



电子科技大学

University of Electronic Science and Technology of China

# 现代无线与移动通信系统

## 第一章：绪论

李少谦 林灯生

通信抗干扰技术国家级重点实验室



# 学习本课程的意义与要求



# 课程目标与重点

- **目标：掌握无线与移动通信系统的基本理念，基本原理、结构与技术**
- **课程重点：**
  - 通过了解现代无线与移动通信发展的历程、移动通信组网和GSM系统结构，掌握移动通信系统的基本理念与原理，力争建立系统的结构理念。（前半程，1-3章）
  - 通过CDMA与3G系统、4G系统与5G，学习有关宽带移动通信系统的基本原理与技术。（后半程，4-6章，林灯生副教授）
- **考核方式**
  - 前半程写一篇分析报告占30%；后半程作业占20%
  - 课程末闭卷笔试基础知识占50%



# 参考书

- 无线通信, [印]TL Singal, 于洁潇译, 电子工业出版社, 2016年7月
- 无线通信原理与应用, [美]Theodore S. Rappaport. Wireless Communications principles and practice. 蔡涛等译, 电子工业出版社
- LTE与LTE-Advanced, Erik Dahlman等, 人民邮电出版社
- 5G NR 标准:下一代无线通信技术, [瑞典]Erik Dahlman等, 机械工业出版社

所有讲授内容都以讲议为准, 讲议在网上下载。



# 课件在课程网站教学资料中

## 课程网站地址

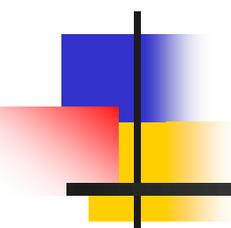
<https://i.study.uestc.edu.cn/cwmcs/menu/home>





电子科技大学

University of Electronic Science and Technology of China



# 序、通信发展大趋势

---



# 通信与信息技术是信息时代的核心技术

- 信息时代的核心技术要素：信息的采集、传输、处理、存贮、显示等。
- 通信技术（CT）与计算机技术（IT）是信息时代的核心技术
- **通信技术**
  - 核心是信息的传输和组成网络的技术。
  - 传统驱动力是电信需求和军用专用需求。
- **计算机技术**
  - 核心是信息的处理与存贮技术。
  - 传统驱动力是个人与行业的信息计算、处理与分发的需求。



# 三十余年来全球互联网与移动通信的高速发展和普及改变了人类的生活方式

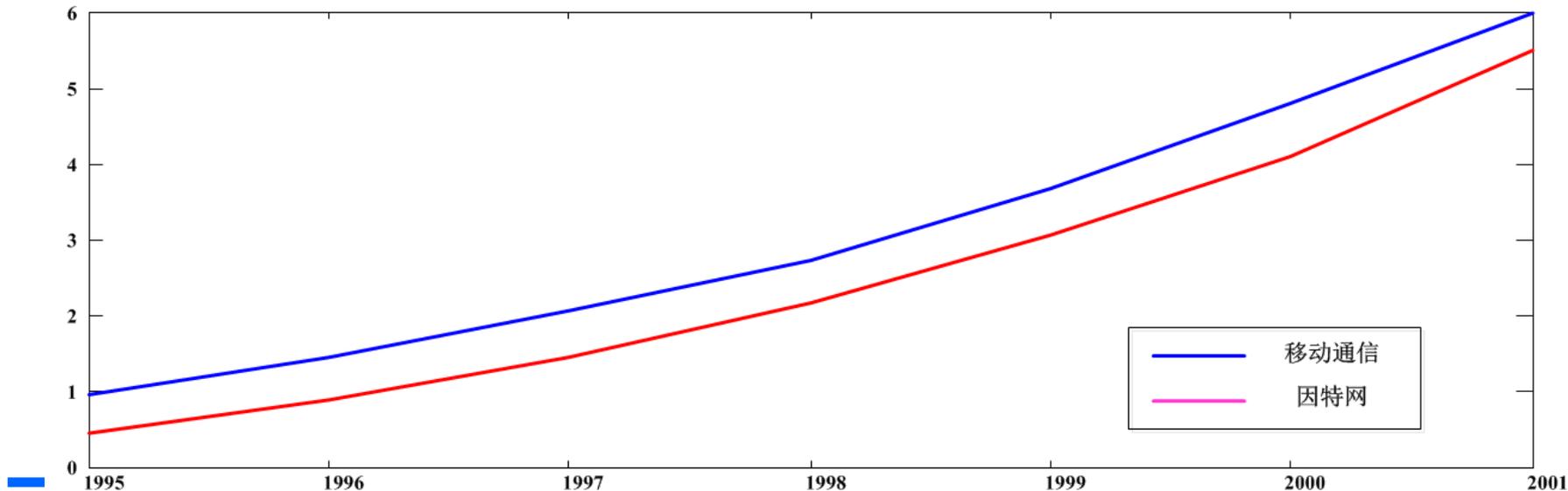
■ 移动通信与IP技术（互联网）是近三十年来信息技术领域的两大热点。

## ■ 发展大趋势

■ 移动通信正在与互联网相结合形成移动互联网。

■ 通信与计算机开始高度融合，形成ICT技术。

用户数(亿)





# CT与IT高度融合成通信信息技术（ICT）

## ■ 过去二十年

- 通信技术与系统走向传输与处理一体化，处理器与软件已是通信领域的主要技术
- 计算机信息互联形成了互联网，计算、处理技术，与传输、网络技术已密不可分

## ■ 今天

- 以通信技术为主的移动通信与以计算机技术为主的互联网高度融合，形成了移动互联网，CT与IT高度融合
- 近年来，随着大数据的发展，与DT的融合开始（ICDT）



# ICT融合：通信与计算机技术已深度融合

- 通信技术、系统与设备呈现
  - 软件化
  - 软硬件协同化
  - 通信、计算、存贮一体化



# 智能手机是ICT融合的典范



% of users	Mobile Video	Social Network Access	Facebook	YouTube	Google Maps
iPhone	30.9%	49.7%	20.0%	30.4%	36.0%
All phones	4.6%	4.0%	1.5%	1.0%	2.6%

Source: MMetrics, March 2008



% of time spent	Internet	Music	eMail
iPhone	12.1%	11.9%	10.4%
All phones	2.4%	2.5%	2.8%



