

5G移动通信系统与技术

课程目标

- 了解5G标准进展
- 了解5G核心指标
- 了解5G关键无线技术
- 了解5G网络结构和网络技术
- 了解5G特色业务应用

参考书目

- 《5G愿景白皮书》
- 《5G概念白皮书》
- 《5G网络技术架构》

1. 5G系统标准发展概述

2. 5G系统核心能力指标

3. 5G系统关键无线技术

4. 5G系统新型网络架构

5. 5G系统重要网络技术

6. 5G系统特色业务应用

课程介绍

- 1、移动通信技术演进规律
- 2、4G/4.5G/5G标准主要技术特征
- 3、移动通信技术愿景和路标

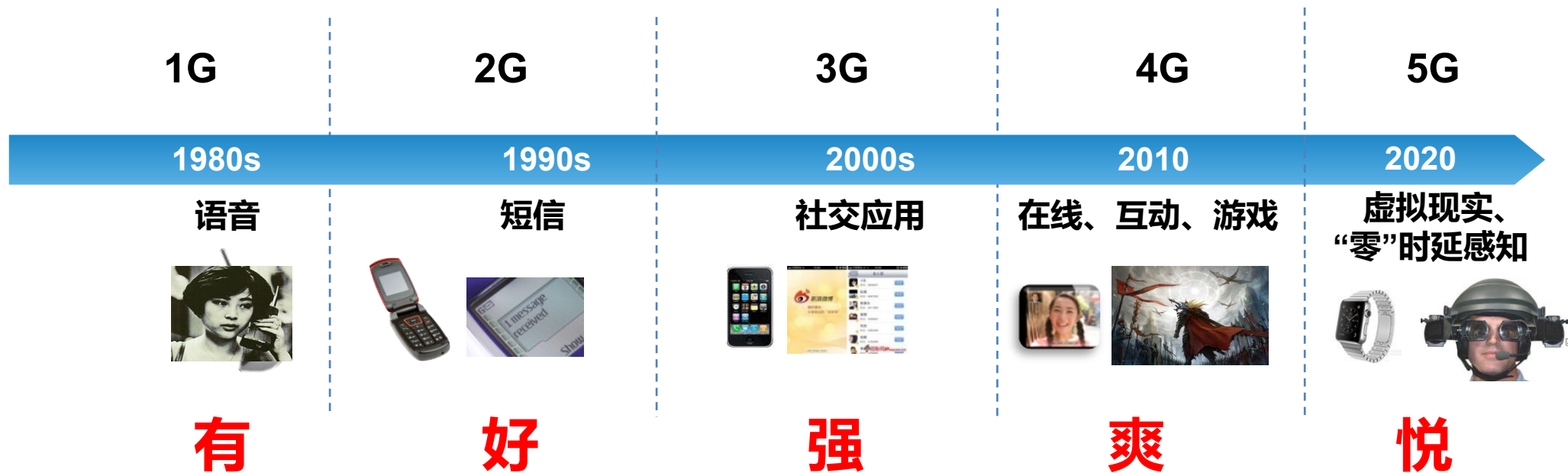


需求推动移动通信技术持续演进

●移动通信技术具有代际演进的规律

--全球移动通信经过1G、2G和3G三个发展阶段，正从3G向4G演进

--当前各国正在积极推进5G技术研究



●移动互联网和物联网为5G发展提供广阔发展空间

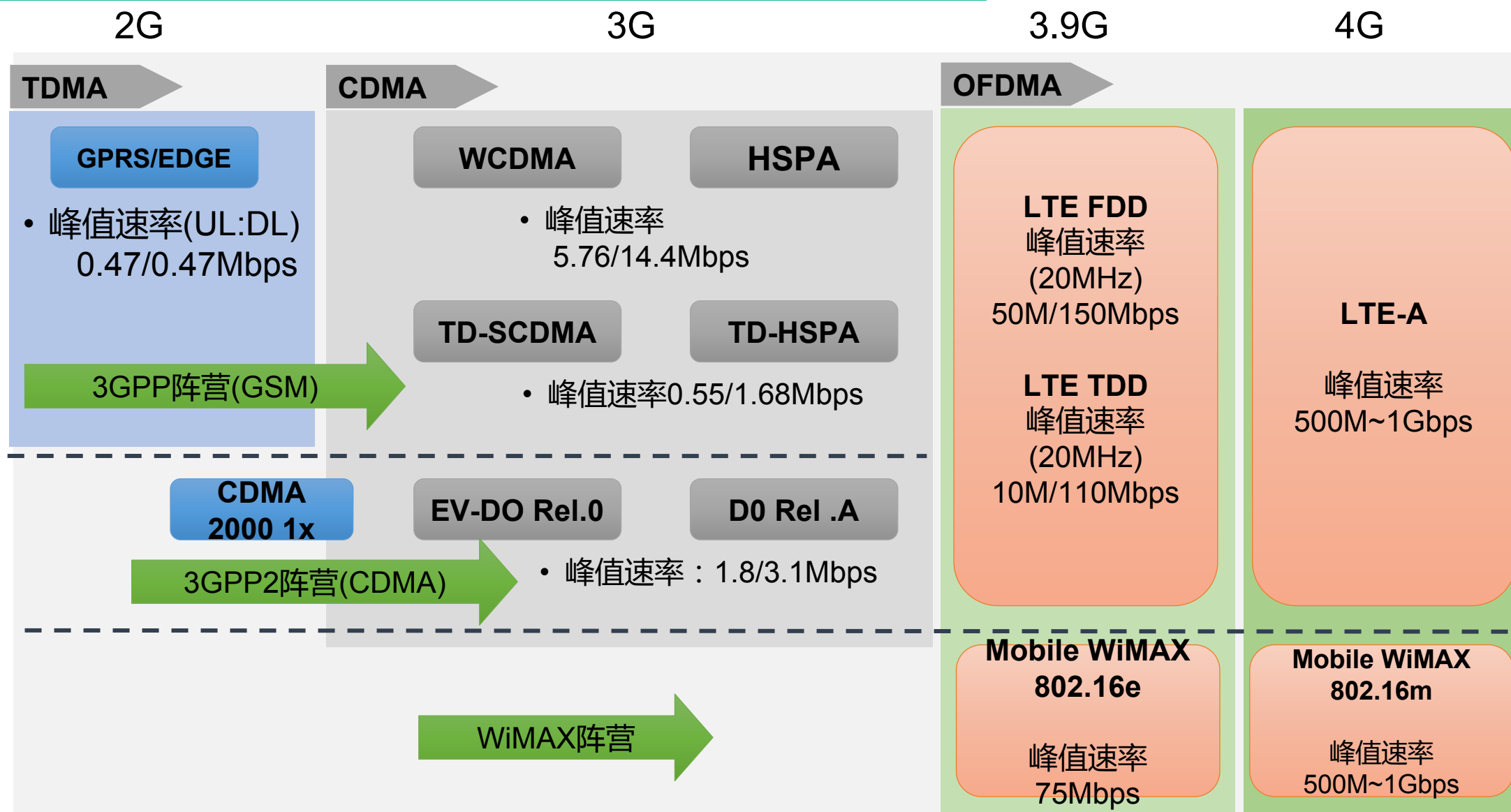
--预计2010年到2020年全球移动数据流量增长将超过200倍，我国将增长300倍以上

--预计到2020年全球移动终端数量将超过100亿，其中我国将超过20亿

-- 预计到2020年全球物联网设备连接数为500亿，其中我国将超过100亿



移动通信技术演进完成时：4G

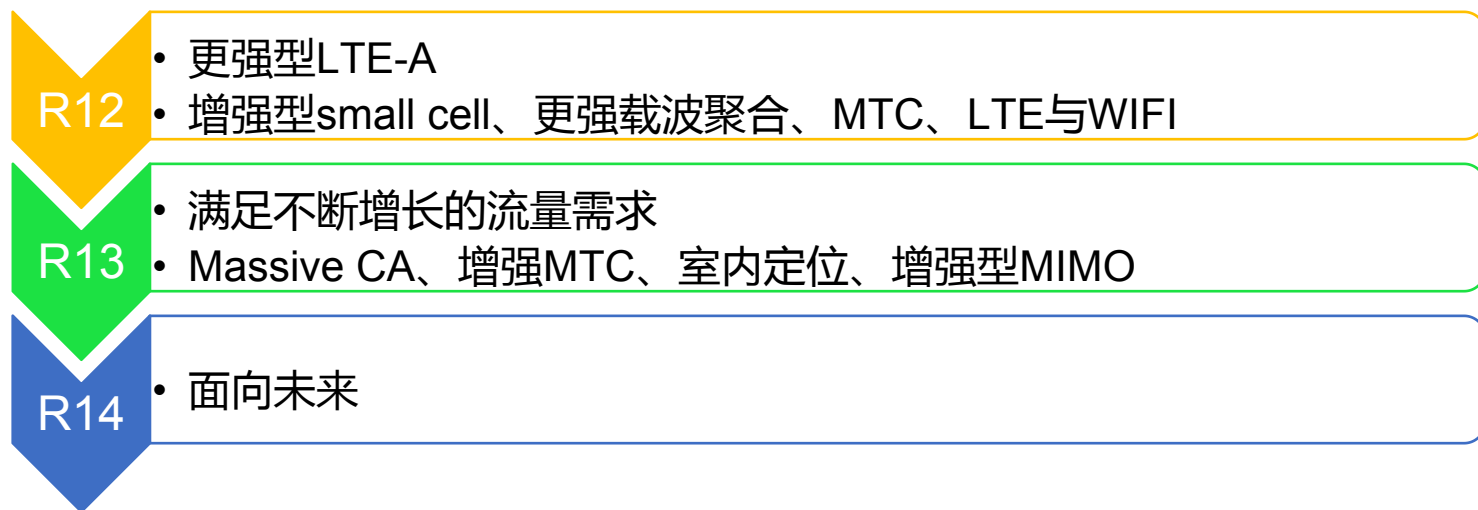
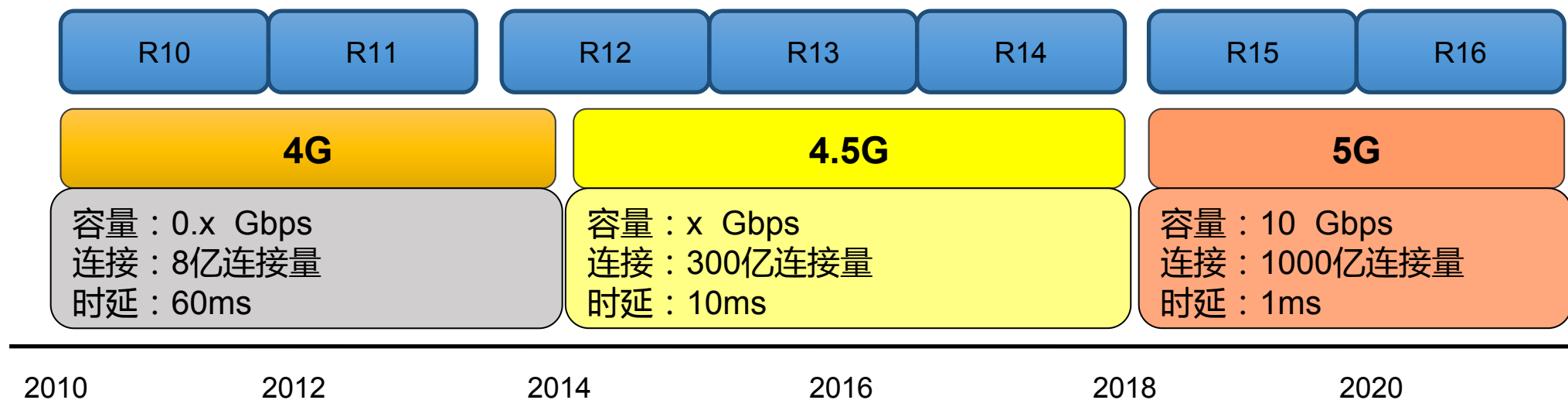




概念抢占 Pre5G/4.5G/TDD+

移动宽带

移动互联网

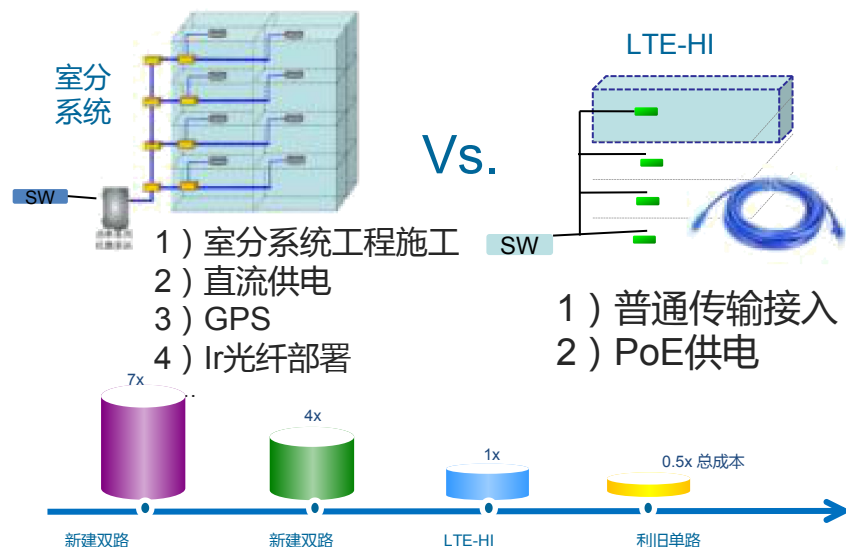




移动通信技术演进进行时：4.5G

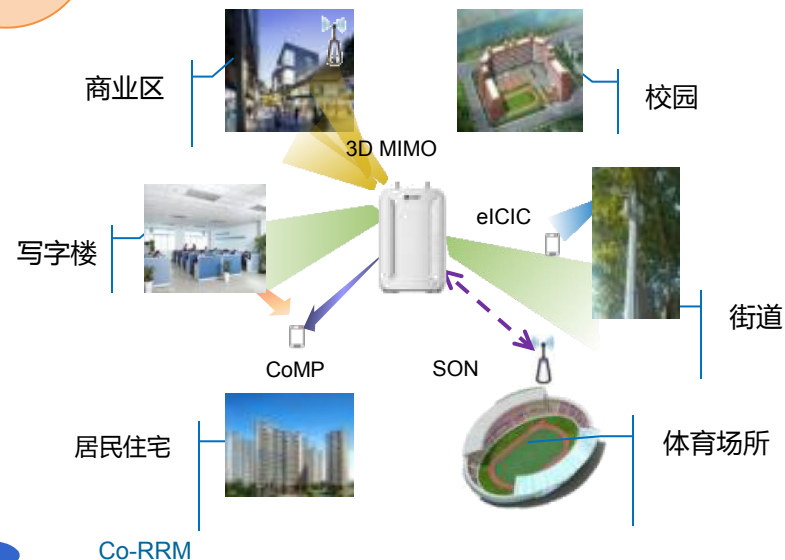
1

4.5G低成本，安装简单，一条网线解决



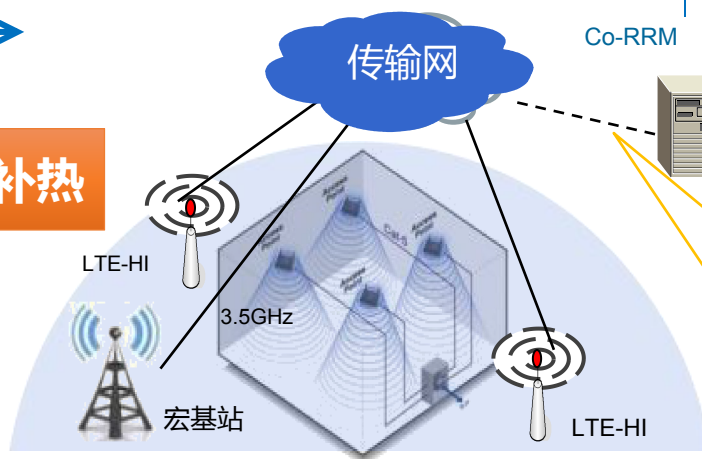
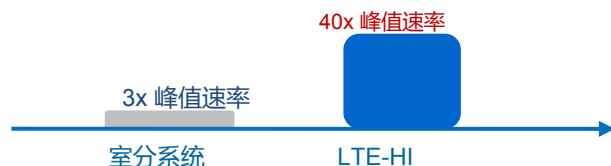
2

4.5G 适合于室内和热点的多场景覆盖



3

4.5G 大带宽，可实现高容量进行补热

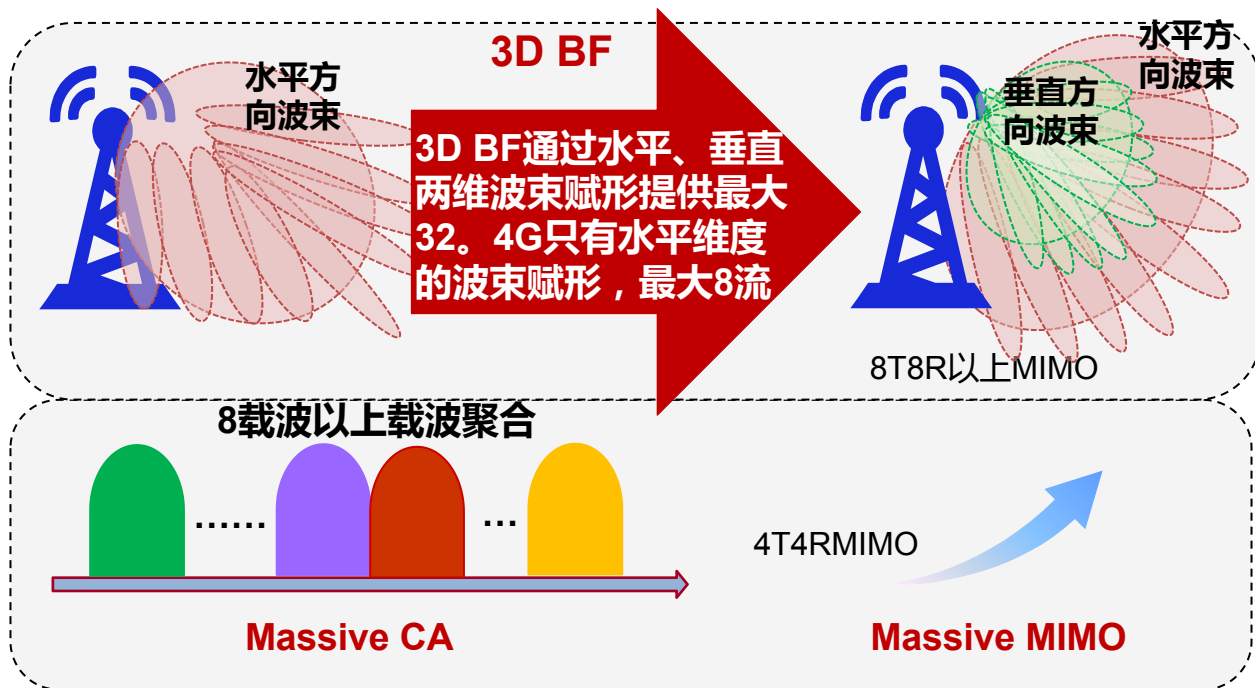


4.5G通过新增Co-RRM网元，协调和平衡无线资源，实现大规模密集组网增大容量



4.5G主要无线技术特征

■多天线技术：Massive MIMO (3D BF、8T8R以上MIMO)、Massive CA (8载波以上)

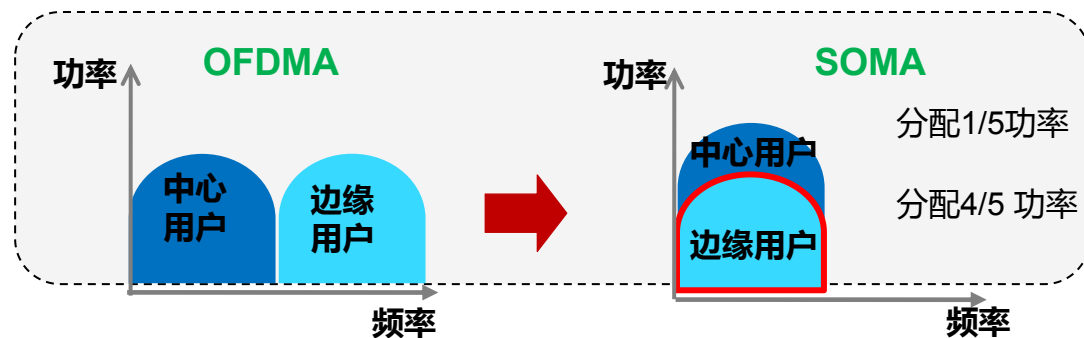


■物联网技术：LTE-M

- LTE-M是为**满足运营商开拓物联网**需要提出新的一种蜂窝网络技术，**采用窄带技术**（带宽从4G的180kHz降低到下行15kHz、上行5kHz）**相对4G覆盖提升200倍**（功率谱密度提升36倍，最大64个TTI Bundling提升5.5倍），**单小区支持1~10万连接数**（LTE-M的RB数提高36倍）。

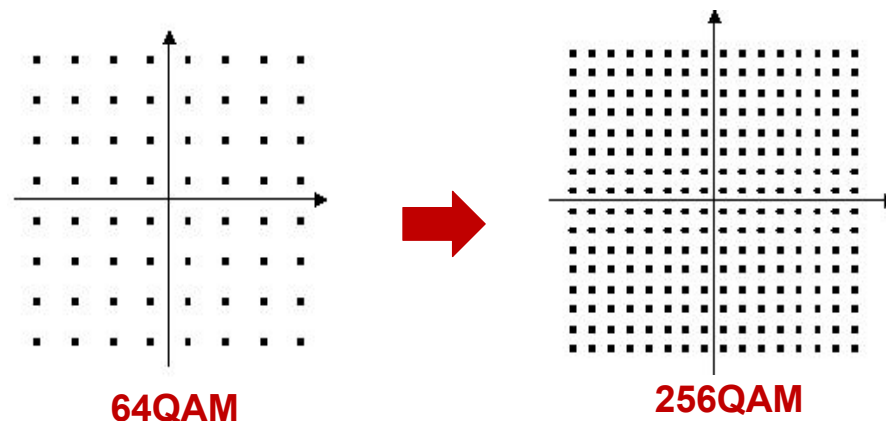
■接入技术：SOMA (半正交频分多址)

- 将小区中心用户和边缘用户分配在同一个时频资源块上，**通过功率资源（两用户功率相差较大场景）对两用户进行区分**，从而提高资源利用率，获得更高吞吐量。



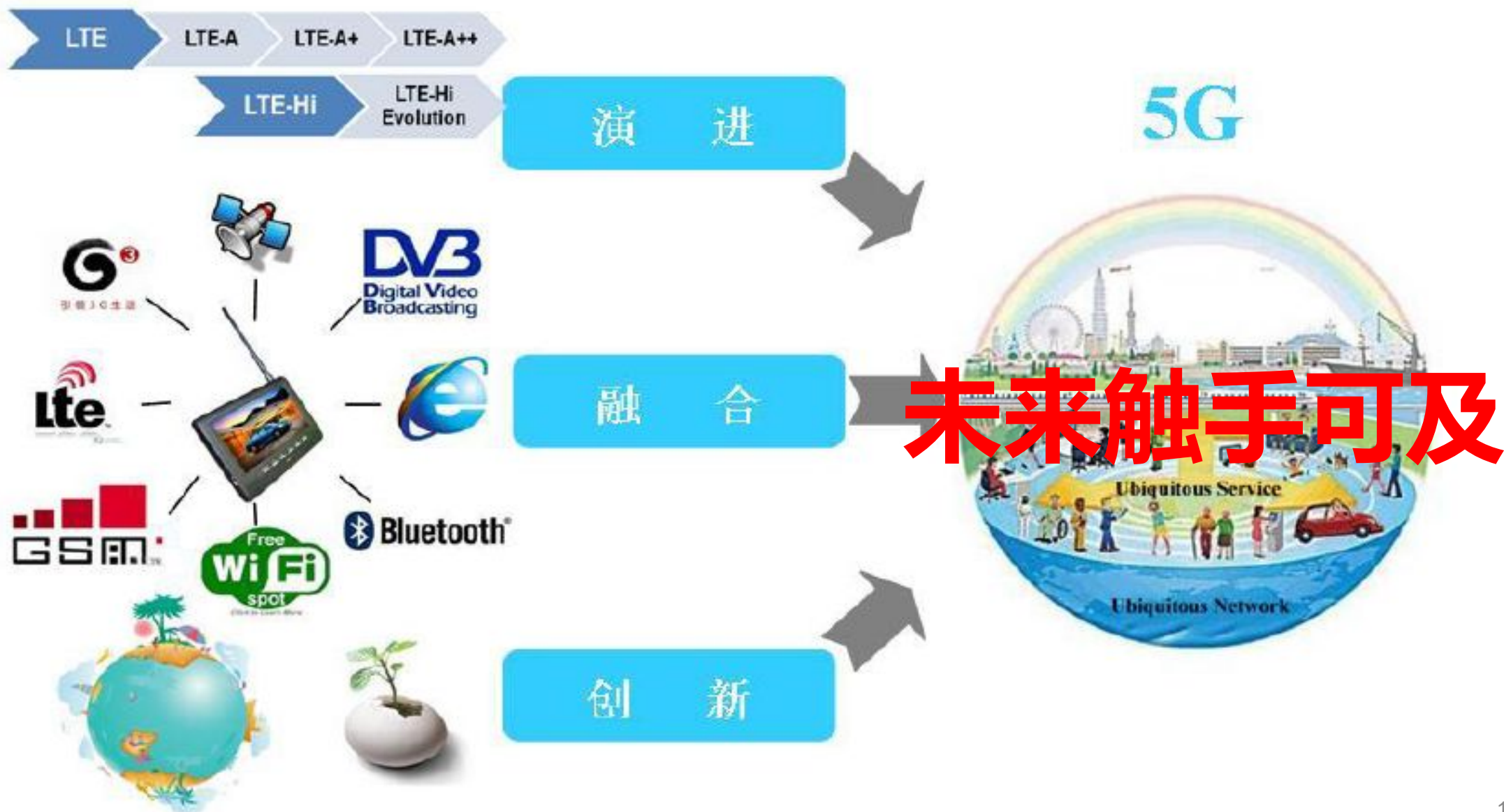
■调制技术：256QAM (256阶正交振幅调制)

