



# 无线通信系统

---

主讲教师：马卓

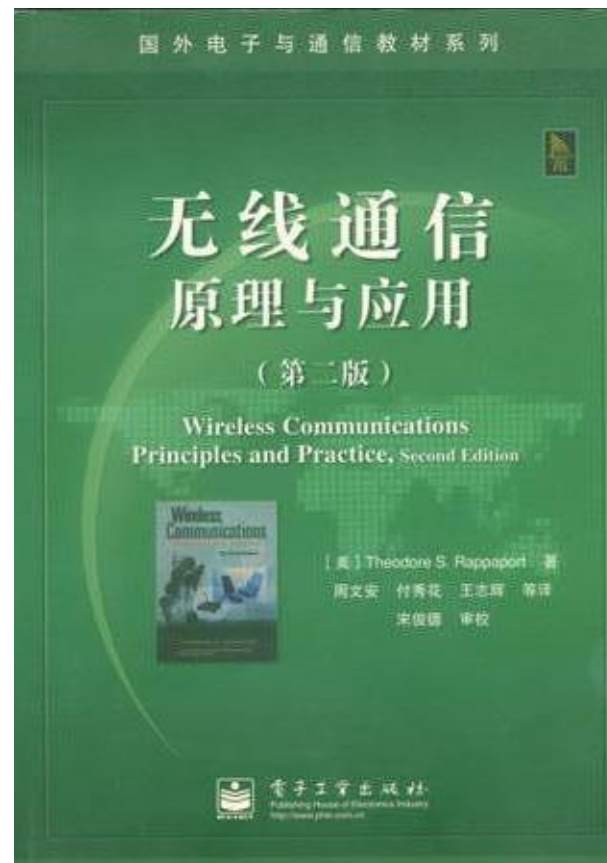
[zma@mail.xidian.edu.cn](mailto:zma@mail.xidian.edu.cn)

# 本课程使用的教材

**T. S. Rappaport 著**

**“Wireless  
Communications  
Principles and  
Practice , 2e”**

**《无线通信原理与应用  
(第二版) 》**



# 参考书 (1)

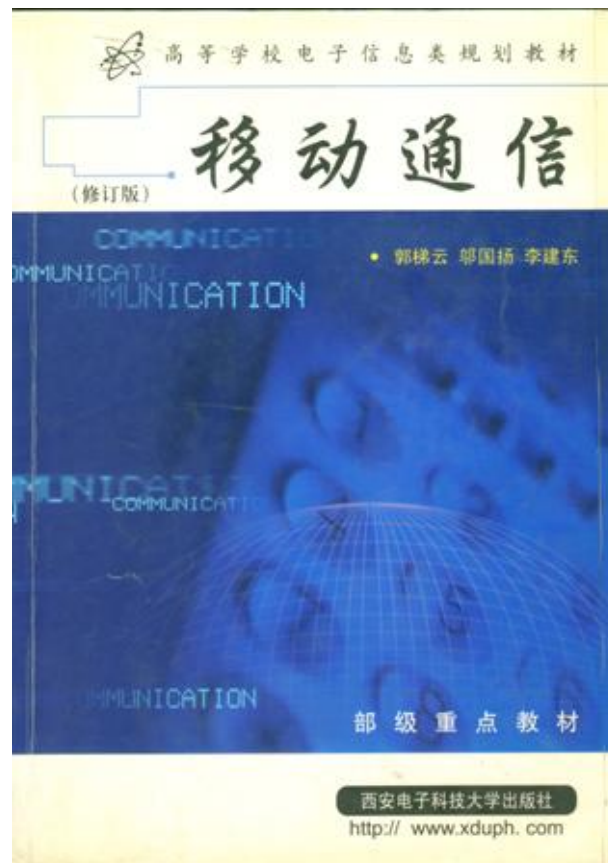
1. 李建东 等编著

《移动通信（修订版）》  
已出至第4版

2. K. Pahlavan 等著

“Principles of Wireless  
Networks: A Unified  
Approach”

《无线网络通信原理与应  
用》（中译本书名）





# 本课程的基本要求（1）

---

- 就所选教材而言，主要讲解以下各章：  
**第1章**（无线通信系统概述）、**第3章**  
（蜂窝的概念）、**第4章**（大尺度路径损耗）、**第5章**（小尺度衰落和多径效应）、**第6章**（移动无线电中的调制技术）、**第7章**（均衡、分集和信道编码）、**第9章**  
（无线通信多址接入技术）

注：**第6章**中模拟调制不讲；**第7章**中编码和均衡简介。



## 本课程的基本要求（2）

---

- 概括起来说，本课程主要要求大家通过学习掌握以**蜂窝系统**为主的无线移动通信系统的基础知识。可以分成以下几个方面的内容：
  - 1) 蜂窝系统设计原理（Ch3）；
  - 2) 无线移动信道（Ch4、Ch5）；
  - 3) 用于移动通信的数字调制技术和抗多径、抗衰落技术（Ch6、Ch7）；
  - 4) 多址技术（Ch9）。



# 从通信分层的观念看课程要求

---

- 本课程主要关注**基站（BS）和移动台（MS）之间空中接口（GSM中，这个接口称作 $U_m$ 接口）的物理层**：第4、5章讨论物理层的传输媒质；第6、7章讨论传输技术。同时也从系统（或网络）的角度对其它层作必要的介绍：第3章讨论蜂窝网络原理、信道分配策略、切换等问题；第9章介绍多址技术。

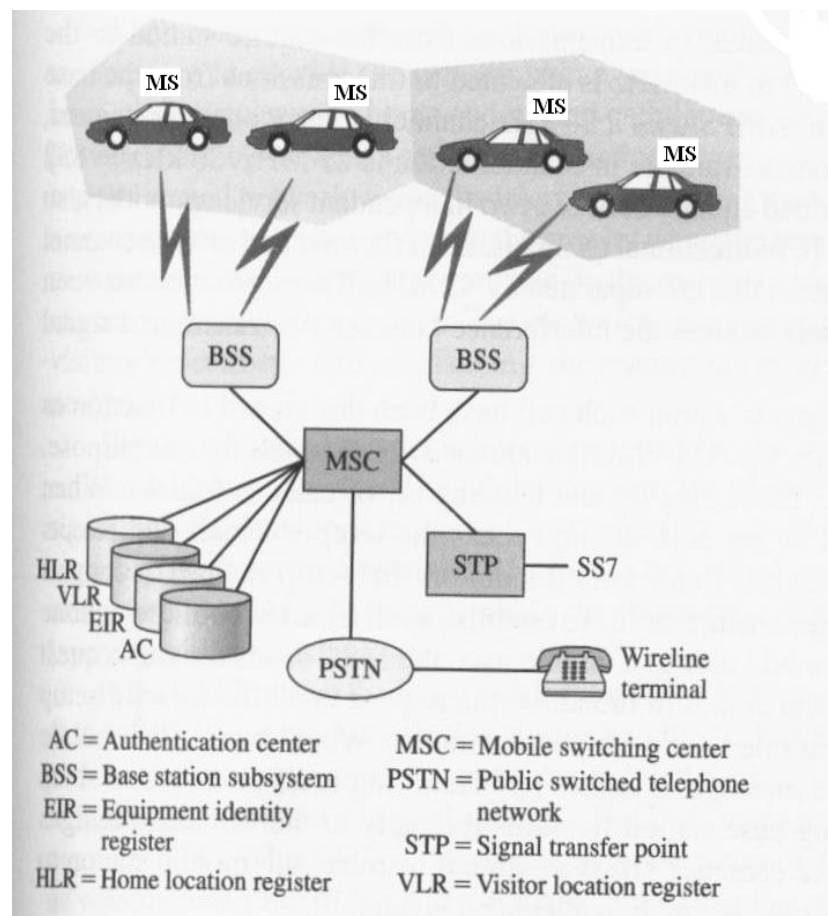
# 蜂窝网络的构成（第2代）

- 重要名词：

**MS**（**M**obile **S**tation）：移动台，如手机。

**BS**（**B**ase **S**tation）：基站。

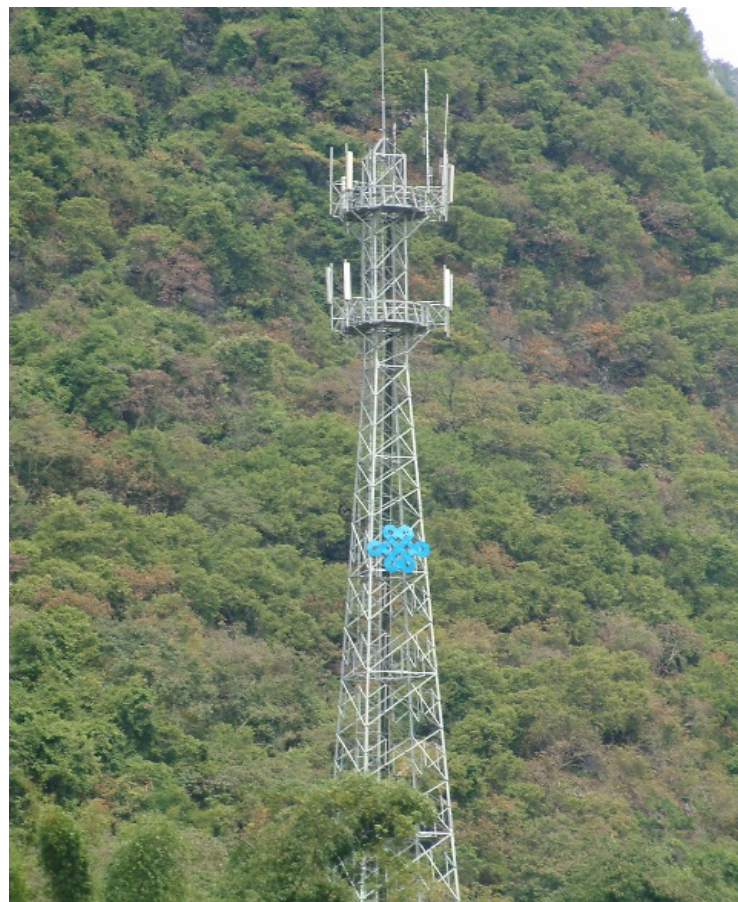
**MSC**（**M**obile **S**witching **C**enter）移动交换中心。





