

现代通信原理

周武旻



教学人员

- ❖ 周武旻, wyzhou@ustc.edu.cn, 63600485
- ❖ 李伊陶, liyt@mail.ustc.edu.cn
- ❖ 王 露, wang116@mail.ustc.edu.cn

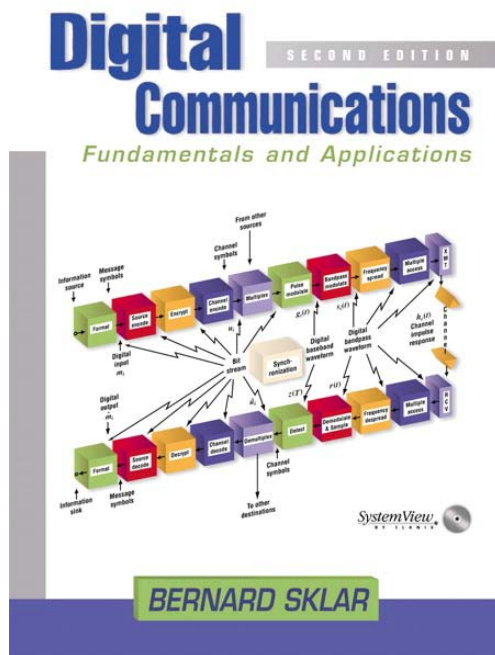
- ❖ 班级联系人
- ❖ 李宏亮, lang@mail.ustc.edu.cn

❖ 教材

- 《数字通信:基础和应用》（第二版）
 - 作者: **Bernard Sklar**
- 其他相关书籍

❖ 成绩评定

- 平时成绩: **10%**
- 实验成绩: **30%**
- 期末成绩: **60%**



课程内容

- ❖ 第一章 绪论
- ❖ 第二章 基本概念与基础知识
- ❖ 第三章 信源编码
- ❖ 第四章 数字信号的基带传输
- ❖ 第五章 数字信号的频带传输
- ❖ 第六章 同步技术
- ❖ 第七章 差错控制编码
- ❖ 第八章 多址技术
- ❖ 第九章 **OFDM**技术

第一章 绪论

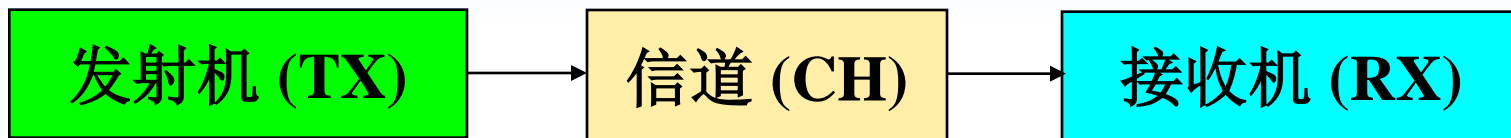
- ❖ 1.1 通信的概念及分类
- ❖ 1.2 移动通信的发展历程

1.1 通信的概念

- ❖ Shannon在其1948年的论文^[1]中指出：“The fundamental problem of communication is that of reproducing at one point either exactly or approximately a message selected at another point”，即由一方向另一方进行消息的有效传递。
- ❖ 面对面交流、烽火、电报、电话、互联网等。

[1] C.E. Shannon. A Mathematical Theory of Communication.
The Bell System Technical Journal. Vol.27, 1948. p379~423.

通信链路的基本元素



The transmitter (TX) element processes message signal in order to produce a signal most likely to pass reliably and efficiently through the channel. This usually involves modulation of a carrier signal by the message signal, coding of the signal to help correct for transmission errors, filtering of the message or modulated signal to constrain the occupied bandwidth, and power amplification to overcome channel losses.

The receiver (RX) function is principally to reverse the modulation processing of the transmitter in order to recover the message signal, attempting to compensate for any signal degradation introduced by the channel. This will normally involve amplification, filtering, demodulation and decoding and in general is a more complex task than the transmit processing.

Loosley defined as the electrical medium between source and destination, e.g. cable, optical fibre, free space, the channel is characterised by its Loss/Attenuation, Bandwidth, Noise/Interference and Distortion.

在通信中传递的信息一定要“数据化”，否则无法传递，比如气味。

通信网络

- ❖ 如同交通系统，货物、人就像通信系统要传递的信息，道路交通设备就像通信系统中的传输网、交换网等各种技术体系的网络架构，道路交叉点就像交换机、路由器等。
- ❖ 为保证交通工具（无论装货、载人）能够安全、顺利到达目的地，要符合一定的规则：遵守交通规则、货物拆分打包、不超载、合适的交通工具、合理的交通线路等，这就是通信网中的编解码、数据分组格式、路由等通信协议。

通信系统分类

❖ 按传输媒介分类

- 有线通信
- 无线(wireless)通信

❖ 按消息物理特征分类

- 电话
- 电视
- 数据通信
- 图像通信

❖ 按系统典型设备分类

- 光纤通信
- 卫星通信
- ...

❖ 按信道发送信号类型分类

- 模拟通信
- 数字通信

❖ 按终端设备固定或移动分类

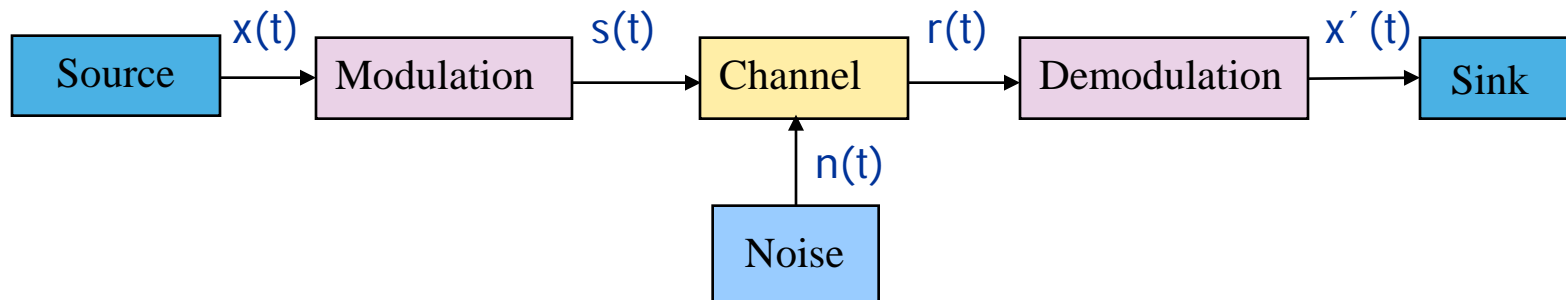
- 固定通信
- 移动通信

.....

模拟通信和数字通信模型

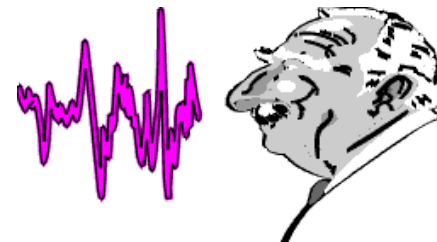
❖ Analog Communication System

- 信道中传送的是**Analog Signals**



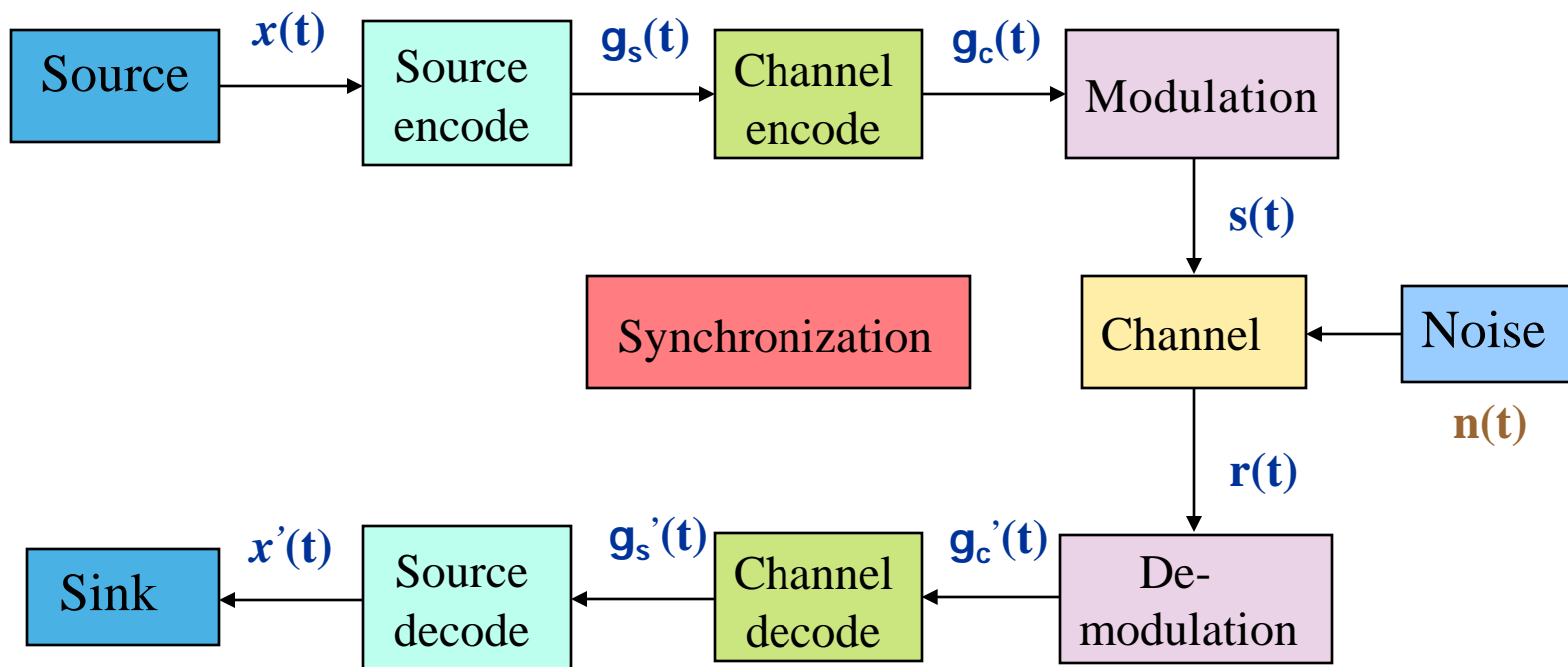
模拟通信信号变换过程

- **Source:** 信息信号 $x(t)$ (模拟基带信号)
- **Modulation:** 信息信号 $x(t) \rightarrow$ 发送信号 $s(t)$
 - 连续波模拟调制
 - 脉冲序列模拟调制
- **Channel:** 噪声 $n(t)$, 接收信号 $r(t) = s(t) + n(t)$
- **Demodulation:** 恢复信息信号 $x'(t) \approx x(t)$
- **Sink:** 信息信号 $x'(t)$



数字通信系统

❖ 信道中传送的是 **Digital Signals**



数字通信信号变换过程

- **Source: $x(t)$** (模拟基带信号)
- **Source encode: $x(t) \rightarrow g_s(t)$** (数字基带信号)
- **Channel encode: $g_s(t) \rightarrow g_c(t)$** (编码基带信号)
- **Modulation: $g_c(t) \rightarrow s(t)$** (频带信号)
 - 连续波数字调制
 - 脉冲序列数字调制
- **Channel: $n(t)$, $r(t) = s(t) + n(t)$** (接收信号)



- Demodulation: $r(t) \rightarrow g_c'(t)$
- Channel decode: $g_c(t) \rightarrow g_s'(t)$
- Source decode: $g_s'(t) \rightarrow x'(t)$
- Sink: $x'(t)$
- Synchronization: 同步，建立收发两端之间一致的时标关系（同频同相）
 - 同步是数字通信系统正常工作的前提

数字化的原因？

数字通信优点

- 抗干扰能力强（有效抑制噪声干扰累积）
- 数字电路更可靠、更灵活，并便于集成化、微型化
- 便于与计算机技术相结合（信号处理和控制）
- 采用检错和纠错可获得极低的差错率（高保真）
- 便于加密处理
- 器件价格低；

数字通信缺点

- 同步技术复杂
- 服务质量存在“门限效应”

调制方式分类

□ 调制和解调

- ❖ 调制 (Modulation)：将信息信号转换为信道信号 (发送信号)，其主要作用有：
 - 便于发送和接收
 - 提高接收端输出信号质量(信噪比SNR，误码率)
 - 实现多路复用
- ❖ 解调 (Demodulation)：是调制的逆过程
 - 从接收的已调载波信号中恢复基带信号(信息信号)
- ❖ 调制技术是通信系统的核心
 - 不同的调制方式形成通信系统的不同体制，从而决定各种通信系统的基本性能

❖ 调制方式分类

■ 按载波波形分类

- 连续波调制
 - 载波为正弦波形
- 脉冲波调制
 - 载波为脉冲序列

■ 按调制信号类型分类

- 模拟调制
 - 被调参数随模拟信息信号连续变化
- 数字调制
 - 被调参数随数字信息信号离散变化

❖ 四类调制方式

■ 连续波模拟调制

- AM, DSB, SSB, VSB, FM, PM

■ 脉冲模拟调制

- PAM, PWM, PPM

■ 脉冲数字调制

- PCM, Δ M, DPCM, ...