- 相对4G的64QAM承载6bit，采用**256QAM可承载8bit**，同样的时频资源块上能容纳更多数据，提升了空口吞吐量。





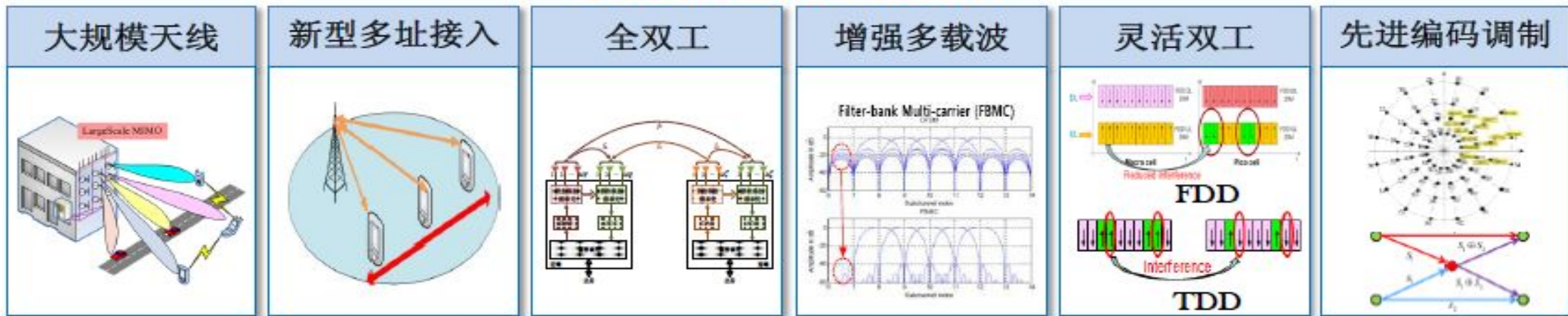
移动通信技术演进将来时：5G



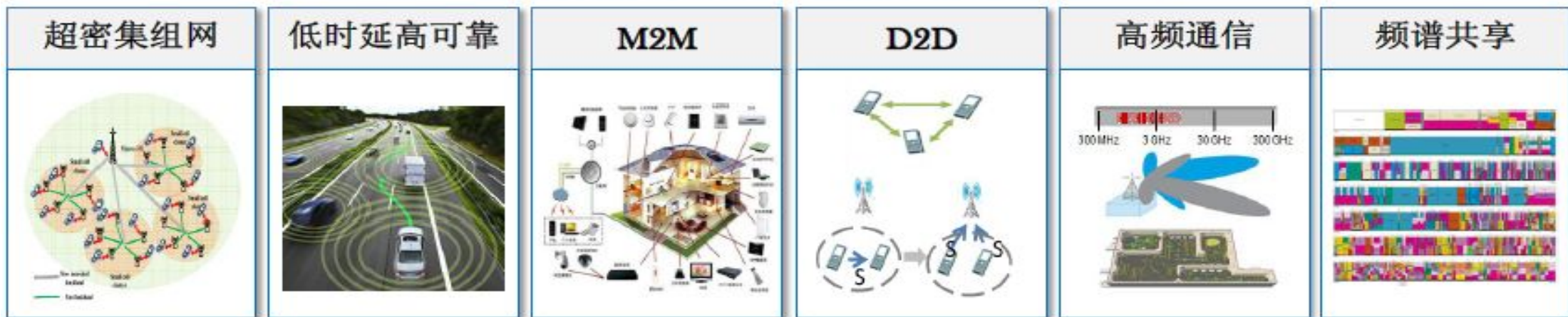


5G主要无线技术特征

无线传输驱动技术



典型场景的技术解决方案





移动通信技术演进：愿景

定义

4.5G是4G的全方位平滑演进，可以在现有4G上通过软件升级或增加一定硬件来实现，4.5G定位于未来五年出现的新终端、新业务、新体验，是5G的先行者。

■**4.5G定义**（4.5G标准R12将于今年底冻结）：4.5G是4G演进，可提供XGbps大容量、10ms低时延和>300亿连接数

- 基于SOMA、256QAM、Massive MIMO等关键技术提供**xGbps**大容量；
- 基于Cloud EPC及Shorter TTI特性缩短时延到**10ms**；
- 通过LTE-M提供小带宽满足物联网**300亿+**接入用户数

5G不仅仅是一次技术升级，它将为我们搭建一个广阔的技术平台，催生无数新应用、新产业。5G将成为全联接世界和未来信息社会的重要基础设施和关键使能者。

■**5G定义**（标准处于研究阶段）：5G通过系列关键新技术可提供10Gbps超大容量、端到端1ms超低时延、1000亿海量连接

- 革命性技术：全双工技术、Massive MIMO多天线(>128*128)、高阶频段（30G-100GHz）提供高达10Gbps容量；
- 采用0.1ms TTI将时延降低到1ms，可变带宽子载波支持连接数1000亿以上，应对未来10年ICT行业巨大变化，实现万物互联。

人与人互联

•高清视频、简单物联网、车联网



物联网

•4k超高清视频、物联网、车联网



万物互联

•全息视频、虚拟现实、自动驾驶、物联网、车联网、智能家居、穿戴式设备



应用场景

2020-3-25

4G

4.5G

5G

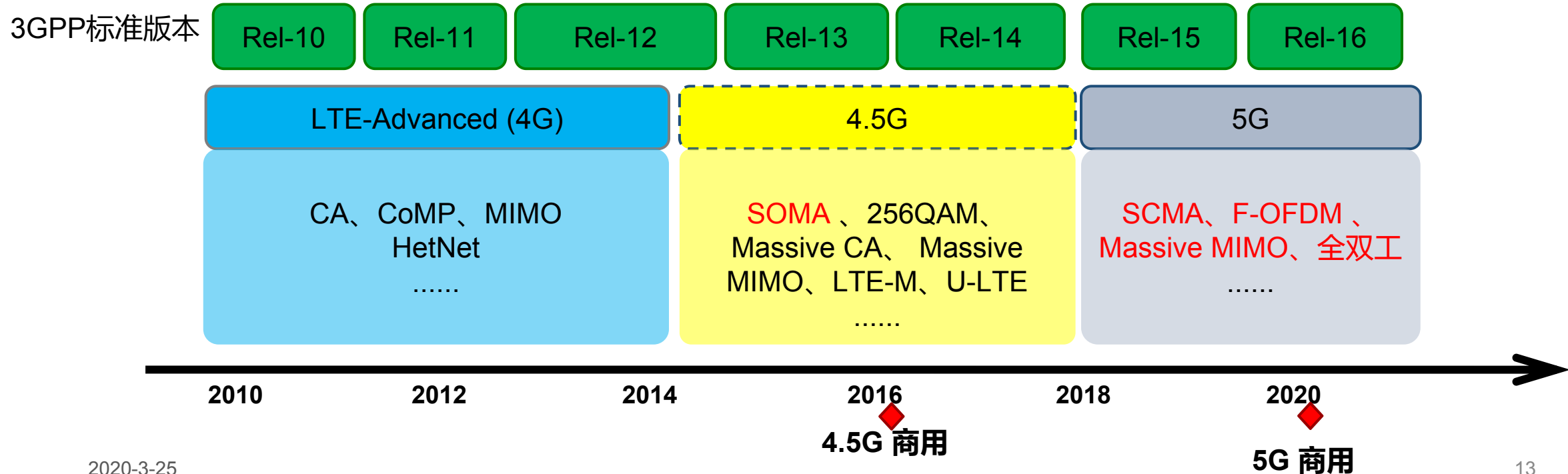


移动通信技术演进：路标

■4.5G、5G的设计目标：提供更高容量、更多连接、更短时延。

	4G	4.5G	5G
容量	xMbps	xGbps	10Gbps
连接	8亿连接	300亿连接	1000亿连接
时延	60ms	10ms	1ms

■当前4.5G标准R12将于今年底冻结，R13标准正在制定；5G标准正处于研究阶段。





5G的主要驱动力





5G的技术发展路线

5G移动宽带系统将成为面向2020年以后人类信息社会需求的无线移动通信系统。

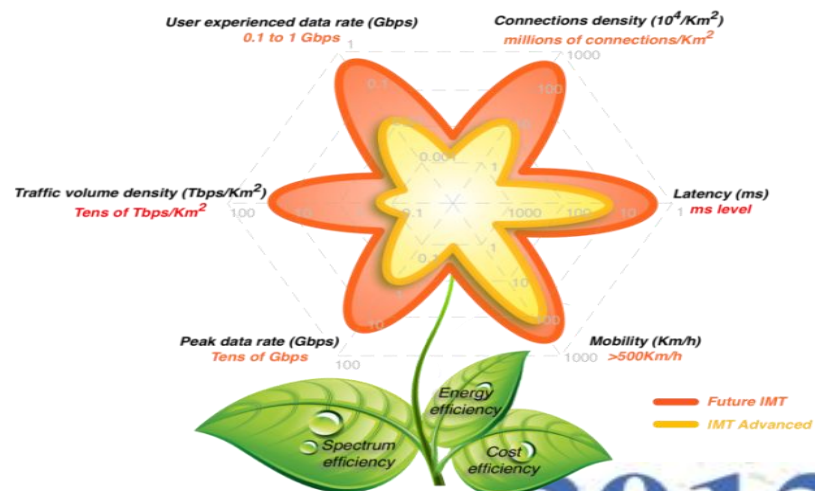
5G不再仅仅是更高速率、更大带宽、更强能力的空中接口技术，而是面向业务应用和用户体验的智能网络。它是一个多业务多技术融合的网络，通过技术的演进和创新，满足未来包含广泛数据和连接的各种业务的快速发展需要，提升用户体验。



- 多领域跨界融合
- 多系统融合
- 多RAT/多层次/多连接融合
- 多模多业务对于终端的影响



持续推动5G标准



5G预研



推动成立IMT-2000，
负责需求组多议题、
频谱需求和候选频段
的研究



牵头863项目-5G无
线传输关键技术



牵头863项目-5G无
线传输关键技术

2015

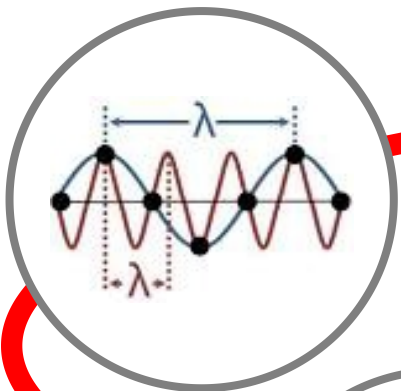


牵头四个技术专题
研究方向，积极参
与IMT2020需求组
、频谱组工作

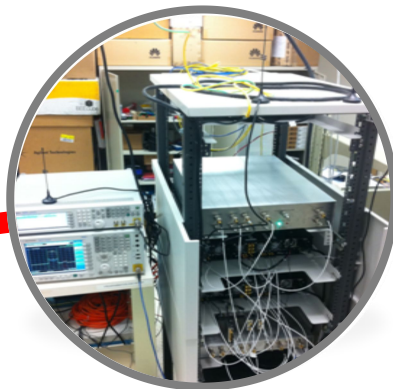


提前布局5G 产业

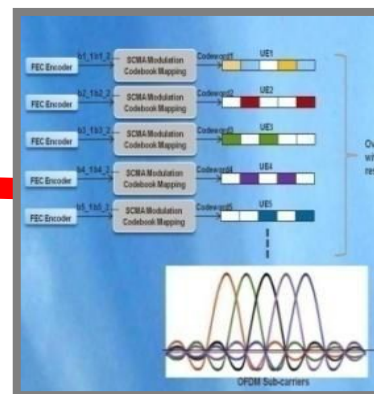
mmWave
(毫米波传输系统)



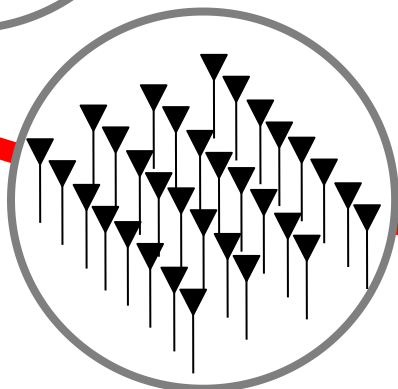
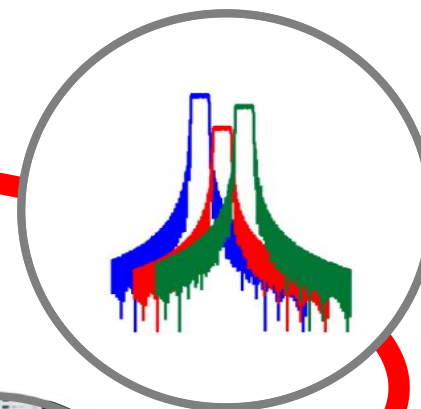
全双工



SCMA



f-OFDM



Massive MIMO



50Gbps基站



100Gbps传输系统

课程总结

1、移动通信演进规律

- ◆ 4G->4.5G->5G R12对应4.5G, R15对应5G

- ◆ 有、好、强、爽、悦

2、移动通信标准主要技术特征

- ◆ 4.5G:3D MIMO、massive MIMO、半正交多址、256调制技术、物联网LTE-M

- ◆ 5G:massive MIMO、非正交多址、全双工、灵活双工、增强多载波等

1. 5G系统标准发展概述

2. 5G系统核心能力指标

3. 5G系统关键无线技术

4. 5G系统新型网络架构

5. 5G系统重要网络技术

6. 5G系统特色业务应用

课程介绍

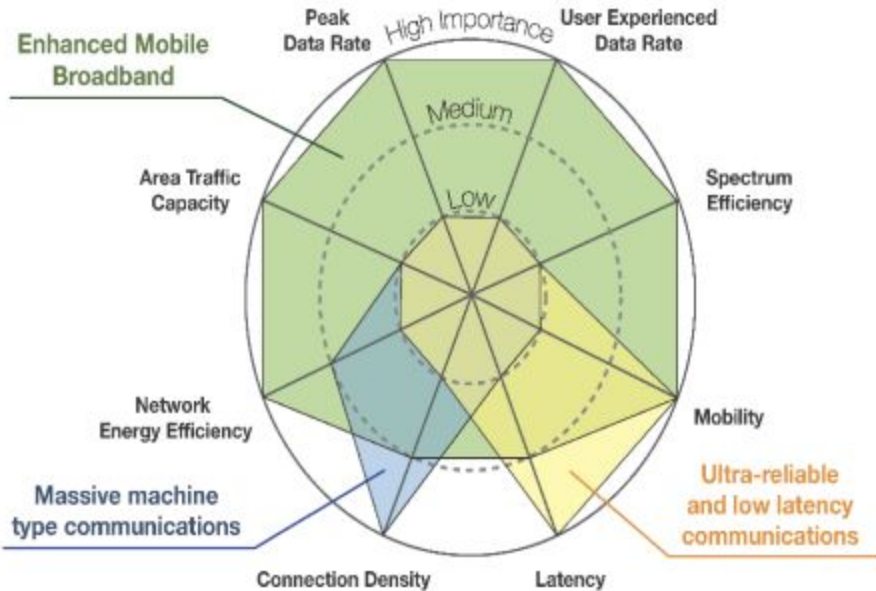
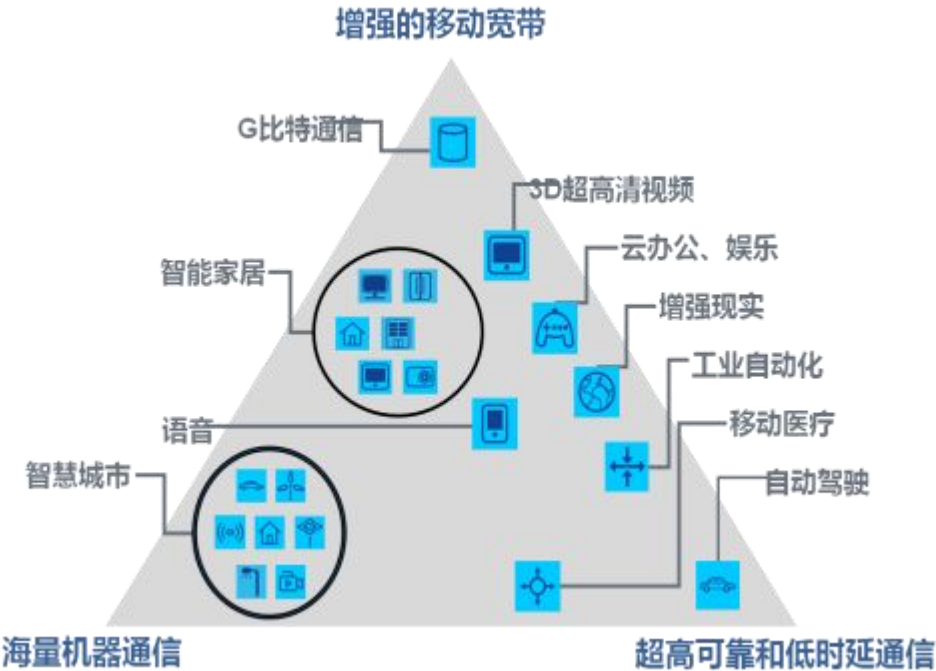
- 1、5G八大关键能力指标
- 2、5G频率挑战、技术挑战、效率挑战和运营挑战



ITU定义的5G八大关键能力

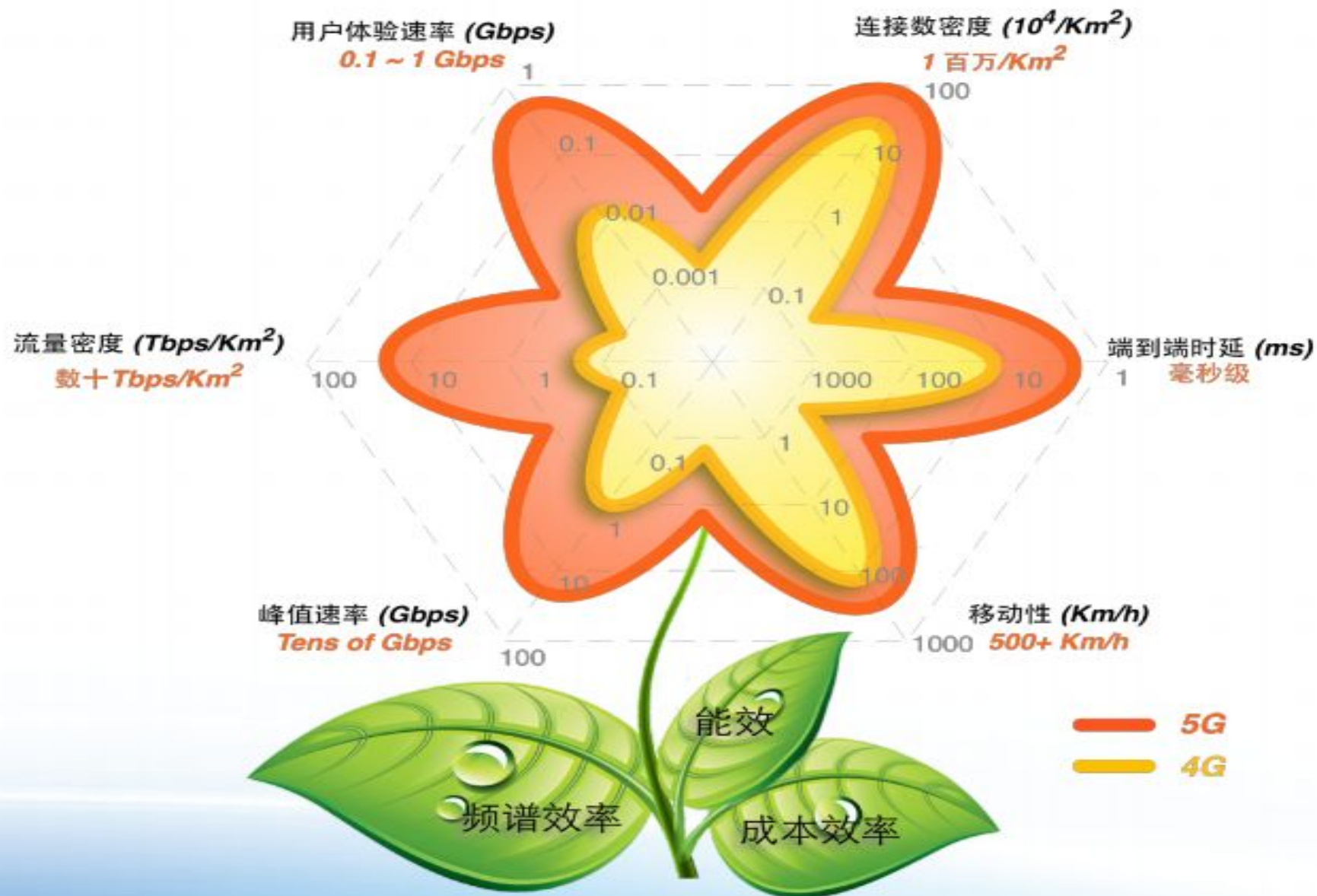
指标名称	流量密度	连接数密度	时延	移动性	能效	用户体验速率	频谱效率	峰值速率
4G参考值	0.1 Tbps/Km2	10万/km2	空口10ms	350Km/h	1倍	10 Mbps (urban/suburban)	1倍	1Gbps
5G取值	10 Tbps/Km2	100万/Km2	空口1ms	500 Km/h	100倍提升 (网络侧)	0.1-1Gbps	3倍提升 (某些场景5倍)	20Gbps

ITU定义的三大应用场景





中国5G之花



5G技术发展的愿景:
“信息随心至，万物触手及”



5G的频率挑战

需要分配足够的频段支持业务发展

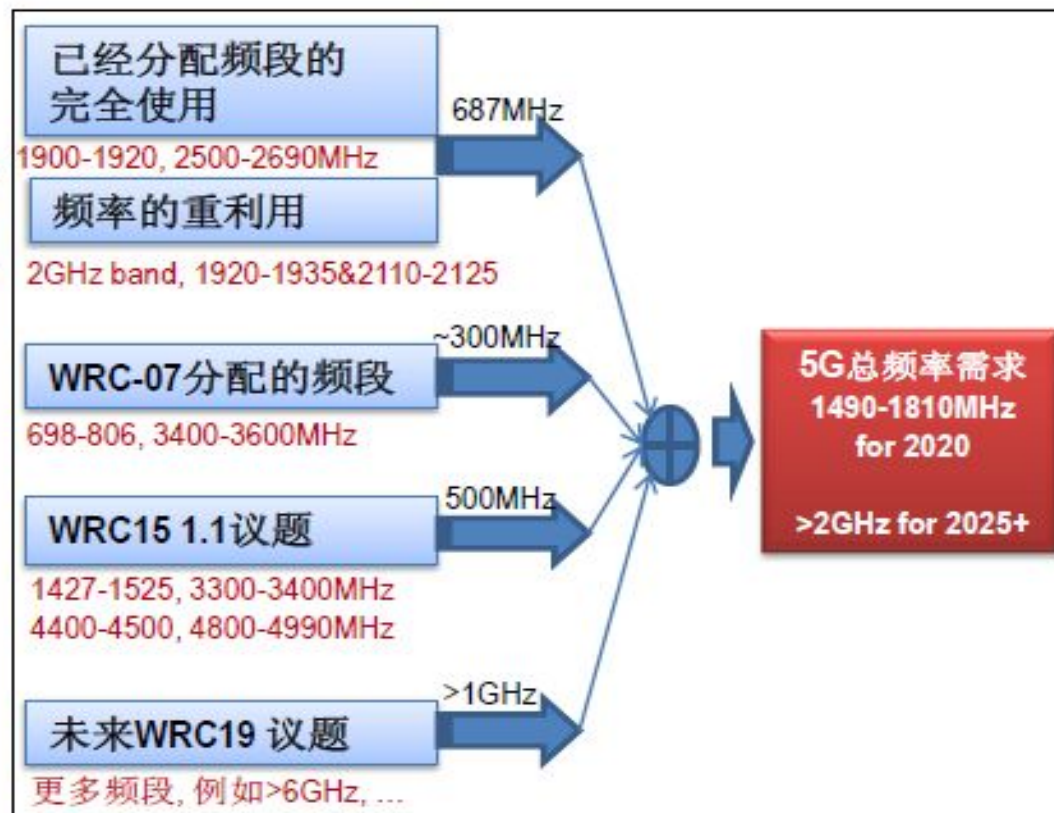
- ITU-R预测未来移动通信频率需求量为：1490~1810MHz，而目前各国分配的可用频率通常在几百MHz量级。
- 适合IMT发展的无线电频段已经分配给其它各种无线业务系统，协调多个无线电业务部门为IMT分配足够的频谱资源是未来几年IMT产业界面临的一个巨大挑战。

灵活的频率使用和无线电规则的调整

- 新的频率需求不断涌现、已经分配的频谱资源利用率不高，使得有必要开展更灵活的频率使用技术以及政策的研究，提高频率利用的效率。
- 对于智能频率利用，除技术上需要持续不断的研究和完善外，还需要考虑无线电频率使用以及监管规则的调整与变化。
- 国际电联需要协调各国政府和无线电部门，共同研究制定更加灵活的无线频率使用规则，以及频率共享和交易的模式，通过经济杠杆鼓励频率的高效利用。

我国频率需求预测结果(MHz)

年	2015	2020
需求预测	570-690	1490-1810
已经分配的频率	687	687
额外需求	充分合理使用	803-1123





5G的技术挑战

系统和技術融合的挑战

- 各种智能设备的功能逐渐拓展并相互融合。
- 5G网络将是一个多业务、多接入技术、多层次覆盖的系统。

容量和频谱效率提升的挑战

- 1000倍的流量需求，100倍以上连接器件数目，任何地方任何时间10Mbps甚至100Mbps的速率体验保证。
- 需要增加频率、提升空口效率、提升系统覆盖层次和站点密度等各种技术手段。

物联网和业务灵活性的挑战

- 从信息速率看，既支持抄表类的突发小数据包业务，也支持3D全息类的大带宽业务。
- 从延迟看，既支持延迟不敏感的背景下载业务，也支持5ms以下的即时控制类业务。
- 从移动速度看，既支持静止和低速的场景，也支持高铁、航空器的高速和超高速场景。

网络能耗与成本降低的挑战

- 需要提升端到端比特能耗效率1000倍，降低单位比特开销1000倍。
- 对网络架构、空口传输、交换路由、内容分发、网络管理、网络规划和优化等各个方面的技术和协议设计带来巨大的挑战。

终端方面的挑战

- 终端需要支持5-10个甚至更多不同的无线通信技术。
- 待机时间达到现有的4-5倍，空口速率达到1Gbps并能较长时间的使用。

产业生态对网络架构和管控理念的挑战

- 虚拟运营和SDN理念正在掀起传输网络架构的变化。
- 无线移动通信网络如何适应未来业务应用需要进一步地探讨和研究。



5G的运营挑战

盈利模式的挑战

- 移动数据流量10年将增长1000倍，但是运营商整体利润趋平。
- 传统运营商业务正在受到新兴业务冲击，例如Skype、微信等过顶传递（OTT）业务。
- 运营商需要在以业务应用为主的宽带移动产业生态中找到合理的盈利模式，维持网络的健康有序运营。
- 运营商可以探索业务拓展，如行业专网、物联网、智慧城市等，基于公众移动网络提供行业应用的盈利模式需不断地探索和磨合。

运营模式的挑战

- 2020年，享受宽带无线通信将成为人们的基本权利，类似于当前的水力和电力设施，通信网络成为一种基础设施，人们为宽带移动接入付出的基本费用与目前相当甚至更低。
- 产业生态将逐渐以上层应用为主，在新的生态结构中将出现一些超大规模的应用型企业，这些企业需要和现有网络运营商共同找到各自在未来信息网络生态中的定位和利润增长点。
- 虚拟运营、联合运营等新的运营模式会逐渐出现，新的业务运营商和传统的网络运营商之间将进一步地合作。

管控权限的挑战

- 2020年，终端将在人们日常生活和办公的方方面面发挥重要作用，包括：基本通信沟通、休闲娱乐、购物、支付、银行、办公、医疗、健康、出行、智能家居控制等，终端甚至可以成为人们身份、信用的标识和载体。这已经超越了以盈利为目的的网络运营商对用户进行管控的权限和能力。
- 需要设计新的用户管控模式，结合网络运营商、业务运营商以及政府公共安全等多方需求，并充分考虑用户的安全性和公民权益。



5G的效率挑战

名称	定义
频谱效率 (bps/Hz/cellbps/Hz/Km ²)	每小区或单位面积内，单位频谱资源提供的吞吐量
能源效率 (bit/J)	每焦耳能量所能传输的比特数
成本效率 (bit/Y)	每单位成本所能传输的比特数

5G系统相比4G系统在频谱效率、能源效率和成本效率方面需要得到显著提升：

- ✓ 频谱效率需提高5 ~ 15倍
- ✓ 能源效率有百倍以上提升
- ✓ 成本效率有百倍以上提升



能效提升技术

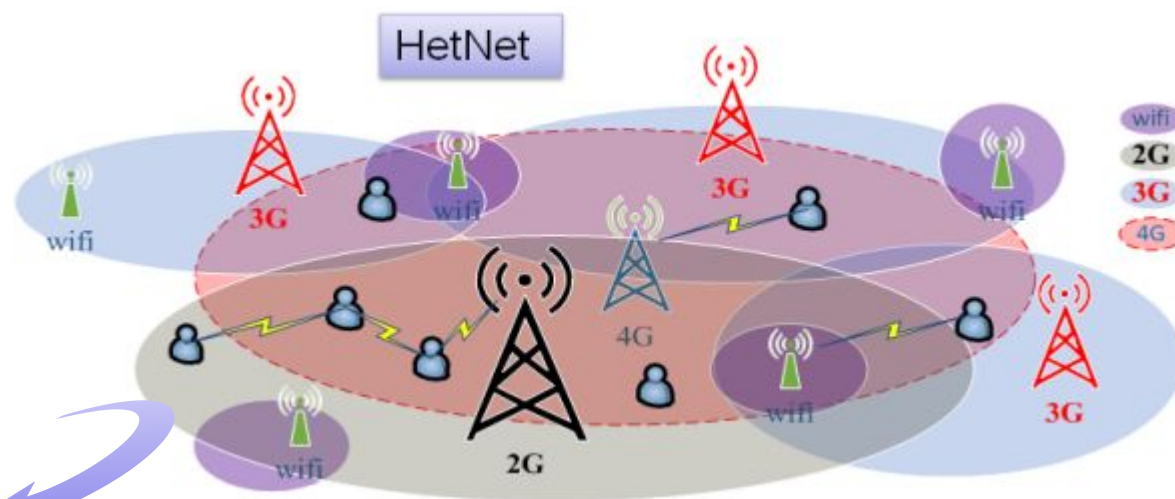
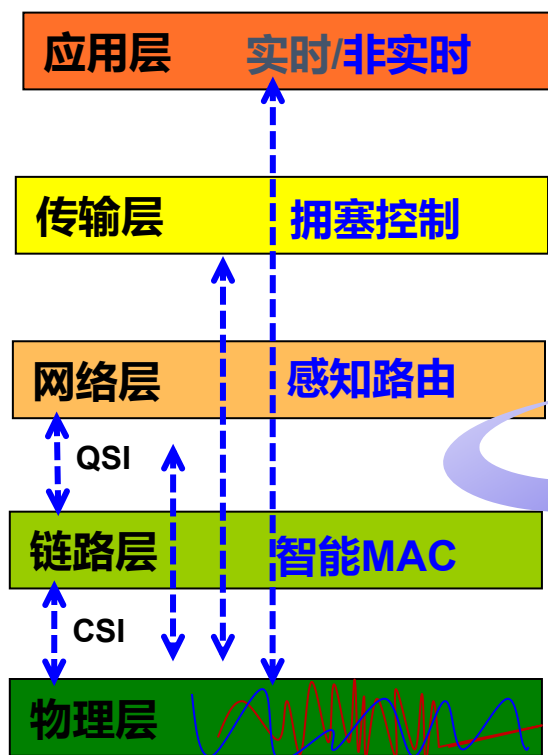
□ 跨层优化—资源调度