# 有基础设施的集中式无线网络

- 蜂窝系统属于有基础设施（如基站）的网络。任意两个网内用户（或者网内用户和有线网用户）之间的通信都要通过基站（**BS**）“中转”，这一点和一般的点对点无线通信（如，无线对讲机）是不同的。







# 提纲

---

- 一、无线通信的发展历史
- 二、无线通信的特点
- 三、无线电波频段的划分
- 四、无线通信系统的分类
- 五、常用无线通信系统
- 六、不同无线通信应用的不同需求
- 七、标准化蜂窝系统简介

# 无线通信的发展历史——起步

- 无线通信始于1897年马可尼在英吉利海峡行驶的船只之间进行的无线电报通信的演示。1901年12月，在英国与纽芬兰之间(三千五百四十公里)，实现横跨大西洋的无线电通讯，使无线电达到实用阶段。



伽利尔摩·马可尼由于其在无线电方面的杰出贡献，于1909年获得了诺贝尔物理学奖。

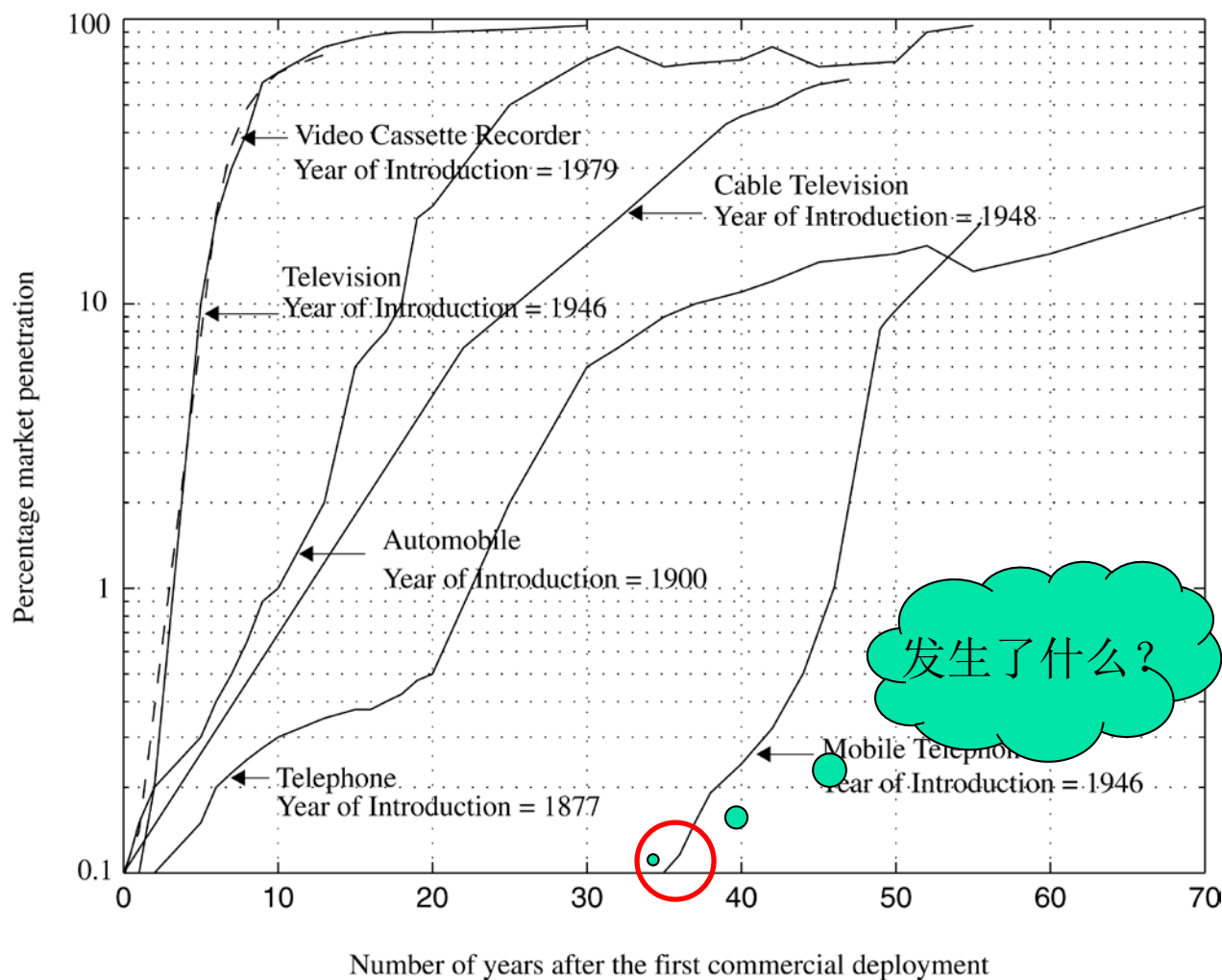


# 无线通信的发展历史——探索

---

- 20世纪40年代，首先在短波几个频段上开发出专用无线通信系统，其代表是美国底特律市警察实用的车载无线电系统，特点是专用系统，工作频率较低。
- 20世纪40年代至60年代初期，公共无线移动通信系统开始问世。1946年，世界上第一个公共移动电话系统在美国的圣路易斯市投入使用。其特点是非蜂窝系统，只有六个信道。

# 发生了什么？





# 无线通信的发展历史——酝酿

- 20世纪六十年代到七十年代，贝尔实验室提出了蜂窝的概念，即把整个覆盖范围划分成小的单元，每个单元复用整个频带的一部分以提高频率利用率。
- 模拟蜂窝系统：1979年，第一个具有大的覆盖范围和自动交换功能的系统由爱立信公司推出，并建立北欧移动电话系统（NMT）。后来美国也建立了AMPS系统。其特点是使用模拟调制，蜂窝网。



# 无线通信的发展历史——爆发

- 数字蜂窝系统：开始于20世纪80年代，与20世纪90年代开始投入商用。代表系统有：GSM，USDC（IS-136）等。特点是用数字调制，语音编码和时分多址代替模拟调制和频分多址。

地区	西欧	美国	日本
普及率（04年）	80%	50%	70%

截至2008年12月，中国手机用户数达6.41亿户，普及率接近50%，总量居世界第一位。



# 无线通信的发展历史——演进

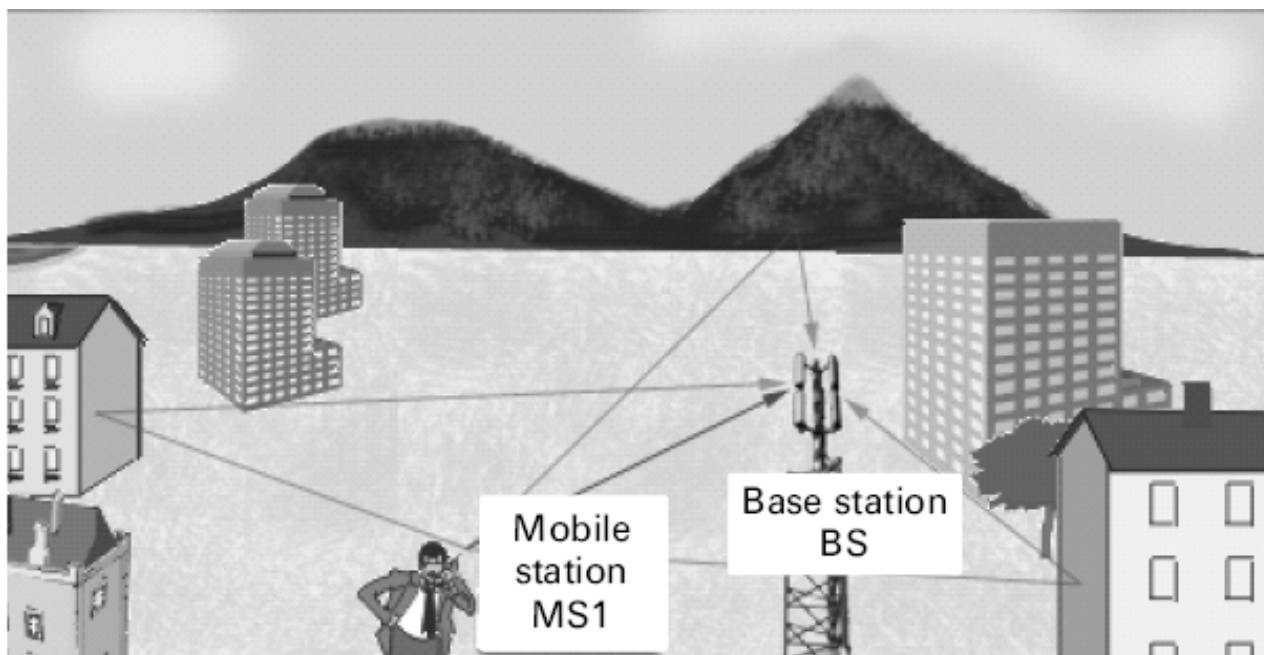
---

- 第三代移动通信：全球化标准。提供更大的系统容量和更高的数据传输速率。三个第三代移动通信技术标准：欧洲的WCDMA，美国的CDMA2000，中国的TD-SCDMA，此外802.16e标准也被批准为3G标准之一，我国与2009年开始部署3G系统。
- 无线局域网（WLAN）：802.11系列标准。
- LTE：长期演进。



# 无线通信的特点（1）

- 1. 无线通信利用无线电波进行信息传输，因而允许通信中的用户可以在一定范围内自由活动，其位置不受束缚，这是无线通信最大的优势。然而无线电波在传输过程中会受到多种传播因素的影响，造成接收信号的质量下降，这就需要在接收端对传播因素进行处理。