■ 连续波数字调制

- 基本类型: ASK, FSK, PSK/DPSK
- 改进类型: QAM, MSK,

1.2 通信的发展历程

移动通信技术的发展

光纤通信

卫星通信

.....

原始通信

通信，人类亘古不变的需求

烽火连三月，

家书抵万金

➤通：传递，连接

➤信：信息，信号



砖画：中国古代信使



近代通信的突破-电信号承载信息

1835年：美国人莫尔斯用导线实现信息传递，发明了有线电报，信息开始由电信号承载。



第一台有线电报机

1843年，亚历山大·贝恩发明了传真机，比电话还要早**33年**。



第一台传真机

1876年，美国人贝尔等人分别独立发明了电话。



贝尔使用电话

信息的飞翔-电磁信号承载信息

1865年，英国人麦克斯韦提出了一组8个方程，预言了电磁波的存在。后人精简为4个方程，以麦克斯韦命名。

1888年：德国人赫兹证实了电磁波的存在。

1890年代，美国人特斯拉、英国人马可尼先后独立发明了无线电报。

1906年：定居美国的加拿大人费森登用无线电实现了语音的单向传递，从而发明了广播。

1925年：英国人贝德尔用无线电实现了图像的单向传递，从而发明了电视机。



麦克斯韦



海因里希·赫兹



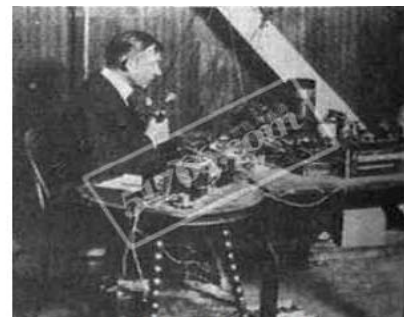
第一次无线电报成功



初次验证电磁波的装置



第一台电视机



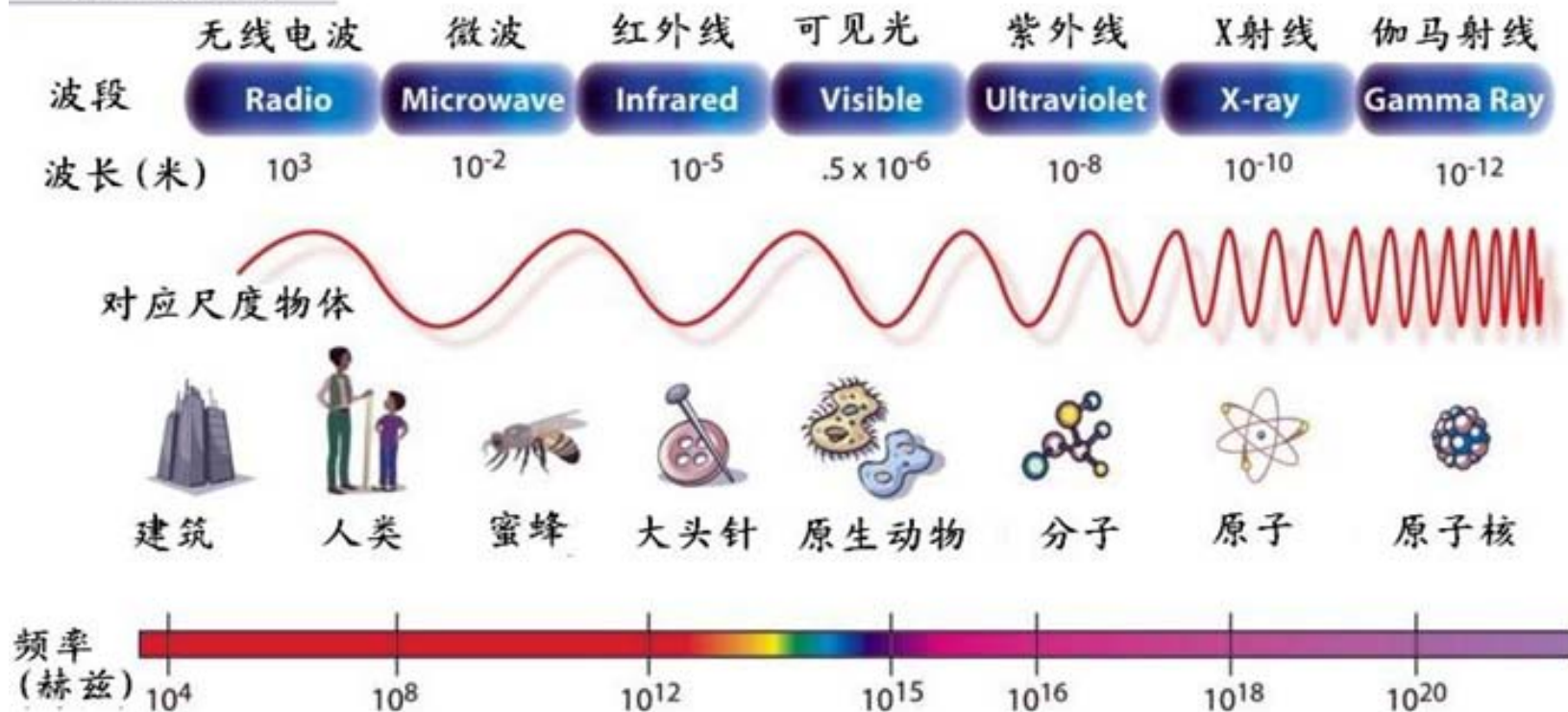
费森登在研究无线电广播

费森登与他的无线电广播

通信怎么实现？

传输媒介：电磁波（包括光），声波，有线介质

电磁波谱



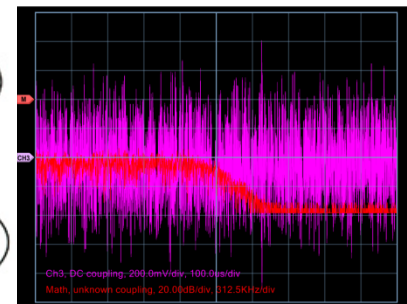
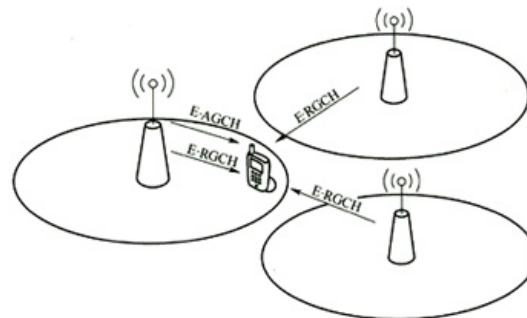
传递信息所占据的媒介的量以**带宽**表征，单位**赫兹(Hz)**

携带信息的能量

❖ 发射端需在媒介上释放一定的能量以传递信息（光、声、电、电磁等）；

❖ 影响信息的传递的负面因素

- 噪声。不仅指“声”，也指一切杂乱无章的声光电能量。通常这些噪声的分布可以用以德国数学家高斯命名的概率分布来描述；
- 干扰。分为需克服的干扰（被动）和主动施放的干扰（如军事用途）。



Pseudo Random Noise and Spectrum



电子对抗车

中国通信 · 任重而道远

1835年，美国雕塑家、画家、科学爱好者莫尔斯发明了电报	1840年，中国结束封建社会，走向半殖民地半封建社会（第一次鸦片战争）
1876年，贝尔发明电话机，1878年人工交换电话机诞生，1892年，殡仪馆老板史瑞乔发明步进式自动电话交换机，1901年马可尼发明无线电发报机，1919年纵横式自动交换机诞生	1919年，五四运动
1930年，传真、超短波通信	1931年，“九·一八”事变
20世纪30年代，信息论、调制论、预测论、统计论取得了一系列突破。1935年，模拟黑白电视机	红军长征，1937年七七事变
1947年，发明大容量微波接力	1949年，新中国成立
1957年发明电话线数据传输，1958年发明集成电路，1962年发射同步卫星	1964年，中国的第一颗原子弹爆炸试验成功
1969年，模拟彩色电视标准NTSC、PAL、SECAM	1970年，“东方红”卫星发射成功

早期的移动通信系统



移动通信的发展大约经历了7个阶段：

- ❖ 第一阶段：20世纪20年代初~50年代初，主要用于舰船及军用，使用频段为短波频段，设备采用的是电子管的，又大又笨重，效果差，而且采用人工交换和人工切换频率的控制和接续方式；
- ❖ 第二阶段：50年代~60年代，频段已扩展到450MHz，设备采用晶体管。移动台小型化方面明显好转，专用移动无线电话系统大量出现，广泛用于公安、消防、新闻等方面，并解决了移动电话与公用电话的接续问题；

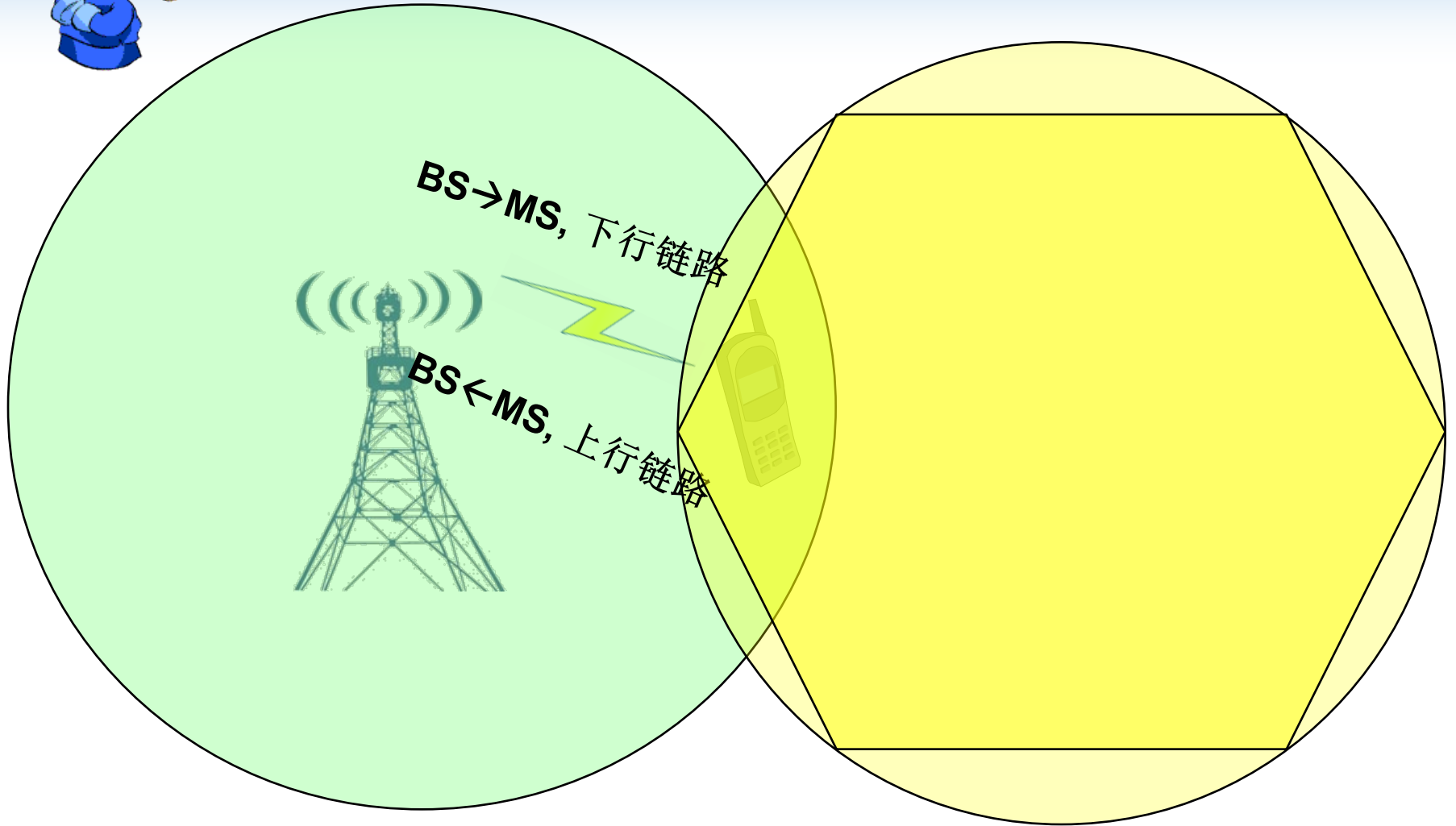
第一代移动通信系统

- ❖ 第三阶段：70年代初～80年代初，频段扩展到800MHz/900MHz，集成电路技术、微处理器技术的发展，使得移动通信系统真正进入了个人领域，采用模拟调频，故称之为蜂窝式模拟移动通信系统，或为第一代移动通信系统。