- 高效利用有限资源
- 跨层资源联合调度



□ 跨网优化—协作通信

- 减少竞争、增加合作
- 跨网资源联合优化配置



CHORUS: Collaborative & Harmonized Open Radio Ubiquitous System

提升用户体验，降低能量消耗

课程总结

1、5G八大关键能力

◆ 流量密度、连接数密度、时延、移动性、频谱效率、能效、用户体验速率、峰值速率

2、5G三大关键应用场景

◆ 海量机器通信、增强的移动宽带、超高可靠和低时延通信

3、5G挑战

◆ 频率挑战

◆ 技术挑战

◆ 运营挑战

◆ 效率挑战

1. 5G系统标准发展概述

2. 5G系统核心能力指标

3. 5G系统关键无线技术

4. 5G系统新型网络架构

5. 5G系统重要网络技术

6. 5G系统特色业务应用

课程介绍

1、5G面临的挑战和应对思路

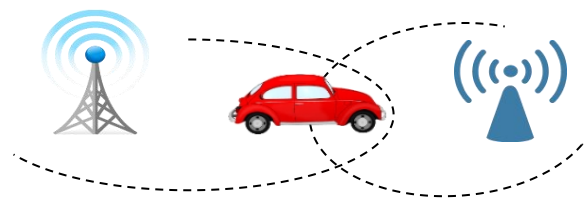
2、5G主要关键技术

◆ 大规模天线技术

◆ 非正交多址接入技术



5G发展技术需求



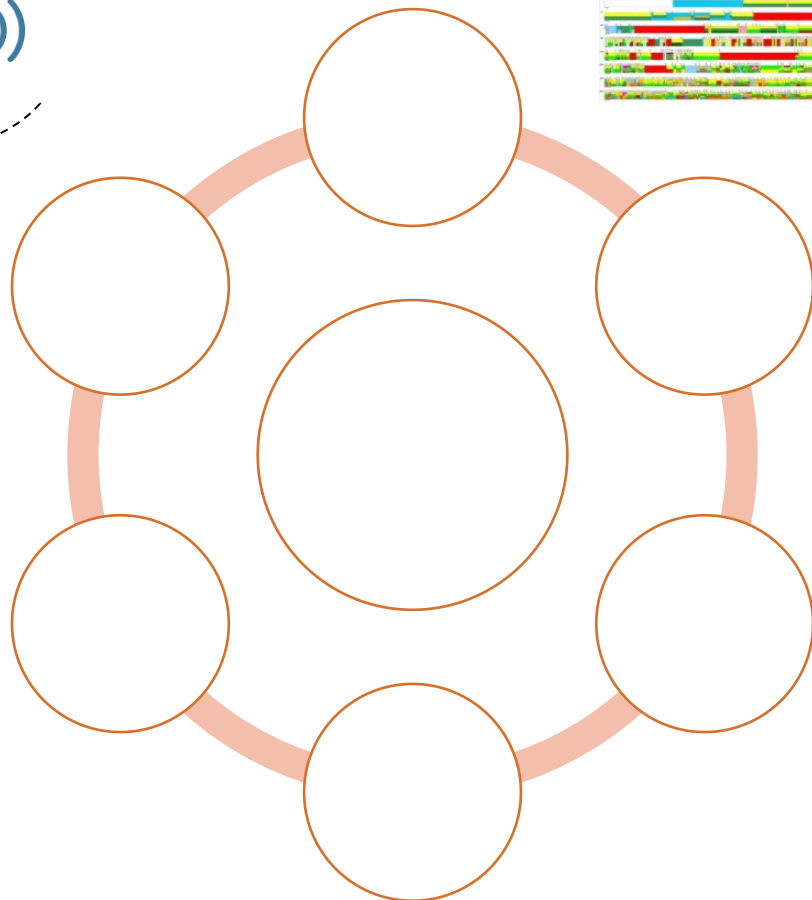
- ✓ 多频段、多接入模式、小的覆盖半径给网络技术带来挑战



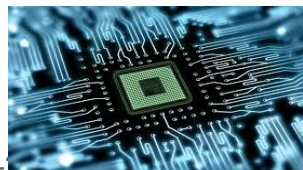
- ✓ 有限的频谱资源一直以来制约着无线通信系统性能提升



- ✓ 信道在高速移动条件下的恶化和高频段信道的开发为高传输速率技术带来挑战

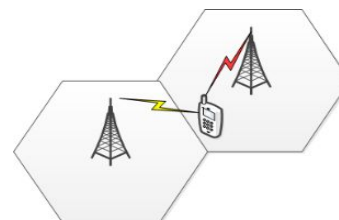


- ✓ 新型通信技术和高频段开发给半导体技术带来挑战



- ✓ 海量设备带来的能耗增加为绿色通信的要求带来挑战

- ✓ 小区密集化以及移动设备的增加导致的干扰制约网络容量增长和传输速率增加





5G：颠覆性技术在哪里？

产生颠覆性技术的五个方向

需要技术和策略突破

5G：解决三个主要问题？

- 频谱利用
- 无线接入
- 无线传输
- 无线组网
- 业务与终端

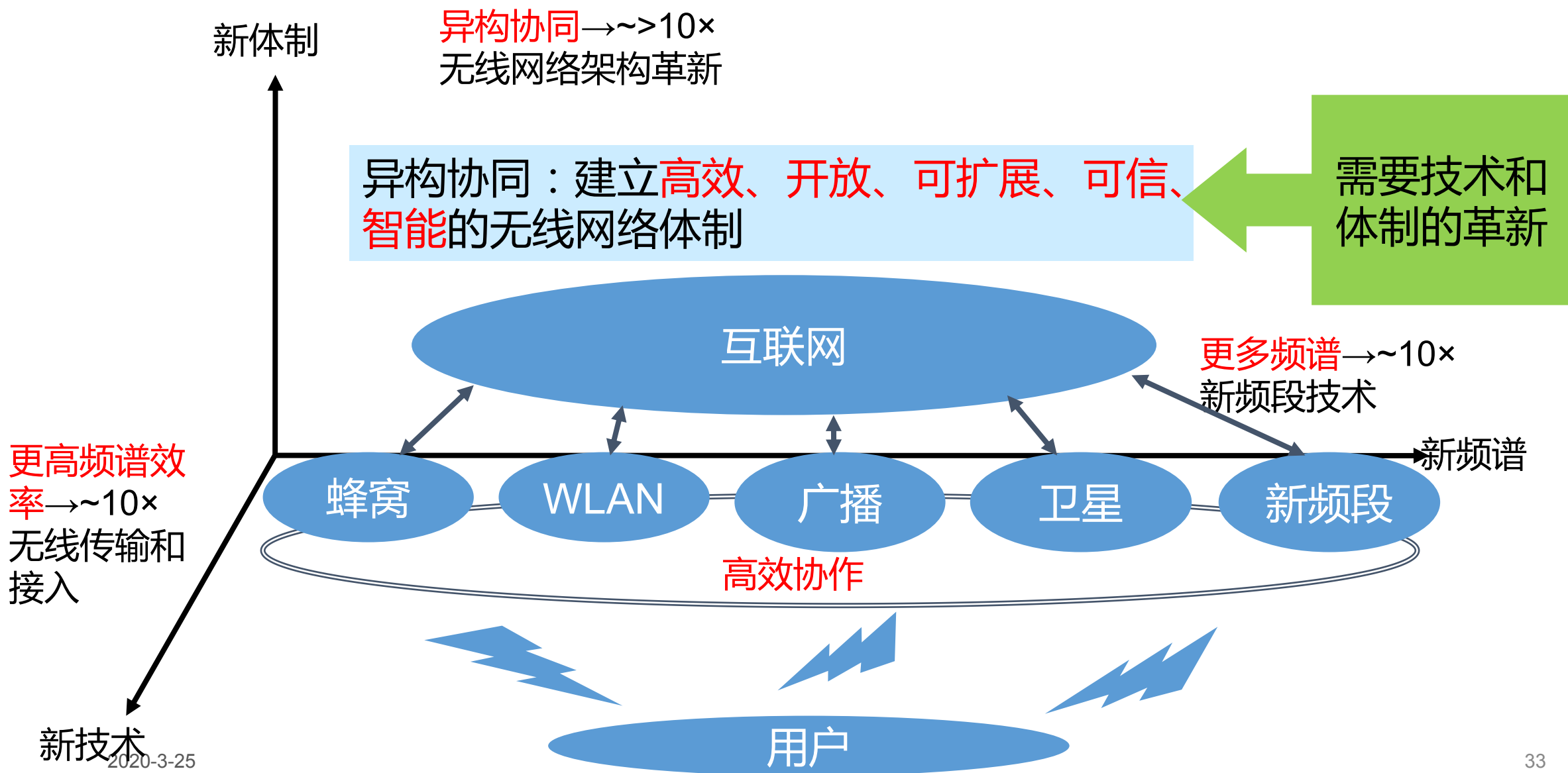
容量不足

能耗高

提升用户体验

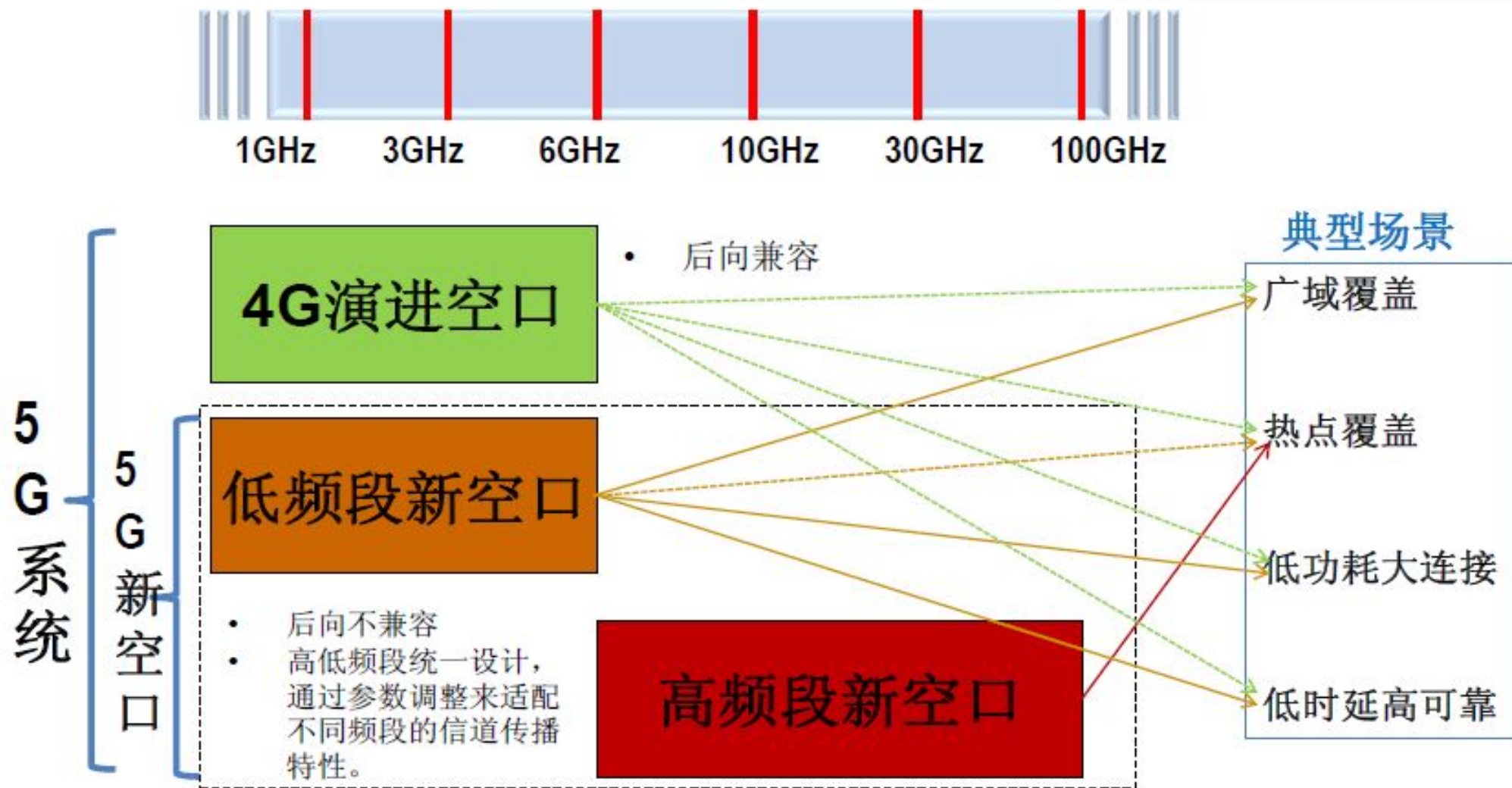


解决思路





5G无线技术路线





5G空口技术框架





5G空口关键技术演进

类型	细类	4G	4.5G	5G
容量	接入技术	OFDMA	SOMA (半正交频分多址)	GMFDM (通用多载波频分多址)
	双工方式	半双工	半双工	全双工 (同时同频收发)
	调制	64QAM	256QAM	256QAM
	带宽	20M	20M	100M及其以上 (高频段)
	CA	4CC	U-LTE Massive CA: 8CC及其以上, 包括T+F CA	Massive CA
	MIMO	2*2 MIMO、4*4 MIMO	Massive MIMO: 8T8R及其以上	Massive MIMO : 64T64R及其以上
时延	降低时延	1ms TTI	Shorter TTI (0.5ms)	0.1ms TTI
连接数	更多连接数	固定15kHz子载波	Narrow Band-M2M (LTE-M) D2D (LTE-D)	可变带宽子载波
架构	网络架构	扁平化IP化网络架构	Cloud EPC	NFV、SDN



5G无线关键技术（1）---大规模天线技术（1/3）

■ 技术原理

- 当基站侧天线数远大于用户天线数时，基站到各个用户的信道将趋于正交。
- 用户间干扰将趋于消失，而巨大的阵列增益将能够有效地提升每个用户的信噪比，从而能够在相同的时频资源共同调度更多用户。

■ 功能和优势

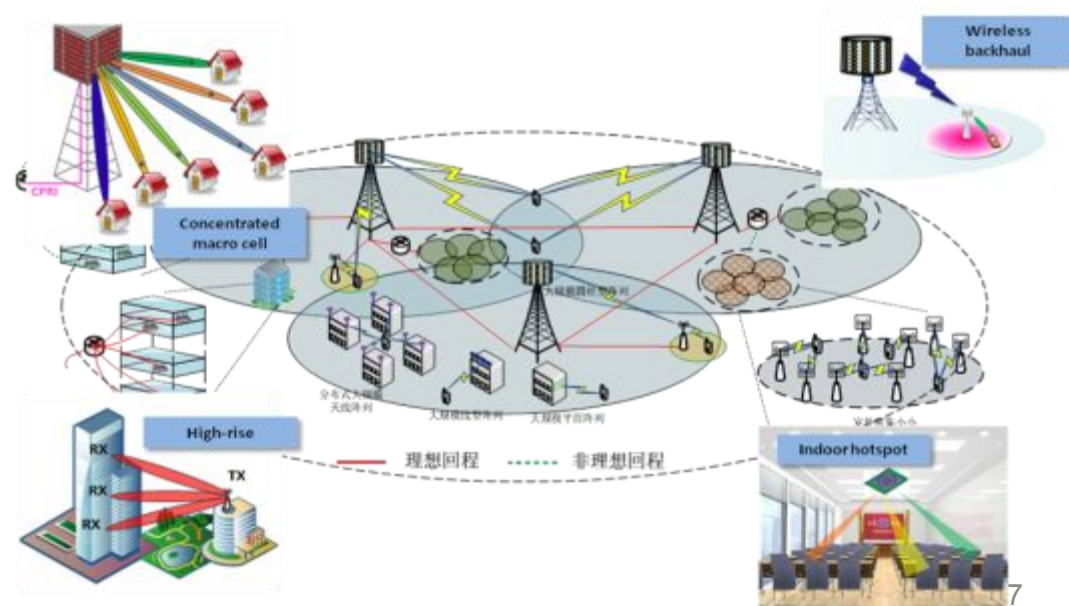
- 若基站配置400根天线，在20MHz带宽的同频复用TDD系统中，每小区用MU-MIMO方式服务42个用户时，即使小区间无协作，且接收/发送只采用简单的MRC/MRT时，每个小区的平均容量也可高达1800Mbps。

■ 应用场景

- 城区宏覆盖、高层建筑、室内外热点、郊区、无线回传链路

■ 技术方案

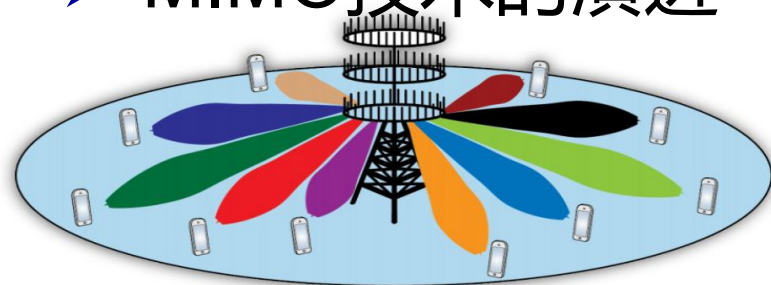
- 面向异构和密集组网的massive MIMO网络构架与组网方案
- Massive MIMO物理层关键技术
- 大规模有源阵列天线技术
- 大规模天线与高频段的结合





5G无线关键技术（1）----大规模天线技术（2/3）

► MIMO技术的演进



5G

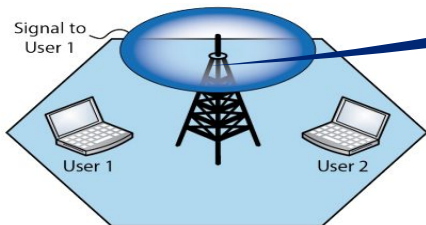
大规模天线：基站使用大规模天线阵列（几十甚至上百根天线）

4G：3GPP LTE标准

支持SISO，2×2MIMO，4×4MIMO。下行峰值速率100Mb/s。

3G：WCDMA HSPA标准

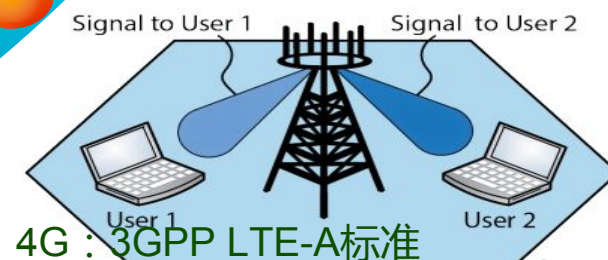
只能使用SISO，下行峰值速率7.2Mb/s



Single-Antenna Transmission

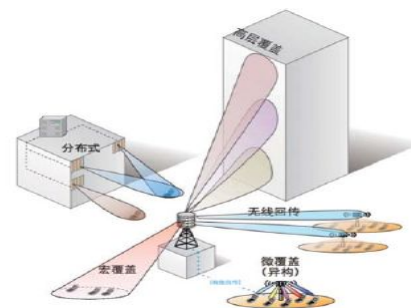
3G：WCDMA HSPA+标准

支持2×2MIMO，下行峰值速率42Mb/s



4G：3GPP LTE-A标准

最多支持8×8MIMO，下行峰值速率1Gb/s



密集站点



MIMO



C-RAN

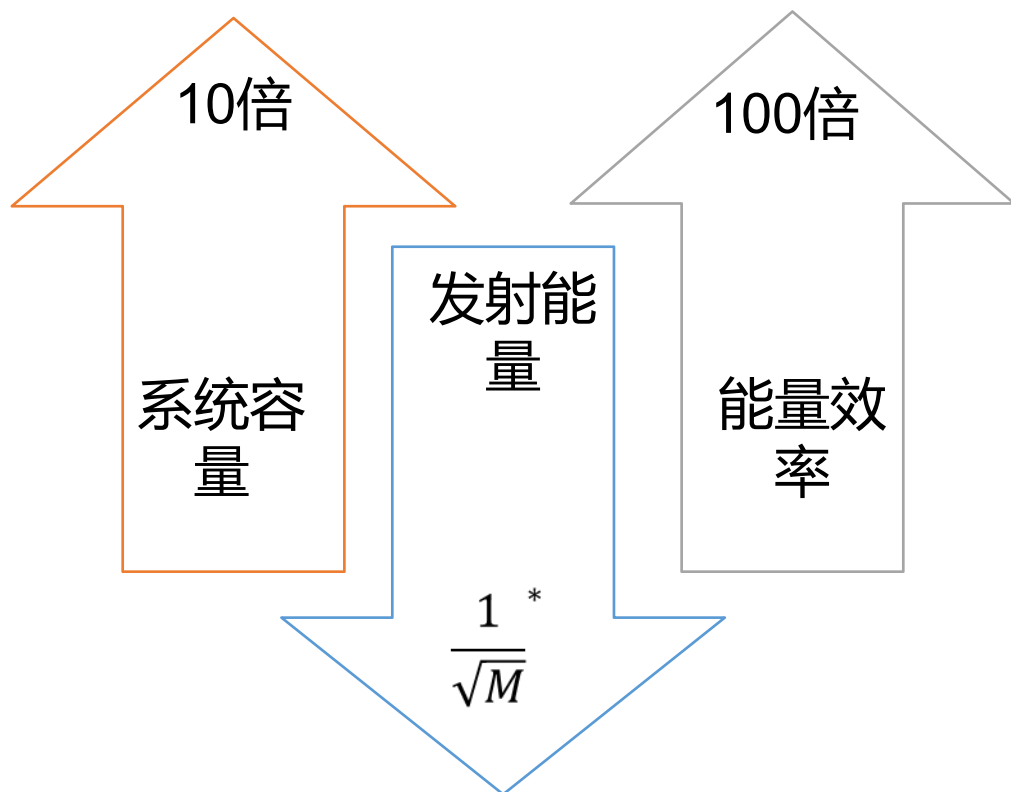


分布MIMO



5G无线关键技术（1）---大规模天线技术（3/3）

何为大规模天线：大量天线为相对少的用户提供同传服务



优势

- 系统容量和能量效率大幅度提升
- 上行和下行发射能量都将减少
- 用户间信道正交，干扰和噪声将被消除
- 信道的统计特性趋于稳定

挑战

- 信道状态信息获取（导频污染问题）
- 信道测量与建模（不同场景信道）
- 发射机和接收机设计（降低复杂度）
- 天线单元及阵列设计（低能耗天线）

□ 大规模天线被公认为5G关键技术之一



5G无线关键技术（2）----非正交多址接入技术（1/3）

■ 技术原理

PDMA图样分割多址接入（Pattern Division Multiple Access）是一种基于多用户通信系统整体优化的新型非正交多址接入技术，通过发送端和接收端的联合设计，在发送端采用功率/空间/编码等多种信号域的单独或者联合非正交特征图样区分用户，在接收端采用SIC方式实现准最优多用户检测。

■ 主要功能和优势

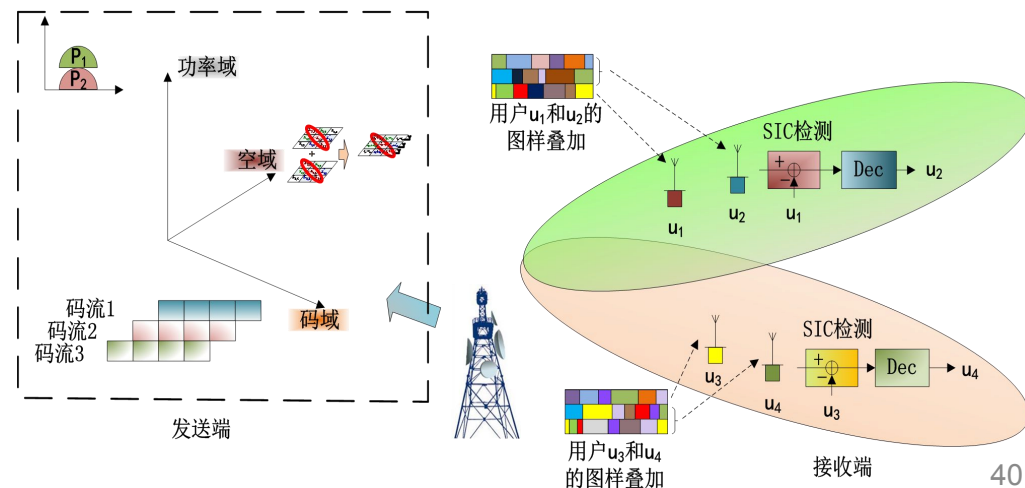
对于大容量持续业务信道，使系统整体频谱效率提升1-2倍；对于大容量随机突发业务，缩短数据包传输时延并提升用户接入体验。

■ 技术方案

- 发射端图样设计
- 导频设计
- 与MIMO结合
- 低复杂度检测算法

■ 应用场景

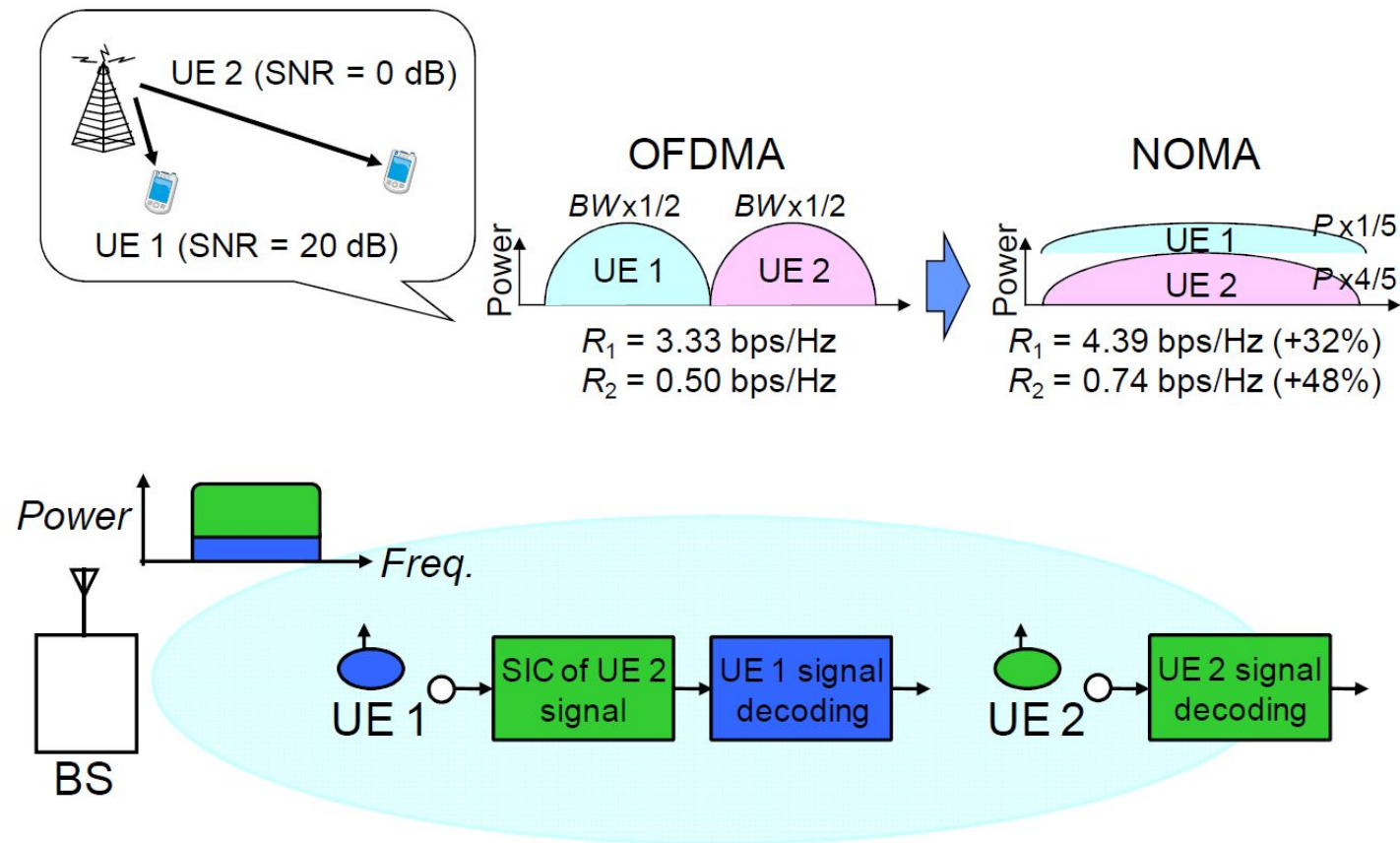
- 宏蜂窝及宏微蜂窝异构网络
- 分布式多天线或密集小区
- 低时延高可靠等极端场景