Source: iSuppli, April 2008

**iPhone的诞生开启了移动互联网应用时代!**



# 移动通信与互联网结合正在开创新时代



**2010年全球以智能手机和平板电脑为代表的智能终端的出货量超越PC，移动互联网作为一个新的技术周期正超越PC互联网时代。**



# 移动互联网：空前激烈的跨界竞争





# 信息通信技术 (ICT) 的发展趋势

## 泛在的信息基础设施

个人应用

智能电力

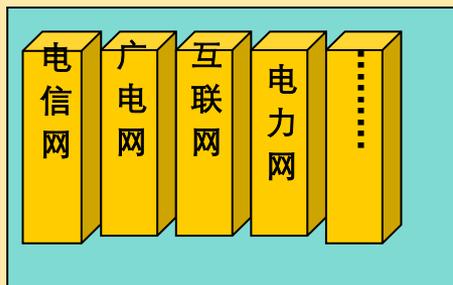
智能家居

智能环境

公共安全

智能农业

智能工业



智能信息和人工智能

云计算和资源虚拟

未来网络

未来智能光网络

2G/3G/4G移动接入

HFC/卫星直播/地面无线接入

有线/无线宽带接入



社会化

智能化

融合化

宽带化

泛在化

处理技术

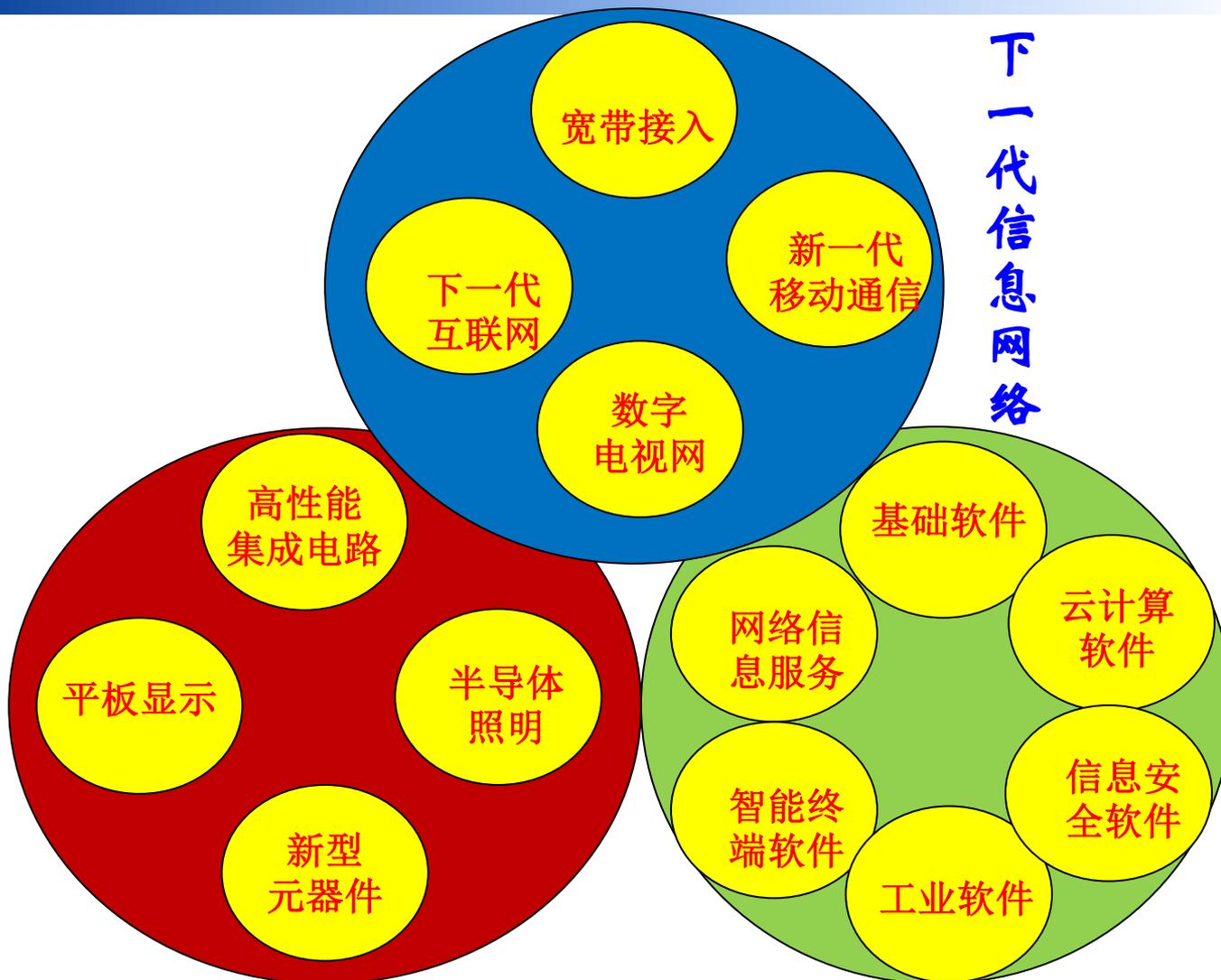
通信技术

感知技术

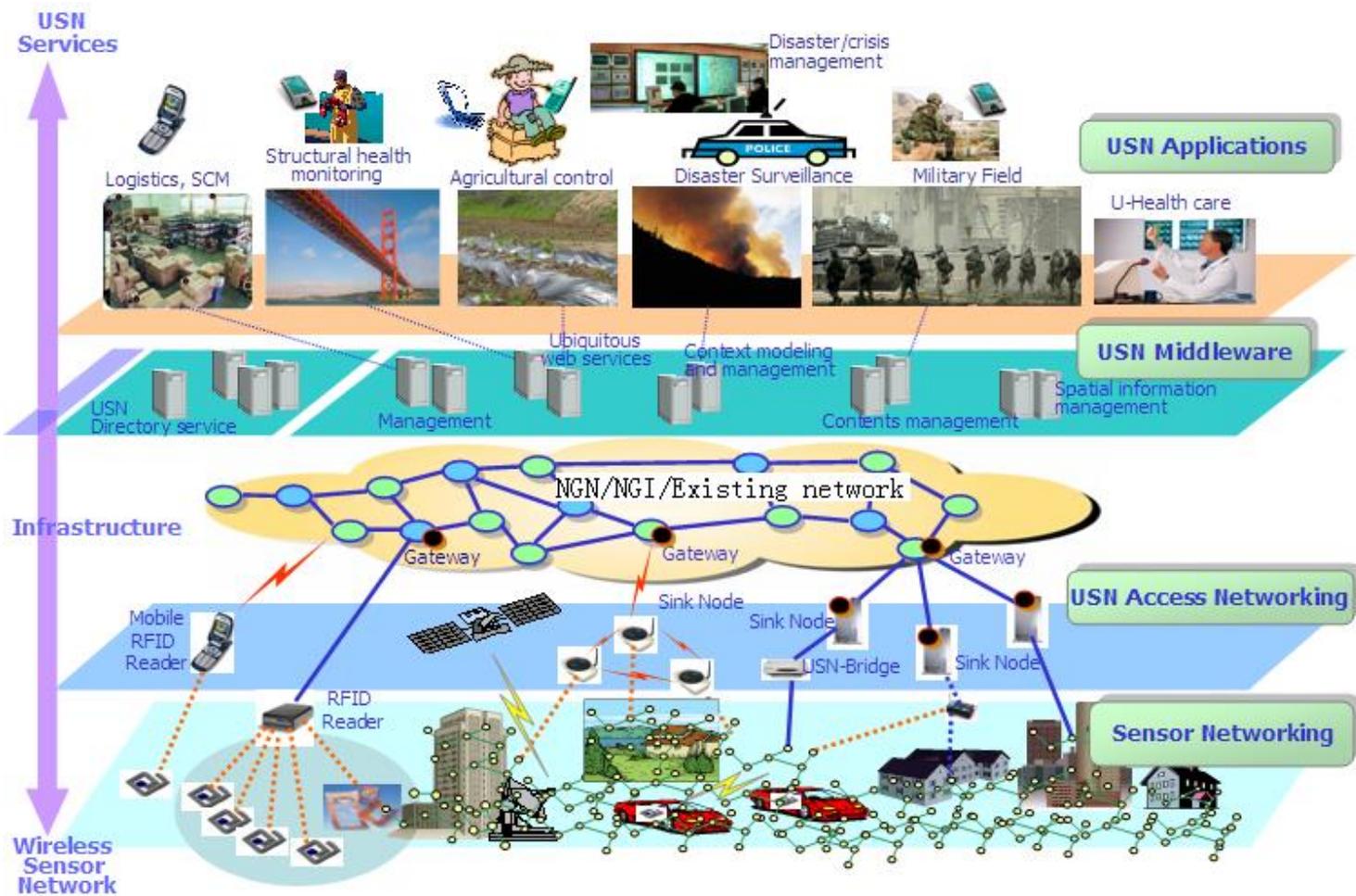


# 新一代信息通信技术

电子核心基础产业



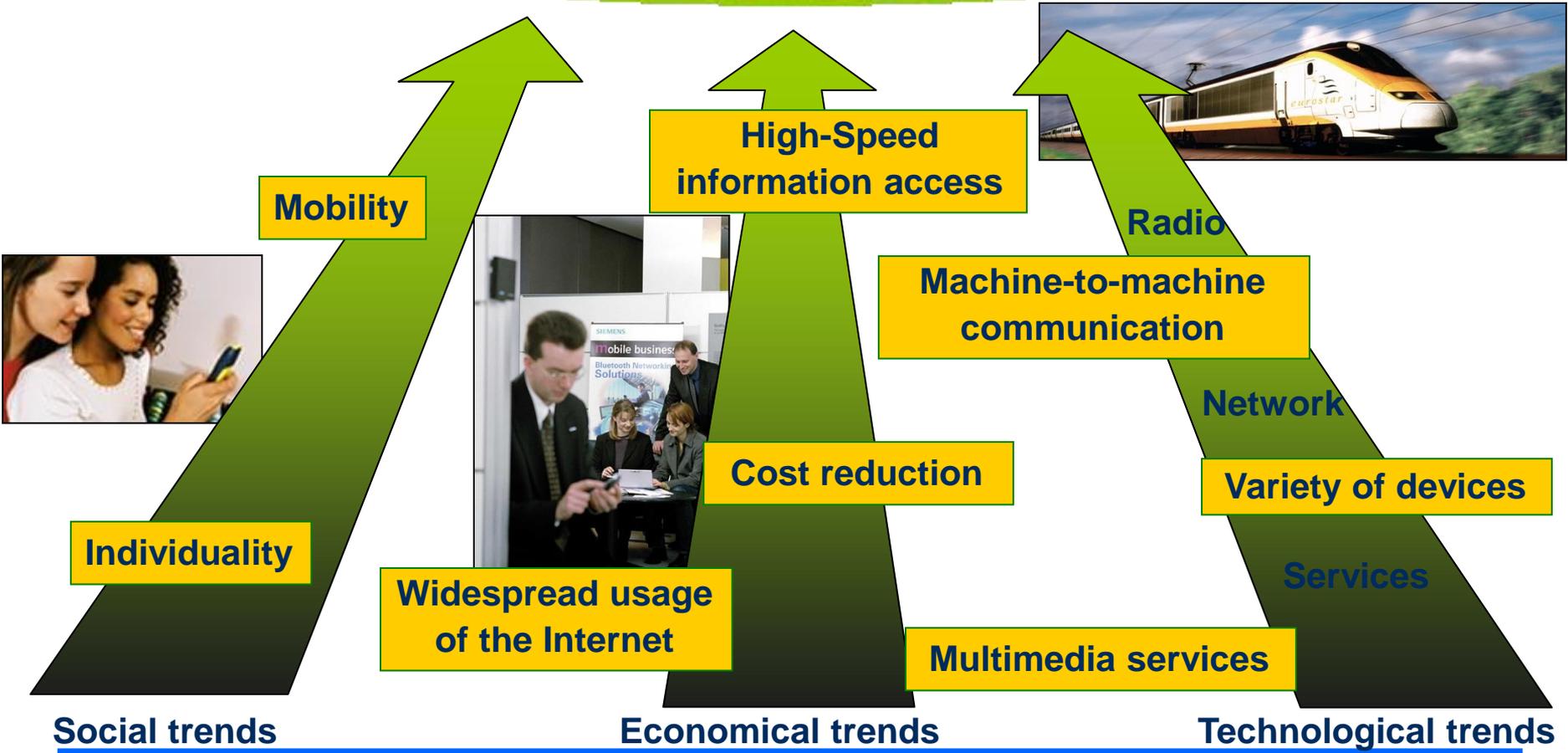
# 无处不在的网络和连接，最后一公里总离不开无线与移动通信



**“Ubiquitous Network”， “Ubiquitous Connectivity”**



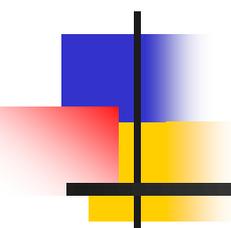
# 走向未来无线与移动通信的驱动力





电子科技大学

University of Electronic Science and Technology of China



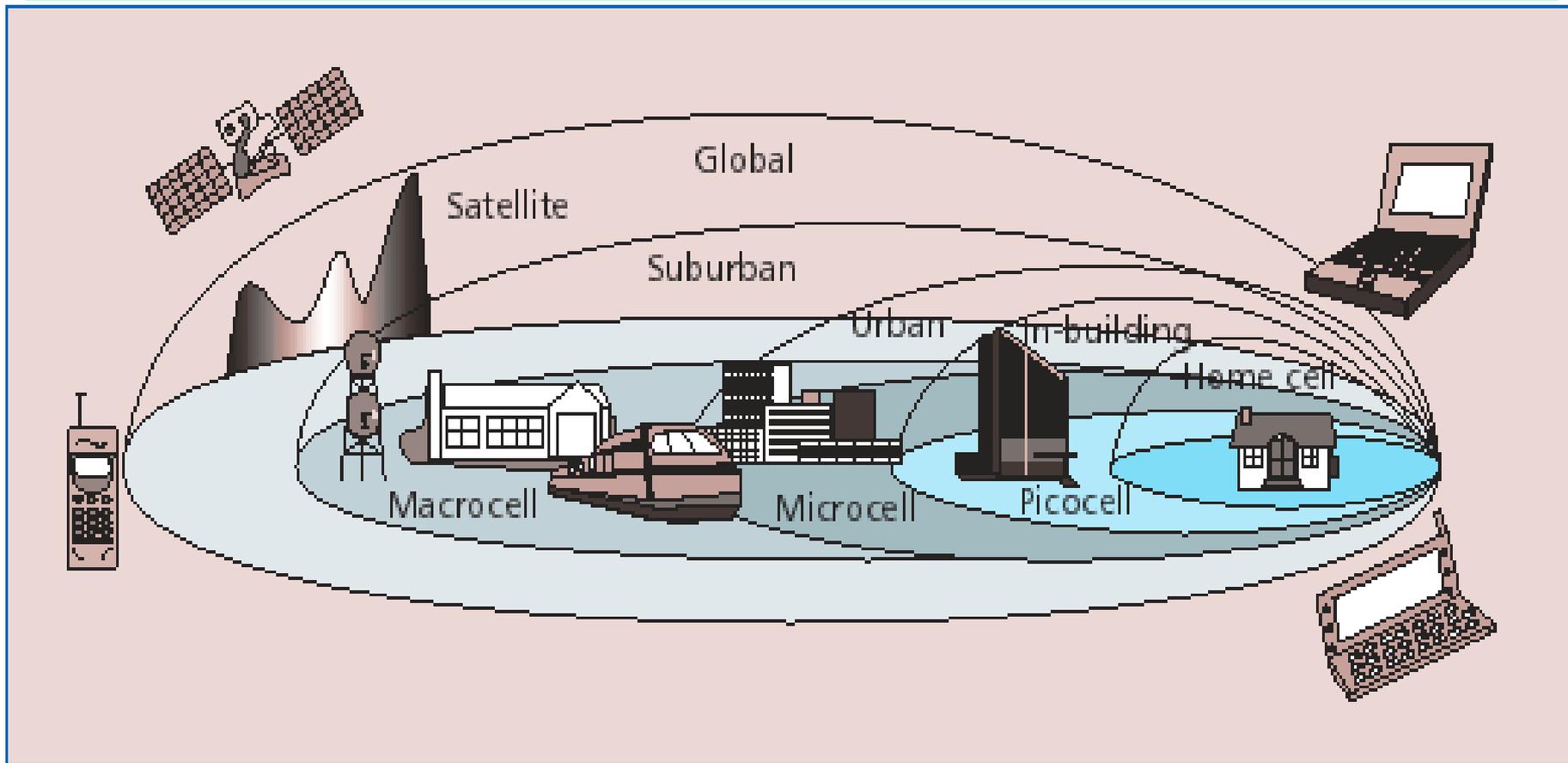
# 一、无线与移动通信的种类

---



# 通信的目标：全球无缝覆盖

实现目标需无线与有线通信的覆盖，不同需求与应用需不同频率和不同技术，这构成了多种多样的通信系统与网络。





# 什么是移动通信？

## ■ 广义移动通信概念

- 通信双方或至少其中一方在运动状态中（或临时静止状态）进行信息交互的通信方式。
  - 移动通信是移动体之间的通信，或移动体与固定体之间的通信。
  - 移动体可以是人，也可以是汽车、火车、轮船、收音机等在移动状态中的物体。
- 采用电磁波为传输媒介的无线通信

## ■ 狭义移动通信概念

- 蜂窝移动通信系统



# 通信的基本分类

- 有线通信与无线通信（**传输方式**）
- 传输技术与网络技术（**技术范畴**）
- 公用通信和专用通信（**服务范围**）
- 民用通信和军用通信（**使用对象**）
- 陆地通信、海上通信和空中通信（**使用环境**）
- 广域通信网和局域通信网（**覆盖范围**）
- ○ ○ ○ ○ ○ ○

通信需求与应用的多样性、复杂性，决定了通信技术的系统性  
通信的本质是：对信号进行传递和处理，采用适合的技术构成系统



# 不同通信类型有不同的基本理念

- **有线通信**: 光纤通信一统天下，大容量、高质量
- **无线通信**: 第一要素是频率资源，不同的应用需要不同的频率，频率决定技术
- **通信网络**: 走向IP技术为核心的互联网，网络融合，业务融合
- **公众通信**: 标准先行，国际化，产业链，利用率
- **专用通信**: 特殊技术解决特殊需求
- **军用通信**: 在电子信息战中保持通信，为作战平台提供通信
- ..... .....

**通信的基本原理与技术应用到不同的通信领域，有不同的发展理念和技术的组合与选取。**



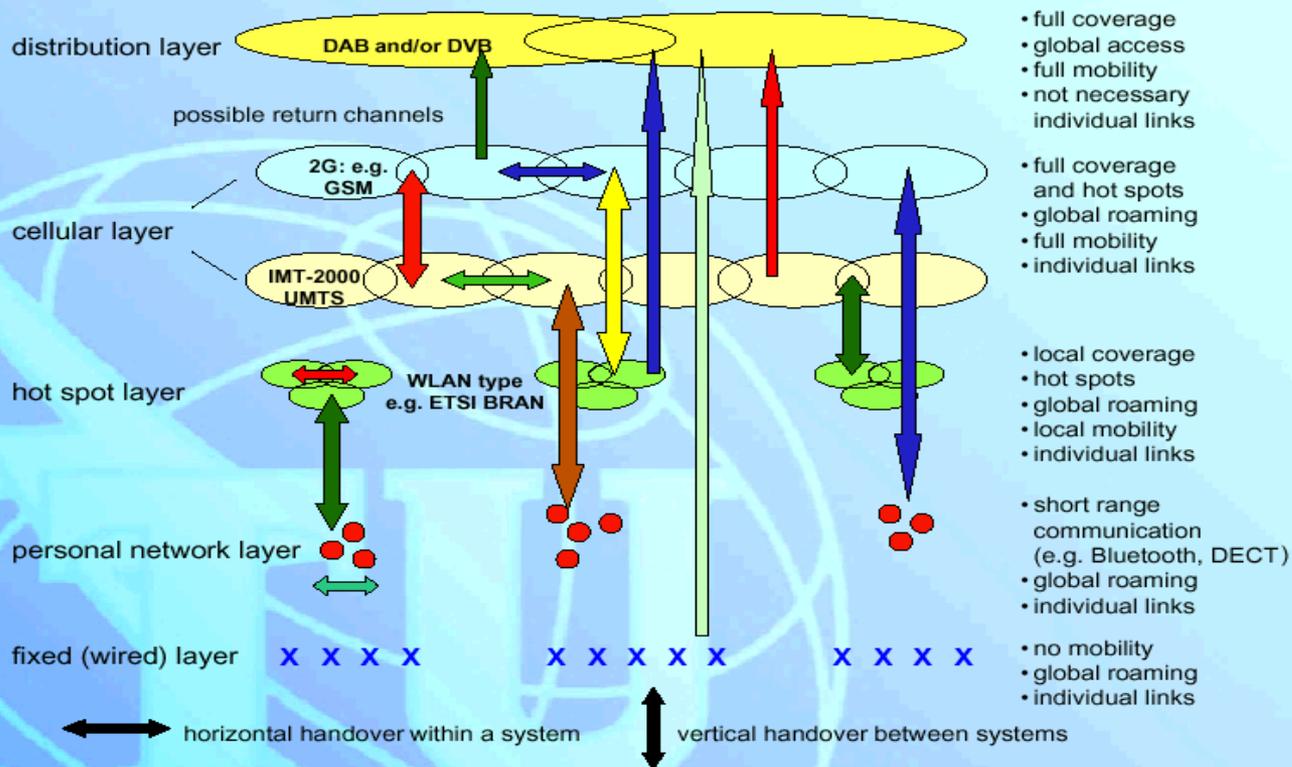
# 无线与移动通信的分类（按用途分类）

- 陆地公众蜂窝移动通信系统（简称移动通信）
- 宽带无线接入、无线局域网
- 集群通信
- 无绳电话、蓝牙、RFID
- 对潜通信、航空通信、矿山通信
- 卫星移动通信
- 外太空飞行器通信
- ..... ..

**陆地公众蜂窝移动通信系统是全球规模最大、发展最快、技术最先进的系统**

# 无线与移动通信的种类(按覆盖范围分类)

## Access Systems





# 无线与移动通信的种类(按频段分类)

- 中长波通信 < 1MHz
- 短波通信 1MHz——30MHz
- 超短波通信 30MHz——1GHz
- 微波通信 1 GHz——几十GHz
- 毫米波通信 几十GHz——100GHz
- 太赫兹通信 100GHz——10THz
- 红外光通信
- 大气激光通信

频率资源是无线通信技术与系统构成的最基本要素，由于频率的有限性和开放性，频率资源是受控的。

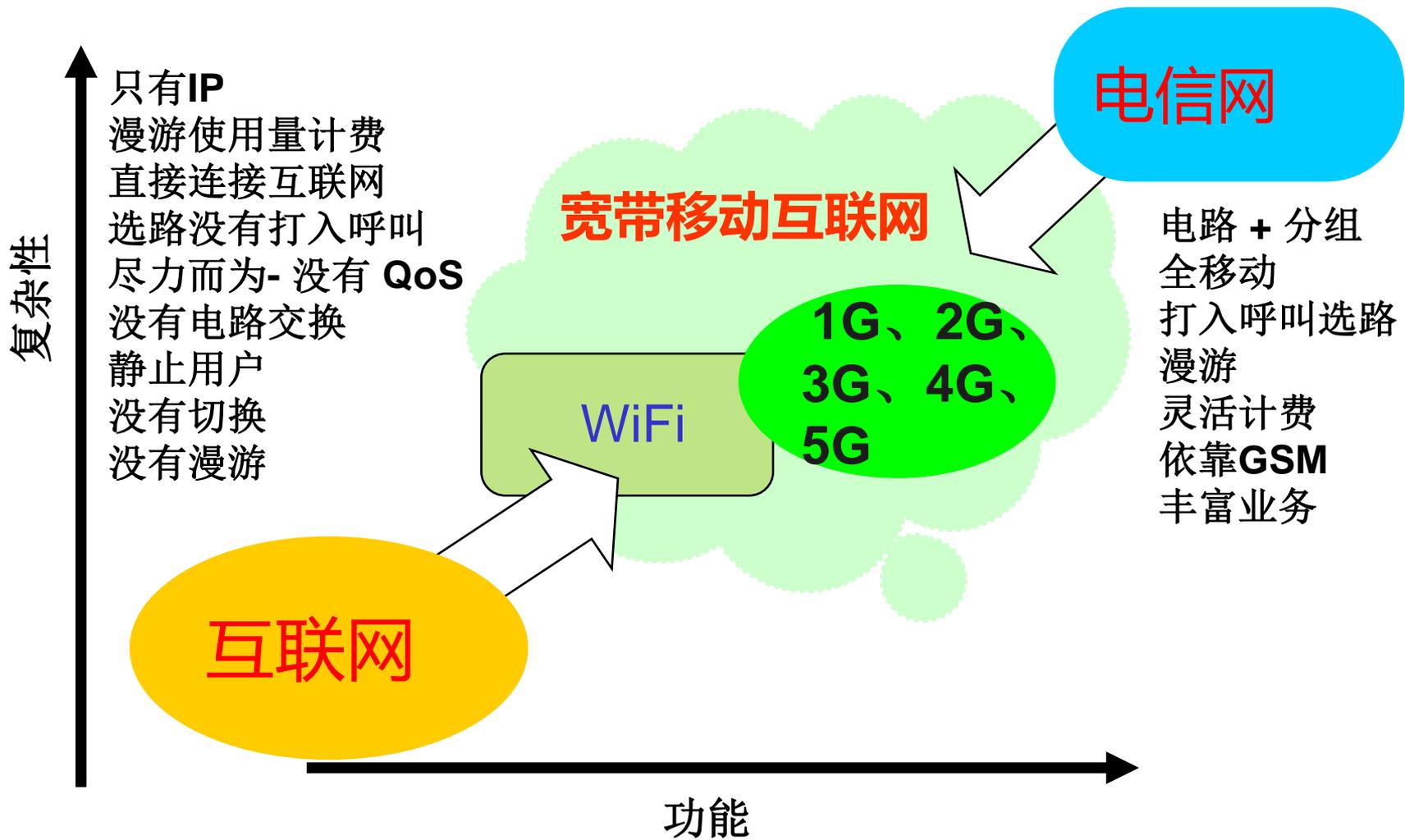


# 不断探索中的无线通信新技术

- 毫米波移动通信
- 太赫兹通信
- 平流层通信
- 深空通信
- 超宽带通信
- 超窄带通信
- 非正交通信
- 轨道角动量调制 (OAM)
- 量子通信
- 大气激光通信
- 可见光通信
- 车联网
- 体域网
- 空中因特网
- ○ ○ ○ ○ ○ ○



# 移动通信与宽带接入构建了移动互联网



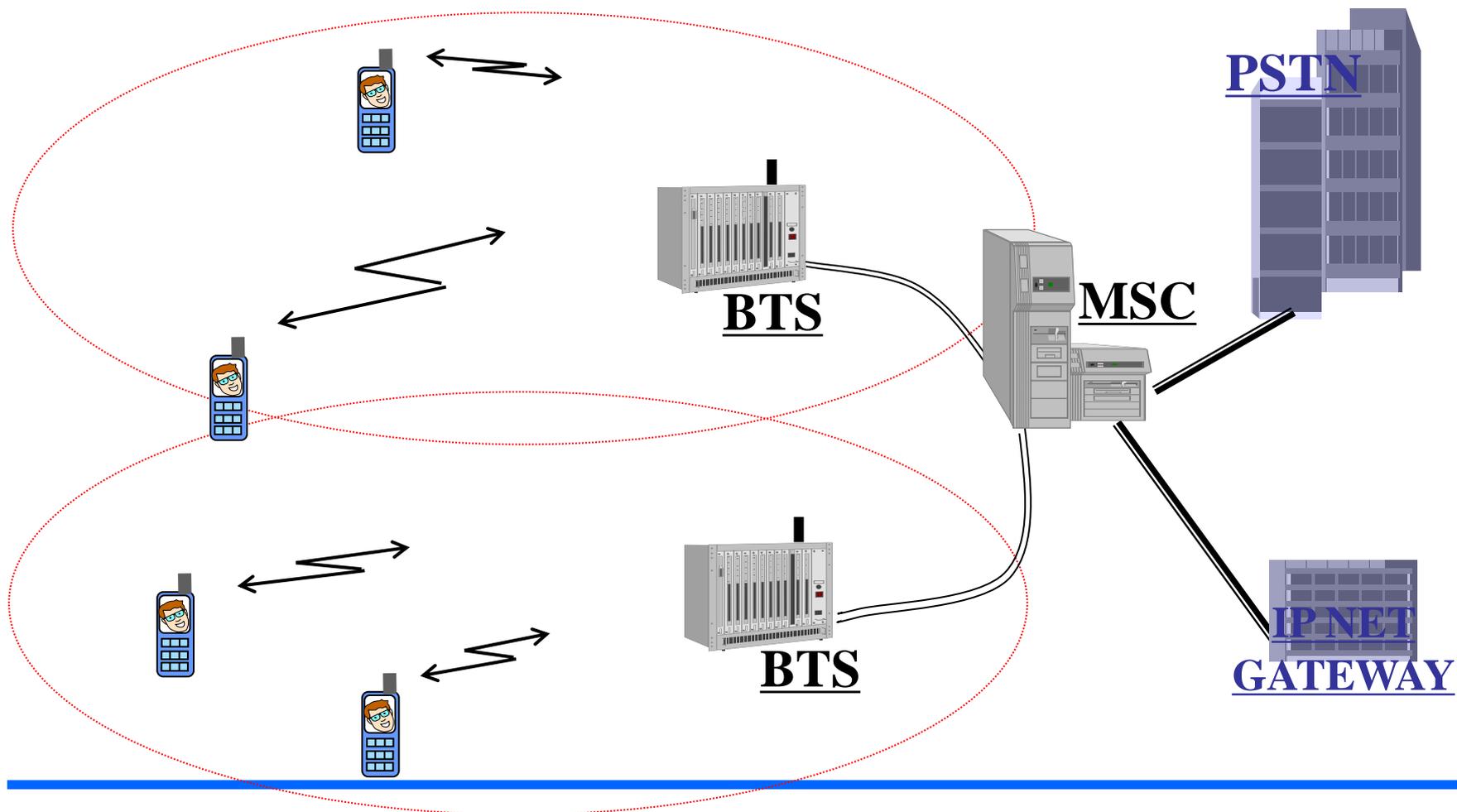


# 移动互联网主体：移动通信系统

蜂窝移动通信系统是发展最快、规模最大、技术最复杂、最先进、应用最广泛的通信系统。掌握移动通信系统的基本概念和基本技术理念是此课程的核心和目的。



# 蜂窝移动通信系统结构





# 宽带无线接入是互联网的无线延伸

以无线局域网（Wi-Fi）为代表的宽带无线接入技术发展迅速，是互联网的无线接入技术，应用范围广。移动通信与宽带无线接入相结合构筑了移动互联网技术的基石。



# 宽带无线接入主流技术分类

- 宽带无线接入主流技术分类
  - 无线局域网技术(WLAN)
    - IEEE 802.11家族, Wi-Fi
  - 无线个域网技术(WPAN)
    - IEEE 802.15家族, Bluetooth
  - 无线城域网技术(WMAN)
    - IEEE 802.16家族, WiMAX