## 无线通信的特点（2）

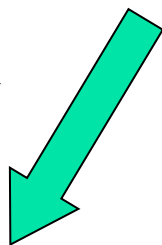
---

- 2. 无线通信系统是一个开放的系统，容易受到外界的干扰，并且易于被恶意获取。
  - 这里的干扰除包括常见的外部干扰，如天电干扰、工业干扰和信道噪声外，系统本身和不同系统之间，还会产生这样或那样的干扰。因为在移动通信系统中，常常有多部用户电台在同一地区工作，基站还会有多部收发信机在同一地点上工作，这些电台之间会产生干扰。
  - 安全性对无线通信具有非常重要的意义，跳频、数据加密等技术可以用来提高无线通信的安全性。

## 无线通信的特点（3）

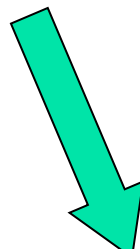
- 3. 无线通信可以利用的频谱资源非常有限，而移动通信业务量的需求却与日俱增——如何提高通信系统的通信容量，始终是移动通信发展中的焦点。

开源



开辟和启用新的频段，如  
60GHz短距离高速通信技术——802.15系列标准

节流



研究各种新技术和新措施，  
以压缩信号所占的频带宽度  
和提高频谱利用率，如MIMO  
技术，高效信源编码等



## 无线通信的特点（4）

---

- 4. 无线通信系统的网络结构多种多样，网络管理和控制必须有效

根据通信地区的不同需要，移动通信网络可以组成带状(如铁路公路沿线)、面状(如覆盖一城市或地区)或立体状(如地面通信设施与中、低轨道卫星通信网络的综合系统)等，可以单网运行，也可以多网并行并实现互连互通。为此，移动通信网络必须具备很强的管理和控制功能，诸如用户的登记和定位，通信(呼叫)链路的建立和拆除，信道的分配和管理，通信的计费、鉴权、安全和保密管理以及用户过境切换和漫游的控制等。

## 无线通信的特点（5）

- 5. 移动通信设备(主要是移动台)必须适于在移动环境中使用

对手机的主要要求是体积小、重量轻、省电、操作简单和携带方便。车载台和机载台除要求操作简单和维修方便外，还应保证在震动、冲击、高低温变化等恶劣环境中正常工作。



# 无线电波的频段的划分

1. 射频频段（波段）划分：  $\lambda = c/f$  ,  $c = 3000000000 \text{ m/s}$

无线电波频(波)段的划分

波段名	亚毫米波 Sub-mm	毫米波	厘米波	分米波	超短波 Metric-W	短波 (SW)	中波 (MW)	长波 (LW)	甚长波	特长波	超长波	极长波
波长	0.1~1mm	1~10mm	1~10cm	10~100cm	1~10m	10~100m	100~ 1 000m	1~10km	10~100km	100~ 1 000km	10 <sup>2</sup> ~10 <sup>4</sup> km	10 <sup>4</sup> km 以上
频率	3 000~ 300 GHz	300~ 30 GHz	30 ~ 3 GHz	3 000~ 300 MHz	300~ 30 MHz	30 ~ 3 MHz	3 000~ 300 kHz	300~ 30 kHz	30 ~ 3 kHz	3 000~ 300 Hz	300~ 30 Hz	30 Hz 以下
频段名		EHF (极高频)	SHF (超高频)	<b>UHF</b> (特高频)	<b>VHF</b> (甚高频)	<b>HF</b> (高频)	MF (中频)	LF (低频)	VLF (甚低频)	ULF (特低频)	SLF (超低频)	ELF (极低频)

# 常用无线电波段的特点

波段名称		波长范围	频率范围	频段名称	主要传播方式和用途
长波 (LW)		$10^3 \sim 10^4 \text{m}$	30~300kHz	低频 (LF)	地波；远距离通信
中波 (MW)		$10^2 \sim 10^3 \text{m}$	30kHz~300MHz	中频 (MF)	地波、天波；广播、通信、导航
短波 (SW)		10~100m	3~30MHz	高频 (HF)	天波、地波；广播、通信
超短波 (VSW)		1~10m	30~300MHz	甚高频 (VHF)	直线传播、对流层散射；通信、电视广播、调频广播、雷达
微波	分米波 (USW)	10~100cm	300MHz~3GHz	特高频 (UHF)	直线传播、散射传播；通信、中继与卫星通信、雷达、电视广播
	厘米波 (SSW)	1~10cm	3~30GHz	超高频 (SHF)	直线传播；中继与卫星通信、雷达
	毫米波 (ESW)	1~10mm	30~300GHz	极高频 (EHF)	直线传播；微波通信、雷达





# 无线通信常用频段

2. 绝大多数无线通信系统工作在**30MHz~40GHz**的频率范围内。

这是无线通信较为理想的频段，它不受地球表面曲率影响，天线尺寸适度，还可以穿透电离层。

## [天线尺寸与射频频率的关系]

良好接收所需的天线尺寸与发射频率成反比。

## [覆盖范围与射频频率的关系]

发射频率越高，传播损耗越大（全向辐射时）——接收信号功率与频率的平方成反比。所以频率越高，实现大范围覆盖的难度越高。



# 受管制频谱和不受管制的频谱

---

例如，

- **800—1000MHz**: 几个蜂窝系统使用此频段（模拟系统和第二代蜂窝）。也有一些应急通信系统（集群无线电）使用此频段。
- **1.8—2.0GHz**: 这是蜂窝通信的主要频段。目前的（第二代）蜂窝系统工作于此频段，大多数第三代系统也将工作于此频段。许多无绳系统也工作于此频段。
- **2.4—2.5GHz**: 工业、科学和医疗（ISM）频段。无绳电话、无线局域网（WLAN）和无线个域网（WPAN）工作于此频段；它们与其它的许多设备（包括微波炉）分享这一频段。



# 频谱——一种自然资源

- **有限性：**由于较高频率上的无线电波的传播特性，无线电业务的不能无限地使用较高频段的无线电频率，目前人类对于3000GHz以上的频率还无法开发和利用，尽管使用无线电频谱可以根据时间、空间、频率和编码四种方式进行频率的复用，但就某一频段和频率来讲，在一定的区域、一定的时间和一定的条件下使用频率是有限的。
- **排他性：**无线电频谱资源与其他资源具有共同的属性，即排他性，在一定的时间、地区和频域内，一旦被使用，其他设备是不能再用的。
- **复用性：**虽然无线电频谱具有排他性，但在一定的时间、地区、频域和编码条件下，无线电频率是可以重复使用和利用的，即不同无线电业务和设备可以频率复用和共用。
- **非耗竭性：**无线电频谱资源不同于矿产、森林等资源，它是可以被人类利用，但不会被消耗掉，不使用它是一种浪费，使用不当更是一种浪费，甚至由于使用不当产生干扰而造成危害。
- **传播特性固有性：**无线电波是按照一定规律传播，是不受行政地域的限制，是无国界的。
- **易污染性：**如果无线电频率使用不当，就会受到其他无线电台、自然噪声和人为噪声的干扰而无法正常工作，或者干扰其他无线电台站，使其不能正常工作，使之无法准确、有效和迅速地传送信息。



# 无线通信系统的分类(1)

---

- 按使用对象可分为民用设备和军用设备；
- 按使用环境可分为陆地通信、 海上通信和空中通信；
- 按多址方式可分为频分多址(FDMA)、 时分多址(TDMA)和码分多址(CDMA)等；
- 按覆盖范围可分为广域网和局域网；



## 无线通信系统的分类(2)

---

- 按业务类型可分为电话网、数据网和多媒体网；
- 按射频工作方式可分为单工、半双工、全双工；
- 按服务范围可分为专用网和公用网；
- 按信号形式可分为模拟网和数字网。



# 无线通信的射频工作方式

---

**单工 (Simplex)**：消息只能单方向传输的工作方式，典型的应用为寻呼系统。

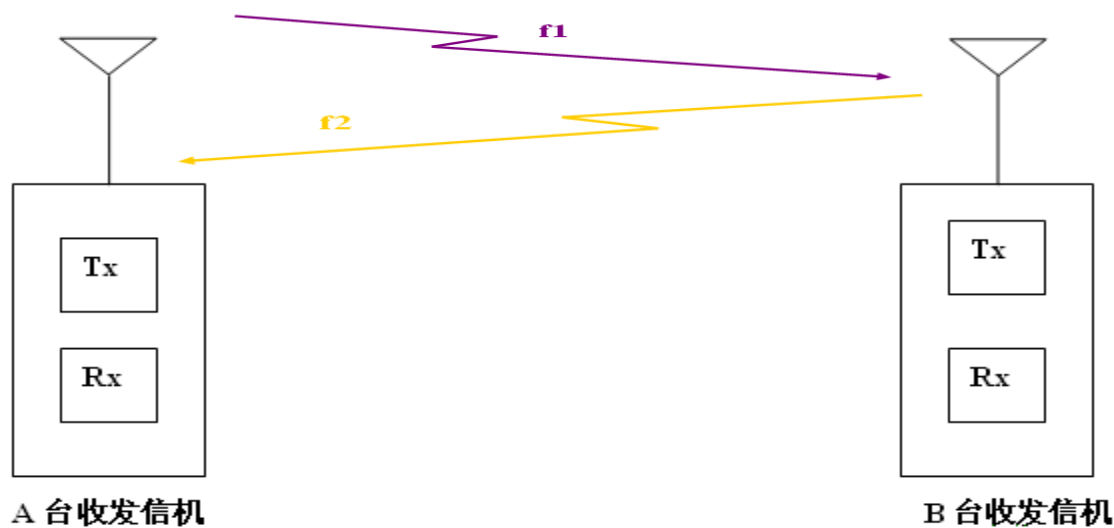
**半双工 (Half Duplex)**：通信双方都能收发信息，但不能同时进行收发的工作方式，多采用按讲方式 (PTT)。如对讲机。

