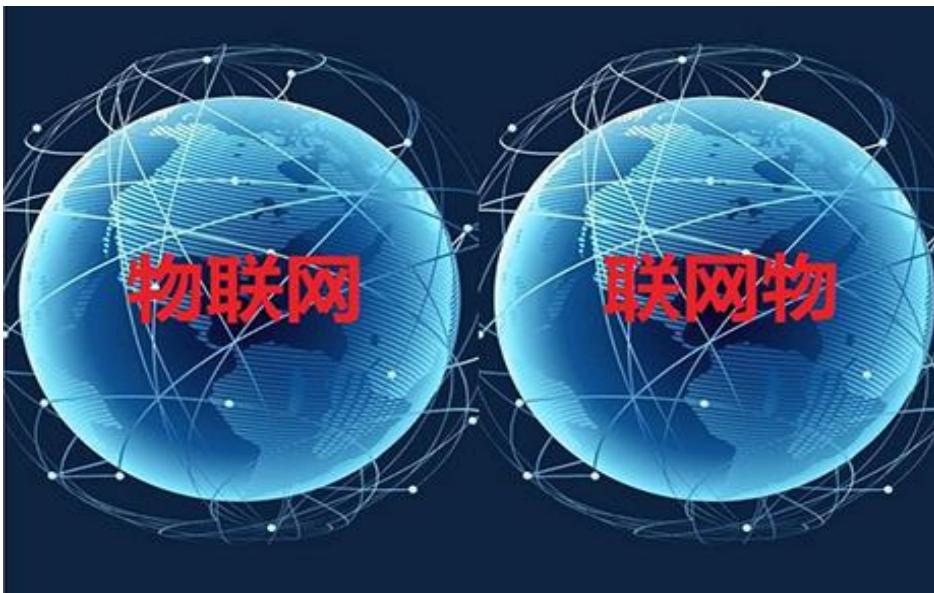
根据空气质量检测，自动调节新风、空调系统，为家人打造健康舒适的生活环境。

- 提高生活便利性：智能家居架构可以实现各种家居设备的联动和自动化控制，使用户可以通过手机或语音助手实现对家居设备的远程控制，提高了生活的便利性。
- 增强家居安全性：智能家居架构可以实现家居设备的安全监控和报警功能，增强家居的安全性。
- 提高能源利用效率：智能家居架构可以实现家居设备的智能调节和优化控制，节约能源，提高能源利用效率。
- 个性化定制：智能家居架构可以根据用户的需求和习惯进行个性化定制，实现智能家居的个性化服务。



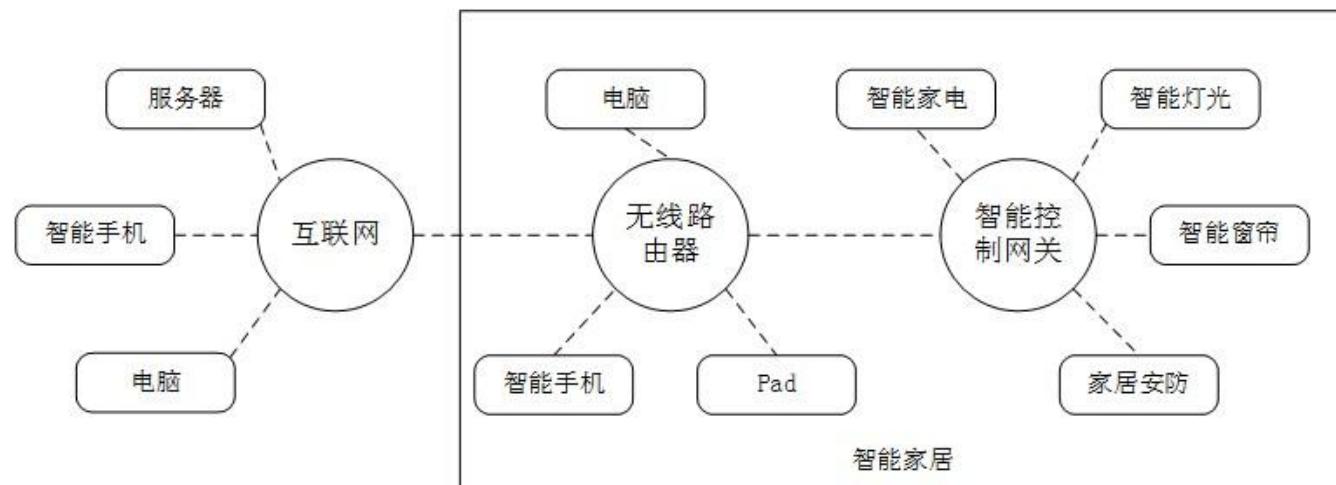
# 智能家居与物联网

物联网（Internet of Things, IoT）指将互联网的概念扩展到物理设备和日常对象之间的连接中。这些设备嵌入了电子设备、网络连接和其他形式的硬件(如传感器)，可以通过网络与其他人通信和交互，并且可以远程监控。



物联网技术是实现智能家居的关键推动力量，通过设备互联与数据交互，使得家居系统更加高效、智能和便捷。二者关系如下：

- 物联网为智能家居提供基础框架。
- 物联网标准和协议的开发（如Wi-Fi、Zigbee、Bluetooth等）促进了智能家居设备的互操作性。
- 智能家居设备通过物联网持续收集用户行为、环境等数据。
- 通过物联网远程控制与自动化管理智能家居。
- 物联网保障智能家居的数据安全与隐私。





# 物联网概述

在物流领域，物联网可打破地域限制实现物物之间的信息获取、传递、存储、融合使用等服务的网络，从而提高整个物流行业的信息化能力。

## D2D Applications



数据传输的效率方面，在5G技术的大规模商用后，也已经不是问题，作为新一代的移动通信技术，除了基站的部署成本以外，具备了高速率、低延时、高可靠性、大带宽等优势。以5G技术作为物联网传输层的传输技术将大幅度拓展物联网的应用面。





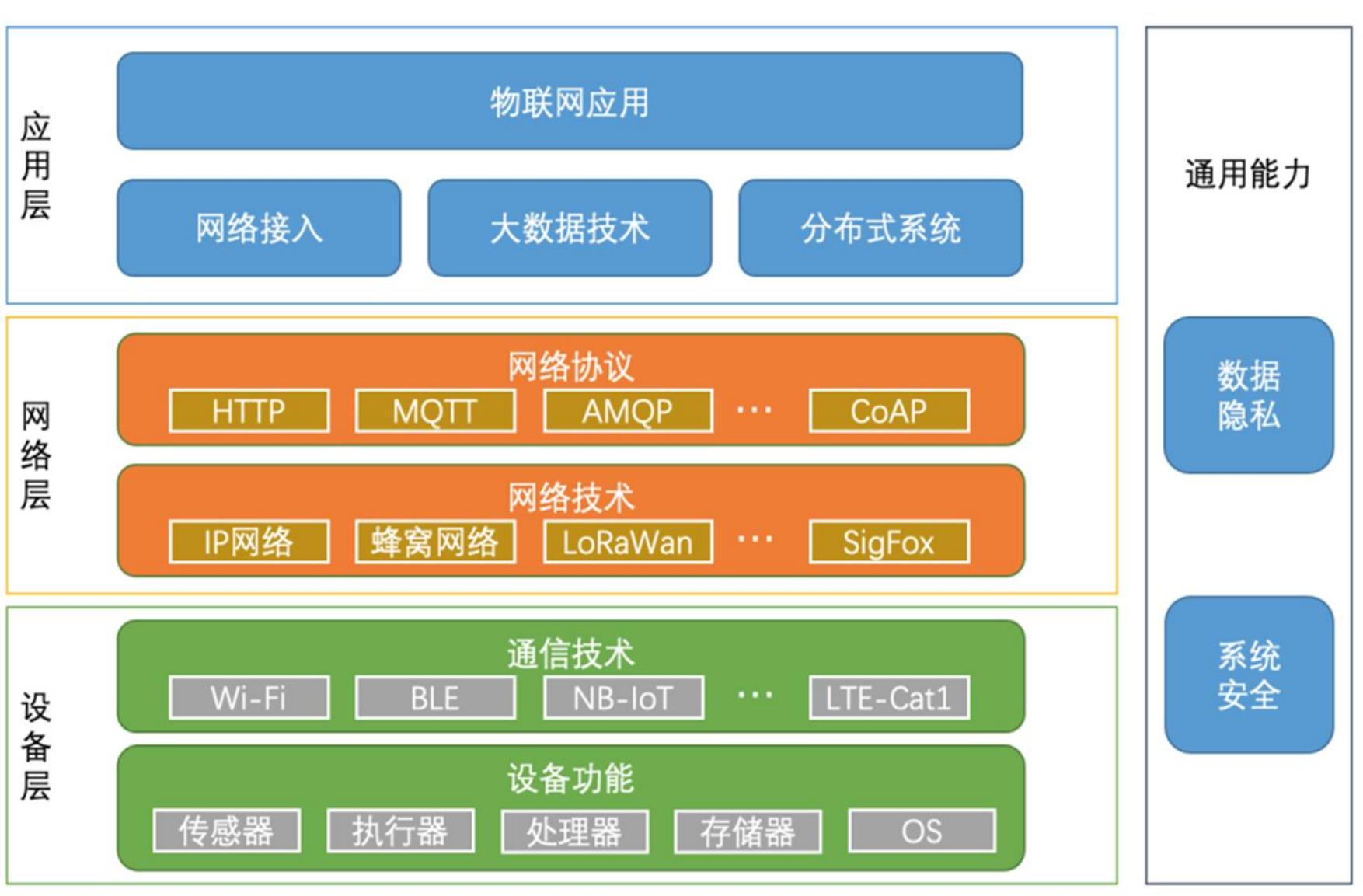
# 物联网的网络架构





# 物联网的知识体系

## 物联网知识体系





# 物联网模型—四个层级

感知层

MEMS、传感器、RFID、智能卡、条码、生物识别、视频监控.....

传输层

NB-IoT、LoRa、2G/3G/4G/5G、eSIM、ZigBee、Bluetooth、GPRS、WIFI、UWB、Z-wave.....

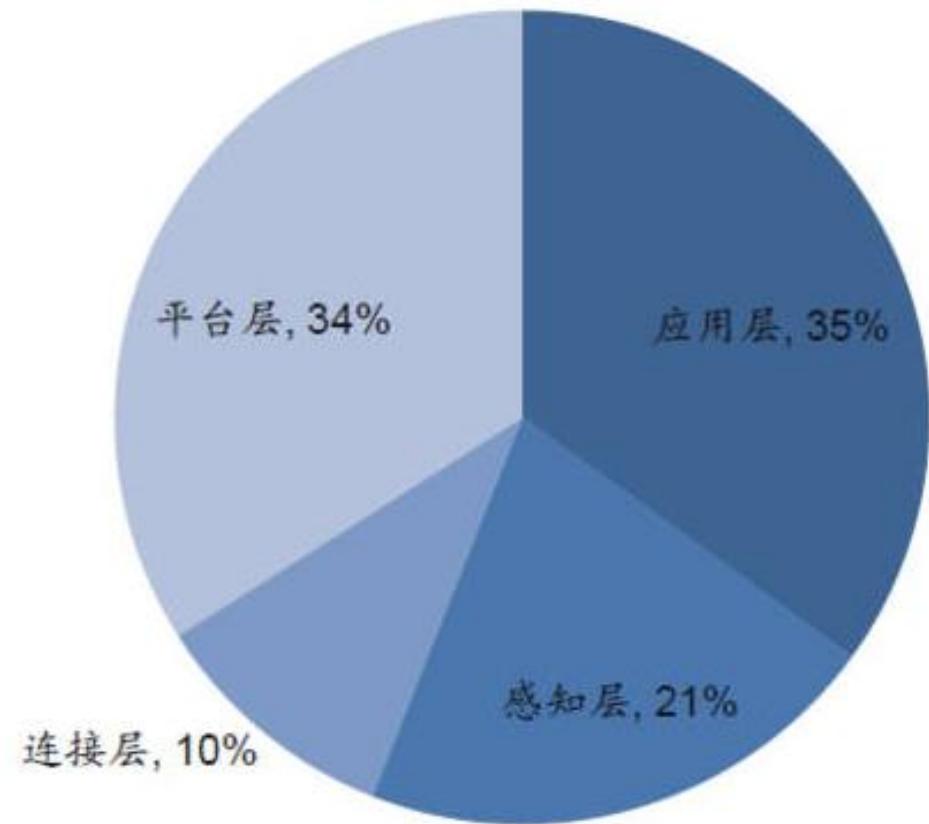
运算与平台层

云计算、云平台、大数据与数据安全、人工智能.....

应用层

实时精准定位、智慧零售、无人售货、工业4.0、智慧城市、智能家居。

物联网产业规模按层级划分的占比





# 物联网模型—四个层级

## 各层级涉及的主要公司

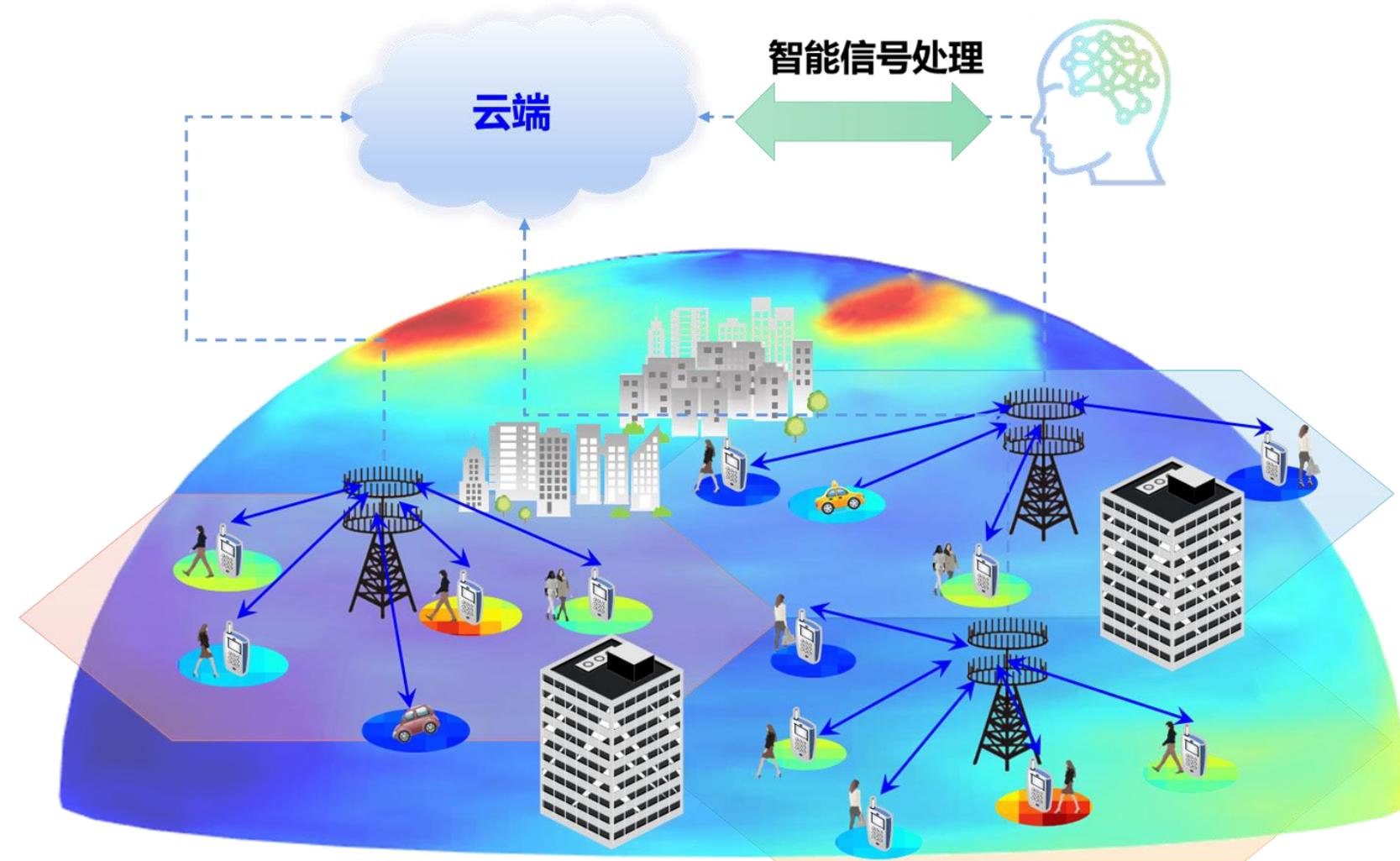
图：物联网各个层级中涉及的主要公司





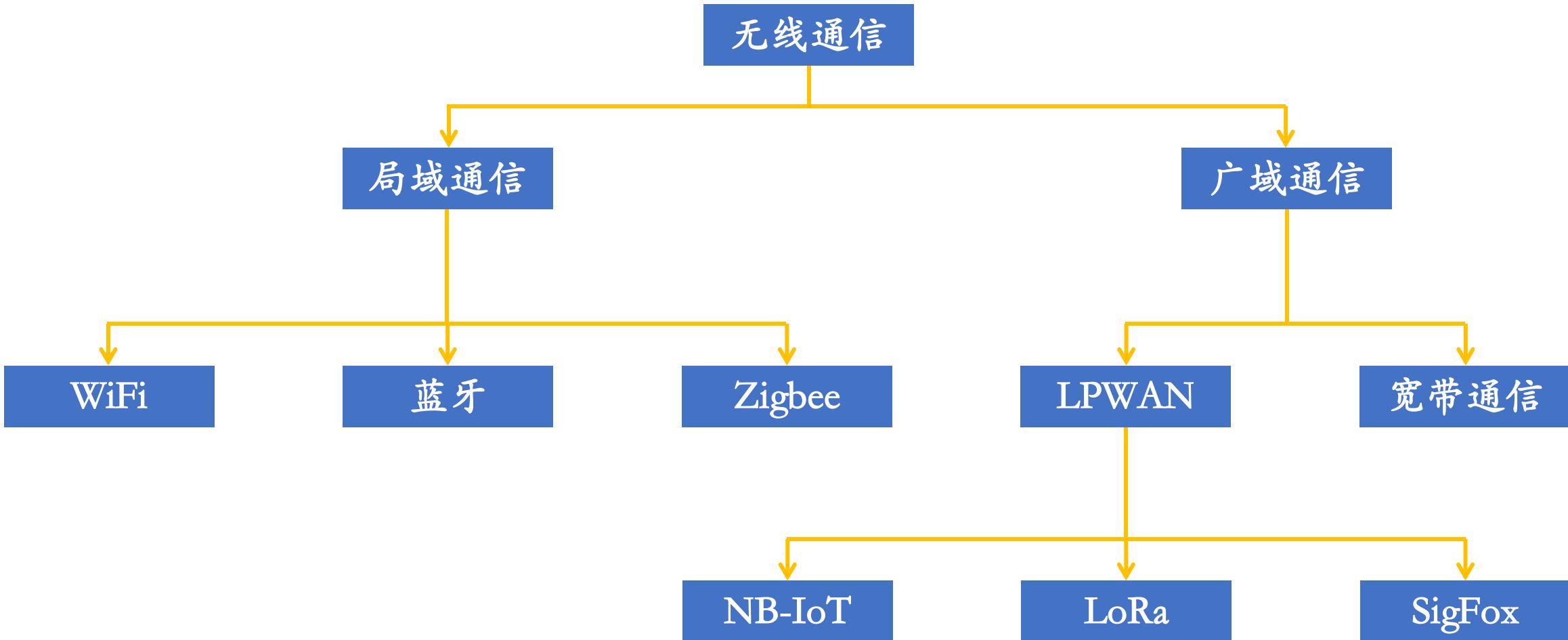
# 无线通信技术概述

无线通信是通过电磁波（如无线电波、微波、红外线等）在空气中传输信号的一种技术。其核心目标是无需物理连接，即可实现远程通信。无线通信技术广泛应用于广播、电话、互联网和各种无线设备。





# 无线通信技术具体分类





# 物联网的网络通信

物联网的网络通信是实现设备和系统之间无缝连接和数据交换的关键。物联网网络通信技术包括有线和无线技术，通过各种协议和标准来确保设备之间的数据传输。物联网的网络通信技术在不断发展，以适应日益增长的设备连接需求和多样化的应用场景。选择合适的通信技术是确保物联网系统高效运行的关键。

## 骨干网、核心网、城域网、接入网：



其他（卫通、宽带...）

有线网络：光纤（FTTH/FTTD）、以太网、广电混合网络（HFC）、电话网络、电力线（PLC）、其它专线；

无线网络：2G/3G/4G/5G/5Ga/6G、星座互联网、WiMax、DTMB、DVB-T、DAB、.....