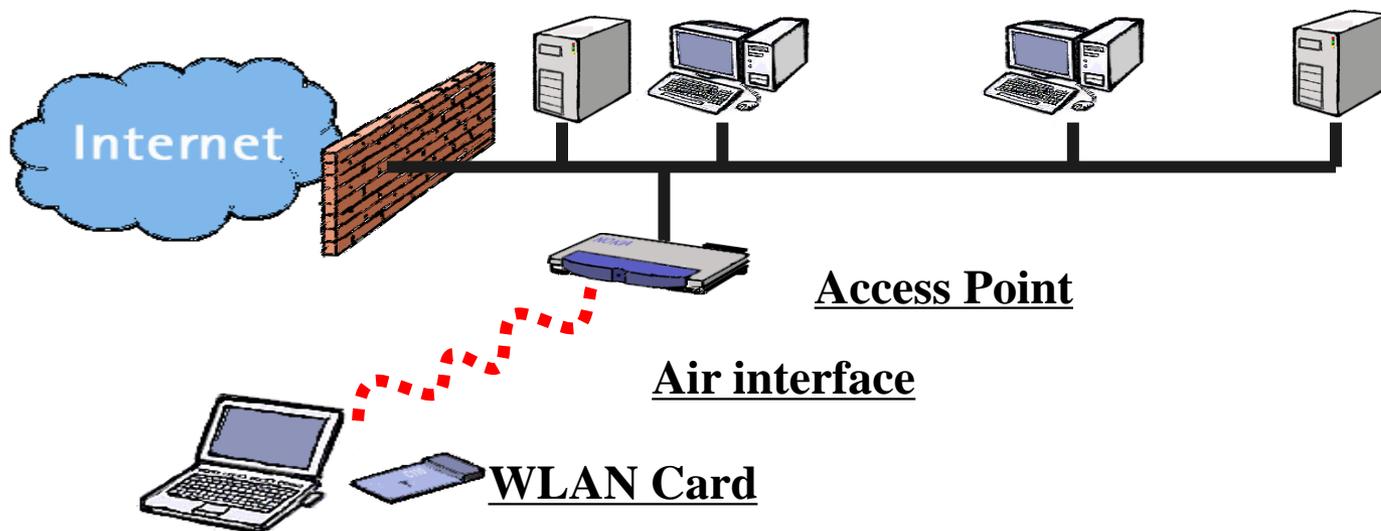


Wi-Fi: Wireless Fidelity, 成立于1999年的 Wi-Fi® 联盟是一个非盈利国际协会, 旨在认证根据 IEEE 802.11 规格的无线局域网产品的互操作性。



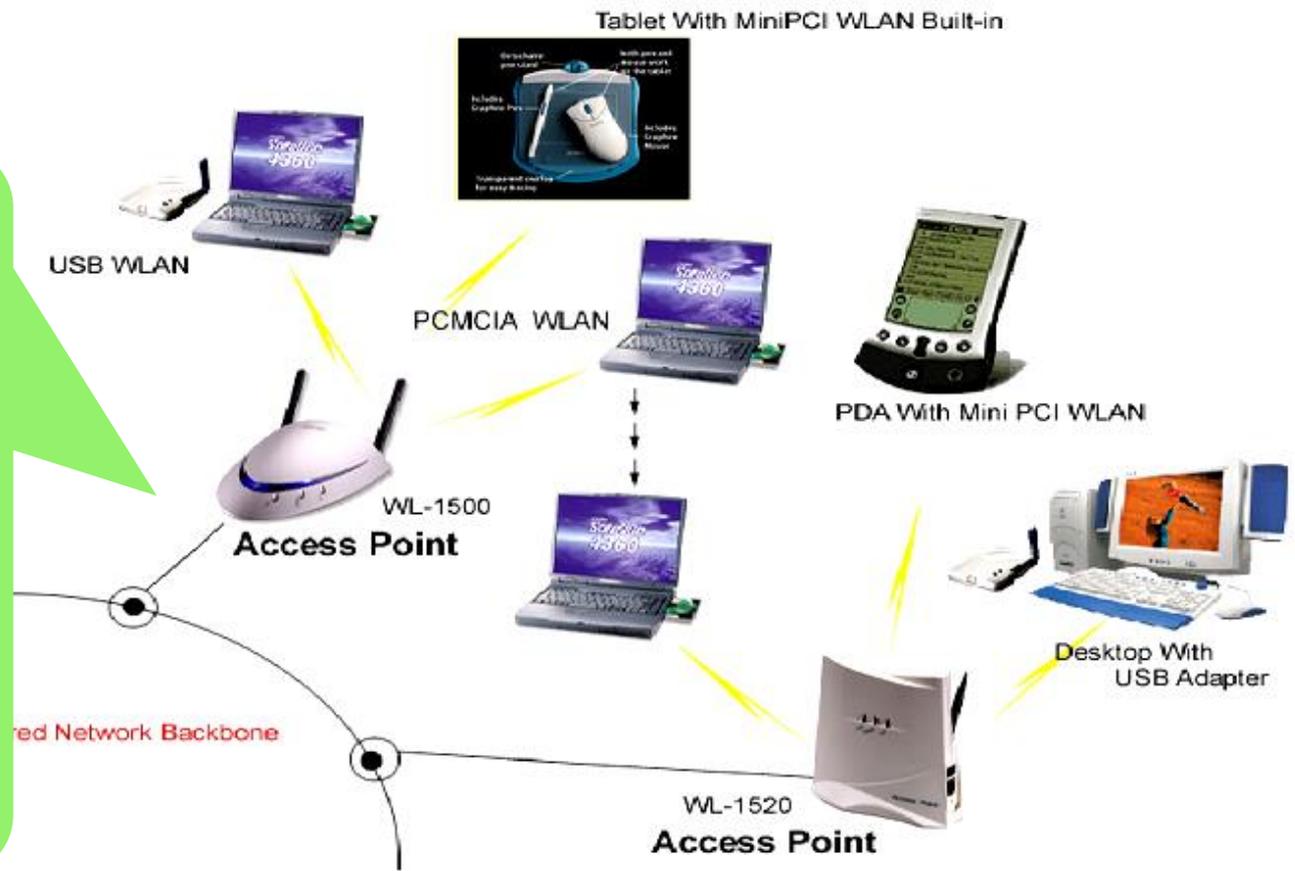
# 无线局域网（WiFi）发挥了巨大作用

- 无线局域网是固定局域网的一种延伸。
- 频率不需申请，与有线网络无缝连接。
- 对用户来说是完全透明的，与有线局域网一样。



WiFi、蓝牙等无线接入采用国际电联规定的无需申请的开放频段（2.4GHz\5GHz\60GHz）等，发射功率需按标准规定严格要求。

# WLAN的特点



- 结构简单、终端独立
- 网络设备相对便宜，覆盖范围小
- 主要用于Internet数据传输
- 主要依靠互联网构成网络



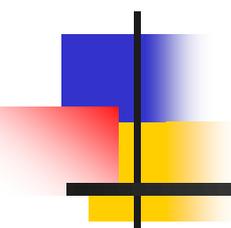
# WLAN技术的演进--更高速率





电子科技大学

University of Electronic Science and Technology of China



## 二、系统基本概念

---



# 系统特点

- 频谱拥挤、频谱需严格管理
- 电波传播存在衰落、多径等问题
- 面临干扰和噪声
- 存在高速移动和大动态范围的要求
- 对移动台体积、重量、功耗的要求高
- 系统复杂，系统需组网，网络需有越区切换、漫游等功能



# 对技术的基本要求

- 高的频谱利用率
- 好的服务质量
- 具有移动性和便携性
- 灵活方便的组网
- 抗干扰
- 保密与信息安全

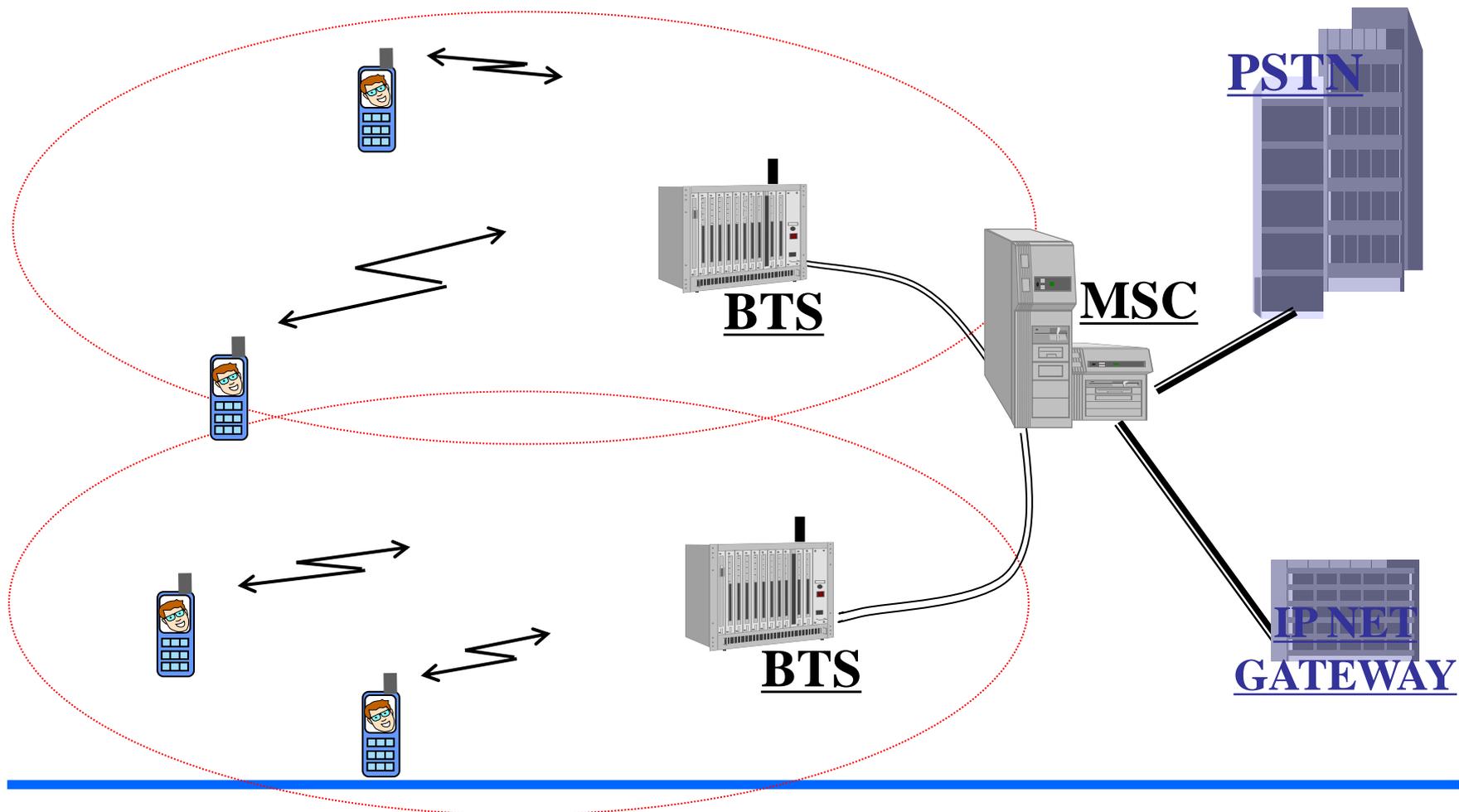


# 移动通信系统结构

- 移动通信常采用有基站和控制中心的有中心结构
- 自组织、无中心的结构是重要发展方向
- 移动通信通常分无线传输技术和无线网络技术
- 无线网络由接入网与承载网(骨干网)组成
- 无线传输技术和无线接入网技术是移动通信的主要研究范畴



# 移动通信系统结构(有中心)





# 基本技术

- 多址技术
- 调制解调技术
- 信道编译码技术
- 信源编码技术
- 抗干扰技术
- 加密技术
- 组网技术
- 天线技术
- 信道机射频技术
- 分集接收技术.....



# 应用技术

- 电波传播与信道建模
- 系统级仿真
- 数字信号处理(DSP)
- 集成电路设计(SOC、FPGA)
- 控制与通信协议
- 软件无线电
- 高频与微波
- 无线资源管理
- 网络设计.....



# 移动通信是复杂的大系统

- 大系统基本特性
  - 集合性
  - 整体性
  - 层次性
  - 结构性
  - 互动性



# 移动通信工程是复杂的大系统工程

- 大系统工程应注重的基本问题
  - 结构与协调
  - 外部与内部
  - 局部与整体
  - 定性 with 定量
  - 规划与计划
  - 独立与兼容
  - 扩展与发展
- 大系统工程技术体系
  - 专用技术
  - 通用技术：最优化技术、模拟与仿真技术、可靠性技术、系统分析技术、规划方法.....

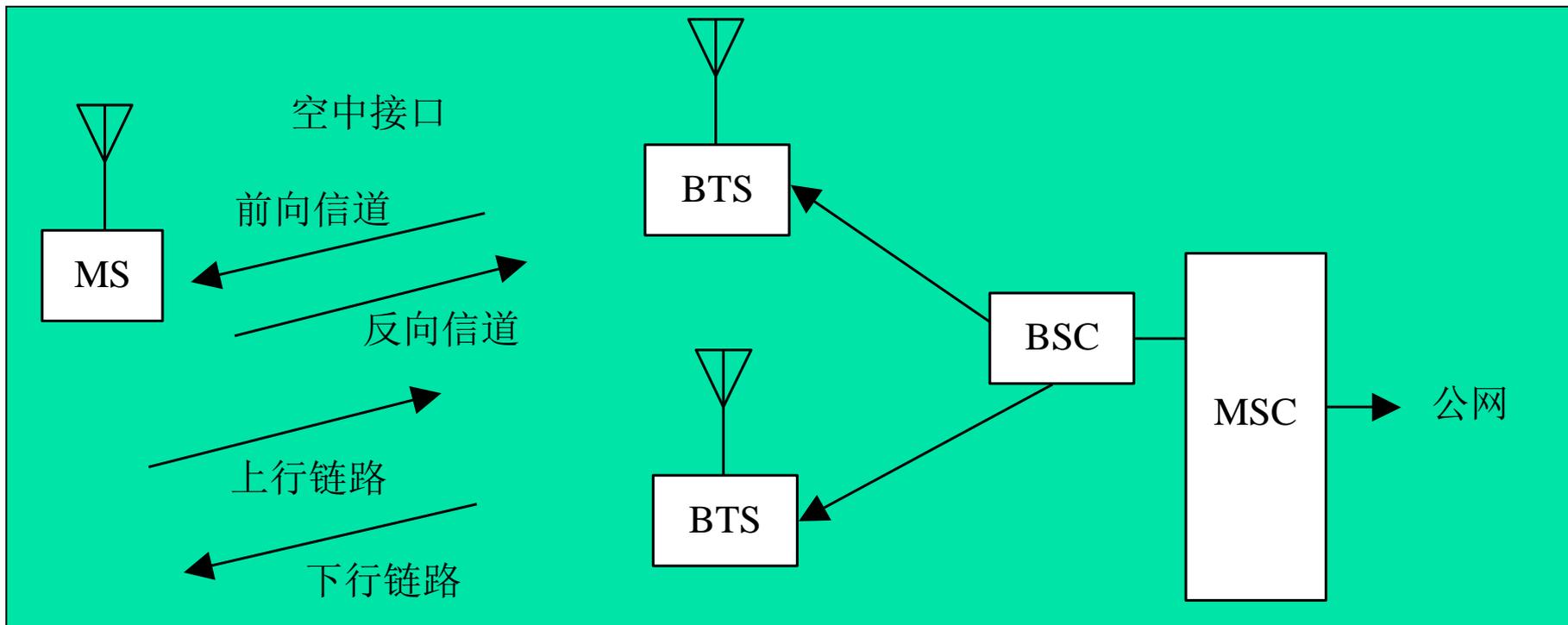


# 影响无线通信的技术与经济思想

- 公众移动通信的核心技术问题
  - 在满足用户服务质量的前提下，如何提高频谱利用率，提高系统容量，为全人类提供多种服务
- 支配数字无线通信网发展的四个定律 (A. J. 维特比)
  - 麦克斯威与赫兹电磁场理论
  - 香农信息论
  - 摩尔定律
  - 网络价值定律(迈卡夫)



# 接口、链路与标准

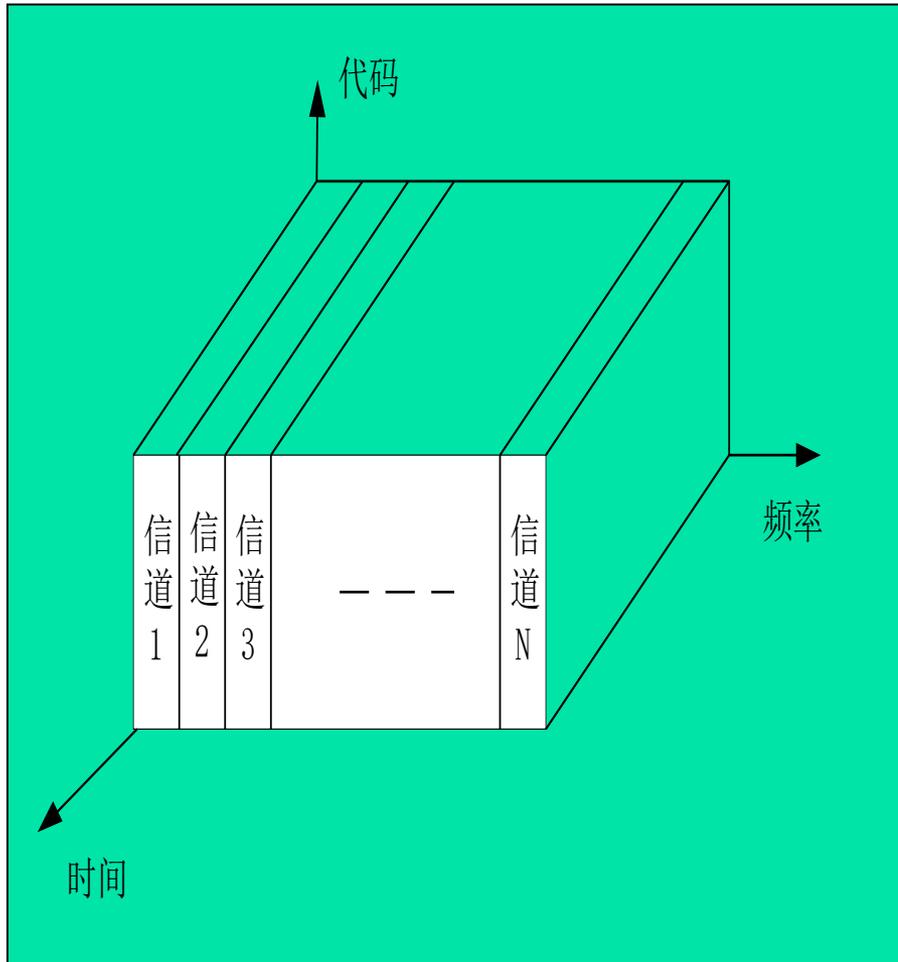




# 从多址和双工方式看技术的整体性、互动性

- 在移动通信中，许多用户同时通话，以不同的移动信道分隔，防止相互干扰的技术方式称为多址方式
- 移动通信需具备小区内的用户多址（手机用户）和小区间的多址（不同基站）
- 常用多址技术
  - 频分多址(FDMA)
  - 时分多址(TDMA)
  - 码分多址(CDMA)
  - 空分多址(SDMA)
  - 包分多址(PDMA)