蜂窝概念

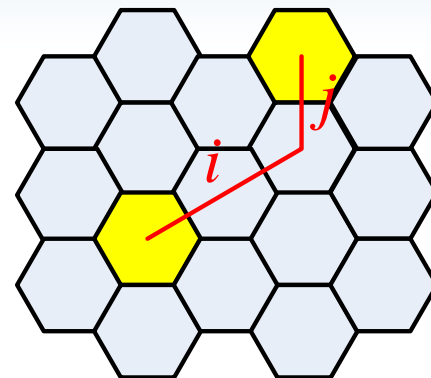




频率复用

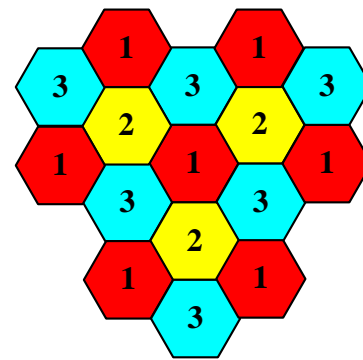
确定同信道小区的步骤：（1）沿任何一条六边形链移动*i*个小区；（2）逆时针旋转60度后再移动*j*个小区。

区群尺寸*N*与*i*、*j*的关系为： $N=i^2+ij+j^2$ $i=2, j=1, \text{ so } N=7$



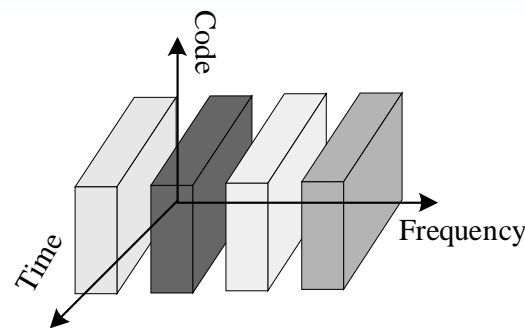
采用频率复用技术是为了节省宝贵的频率资源，图例中复用因子为3；

当然，频率复用时就会造成同频干扰，复用因子的大小，要看系统能承受多大的干扰；



主要技术特点

- ❖ 多址方式：FDMA
- ❖ 带宽：窄带
- ❖ 基本技术：模拟技术
- ❖ 信号处理技术基础：数学分析理论
- ❖ 信号辨识处理技术：滤波器
- ❖ 贡献：蜂窝结构，能够漫游和切换
- ❖ 问题：没有加密（模拟信号没有有效的加密手段）、信号质量差（没有使用差错控制编码）、频谱效率低（每个RF载波给一个用户，无论该用户是否通信）；



代表系统

- ❖ 美国：AMPS（Advanced Mobile Phone System），在加拿大、澳大利亚、南美也使用；
- ❖ 欧洲：
 - TACS（Total Access Communications System），英国、意大利、西班牙、奥地利、爱尔兰；
 - NMT（Nordic Mobile Telephone），瑞典、挪威、芬兰、丹麦；
 - C-450，德国和葡萄牙；
 - Radiocom 2000，法国；
 - RTMS（Radio Telephone Mobile System），意大利；
- ❖ 日本：NTT（Nippon Telephone and Telegraph）

AMPS

- ❖ 20世纪70年代末，AT&T贝尔实验室开发了美国第一个蜂窝电话系统，称为高级移动电话系统（AMPS）。AMPS于1983年末，由Ameritech在芝加哥的市区及郊区第一次投入使用。当时，联邦电信委员会将800MHz频段上共40MHz频谱分配给了AMPS。1989年，随着蜂窝电话业务需求上升，联邦电信委员会又分配了额外10MHz给蜂窝电信。第一个AMPS蜂窝系统采用大蜂窝和全向基站天线，以减少最初的设备需求，在芝加哥运行的系统覆盖了约2100平方公里的区域；
- ❖ AMPS系统采用7小区复用模式，并可在需要时采用扇区化和小区分裂来提高容量。AMPS将频谱分成多个子带，每个30KHz，用于语音和控制信道。语音信道使用FM调制技术，而控制信道使用BFSK调制技术；AMPS频带为 $2 \times 25\text{MHz}$ ，824~849MHz（反向链路），869~894MHz（前向链路）；

第二代移动通信系统

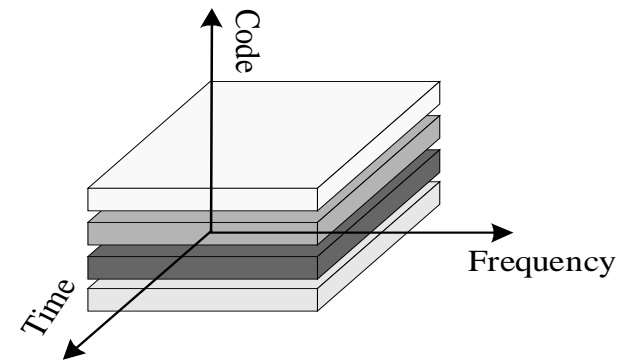
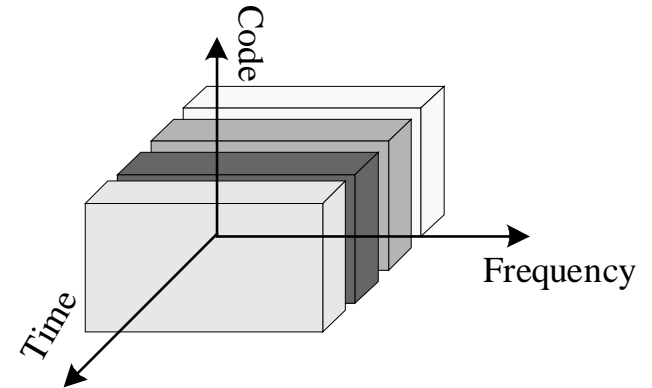
❖ 第四阶段：80年代末~90年代中，第二代数字移动通信系统，频段扩展到900MHz~1.8GHz，更加小型化。

□ 相比模拟系统，它使用了

- ❖ 加密：提高了私密性和安全性；
- ❖ 信道编码：提高了传输可靠性；
- ❖ 频谱效率高：不同的用户通过使用不同的时隙或码字共享频谱；

主要技术特点

- ❖ 多址方式：TDMA/CDMA
- ❖ 带宽：窄带
- ❖ 基本技术：数字技术
- ❖ 信号处理技术基础：概率与数理统计，信号被看成一个随机过程；
- ❖ 信号辨识处理技术：相关器、均衡器



代表系统

- ❖ 美国数字蜂窝系统（USDC），容量是AMPS的6倍，又称为D-AMPS。
- ❖ 全球移动系统（GSM）
- ❖ Qualcomm的CDMA数字蜂窝标准（IS-95）也称为cdmaOne，1993年对CDMA数字蜂窝进行了标准化，1995最先在韩国和香港得到应用，接着美国在1996年也应用了IS-95系统。
- ❖ 欧洲数字无绳电话（DECT），是欧洲电信标准协会（ETSI）于1992年7月制定的泛欧数字无绳电话标准；
- ❖ CT2，是1989年由英国提出的第二代无线电话标准，是第一代模拟无绳电话的数字化版本；
- ❖ 个人手提电话系统（PHS），是日本的一种空中接口标准；

GSM

- ❖ **GSM**是为了解决欧洲第一代蜂窝系统四分五裂的状态而发展起来的，它是世界上第一个对数字调制、网络层结构和业务作了规定的蜂窝系统。1991年开始在欧洲商用，到1993年底，南美、亚洲和澳洲的几个国家也采用了**GSM**，目前有**110**多个国家使用。
- ❖ **GSM**使用**TDMA/FDMA**的混合方式使基站可同时接入多路用户，信道带宽**200KHz**，前向链路和反向链路上的无线传输数据速率为**270.833Kbps**，采用二进制**GMSK**调制方式；

❖ 根据工作频率的不同，GSM有4个版本：

GSM版本	上行链路频率 (MHz)	下行链路频率 (MHz)
GSM 900	890~915	935~960
GSM 1800	1710~1785	1805~1880
GSM 1900	1850~1910	1930~1990
GSM 450	450.4~457.6 Or 478~486	460.4~467.6 or 488.8~496

注：选择900MHz是为了与欧洲的TACS系统复用频谱；GSM1800（欧洲）；GSM1900（美洲）；GSM450是便于从1G的NMT进行过渡；中国移动采用900/1800MHz的GSM双频工作模式；

第五阶段：第三代移动通信系统

- ❖ 2G的数据速率对于语音业务已经足够了，但是面对日益增加的多媒体和因特网业务这样的速率还是不够的。第三代蜂窝系统（3G）就是以满足未来业务为目标的，可以支持各种全球范围的多媒体通信。具体的说，在任何情况下能为所有移动应用提供144 kbps的速率，在宏小区和微小区能为一些移动应用提供384 kbps的速率，特别在微小区和微微小区能为某些移动应用提供高达2Mbps的速率。90年代初期，欧洲电信标准协会(ETSI)就开始为3G标准寻求技术方案，并把3G技术统称之为UMTS(Universal Mobile Telecommunications System)，即通用移动通信系统。

- ❖ 3G系统标准由ITU在1992年发起，各种不同的3G标准统称为IMT-2000（International Mobile Telecommunications）。最具代表性的是欧洲&日本的WCDMA、美国的CDMA2000及中国的TD-SCDMA。
- ❖ 多址方式：CDMA
- ❖ 带宽：宽带
- ❖ 基本技术：自适应技术
- ❖ 2007年10月，WiMAX（World Interoperability for Microwave Access，即全球微波接入互操作性。）正式成为第四个3G标准，它也是唯一一个先商用、后被ITU接受的3G标准。其核心技术是采用OFDM（正交频分复用）。

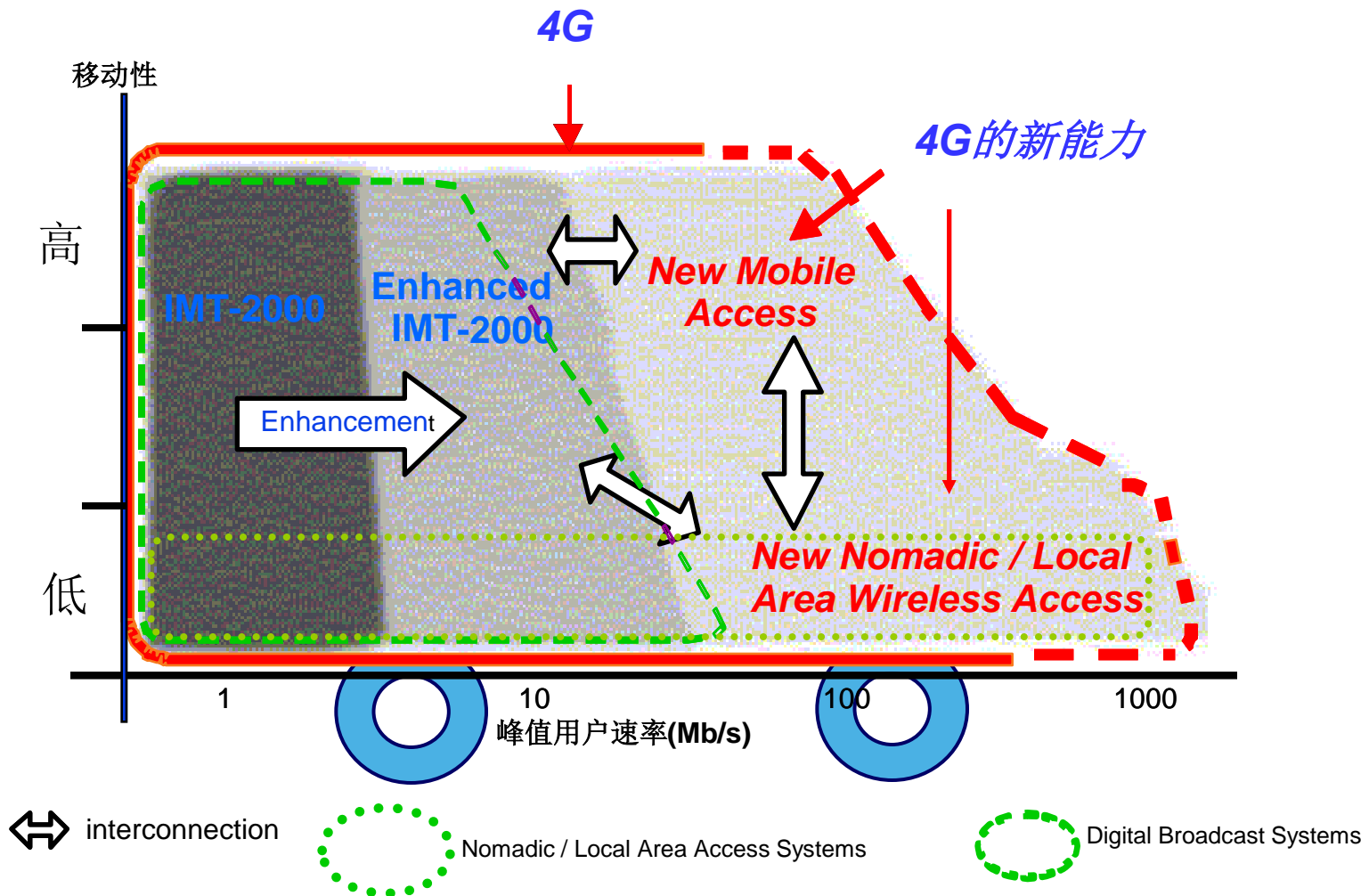
需求技术

- ❖ **3G终端需求：软件无线电技术（SDR）**；目前的2G终端是用硬件实现空口接口的数字技术，这样它们只能工作在单一标准或频率；**SDR**是一个基于可编程的通用平台，通过空中接口下载软件进行修改；
- ❖ **增加系统容量的需求：智能天线**（通过提高接收机的**SINR**，从而增加系统容量）和**多用户检测**（旨在减少同一小区内不同用户之间的同信道干扰）；