WiFi2/3/4/5/6/7、Lora、Zigbee，蓝牙3/4/5/6、NFC、星闪、CAT1/CAT4、NB、RedCap、...

毫米波通信、红外/可见光通信（LiFi...）、超声通信、...

感通一体化、感通算一体化、感通算控一体化、...

量子通信、.....



# 无线通信的WiFi技术

WiFi (Wireless Fidelity) 是一种基于IEEE 802.11标准的无线局域网 (WLAN) 技术，允许设备在没有物理线缆的情况下进行网络连接。WiFi技术广泛应用于家庭、办公室、公共场所等环境中，为用户提供便捷的无线网络接入。

Wi-Fi 发展历程					
	Wi-Fi 4	Wi-Fi 5	Wi-Fi 6	Wi-Fi 6E	Wi-Fi 7 (expected)
<b>Launch Date</b>	2007	2013	2019	2021	2024
<b>IEEE Standard</b>	802.11n	802.11ac	802.11ax	802.11be	
<b>Max Data Rate</b>	1.2 Gbps	3.5 Gbps	9.6 Gbps	46 Gbps	
<b>Bands</b>	2.4 GHz, 5 GHz	5 GHz	2.4 GHz, 5 GHz	6 GHz	1-7.25 GHz (including 2.4 GHz, 5 GHz, 6 GHz bands)
<b>Security</b>	WPA 2	WPA 3	WPA 3	WPA 3	
<b>Channel Size</b>	20, 40 MHz	20, 40, 80, 80+80, 160 MHz	20, 40, 80, 80+80, 160 MHz	Up to 320 MHz	
<b>Modulation</b>	64-QAM OFDM	256-QAM OFDM	1024-QAM OFDMA	4096-QAM OFDMA (with extensions)	
<b>MIMO</b>	4x4 MIMO	4x4 MIMO, DL MU- MIMO	8x8 UL/DL MU-MIMO	16x16 MU-MIMO	

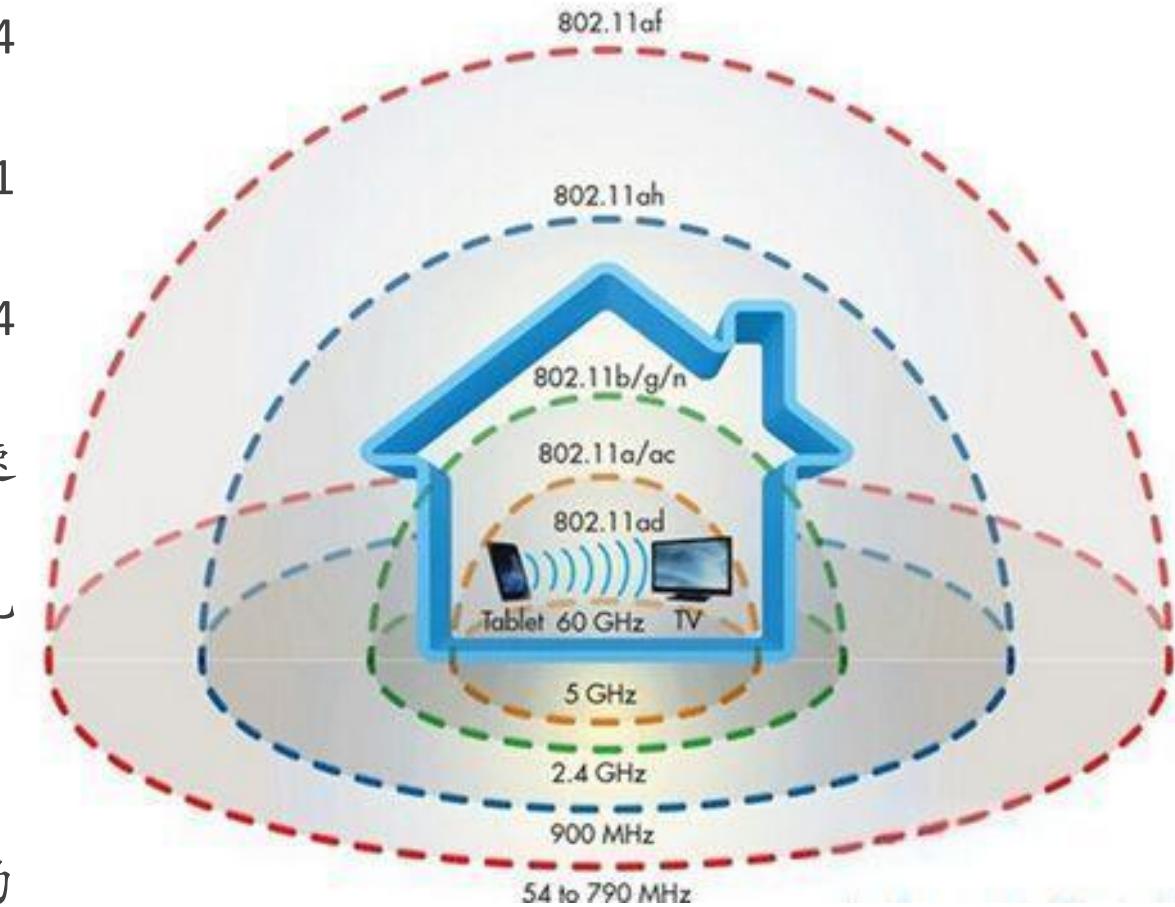
Source : IEEE, Intel Corporation, Wi-Fi Alliance



# 无线通信的WiFi技术

WiFi技术有多个不同的标准，每个标准在速度、频率、覆盖范围和其他特性上有所不同。主要的WiFi标准包括：

- IEEE 802.11a：工作在5 GHz频段，最大理论速率为54 Mbps。
- IEEE 802.11b：工作在2.4 GHz频段，最大理论速率为11 Mbps。
- IEEE 802.11g：工作在2.4 GHz频段，最大理论速率为54 Mbps。
- IEEE 802.11n：工作在2.4 GHz和5 GHz频段，最大理论速率为600 Mbps。
- IEEE 802.11ac：工作在5 GHz频段，最大理论速率为几 Gbps。
- IEEE 802.11ax (WiFi 6)：工作在2.4 GHz和5 GHz频段，最大理论速率为几 Gbps，同时提高了效率和容量。
- IEEE 802.11be (WiFi 7)：即将推出，旨在提供更高的速度和更低的延迟。