# FDMA

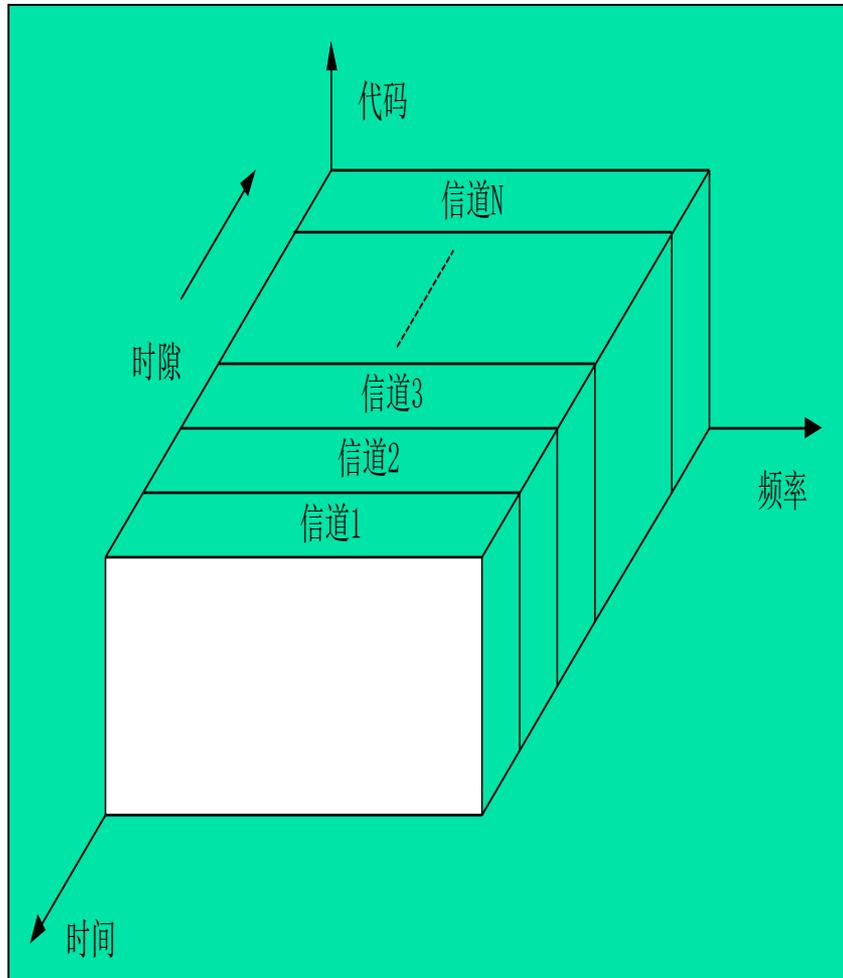


频分多址以频率来区分信道。

特点：  
使用简单，信号连续传输，满足模拟话音通信，技术成熟。

缺点：  
多频道信号互调干扰严重，频率利用率低，容量小。

# TDMA



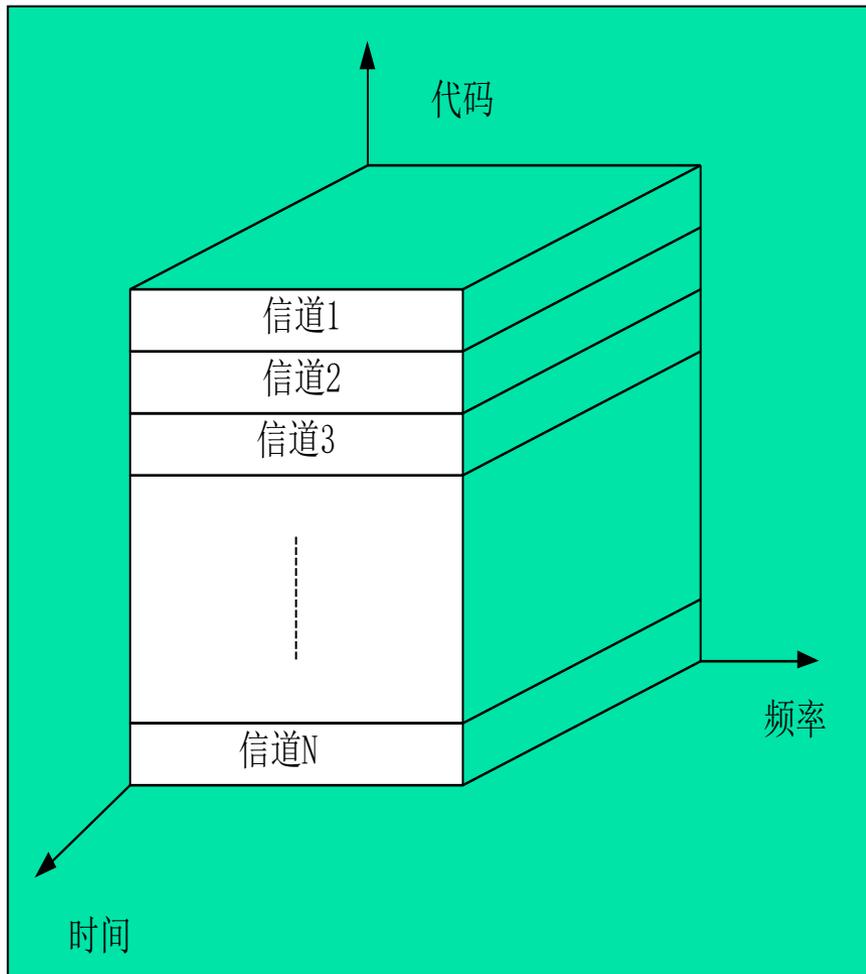
TDMA是在一个无线频道上，按时间分割为若干个时隙，每个信道占用一个时隙，在规定的时隙内收发信号。

时分多址只传数字信息，信息需经压缩和缓冲存储的过程。

在实际使用时常FDMA/TDMA复分使用。



# CDMA



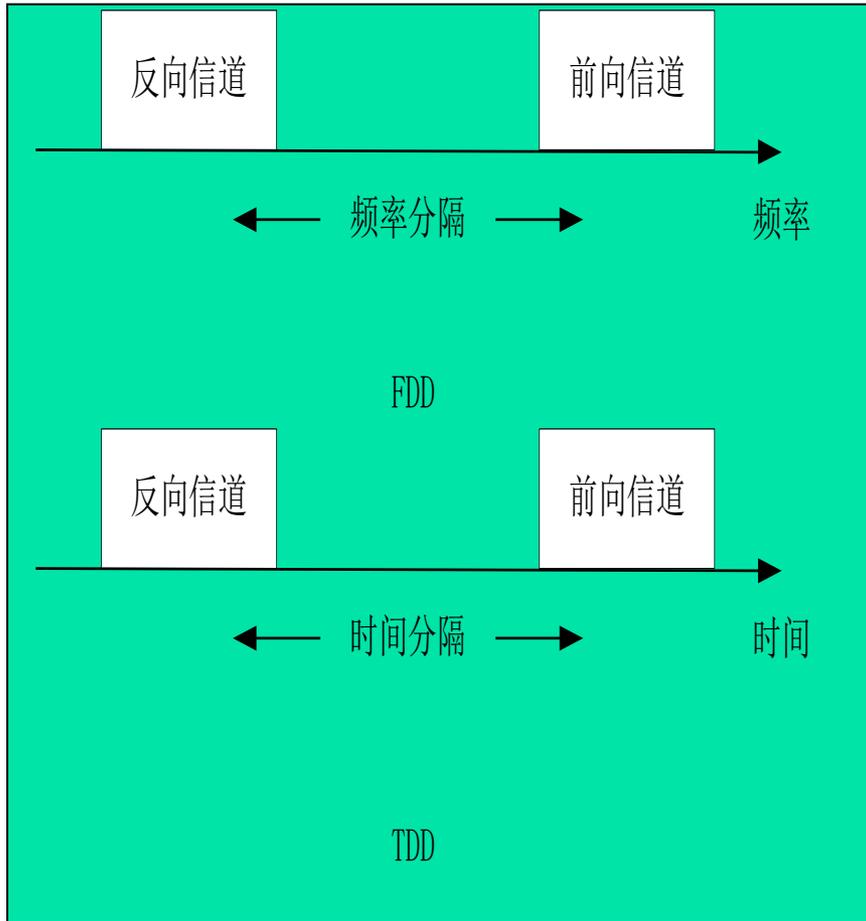
CDMA采用扩频通信技术。

每个用户具有特定的地址码（相当于扩频中的PN码），利用地址码相互之间的正交性（或准正交性）完成信道分离的任务。CDMA在频率、时间、空间上重叠。

优点：  
系统容量大，抗干扰、抗多径能力高。



# 双工方式：频分和时分（FDD、TDD）



- FDD采用成对频谱, 上下行独立, 同步要求低, 易实现高速移动, 可实现宏小区覆盖。
- TDD频谱使用灵活性, 不需要成对频谱。
- TDD上下行链路使用相同载波频率, 对称的电波传播特性便于使用新技术。
- TDD用时间来自适应上下行业务量, 支持不对称数据业务, 特别适用于上下行不对称、不同传输速率的数据业务。



电子科技大学

University of Electronic Science and Technology of China

## 三、移动通信的发展:从1G到4G



# 移动通信发展简述

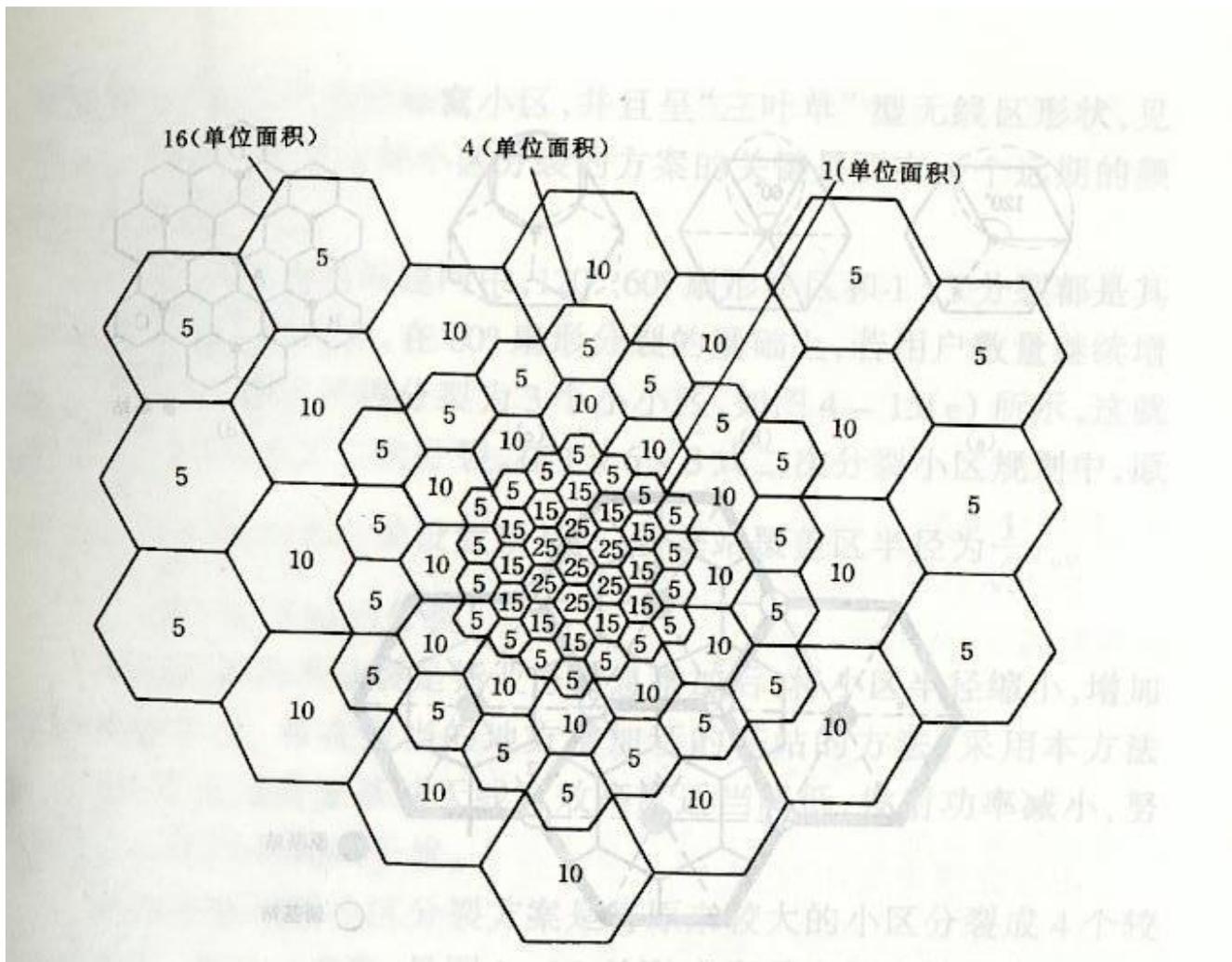
- 1864 年麦克斯韦从理论上证明了电磁波的存在
- 1897年M.G.马可尼在固定站与一艘拖船之间完成了一项无线通信试验，揭开了移动通信历史的序幕。
- 1928年，美国警用车辆的车载无线电系统，标志移动通信开始。
- 1946年，Bell实验室在圣路易斯建立第一个公用汽车电话网。
- 1960s，实现无线频道自动选择并能自动接续到公用电话网。



# 移动通信发展简述

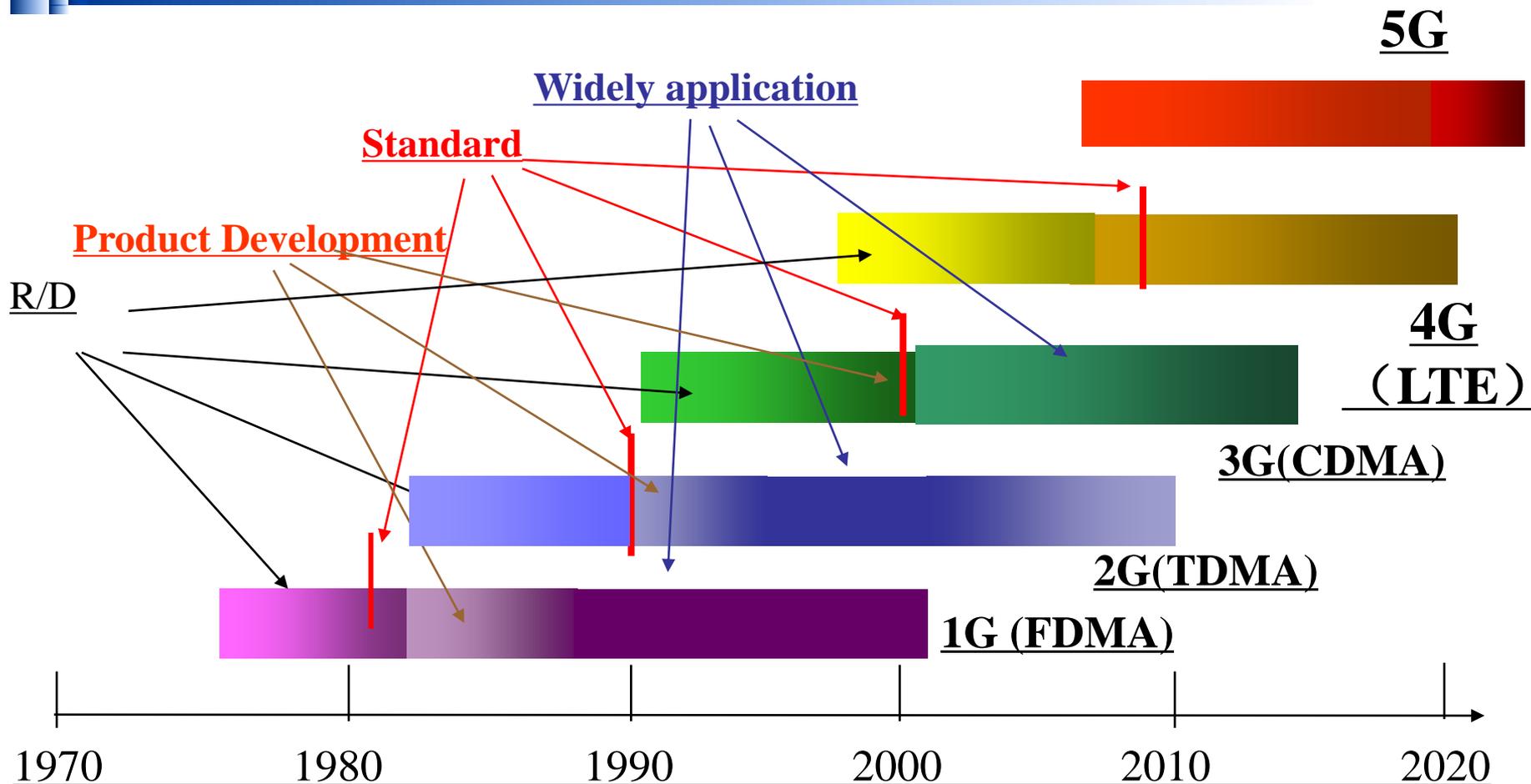
## ■ 关键性的突破:蜂窝移动通信结构

- 1978年，美国Bell实验室研制成功蜂窝移动通信系统，使移动通信开始走向大公众应用。
- 全球移动通信的用户数已远远超过固定电话的用户数，接近人口总数。移动互联网应用正在开创信息技术新时代，人人手握手机，一机在手几乎可以满足学习、生活、工作信息获取与处理的主要需求。
- 中国手机用户已超过10亿部，中国是全球第一大移动通信用户的国家，也是移动通信设备制造大国。