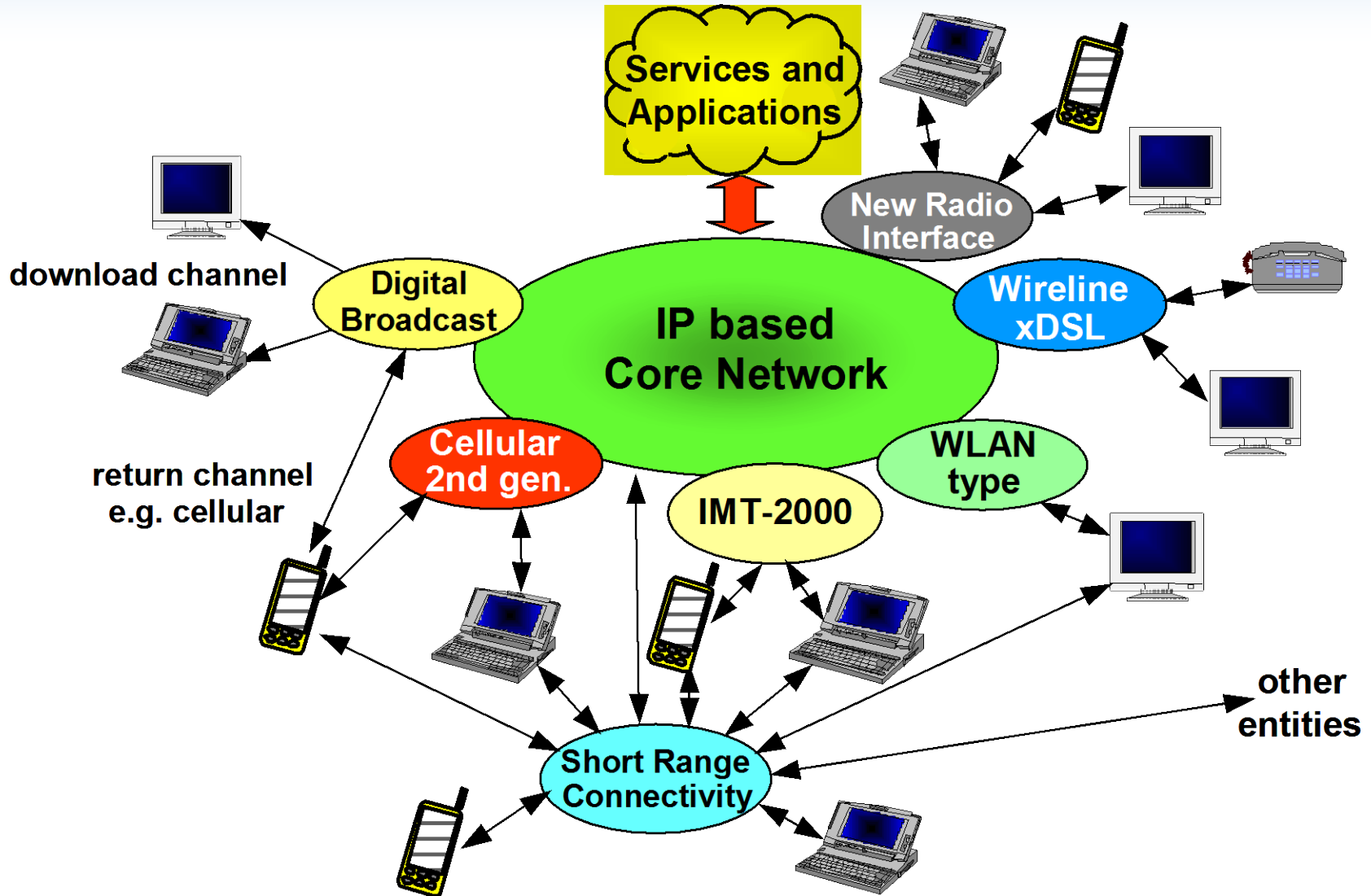
第六阶段：4G

- ❖ 2000年ITU-R RA2000批准确定Q.229/8研究课题：IMT-2000未来发展及超IMT-2000；
- ❖ 2003年6月无线电全会(RA-2000)通过建议M.1645 “IMT-2000未来发展及超IMT-2000的框架及总目标”。

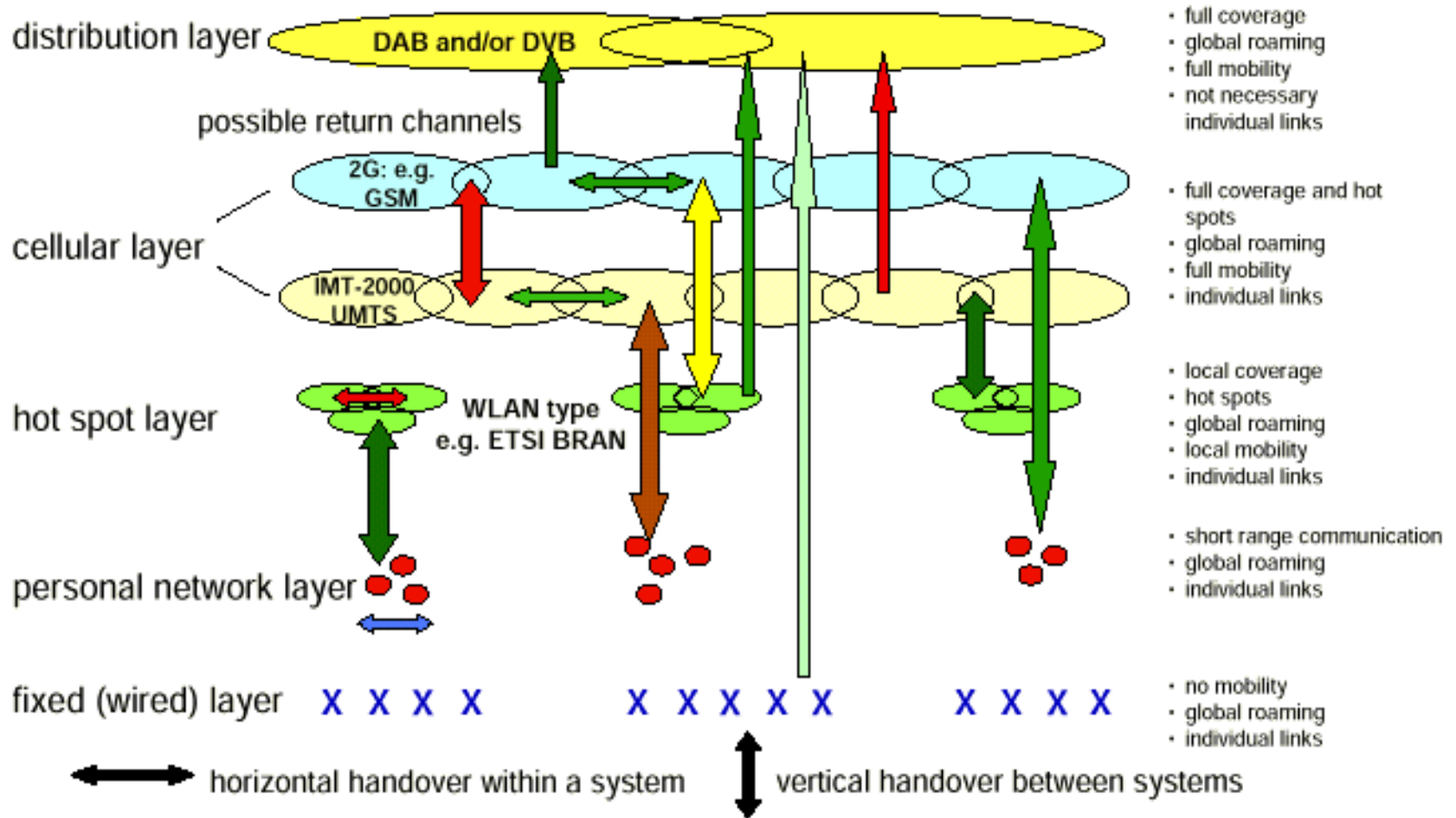
4G能力示意图



4G网络



分层的互补的接入网络

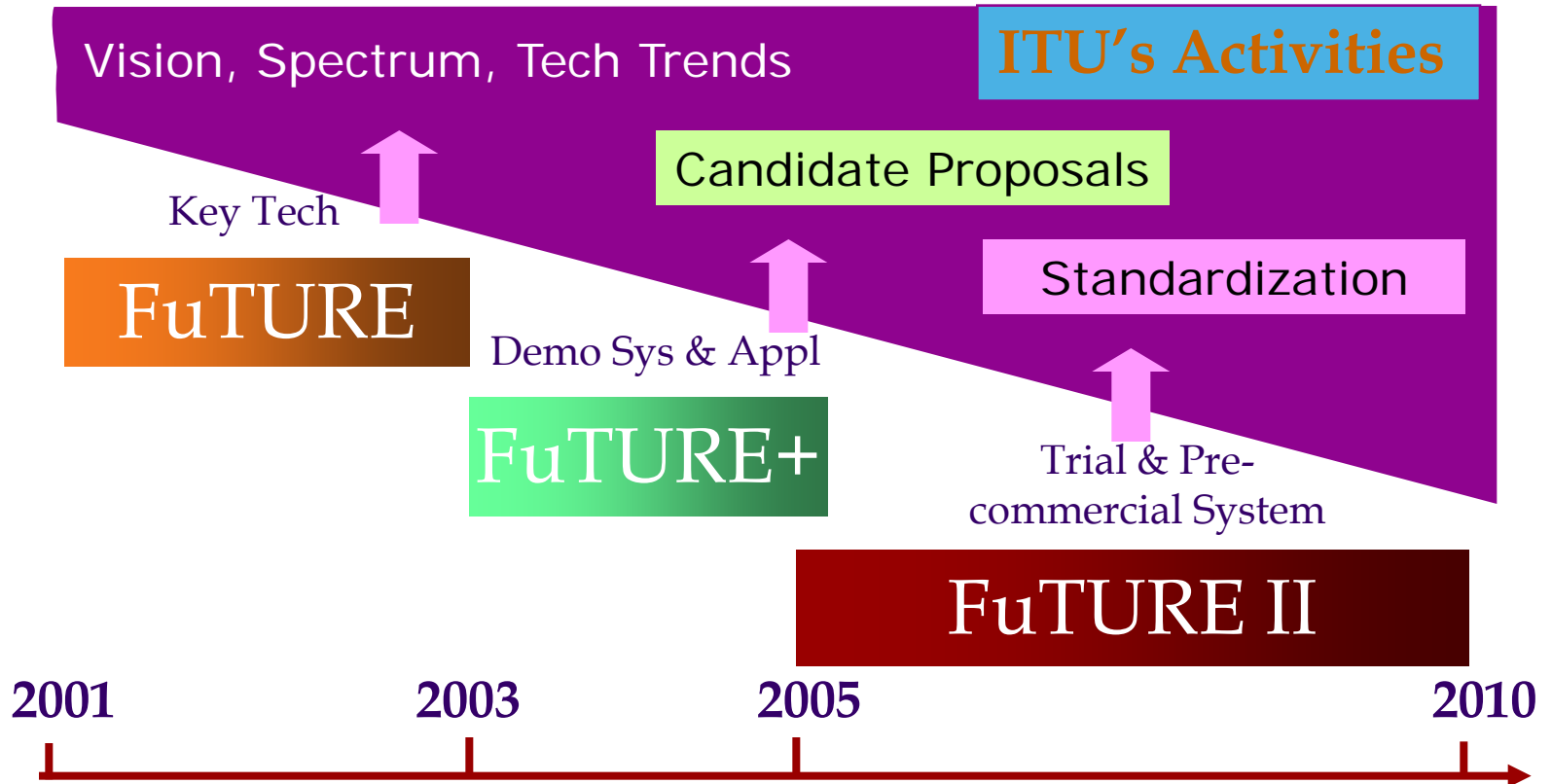


FuTURE计划

- ❖ **FuTURE – Future Technologies for Universal Radio Environment**
- ❖ **The FuTURE is to be launched as a part of China's 863 Program in Wireless Communications Area for the 10th five-years plan (2001-2005)**
- ❖ **The Mission of FuTURE is to establish a universal radio experiment environment that can meet the future application demands and development trends headed for years of 2005-2010, and to make China's wireless R&D coincide with the advanced countries.**