# 物联网的应用





## 目录

## CONTENTS

1 / 智能家居  
无线互联

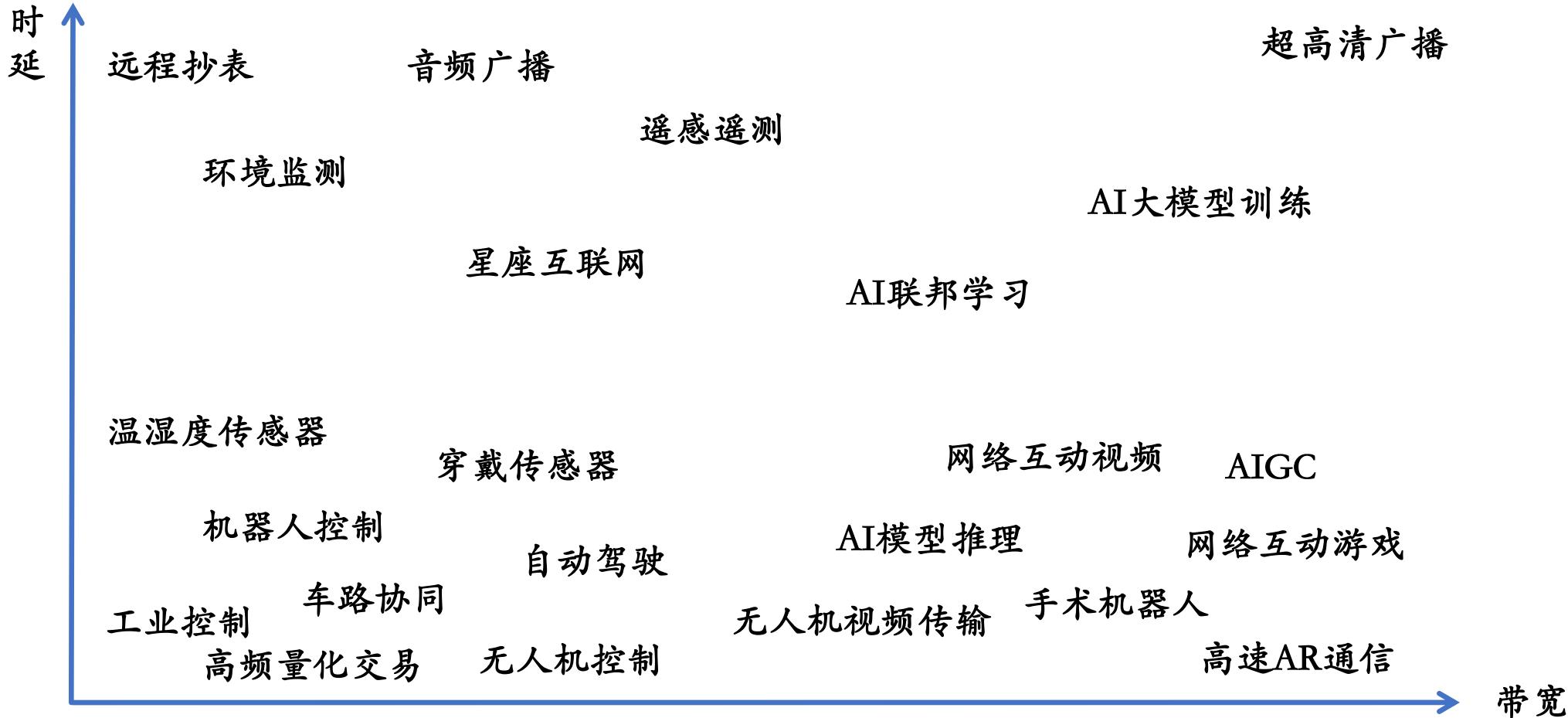
2 / 无线互联  
通信技术

3 / 无线互联  
面临挑战

4 / 发展趋势

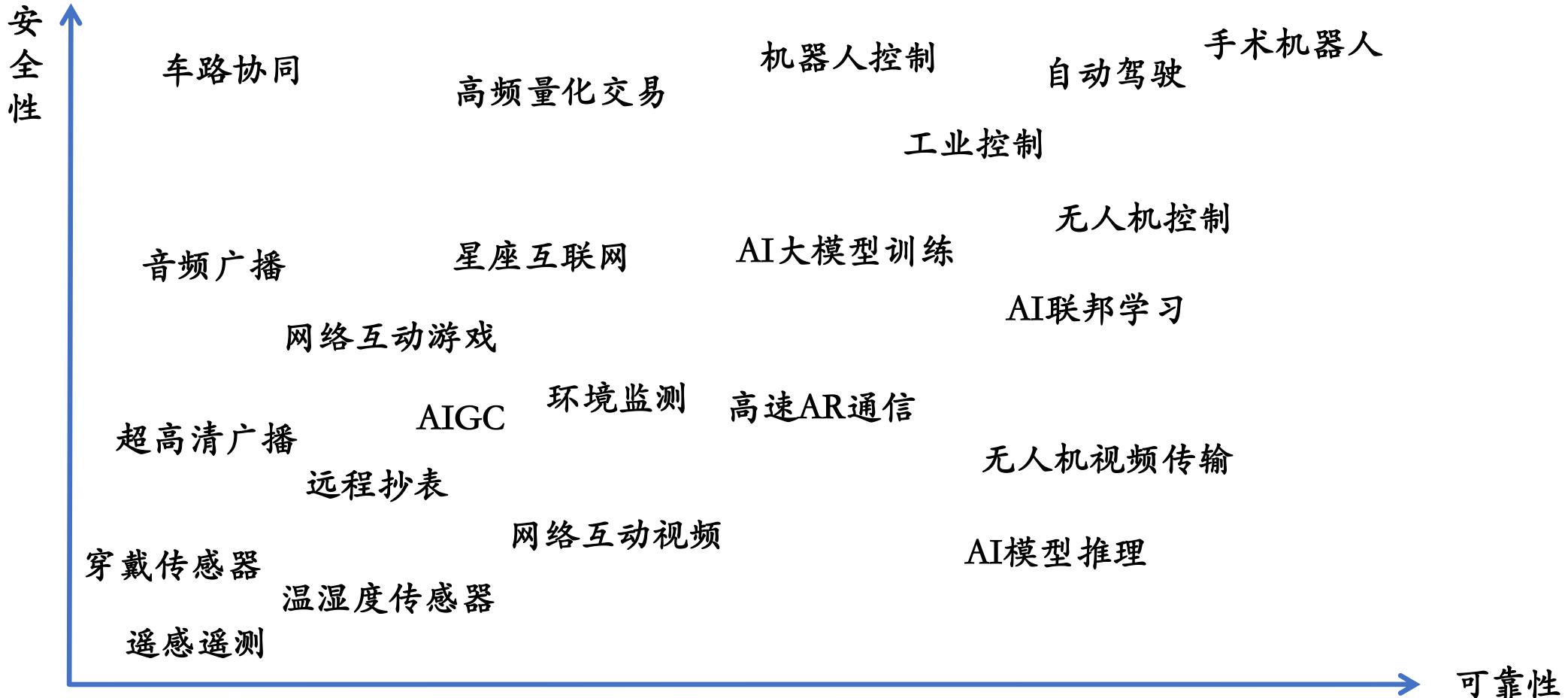


# 通信需求



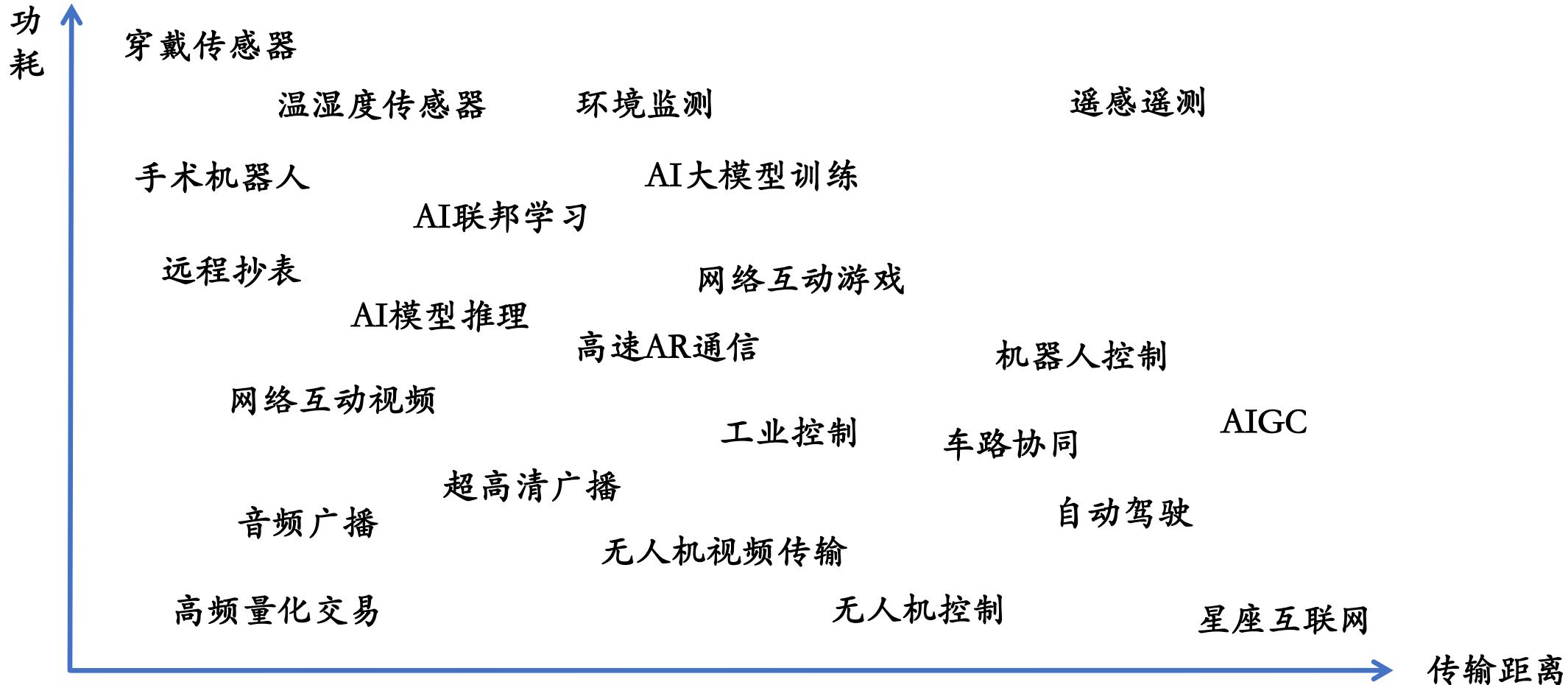


# 通信需求



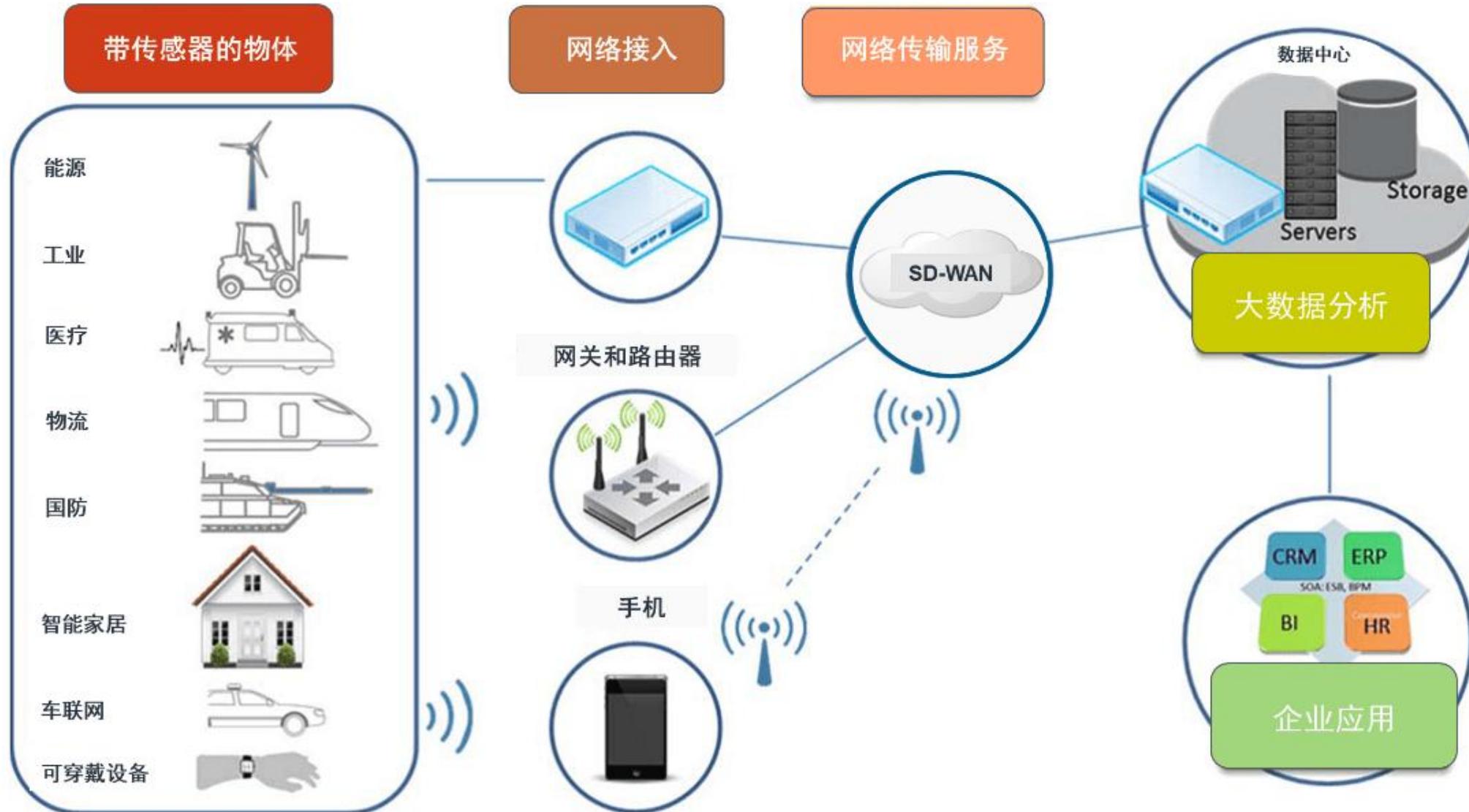


# 通信需求





# 5G在物联网领域的应用





# 5G在物联网领域的应用

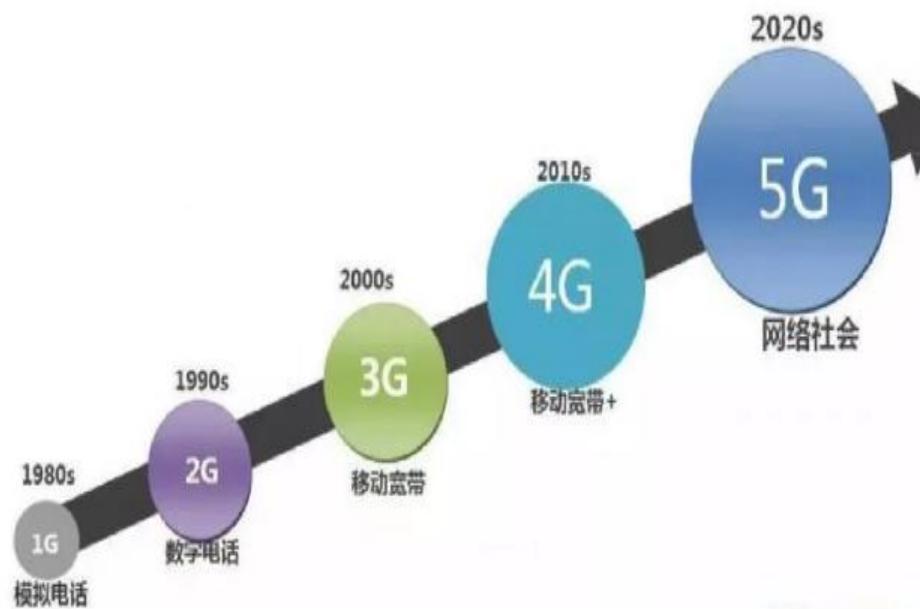




# 5G概述

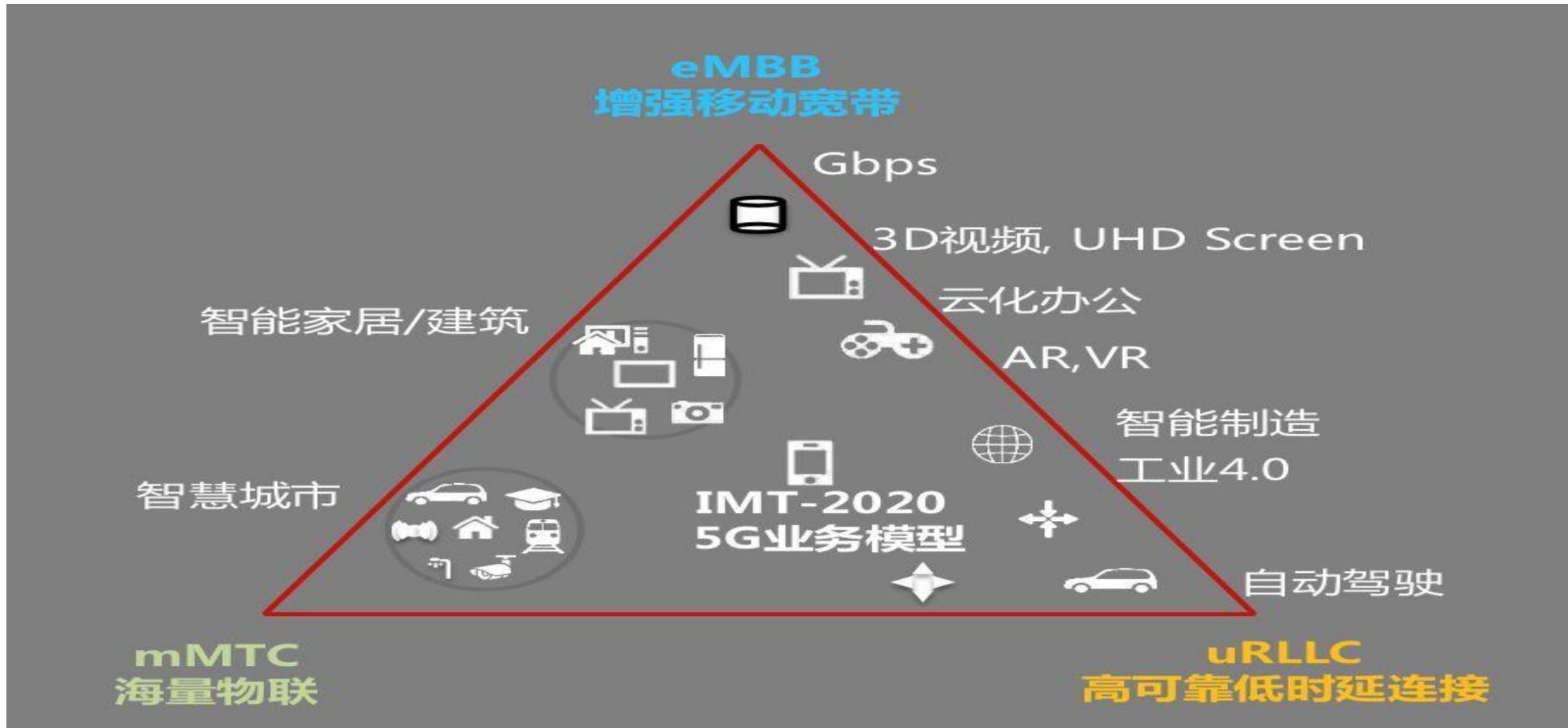
## 5G通信技术

当前，全世界最先进的通信技术之一就是5G技术，全世界对这一技术十分的关注。以5G通信技术应用为基础，能够使数据传统速度大大提升，使传统的空间限制得以有效的消除。



# 5G开启万物互联时代

## ITU定义的5G三大应用



# 5G典型应用

1. 超高清视频/图像（AR/VR）
2. 超高速万人/万物互联
3. 车联网/联网无人机
4. 远程医疗
5. 智慧电力
6. 工业控制
7. 智能安防
8. 个人助理
9. 智慧园区
10. 智慧电商





EPC 网络局限性	NGC 网络需求
网关数据吞吐量几十到一百 G 单个 MME 支持两千万上下文数，支持三万并发数 eNodeB 到 PGW 时延几十毫秒 QoS 分布在多个网元，协调困难 功能耦合度高，新业务升级难	热点地区单用户 1 Gbps；流量密度 Tbps/平方公里 支持超低功耗；连接数密度百万/平方公里 端到端时延几毫秒 QoS 的差异化需求 垂直行业网络需求差异化



## 5G与4G关键技术指标对比

技术指标	4G 参考值	5G 目标值	提升倍数
用户体验速率	10Mbps	0.1-1Gbps	10-100 倍
峰值速率	1Gbps	20Gbps	20 倍
流量密度	0.1Tbps/km <sup>2</sup>	10Tbps/km <sup>2</sup>	100 倍
连接数密度	10 <sup>5</sup> /km <sup>2</sup>	10 <sup>6</sup> /km <sup>2</sup>	10 倍
空口时延	10ms	1ms	0.1 倍
移动性	350km/h	500km/h	1.43 倍
能效	1 倍	100 倍提升	100 倍
频谱效率	1 倍	3-5 倍提升	3-5 倍



# 5G在物联网领域的应用

## 5G网络的应用

### 5G+智能制作

### 5G + 智慧医疗

5G+媒体直播

5G+智慧警务

### 5G+智慧党建

5G+智能生态

5G+车联网



5G+车联网

5G+智慧旅游

5G+智能交通

5G+智慧教育



# 5G在物联网领域的应用

## 智能家居

- 对用户声音或手势进行追踪，帮助控制其他家庭设备，实现智慧家庭。

## 智慧基建

- 利用城市中公共设施以及监视器，提升城市运营效率，加强发展。

## 智慧交通

- 在基础设施（如路灯、红绿灯）中搭载传感器，收集城市实时资料，加强管理及提升安全性。

## 智慧医疗

- 可以对病患进行远距离监控，加强对体征的掌握，提升治疗成效。

## 智慧电网

- 透过物联网传递及预测电网需求资讯，更有效率的配送能源，减少能源浪费。

## 智慧工厂

- 通过物联网技术使工厂效率提升，降低管理成本，并强化员工安全。

## 智慧无人机

- 通过连接运转中的无人机，对于智能物流以及加速跑腿效率是一项有意义的创新，能有效提升人身安全。

## 自动驾驶

- 将城市中汽车作为终端，结合云端同步，自动驾驶等功能，改善交通，提升行车安全。

## 智能零售

- 对于零售商家而言，物联网可以优先提升商家上下游的运转效率。



# 5G在物联网领域的应用

## 智慧农业

- 对用户声音或手势进行追踪，帮助控制其他家庭设备，实现智慧家庭。

## 智慧工地

- 可以对工地进行远距离监控，加强对施工现场的掌握，提升设备机具的信息化改造；治疗成效。

## 智能电网

- 利用城市中公共设施以及监视器，提升城市运营效率，加强发展。

## 智能校园（社区）

- 利用城市中公共设施以及监视器，提升校园安全，图书管理，识别人员信息等。

## 智慧物流

- 物流智慧业务产业中，需要建立一个数据采集、动作执行、数据汇聚、网络传输、数据处理、数据分析、智慧应用、商业模式、方案集成、运营服务的端到端的完整体系架构。

## 智慧码头

- 中国联通联合爱立信、青岛港和振华重工在青岛港新前湾自动化码头成功实现了基于5G连接的自动岸桥吊车控制操作和运输集装箱，在5G网络智慧码头领域再上一个台阶。

## 高清视频会议

- 在5G+超高清视频直播的基础上，在超高清视频素材到达云端之后，在云端部署相应的视频制作软件，通过桌面应用、H5页面等方式对视频素材进行云端的制作，然后再通过5G网络进行内容分发，实现基于5G的从切片到直播制作。

## 智慧旅游

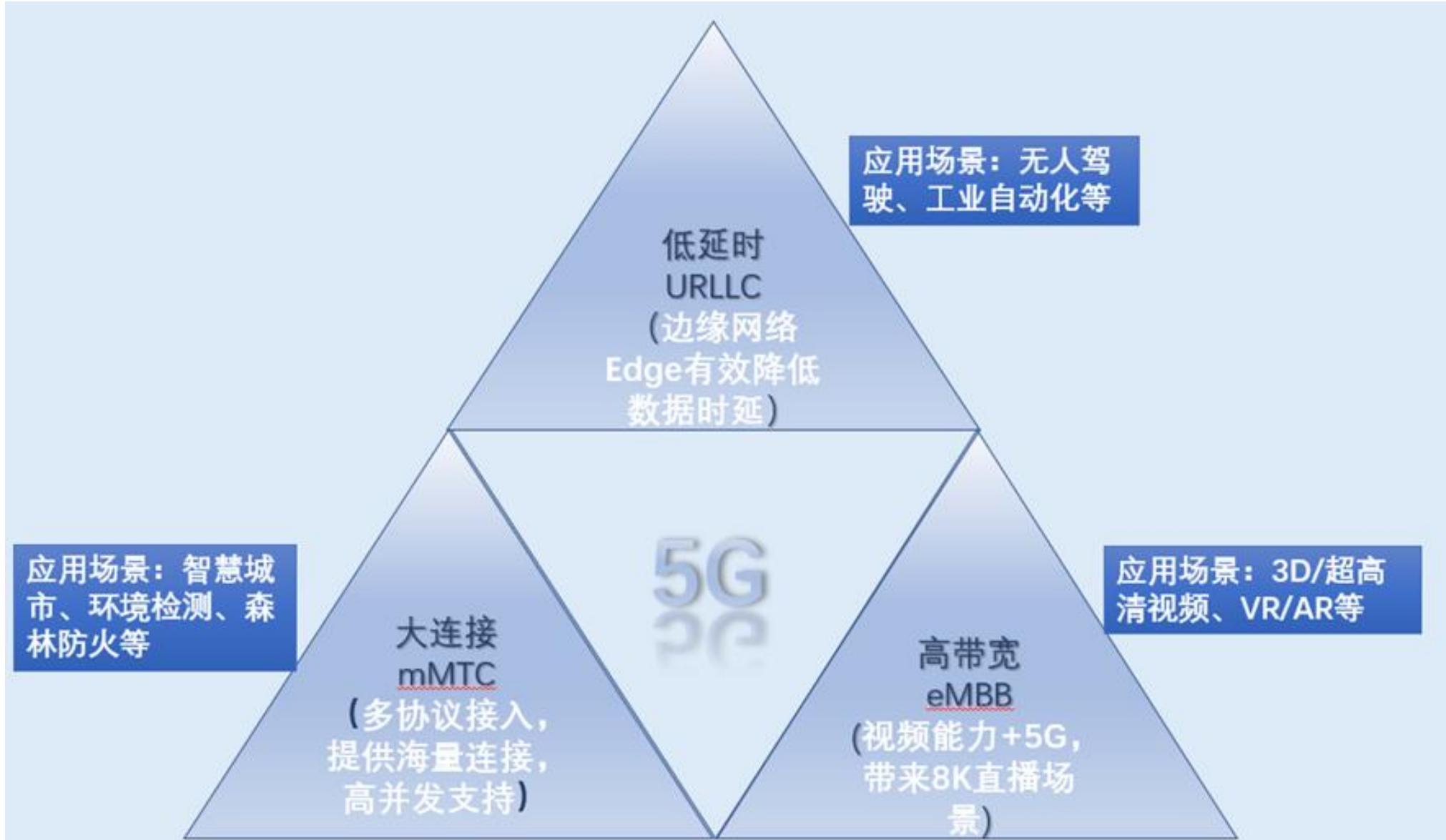
- 利用物联网等新技术，通过移动互联网，借助便携的终端上网设备，主动感知旅游资源、旅游经济、旅游活动、旅游者等方面的信息，及时发布，让人们能够及时了解这些信息，安排和调整工作与旅游计划。

## 智慧金融

- 基于5G，银行可以充分运用远程服务或智能交互功能，如客户可以通过视频银行办理开户、签约、缴费、汇款等常用业务。还能用AR、VR等沉浸式技术提供新型场景化服务体验，创新银行与客户的交互模式。



# 5G在物联网领域的应用





# 5G在物联网领域的应用





# 物联网领域应用

## 智能家居

智能家居已经在市面上具有成熟产品的一项概念，像是苹果的HomeKit，小米的小爱同学等，通过语音或手势交互，对支持相应标准的家具进行控制。



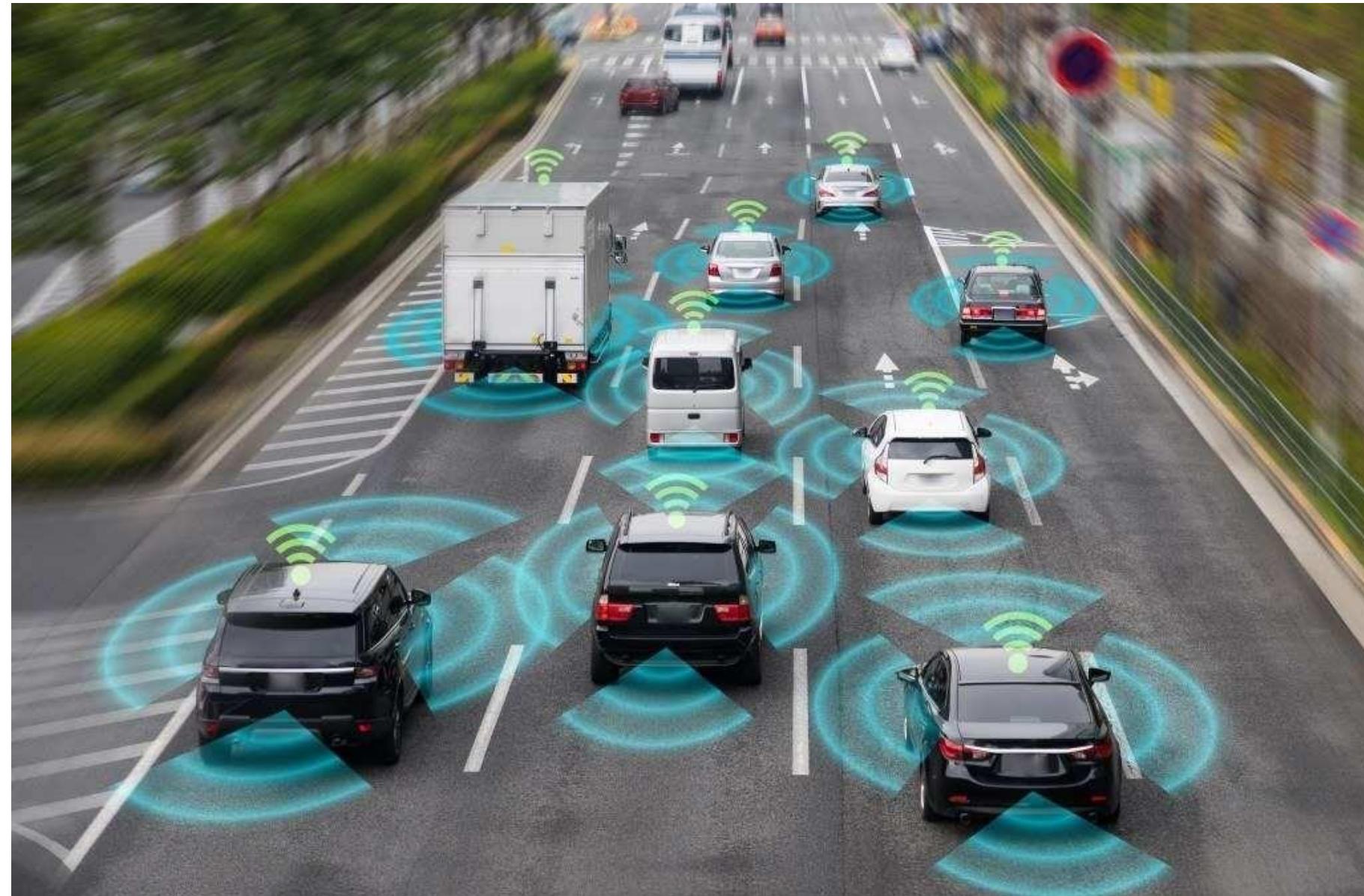


# 物联网领域应用

## 智能交通

物联网可以在整个交通系统中部署，帮助不同车辆、交通设施的互相通讯，实现交通疏导、智能驾驶等功能。

而在深圳的物联网示范园区已实现了这样的范例，验证了智能交通的可行性。





# 物联网领域应用

## 智慧码头

中国联通联合爱立信、青岛港和振华重工在青岛港新前湾自动化码头成功实现了基于5G连接的自动岸桥吊车控制操作、抓取和运输集装箱，在5G网络应用于智慧码头领域再上一个台阶。