**全双工 (Full Duplex)**，通信双方可同时进行收发信息的工作方式。商用的移动通信系统都是全双工的。

**全双工**（简记作**Duplex**）又分为：频分双工 (**FDD**) 和时分双工 (**TDD**)。

# FDD

- 什么是频分双工（FDD, Frequency Division Duplex）：



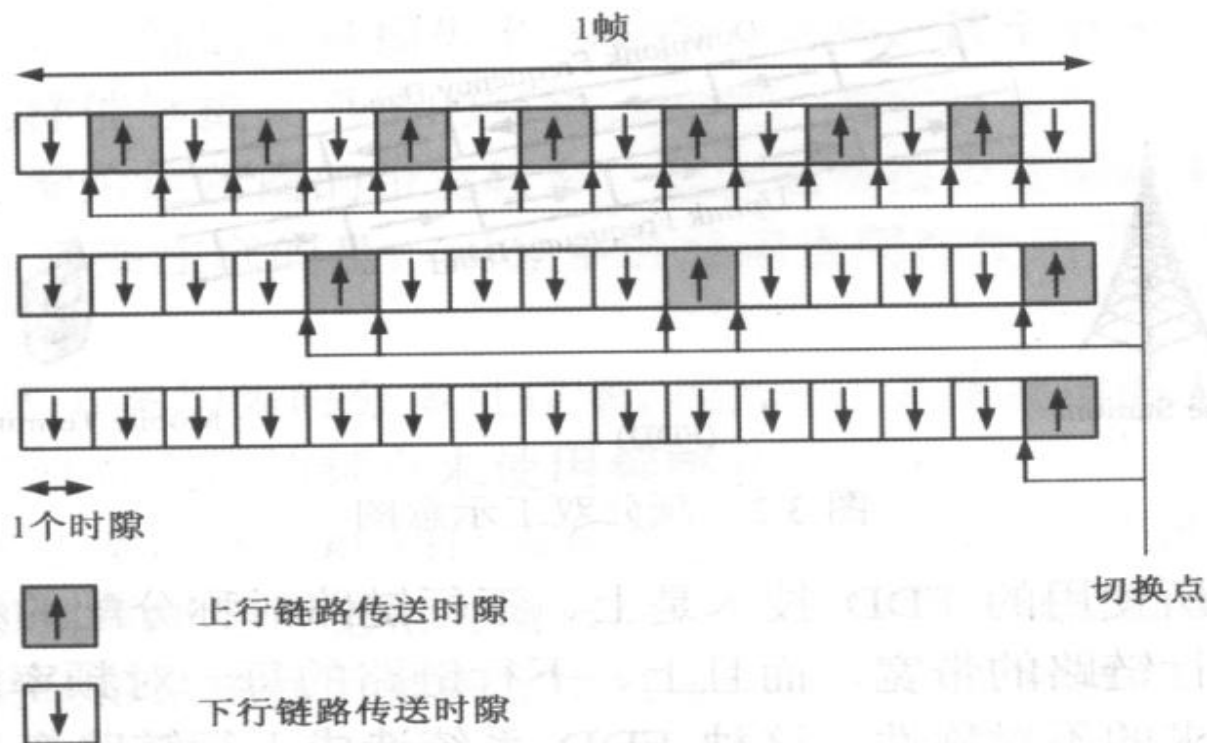
**Tx: Transmitter; Rx: Receiver;**

收发信机: **transceiver**。



# TDD

- 什么是TDD: TDD是一种准全双工。





# FFD与TDD的对比

	频率分配	射频滤波器	非对称业务适应性	闭环控制的实时性	同步的要求	覆盖范围	上下行链路信道特性	系统鲁棒性	网络设计规划
FDD	成对	两个	弱	高	低	无限制，30-40km	不相关	高	成熟
TDD	一个	一个	灵活	低	高	受保护时间间隔限制	相关	低	经验欠缺



# 系统实例

---

- “小灵通”采用了日本**PHS**\*系统的空中接口规范，它属于TDD系统。
- GSM系统属于FDD系统；联通的CDMA系统也是FDD系统。
- 3G系统中，欧洲提出的WCDMA系统和美国提出的CDMA2000系统都是以FDD为主的系统，中国的TD-SCDMA属TDD系统，WiMAX也属于TDD系统。
- LTE有FDD和TDD两个版本，前者对应于WCDMA的演进，后者对应于TD-SCDMA的演进。

\*注：**PHS, Personal Handy System**



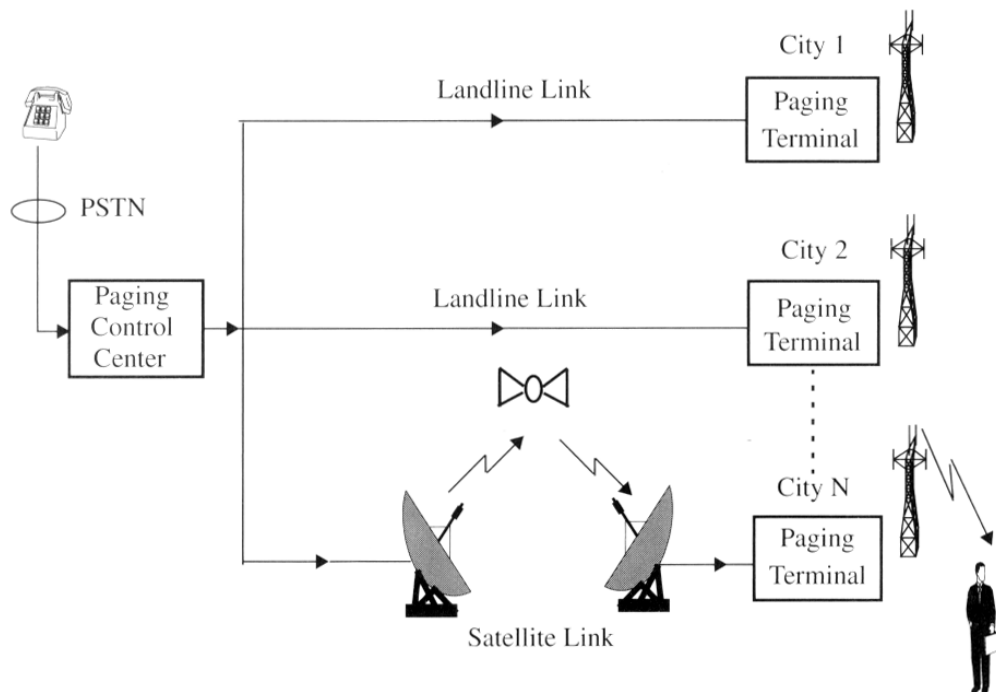
# 常用无线通信系统

---

- 寻呼系统(Paging)
- 无绳电话(cordless telephony)
- 蜂窝系统(cellular system)
- 集群通信系统 ( Trunking Radio )
- 卫星移动通信
- 无线局域网(WLAN, W: Wireless)
- 个域网
- 固定无线接入

# 寻呼系统

- 无线电寻呼系统是一种单向通信系统。无线电寻呼系统的用户设备是袖珍式接收机，称作袖珍铃，俗称“BB机”，这是由于它的振铃声近似于“B...B...”声音之故。



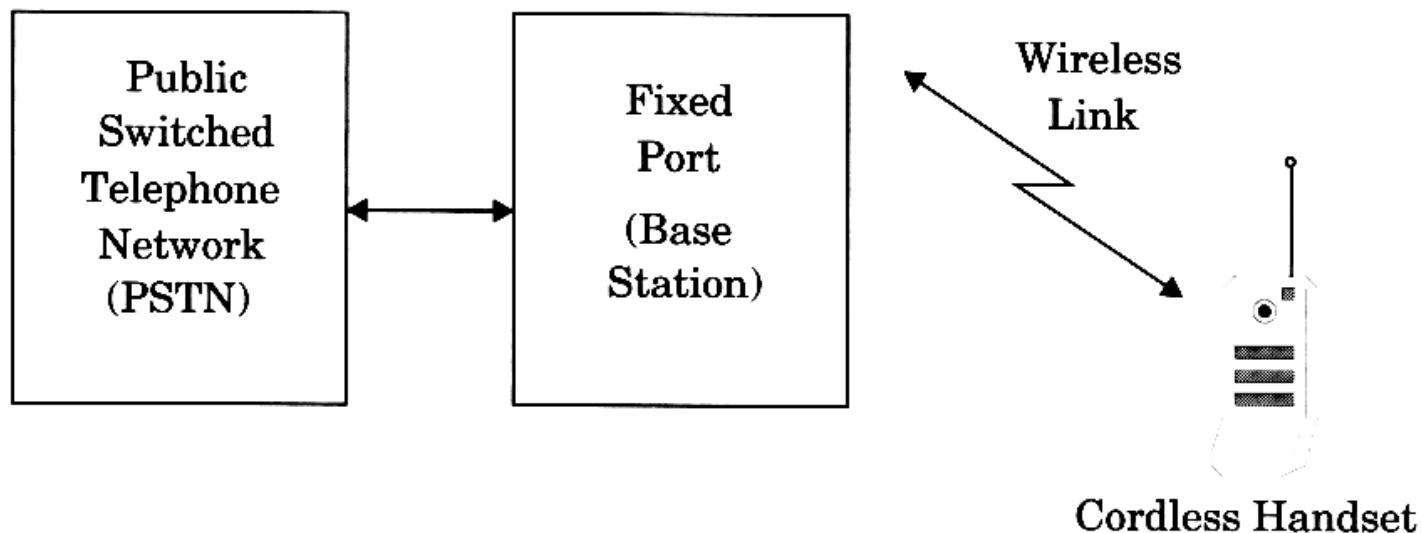


# 寻呼系统的特点

- 单工系统，用户只能接受信息，不能发送信息。所以一个寻呼信息只能由寻呼中心发起，而不能由用户发起。
- 信息的发送目标和接收方都只限于一个单独的用户。
- 发送信息的数量非常小。最初的寻呼系统，接收信息由单个比特信息构成，向用户指示，“有人发送了一条信息给你”。然后用户必须打一个电话到寻呼中心，在那里由一个寻呼人员重复之前保留的信息内容。后来，寻呼系统变得更加复杂，允许了短消息的传送，但是信息的数量是有限的。
- 由于通信的单向性和信息数量少，寻呼业务所需的带宽也较小，容易到达较大的系统容量。
- 由于寻呼系统所需的带宽较小，因此可以使用较低的载频，而低载频又容易实现大范围的覆盖。