5G无线关键技术（2）----非正交多址接入技术（2/3）

➤ 非正交多址接入 (Non-orthogonal Multiple Access: NOMA)



NOMA

- 两个用户同时占用所有可用带宽
- 弱用户先解码强干扰，消除干扰的影响，再解码自己的消息。
- 可实现最优容量，并**改善弱用户**可达速率

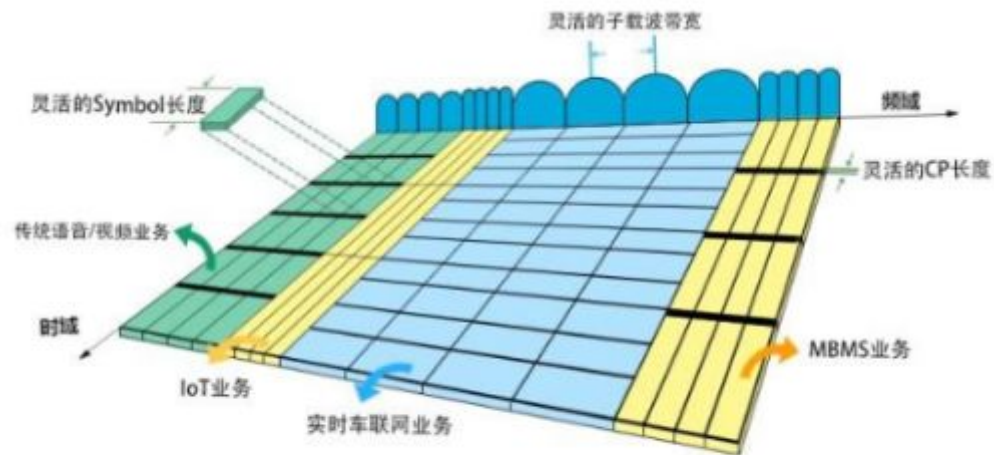
复杂度 (Complexity)



容量 (Capacity)

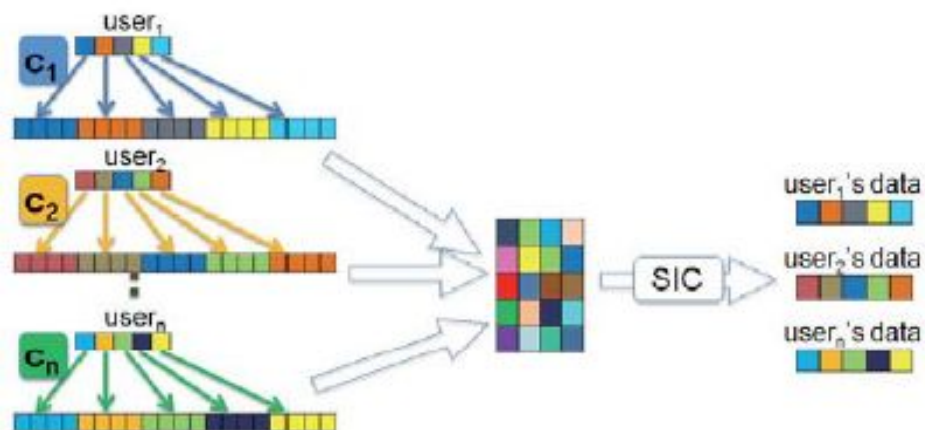


5G无线关键技术（2）---非正交多址接入技术（3/3）



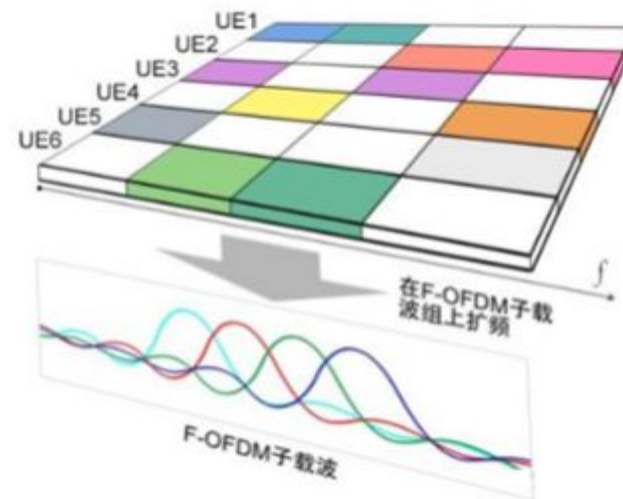
F-OFDM时频资源分配

- F-OFDM波形技术：根据业务灵活配置

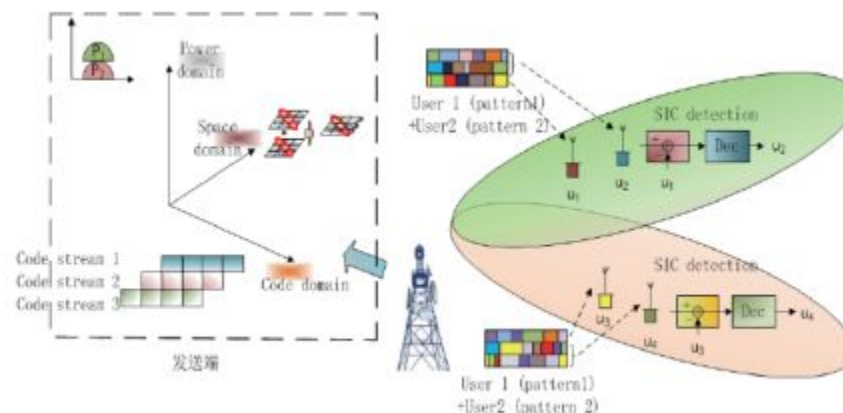


- MUSA多用户多址：非线性SIC接收机

2020-3-25



- SCMA稀疏码本多址：多维调制、扩频



- PDMA图样多址：功率域、空间域、码域

课程总结

1、5G面对挑战解决思路

- ◆新体制、新技术、新思路

2、5G主要关键技术

- ◆大规模天线技术

- ◆非正交多址接入技术：PDMA/NOMA/MUSA/SCMA/F-OFDM

课程介绍

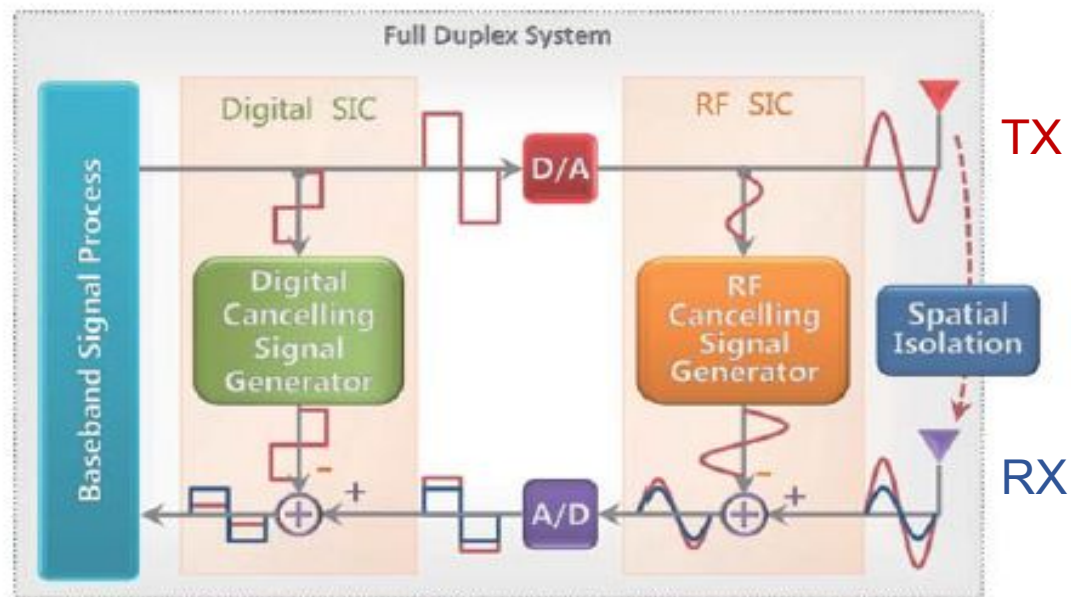
1、5G主要关键技术

- ◆ 双工技术
- ◆ 超密集组网
- ◆ 物联网设计
- ◆ 高频信号传输技术
- ◆ 灵活频谱共享技术
- ◆ 新型传输波形技术
- ◆ 先进编码调制技术



5G无线关键技术（3）----双工技术（1/3）

全双工



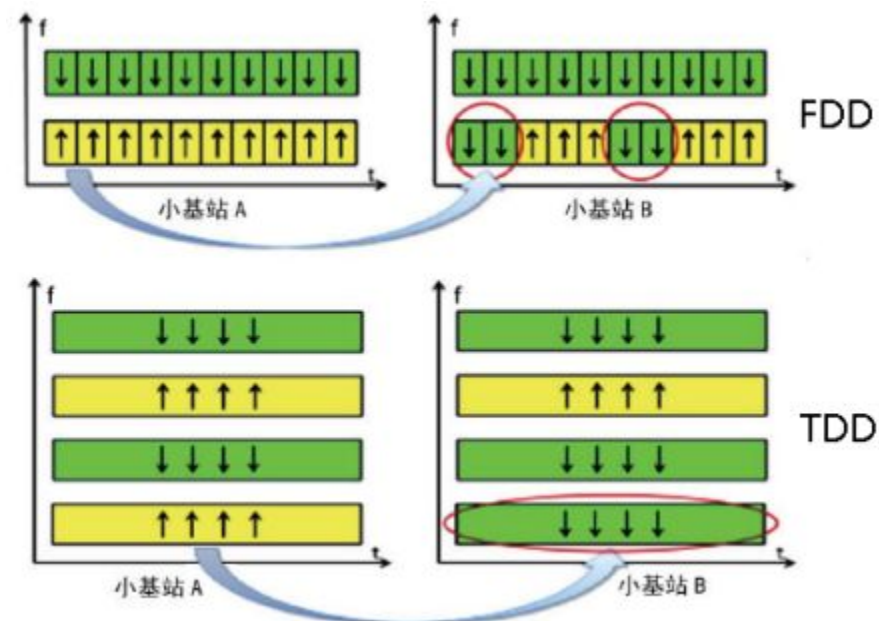
- 自干扰抑制

空间域：天线位置、空间零陷波束、高隔离收发天线。

射频域：构建与接收自干扰信号幅相相反的对消信号。

数字域：残存线性与非线性自干扰进行重建消除。

灵活双工



- 小基站根据上下行业务量灵活自适应
- 上下行信号对称统一消除上下行干扰
- 宏站管理、控制；小站业务、低功率



5G无线关键技术（3）---双工技术（2/3）

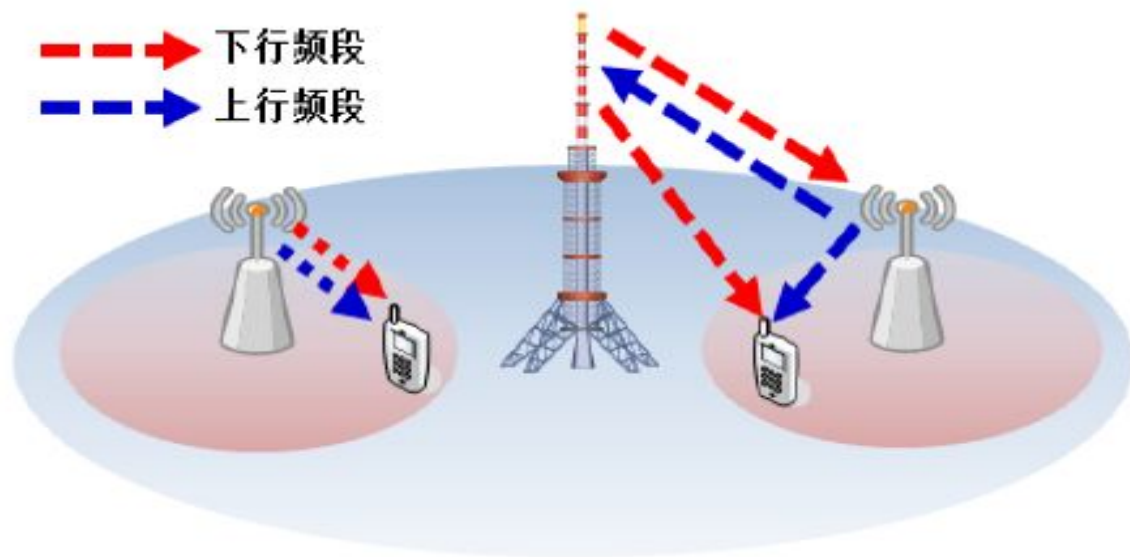
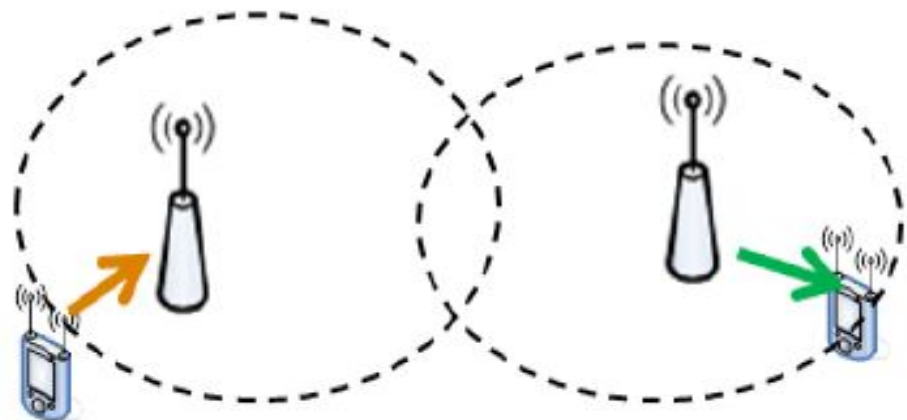
灵活双工技术

基本原理

- 随着在线视频业务的增加，以及社交网络的推广，未来移动流量呈现出多变特性：**上下行业务需求随时间、地点而变化**等，目前通信系统采用相对固定的频谱资源分配将无法满足不同小区变化的业务需求。
- 灵活双工能够根据上下行业务变化情况**动态分配上下行资源**，有效提高系统资源利用率。

应用场景

- 低功率节点的小基站
- 低功率的中继节点





- 时分双工

上下行链路同频，分时

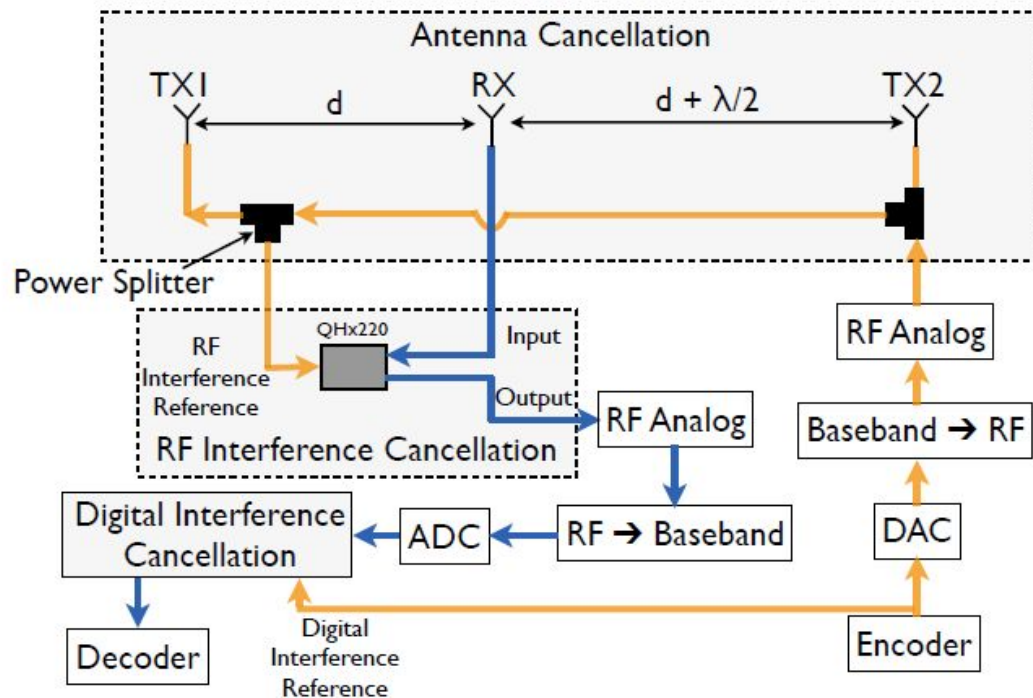
- 频分双工

上下行链路分频，同时

- 全双工

上下行链路同频，同时

目前国外已建立试验平台，国内开展研究较少



多天线对消方案

在现有基础上，理论上信道容量提升1倍



5G无线关键技术（4）---超密集组网（1/3）

■ 技术原理

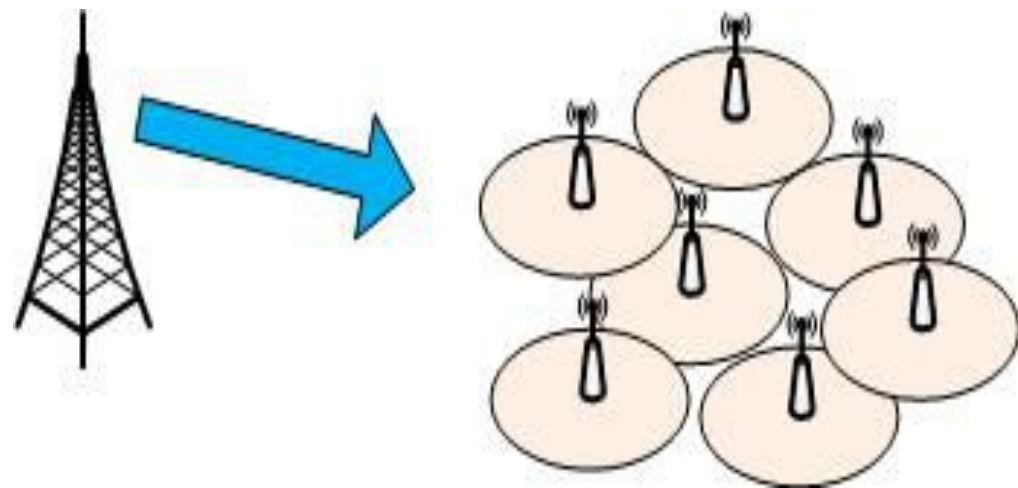
- 增加单位面积内小基站的密度，通过在异构网络中引入超大规模低功率节点实现热点增强、消除盲点、改善网络覆盖、提高系统容量。

■ 功能和优势

- 满足热点地区500-1000倍的流量增长的需求（几十Tbps/km²，1百万连接/km²，1Gbps用户体验速率）

■ 应用场景

- 密集街区、密集住宅、办公室、公寓、大型集会、体育场、购物中心、地铁



■ 技术方案

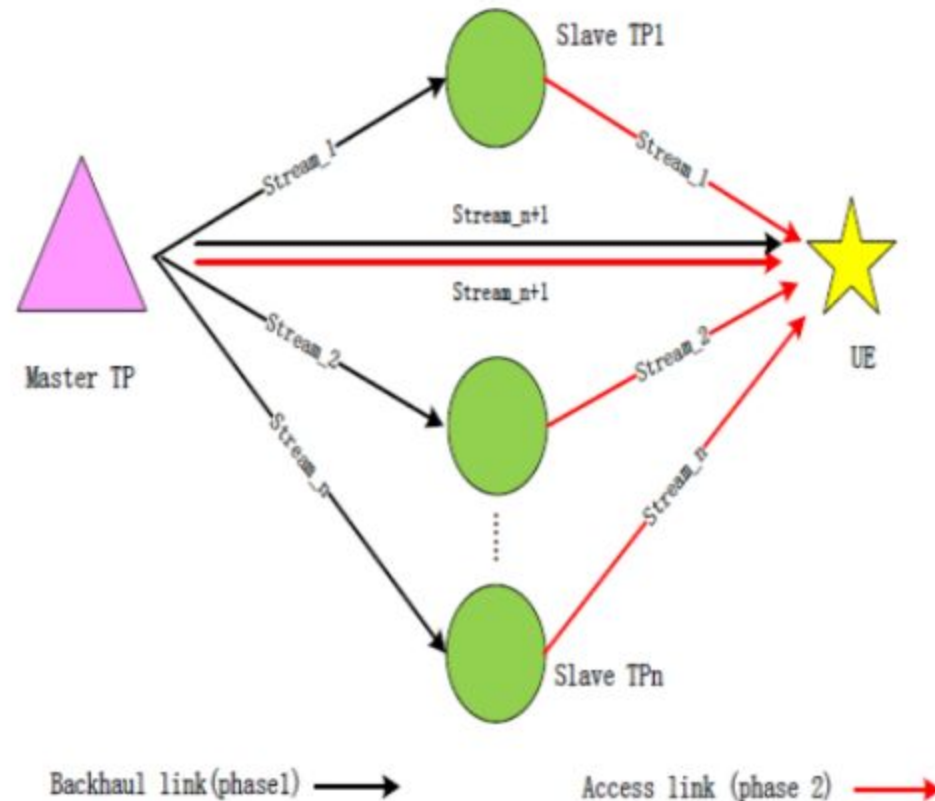
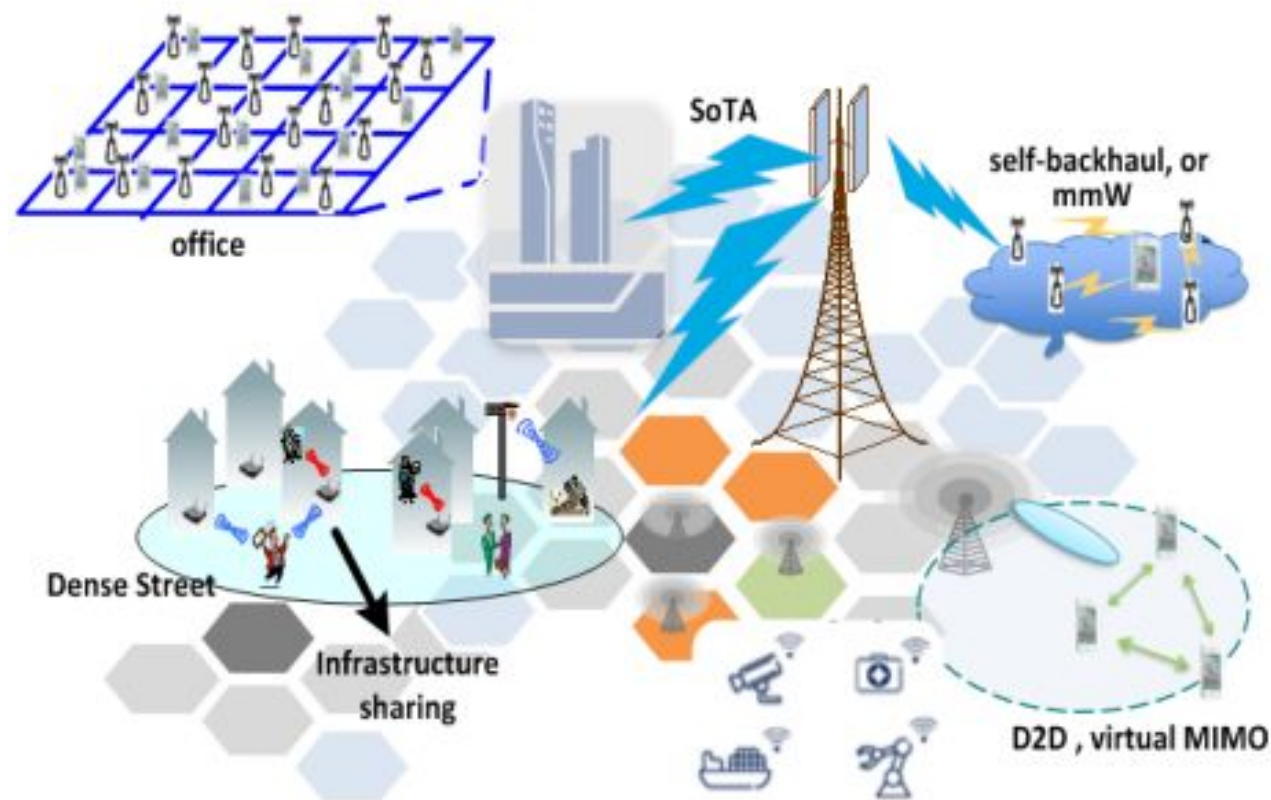
- 5G高密度小区的网络架构
- 干扰管理
- 移动性管理
- 连接管理
- 多层，多RAT融合组网
- 节能
- SON