# 物联网领域应用

## 智慧医疗

在世界移动大会上，关于联通5G智慧医疗的一段视频火了。有了5G的帮助，未来医院可实现更快的数据传输、分析及预警，并具备更全面可靠的监护条件，能够通过语音交互、触屏、人脸识别等方式，为患者提供诊前、诊中、诊后全流程的医疗健康服务。





# 物联网领域应用

## 健康穿戴

物联网在医疗保健方面也有诸多应用，通过穿戴式的血压计、心率计等等，收集监控患者的体征，在疾病的预防和控制有很大的功用。





# 物联网领域应用

## 5G+智能电网

5G智能电网已成功实现5G智能分布式配电、变电站作业监护及电网态势感知、5G基站削峰填谷供电等多个新应用。





# 物联网领域应用

## 市区环境的无人驾驶

5G具备的超高可靠低时延通信(uRLLC)使得车辆终端在市区环境中可以在低于1ms的延迟下与云端进行通信，将车辆纳入物联网，实现智能交通。右图为百度Apollo的无人化路测。





# 物联网领域应用

## 智能零售商店

对于零售商家而言，物联网能够提升供应链精度，加快收银效率，具有诸多好处。而5G具备的海量机器类通信（mMTC）也可以使得设备商家中复杂的环境联网，甚至可以做到对每一个商品联网，实现智能商店。





## 目录

## CONTENTS

1 / 智能家居  
无线互联

2 / 无线互联  
通信技术

3 / 无线互联  
面临挑战

4 / 发展趋势



# 面临的问题

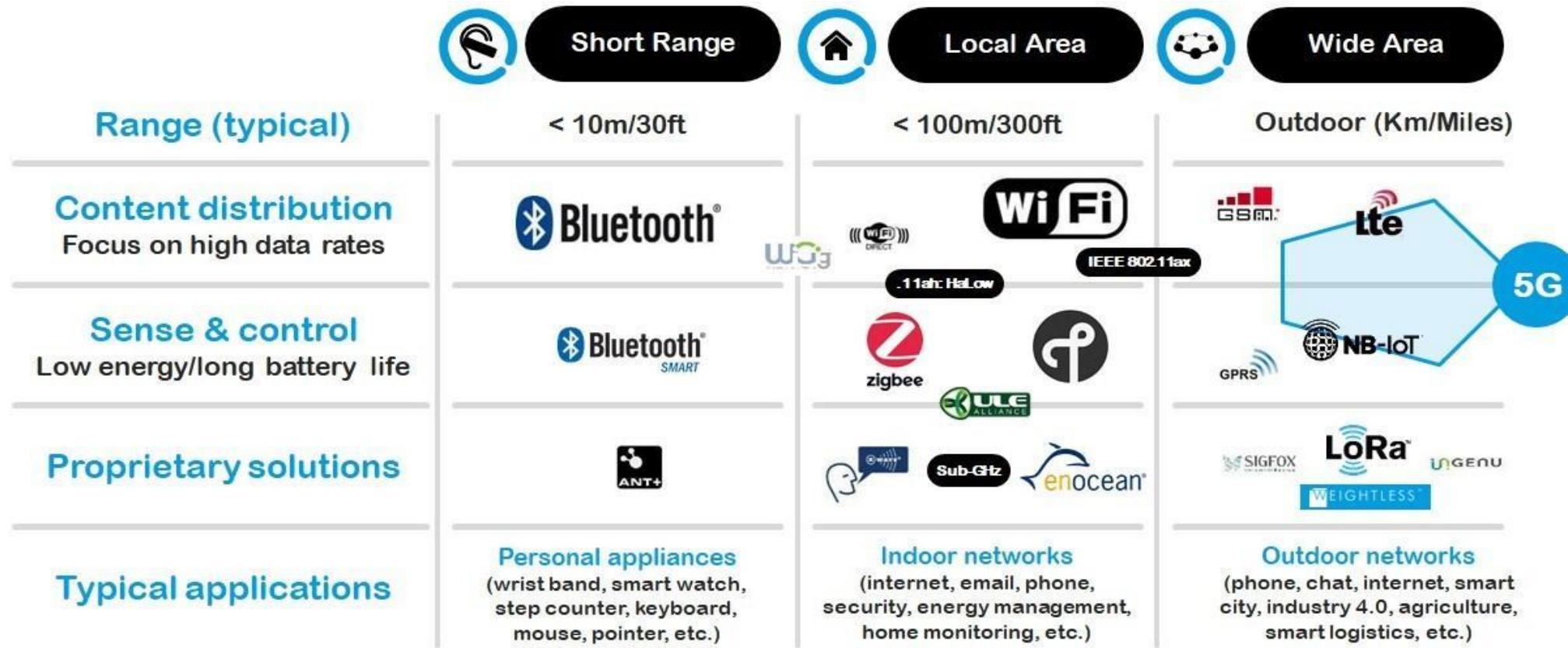
- 1. 标准国际化
- 2. 安全性
- 3. 大规模数据
- 4. 生态系独立
- 5. 创新的应用与合作
- 6. 成本和投资回报
- 7. 物联网结合AI
- 8. 传输距离





# 面临的问题—1. 标准国际化

物联网终端设备的协议与规格目前仍然缺乏统一的标准。不同设备之间的资讯大多无法互通，若能参与制定协议标准将能大大提升竞争力。各家厂商都想在物联网领域分得一杯羹，无论是各种联盟、科研院所，还是芯片厂商和设备制造商，都想推广自家的协议，光是通信技术就分为NFC、Zigbee、GPS、WiFi、蓝牙等，更不要说传输层的ONS/PML或NGTP标准，无形中为设备之间的联通造成了阻碍，形成信息孤岛，难以整合构建规模化经济。标准的制定跟不上技术演进，拖累着物联网的进程。





## 面临的问题—2. 安全性

对于终端而言，部署足够安全的防火墙将要花费更大的成本，监控敏感数据的终端一旦被攻击可能造成巨大损失。

物联网的优势在于自动化和智能化，这种实时在线的数据连接为黑客提供了便利条件。过去一年，围绕物联网的DDoS攻击屡见不鲜，大规模、分布式、异构网络的弱点越来越明显。





# 面临的问题—2. 安全性

物联网安全主要以3种形式被击败：

## (1) 盗窃：

- ▲ 窃取设备；
- ▲ 通过窃听窃取存储在设备中的数据；
- ▲ 知识产权盗窃；

## (2) 欺诈：

- ▲ 盗用身份以验证用户访问权限；
- ▲ 伪造设备凭据以访问服务器或数据存储库；

## (3) 操纵：

- ▲ 操纵服务器、路由器、设备、数据或客户端中的数据；
- ▲ 修改致动器系统的动作；
- ▲ 强迫系统崩溃以破坏整个功能（例如：物联网智能家居安全系统）；





# 面临的问题—2. 安全性

5G+AI时代的信息安全挑战：

1. 超高清视频和大数据-实时大数据量的数据加密挑战
2. 万物互联-海量设备安全防护的木桶效应，保护与隔离需求，更大的DDoS攻击源（美国2016年10月21日断网事件）
3. 车联网/联网无人机-安全认证效率和安全伦理挑战
4. 远程医疗-安全漏洞、个人隐私、数据隔离、分层权限
5. 智慧电力、工业控制-更难物理隔离、更易被干扰和攻击
6. 智能安防-目前80%的摄像头存在安全隐患或裸奔；
7. 边缘计算-被攻击面增大、劫持反劫持的算能悖论；
8. 骨干网数据复制与后续攻击；
9. IoT-市场占有率与安全防护的悖论；
10. AI-漏洞扫描悖论：攻击者与防护者都在做！



# 面临的问题—2. 安全性

## 5G网络安全架构八个安全域：

1. 网络接入安全：保障用户接入网络的数据安全。控制面：用户设备（UE）与网络之间信令的机密性和完整性安全保护，包括无线和核心网信令保护。其中核心网信令包括 UE 到服务网络公共节点的信令保护，以及根据切片安全需求部署的 UE 到网络切片（NS）内实体的信令保护。用户面：UE 和网络之间用户数据的机密性和/或完整性安全保护，包括 UE 与（无线）接入网之间的空口数据保护，以及 UE 与核心网中用户安全终结点之间的数据保护。
2. 网络域安全：保障网元之间信令和用户数据的安全交换，包括（无线）接入网与服务网络共同节点之间，服务网络共同节点与归属环境（HE）之间，服务网络共同节点与 NS 之间，HE 与 NS 之间的交互。
3. 首次认证和密钥管理：包括认证和密钥管理的各种机制，体现统一的认证框架。具体为：UE 与 3GPP 网络之间基于运营商安全凭证的认证，以及认证成功后用户数据保护的密钥管理。根据不同场景中设备形式的不同，UE 中认证安全凭证可以存储在 UE 上基于硬件的防篡改的安全环境中，如 UICC（通用集成电路卡）。
4. 二次认证和密钥管理：UE 与外部数据网络（如，业务提供方）之间的业务认证以及相关密钥管理。体现部分业务接入 5G 网络时，5G 网络对于业务的授权。
5. 安全能力开放：体现 5G 网元与外部业务提供方的安全能力开放，包括开放数字身份管理与认证能力。另外通过安全开放能力，也可以实现 5G 网络获取业务对于数据保护的安全需求，完成按需的用户面保护。
6. 应用安全：此安全域保证用户和业务提供方之间的安全通信。
7. 切片安全：体现切片的安全保护，例如 UE 接入切片的授权安全，切片隔离安全等。
8. 安全可视化和可配置：体现用户可以感知安全特性是否被执行，这些安全特性是否可以保障业务的安全使用和提供。



# 面临的问题—2. 安全性

## 强化物联网安全的4种方式：

### 1、数据加密

设备可以在数据传输和交换之前进行身份验证和数据加密。加密确保了数据即使被黑客窃取，也无法以原始形式访问。设备身份认证可确保防止设备被操纵，从而避免黑客自主控制的陷阱。

### 2、网络安全

零信任网络、Web3.0、无感认证、高效加解密、联邦学习、隐私计算、多方安全计算、.....。

### 3、设备端的安全性

估计到2020年将有数十亿台设备连网，这意味着黑客有数十亿个新的攻击点。如果没有集中控制来保护这些设备，唯一的出路就是保护设备端。

### 4、云端安全

云是物联网的主要交通路径，因此，阻止网络安全的第二个外围防御必须在云服务器上。市场上已经存在广泛的云安全规定，可以针对物联网环境进行调整以实现最佳匹配。

只要互联网继续存在，网络安全问题就不会消失，随着物联网浪潮的到来，网络安全的风险只会越来越多。与上一代设备不同，在“物联网”一代中，数据丢失和个人身份盗窃的风险是严重的。物联网设备的所有方必须采取足够的安全措施，以避免这些可能的物联网网络安全风险的影响。



## 面临的问题---3. 大规模数据

对于多传感器以及多云端的物联网结构，数据通信的流量将具有巨大的复杂性，在流量不足的场合可能会带来问题。如智能交通的车辆互联在市区外的场合可能会发生无法工作等情形。

海量数据的存储，根据应用的不同，可能会有较高的数据采集要求，这反过来又会导致较高的存储要求。目前互联网已经占总发电量的5%，为物联网设备收集甚至存储数据的“巨大挑战”依然存在。





# 面临的问题---4. 生态系独立

各个厂商的物联网产品间往往有很明确的定位区隔，互相不兼容，很难形成大规模的应用。





## 面临的问题—5.创新的应用与合作

物联网的真正价值在于数据的应用，我们也注意到物联网产生的数据是全球分散的，如何布置数据中心也是一个市场痛点。未来物联网领域所用到的数据中心不太可能是如今这种集中应用模式。物联网与AI、深度学习的结合会更加紧密，而网络边缘处理和分析的趋势也将大幅降低数据回传的需求处理量；

全产业链的业务形态使得物联网绝非一家之事，大公司搭台开发者唱戏是良性的发展模式。Google力推的智能家居协议Thread开放给支持802.15.4通讯标准的无线装置串联，让更多芯片、硬件厂商加入，加速家庭装置产品的开发。

思科透过并购云端物联网公司Jasper Technologies来成立物联网事业群，连同网络、云端服务暨平台、网络安全，并列为思科未来IT业务发展的四大核心战略。

随着窄带物联网技术的规模化商用，也会产生新形式的应用；例如支持用气数据抄收、异常事件上报功能的智能燃气表已在上海试运行，其中还有不少新思路可挖。



# 面临的问题—6. 成本和投资回报

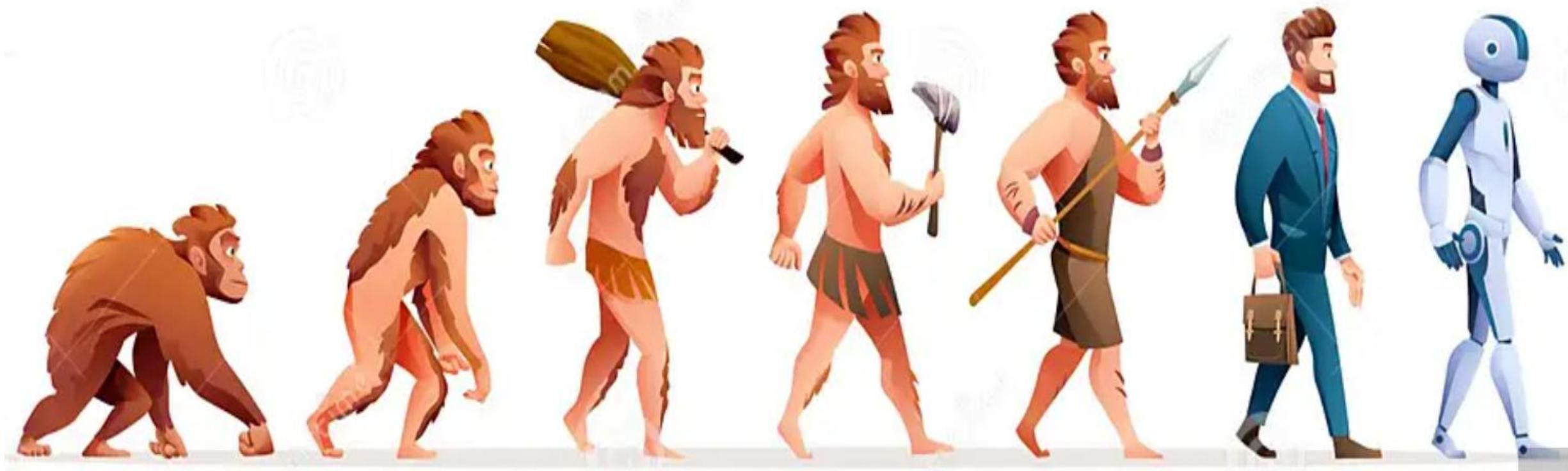
物联网的产业链贯穿上下游，包括芯片元器件、软件服务、系统集成、网络运营商，每个环节都需要前期投入，这就涉及到成本问题。由于众多厂商各自为战，难以保证稳定的回报率。尤其是对于硬件企业来说，要造出成规模兼容多协议的设备，还要留出一部分利益分成，投入产出比是不得不考虑的问题。





## 面临的问题—7. 物联网结合AI

AI(人工智能)和物联网(物联网)的结合正在推动通信领域的重大变革，为多个行业带来新的机会和挑战，是人类科技进步跨出的一大步。特别地，AI在控制网络和编解码方面的应用具有很大的潜力，可以显著提升通信网络的效率和性能，但是依然面临一些困难。





# 面临的问题—7. 物联网结合AI

1. 算力需求：AI算法，尤其是深度学习模型，需要大量的计算资源。然而，物联网设备通常计算能力有限，难以支持复杂的AI算法。
2. 网络带宽和延迟
  - (1) 带宽限制：随着物联网设备数量的增加，网络带宽需求迅速增长，现有网络可能无法满足这种需求。
  - (2) 低延迟：一些关键应用（如医疗监控、智能交通）对通信延迟有严格要求，现有网络架构需要优化。
3. 网络复杂性
  - (1) 网络拓扑和协议
    - a. 复杂网络拓扑：现代通信网络包含多层、多协议的复杂拓扑，AI需要在这种环境中进行高效的控制和优化。
    - b. 协议兼容性：不同的网络设备和通信协议需要AI系统能够兼容和互操作。
  - (2) 动态环境适应
    - a. 网络动态变化：网络状态和流量模式不断变化，AI系统需要能够快速适应这些变化，以维持网络性能。
    - b. 自适应控制：AI需要具备自适应能力，能够在不同网络条件下自动调整策略。
4. 编解码复杂性
  - (1) 高效编解码算法
    - a. 压缩效率：需要设计高效的编解码算法，能够在尽量减少数据量的同时，保持高质量的传输内容。
    - b. 解码速度：解码过程需要快速完成，以确保数据能够实时使用。
  - (2) 数据丢失和错误处理
    - a. 鲁棒性：编解码算法需要具有高鲁棒性，能够处理数据丢失和传输错误，确保数据完整性。
    - b. 错误检测和纠正：需要实现高效的错误检测和纠正机制，以提高数据传输的可靠性。
5. 软硬件集成
  - (1) 硬件优化：AI控制和编解码算法需要在硬件上进行优化，以提高性能和能效。
  - (2) 软件兼容性：确保AI算法能够在现有的软件平台和系统架构上无缝运行。



# 面临的问题—8. 传输距离

物联网通信中的传输距离面临诸多挑战，包括信号衰减、能耗问题、数据传输质量、成本问题、技术选择和适配、环境因素等。解决这些挑战需要综合考虑通信技术的选择、网络设计、设备优化、能效管理以及基础设施建设等因素。通过技术创新和系统优化，可以提升物联网系统的传输距离和整体性能。





## 目录

## CONTENTS

1 / 智能家居  
无线互联

2 / 无线互联  
通信技术

3 / 无线互联  
面临挑战

4 / 发展趋势



# 物联网未来发展

## 未来发展

MGJ预测，物联网的应用将在2025年产出3.9~11.1兆美元的价值。其中，基于物联网的工业升级将产出最多价值。供需匹配、售后服务、以及资源与流程的优化等，都可以经由结合物联网来达到更好的成效。