# 无绳电话系统

## ■ 无绳电话



**特点：**提供灵活的无线接入手段，全双工工作；依附于有线网络（PSTN）。





# 家庭型无绳电话

---

- 简单的无绳电话机把普通的电话单机分成座机和手机两部分，座机与有线电话网连接，手机与座机之间用无线电连接，这样，允许携带手机的用户可以在一定范围内自由活动时进行通话，因为手机与座机之间不需要用电线连接，故称之为“无绳”电话机。这种无绳电话称为家庭型无绳电话。



# 几种家庭无绳电话系统

性 能 \ 系 统		日本(邮政省标准)	美国(FCC 标准)	欧洲(CEPT 标准)
频段/MHz	手机发	253.862 5~254.9625	49.830~49.990	914.012 5~914.9875
	座机发	380.212 5~381.3125	46.610~46.970	959.012 5~959.9875
频道间隔/kHz		12.5	20/40	25
频道数目		88	18/9	40
发射功率		10 mW 以下	10 mW 以下	10 mW 以下
频道共用方式		多频道	单频道	多频道
话音调制方式		FM	FM	FM
控制信号		副载波 FM	单音	副载波 FM



# 网络型无绳电话

---

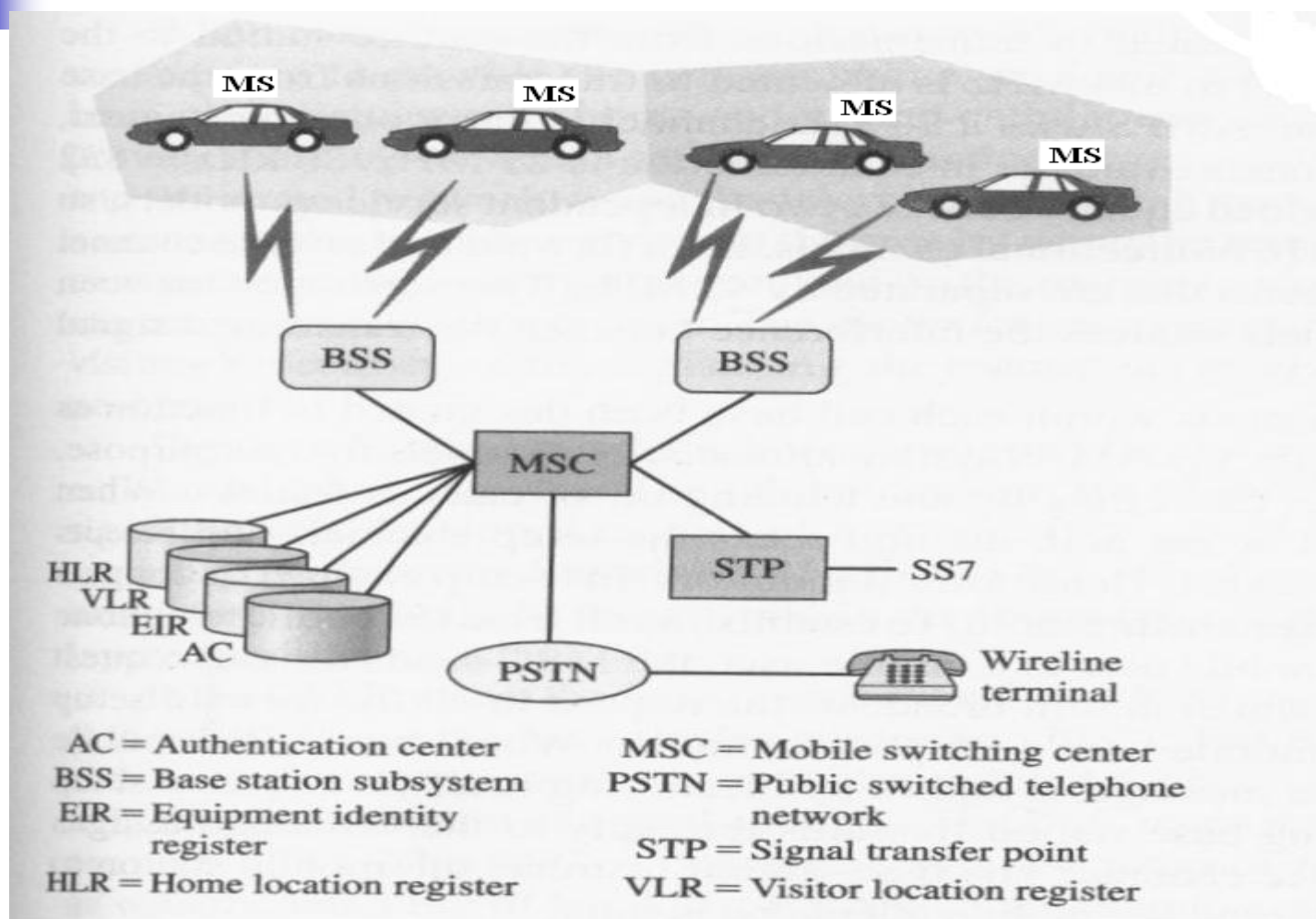
- 随着通信技术的发展，无绳电话也朝着网络化的方向发展，即，其座机发展成了具有交换功能的专用自动小交换机。无绳电话的手机、座机与电信点所发射的功率均在10 mW以下，无线覆盖半径约在100 m左右。网络型无绳电话系统包括CT-2、 DECT、 PHS、 PACS等。



# 网络型无绳电话的特点

- 无绳电话是一种以有线电话网为依托的通信方式，也可以说它是有线电话网的无线延伸，具有发射功率小、省电、设备简单、价格低廉、使用方便等优点，因而发展十分迅速。目前，数字式无绳电话系统(低功率无线系统)在我国得到了广泛的应用(我国使用的标准是PHS)。
- 目前公用无绳电话系统的功能完全类似于蜂窝移动通信系统，不仅具有固定电话的功能，而且可以在低移动环境下具有越区切换功能。他与蜂窝系统的主要区别有：完全基于**PSTN**，覆盖半径小（**100~300m**），低速移动（ **$\leq 20\text{km/h}$** ）。

# 蜂窝系统





# 蜂窝系统的特点

---

- 蜂窝系统为在无线覆盖范围内的，任何地点的用户提供公共电话交换网的无线接入，蜂窝系统能在有限的频带范围中于很大的地理范围内容纳大量的用户。这是由于他将每个基站的覆盖范围限制到称为“小区”的小块地理区域。这样，相距不远的另一个基站就可以使用相同的无线信道。
- 蜂窝系统是全双工系统；
- 可以通过MSC与有线网络（PSTN）相连接。

# 蜂窝系统的接续过程（1）

MSC		接收来自PSTN的呼叫，给所有基站发送MIN请求			验证手机具备有效的MIN/ESN对	要求BS将手机调谐到空闲语音信道		连接手机与PSTN的主叫方
基站	FCC		发送对特定用户的寻呼（MIN）				发送数据消息，使被呼手机接入特定的话音信道	
	RCC			接收MIN/ESN对和SCM，并送往MSC				
	FVC							开始发送语音信号
	RVC							开始接收语音信号
手机	FCC		接收寻呼并判断接收的MIN与自己的MIN是否匹配				接收数据消息，进入特定的语音信道	
	RCC			告知已经接收MIN，并发送ESN和SCM				
	FVC							开始接收语音信号
	RVC							开始发送语音信号

# 蜂窝系统的接续过程（2）

MSC			接收基站初始呼叫请求，验证手机具有有效的MIN/ESN对	通过原基站FCC指示手机进入一对语音信道		连接手机至PSTN被叫方	
基站	FCC				寻呼被叫手机，指示手机进入语音特定的信道		
	RCC	接收呼叫原始请求及MIN/ESN对和SCM					
	FVC						开始发送语音信号
	RVC						开始接收语音信号
手机	FCC				接收寻呼，判断该MIN是否与自己的MIN匹配，若匹配则接入语音信道		
	RCC	发送呼叫发起请求及用户MIN和被叫号码					
	FVC						开始接收语音信号
	RVC						开始发送语音信号





# 问题

---

- 前面介绍了固定电话呼叫移动台和移动台呼叫固定电话两种接续过程，那么移动台呼叫另一个移动台的接续过程又是如何呢？



# 集群移动通信系统

---

- 集群移动通信是蜂窝电话的一种重要变形，他和PSTN之间可以没有连接，因此它支持封闭用户群之间的通信。
- 集群移动通信系统所具有的可用信道可为系统的全体用户共用，具有自动选择信道功能，它是共享资源、分担费用、共用信道设备及服务的多用途、高效能的无线调度通信系统。
- 集群移动通信一般采用半双工(现在已有全双工产品)工作方式，一个用户只需要分配一个载频。
- 集群移动通信显而易见的应用部门包括警察局、消防局、出租车公司和其他类似业务部门。因此集群移动通信是一种专用通信网。



# 集群系统的优势（1）

---

- 群呼：可同时与多个用户通信，或者可以实现系统中多个用户之间的会议通话。
- 呼叫优先级：可以不遵循“先到先服务”的原则，以保证有关紧急事件的信息能够及时得传达到受影响的群体中，尽管这样做意味着中断正在进行中的优先级较低的呼叫。——消防，警察等部门