5G无线关键技术（4）----超密集组网（2/3）

超密集组网关键技术



干扰抑制与管理

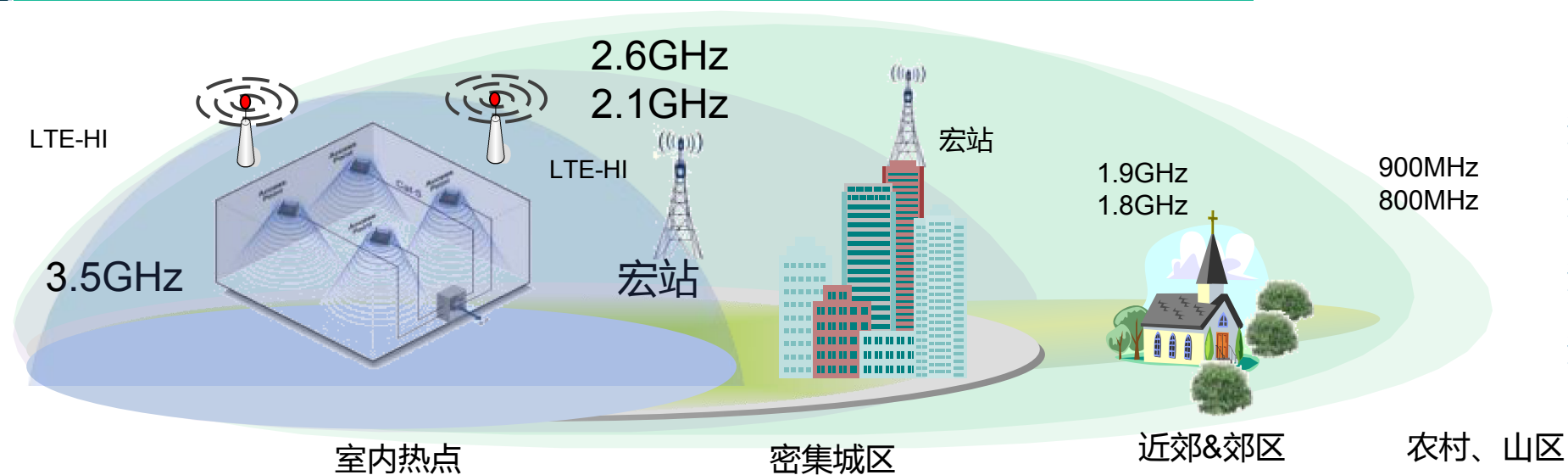
2020-3-25

移动性管理

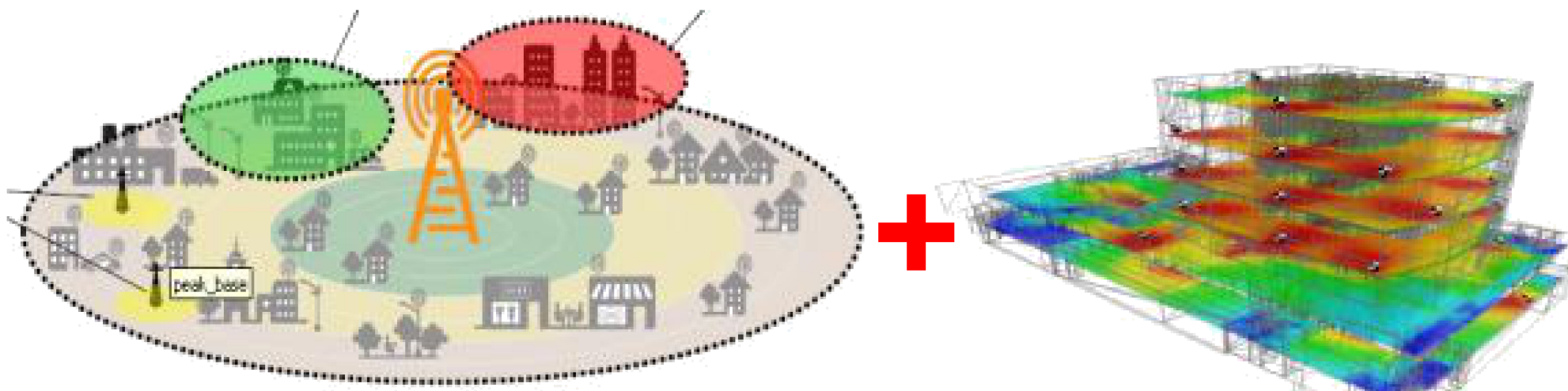
联合传输与反馈



5G无线关键技术（4）---超密集组网（3/3）



多系统
多分层
多小区
多载波



精细化覆盖是5G的重要发展方向



5G无线关键技术（5）----低时延高可靠物联网设计（1/2）

■ 技术原理

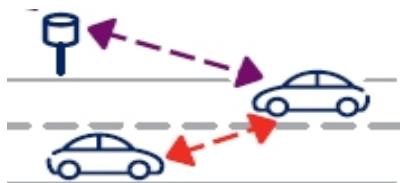
- 满足移动互联网和物联网的应用场景的扩大所带来的对时延和可靠性的特殊要求。

■ 主要功能和优势

- 端到端ms级用户面时延
- 真正永远在线体验: 10ms 控制面时延
- 可靠性高达99.999%以上

■ 应用场景

- 实时云计算、增强现实、在线游戏、远程医疗等
- 智能交通、智能电网、实时远程控制等
- 紧急通信



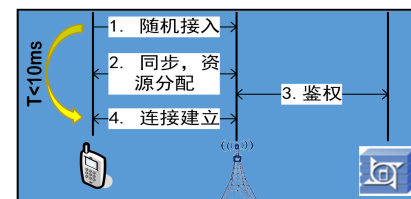
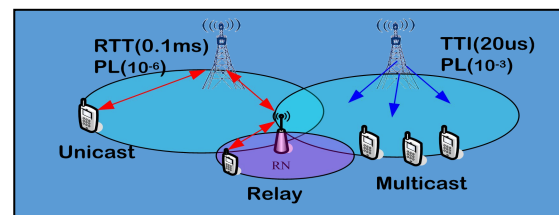
智能交通



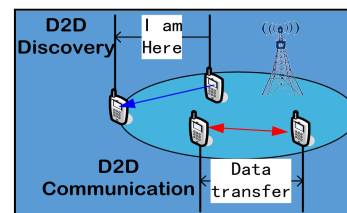
工业控制

■ 技术方案

- 新的网络架构
- 新的空口设计
- 高层信令过程设计
- 接入过程和方法设计



短帧



流程优化

灵活本地网络架构

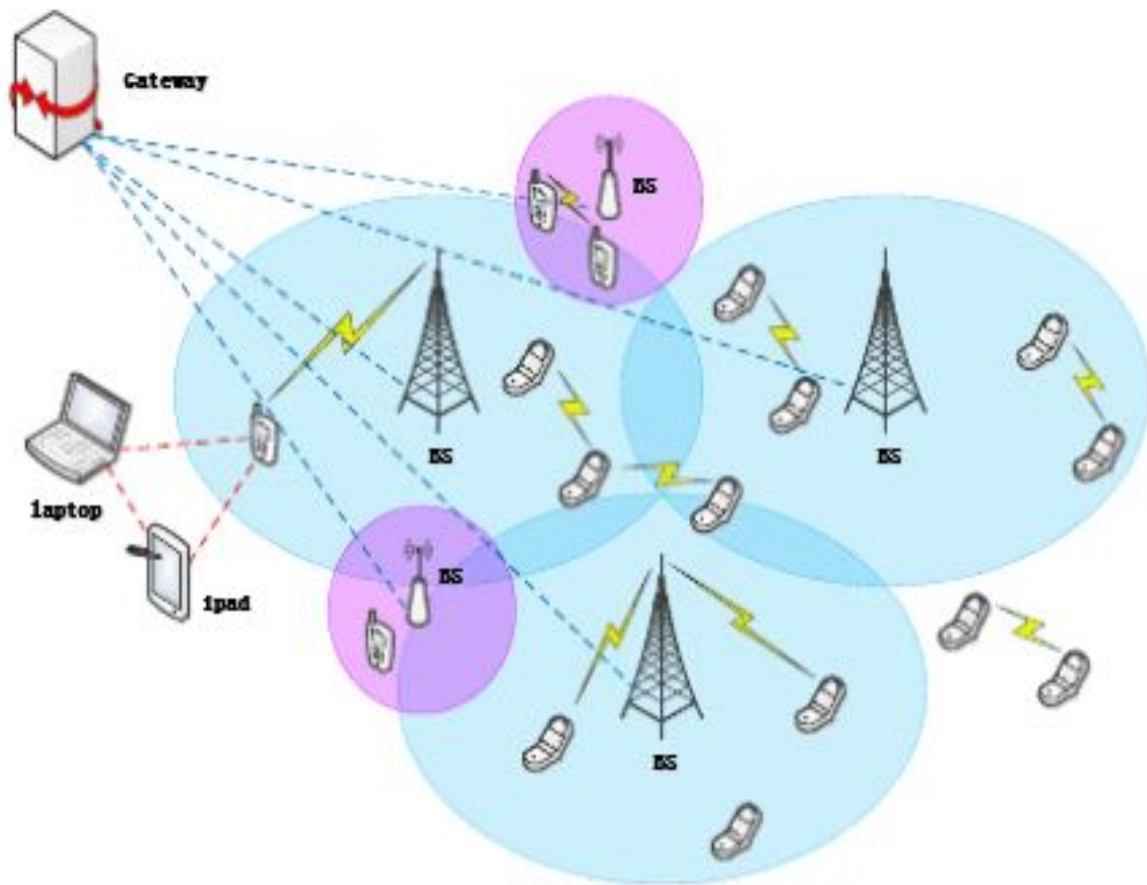


紧急通信



5G无线关键技术（5）----低时延高可靠物联网设计（2/2）

端到端通信D2D



- 优势：

- 1.终端近距离通信，高速率低时延低功耗。
- 2.短距离通信可频谱资源复用。
- 3.无线P2P功能。
- 4.拓展网络覆盖范围

- 时频资源：

- 1.正交：基站控制，容量受限。
- 2.复用：高效利用，引入干扰。

- 协调：

- 1.网络完全控制：控制干扰，会产生大量信令开销，无法体现D2D通信的灵活性。
- 2.网络辅助自主：自主D2D节省资源缩短时延，网络辅助进行无线资源管理。



5G无线关键技术（6）-----高频段信号传输技术（1/4）

■ 技术原理

- 移动通信传统工作频段十分拥挤，而大于6GHz的高频段可用频谱资源丰富，能够有效缓解频谱资源紧张现状，可以支持极高速短距离通信。

■ 主要功能和优势

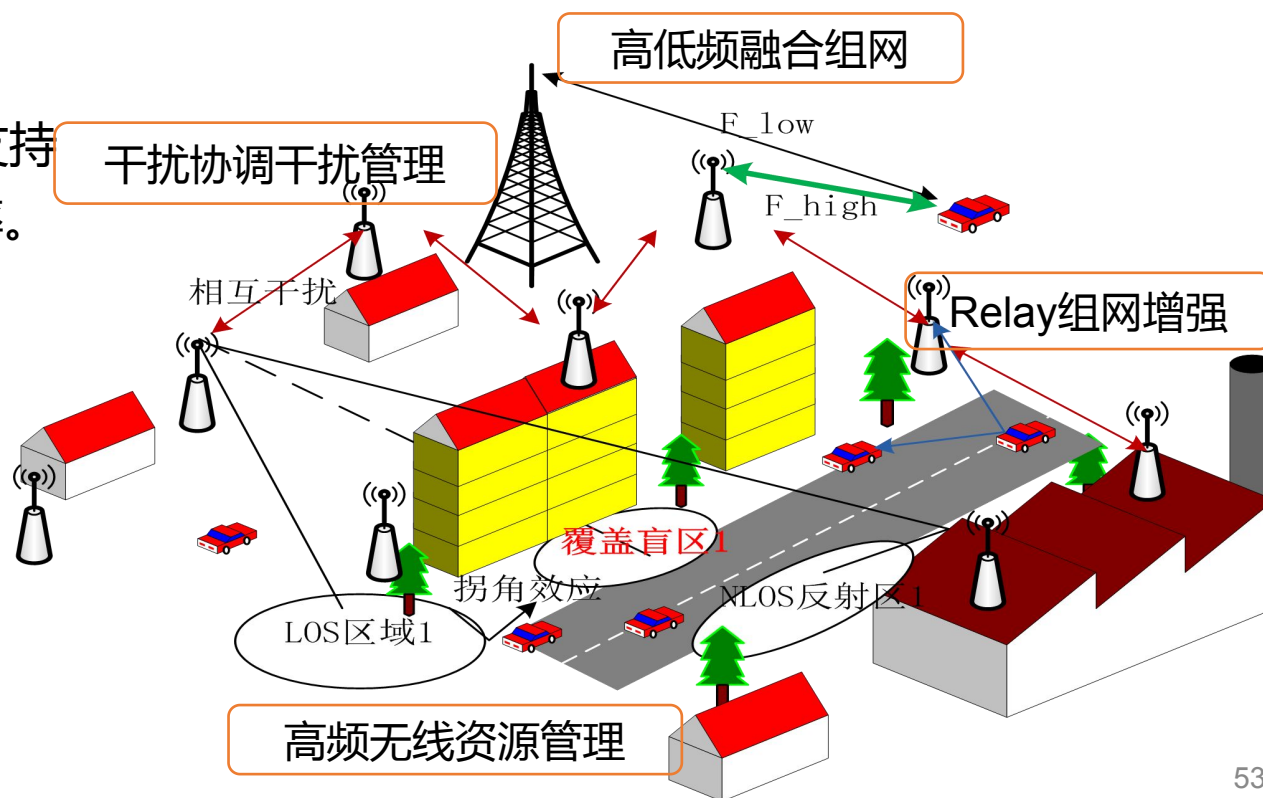
- 高达1GHz带宽的频率资源，将有效地支持10Gbps峰值速率和1Gbps用户体验速率。

■ 技术方案

- 高频段传播特性、信道测量与建模
- 基于高频段的传输技术方案
- 高频段的射频和天线关键技术
- 基于高频段的新载波空口设计
- 网络架构和组网技术

■ 应用场景

- 用高频做蜂窝接入
- 用高频做基站与基站之间的回传
- D2D的高频通信、车载通信等





5G无线关键技术（6）-----高频段信号传输技术（2/4）

认知无线电

提高已分配频谱的利用率。

重点关注5Ghz以下频段。

毫米波通信

优势：
足够宽的频段，波束集中，方向性好。

缺点：
路损大，环境影响，绕射差，高速差。

可见光传输

优势：
信号源LED灯成本低，高速传输，干扰小，能照明。

缺点：
目前单向通信，与射频无法切换。

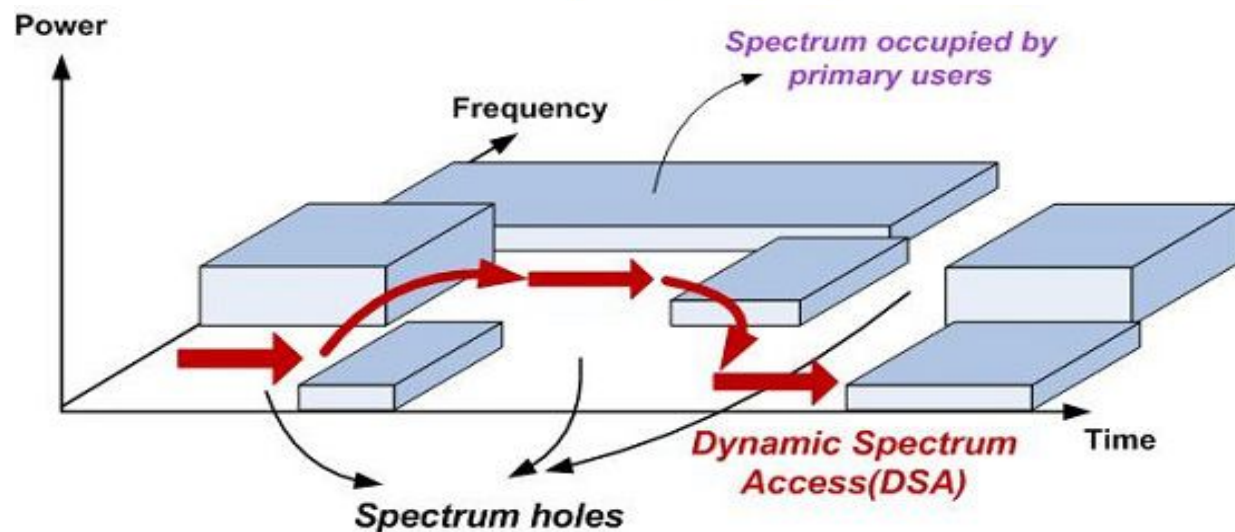
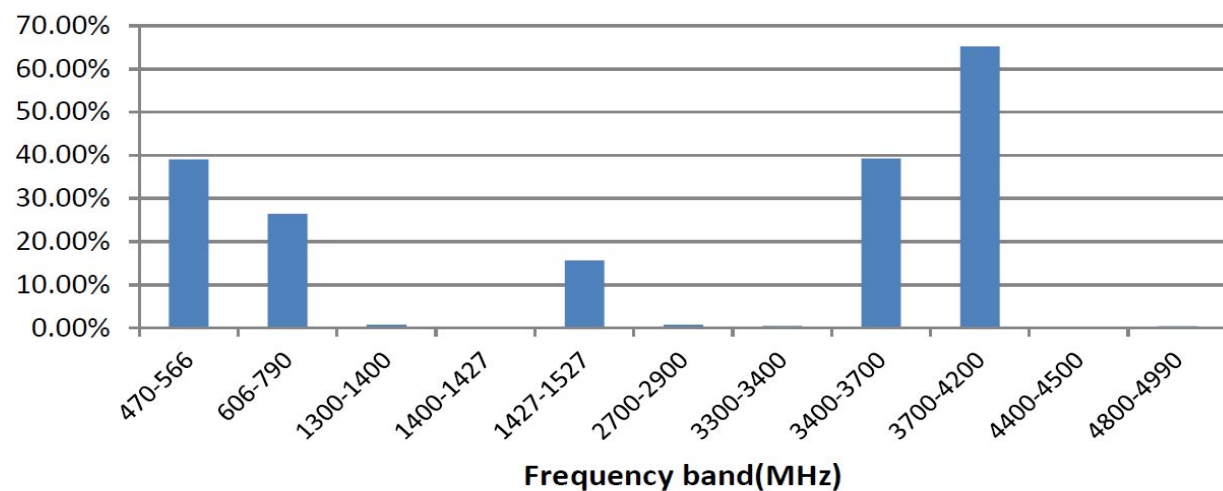
频谱拓展技术



5G无线关键技术（6）-----高频段信号传输技术（3/4）

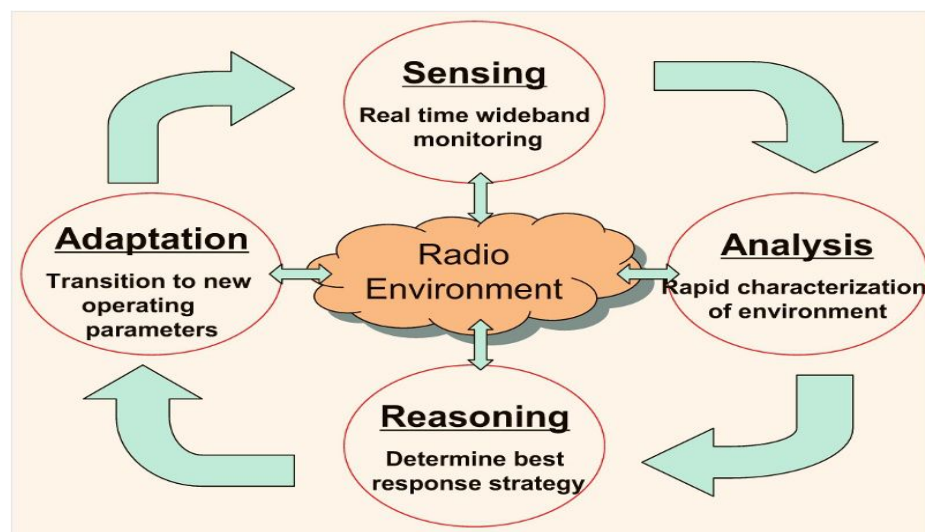
- **认知无线电**——提高已分配频谱的利用效率

Frequency band occupancy



2014年7月，国家无线电监测中心和全球移动通信系统协会发布《450MHz-5GHz关注频段频谱资源评估报告》，给出了北京、成都和深圳等城市部分无线电频谱占用统计数字。

- 统计结果表明，5GHz以下所关注频段大部分的使用率远远小于10%，说明5GHz以下频段使用效率有大量的提升空间。
- 为了提高频谱利用率，未来5G需要采用认知无线电技术

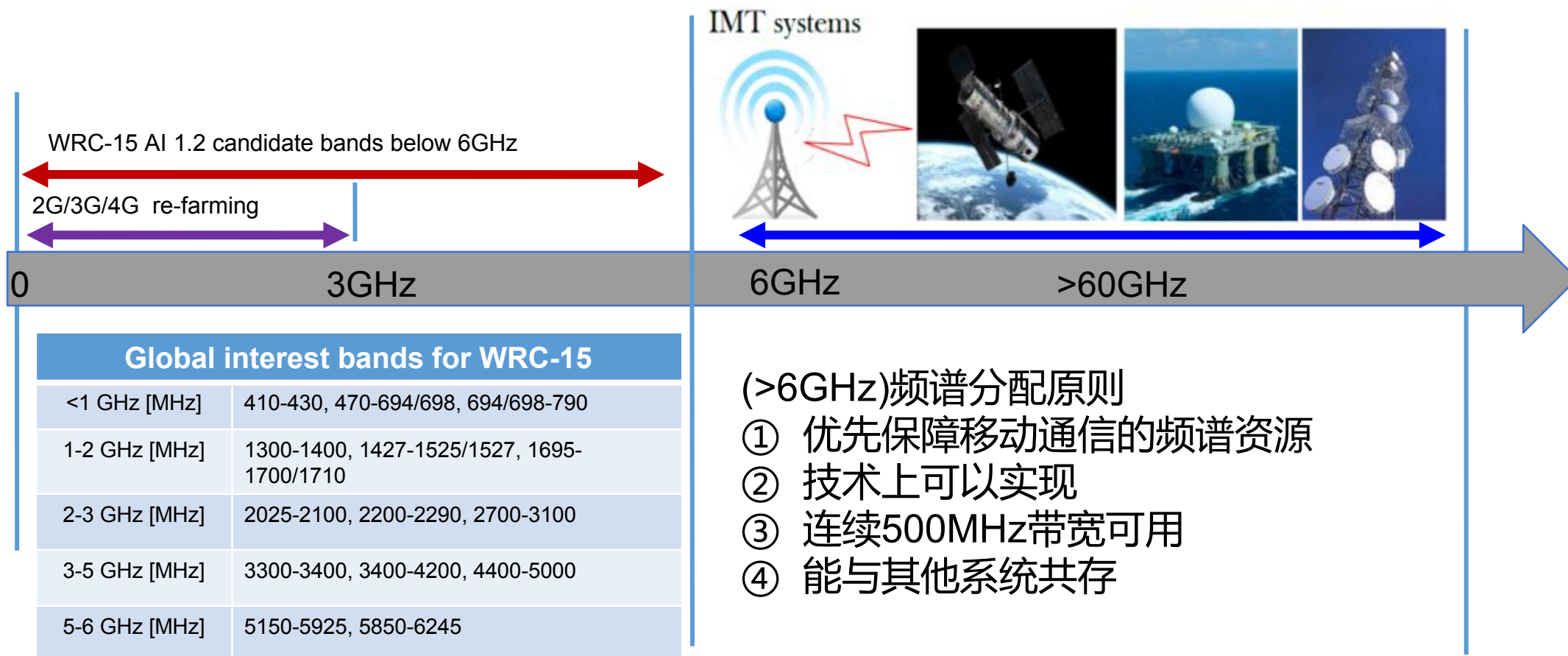




5G无线关键技术（6）-----高频段信号传输技术（4/4）

6GHz以下频谱资源稀缺

6GHz以上频谱资源丰富





5G无线关键技术（7）-----灵活频谱共享技术（1/3）

■ 技术原理

- 新的频谱使用方法，让多个系统共享使用特定频谱，改变了以往固定频谱分配的方式。

■ 主要功能和优势

- 可有效拓展IMT可用频谱约1倍。

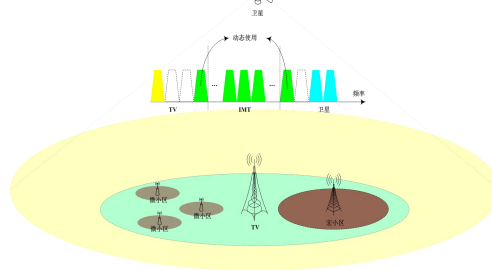
■ 应用场景

- 机会式使用
- 授权共享
- 非授权共享

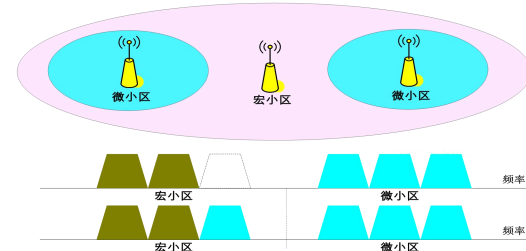
■ 技术方案

- 网络架构、基于数据库共享、SON
- 无线环境检测、动态频率分配、RRM、干扰管理和QoS保证
- 经济和商业模式、无线电规则等

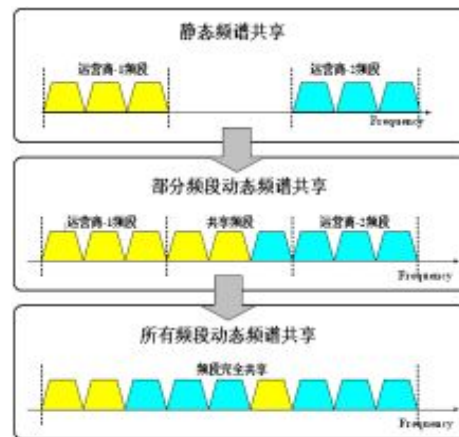
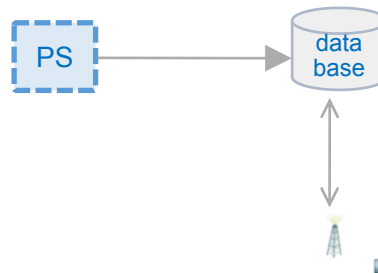
IMT机会式使用其它业务空闲频段



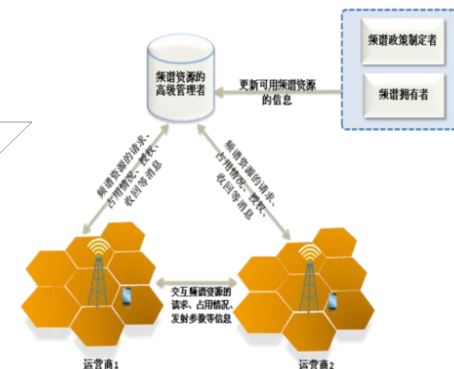
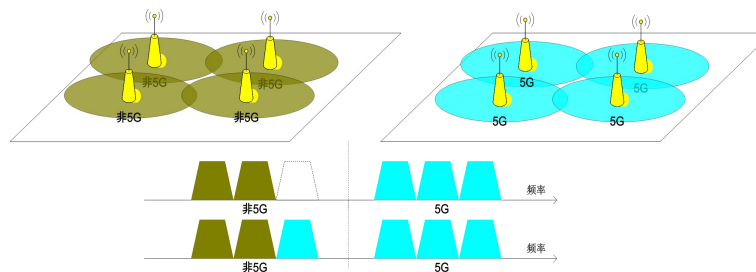
同频段多运营商多RAT共享



IMT共享授权频段



IMT与非授权频段联合使用 (LTE-U)





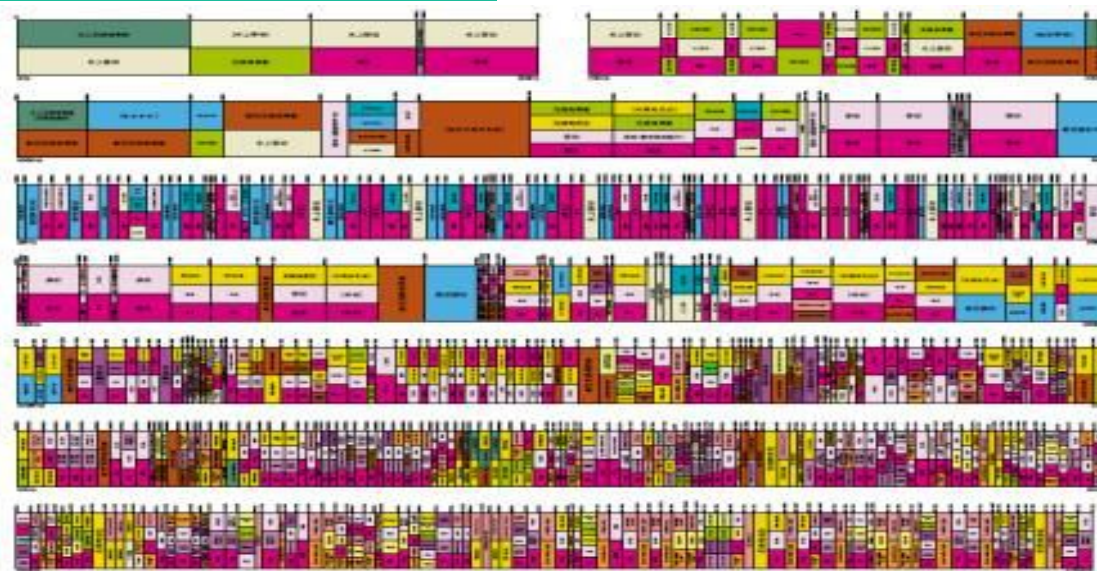
5G无线关键技术（7）-----灵活频谱共享技术（2/3）

❖ 传统静态频谱分配策略

- 行政指派或拍卖方式，静态使用。

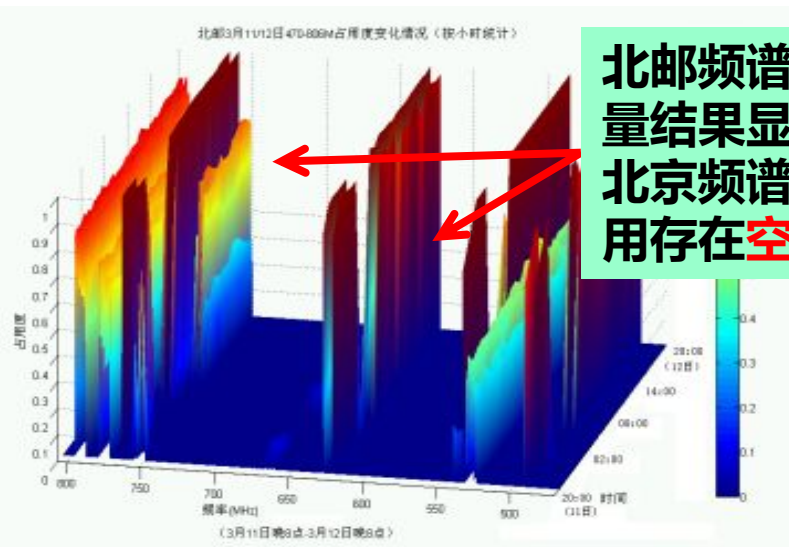
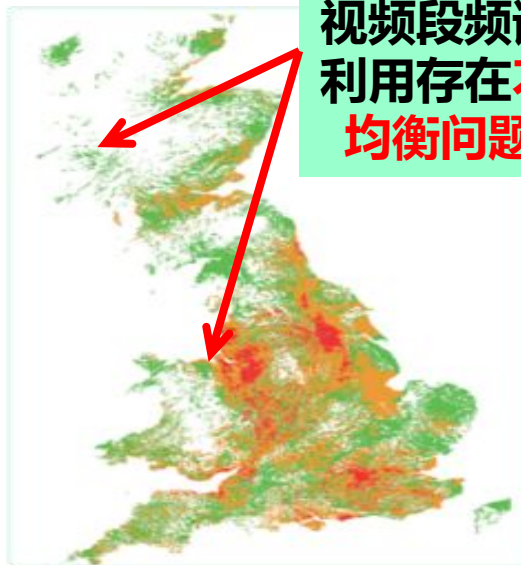
❖ 面临的挑战