# 每隔十年产生新一代移动通信系统





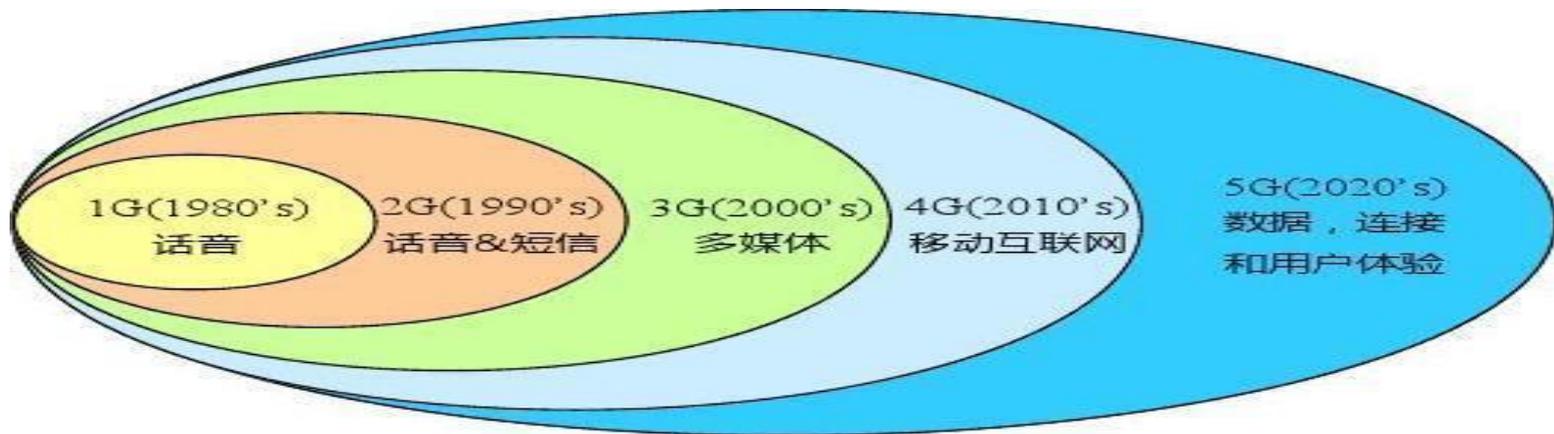
# 移动通信发展简述

- 1980s, 第一代移动通信系统
  - 1983年美国的AMPS
  - 1985年英国TACS系统
- 1990s, 第二代移动通信系统
  - 1992年欧洲的GSM
  - 1991年北美的IS-54
  - 1993年日本的PDC
  - 1993年美国提出的IS-95 (CDMA)
- 2000s, 第三代移动通信系统
  - 欧洲、日本的WCDMA
  - 北美的CDMA-2000
  - 中国的TD-SCDMA
- 2010s, 第四代移动通信系统
  - LTE (TD-LTE、FD-LTE)
- 2020s, 第五代移动通信系统



# 1G2G个人化、3G4G宽带化

- **个人化时代**: 1978年-1996年，贝尔实验室发明了蜂窝移动通信系统，二十年后，移动通信实现了数字化，开始全球普及。无线通信走向**个人化、移动化、公众化、小型化**。
- **宽带化时代**: 1996年-2016年，1996年以宽带化为特征的3G标准开始制定。二十年后，4G投入大规模商用，智能手机开始普及，无线移动通信走向**宽带化、多媒体化、IP化、多层接入化**。
- **? 化时代**: 2016年5G标准开始制定





# 第一代移动通信

- 以模拟通信为特征的移动通信
- 模拟话音与传输
- 仅为宏小区
- 频谱利用率低
- 保密性差、通话质量差
- 主要接入技术：FDMA
- 主要代表：AMPS(美国)、TACS(欧洲)





# 第二代移动通信

- 以数字通信为特征的移动通信
- 数字话音和数据通信
- 宏/微小区
- 频谱利用率高、容量大
- 多种业务、多种先进技术
- 保密性好主要接入技术：TDMA、CDMA
- 数据速率：9.6k~32Kbps
- 主要标准：欧洲的GSM，TDMA制式
  - 北美的(IS-95CDMA)，CDMA制式
  - 北美的DAMPS(IS-54)，TDMA制式
  - 日本的PDC，TDMA制式



## 2.5代移动通信

- 第二代提供的以话音为主的业务无法满足人们的需求。
- 在第二代移动通信基础上，通过增加网络和数据业务的协议，研发出来适用于数据通信的移动系统。
- 典型：GPRS，CDMA2000 1x
- 缺点：基于第二代系统，先天不足，无法从根本上提高系统容量和频谱效率。



# 第三代移动通信特点

- 频谱利用率高
- 高速传输支持多媒体业务
  - 室内环境至少2Mbps
  - 步行环境至少384kbps
  - 车速环境至少144kbps
- 传输速率按需分配
- 支持上、下行链路的不对称需求
- 3G增强技术使3G系统信息传输速率达到10Mbps左右



# 第三代移动通信系统3大标准

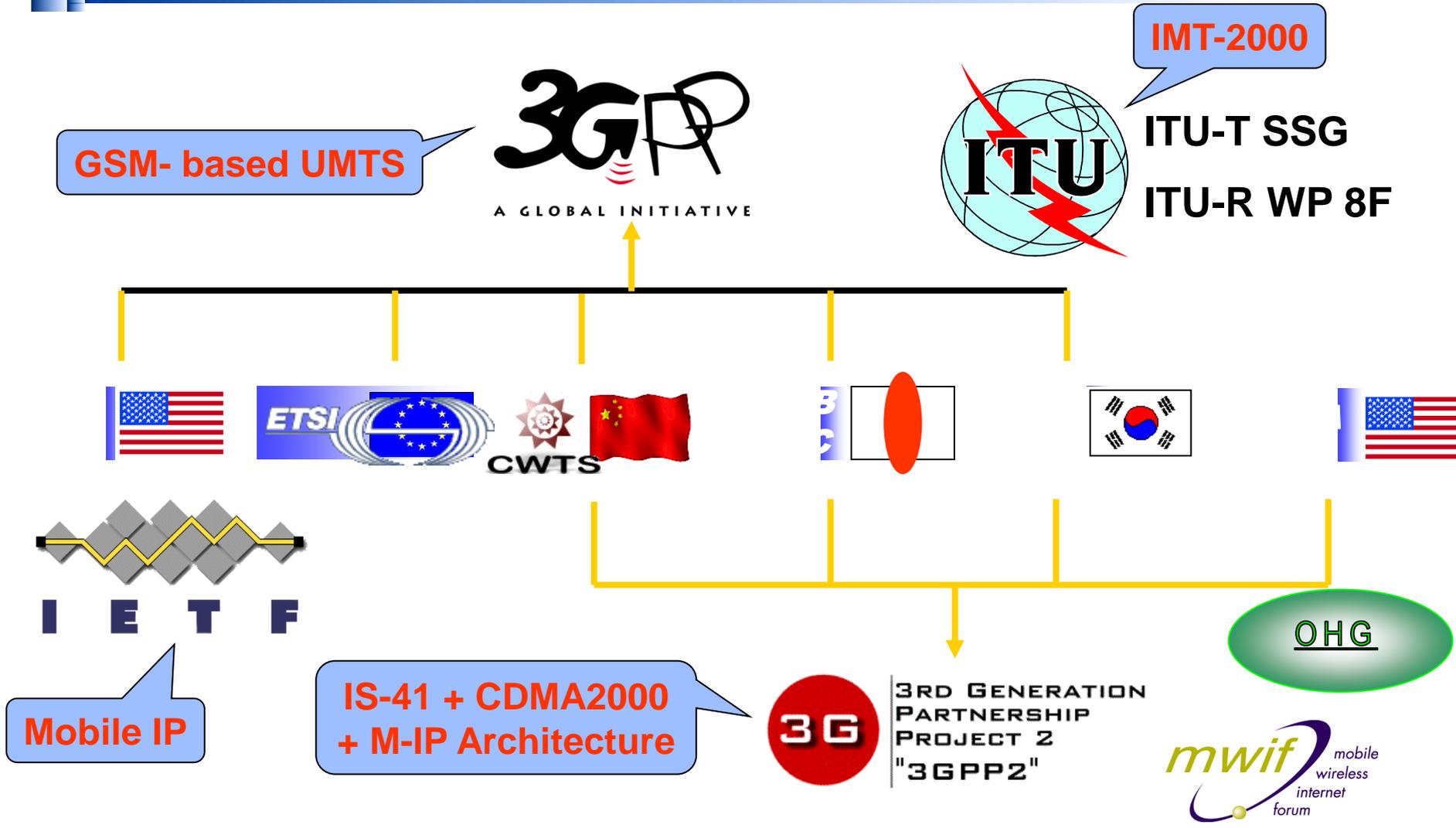
- WCDMA (CDMA、FDD)
- cdma2000 (CDMA、FDD)
- TD-SCDMA (CDMA/TDMA、TDD)

## 3G Network Construction in China

			Coverage (Number of Cities)
 中国移动通信 CHINA MOBILE	TD-SCDMA	 引领 3G 生活	10 38 238
 中国电信 CHINA TELECOM	cdma2000	 天翼 surfing 互联网手机	>100 >300
 China unicom 中国联通	WCDMA	 沃·3G	55 284



# 第三代移动通信标准合作计划组织



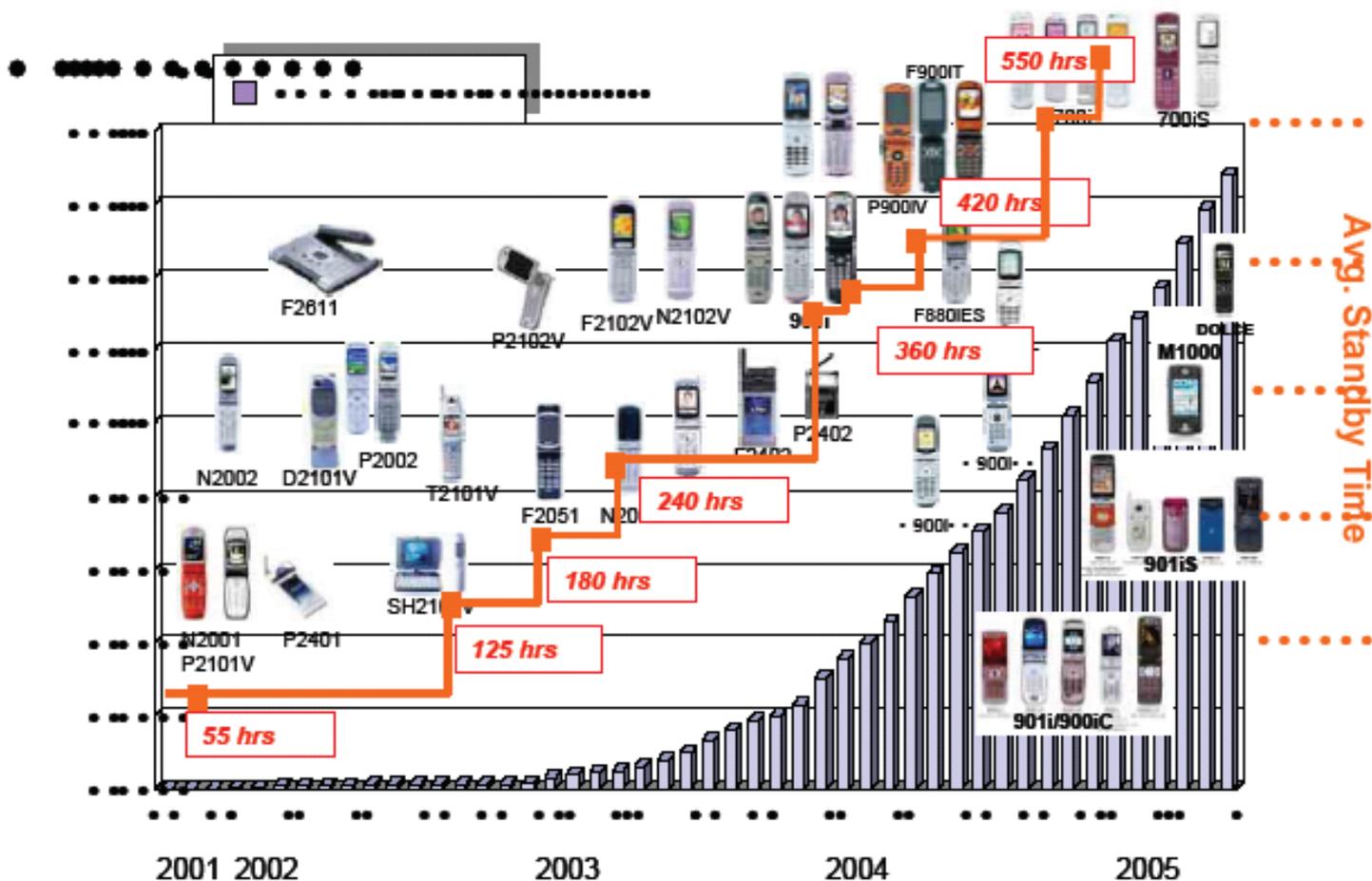


# 日本3G系统服务的启示

- 2001年10月1日日本在东京地区开始了全球首次WCDMA系统商业应用。
- 系统提供可视电话、384Kbps分组数据、64Kbps图象传输、i-mode互联网服务。手机重150克，彩色液晶显示。
- 日本开始商用后的几年发展缓慢，发展受制于芯片终端技术和网络覆盖。3G初期应用的经验告诉我们，移动通信的发展取决于产业链的协同发展。

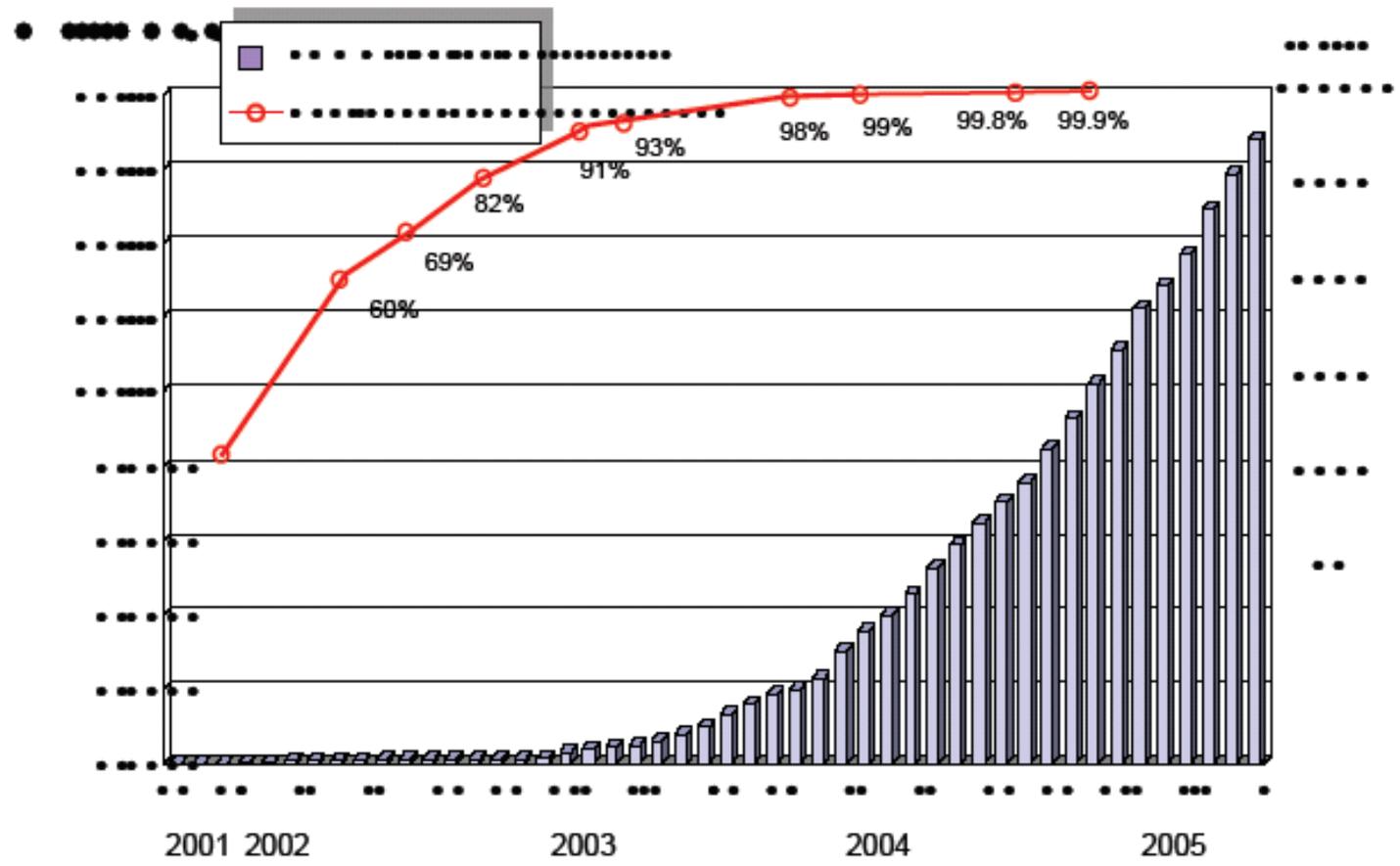


# FOMA Subscriber Growth





# FOMA Subscriber Growth





# LTE源于3G新演进

- 3G技术面临市场的压力
  - 传输速率不能满足需求
- 增强型3G技术、S3G、3.9G、E3G
  - 引入先进的、全新的无线技术
    - 多址技术：OFDMA
    - 多天线技术：MIMO
  - 数据传输速率提高一个数量级
- 3GPP/3GPP2全面启动了新一代3G技术的研究
  - 2007年中完成标准的制定
  - 2010年左右商用



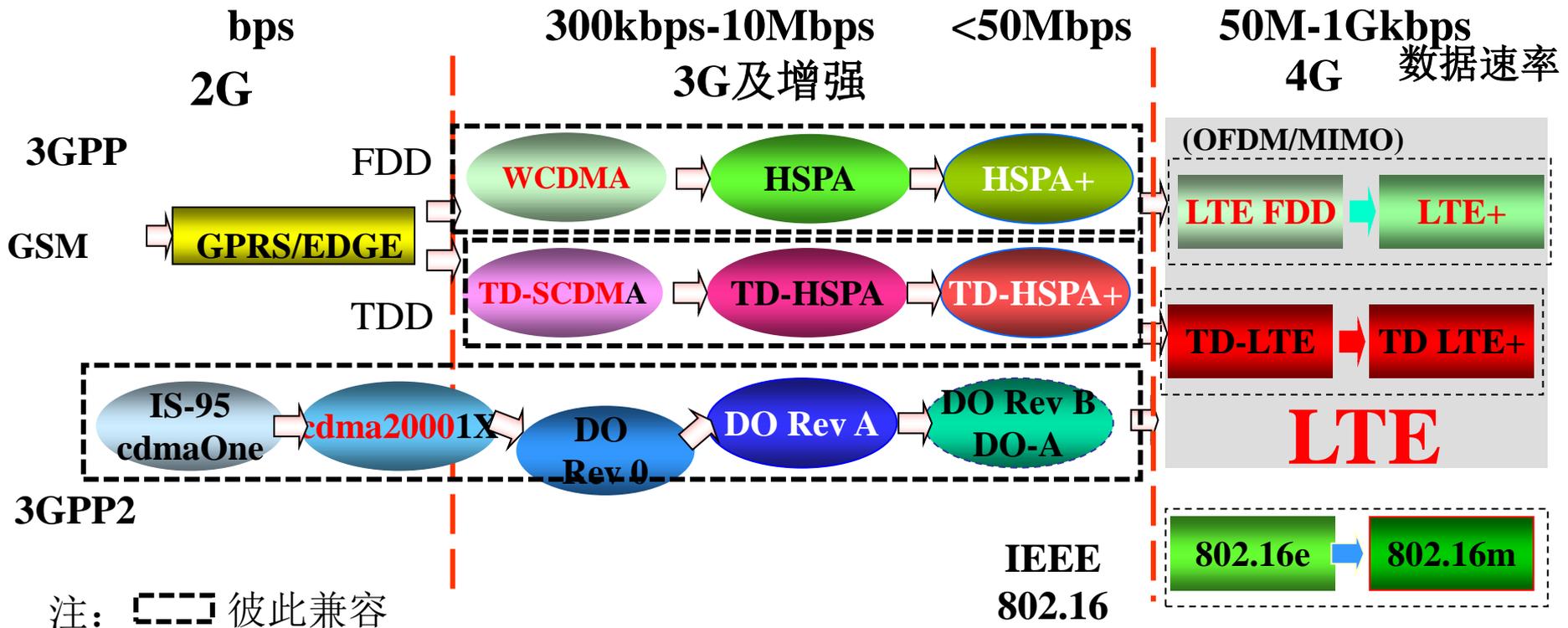
# LTE与4G

- LTE（3G的 Long Term Evolution），即是4G的开始（3.9G），4G将在LTE的基础上不断演进。
- LTE明显提高峰值速率：
  - 在20MHz下行频谱内峰值速率可达100Mbit/s
  - 在20MHz上行频谱内峰值速率可达50Mbit/s
- 4G: LTE-Advanced是LTE的演进，进一步支持100Mbps以上传输速率。