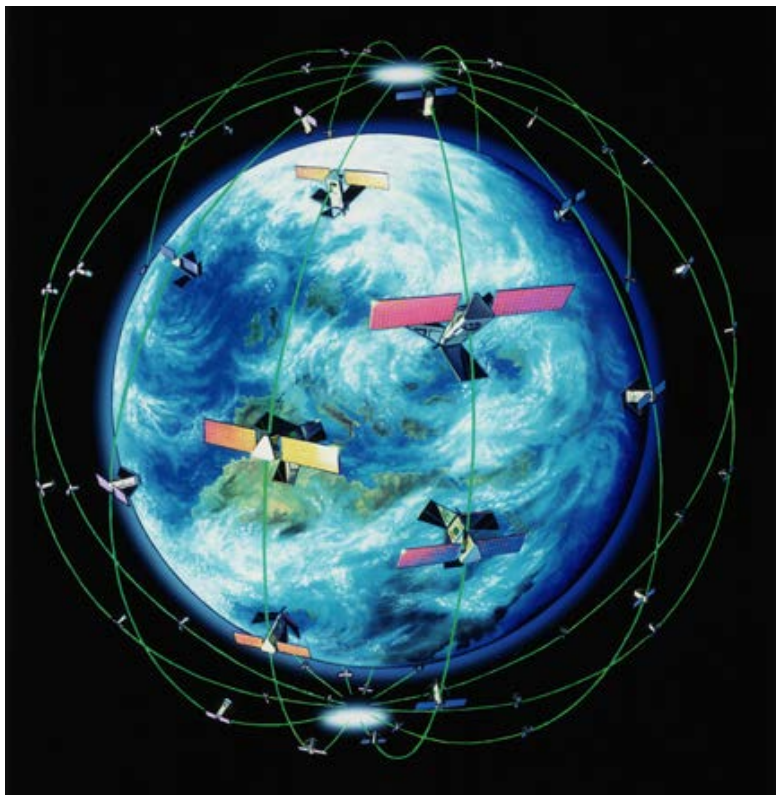
## 集群系统的优势（2）

- 中继网络：网络的覆盖范围可以通过将每个移动台动用做其他移动台的中继站来获得延伸。然而这种方法目前还只能用于集群系统中，而不能用于蜂窝系统中——一般的蜂窝用户都不愿接受为其他用户中继消息而消耗自身的电能。



# 卫星移动通信

- 一如：铱(Iridium)系统

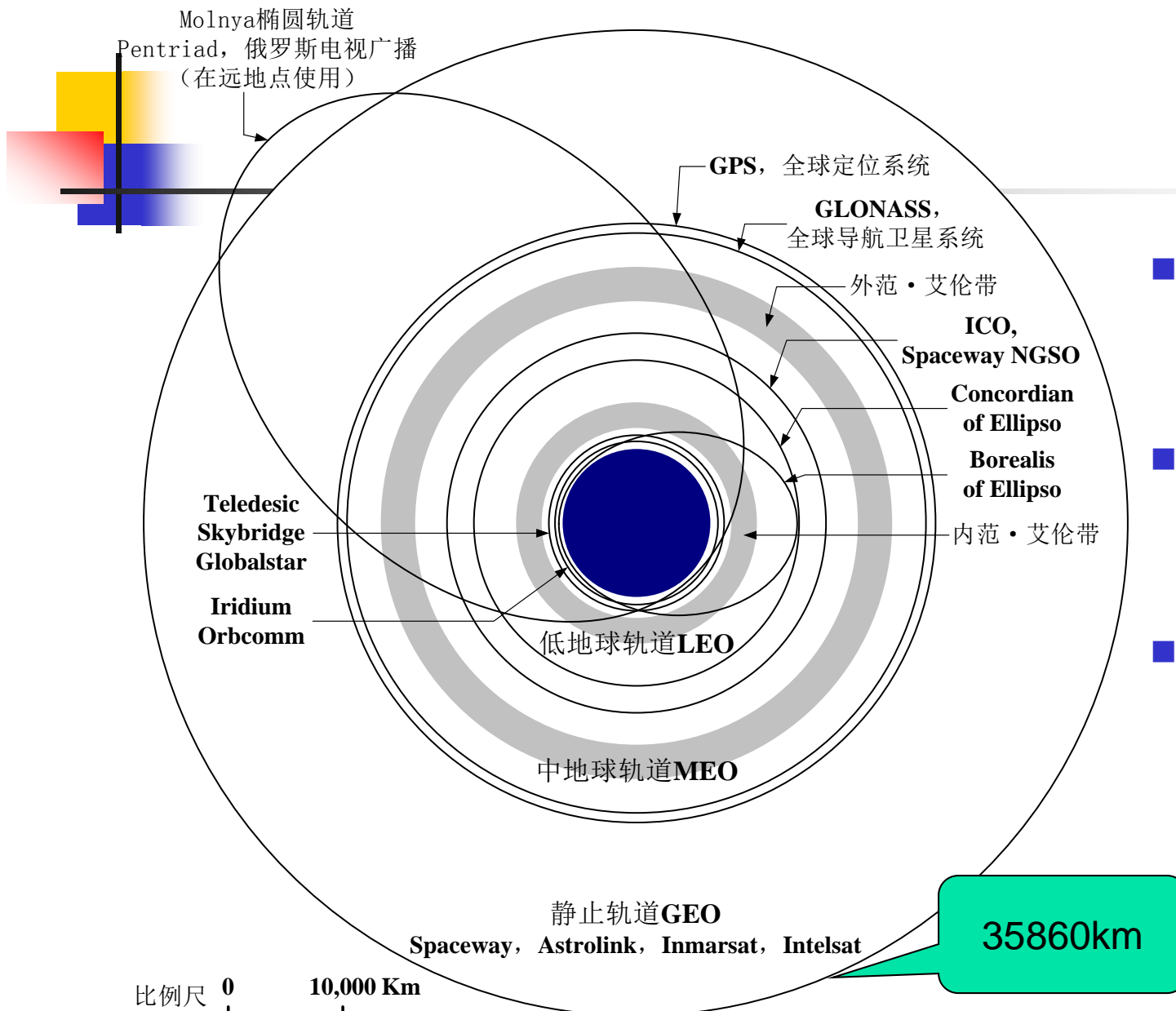




# 卫星移动通信的分类

---

- 同步（高）轨道卫星通信（GEO）：
- 长椭圆轨道卫星通信（HEO）
- 中轨道卫星通信（MEO）
- 低轨道卫星通信（LEO）



- 内范·爱伦带1500~5000 km
- 外范·爱伦带13000~20000km
- 高度低于700km时大气阻力对卫星运动的影响较大。



# 卫星移动通信的特点

---

- 无线电波的传播大部分在大气层以外的空间，传播损耗近似于自由空间条件；
- 传输距离远，损耗大，延迟大；
- 地球站天线仰角大，多径效应小，为恒参信道，但地面上的高大建筑物仍会造成阴影效应；
- 工作频率高，一般有： $f > 1\text{GHz}$ ，因此雨雪等天气会对信号的传输造成影响，即雨衰效应。





# 卫星移动通信系统实例

- **Iridium系统**

星状网络，位于低地球轨道（LEO） $h=780\text{km}$ 的66颗卫星平均分布在6条圆轨道上，实现全球覆盖。语音速率2.4kbps或4.8kbps，数据速率2.4kbps。TDMA / TDD。

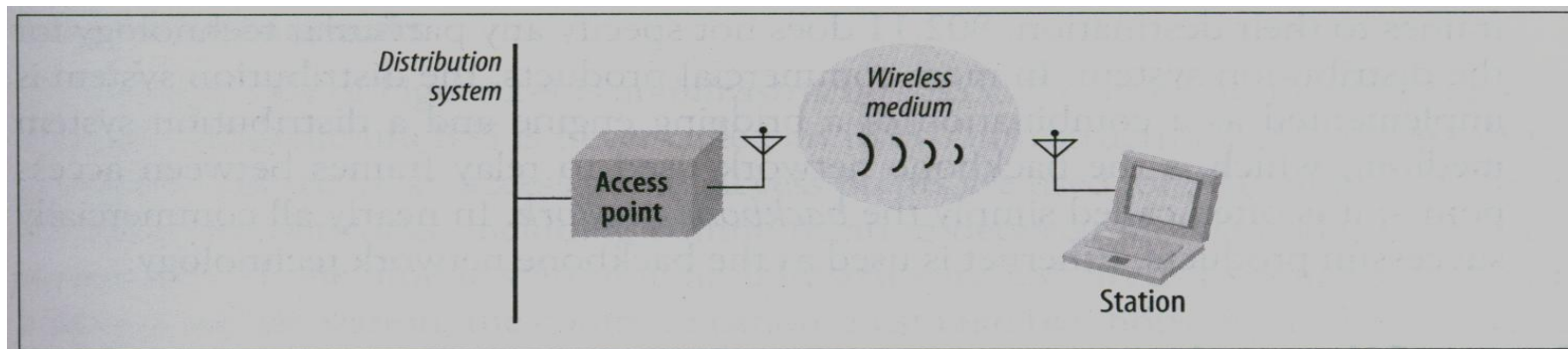
- **IC0系统**

- 采用大卫星，位于中地球轨道（MEO） $h=10390\text{ km}$ ，共有10颗卫星和2颗备份星，布置于2个轨道面，每个轨道面5颗工作星，1颗备份星。提供的数据传输速率为140 kbR/s，但有上升到384kbrt/s的能力。主要针对为非城市地区提供高速数据传输。

- **国际海事卫星(Inmarsat)系统**

由四颗GEO卫星构成，分别覆盖太平洋（卫星定位于东经 $178^\circ$ ）、印度洋（东经 $65^\circ$ ）、大西洋东区（西经 $16^\circ$ ）和大西洋西区（西经 $54^\circ$ ）。用于船舶与船舶之间、船舶与陆地之间的通信，可进行通话、数据传输和传真。

# 无线局域网 (WLAN)






# IEEE802.11系列标准

---

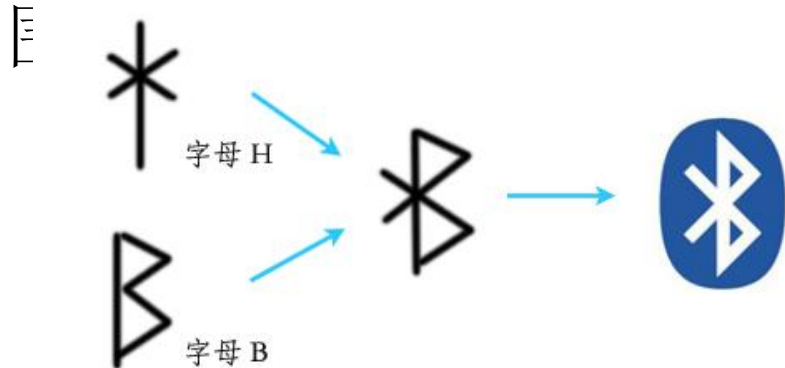
- 802.11标准应用最为广泛的WLAN标准（没有之一）。
- IEEE最初制定的一个无线局域网标准，主要用于解决办公室局域网和校园网中用户与用户终端的无线接入，业务主要限于数据存取，速率最高只能达到2Mbps。
- 由于802.11标准在速率和传输距离上都不能满足人们的需要，因此，IEEE小组后继又推出了一系列的标准以支持更高的数据传输速率。