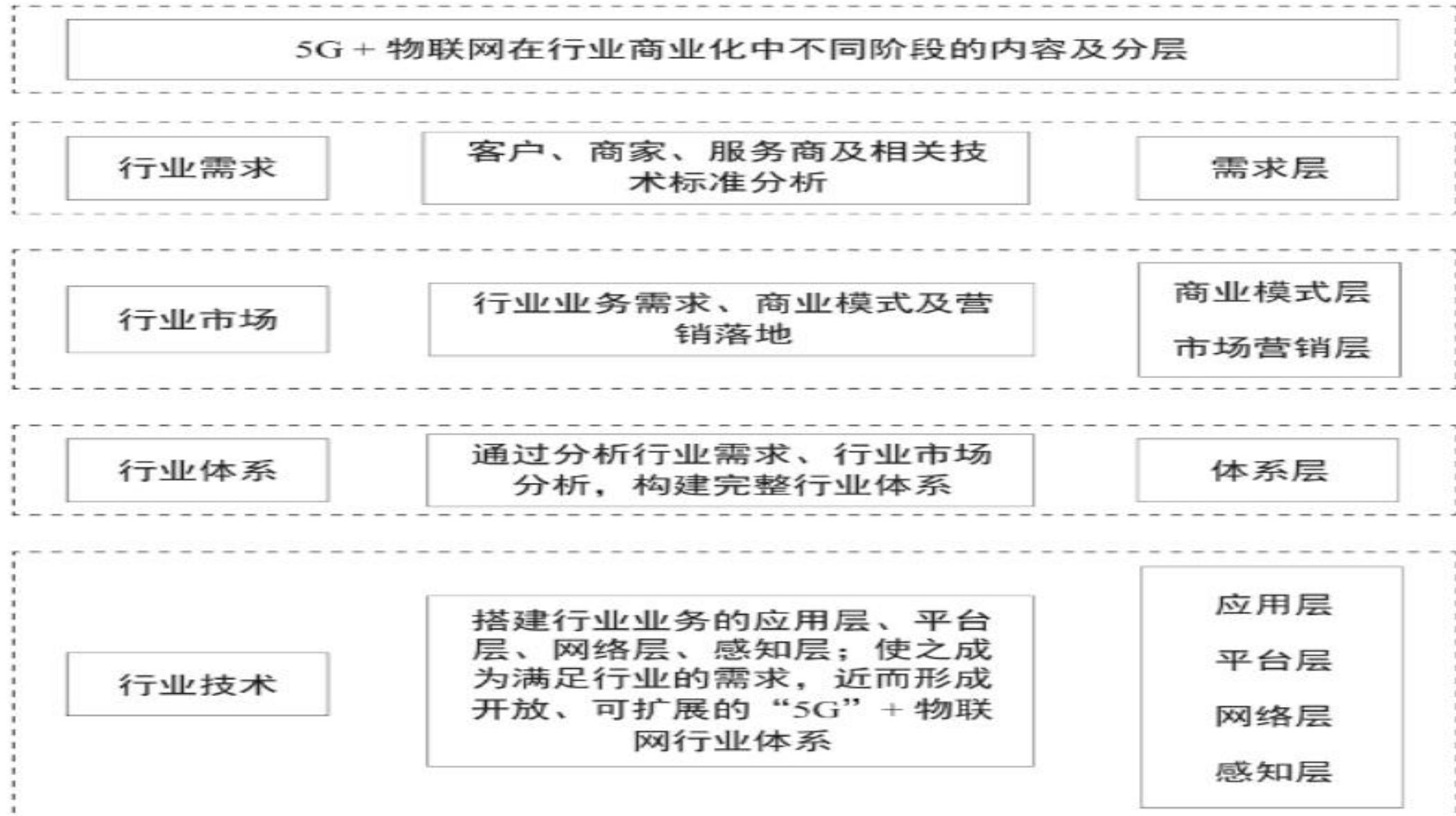
# 5G+物联网的战略意义

5G+物联网，是继PC（Personal Computer）、MI（Mobile Internet）、CC（Cloud Computing）、GPS、UAV（Unmanned Aerial Vehicle）、AI（Artificial Intelligence）之后的新变革，世界各国都对其未来发展寄予厚望。5G+物联网的提出体现了大融合理念，拥有短链、智慧以及共生的特征，具有快捷、方便、智能化等优势，突破了将物理基础设施和信息基础设施分开的传统思维，具有很大的战略意义。





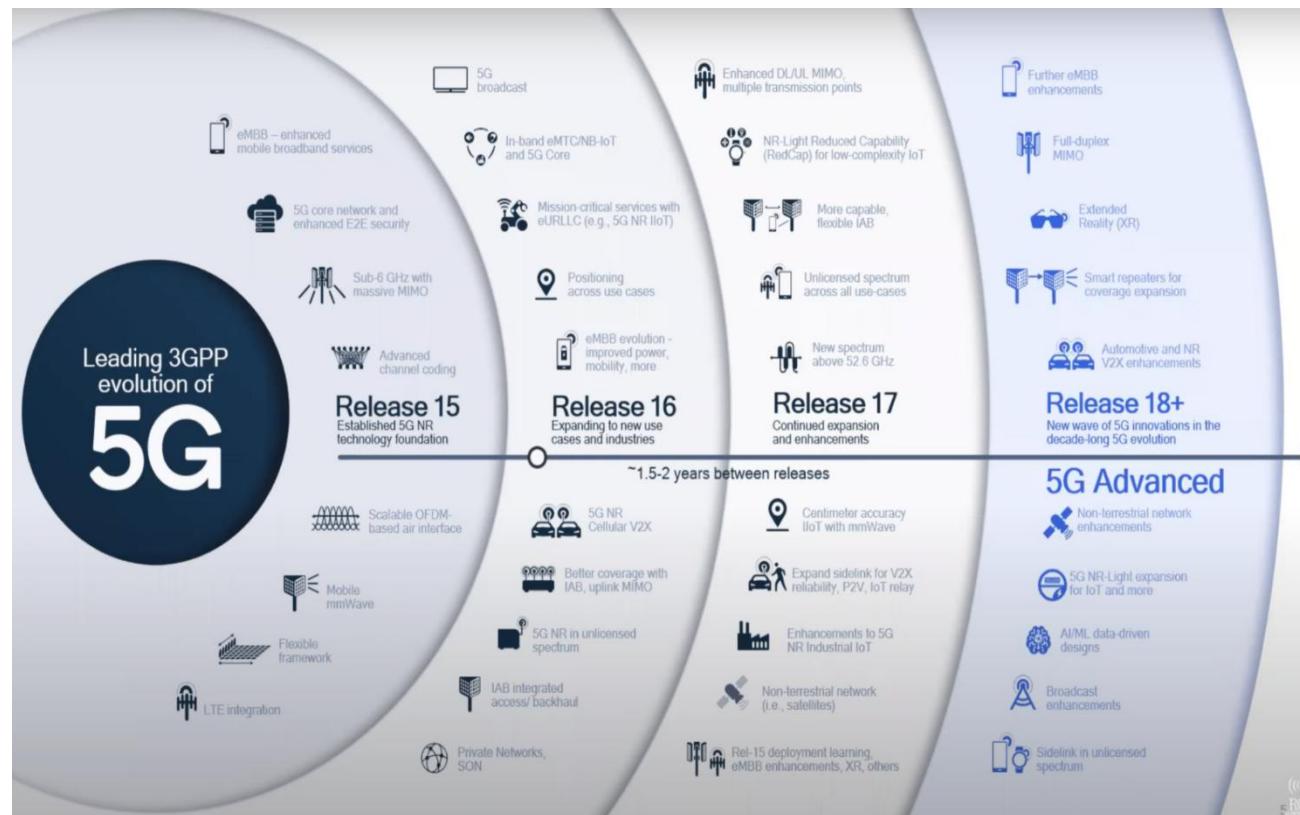
# 5G+物联网在行业商业化阶段及分层





# 5G-A的概述

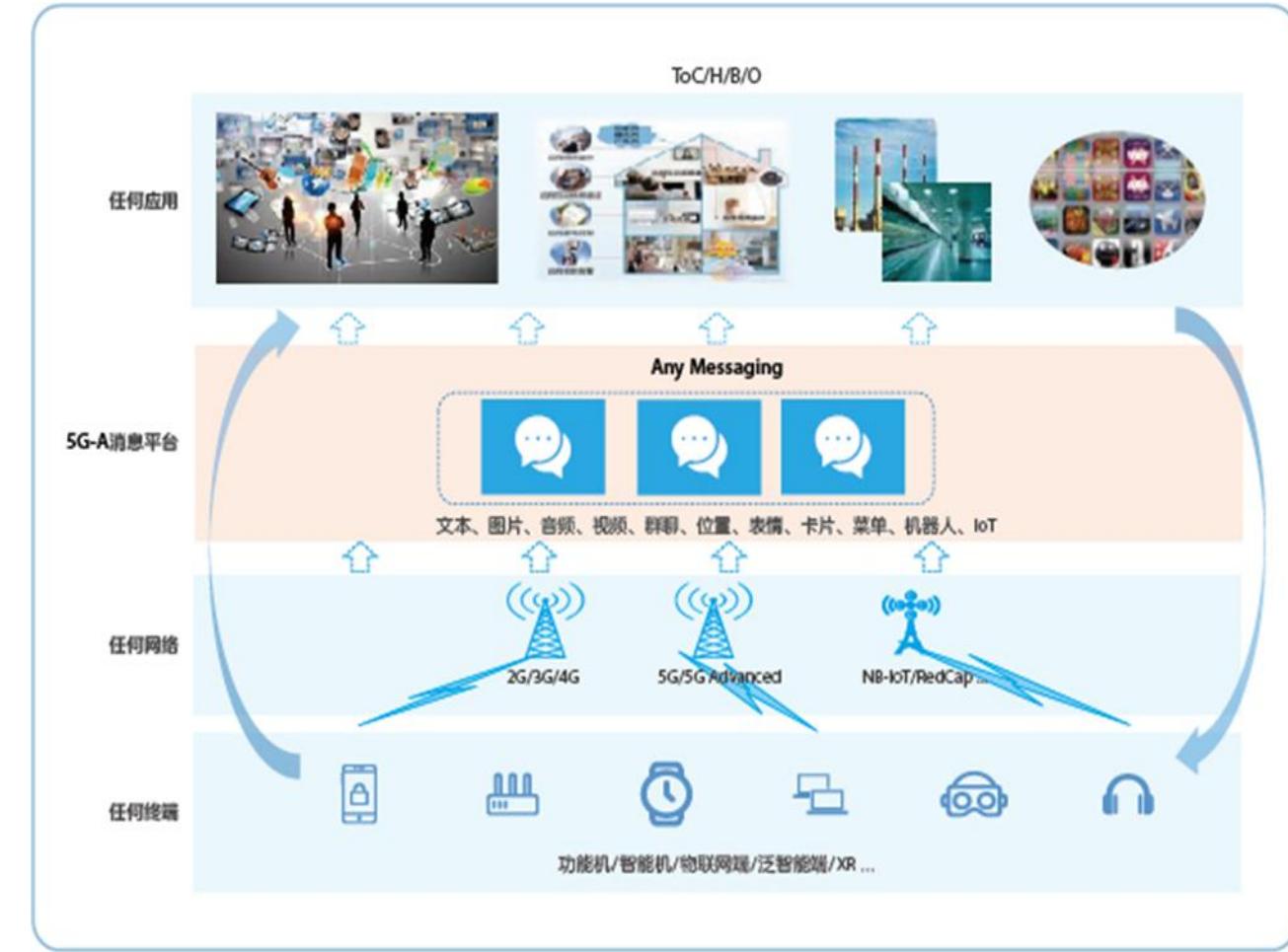
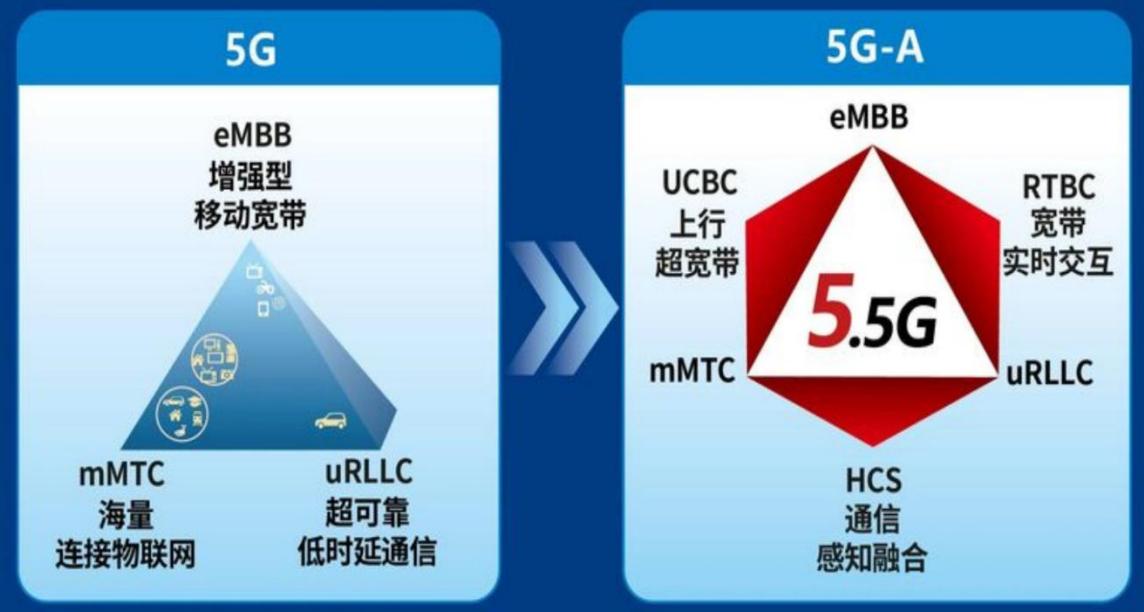
5G-A（5G Advanced）是5G技术的演进版本，由3GPP（第三代合作伙伴计划）在5G标准基础上进一步开发和扩展，以满足未来通信需求。5G-A旨在增强5G网络的性能和功能，支持更广泛的应用场景，推动各行各业的数字化和智能化转型。





# 5G-A的功能

## 5G-A能力演进图





# 5G-A的功能

## 增强移动带宽

- 更高的数据速率
- 更大的带宽

## 超可靠低时延通信

- 极低时延
- 高可靠性

## 大规模机器类通信

- 海量连接设备
- 低功耗

## 网络智能化

- 集成AI和ML技术
- 自动化管理

## 增强网络切片

- 灵活的网络切片
- 动态调整

## 频谱效率提升

- 更佳的编码和调解
- 新频谱资源

## 能效优化

- 低能耗设计
- 节能模式

## 多接入边缘计算

- 多接入边缘计算
- 分布式计算

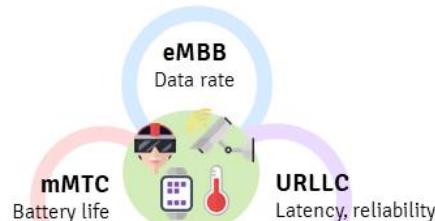
## 安全性提升

- 增强加密和认证
- 安全管理



# 5G的应用—R17

5G-A通过提供更高的连接密度、更低的时延、更高的可靠性以及智能化的网络管理，极大地推动了物联网应用的发展。它不仅提升了各行业的效率和创新能力，还推动了社会的数字化和智能化转型，为实现智慧城市、智能制造、智能农业等未来愿景提供了坚实的技术基础。



**RedCap devices (NR-Light)**  
to support mid range use cases,  
like wireless industry sensors



**Improved NR positioning to**  
support commercial IoT use cases,  
like factory automation

## 5G R17 Enhancements for IoT



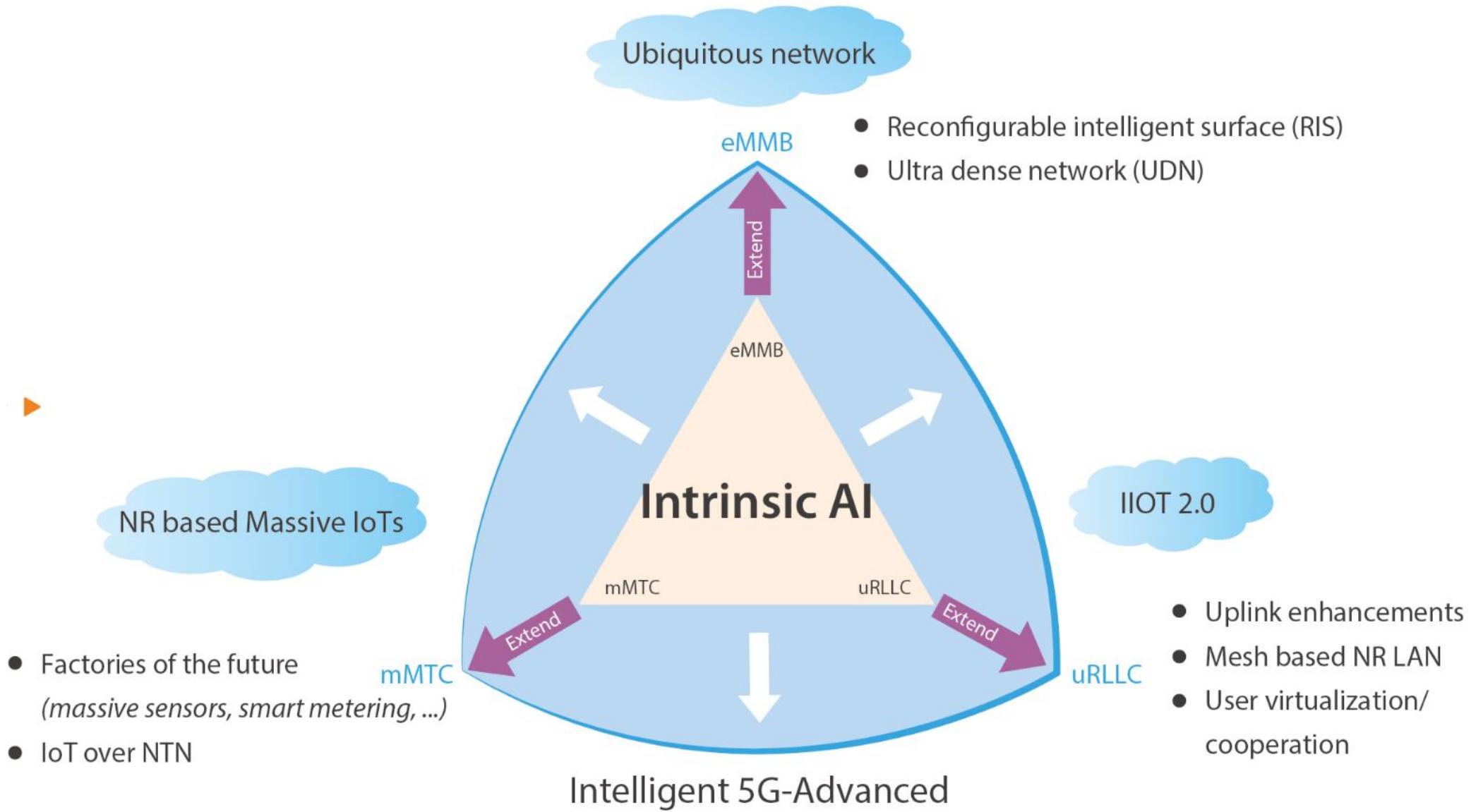
**Coverage enhancement to**  
support IoT devices



**Device battery power**  
saving enhancements



# 5G-A的应用—R18





# 5G-A的应用—R19

## Continued System Enhancements



## Further Use Case Diversifications



## New Advanced Capabilities



## 6G Technical Foundations





# 5G-A的部署

2024年3月28日，中国移动在杭州全球首发5G-A商用部署，公布首批100个5G-A网络商用城市名单，并宣布计划于年内扩展至全国超300个城市，建成全球最大规模的5G-A商用网络。来自政府、产业链各方企业共同见证5G-A商用开启，共话5G-A未来发展。

## 附：首批100个5G-A网络商用城市

北京、上海、天津、重庆、广州、深圳、杭州、苏州、东莞、成都、宁波、金华、郑州、温州、南京、无锡、昆明、西安、青岛、长沙、佛山、南通、武汉、济南、福州、徐州、台州、泉州、嘉兴、临沂、惠州、常州、合肥、沈阳、南宁、贵阳、哈尔滨、南昌、厦门、大连、石家庄、太原、乌鲁木齐、海口、长春、兰州、呼和浩特、银川、西宁、拉萨、绍兴、湛江、潍坊、盐城、中山、赣州、汕头、保定、南阳、江门、宿迁、遵义、洛阳、济宁、周口、菏泽、湖州、曲靖、泰州、烟台、茂名、廊坊、揭阳、上饶、红河、毕节、珠海、阜阳、昭通、扬州、连云港、商丘、淮安、宜春、新乡、信阳、漳州、梅州、驻马店、清远、唐山、肇庆、邯郸、镇江、文山、聊城、桂林、九江、襄阳、吉安