The Plan of FuTURE



Toward 4G

Key Techniques:

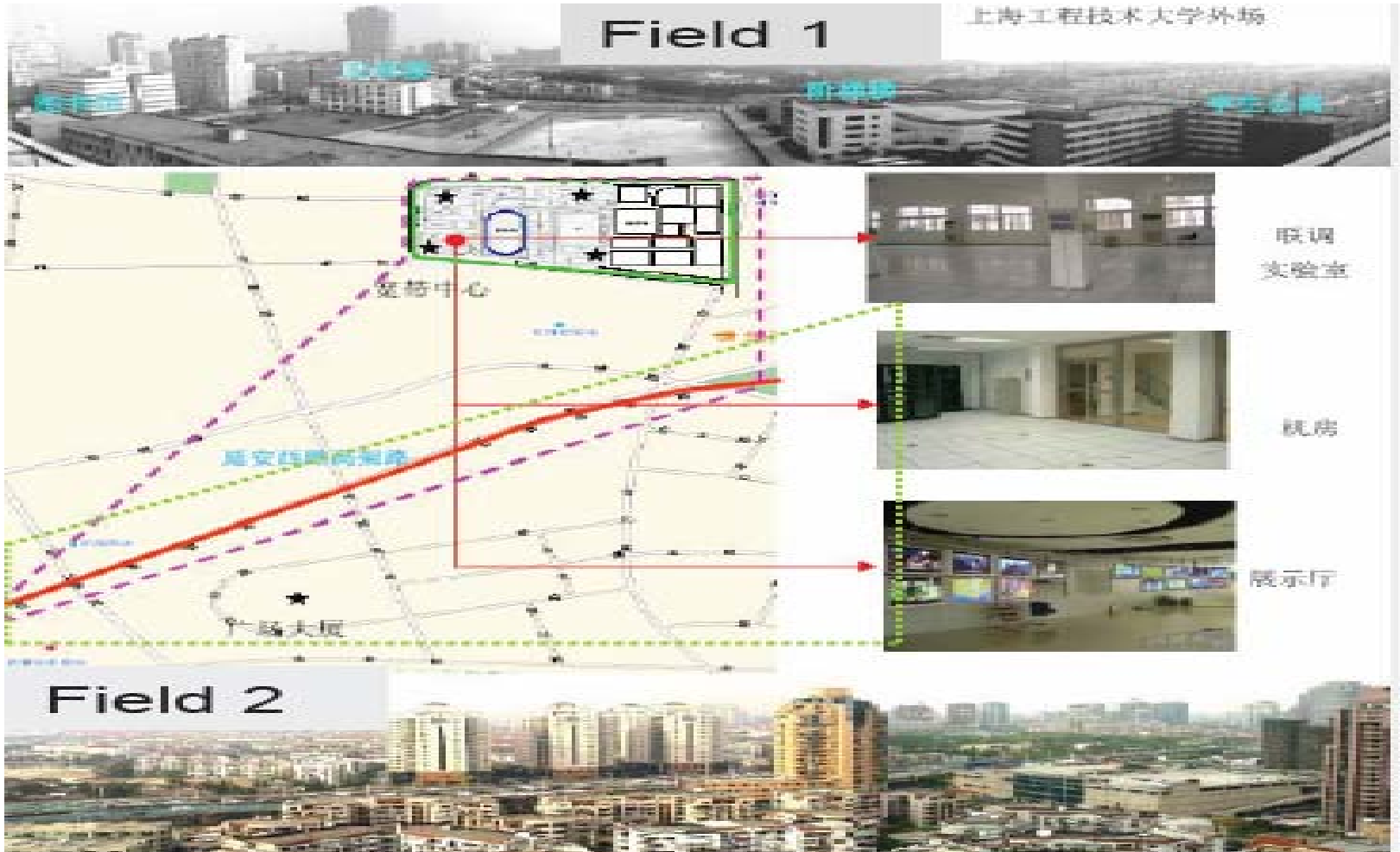
- New Cell Structure
- Multicarrier(OFDN/GMC)
- MIMO
- Adaptive Link Adaptation & AMC
- Turbo Reception & Detection
- LDPC and Other Emerging Coding/Decoding
-

Performance Targets:

- **Spectrum Efficiency**: 1.5-2.5bps/Hz/S for high mobility; 2.5-5bps/Hz/S for low mobility;
- **Peak Data Rate**: 20-50Mbps for high mobility; 50-100Mbps for low mobility;
- **BER Performance**: 1E-03 for voice; 1E-06 for data;
- **Transmission Power**: 10dB lower for Eb;
- **Max. Spectrum Requirements per User**: 20-30MHz@3-5GHz;
- **Data Rate per User**: Tens Kbps to Tens Mbps;
- **QoS**: Nearly fixed-line quality;
- **PAR**: less than 10dB;
-



外场测试



Base Station (TDD and FDD)

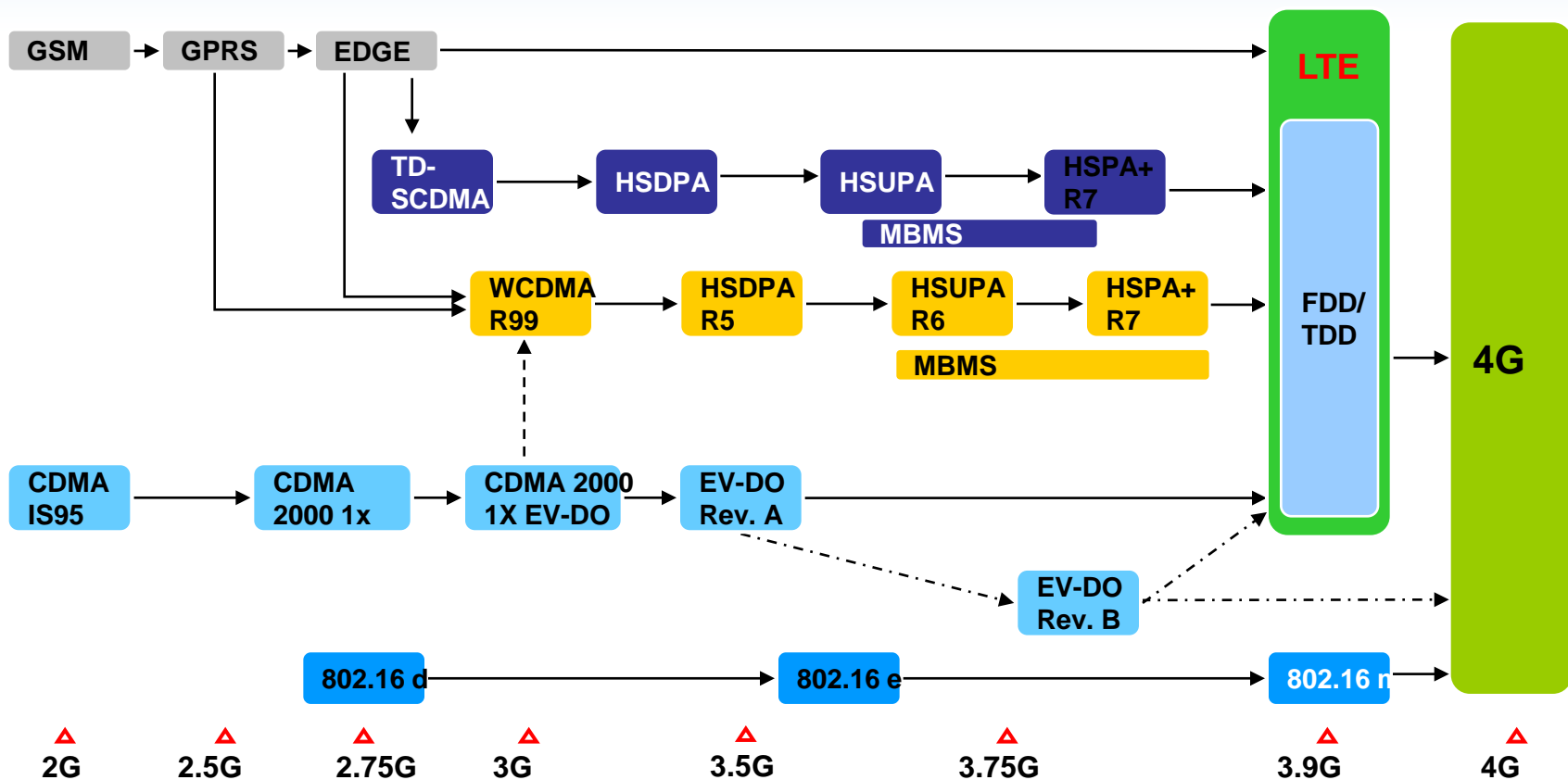


移动台和室外天线



- ❖ 2012年1月20日，国际电联无线电通信全会全体会议正式审议通过3大4G标准，即LTE-Advanced、Wireless MAN-Advanced(802.16m)、TD-LTE。其中，IEEE 802.16m是WiMax的后续标准。
- ❖ TD-LTE是基于中国自主知识产权TD-SCDMA的4G技术标准。目前，中国移动在北京、天津、上海、南京、杭州、广州、深圳、厦门、青岛、宁波、成都、福州、沈阳、无锡共计14个城市展开TD-LTE扩大规模网络试验。