标准	发布日期	工作频段	数据速率	核心技术
<b>802.11</b>	<b>1997</b>	<b>2.4-2.5 GHz</b>	<b>2Mbps</b>	<b>DSSS</b>
<b>802.11a</b>	<b>1999</b>	<b>5GHz</b>	<b>54Mbps</b>	<b>OFDM</b>
<b>802.11b</b>	<b>1999</b>	<b>2.4-2.5 GHz</b>	<b>11Mbps</b>	<b>DSSS</b>
<b>802.11g</b>	<b>2003</b>	<b>2.4-2.5 GHz</b>	<b>54Mbps</b>	<b>OFDM</b>
<b>802.11n</b>	<b>2009</b>	<b>2.4GHz、 5GHz</b>	<b>600Mbps</b>	<b>MIMO-OFDM</b>
<b>802.11ac</b>	<b>2011.11(草案)</b>	<b>2.4GHz、 5GHz</b>	<b>1Gbps以 上</b>	<b>MIMO-OFDM</b>
<b>802.11ad</b>	<b>2012.12(草案)</b>	<b>60GHz</b>	<b>7Gbps以 上</b>	<b>MIMO-OFDM</b>

# 个域网

- 个域网多数是为了达到简单的“电缆替代”效果。如蓝牙协议可以在10m范围内提供1Mbps的无线连接。
- 蓝牙协议最早由爱立信提出，目前已得到全球范围的认同。



Harald Bluetooth

\*†R†††R †††††R B†† ††††††  
Haraltr kunukr bath kaurua  
Harald konge bød gøre



# 固定无线接入

---

- 代替用户与陆上有线系统之间的专用线缆连接。
- 特点：
  - 用户不具移动性
  - 传输距离长
  - 信道特性基本为视距传播
  - 开通与维护成本相对于有线接入更加低廉
  - 部署速度快，应用方式灵活



# 习题

---

- 通过网上搜索，对以下名词含义及其相关技术特点作简要的概括（可任选2种）。

**WiFi**

**WiMAX**

**LTE**

**UWB**

**Wireless Sensor Network**

**ZigBee**

**HiperLAN/2**



## 不同无线通信应用的不同需求

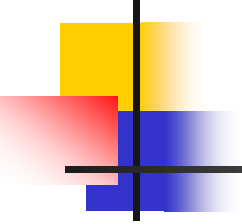
---

“设计用户以**500km/h**速度移动时，还能够

在**100km**范围上支持**Gbit/s**数据速率的系统是全无必要的。”

但是不同无线通信应用在以下方面对无线系统的设计提出了要求：



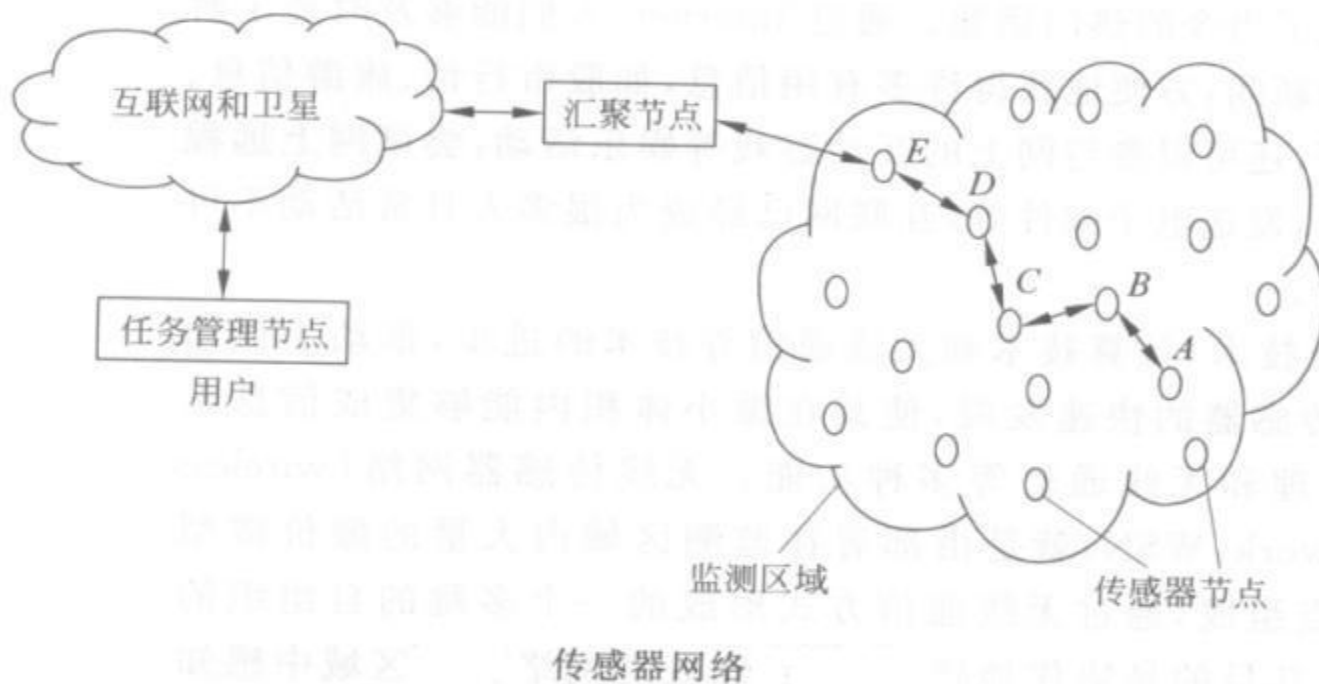
- 
- 
- 数据速率
  - 覆盖范围和用户数目
  - 移动性
  - 功耗
  - 频谱使用
  - 传输方向
  - 服务质量



# 对数据速率的不同需求

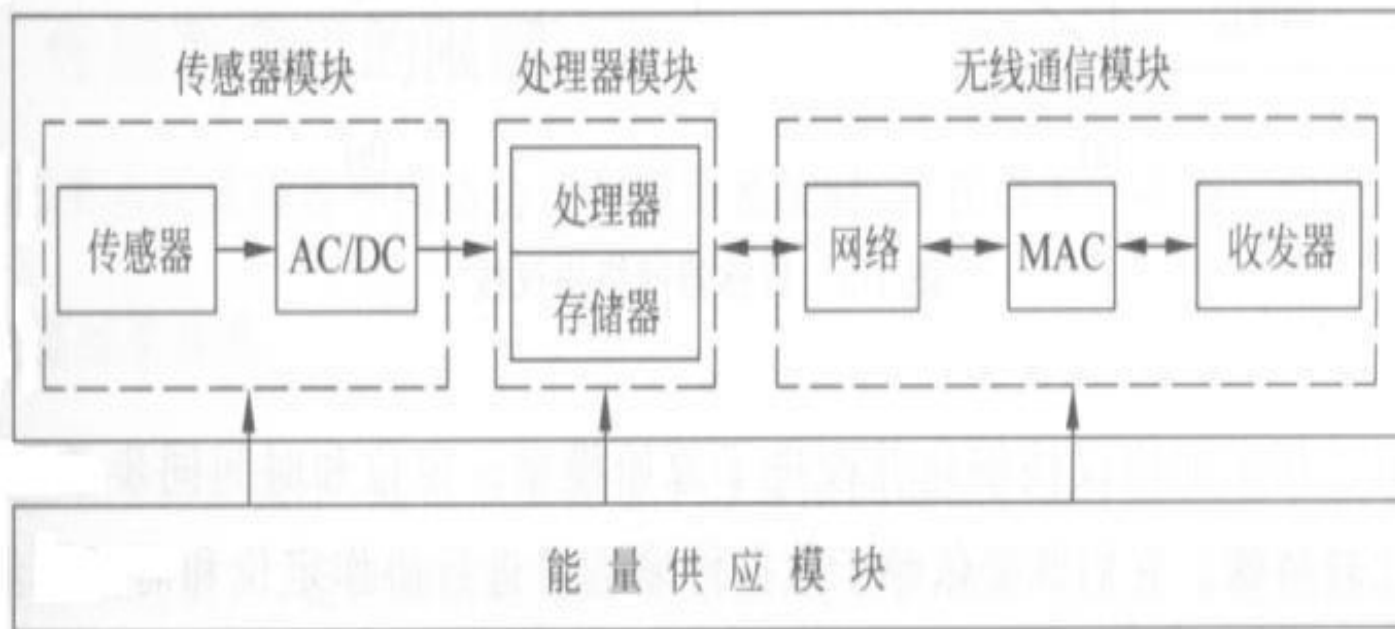
速率水平	网络（ / 系统）
若干bit/s~1kbit/s	无线传感器网络（传感器节点到汇聚节点）
5k~64kbit/s	蜂窝系统（语音）和无绳电话
10k~100kbit/s	蜂窝系统（基本数据业务）
1Mbit/s	计算机与外设的无线连接
0.5M~100Mbit/s	WLAN和3G蜂窝系统（高速数据业务）
100Mbit/s~	PAN(Personal Area Network)