# 6G网络概述

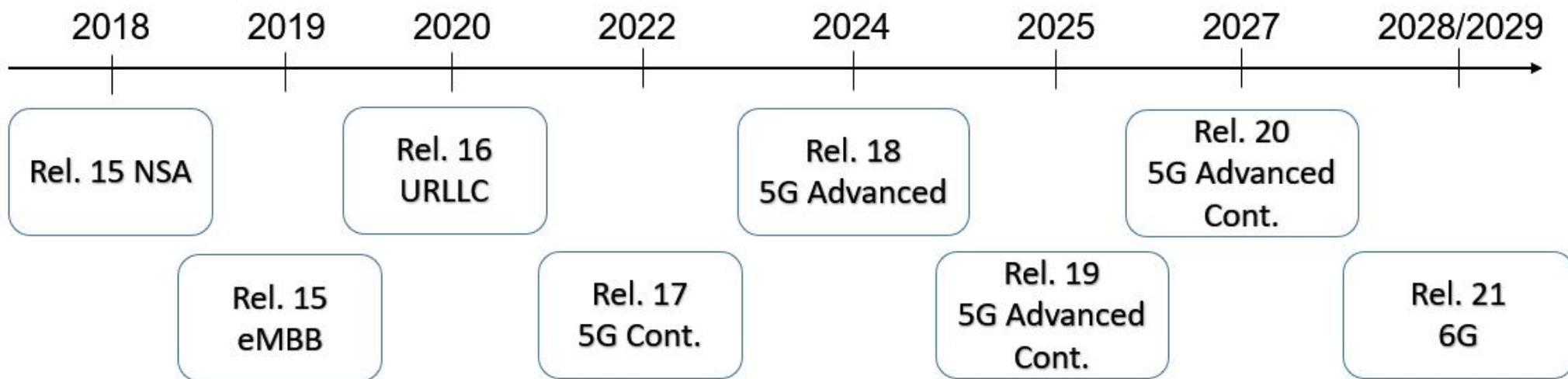
5G网络无法实现“全球全域”、“万物互联”，6G将有效弥补5G不足，满足需求，ITU已启动6G研究。6G将向数字化和全连接的方向发展，真正实现随遇接入，万物互联。全新频谱、颠覆性的技术、无小区网络、网络虚拟化、高能效和人工智能将成为6G驱动力和主要特征。





# 6G网络发展规划

## 5G, 5G-Advanced, 6G 3GPP Roadmap



Source: 3GPP

**DCI** DELL'ORO  
GROUP



# 6G网络的目标

## 6G网络三个目标

### 甚大容量与极小距离通信 (VLC&TIC)

- 无间隔的VR/AR体验
- 全息网络
- 高吞吐量 (>Tbps)
- 全息传送
- 数字感知
- 模拟/非量化的通信
- 协同流媒体

### 超越尽力而为与高精度通信 (VLC&TIC)

- 高精度通信
  - 无损网络
  - 吞吐量保证
  - 时延保证
    - ✓ 及时保证
    - ✓ 准时保证
    - ✓ 协同保证
- 用户-网络接口

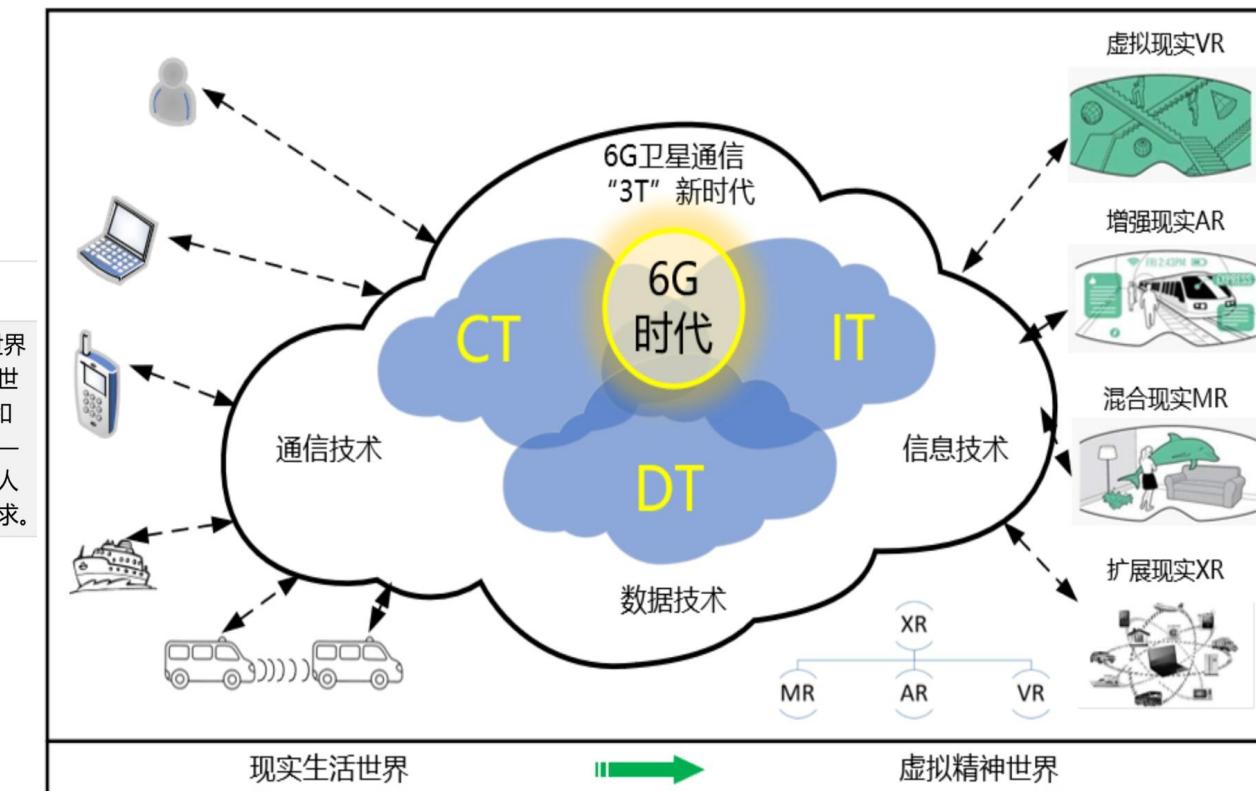
### 融合多类通信 (ManyNet)

- 卫星网络**
- 因特网规模的专用网络
- 多接入边缘计算
- 专用网络/特殊用途网络
- 密集网络
- 网络-网络接口
- 运营商-运营商接口



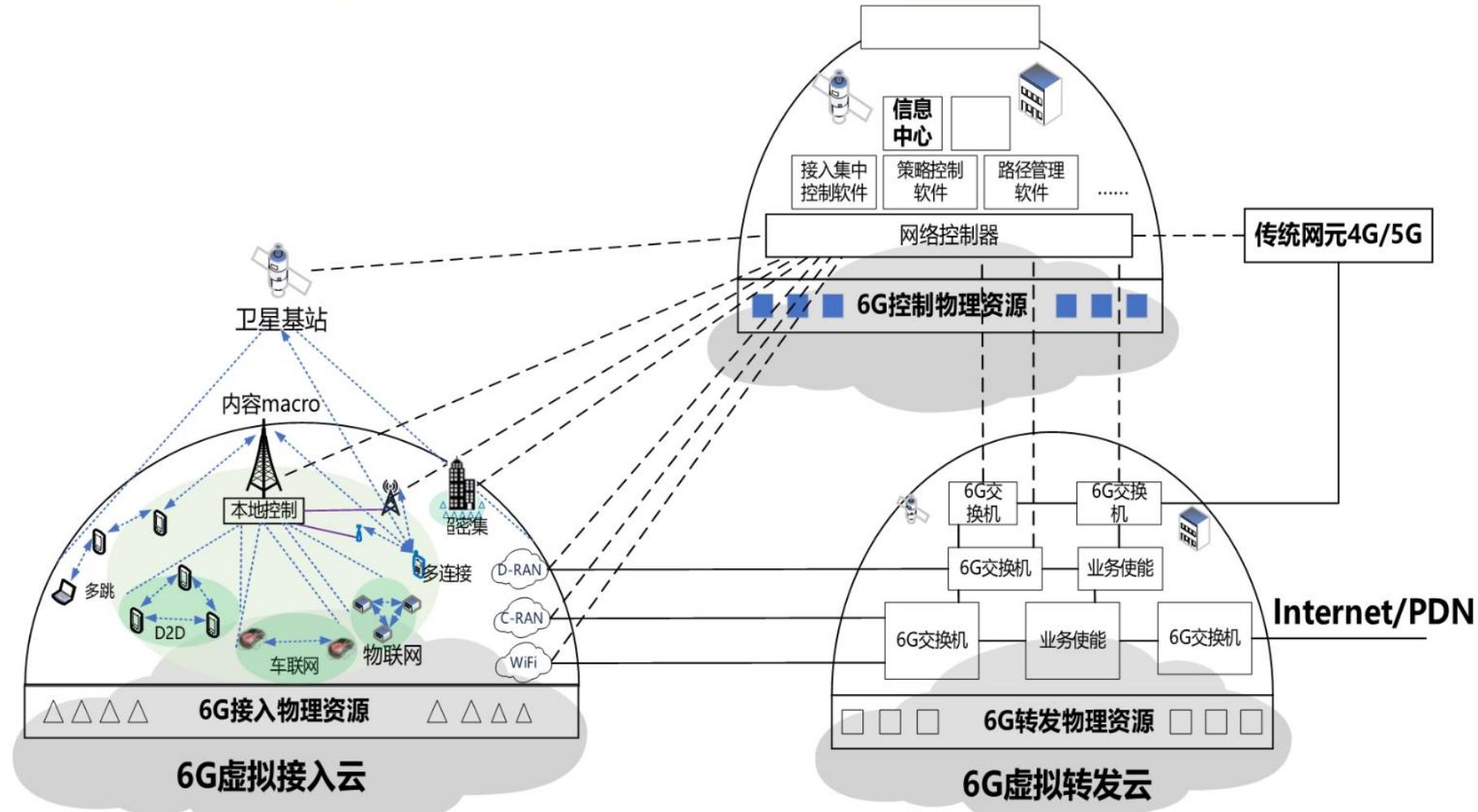
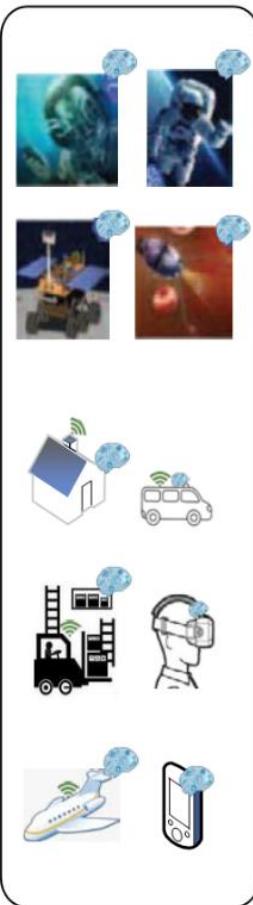
# 6G网络的愿景

愿景：打通虚实空间泛在智联的统一网络。





# 6G网络架构设想



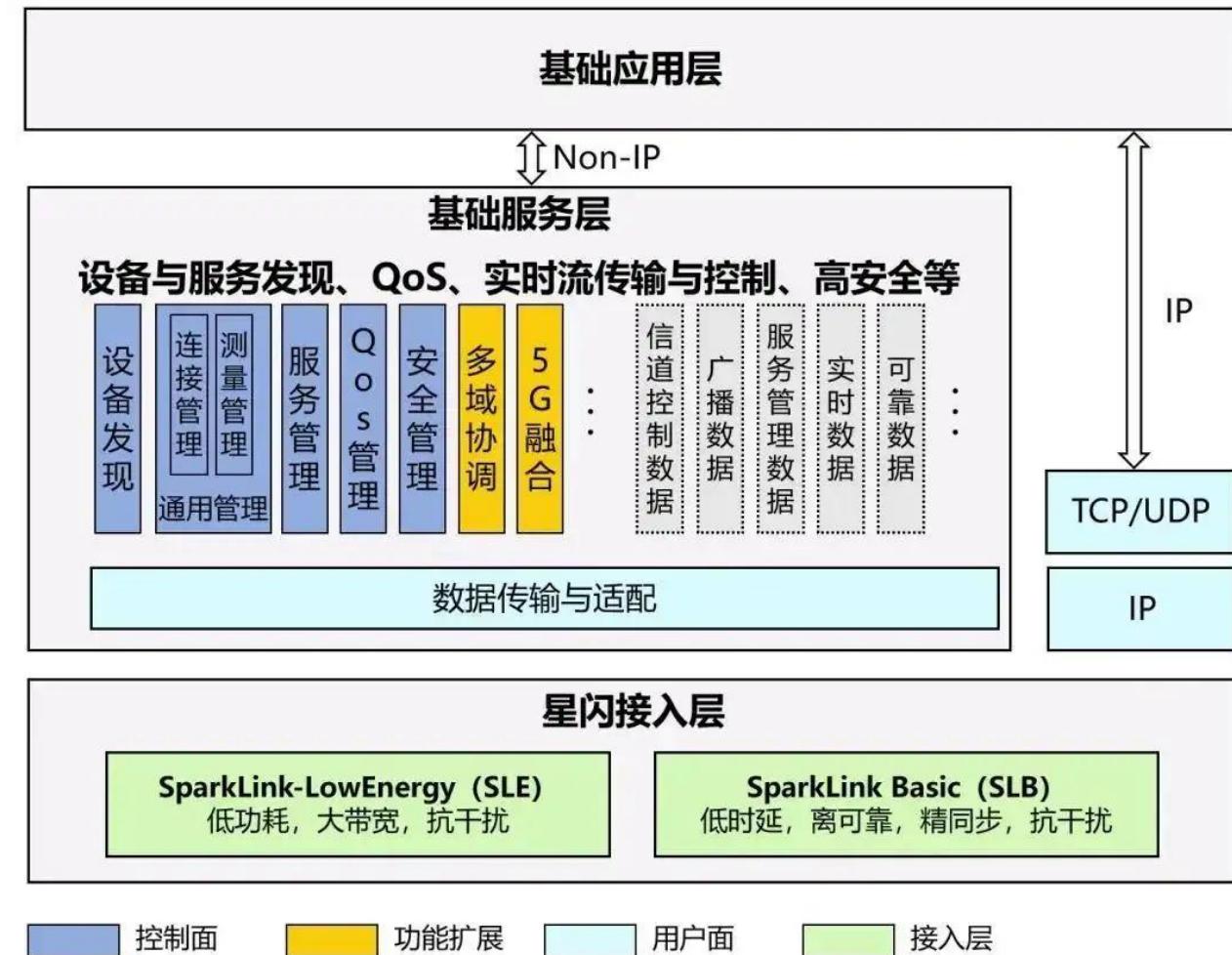
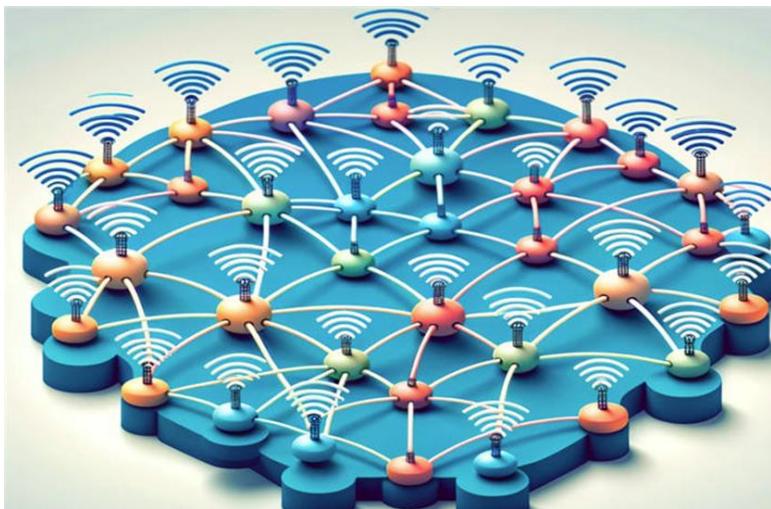


# 星闪技术

星闪技术（SparkLink）是由中国主导研发的一种短距离无线通信技术，专注于满足智能家居、可穿戴设备、工业物联网、车联网等场景中低功耗、低延迟和高安全性的连接需求。星闪技术的设计目标是补充现有的Wi-Fi、蓝牙等无线技术，以满足物联网生态系统中多种设备高效互联的需求。

## 主要特点：

- 高效低功耗
- 低时延
- 高安全性
- 兼容性与拓展性
- 高可靠性



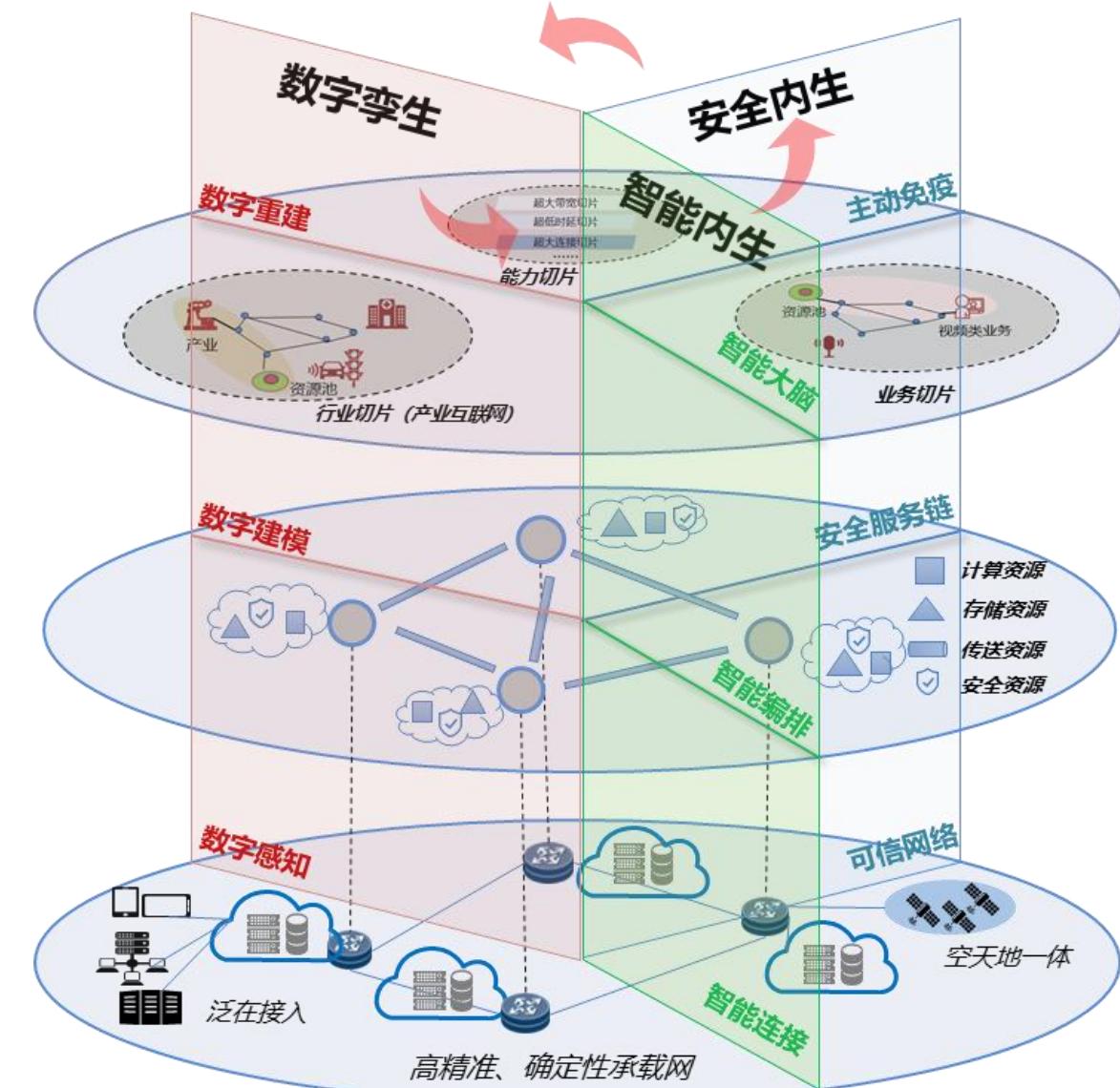


# 网络融合

网络融合是指将不同类型的通信网络（如电信网络、数据网络、有线网络、无线网络等）整合在一起，以实现语音、数据、视频等多种服务的统一传输和管理。网络融合打破了传统的单一网络形态，使各种设备和应用能够跨网络无缝连接，满足多元化的业务需求，提高了资源利用率和用户体验。