无线通信标准演进



- 多种标准共存、汇聚集中；
- 多个频段共存
- 移动网络宽带化、IP化趋势

第七阶段：5G



飞驰的现代通信

载体更便携



业务更多样



速率更快



5G的主要驱动力



移动互联网

增强现实、虚拟现实、超高清(3D)视频、移动云

物联网

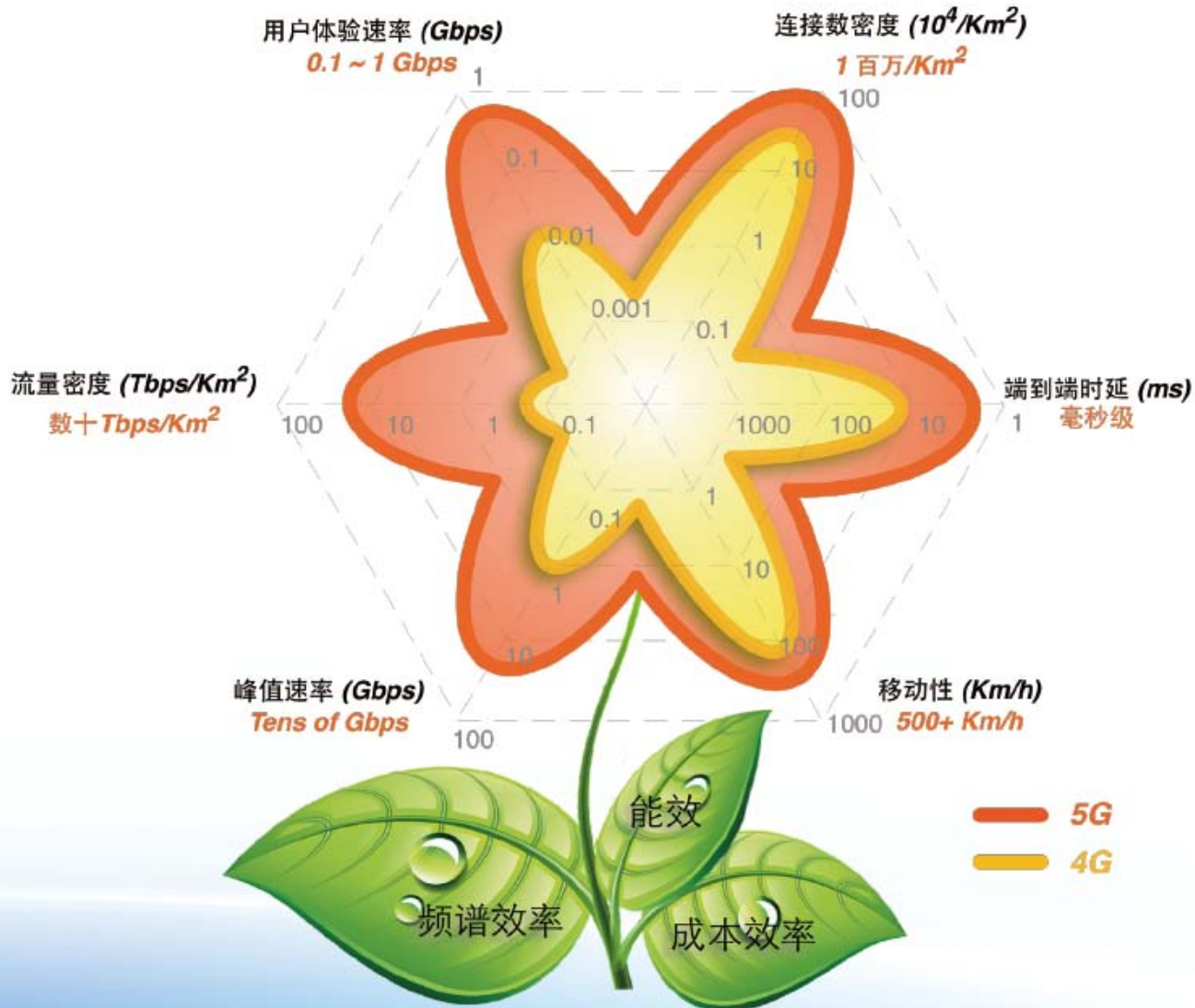
移动医疗、车联网、智能家居、工业控制、环境监测

5G愿景：信息随心至，万物触手及

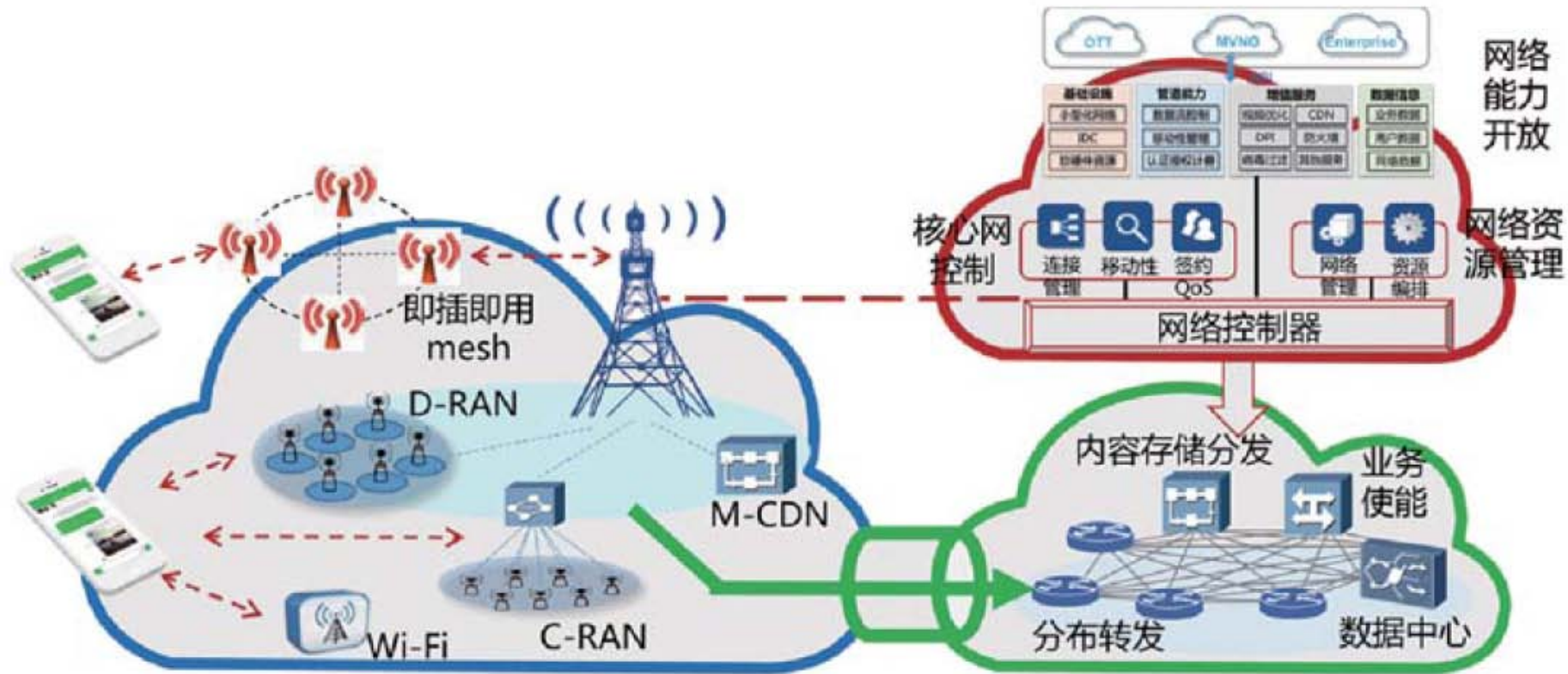


http://www.IMT-2020.cn
http://www.IMT-2020.cn
http://www.IMT-2020.cn

5G关键能力



5G网络架构



5G研发时间表



无线通信三十年的发展

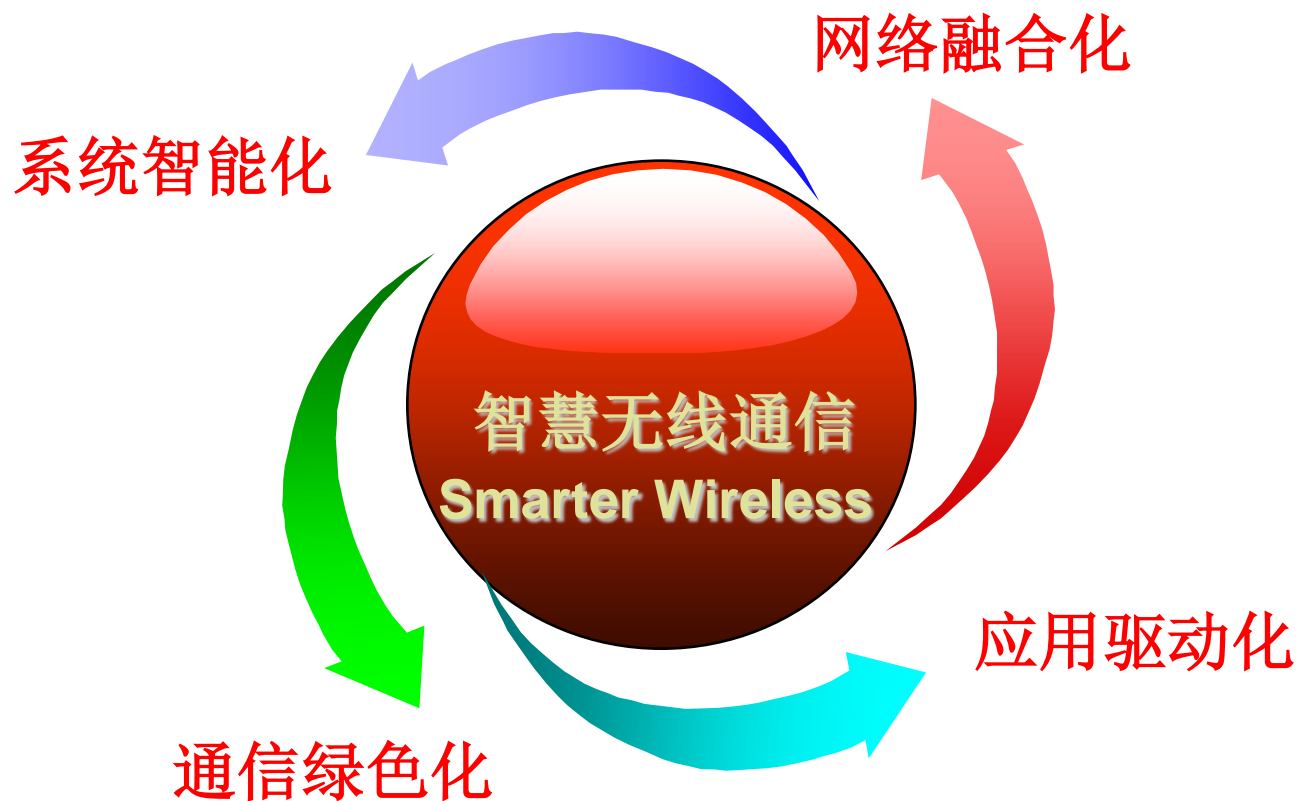
- ❖ 核心系统：陆地公众蜂窝移动通信系统
- ❖ 核心追求：更高、更快、更强的信息传输能力
- ❖ 核心技术：时、频、码、空域的技术
- ❖ 核心应用：人与人移动信息交流

无线通信技术的发展面临历史性的转变

未来无线通信技术的目标

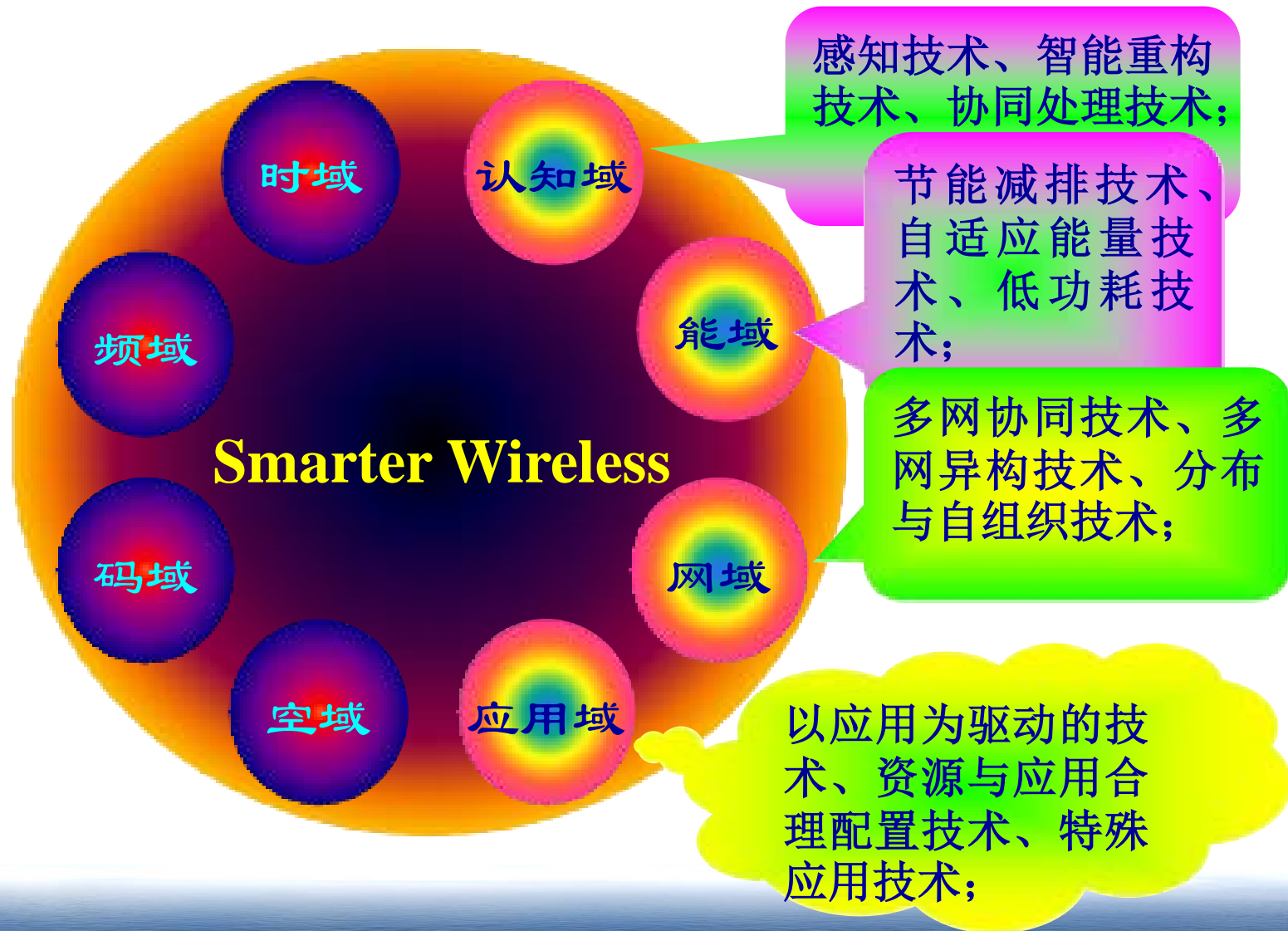
- ❖ 从追求更高更快的传输能力，转为追求效率；
- ❖ 从追求技术能力，转为追求应用能力；
- ❖ 无线核心技术域从四个域，扩展为八个域；
- ❖ 从追求提高传输频谱利用率，转为追求全域有效利用频谱；
- ❖ 无线资源优化扩展为全域优化；
- ❖ 从追求Any通信理想转化为追求Rational（合理）理想；