- 挑战1：频谱利用存在**不均衡问题**
- 挑战2：存在时-频-空**多维频谱空洞**
- 挑战3：**频谱利用效率较低**

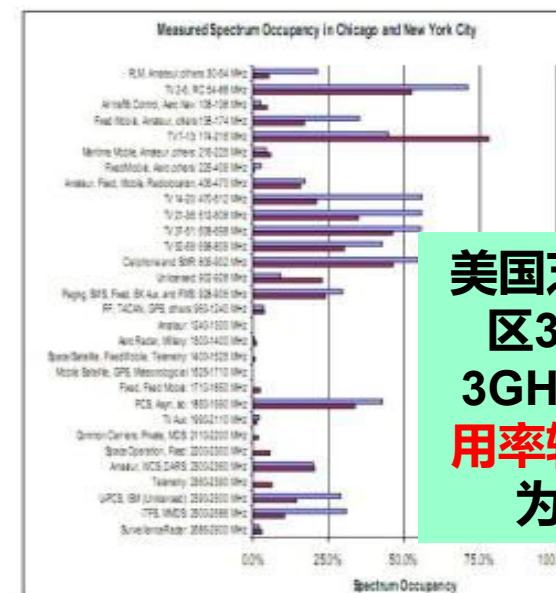


现有频谱分配殆尽

英国广播电视频段频谱利用存在**不均衡问题**



北邮频谱测量结果显示北京频谱利用存在**空洞**

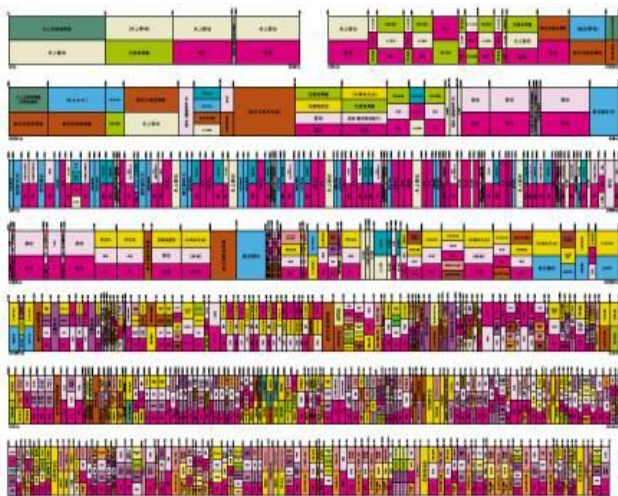


美国芝加哥地区30MHz-3GHz**频谱利用率较低，仅为5.2%**

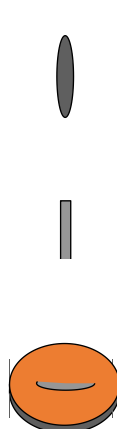


5G无线关键技术（7）-----灵活频谱共享技术（3/3）

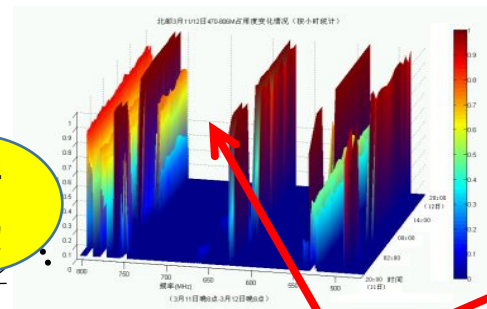
动态频谱分配策略



频谱
紧缺



频谱
浪费



频谱利用**不均衡**，存在**频谱空洞**，
频谱**利用效率低**

频谱紧缺与频谱
浪费是**一对矛盾**，
如何提升频谱利
用效率？



解决方法



动态频谱

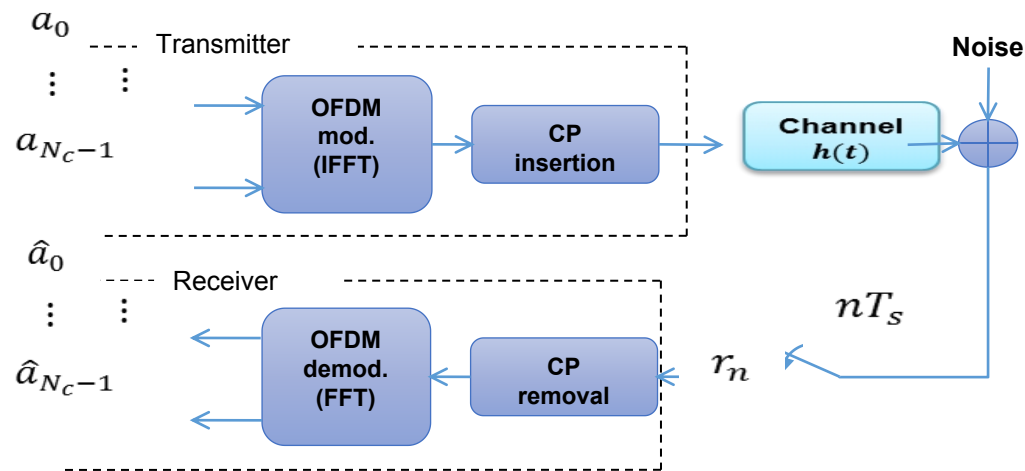
打破传统静态频谱分配方法的局限，
结合**时-频-空多维频谱的动态分配**，
促进频谱资源利用能够**智能化**，
以使其使用更**高效灵活**，从而提
高**频谱利用效率**。



5G无线关键技术（8）----新型传输波形技术（1/2）

• OFDM传输波形技术

- OFDM是当前Wi-Fi和LTE标准中的高速无线通信的主要传信模式



优势

- 频谱利用效率高（与传统FDM相比，提高一倍）
- 抗频率选择性衰落
- 利用FFT/IFFT模块，容易实现

挑战

- 载波频偏导致码间串扰和用户间干扰
- 循环前缀（CP）降低了频效和能效
- 毫米波频段的实现（如超宽带宽、高频功放等）

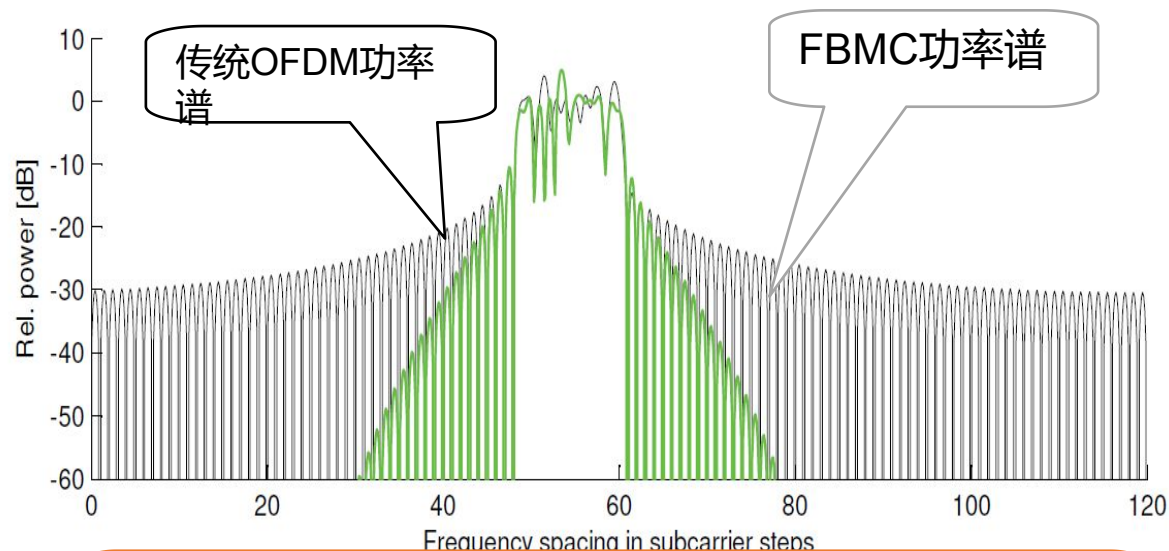
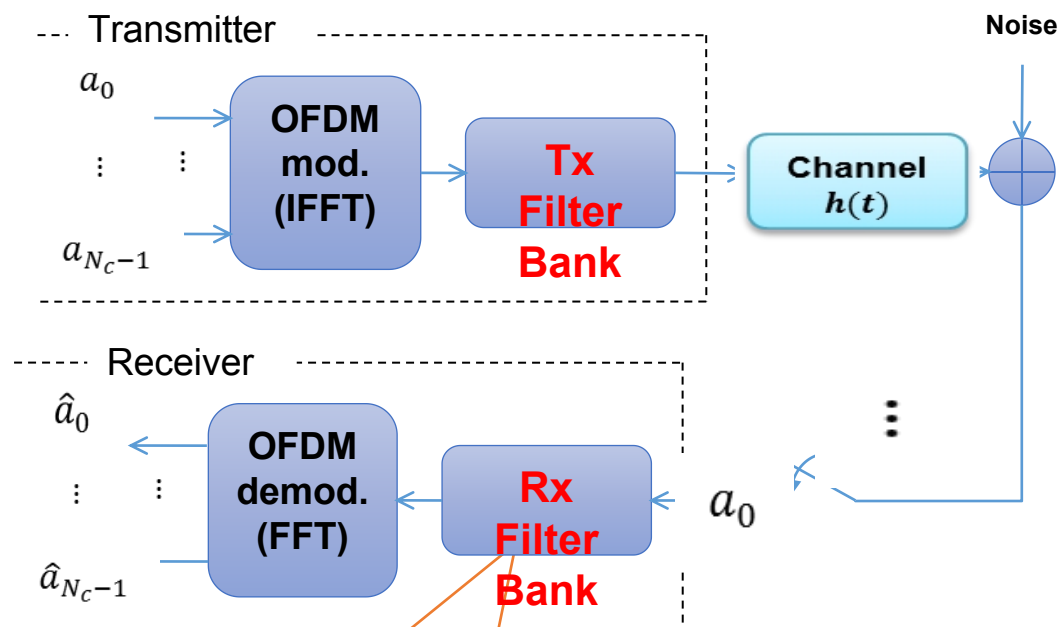
LTE CP配置	子载波间隔	CP长度 T_{cp}	有用符号长度 T_u	CP比例
常规CP	15kHz	5.21 μ	67.7 μ s	7.20%
		4.69 μ s		6.50%
扩展CP	15kHz	16.67 μ s	67.7 μ s	20%

❑ OFDM是未来5G的关键传输波形技术，其性能仍有提升空间



5G无线关键技术（8）----新型传输波形技术（2/2）

- 新型传输波形技术——滤波器组多载波（Filterbank multicarrier：FBMC）



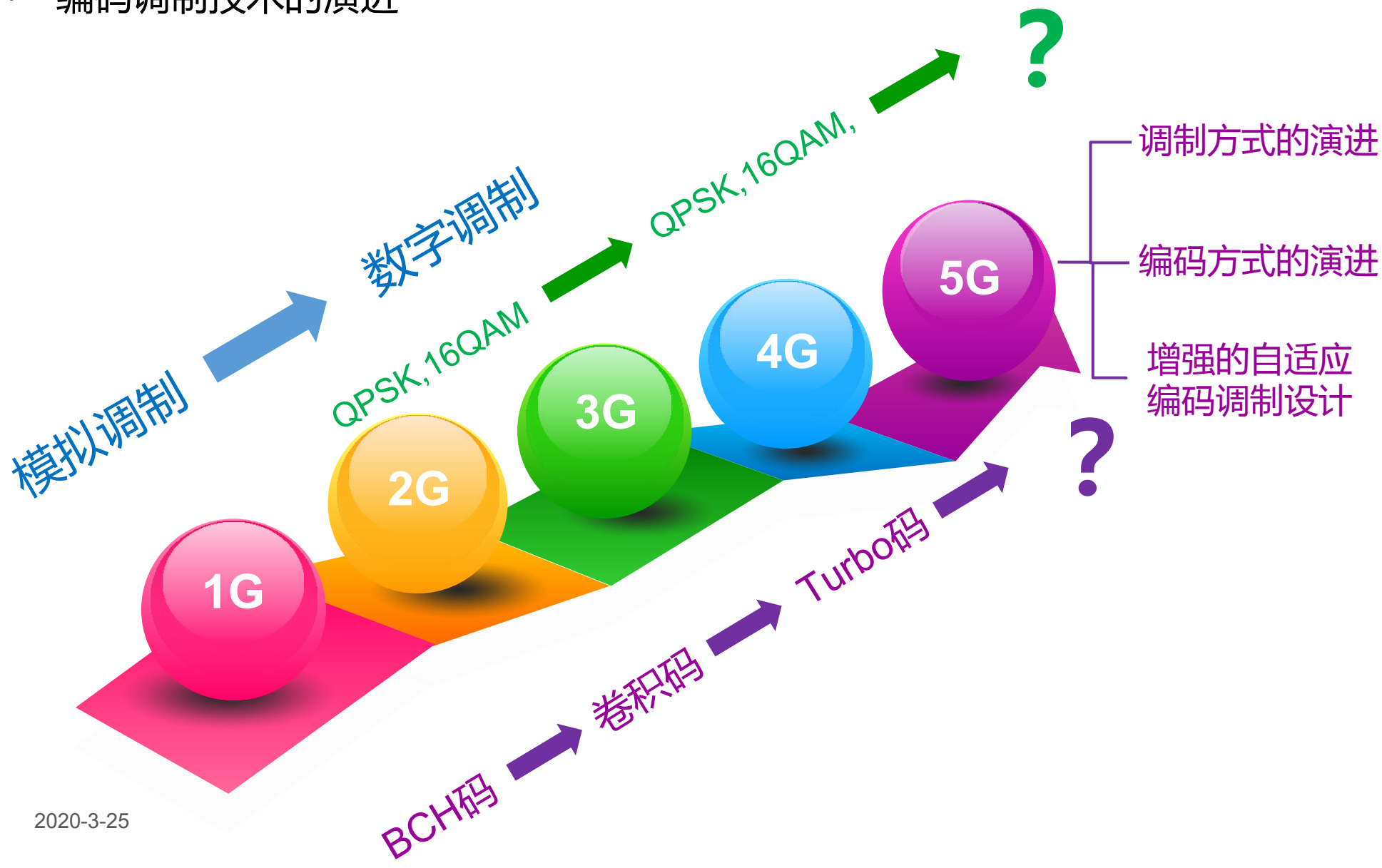
- ◆用滤波器组替代CP
 - ✓对载波频偏不敏感
 - ✓提高了频效和能效

- ✓除了FBMC外，还有多种波形改进技术，如 time-Frequency Packing, sparse code multiple access, generalized frequency division multiplexing等
- ✓各种改进的传输波形技术为5G性能提升提供多样选择



5G无线关键技术（9）----先进编码与调制技术（1/3）

- 编码调制技术的演进

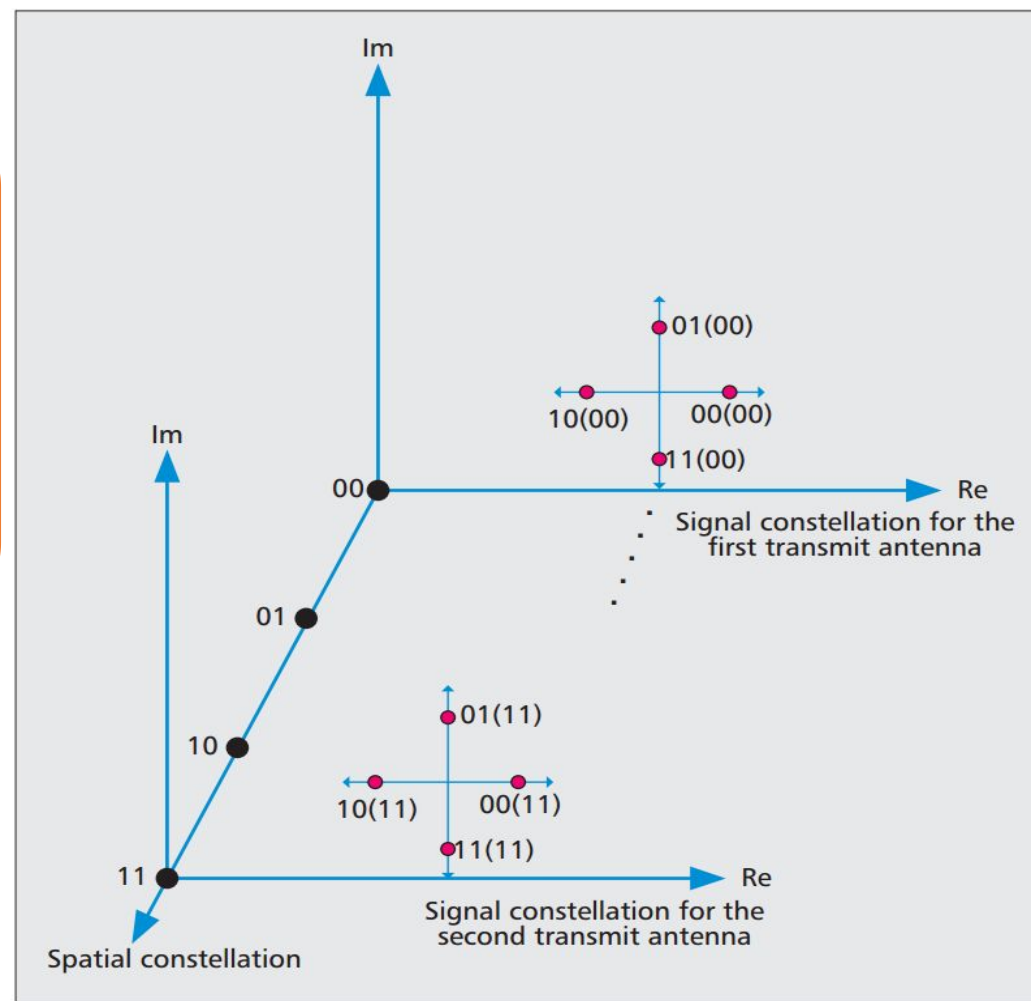
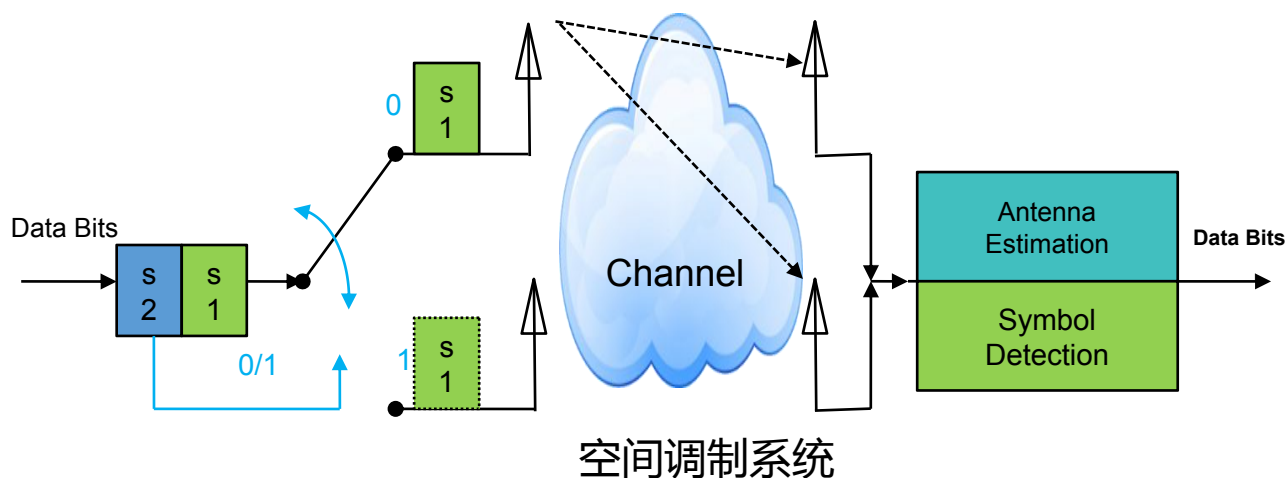




5G无线关键技术（9）----先进编码与调制技术（2/3）

- 空间调制（Spatial Modulation SM）

- 以天线的物理位置来携带部分发送信息比特，将传统二维映射扩至三维映射，提高频谱效率。
- 每时隙只有一根发射天线处于工作状态，避免了信道间干扰与天线同步发射问题，且系统仅需一条射频链路，有效地降低了成本。



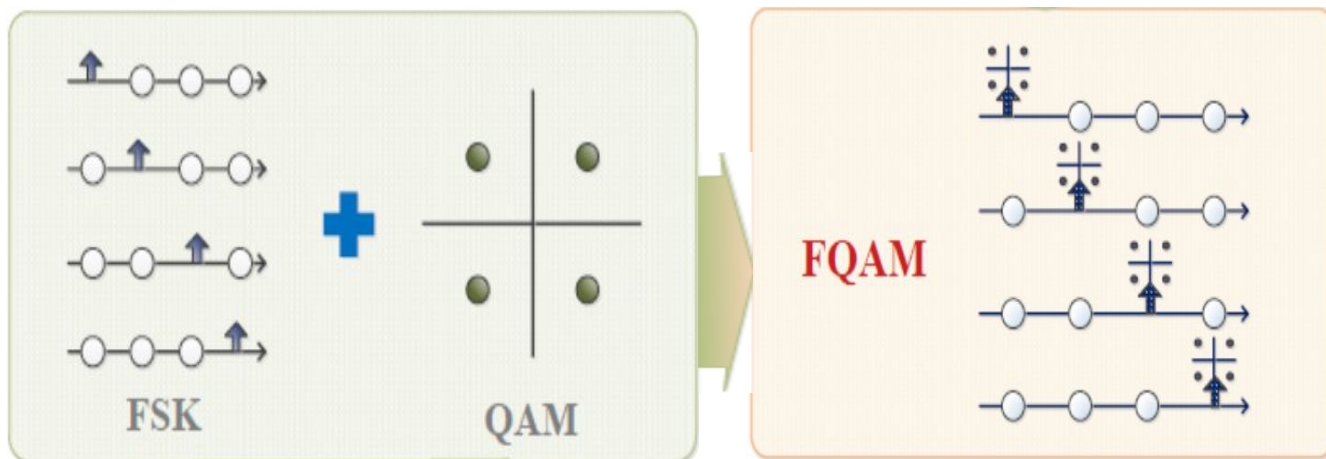
4发射天线QPSK空间调制星座图



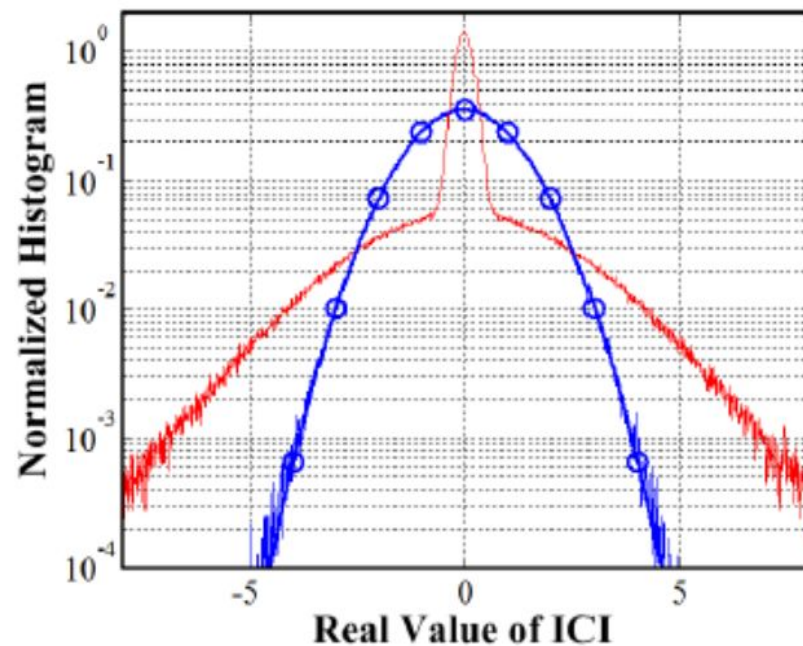
5G无线关键技术（9）----先进编码与调制技术（3/3）

➤ 频率正交幅度调制（Frequency Quadrature-amplitude Modulation:FQAM）

- ❑ 将频移键控（FSK）与正交幅度调制（QAM）相结合，提高频谱效率。
- ❑ 用于多小区下行链路中，能够提高小区边缘用户的通信质量。



根据信息论，非高斯干扰可实现更高传输速率



- QAM (Blue) : Gaussian
- FQAM (Red) : Non-Gaussian

课程总结

1、5G主要关键技术

- ◆ 双工技术:灵活双工、全双工
- ◆ 超密集组网:
- ◆ 物联网设计:
- ◆ 高频信号传输技术: 认知无线电、毫米波、可见光通信
- ◆ 灵活频谱共享技术: 多个系统共享特定频谱
- ◆ 新型传输波形技术: **FBMC** (滤波器组多载波)
- ◆ 先进编码调制技术: 空间调制、**FQAM**调制