## 主要类型：

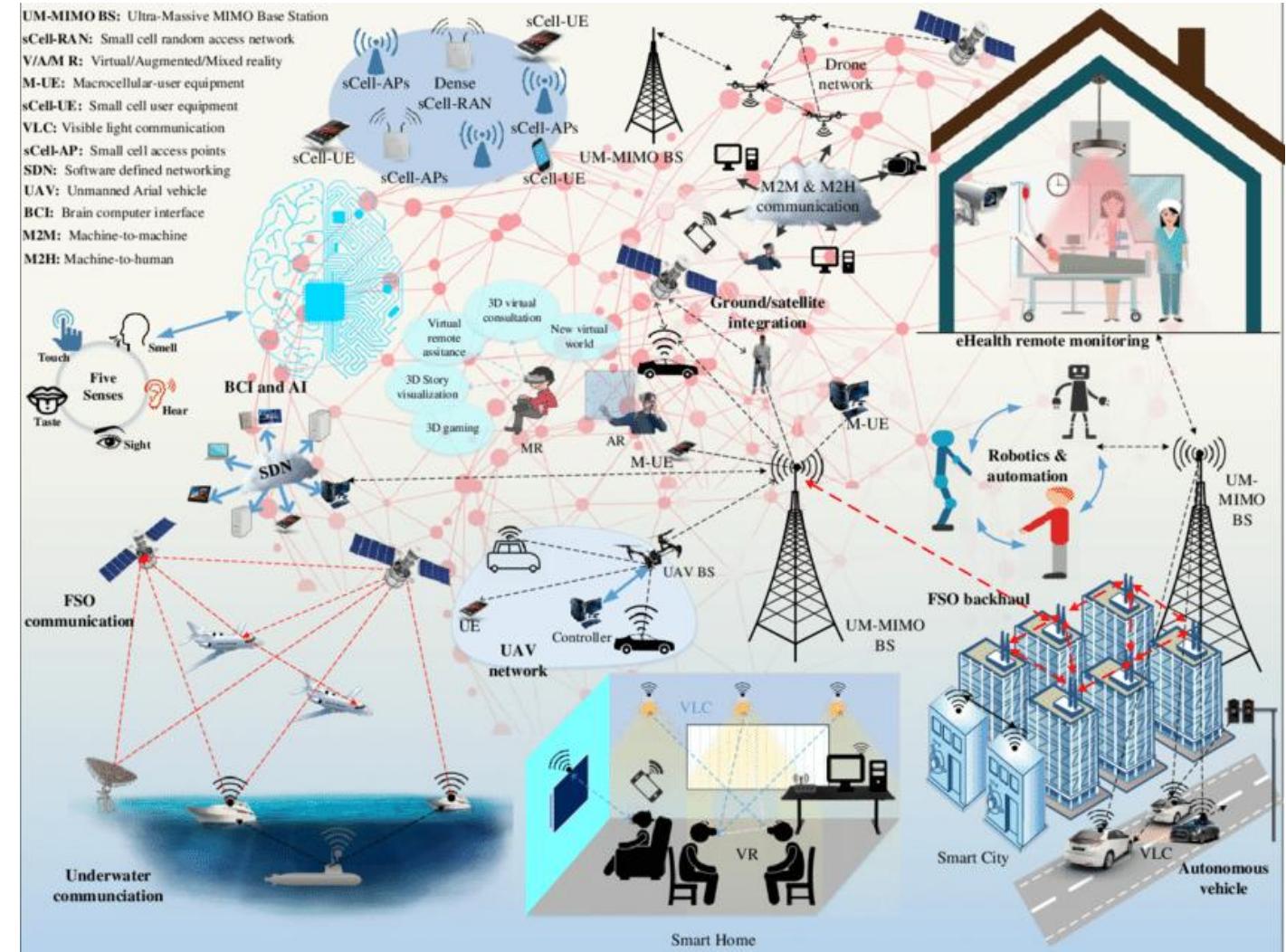
- 业务融合
- 终端融合
- 接入融合
- 网络层融合





# 网络融合

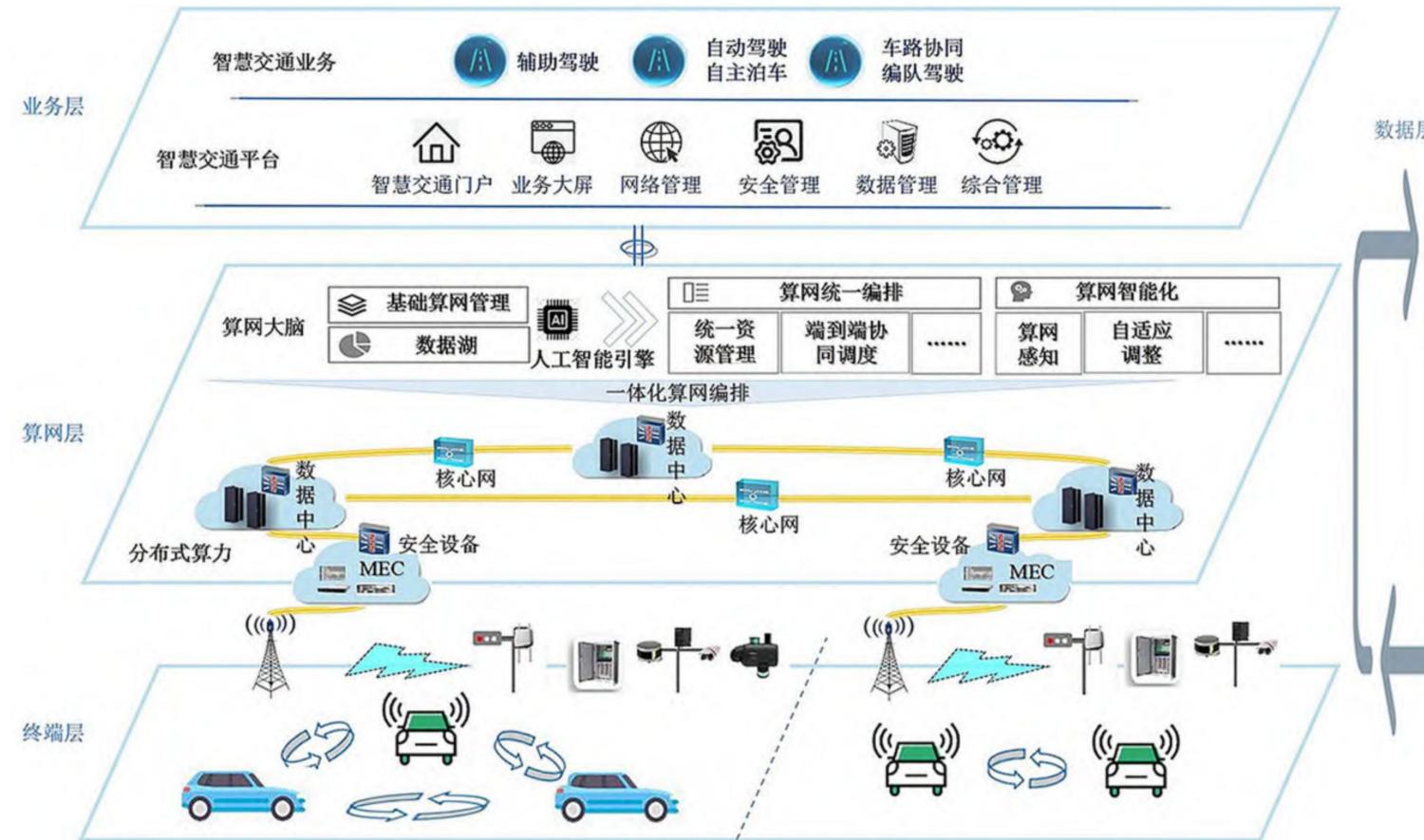
智能家居中的融合网络将5G/6G、Wi-Fi、蓝牙、Zigbee、星闪等多种无线通信技术整合在一个系统中，充分发挥各类网络的优势，为智能家居设备提供无缝、稳定的连接。这种融合网络在智能家居中的应用大幅提升了设备的互通性、可靠性、效率和响应速度。





# 网络融合

智慧交通利用信息通信技术、人工智能、物联网、5G/6G等先进技术优化交通管理，提高交通效率和安全性，减少拥堵和碳排放。它是网络融合应用的典型案例，交通系统将逐渐成为一个智能、动态、自适应的生态系统，从而改善通行效率、保障出行安全，推动绿色交通的发展。





# 网络融合

网络融合是推动信息通信技术发展的重要方向，随着5G、6G和云计算等技术的成熟，将在智慧城市、工业互联网、智能家居等领域广泛应用，实现更高效、更灵活的网络服务，为未来智能社会的构建奠定坚实的基础。

- **全光网络与5G/6G的深度融合：**随着5G、6G的普及，光纤通信与无线通信的结合将实现更高速、更稳定的传输，为各类设备的无缝连接提供支撑。
- **多接入边缘计算和分布式云计算：**边缘计算与分布式云计算将在融合网络中发挥更大作用，提供低延迟、高带宽的服务，满足智能家居、工业互联网等需求。
- **人工智能驱动的网络管理：**利用AI技术进行网络数据分析、资源优化、故障预测等，实现更智能的网络管理，提高运维效率和网络可靠性。
- **网络切片与差异化服务：**网络切片将继续发展，支持更精准的业务隔离和差异化服务，实现个性化、定制化的服务体验。



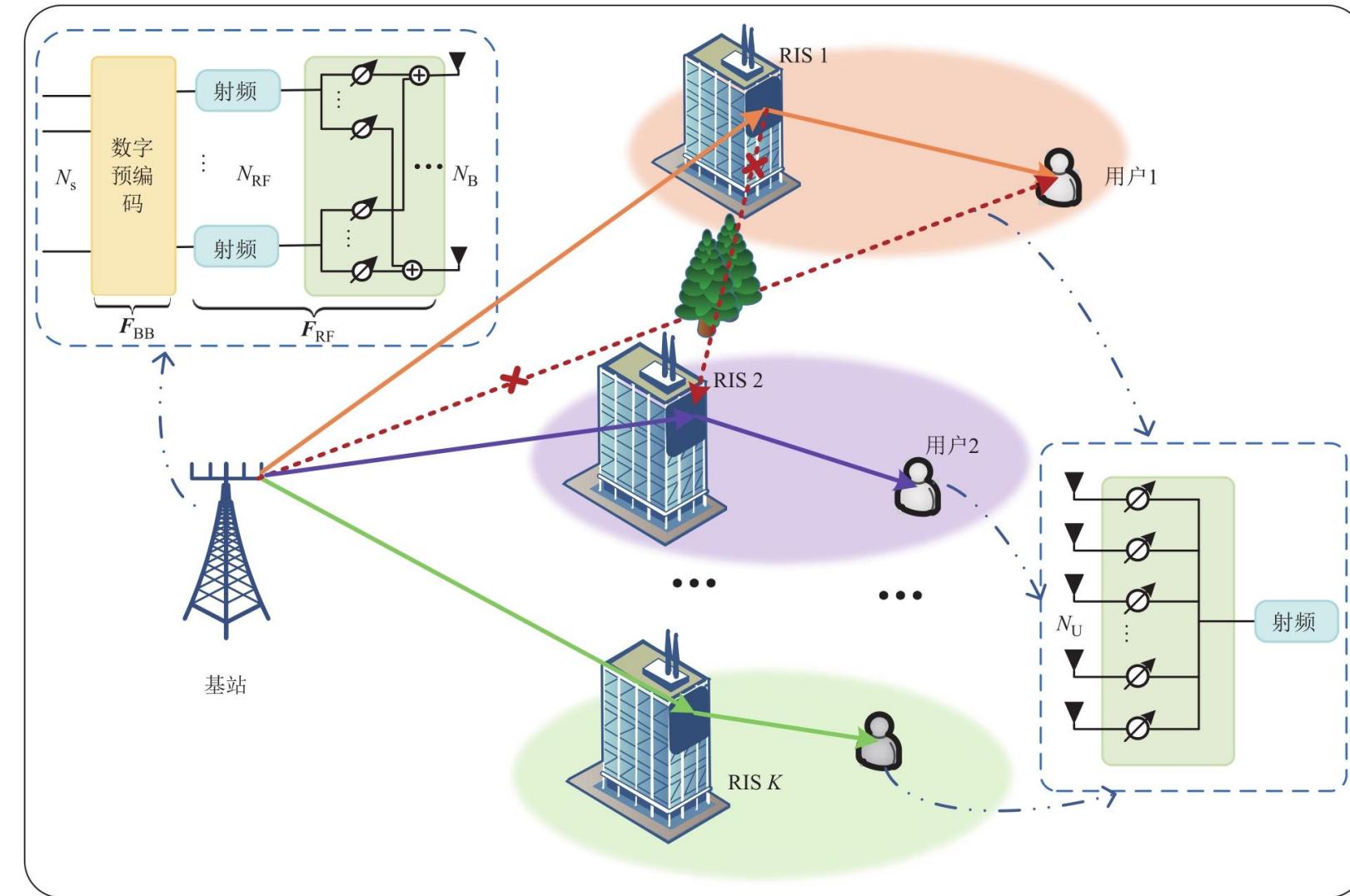


# AI+信道估计

该方法利用人工智能技术（特别是机器学习和深度学习）来提升无线通信系统中信道估计的准确性、效率和适应性。信道估计的目的是在发射端和接收端之间准确地预测无线信道的状态，从而进行信号解码和干扰消除，是无线通信系统性能的关键因素。

## 主要优势：

- 学习复杂信道环境
- 实时自适应估计
- 高精度估计
- 低延迟和计算资源优化

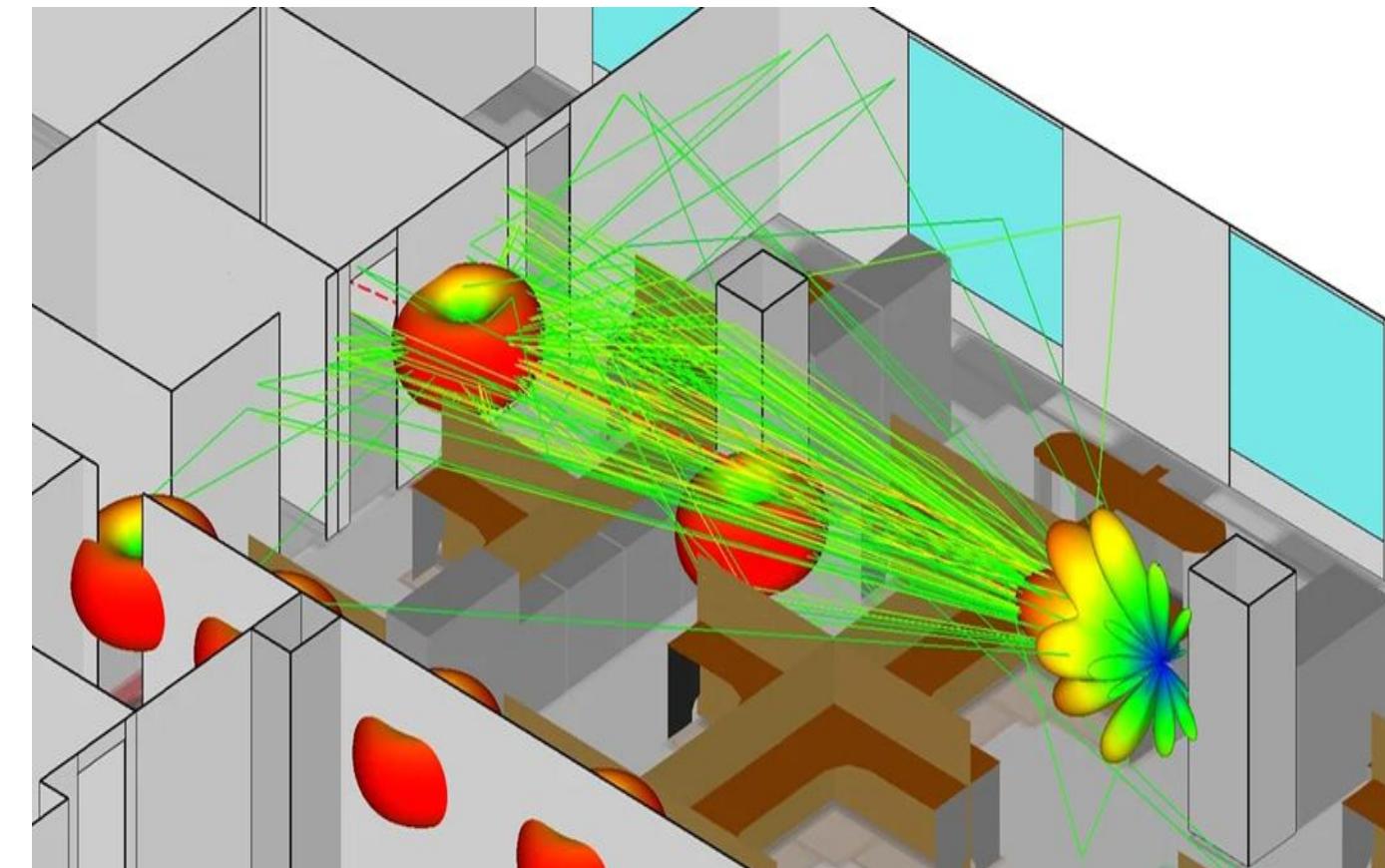




# AI+信道建模

AI+信道估计的结合在提升无线通信系统的适应性、精度和效率方面展现出巨大潜力，特别是在复杂、动态的通信场景中，其应用将进一步推动无线通信的智能化和高效发展。

- 跨模态信道信息融合：AI可以整合不同模态的数据（如位置、运动信息、环境信息）进行信道估计，提升估计精度和泛化能力。
- 轻量化模型：针对嵌入式和边缘设备，未来的AI信道估计将发展出低功耗、低延迟的轻量化模型，以适应资源有限的应用场景。
- 端到端优化：将AI与信道编码、解码等通信过程中的其他步骤相结合，形成端到端的优化框架，进一步提升信道估计的效果。
- 与量子计算结合随着量子计算的发展，量子计算的并行处理能力可能在未来进一步提升信道估计的速度和精度。





# AI与通信融合

1. 网络智能化：在5G阶段，AI被应用于核心网的NWDAF（Network Data Analytics Function）和运维层的MDAF（Management Data Analytics Function），用于网络性能监控、网络安全分析和客户体验优化。
2. 网络自治：AI可以用于流量分析、故障预测、信道质量估计、多频协同等，提升网络性能和运维效率。
3. 意图通信：基于AI-Agent的后香农通信框架采用意图通信的方式，通过AI-Agent对场景进行初级预处理分析，提取相关对象进行嵌入计算，实现端-管-云协同的高效机器与机器通信。
4. 终端芯片优化：在6G阶段，AI被用于降低终端芯片的复杂性，通过计算代替调制和编码及射频前端处理，探讨降低芯片复杂度的可能性。



# AI与通信融合

1. 降低运营成本：AI能够优化网络资源分配，降低能耗，提升网络效能。
2. 提升网络性能：AI能够实时分析网络数据，预测故障，优化信道质量，提升用户体验。
3. 增强系统可支持的通信用户数量：通过AI优化传输机制，可以量级性提升系统可支持的通信用户数量。
4. 实现网络自治：AI能够支撑网络运维自动化，在出现性能问题或安全威胁时自动生成告警，提高网络自治能力。



# 数据和隐私保护

随着数据隐私需求的不断提升，技术和法律的迅速发展将进一步推动数据隐私保护的未来。未来，数据隐私发展将涉及技术创新、法规强化、用户掌控增强和跨领域合作等多个方面。

- 零信任架构与增强的访问控制：未来的数据隐私保护中，零信任架构将成为关键。访问权限将更细化，对数据访问的控制将基于实时情况动态调整，不同用户和设备将被限制访问特定数据类型或信息部分。
- 加密技术的革新与隐私计算：同态加密、差分隐私和多方安全计算等将大幅度提升数据的安全性。
- 技术与隐私的平衡：在隐私保护和技术创新之间找到平衡点，既要保护用户隐私，也要保证技术的顺利实施和用户体验。
- 多方数据协作中的隐私保障：在需要多方协作的场景中，如医疗研究、金融服务等，如何在保护隐私的同时让数据价值充分发挥，将成为一大挑战。