智慧无线通信时代

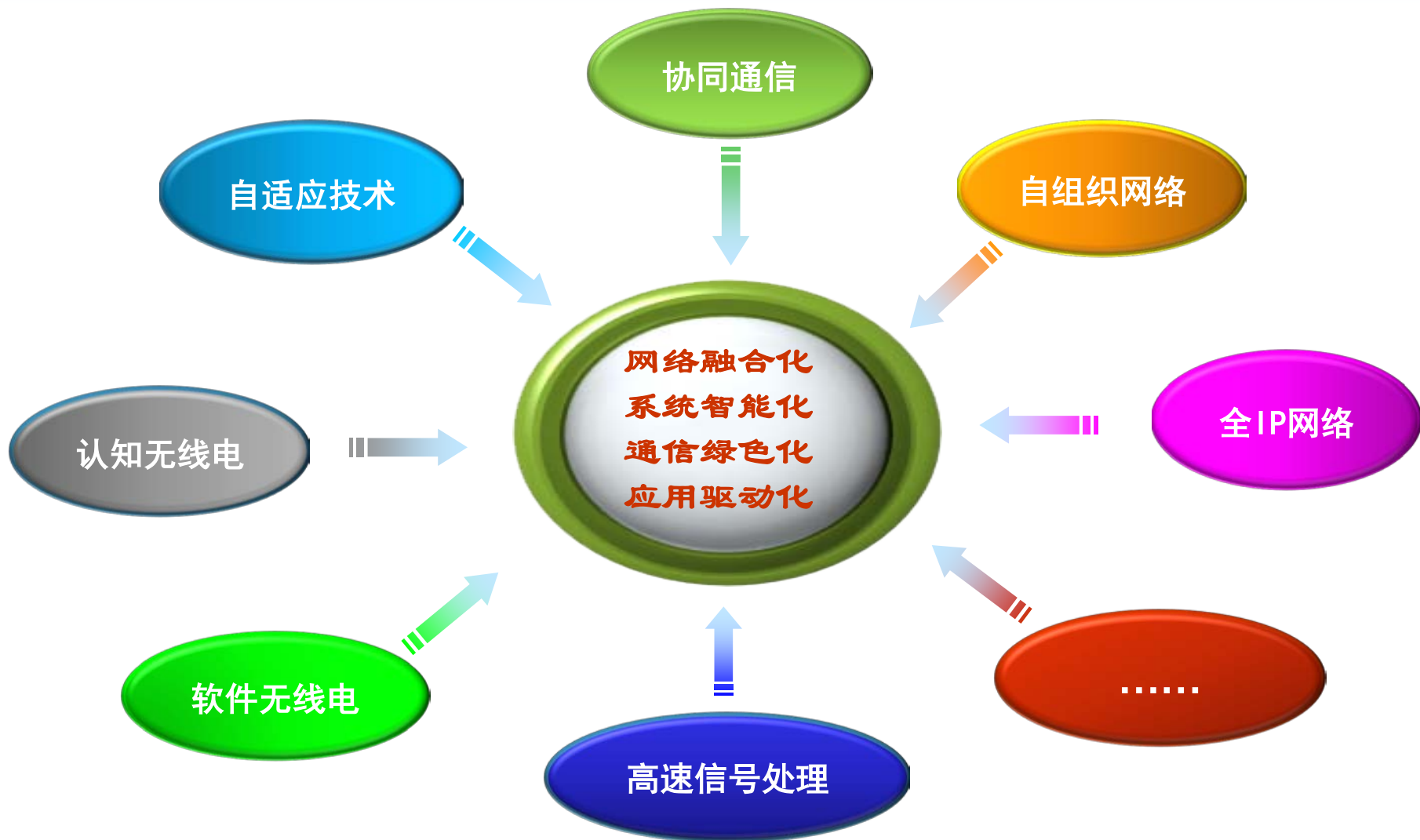


未来无线通信的核心技术域

各域资源的高效、优化、智能、协同、合理应用



现有技术和理论的发展



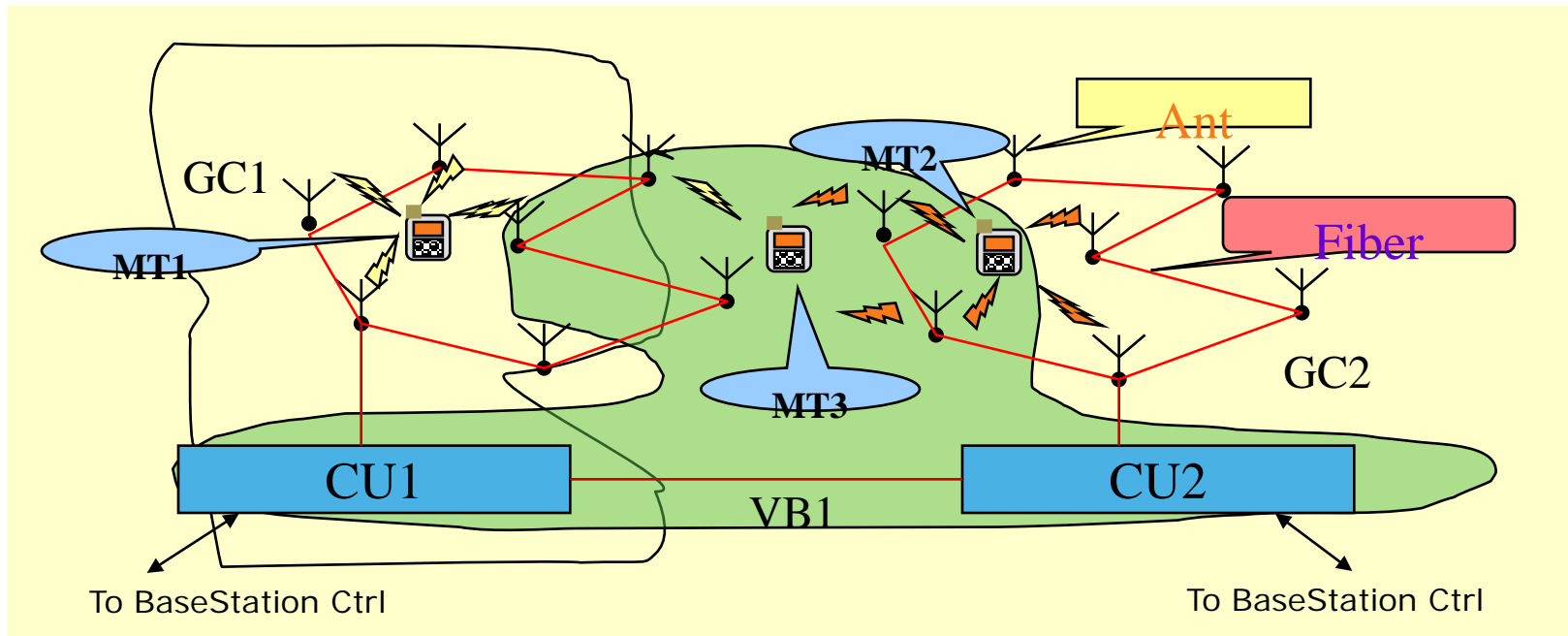
关键技术

- ❖ 新型网络结构;
- ❖ 多载波技术(OFDN/GMC)
- ❖ MIMO技术;
- ❖ 自适应技术;
- ❖ 微电子技术;

新型网络结构

- ❖ 蜂窝（Cellular）
- ❖ 分布（Distribute）
- ❖ 多跳（Multihop）

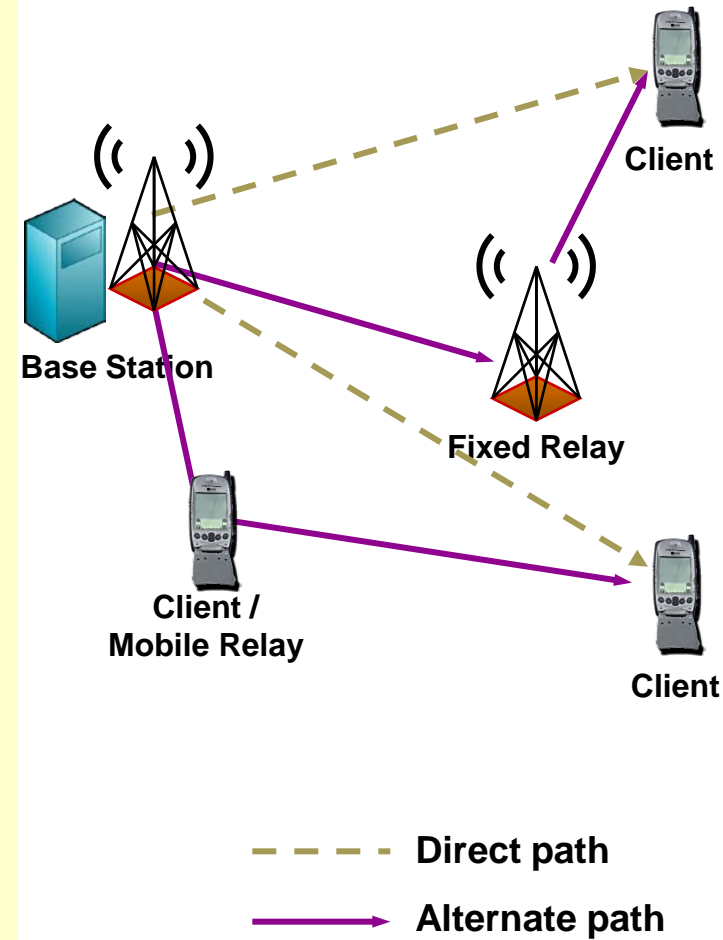
分布式（distributed）网络结构



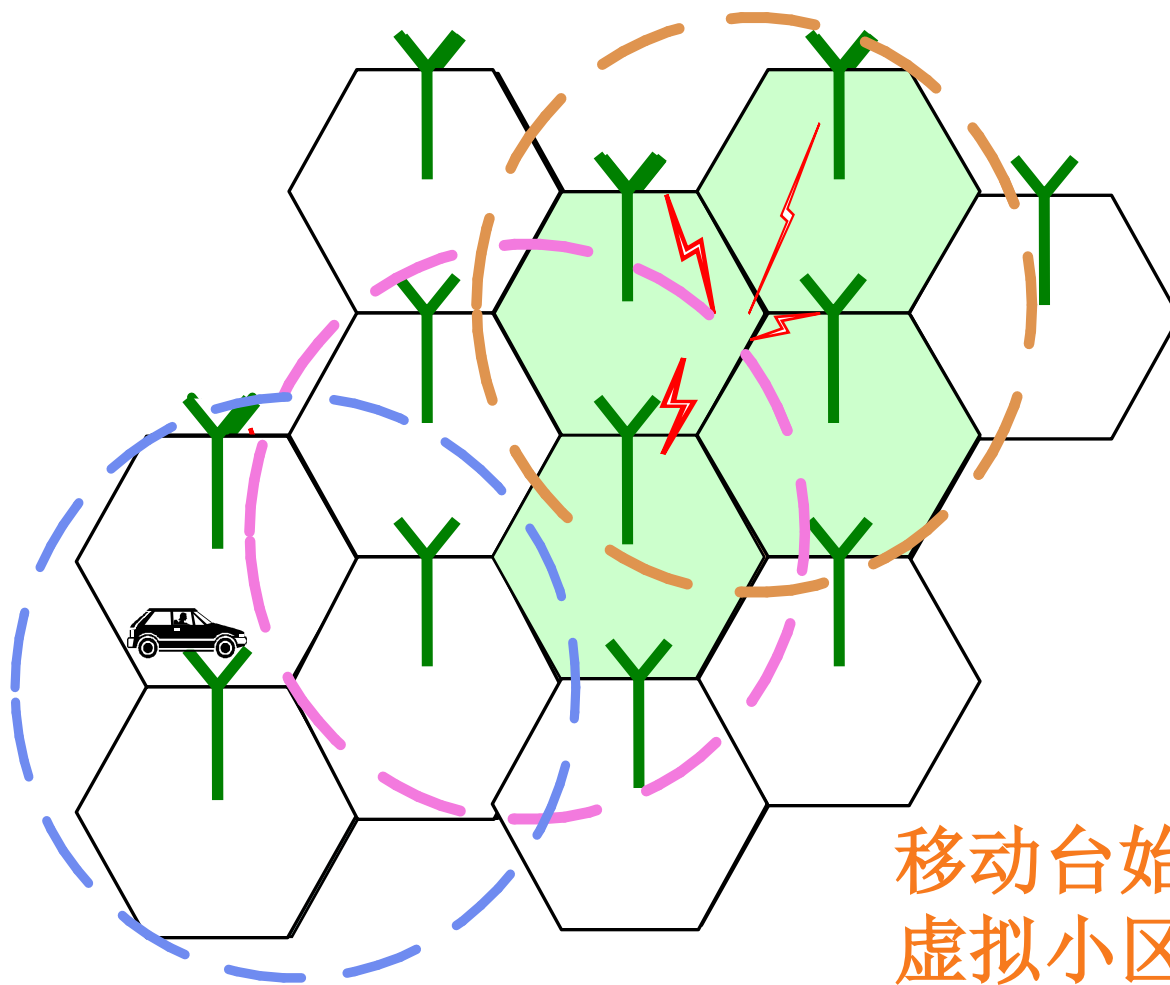
❖ 使天线尽量靠近移动台！

多跳 (multihop) 网络

- ❑ Coverage an issue in high-capacity wireless systems – particularly in urban jungles and cluttered terrain
 - ❖ Signal degradation due to distance
 - ❖ Obstructions interfere with signals
- ❑ Multi-hop network architecture used to extend signal reach and bypass obstructions
- ❑ Fixed relays provide alternate paths between user device and base station
 - ❖ Deployed as part of network infrastructure
 - ❖ Transparent to user device – it is unaware of whether the transmissions are directly from the BS or via a relay
 - ❖ Can be deployed selectively or ubiquitously
 - ❖ Predictable coverage improvement within the cell
- ❑ Improves signal coverage and throughput.