1. 5G系统标准发展概述

2. 5G系统核心能力指标

3. 5G系统关键无线技术

4. 5G系统新型网络架构

5. 5G系统重要网络技术

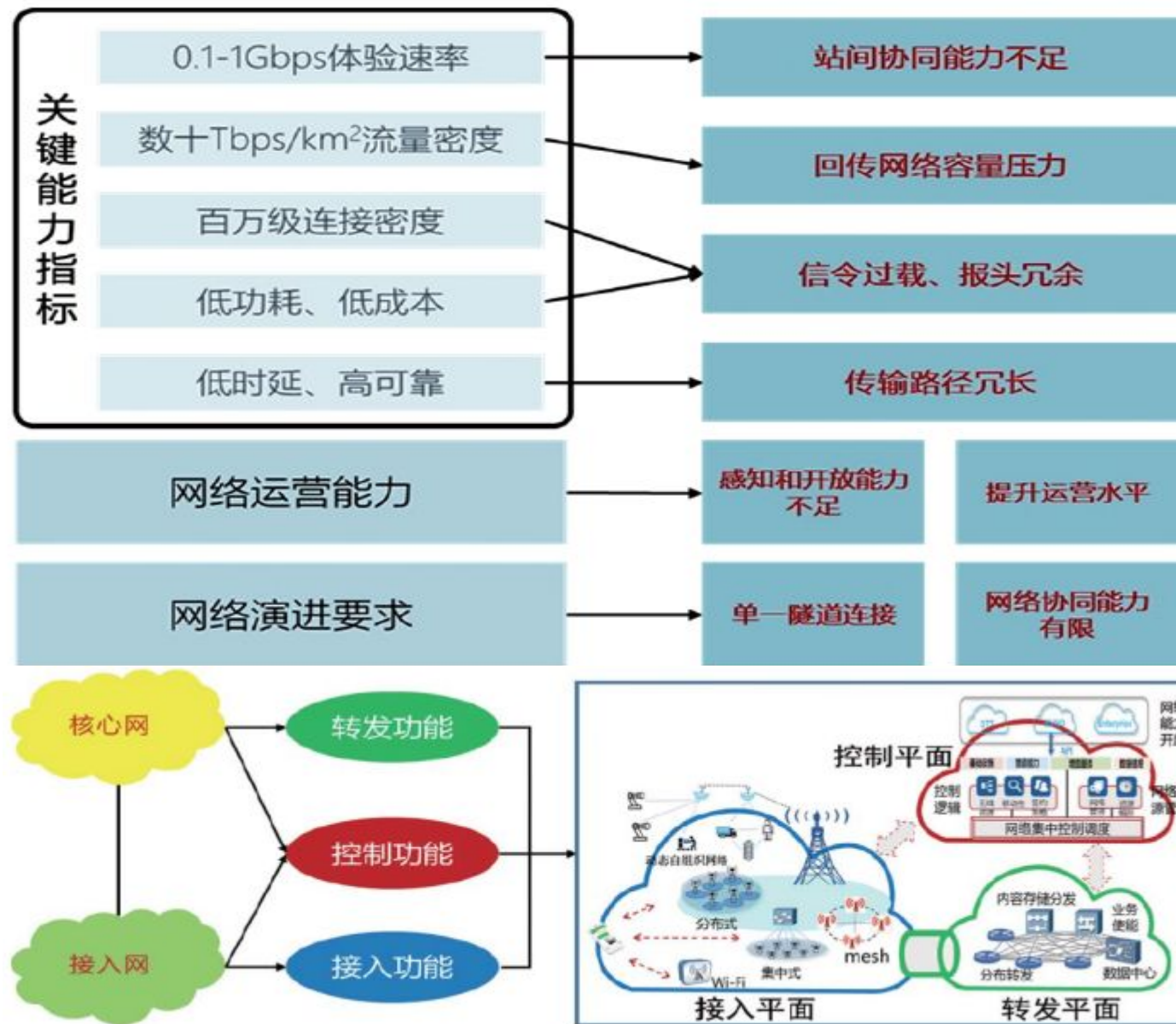
6. 5G系统特色业务应用

课程介绍

- 1、5G网络架构构成
- 2、5G网络三大模块主要功能
- 3、5G网络架构关键技术



5G新型网络架构（1）



● 网络功能虚拟化NFV

硬件与软件分离

网络使用x86架构的通用设备

部署灵活快速

● 软件定义网络SDN

控制与转发进一步分离

快速高效自组网、拓扑快速重构

感知并调度资源、网络连接可编程

● 接入平面

统一的多无线接入技术融合

无线资源调度与共享

● 控制平面

控制集中化、简单化

服务差异化、开放化

● 转发平面

用户面下沉分布式网关

移动边缘内容与计算



5G新型网络架构关键技术（2）

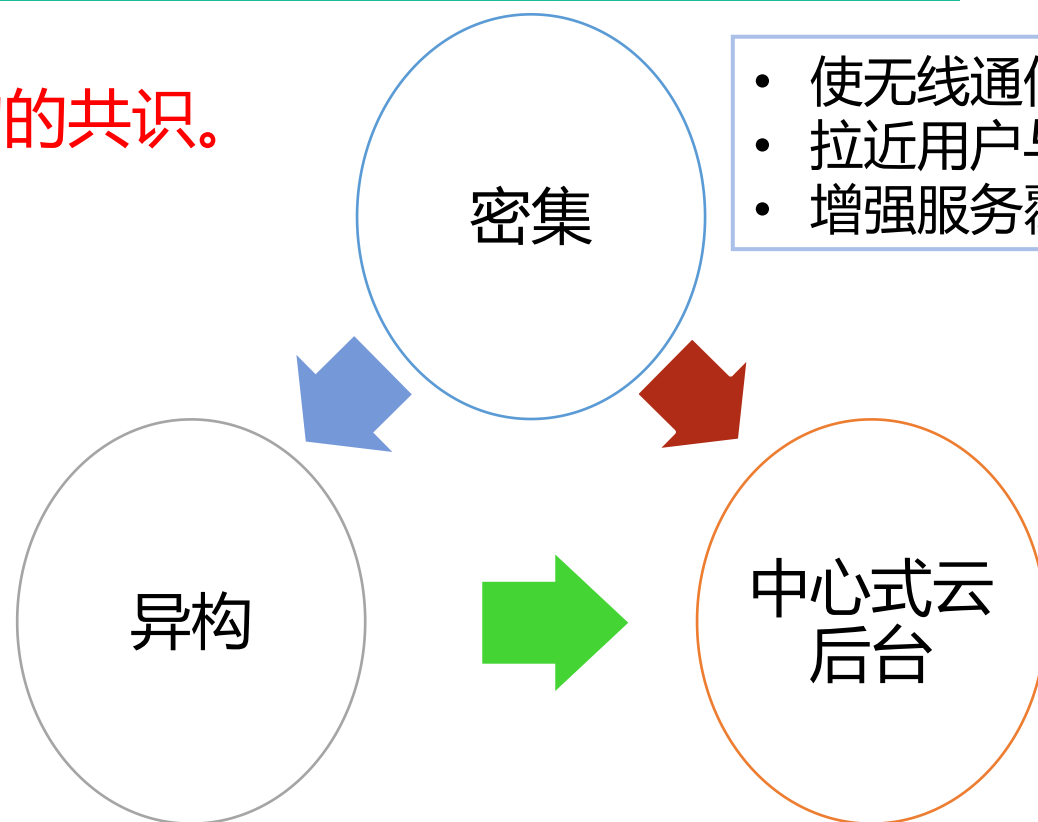
未来5G网络将向**性能更优质、功能更灵活、运营更智能、网络更友好**的方向发展。





5G新型网络架构关键技术（3）

- 5G网络整体架构的共识。



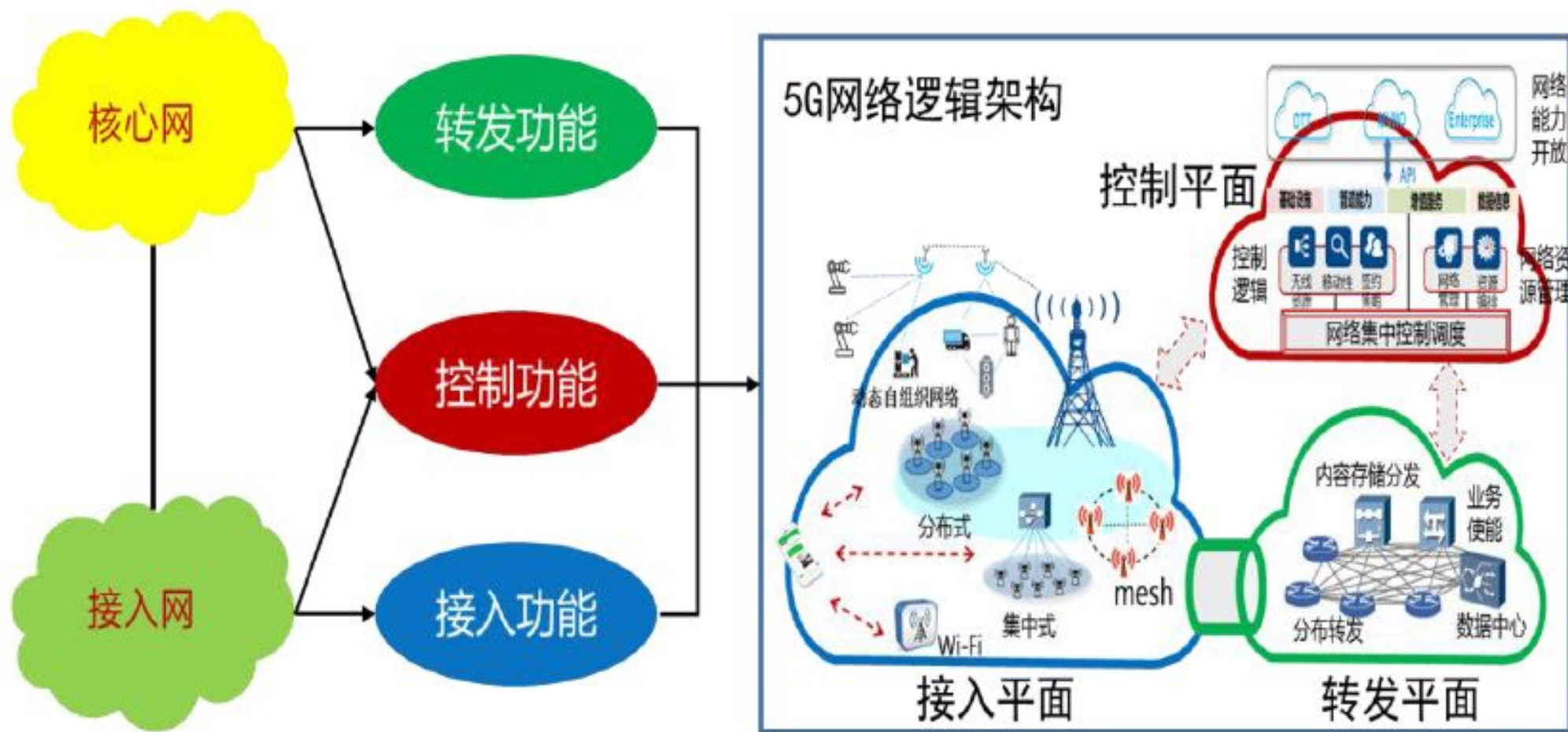
- 使无线通信回归到“最后一公里”
- 拉近用户与天线的距离，提高速率
- 增强服务覆盖面积

- 大量不同级小区重叠（Macro、Micro、Pico、Femto）
- 不同制式的网络重叠（Cellular、Wi-Fi、D2D、CR、M2M）

- Remote Radio Head（RRH）与基带处理单元分离
- SDN网络实现协议接口
- 基带信号资源的集中化管理与调度



5G新型网络架构关键技术（4）



接入网和核心网的逻辑功能界面清晰，但是部署方式却更加灵活，甚至可以融合部署。



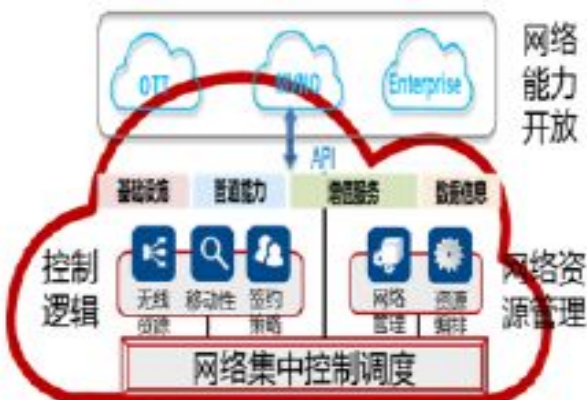
5G新型网络架构关键技术（5）

5G网络功能特性



接入平面

- 提升小区干扰协调能力
- 提高无线资源利用率
- 提升差异化服务能力
- 多样组网拓扑



控制平面

- 控制功能集中，全局调度
- 按需功能编排
- 网络能力开放



转发平面

- 网关功能简化
- 分布式部署
- 低时延、高带宽的业务体验

关键技术

- Mesh与动态自组织网络
- 无线资源调度与共享
- 无线网络感知与处理
- 定制化部署和服务

统一多接入融合

- 控制功能重构
- 新型连接管理和移动性管理
- 网络能力开放平台与接口

按需组网

- 网关控制转发分离
- 网络边缘缓存与计算



5G新型网络架构关键技术（6）

C-RAN

➤云架构

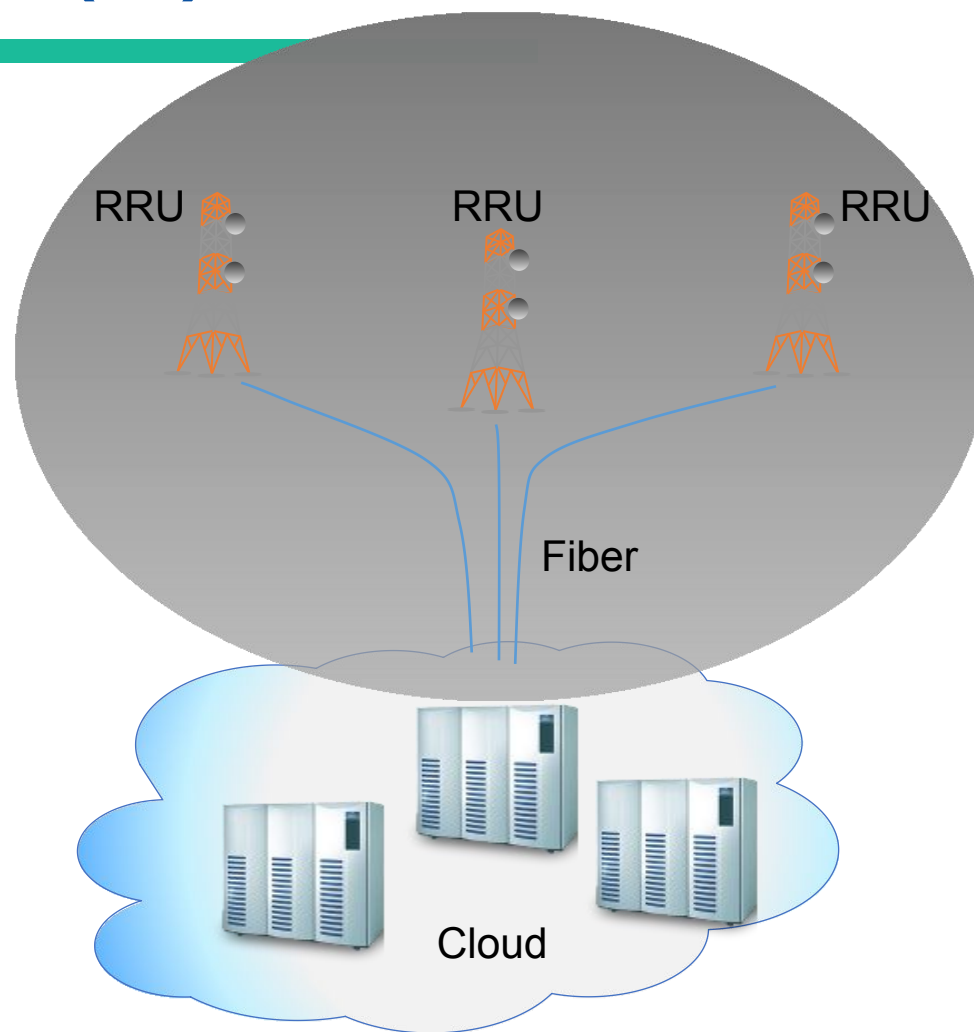
- RRU替代物理基站
- 光纤互联
- 中心式处理

➤高性能

- 多点协作接入
- 实时信息处理

➤低成本

- 低建设成本
- 低维护成本



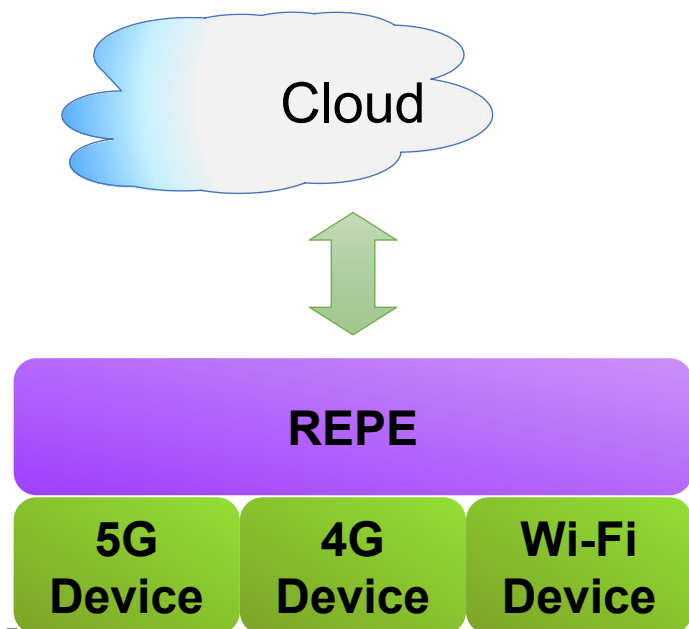
C-RAN 无线接入网绿色演进白皮书 (v2.5) , 2011



网络设备虚拟化

资源开放协议（REP）

- 开放式设备接口协议
- 资源描述协议
- 资源租赁协议



➤ 设备动态租用

- 利用设备空闲资源
- 避免重复建设

➤ 前向兼容，平滑过渡

- 现有应用保持不变
- 现有设备保持不变

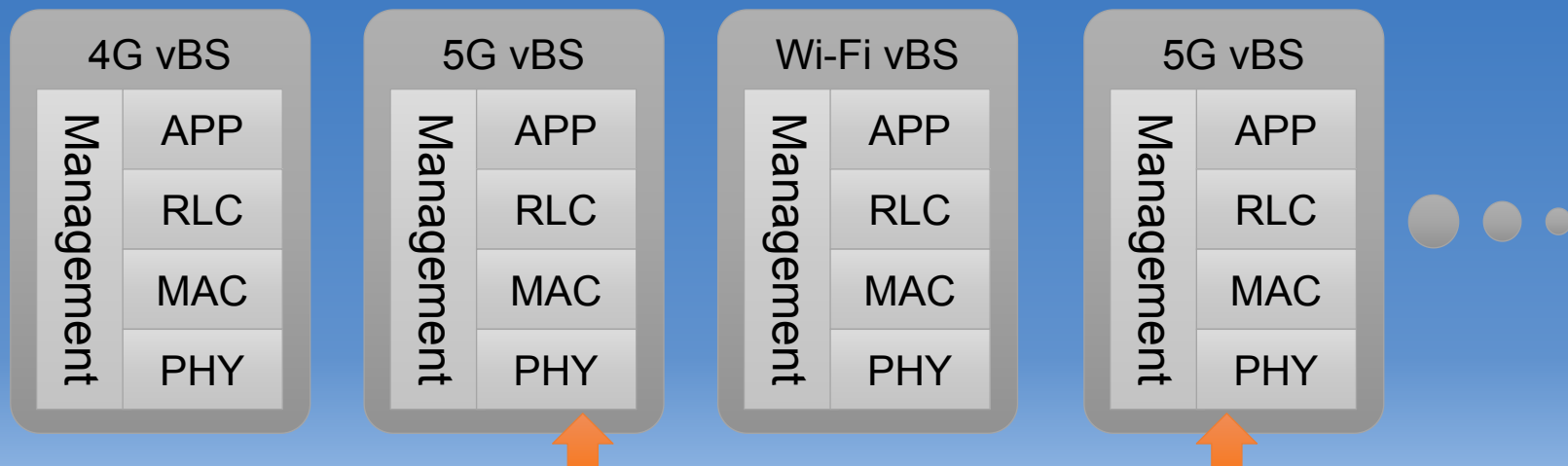
➤ 全网优化基础

- 全频段调度
- 负载均衡



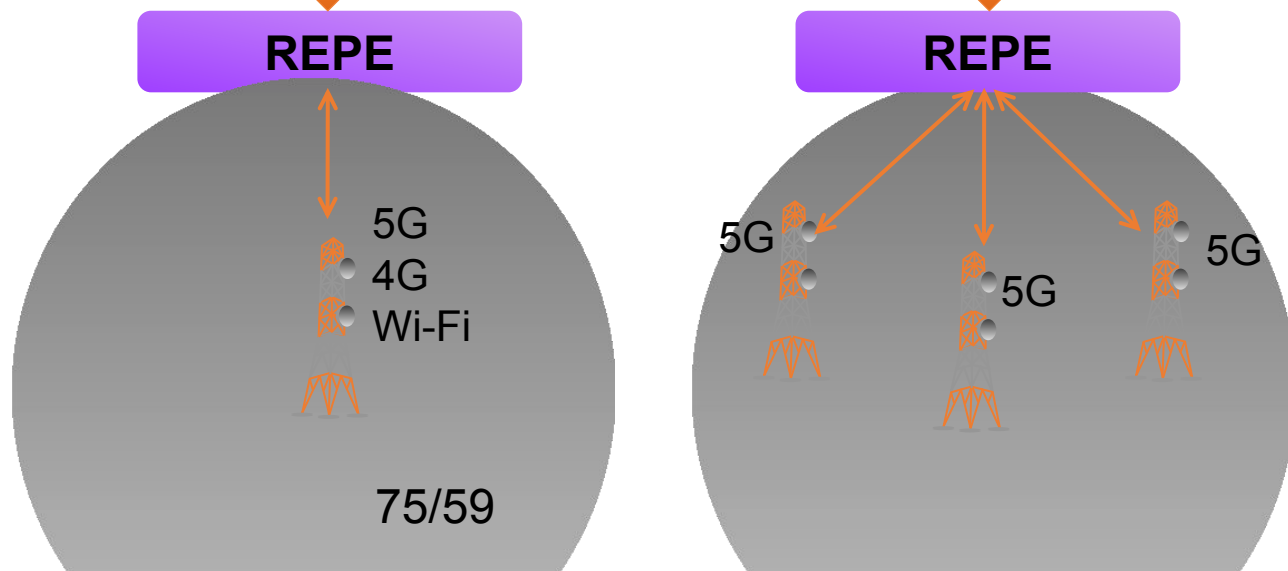
5G新型网络架构关键技术（8）

Virtual BS Pool



网络结构虚拟化

云端的虚拟基站集群构成虚拟网络，利用SDN技术动态优化网络结构。



课程总结

1、5G网络架构

- ◆ 接入平面、控制平面、转发平面

2、5G网络主要功能

- ◆ 接入平面：多无线接入技术融合
- ◆ 控制平面：控制集中化、简单化
- ◆ 转发平面：用户面下沉分布式网关

3、5G网络架构关键技术

- ◆ C-RAN:接入云
- ◆ 资源开放协议（REP）：云端的虚拟基站集群构成虚拟网络，利用SDN技术动态优化网络结构。

1. 5G系统标准发展概述

2. 5G系统核心能力指标

3. 5G系统关键无线技术

4. 5G系统新型网络架构

5. 5G系统重要网络技术

6. 5G系统特色业务应用

课程介绍

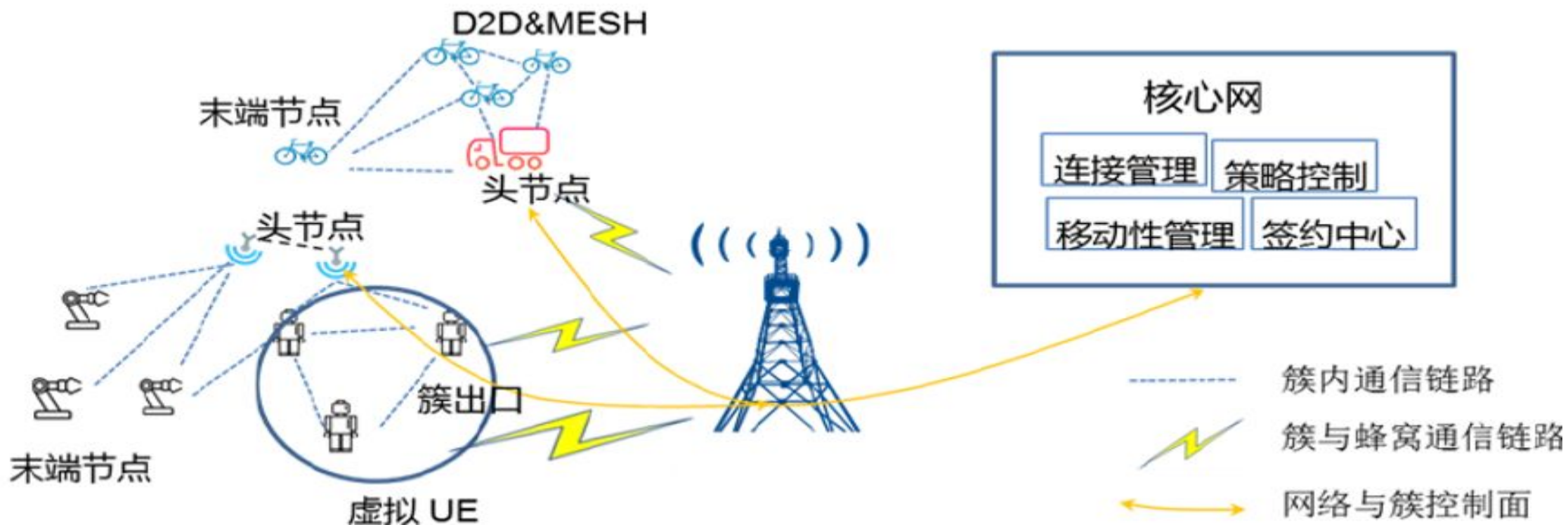
1、5G网络架构关键技术

- ◆ 无线mesh与动态自组网络
- ◆ 无线资源调度与共享
- ◆ 定制化部署和服务
- ◆ 统一的无线接入技术融合
- ◆ 控制能力重构
- ◆ 网络能力开放
- ◆ 按需组网
- ◆ 网络边缘缓存与计算



5G新型网络架构关键技术（1）无线mesh与动态自组网络

- 动态自组织网络技术是在5G蜂窝网络授权和控制下，在本地可以将基站、终端以及各种新型的末端节点动态的组成网络，弥补传统蜂窝架构在组网灵活性方面的不足。另外还可以通过组建动态自组织网络，实现设备间通信，提升网络频谱效率。
- 动态自组织网络应用场景包括：
 - 针对低时高可靠场景，降低端到端时延，提高传输可靠性；
 - 针对低功耗大连接场景，延续网络覆盖和接入能力；
 - 适应灾难等应急场景，提高网络的可靠性。





5G新型网络架构关键技术（2）无线资源调度与共享



分簇化集中控制

- 实现多小区联合的无线资源动态分配与智能管理
- 实现以用户为中心的无线资源动态调配与智能管理，形成跨多小区的数据自适应分流和动态负载均衡
- 可以灵活部署于不同网络物理节点中
- 对于分布式部署场景，实现多点协作

无线网络资源虚拟化

- 对于无线资源、无线接入网平台资源和传输资源进行灵活共享与切片，构建适应不同应用场景需求的虚拟无线接入网络
- 不同的虚拟无线网络之间保持严格的资源隔离

无线资源：

- 时域
- 频域
- 空域
- 码域
- 功率域等

调度与共享方式：

- 分簇化集中控制
- 无线网络资源虚拟化
- 频谱共享

频谱共享

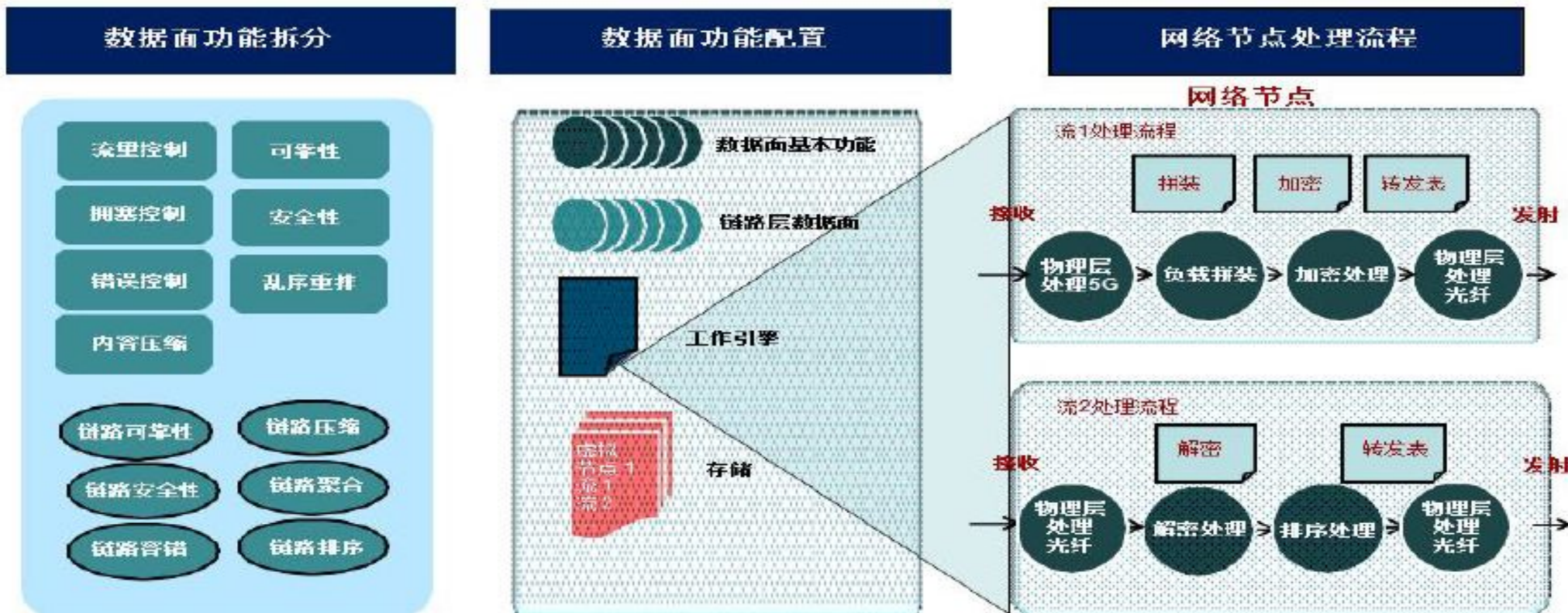
- 动态使用不同无线接入的频谱资源
- 接入点可以独立或基于数据控制频谱资源共享与灵活调度
- 同系统或异系统间频率共享