# LTE及其演进成为4G

- LTE有两种双工模式：FD-LTE和TD-LTE
- 中国主导了TD-LTE标准

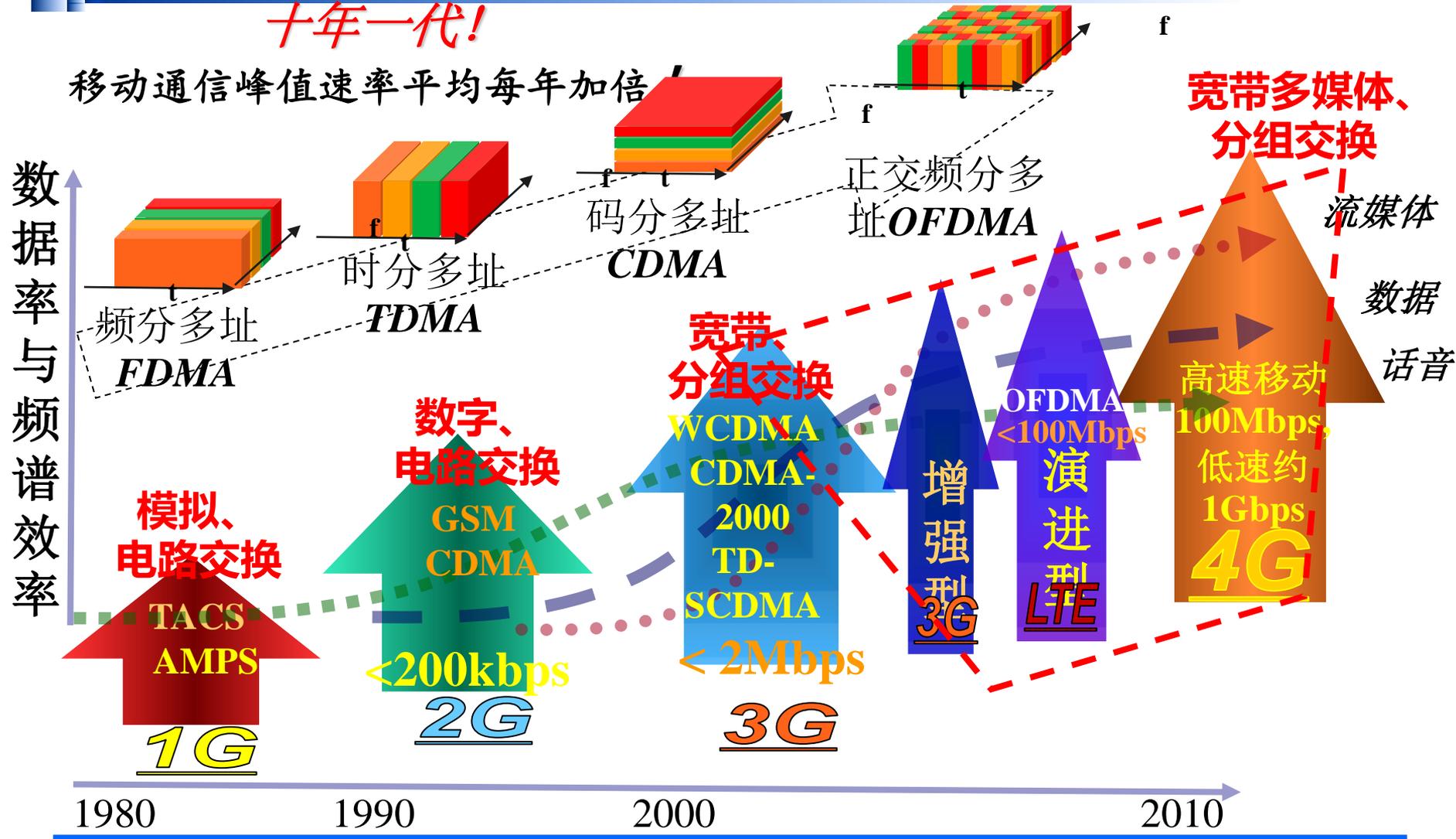




# 移动通信的换代

十年一代!

移动通信峰值速率平均每年加倍

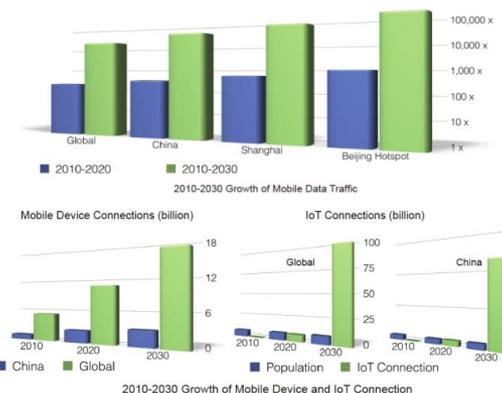
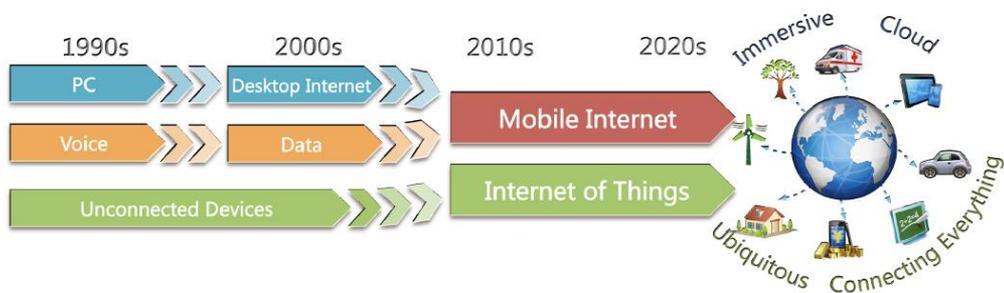




# 四、IMT-2020 5G移动通信

# 面向2020年及未来的5G愿景

## 移动互联网和物联网是5G发展的主要驱动力



超千倍流量增长

千亿设备连接

## 5G愿景：信息随心至，万物触手及



增强现实



虚拟现实



云桌面



智能家居



车联网



工业控制

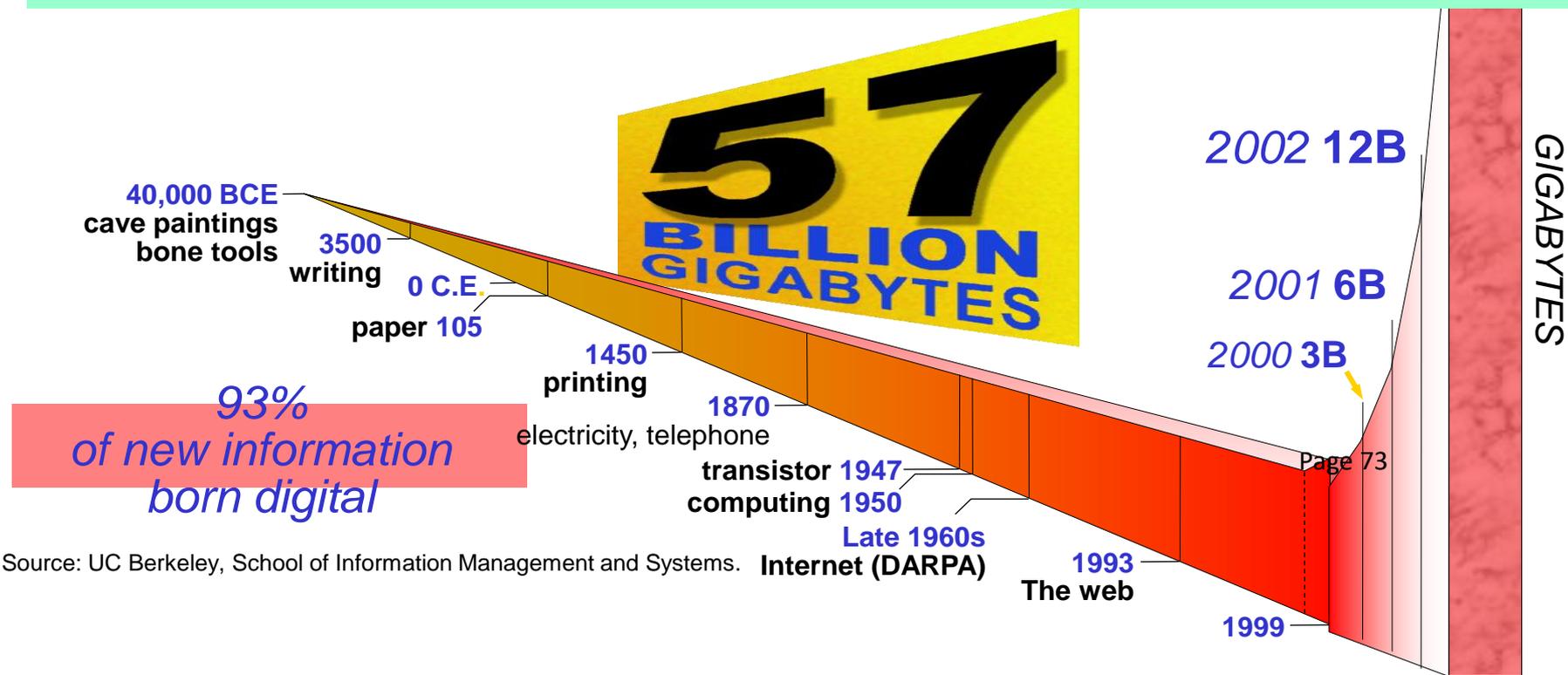




# 现有系统难满足移动互联网信息传输的需求

互联网每分钟的信息的传输量639TB，每天的信息传输量已近800EB (1EB=10<sup>3</sup>PB=10<sup>3</sup>TB=10<sup>3</sup>GB=10<sup>3</sup>MB=10<sup>3</sup>KB)

移动互联网产生了巨大的新业务，有限的频谱资源如何满足海量信息传输的需求？



Source: UC Berkeley, School of Information Management and Systems.



# 现有系统难满足物联网万物互联应用需求





# 5G是从个人互联走向万物互联的开始

实现人与物、物与物信息交互和链接，提升人对物理世界实时控制和精确管理能力，还将经历B5G/6G/7G.....很多发展阶段，征途漫漫





# 几十年前的个人通信理想离实现已为期不远,万物互联的理想才刚刚起步

- 几十年来移动通信、卫星通信等技术的飞速发展，使人类实现个人通信的理想为期不远了
  - 任何人在任何时间、任何地点、与任何一个人、实现任何一种媒体的通信
  - 每个人有唯一的通信号码，通信的个人性代替通信的终端性
- 万物互联的理想是将人改为物与人，则理想才刚刚起步，实现还相当遥远

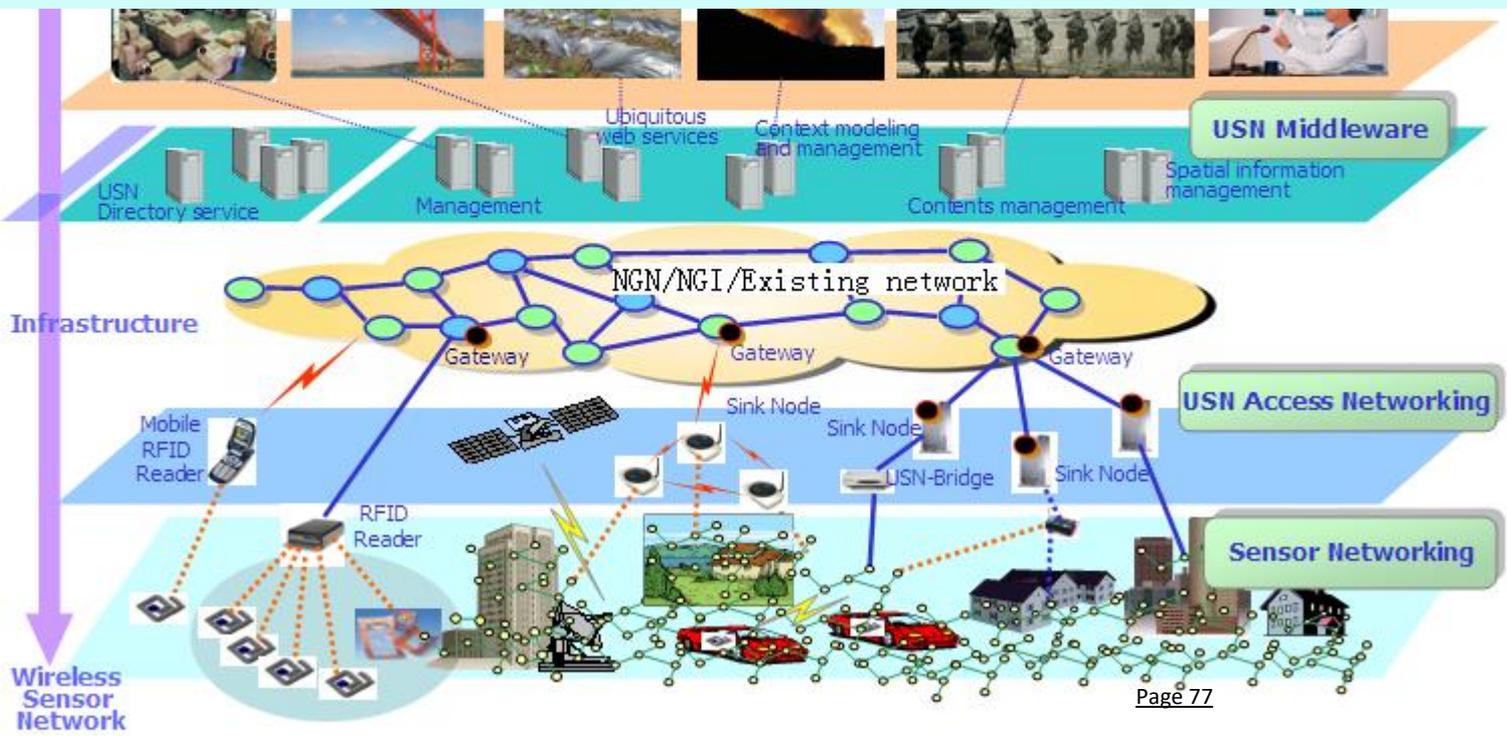
通信的基本问题是，在一点精确地或近似地复现在另一点所选取的讯息。这些讯息往往都带有意义。