# 物联网安全解决途径

## 新兴信息安全技术

5G时代物联网的飞速发展带来了信息安全的挑战，但也带来了机遇。一些新兴的信息安全技术和框架可能是解决物联网安全的有力途径：

1. 零信任网络
2. 区块链技术
3. 隐私计算技术

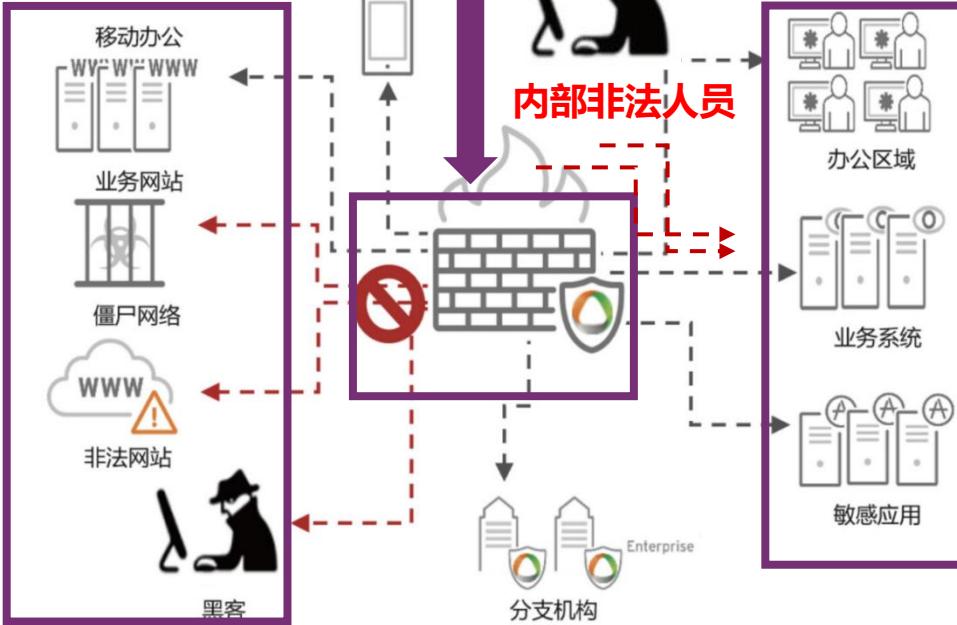




# 物联网安全解决途径---零信任网络

网络边界：防火墙、WAF、IPS等

域外威胁



基于边界的网络安全架构

传统网络安全架构采用明确的边界来构建“信任域”，  
网络角色一旦在域内得到认可，将不受限的访问资源

传统安全架构特点

资源的终端所有权、配给权和管理权均由集中组织所有

所有网络成员的位置均是固定且可预测的，由网络防火墙提供保护

成员一旦通过认证后即拥有全部资源访问权限

访问主体通过授权后，长时间内的行为将不被监控

- 专注静态边界，抵御外部威胁
- 内部全域信任，资源访问不受限
- 访问规则预授权，无实时行为监控



# 物联网安全解决途径---零信任网络

## 传统安全架构面临的风险

- 网络拥塞及单点攻击，管理成本提升
- 内部成员发动恶意行为或行为突变
- 数据全面可见导致资源泄露与丢失
- 弱身份与访问管理，缺少资源访问的持续评估
- 静态访问控制难以适应网络角色动态变更
- 多样化的高级持续威胁(APT)难以使用防火墙应对



2022年7月网络上出现黑客兜售中国上海公安十亿人数据库。黑客发布的75万条记录的数据样本，内含个人的姓名、身份证号码、电话号码、生日和出生地，以及详细的警情信息

2021年8月14日本最大电信运营商NTT，发生通讯故障，致使全球220个国家和地区持续出现了无法接打电话和网络通信中断。故障的原因可能系出境旅游人数增多、通信量增加、通话时段集中导致线路负荷过重所致

Twitter于2020年7月15日晚间宣布，黑客通过获得Twitter员工凭证的控制权，劫持了多位知名人士的账户。遭遇了该公司历史上最严重的一次安全破坏事件



# 物联网安全解决途径---零信任网络

## 零信任架构设计原则

### 默认一切参与因素不受信

零信任不为任何参与因素预制信任条件，所处位置无法决定信任关系

### 最小权限准则

资源按需分配，仅授予各行为所需的小权限

### 动态访问控制与授权

通过对多元信息进行分析获得授权策略，实时计算授权策略

### 持续安全防护

持续评估安全状况，即时发现安全问题并采取措施

	传统防护	零信任
信任范围	信任网络边界内部	网络边界内外均不信任
授权策略	固定策略	实时调整策略
防护方式	以网络为中心	以身份为中心

## 零信任架构优势

### 面向资源管理而非网络

对任意粒度，任意位置的访问主体对资源的访问都需要进行认证和授权。有效抵御威胁横向移动带来的安全风险

### 资源对外隐身

利用端口隐藏等技术，在访问主体通过验证之前，受访资源对其隐身，大大降低资源的可见性和攻击蔓延面

### 屏蔽安全策略预分配威胁

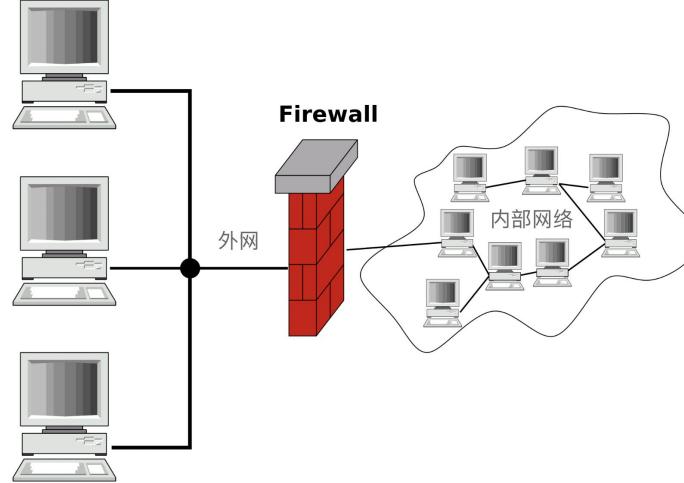
在访问主体身份验证和授权成功后，仅为其提供满足需要的最小粒度的资源。细化安全策略至资源层面

### 以身份为核心的动态防护

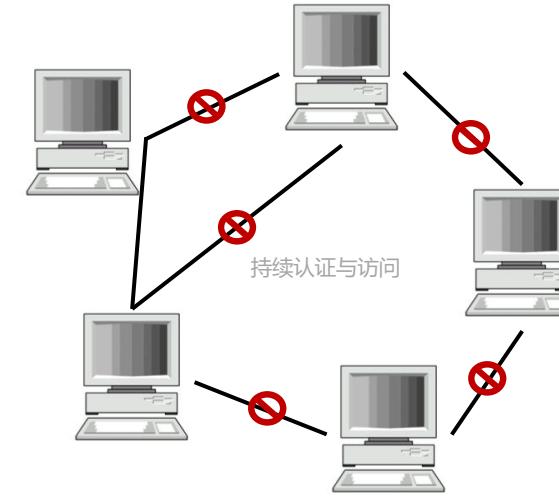
通过身份信息与多源数据对每一个访问行为进行信任评估，动态授予相应权限，缓解凭据盗用、高风险误操作等带来的安全威胁



# 物联网安全解决途径---零信任网络



基于边界的防护策略



端到端的零信任防护策略

## 零信任基本假设

- 始终假设网络充满威胁
- 外部和内部威胁每时每刻都充斥着网络
- 网络位置不足以决定网络的可信程度
- 所有设备、用户和网络流量都应该被认证和授权
- 访问控制策略应该是动态的基于尽量多的数据源进行计算和评估

- 1 将身份作为访问控制的基础
- 2 对所有参与对象的持续安全评估
- 3 访问请求驱动的认证与授权
- 4 遵循最小权限和动态策略的原则



# 深圳信息安全与内容保护技术工程实验室

## 通信、智慧家庭、高效CDN、大数据+AI

- 数字家庭相关标准与核心技术
- 高效互联网CDN原创技术研发与产业化
- 零信任网络关键技术与系统解决方案
- 下一代融合通信网络研发与产业化
- 智能交通道路感知系统研发与产业化
- 视频质量测量与分析系统
- 国家重点研发计划-医疗分级诊疗项目
- 可穿戴+云平台+AI大数据+标准
- 视频用户行为与推荐算法研发与应用
- 互联网电商用户行为分析与推荐算法

## 网络安全、内容保护、防伪溯源

- 数据安全核心算法与实现技术研究
- 新一代密码学算法与标准研究
- 信息安全相关芯片算法与设计
- 数据安全算法与云平台解决方案
- 区块链认证技术与应用研究
- 高效内容加解密算法研究
- 数字水印与内容追踪算法研究与应用技术开发
- 广电总局ChinaDRM标准的组织与制定
- 工信部机卡分离相关标准的组织与制定
- 中国医促会-医疗大数据安全技术与标准制定



# 深圳信息安全与内容保护技术工程实验室

1. 牵头相关标准制定工作
  - (1) 国家工信部数字电视机卡分离UTI标准工作，负责的两项标准已经由工信部颁布实施；
  - (2) 国家广电总局数字内容保护ChinaDRM标准工作，负责的标准已经由广电总局颁布实施；
  - (3) 中国医促会标准委员会，负责组织起草的12项标准已经正式颁布实施。
2. 密码技术核心算法研究
  - (1) 高效高安全数据加密算法
  - (2) 新一代物联网认证与访问控制体制
  - (3) 零信任网络核心算法研究
  - (4) 区块链分级共识与高效同步机制
  - (5) 零知识证明与隐私计算技术
  - (6) 数据溯源与数字水印技术
3. 信息安全与内容保护技术产品与应用研发
  - (1) 高级安全芯片研发与产业化，在国内外电信与广电终端市场2000万用户的大规模应用；
  - (2) 内容保护软件解决方案、TEE终端数据安全解决方案、APP软件安全解决方案；
  - (3) 基于区块链+隐私计算的云安全与海量数据保护与追踪解决方案；
4. 获得的相关认证
  - (1) 美国Medan最高安全等级认证； (2) 欧洲Riscure高安全等级认证； (3) 国密认证； (4) 广电总局认证。



# 物联网未来发展

## 智能家居

未来，智能家居将持续向互联互通性、数据隐私、绿色环保、健康管理等方向发展，依托AI、边缘计算、区块链、AR/VR等前沿技术，实现更智能、更安全、更加个性化的生活环境。通过技术创新与用户需求的深度结合，物联网智能家居将推动现代家庭生活的全新变革，打造更加健康、安全、便捷、可持续的智能家居体验。





# 物联网未来发展

## 智慧城市

全球各大城市都已悄悄地进行智能城市的部署，虽然现阶段的安全性仍然是需要攻克的问题，但仍是一具有前景的项目。

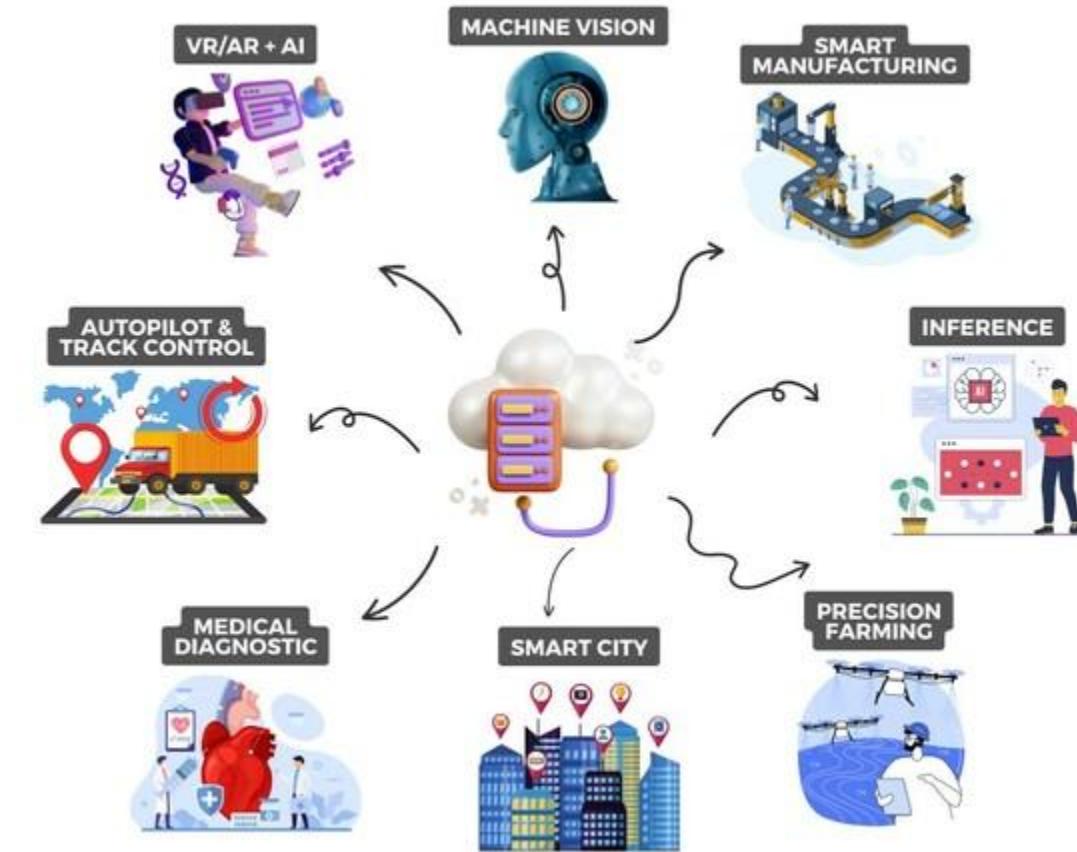




# 边缘计算的进一步应用

边缘计算在智能设备和物联网应用中越来越重要，尤其在需要低延迟、高带宽和数据隐私的场景中。

- **轻量级边缘AI**: 边缘计算与AI的结合，将会带动更多轻量级AI模型的发展，这些模型能够在功耗受限的边缘设备中实现复杂计算。
- **6G和边缘计算的深度融合**: 随着6G网络的普及，边缘计算将获得更大带宽、更低延迟的支持，进一步满足车联网、远程医疗等高实时性需求。
- **无服务器（Serverless）边缘计算**: 无服务器架构将在边缘计算中得到应用，使得边缘应用可以自动扩展和优化资源管理，降低运维复杂性。
- **边缘-云协同计算**: 未来边缘和云的协同计算会更加紧密，边缘主要承担实时任务，而云端负责全局分析和优化，形成更智能高效的计算模式。

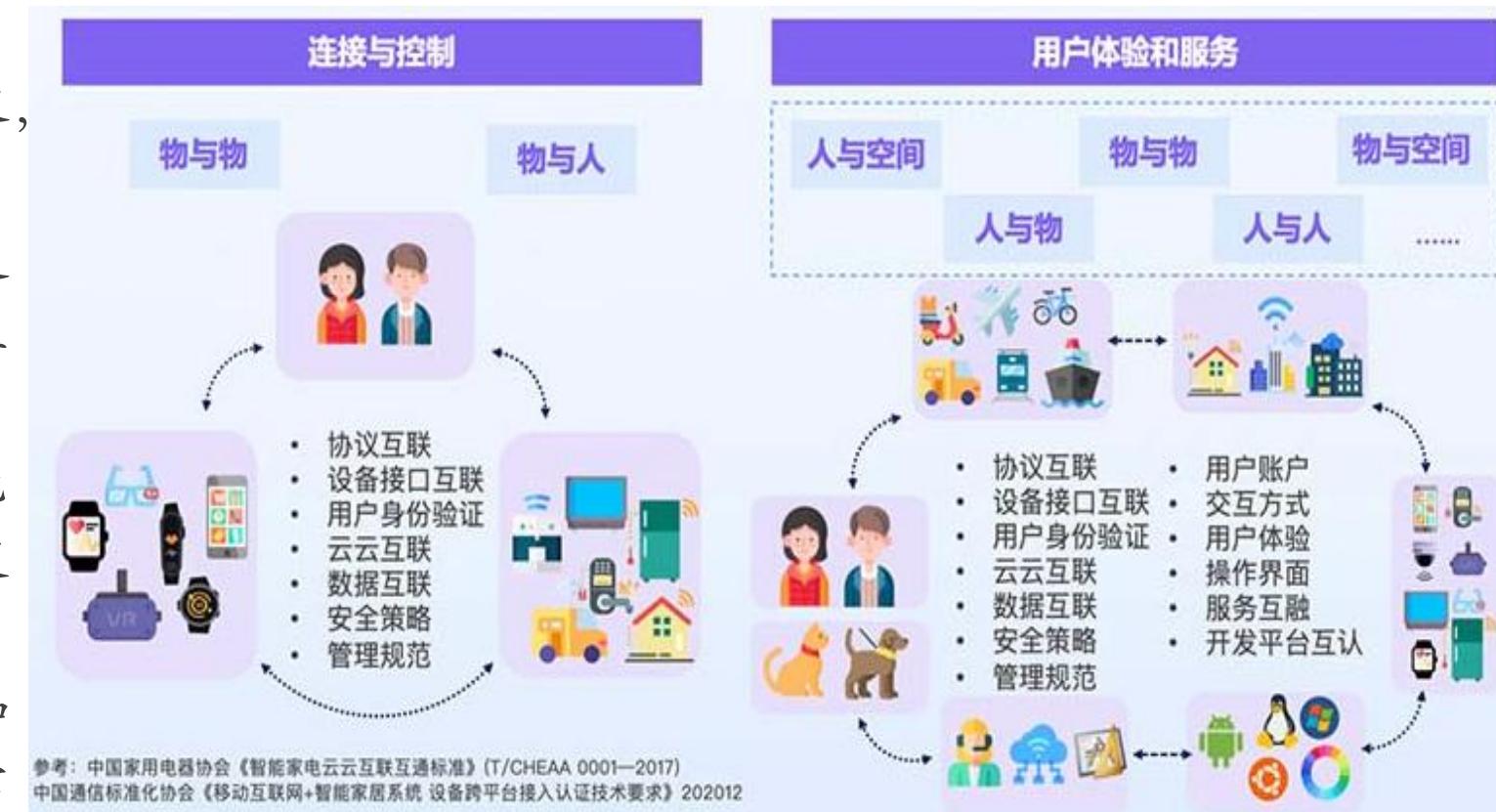




# 设备与用户互动的新模式

设备与用户互动的新模式正在快速发展，得益于物联网（IoT）、人工智能（AI）、增强现实（AR）、语音识别等技术的进步。它们使设备能更主动、智能地回应用户需求，还提升了体验的个性化和自然度。

- **多模态融合交互：**未来设备可能同时支持语音、手势、眼动、触觉等多种交互方式，形成全方位的互动体验。
- **设备主动学习与自适应交互：**设备将能够主动学习用户习惯，不断自我优化交互方式，实现个性化的自动调整。
- **智能场景与主动服务：**通过AI对场景和上下文的分析，设备将能够预测用户需求，在恰当的时间提供恰当的服务，而无需用户手动操作。





# 绿色节能技术的应用

绿色节能技术在智能家居、工业、交通、建筑和电力等各领域的应用日益广泛，助力减少能源消耗、降低碳排放、保护环境。

- 多能互补与分布式能源：通过太阳能、风能等多种可再生能源互补系统，将发电和存储分布在用户端和电网端，优化电力资源的利用。
- 绿色金融与政策支持：通过碳税、绿色补贴等政策和金融支持，推动企业和家庭投资绿色节能技术，进一步推广和普及绿色技术。
- 碳捕捉与负碳排放技术：采用碳捕集、利用与封存（CCUS）技术，减少工业、能源行业中的二氧化碳排放。
- 智能化与边缘计算驱动的本地节能：边缘计算与智能化将结合更多实时数据，实现用电设备的本地节能优化。





清华大学  
Tsinghua University

谢谢！