5G新型网络架构关键技术（3）定制化部署和服务

软件定义的协议栈

- 基于软件和硬件解耦、数据面和控制面解耦，重新定义可灵活适配的协议栈。
- 将PHY层、MAC层、RLC层、PDCP层、RRC层、NAS层以及应用层分解，抽象出调制、编码、复用、重传、加密、压缩、以及应用层内容聚合、ULR过滤等模块，根据业务定制整合成不同的协议栈。
- 需要设计良好的控制面，满足无线协议栈处理的时延要求和空口性能。
- 5G无线网络融合多种制式，可控模块参数将变得异常庞大，高效的流表查询算法是实现定制化部署和服务的关键

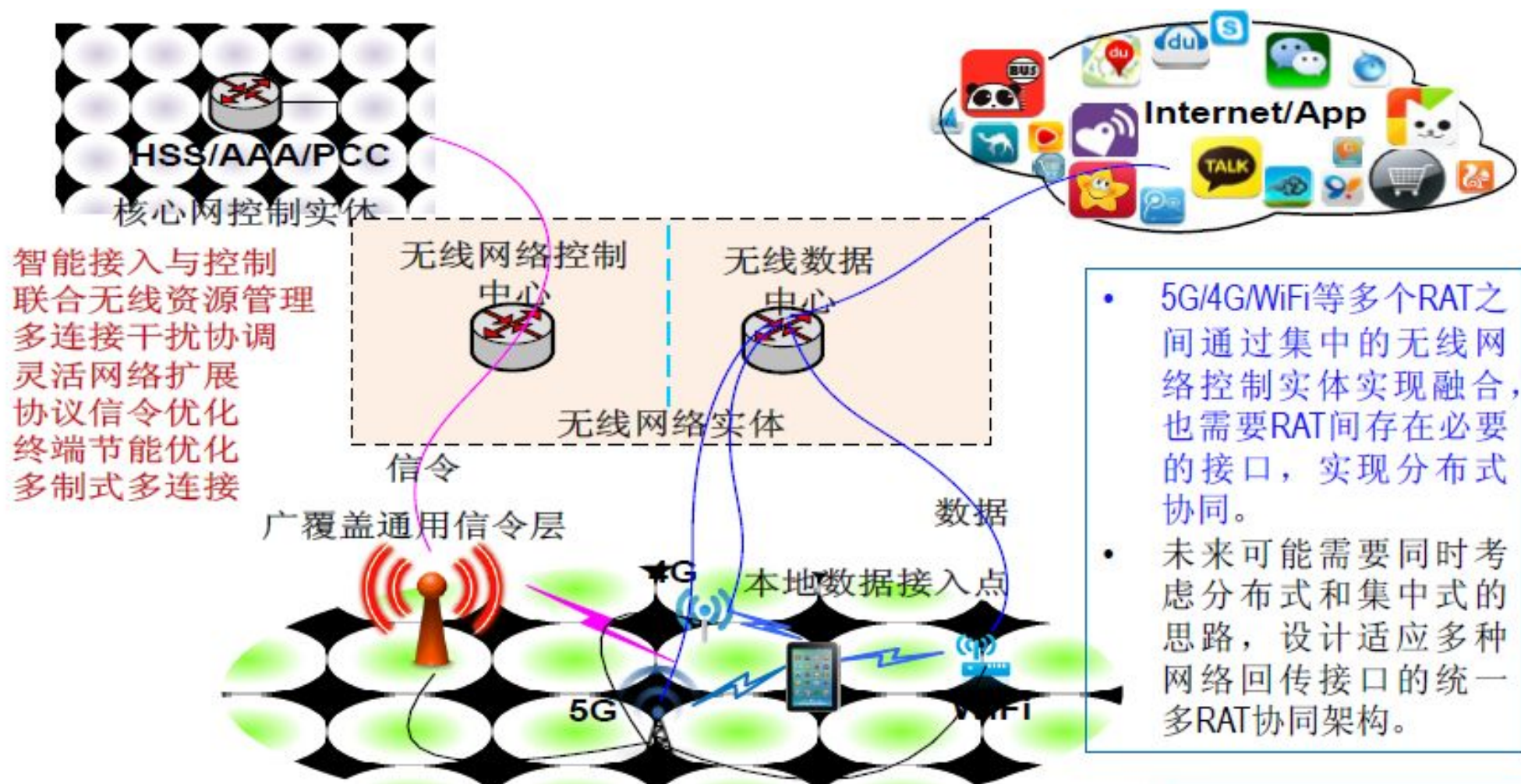




5G新型网络架构关键技术（4）统一的无线接入技术融合

技术来源

- 多种无线接入技术长期共存是各运营商面临的普遍问题。
- 如何协同使用各种无线技术，提升网络整体运营效率和用户体验，是多RAT 协同技术所需要解决的问题

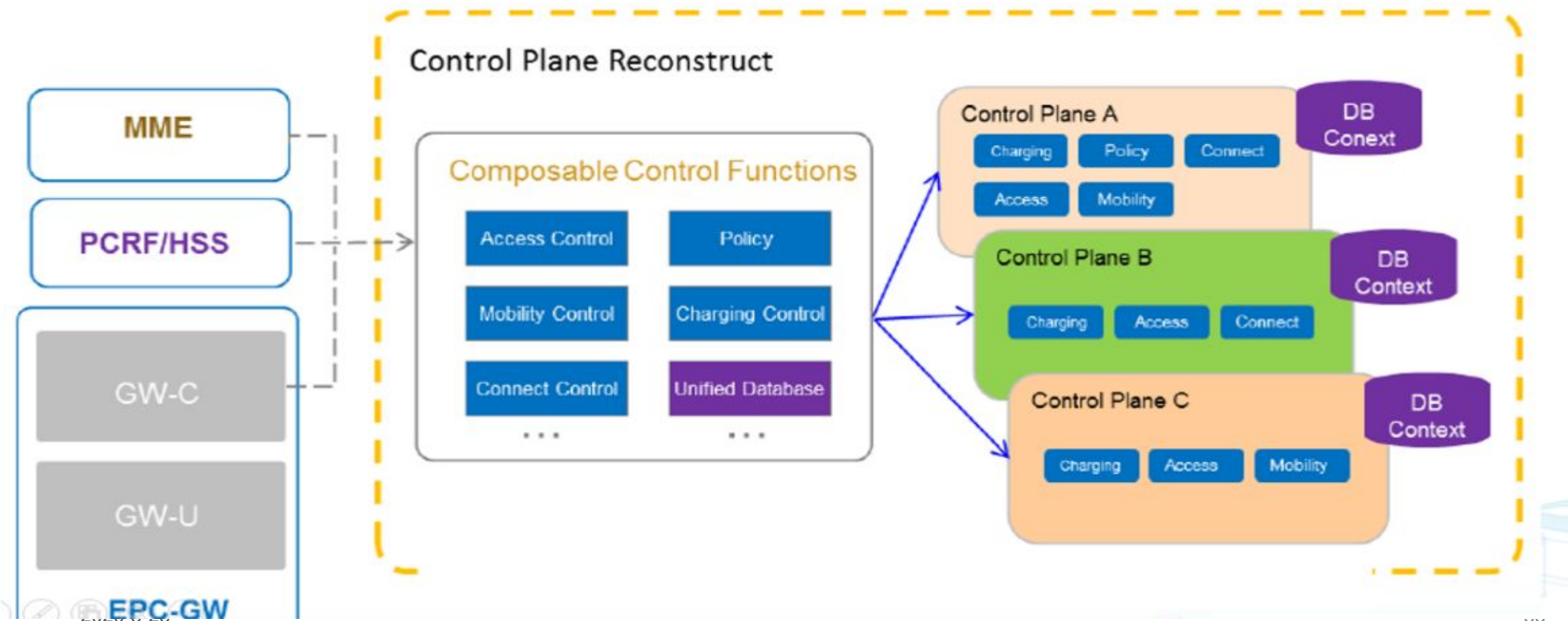




5G新型网络架构关键技术（5）控制能力重构

技术来源

控制功能重构是指控制面功能拆分成独立处理逻辑的功能模块，再根据不同的应用场景进行组合以形成不同的核心网控制面，从而提高网络的灵活性、智能性、鲁棒性，降低网络成本，使网络能够快速演进满足新业务的需求。





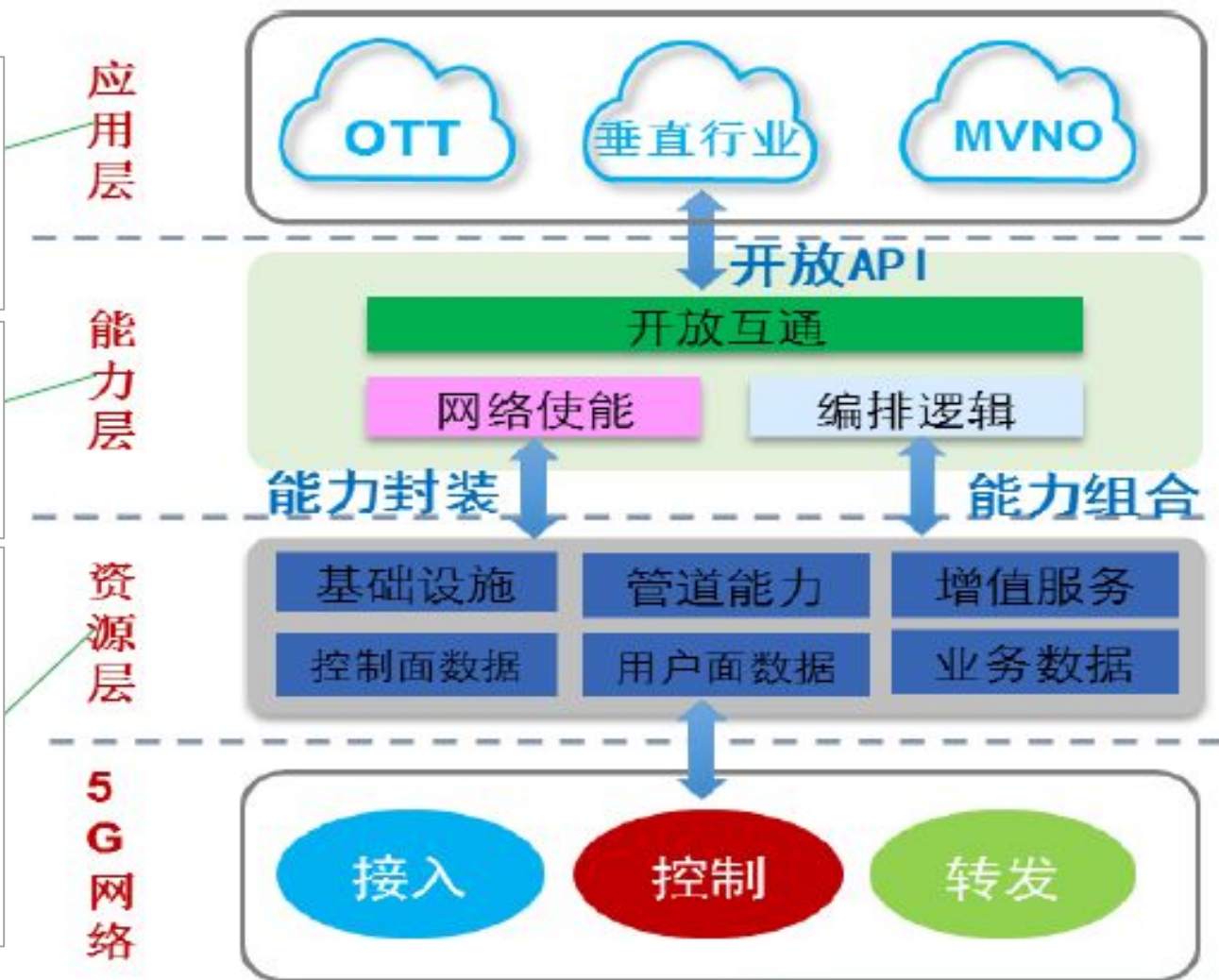
5G新型网络架构关键技术（6）网络能力开放

- 网络能力开放的目的在于实现向第三方应用服务提供商提供所需的网络能力。
- 其基础在于移动网络中各个网元所能提供的网络能力，包括用户位置信息、网元负载信息、网络状态信息和运营商组网资源等，而运营商网络需要将上述信息根据具体的需求适配，提供给第三方使用。

- 能力开放的需求方。
- 利用API接口筛选所需的网络信息，调度管道资源，申请增值业务，构建专用的网络切片。

- 对资源层网络信息的汇聚和分析
- 进行网络原来能力的封装和按需组合编排
- 生成相应的开放API接口

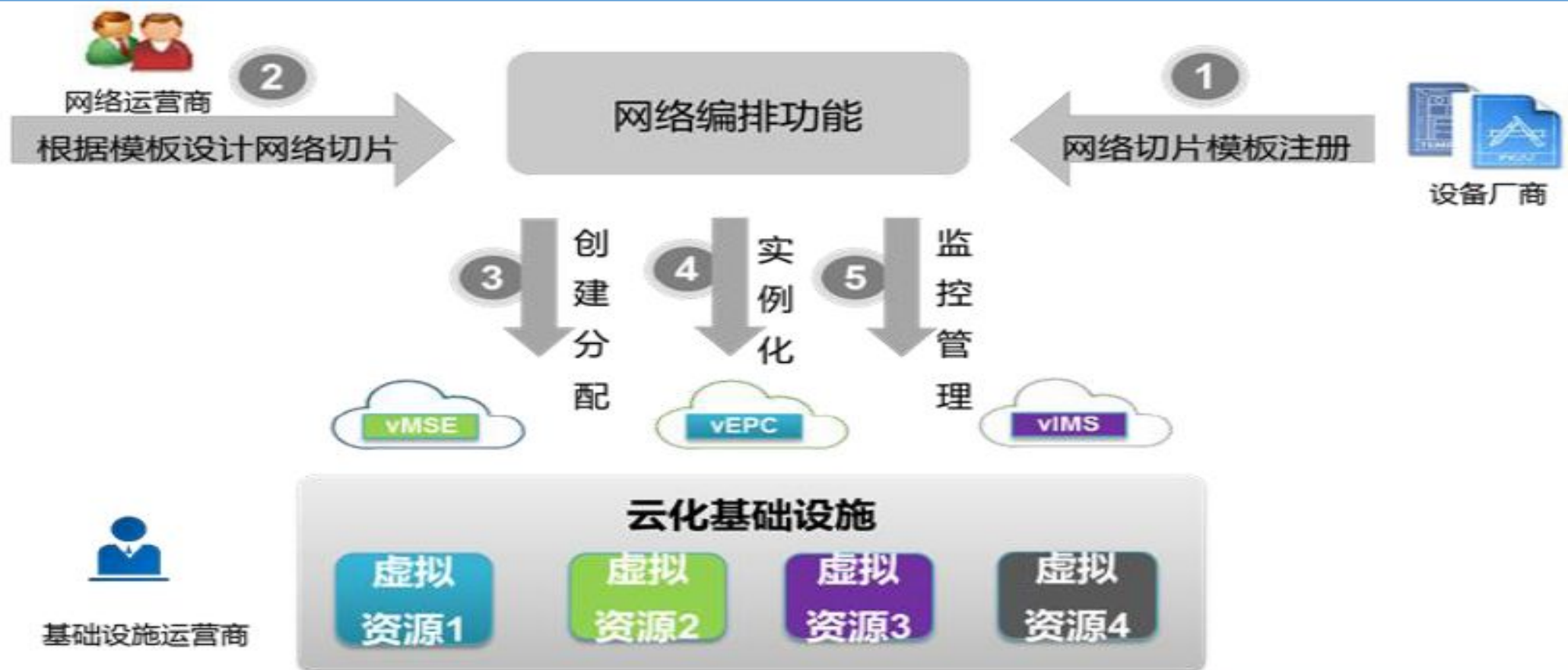
- 实现网络能力开放架构与5G网络的交互
- 完成对底层网络资源抽象定义，整合上层信息感知需求，设定网络内部的监控设备位置，上报数据类型和事件门限等策略。
- 将上层制定的能力调用逻辑映射为对网络资源按需编排的控制信令。





5G新型网络架构关键技术（7）按需组网

- 多样化的业务场景对5G网络提出了多样化的性能要求和功能要求。
- 5G核心网应具备向业务场景适配的能力，针对每种5G业务应用提供恰到好处的网络控制功能和性能保证，实现按需组网的目标。
- 按需组网包含两个方面，一方面根据业务场景的需要进行网络切片，另一方面根据业务量进行网络资源按需分配。





5G新型网络架构关键技术（8）网络边缘缓存与计算

- 新兴的智能应用，如智能家居、增强现实、移动办公、物联网和移动游戏等。
- MECC在靠近移动用户的位置上提供IT服务环境和云计算能力，并将业务存储和存储分发能力推送到靠近用户侧（如基站）使应用、服务和内容部署在高度分布的环境中，从而可以更好的支持5G网络中低时延和高带宽的业务要求。
- MECC还可以开放实时的无线网络信息，为移动用户提供个性化、上下文 相关的体验。



课程总结

1、5G网络架构关键技术

- ◆ 无线mesh与动态自组网络：mesh（网状/多跳）
- ◆ 无线资源调度与共享
- ◆ 定制化部署和服务：软件定义协议栈
- ◆ 统一的无线接入技术融合：多个RAT间通过集中无线网络控制实现融合
- ◆ 控制能力重构：控制功能重构是指控制面功能拆分成独立处理逻辑的功能模块，再根据不同的应用场景进行组合以形成不同的核心网控制面。
- ◆ 网络能力开放：实现向第三方应用服务提供商提供所需的网络能力。
- ◆ 按需组网：一方面根据业务场景的需要进行网络切片，另一方面根据业务量进行网络资源按需分配。
- ◆ 网络边缘缓存与计算：MECC在靠近移动用户的位置上提供IT服务环境和云计算能力，并将业务存储和存储分发能力推送到靠近用户侧（如基站）使应用、服务和内容部署在高度分布的环境中，从而可以更好的支持5G网络中低时延和高带宽的业务要求。

1. 5G系统标准发展概述

2. 5G系统核心能力指标

3. 5G系统关键无线技术

4. 5G系统新型网络架构

5. 5G系统重要网络技术

6. 5G系统特色业务应用

课程介绍

- 1、5G主要业务
- 2、业务与场景选择原则
- 3、物联网业务与用户需求
- 4、5G有挑战的八大场景
- 5、5G典型业务
- 6、业务与应用面临的挑战
- 7、国际厂商技术发展

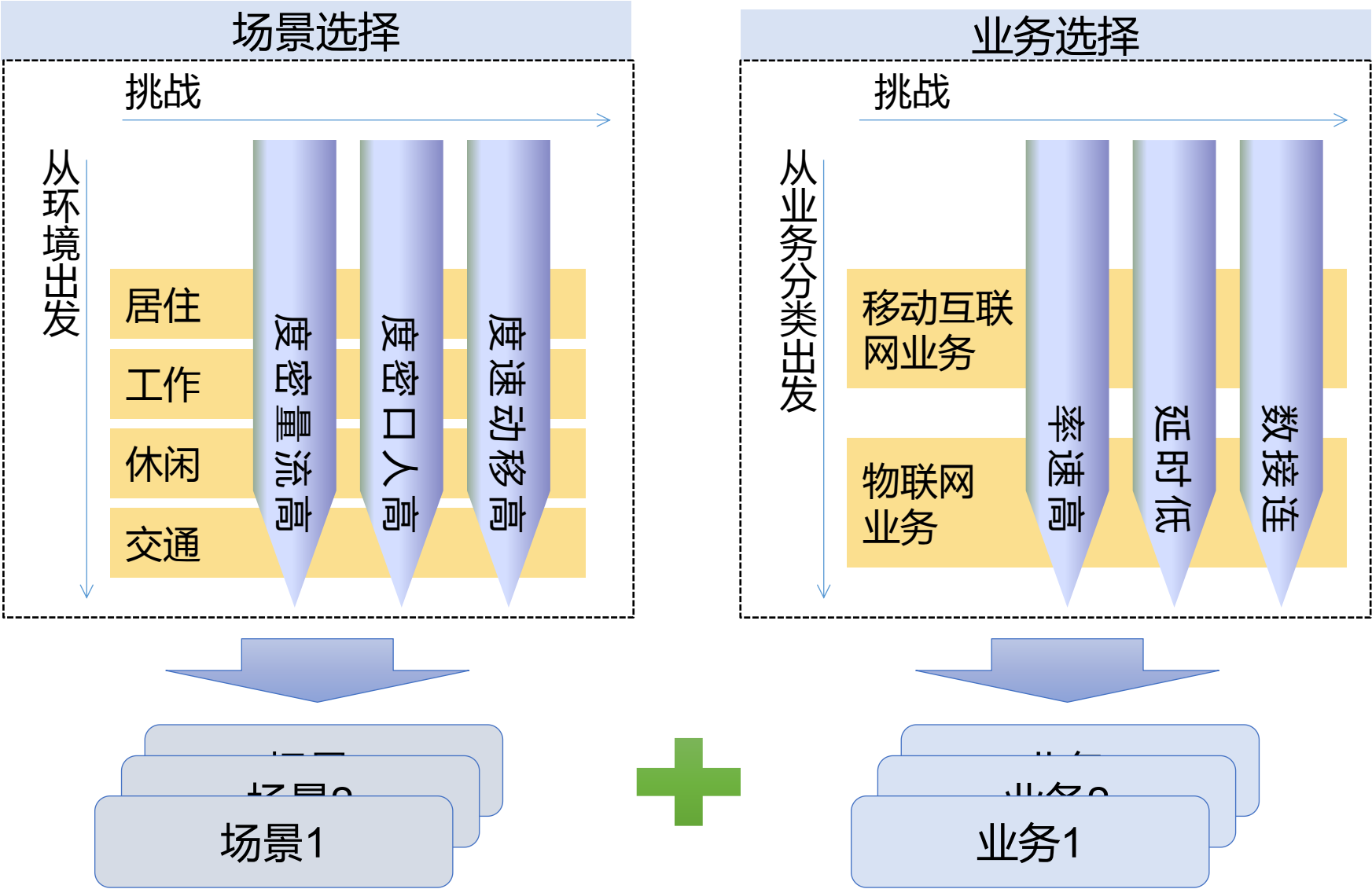


未来移动通信主要业务





场景与业务选择原则





物联网业务与用户需求

智能家居



智能农业



环境监测



- 海量设备连接
- 大量小数据包频发
- 覆盖
- 低成本
- 电池寿命

智能交通



智能电网



工业控制



- 毫秒级的时延
- 接近100%的可靠性

视频监控



- 传输速率

移动金融



- 更多层次的安全机制



5G有挑战的八大场景

超高流量密度

办公室



密集住宅区



超高移动性

快速路



高铁



超高连接数密度

体育场



露天集会



地铁



广域覆盖场景





5G典型业务

视频会话



视频播放



移动在线游戏



增强现实



虚拟现实



实时视频分享



云桌面



无线数据下载



云存储



高清图片上传



OTT消息



视频监控



智能家居控制

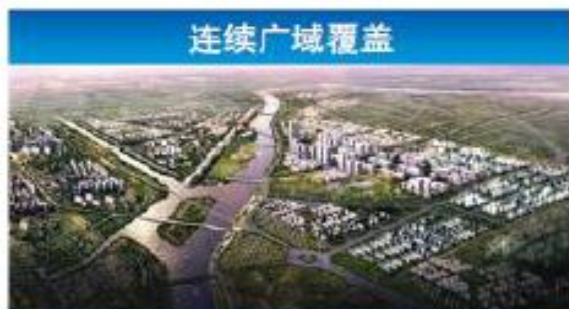


车联网
安全驾驶





5G业务与应用面临的挑战



连续广域覆盖



热点高容量



低功耗大连接



低时延高可靠

移动互联网

移动物联网

场景	关键挑战
连续广域覆盖	<ul style="list-style-type: none">• 100Mbps用户体验速率
热点高容量	<ul style="list-style-type: none">• 用户体验速率：1Gbps• 峰值速率：数十Gbps• 流量密度：数十Tbps/km²
低功耗大连接	<ul style="list-style-type: none">• 连接数密度：10⁶ /km²• 超低功耗，超低成本
低时延高可靠	<ul style="list-style-type: none">• 空口时延：1ms• 端到端时延：ms量级• 可靠性：接近100%

$$C_{\text{sum}} \Leftrightarrow \sum_{\text{Cells}} \sum_{\text{Channels}} B_i \log_2 \left(1 + \frac{P_i}{I_i + N_i} \right)$$

增强覆盖

增加频效

增大带宽

提升SINR

超密集组网
D2D
M2M

新多址技术
大规模天线
新双工模式

频谱拓展
频谱共享
大规模聚合

绿色通道
干扰管理



未来触手可及





国际厂商技术发展 (1/2)

三星：

- 2012年率先推出28GHz毫米波5G概念系统
- 业界最积极5G推动企业，并主推毫米波通信
- 其观点影响韩国主管部门在国际上的政策和策略
- 主推6GHz以上频段，激进的5G推动计划

Intel：

- 主推通用计算，C-RAN，网络虚拟化
- 持续推动蜂窝与WiFi融合技术

高通：

- 很少在5G概念上发声
- 近中期技术主推D2D和LTE-U
- 收购以色列Wilocity开展60GHz的802.11ad业务

爱立信：

- 欧盟5G项目METIS和5GPPP的领头单位
- 2010年启动面向2020年5G预研
- 2011年发布连接的世界 白皮书，强调5G面向连接的应用
- 2014年7月对外演示5Gbps速率的5G系统
- 始终坚持：5G= 4G演进+补充新空口观点

Bell-Lab和阿尔卡特朗讯：

- 2010年推动成立GreenTouch技术论坛，以绿色节能为5G推动点
- 2010年提出Massive MIMO技术
- 2011年业界率先推出AAS技术，引领未来天线技术革命
- METIS和5GPPP重要成员单位

诺基亚西门子网络NSN：

- 2011年发布5G白皮书
- 欧盟METIS和5GPPP重要成员
- 主推：大规模MIMO，频谱共享，在毫米波通信上相对积极

欧盟：**欧盟FP7框架下稳步推动，投入经费最多**

美国：**以互联网模式发展国家宽带计划**

韩国：**计划最激进，投入相对（国力）最大**

日本：**快速跟进，后劲十足**



国际厂商技术发展 (2/2)

华为

- 全频谱接入
- 统一空口设计
- 关键无线技术 (F-OFDM、SCMA、极化码、massive MIMO、5G双工)

中兴

- 网络切片 (NFV/SDN/SON)
- 5G空口 (4G演进、新高频低频、MUSA)
- 毫米波、IOT

大唐

- Massive MIMO
- UDN
- 灵活双工
- 毫米波
- PDMA



课程总结

- 1、**5G**主要业务：移动互联网和物联网业务
- 2、业务与场景选择原则：场景分居住、工作、交通、休闲
- 3、物联网业务与用户需求
- 4、**5G**有挑战的八大场景
- 5、**5G**典型业务
- 6、业务与应用面临的挑战
- 7、国际厂商技术发展