——克劳德·香农，《通信的数学理论》（1948）



# 5G开始从蜂窝移动走向全域无线接入

“全应用、全覆盖、全无线、全频谱”的全域无线接入的理想需技术分阶段长期演进，每阶段（10年？）达到有限目标





# 5G技术的三大应用场景

- 增强的移动宽带

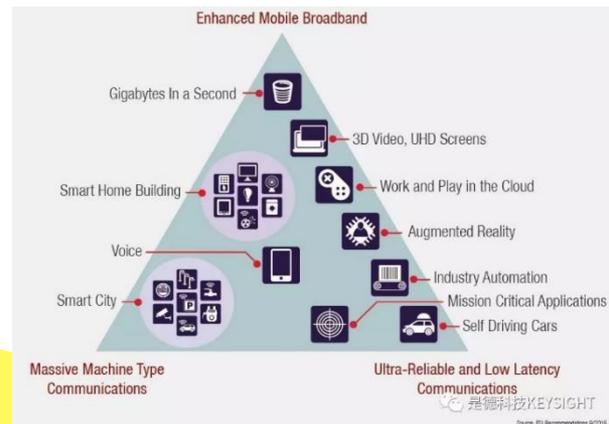
eMBB, enhanced Mobile Broadband

- 超高可靠低时延连接

uRLLC, Ultra Reliable Low Latency Connection

- 海量机器类通信

mMTC, Massive Machine Type Communication



支撑广域、大容量、  
移动宽带万物互联

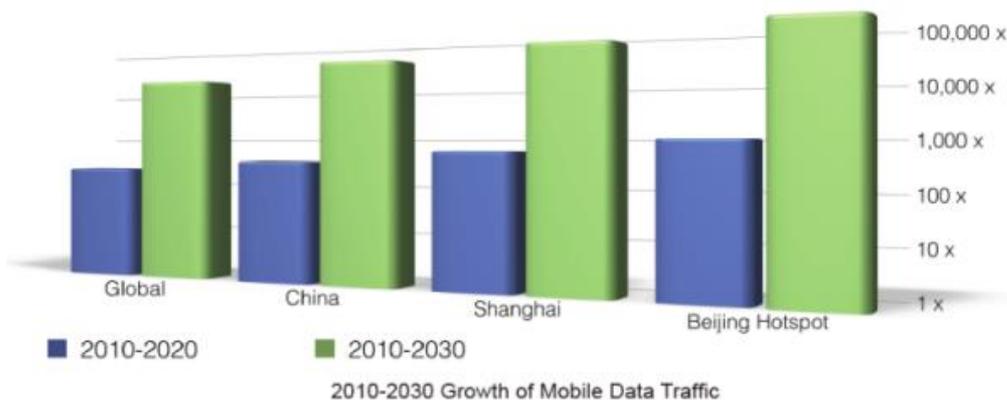
# 增强的移动宽带：满足更高的信息传输需求



3D显示



增强现实



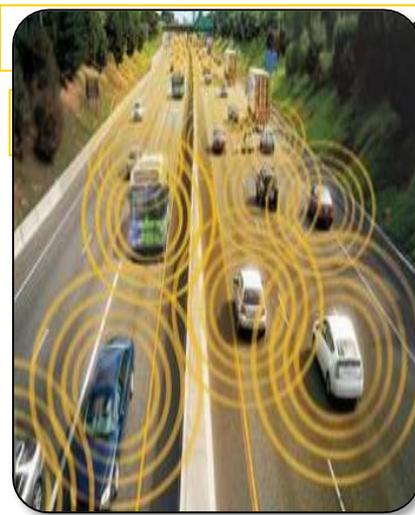
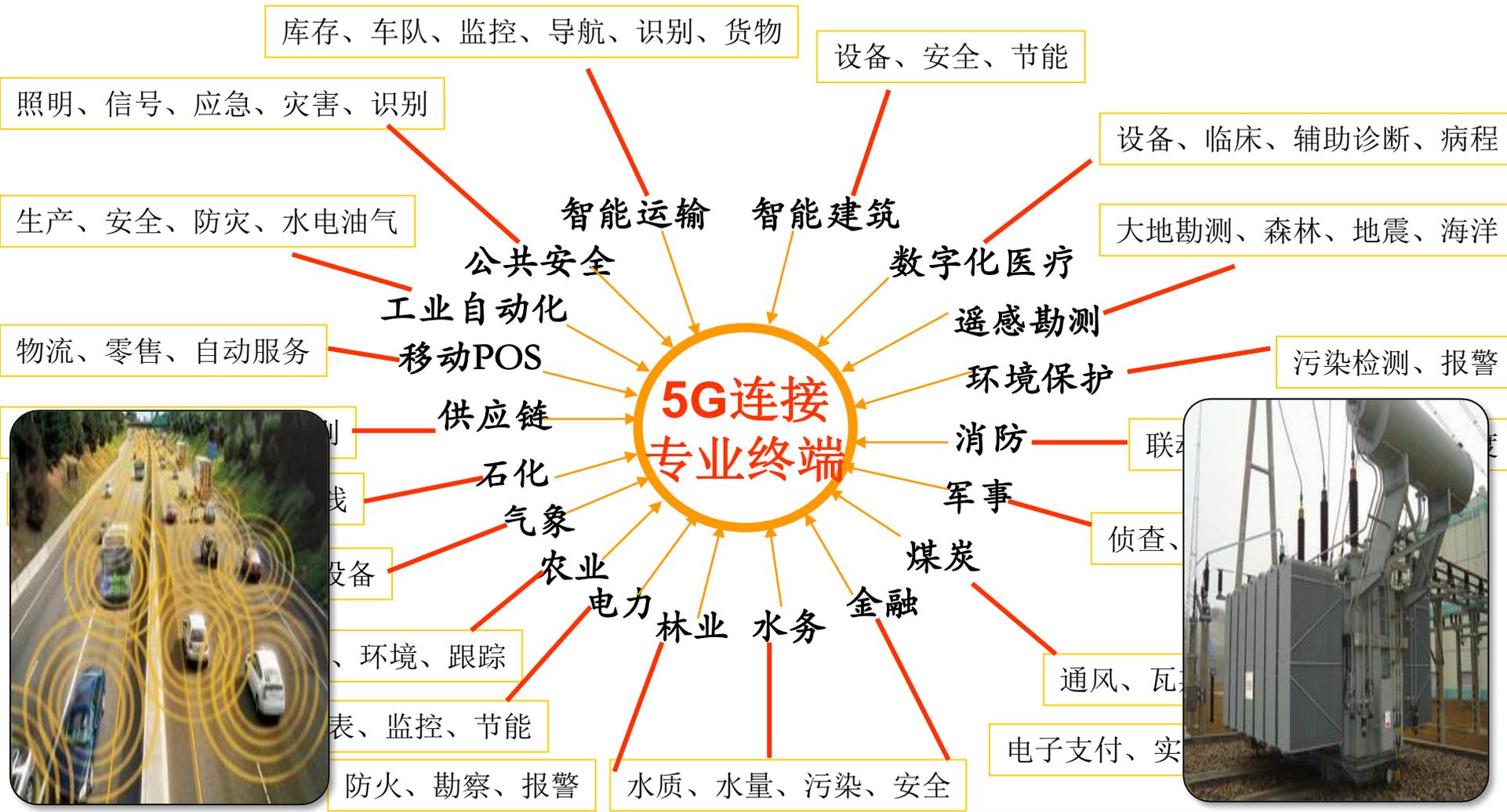
超千倍流量增长



云联接云服务



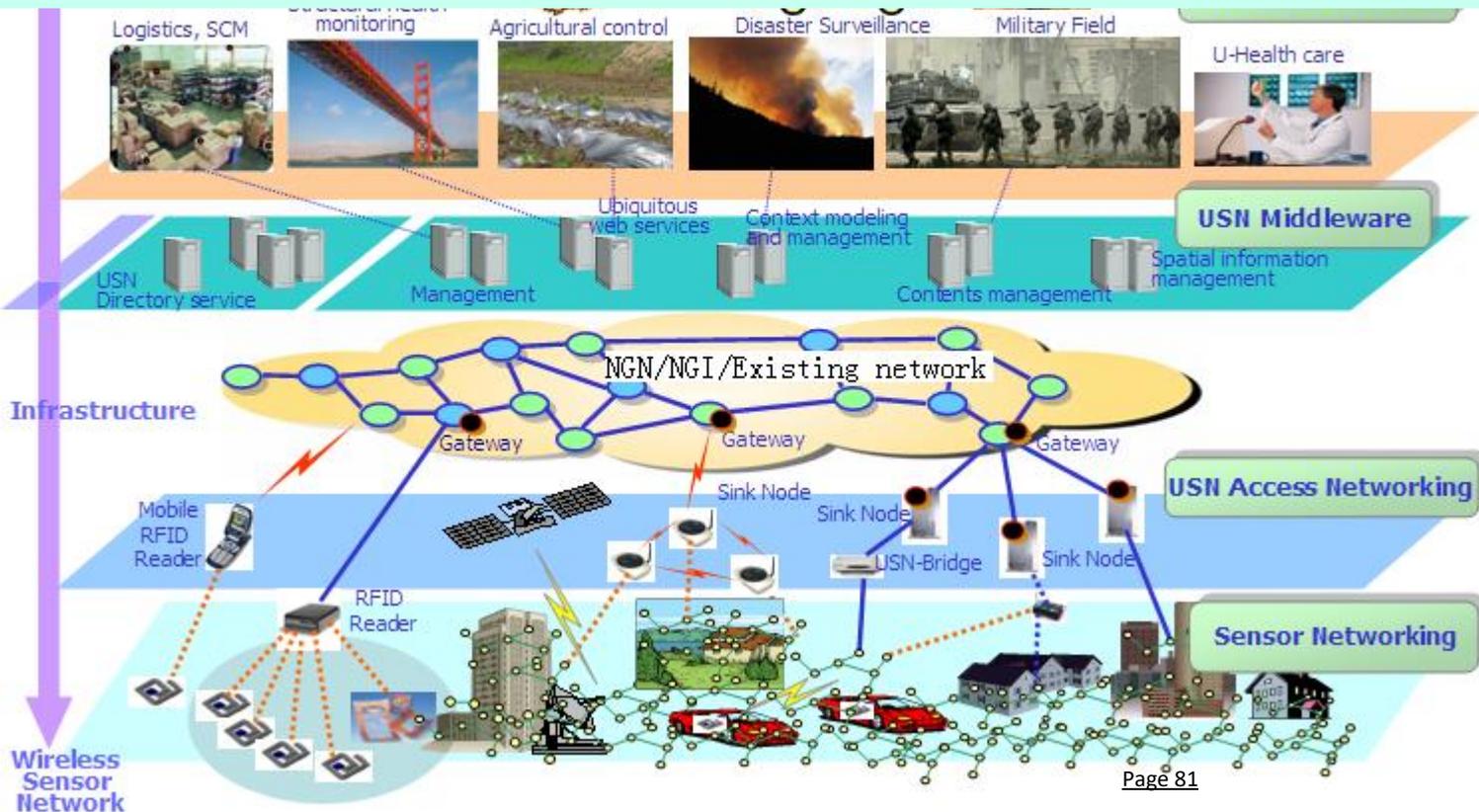
# 超高可靠低时延连接：满足垂直行业需求





# 海量机器类通信：满足广域大容量移动宽带万物互联

车联网、远程医疗、远程教育、工业互联网、智慧城市、智慧交通、智慧家居 .....



Page 81



# 5G能力提升

与4G相比，5G提升了8个方面的关键能力：

- 峰值速率从1Gbps增强到10Gbps以上，提升10倍以上；
- 体验速率从10Mbps增强到100Mbps，提升10倍；
- 频谱效率提升3倍；
- 支持的移动性从350km/h增强到500km/h；
- 时延从10ms降低到1ms，提升10倍；
- 每平方公里连接数从10万个增强到100万个，提升10倍；
- 网络能效提升100倍；
- 区域流量从0.1Mb/s/m<sup>2</sup>增强到10Mb/s/m<sup>2</sup>，提升100倍

万物互联需求



# 技术挑战：不同应用需不同能力

## 典型场景

## 技术挑战

### 主要面向移动互联场景

连续广域覆盖

增强宽带

热点高容量

- 用户体验速率100Mbps

- 用户体验速率1Gbps
- 用户峰值速率10~50Gbps
- 流量密度数十Tbps/km<sup>2</sup>

### 主要面向移动物联场景

低功耗大连接

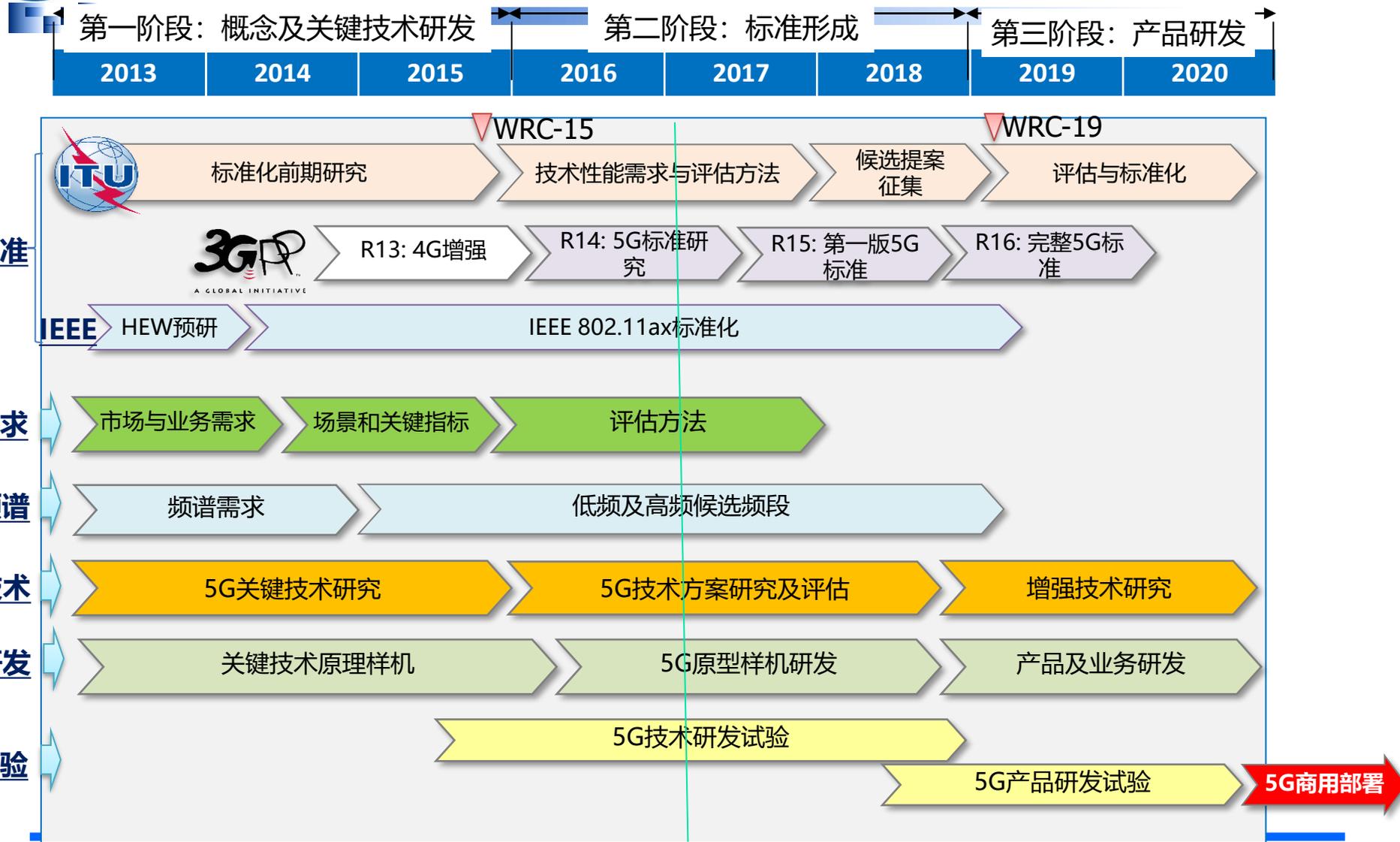
低时延高可靠

- 低功耗/低成本/广覆盖
- 海量连接 (10<sup>6</sup>-10<sup>7</sup>/Km<sup>2</sup>)

- 空口时延：1毫秒
- 端到端时延：毫秒级



# 5G标准化进程、产业与应用推进





# 5G标准冻结的实际时间节点

2017年12月，R15非独立5G组网标准冻结

2018年6月，独立组网R15标准冻结，支持eMBB和uRLLC场景

2020年6月R16标准冻结，支持eMBB改进、uRLLC和mMTC

2016年3月，3GPP启动R14研究项目，5G技术标准研究全面启动



5G完整标准由R15(支持支持eMBB和uRLLC场景)和R16(支持mMTC场景和其它场景改进)构成



# 5G空口：从低频段到毫米波频段扩展

- 5G空口适应6GHz以下低频段和26GHz以上的高频段

	sub-6 GHz						mmWave			
使用 频段	0.6 GHz	2.5 GHz	3.4-3.7 GHz			4.4-4.9 GHz	28 GHz	39 GHz	...	64-71 GHz 71-76 GHz
地理 区域	USA	USA	Europe	China	Japan South Korea	Japan	USA	Japan	USA	TBD
商用 时间	2019	Late 2019	TBD	2020	2020	Mid-2020	2018	2020+	2018	TBD

由于5G增强宽带应用对峰值速率和小区容量的追求，仅仅通过提高频谱效率已经无法满足5G的需求了。因此5G需使用更高的频段和更大的带宽，来满足下一代宽带移动通信的要求。高频段、毫米波关键技术、芯片与器件的开发，组网、覆盖与应用模式都面临着挑战

# 5G新空口：灵活可配置

## ■ 支持大带宽和灵活带宽设计

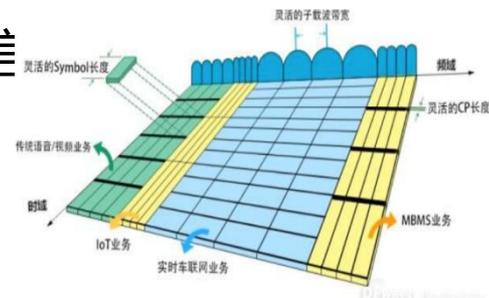
- 大带宽：100MHz、400MHz，适应毫米波通信

## ■ 支持低时延设计

- 较宽OFDM子载波间隔
- 符号级的调度资源粒度
- 自包含时隙和快速重传机制

## ■ 支持灵活可配置

- 灵活可配：参数集、帧结构、同步资源、公共控制资源、专用资源、导频信号.....
- 灵活参数集：多套参数设计，满足低频高频不同带宽的需求
- 灵活帧结构：满足多样时延需求



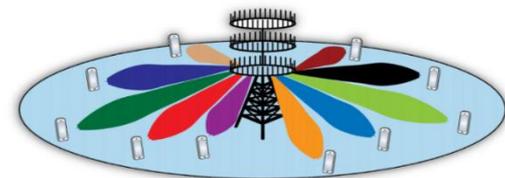
采用4G基于OFDMA的正交多址接入技术，更短时隙、更多子载波宽度保证更多样业务质量



# 5G新空口：多天线传输机制

## ■ 支持大规模MIMO

- 下行支持最大32端口的天线配置,上行最大4端口
- 下行单用户最大支持8流,最大支持12个正交多
- 上行单用户最大支持4流



大规模天线系统  
提升传输速率

## ■ 支持更多天线阵列模式和场景

- 定义了更多的导频格式,以支持更多天线阵列模式和场景

## ■ 混合波束赋形

- 采用数字或模拟波束赋形传输,提升系统整体覆盖



# 5G核心网:服务化架构、支持灵活部署

## ■ 基于网络虚拟化(NFV)/软件定义网络(SDN)

- 硬件和软件解耦，控制与转发分离

## ■ 采用通用数据中心的云化组网

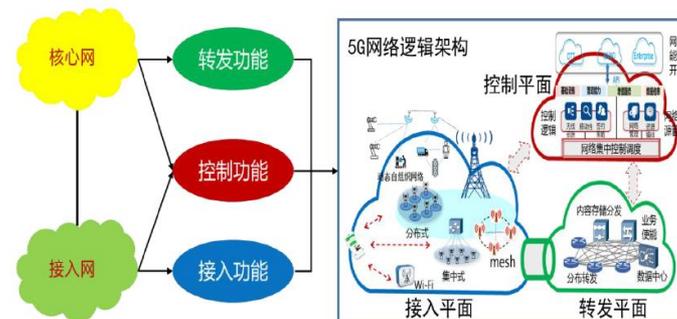
- 网络功能布置灵活，调度高效

## ■ 支持边缘计算(MEC)

- 接入网中心单元CU/分布单元DU分离，云计算平台下沉到网络边缘，支持基于应用的网关灵活选择和边缘分流，支持低时延，支持本地寻呼和计费，基于用户位置判定是否接入边缘计算平台

## ■ 基于网络切片

- 资源可伸缩，可动态设置网络拓扑，重构网络架构和功能；提供定制化，逻辑隔离，专用的端到端虚拟网络服务，满足行业多元化需求

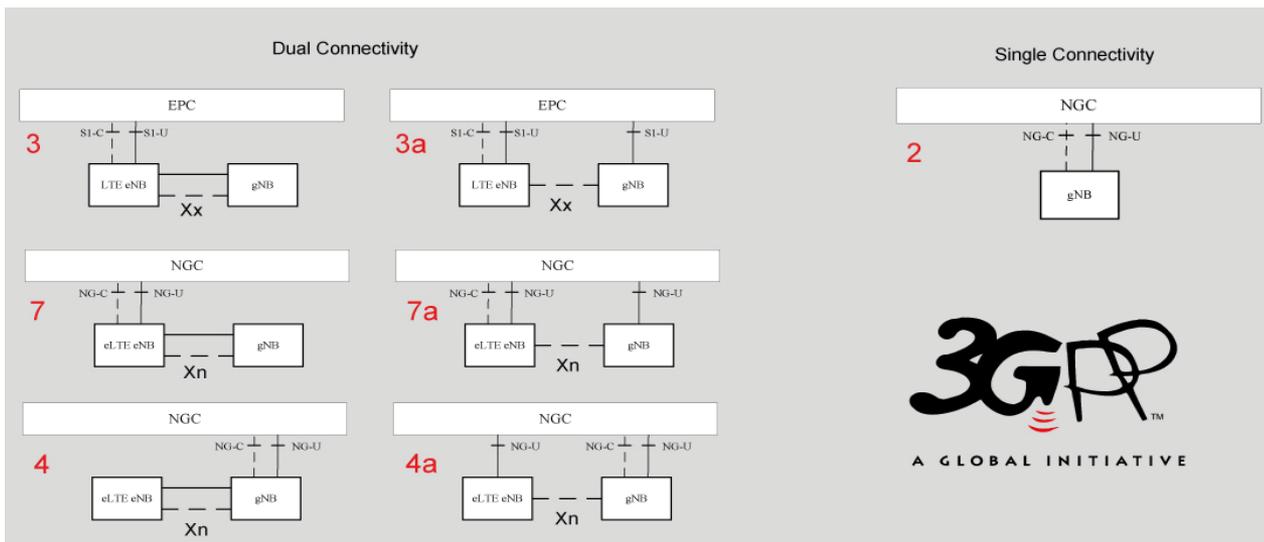




# 5G组网：独立组网与非独立组网

## 5G组网部署选项

- 非独立组网（NSA）是在4G网络上增加5G空口，增强宽带
- 采用5G新架构的独立组网（SA），才能支持高可靠低时延业务
- 单链接（独立组网）与双链接（支持4G平滑过渡）选项



5G需与4G  
融合组网  
， 频谱与  
应用共享



# 5G标准的特点：四新四化

- **设计新**：适应场景多样性，对空中接口帧结构等方面进行了全新设计，可灵活配置
- **架构新**：引入了接入网中心单元CU/分布单元DU分离的接入网架构，使组网更加灵活
- **频段新**：可支持低频(<6GHz)到高频(>6GHz)更大范围的频率布置
- **天线新**：支持大规模天线,大幅度提升系统效率
- **IT化**：核心网实现统一的IT基础设施,功能软件化
- **互联网化**：柔性网络\服务化架构\协议体系的互联网化
- **极简化**：控制面与用户面分离,实现了用户面功能简化和高效
- **服务化**：网络切片、边缘计算技术提供个性化、定制化服务



# 我国为5G标准做出了突出贡献

- R15阶段，中国公司为5G新空口标准提供文稿1.2万篇，占总文稿32%
- 中国公司牵头了40%的项目研究
  - 基础系统设计
  - 调制编码
  - 多天线
  - 控制信道设计
  - 高层协议
  - 服务化架构
  - .....