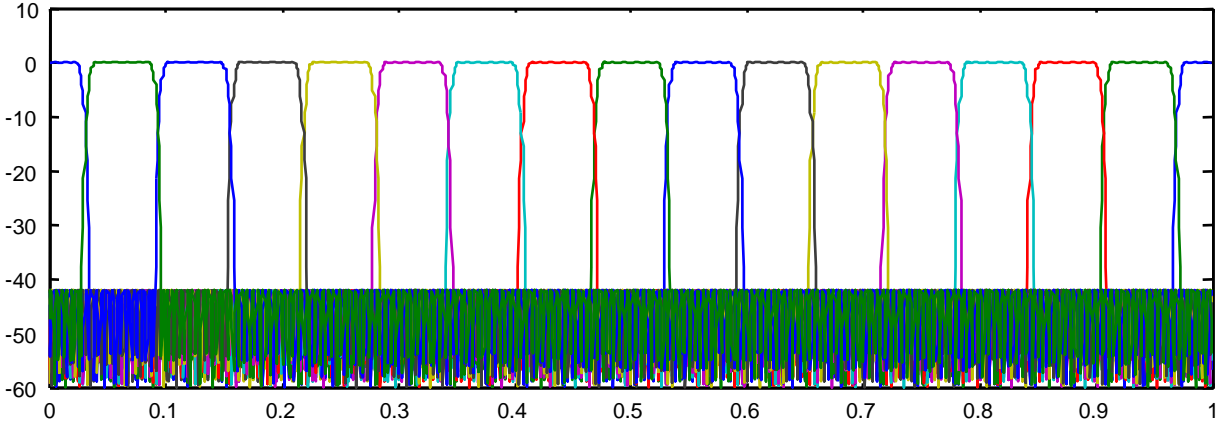
滑动式小区



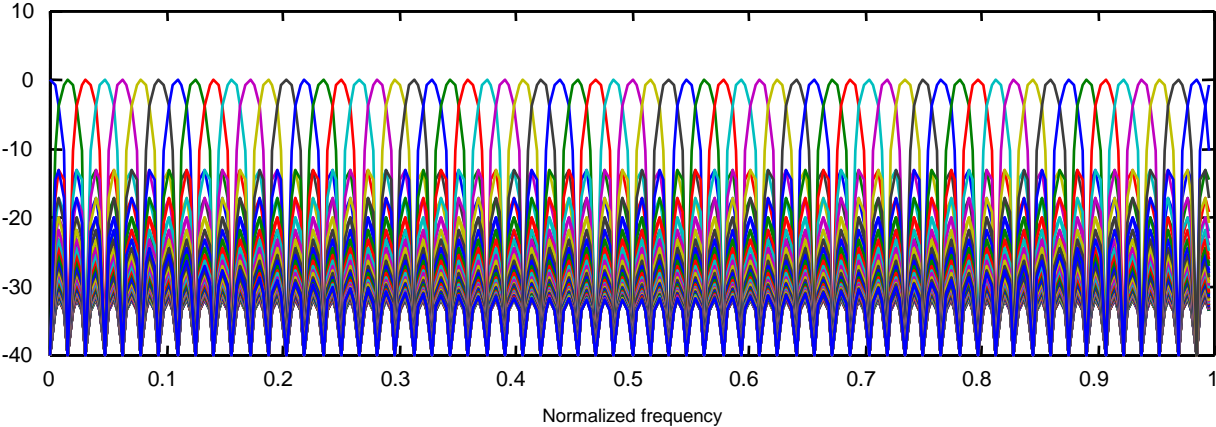
移动台始终处在
虚拟小区中心！

多载波技术

Non -
Orthogonal
Framework
GMC



Orthogonal
Framework
- OFDM



Orthogonal vs. Non-orthogonal

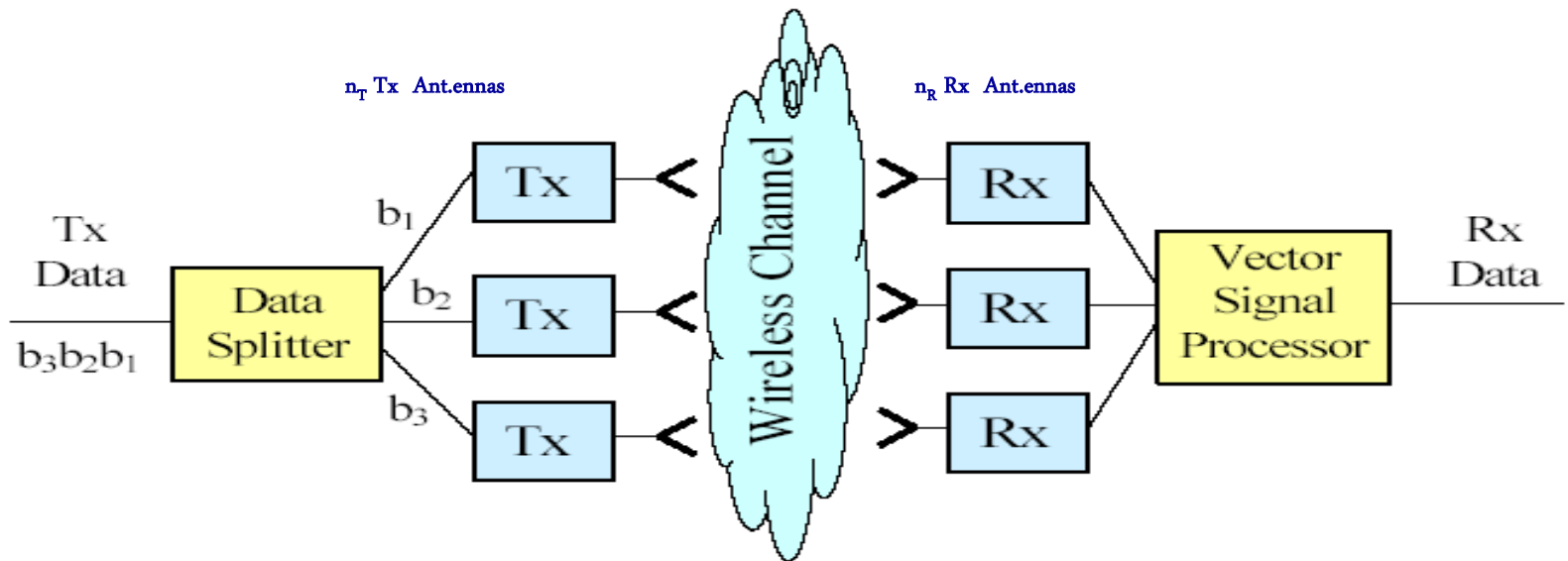
❖ Orthogonal: (OFDM)

- Relatively lower complexity for implementation;
- Ideal for local area applications with smaller Doppler Shift and time-delay spreading, with the orthogonality being guaranteed to an acceptable extent;

❖ Non-Orthogonal: (GMC)

- Relatively higher complexity for implementation;
- Suitable for wide-area applications, especially in the case that the orthogonality can not be guaranteed because of large Doppler shift and time-delay spreading;

MIMO



- Channel capacity :

$$C \cong n_T \cdot \log_2 [1 + (n_R/n_T) \cdot \text{SNR}] \text{ [bps/Hz]}$$

- For $n_T = n_R = n$, capacity increases linearly with n
- High cost and complex but highly rewarding

Where does MIMO work fine ?

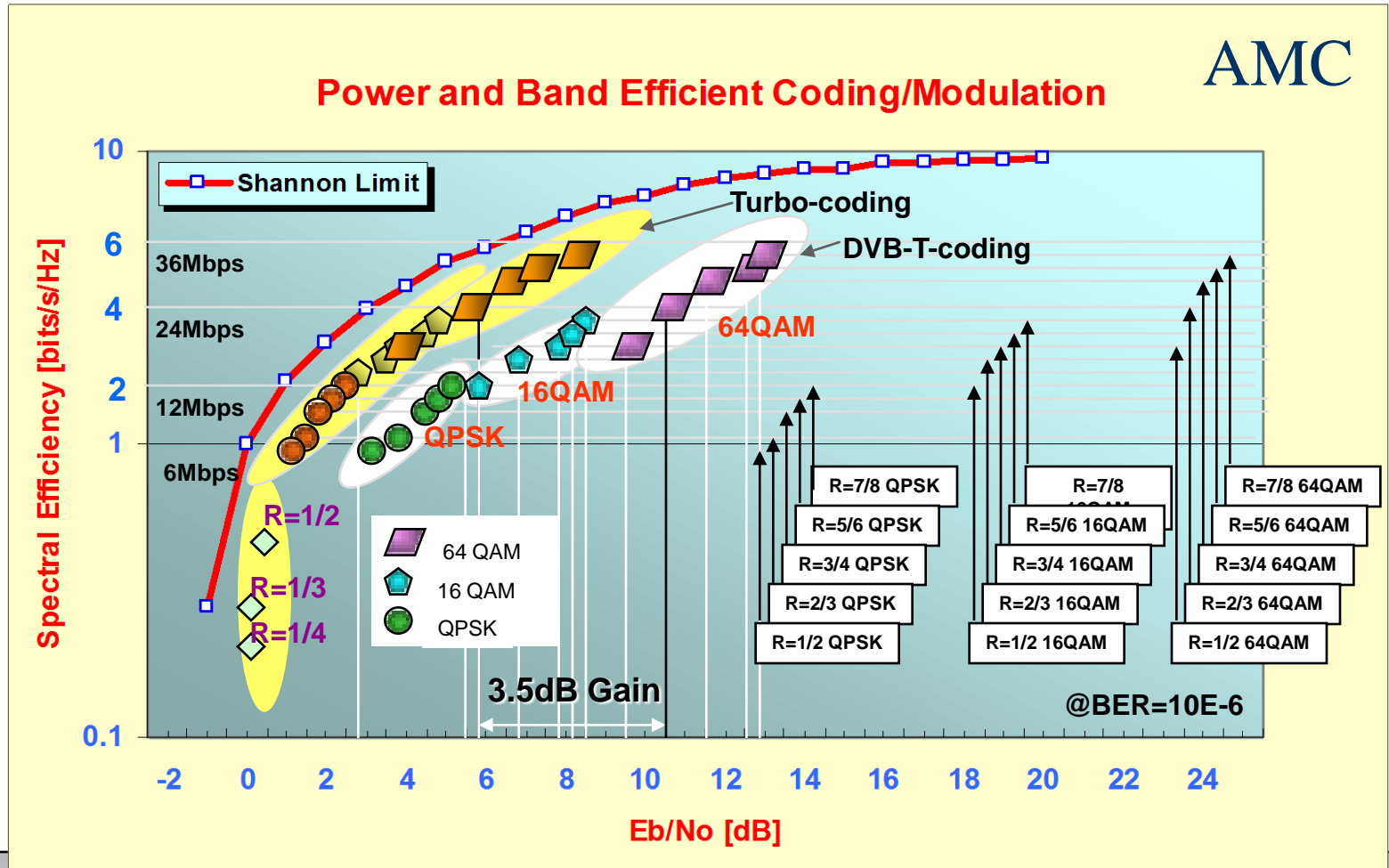
- **Antenna elements decorrelated**
 - **Minimum distance : $\lambda/4$ (~ 4 cm @ 2 GHz)**
- **Where added complexity and cost is tolerable**
 - **Antenna elements limited to 3 or 4 for handheld terminals**
- **Appropriate channel conditions**
 - **In LOS situations MIMO not at ease**
 - **Rural access clearly not the killer app**
 - **At best in indoor conditions**
 - **WLAN or indoor mobile are « natural » applications for MIMO**
 - **Very good potential in urban and sub-urban environments**
 - **Excellent results in first field trials by Lucent in Manhattan**

Combination of OFDM with MIMO techniques

❖ Advantages of using MIMO-OFDM

- OFDM well adapted to fight against frequency-selective fadings
- conversion of frequency-selective fading channels into multiple parallel flat fading sub-channels (sub-carriers)
- 2 dimensions of OFDM (time & frequency) can be used depending on channel characteristics
- Simple receiver techniques

自适应编码调制技术



Modulation & Code Set based on Turbo-code approaches Shannon limit

其他相关技术

- ❖ 芯片
- ❖ 功耗
- ❖ 电池
- ❖ 显示屏
- ❖ ...

❖ 通信高层目标：支持人类以多媒体形式实现近于自然的、面对面（**Near-Natural Face-to-Face**）的信息交流。