HUAWEI

ZTE中兴



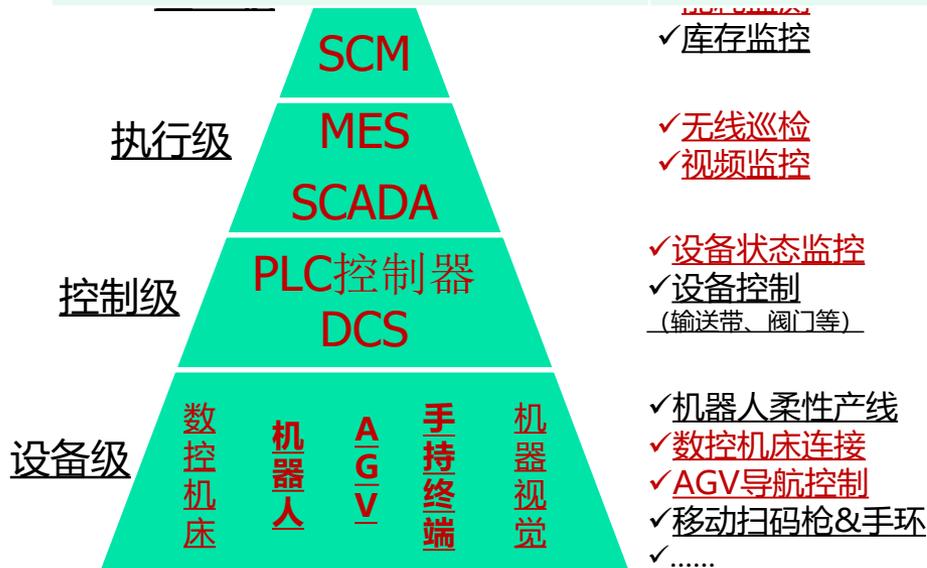
中国移动通信  
CHINA MOBILE





# 5G万物互联是巨大的机遇，也是巨大的挑战

业务	通信需求
AGV导航控制	双向 <b>移动性</b> 应用、抗干扰、 <b>时延100ms</b> 以内，对容量要求
数控机床连接	固定数据采集回传为主，大带宽（XXMbps/台）
无线视频监控	大容量、大带宽（2mbps/路）， <b>移动</b> 和固定接入兼有
无线巡检	<b>广覆盖</b> 、行业巡检终端，部分需要防爆能力
设备状态监控	数据采集回传，要求大容量、低功耗、广覆盖
机器视觉	超大带宽（Gbps/路）、超低时延（<1ms）



- ✓**库存监控**
- ✓**无线巡检**
- ✓**视频监控**
- ✓**设备状态监控**
- ✓**设备控制**  
(输送带、阀门等)
- ✓**机器人柔性产线**
- ✓**数控机床连接**
- ✓**AGV导航控制**
- ✓**移动扫码枪&手环**
- ✓.....

三大类别	六小类	功能描述
安全	0类	紧急动作(世为关键)
	1类	闭环调节控制(通常为关键)
控制	2类	闭环监督控制(通常为非关键)
	3类	开环控制(由人工控制)
监测监控	4类	标记产生短期操作结果
	5类	记录和下载/上载不产生直接的操作结果

**5G万物互联具有广阔的无线需求与应用前景，行业涉及更广，产业链更长更持久，机遇与挑战并存！**



# 机遇与挑战：5G需与物联应用同步发展

- 5G面向海量机器类通信(mMTC)场景的标准将推迟到R17阶段去研究，**应属B5G**。
- **5G/B5G需与物联应用同步发展**
- **大规模物联的应用需求尚待发展**





# 机遇与挑战：5G应用需不断开拓创新

- 5G将提供万物互联与行业应用的无线连接技术，应用前景广阔，万物互联与行业应用的发展需较长时间的探索与开拓，5G的建设与应用将持续较长周期，5G的技术链、产业链更宽更长，机遇与挑战并行。
- 5G产业生态需联合创新，探索新需求、新技术、新业务、新商业模式，任重道远。

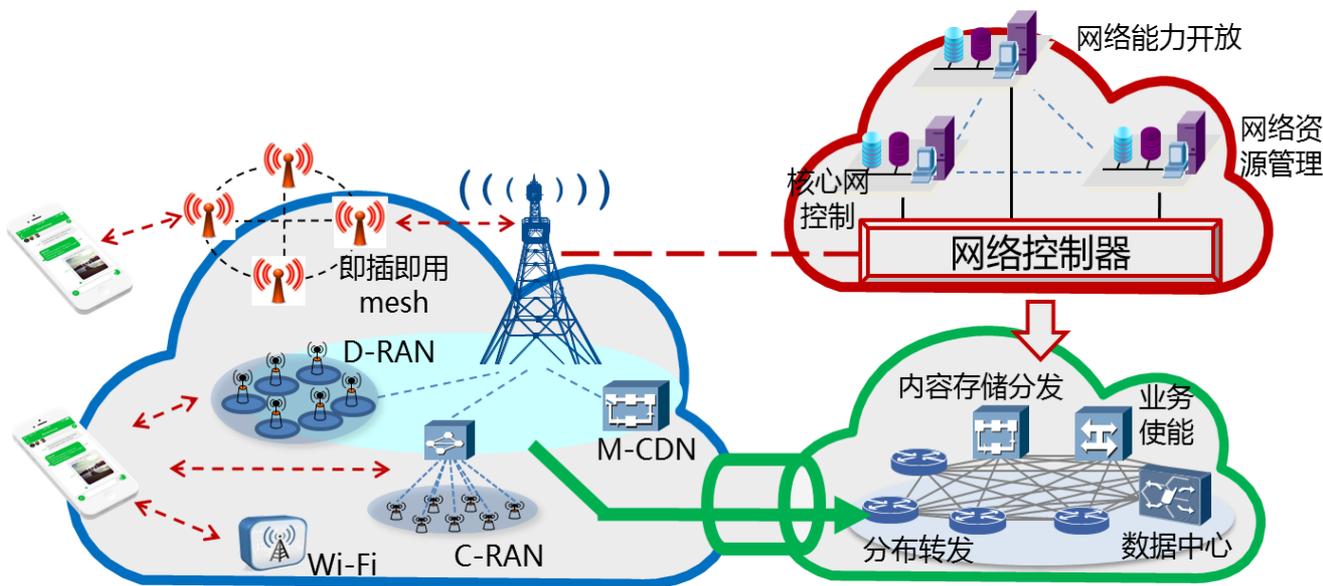
5G创新还在路上！





# 机遇与挑战：智能化是5G的必由之路

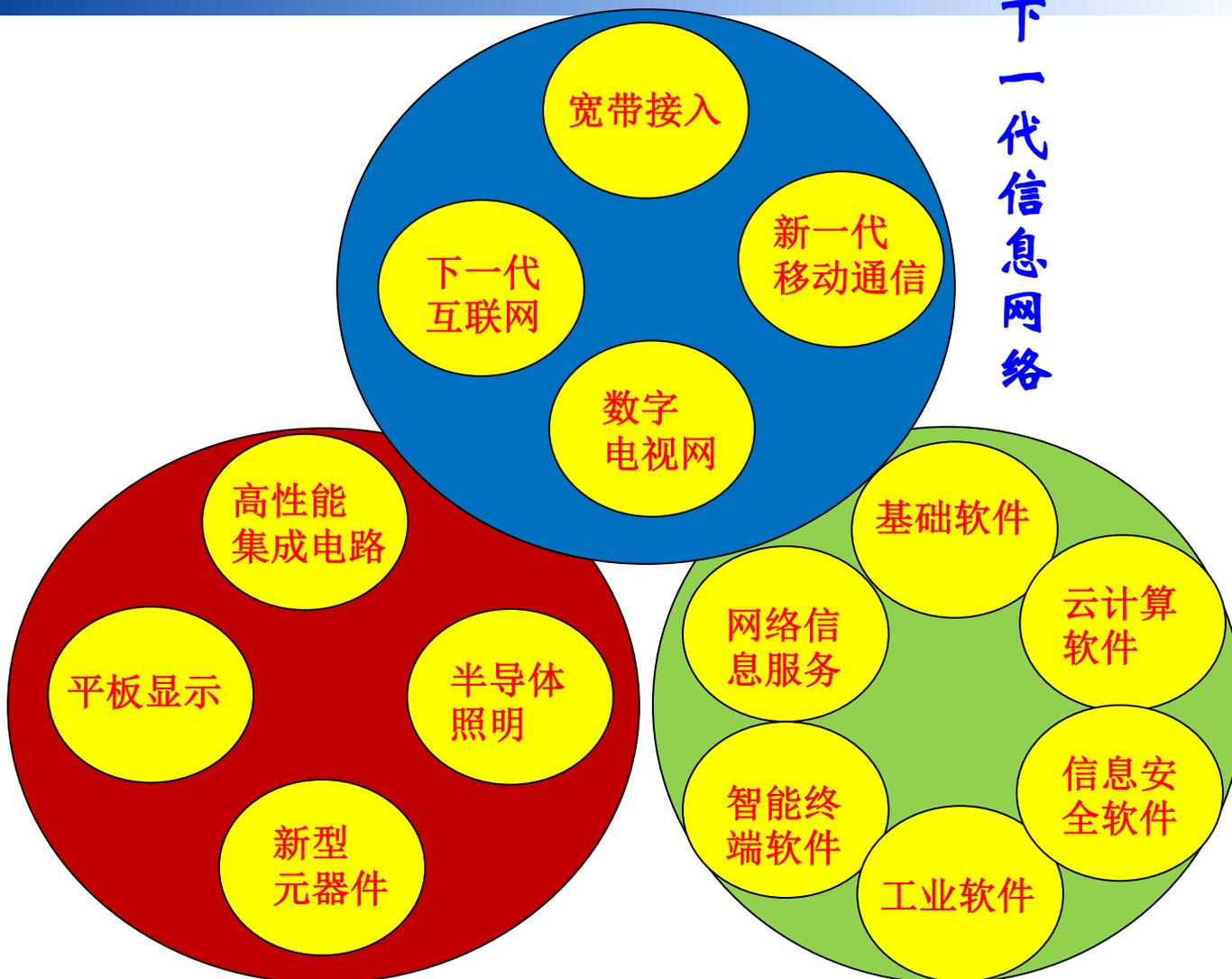
- 5G是移动通信智能化的开始，是ICT的融合。5G移动通信技术将与云计算、大数据、人工智能等技术结合和融合。5G面对差异化的接入、组网和应用需求，将通过对移动核心网的“云化”架构以及基础设施的“虚拟化”，引入智能技术，全面提升网络服务质量以及运营效能。





# 机遇与挑战：5G核心器件与软件

电子核心基础产业





# 6G研究已开始：愿景与需求

- 2018年7月16-27 日在日内瓦召开的会议上，国际电信联盟 (ITU) 宣布成立了ITU-T 2030年网络技术焦点组 (FG-NET-2030)，以研究Beyond 5G (6G) 网络的需求
  - B5G or 6G的需求有哪些?
  - B5G or 6G的技术创新方向有哪些?
  - B5G or 6G如何为用户提供真正个性化的服务



6G是面向2030年后应用的系统。2023年前，开展6G愿景和技术趋势研究，随后将启动6G的技术与标准研究。



## 更高速率

传输速率为5G的10倍以上，峰值速率达到100G-1Tbps

## 更加智能

引入人工智能、大数据等技术，使网络具有端到端高度智能、自组织自优化能力

## 更广覆盖

覆盖范围延伸到空天甚至深海，实现通信网络空天地一体化

# 6G-2030

## 愿景

## 更加绿色

降低能耗与成本，提升每比特系统能效，支撑低碳绿色可持续发展

## 更加安全

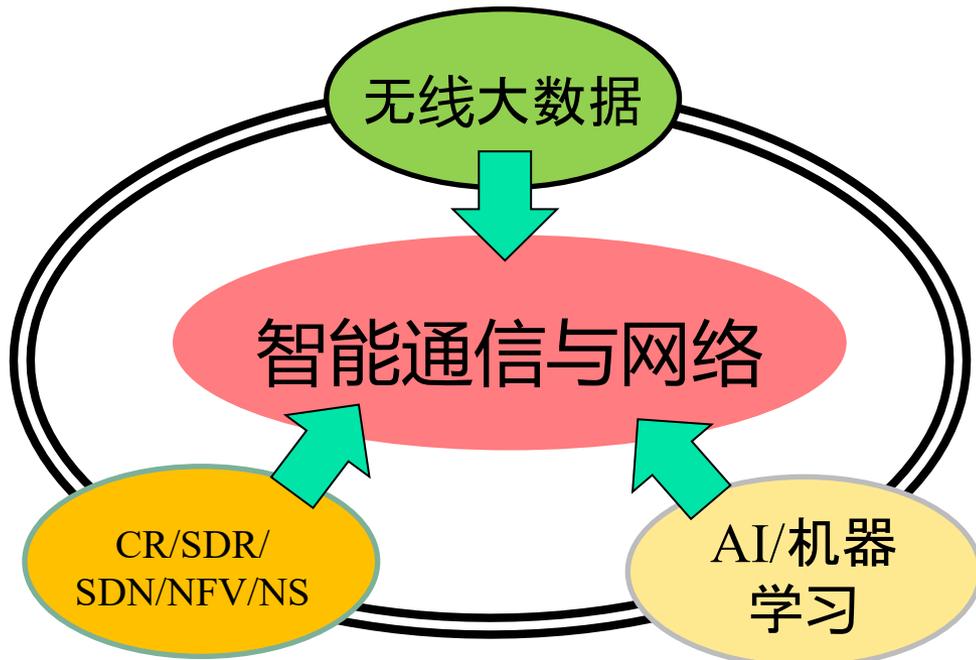
网络具有内生安全，对网络攻击具有自感知、自适应风险和信任评估，实现网络空间安全



# 6G发展大趋势：智能通信

5G是无线移动通信智能化的开始，是ICDT的融合。6G通信技术将与虚拟化、云计算、大数据、人工智能等技术深度结合和融合

- 感知识别
- 知识计算
- 认知推理
- 运动执行
- 人机交互

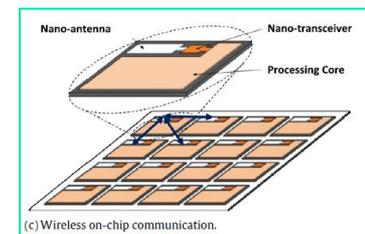
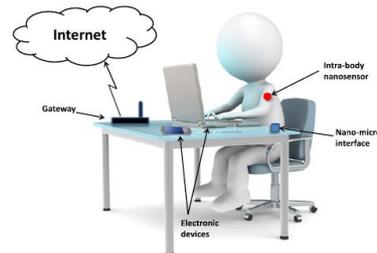
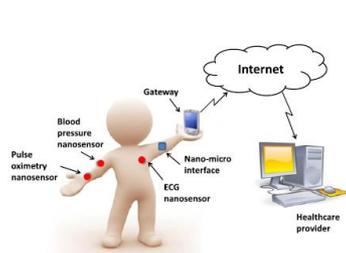


- **精准资源配置**
  - 资源全局调度
  - 按需精准配置
- **弹性网络优化**
  - 构架灵活调整
  - 容量弹性伸缩
  - 自学习自优化
- **智慧信息服务**
  - 精准化
  - 高效化
  - 个性化



# 6G将用太赫兹频段的观点较统一

- **主要应用场景：未来网络前传与回传大容量，进一步增强型移动宽带**
  - 美国、日本、欧盟已经正式布局6G通信技术，已初步定位进一步增强型移动宽带，峰值数据速率要大于100Gbps，计划采用高于0.275THz以上的太赫兹频段。
  - 美国FCC、NSF及ComSenTer项目拟研究140GHz、220GHz、340GHz频段，使用**超大规模MIMO**技术提供更大空间复用增益的方法
  - 2019年的世界无线电通信大会（WRC2019）将立项开始研究0.275-0.475THz的太赫兹频段用于移动及固定服务的可能性。
- 除了传统蜂窝通信场景外，太赫兹通信在**健康检测无线传感网络、纳米互联网、超高速片上通信**还有重要应用前景





# 结论

- 面向万物互联的5G具有广阔的发展前景
- 5G是万物互联的开始不是结束
- 万物互联的应用才刚刚启步，机遇与挑战并存，创新在路上
- 移动通信与云计算、大数据、人工智能等技术结合和融合是必由之路
- 灵活、智能化是5G的技术特征，5G是移动通信智能化的开始，5G高频段应用提出了更多技术挑战
- 5G技术还在增强演进中，6G已开始萌芽

谢谢