# 无线传感器网络 (WSN)



多跳、自组织网络；传感器节点往往固定不动；传感器节点能力受限——能量、处理、存储、通信能力均有限。

# 传感器节点

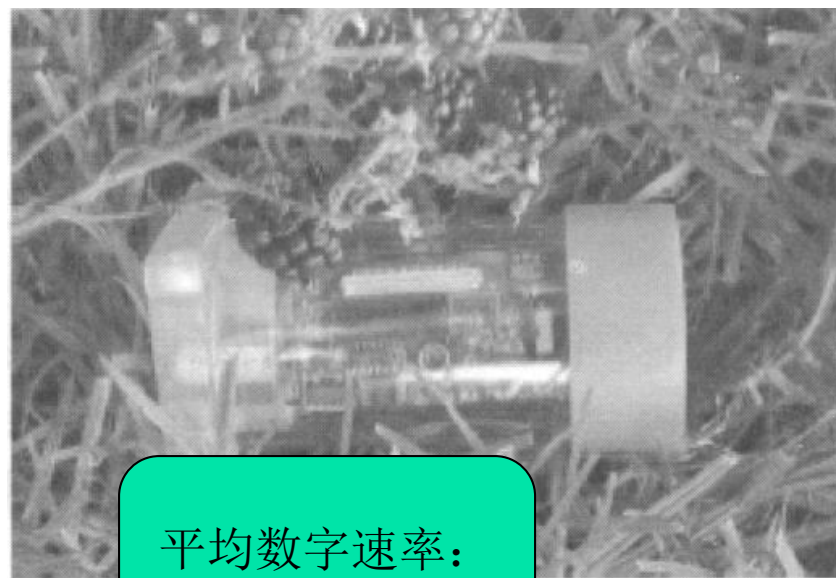


传感器节点

# 传感器网络举例

- 2002年夏，美国“in-situ”研究组在大鸭岛（Great Duck Island）上部署了由**43**个传感器节点组成的传感器网络，以监控海岛生态环境。

数据包长度**32**个字节，  
每**70**秒采样一次。



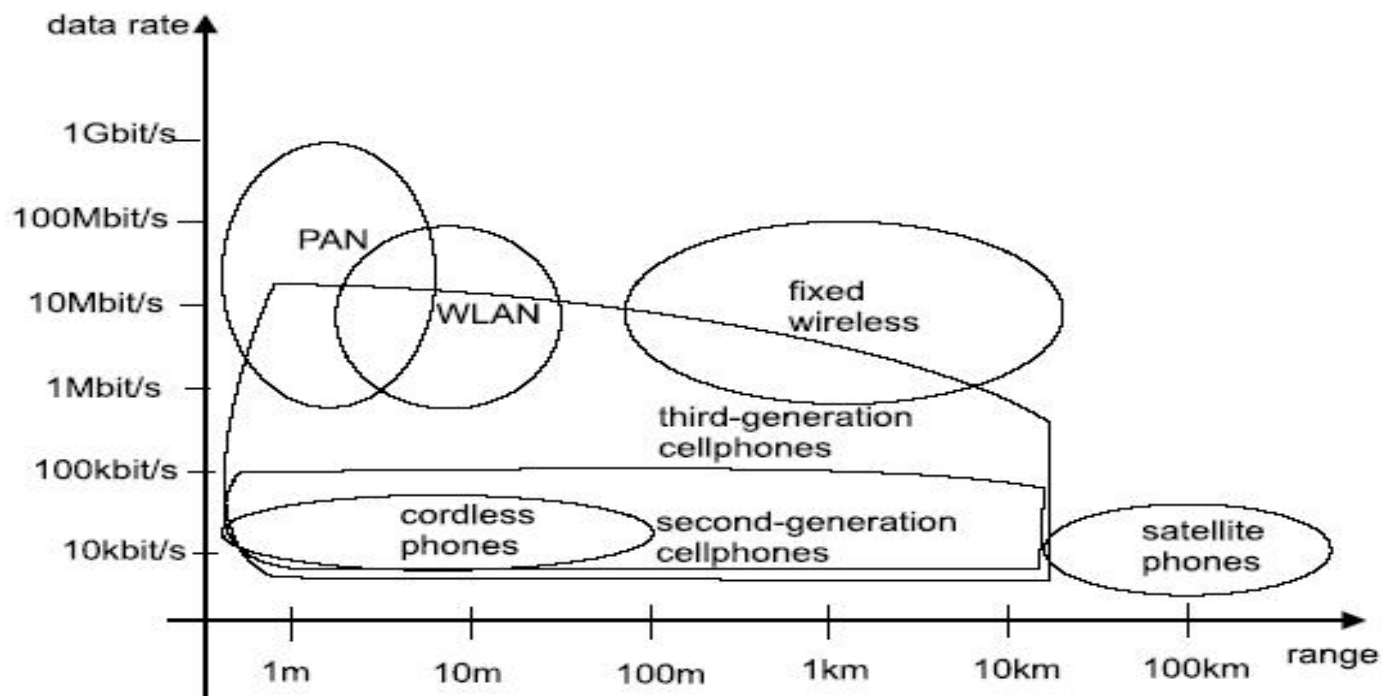
平均数字速率：  
 $32 * 8 / 70 = 3.66 \text{ bps}$





# 覆盖范围和用户数目

覆盖范围（ / 用户数目）	系统（ / 网络）
<b>1m</b>	<b>BAN (Body Area Network)</b>
<b>10m</b>	<b>PAN</b>
<b>100m/300m（10个用户）</b>	<b>WLAN/无绳电话</b>
<b>500m~10km / 30km （5~50个用户）</b>	<b>蜂窝系统</b>
<b>100m~几十km</b>	<b>FWA (Fixed Wireless Access)</b>
<b>几十km~1000km</b>	<b>卫星移动系统</b>



注意：所需覆盖范围较小时，容易达到更高的数据速率。

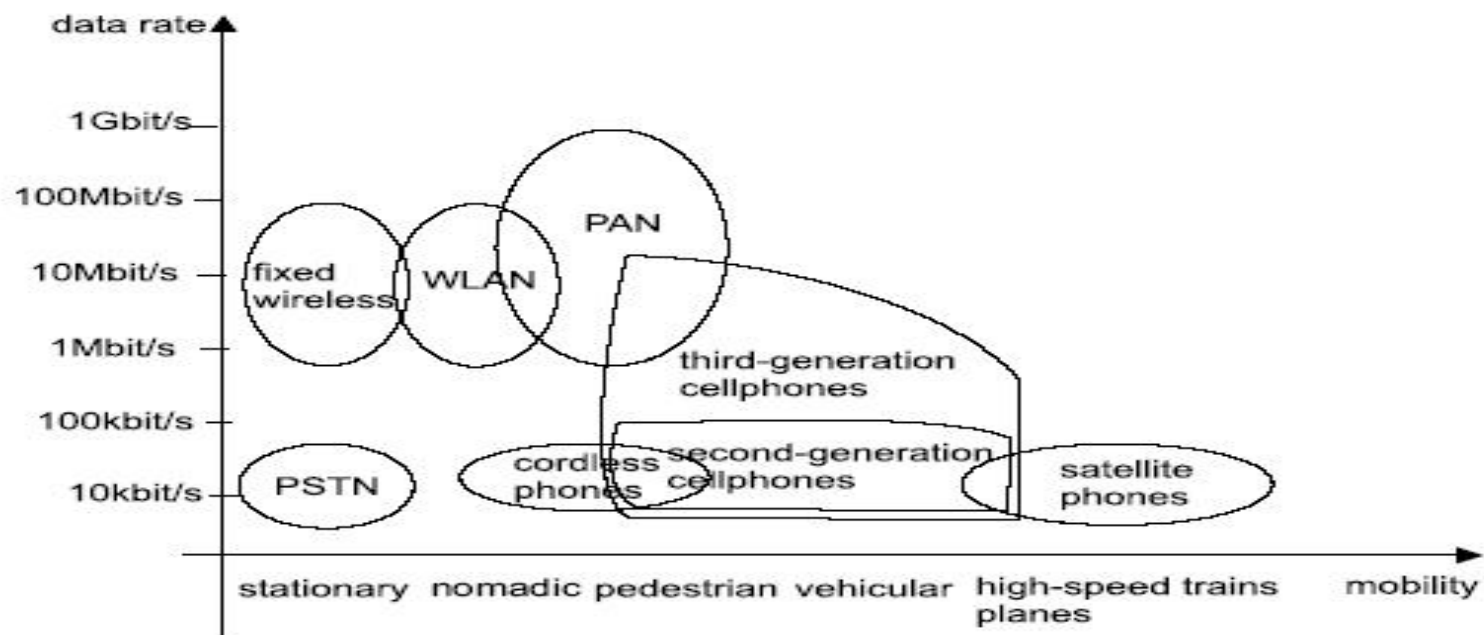




# 移动性

设备的移动性	系统（ / 网络）
固定	<b>FWA</b>
游牧型	便携式电脑
低移动性	无绳电话和蜂窝电话（步行用户）
高移动性 (30km/h~150km/h)	蜂窝电话（用户位于行驶的汽车中）
极高移动性 (300km/h~1000km/h)	高速列车和飞机





**注意：**速率的提升将在两方面对系统设计带来挑战：1) 设备的物理层设计（对抗多普勒频移的影响）；2) 蜂窝系统的越区切换。





# 功耗

---

- 电力电源：蜂窝系统中的基站或者固定无线接入设备等固定设备可以使用交流电源，所以功耗并不是主要的问题。
- 可充电电池：大多数游牧型和移动设备都使用可充电电池，其待机时间和使用时间是用户满意度的决定因素之一。
- 一次性电池：传感器网络节点一般使用价格低廉又可提供较高能量密度的一次性电池，并且通常不考虑更换电池。这种情况下，功耗更加成为了系统性能的一个决定性的因素。



# 标准化蜂窝系统简介

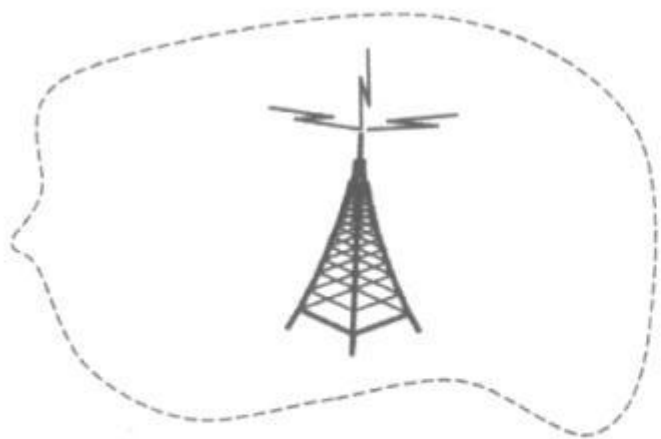
---

无线通信系统形式多样，但蜂窝系统是最重要的一种有基础设施的无线通信系统。本课程以介绍蜂窝系统为主。

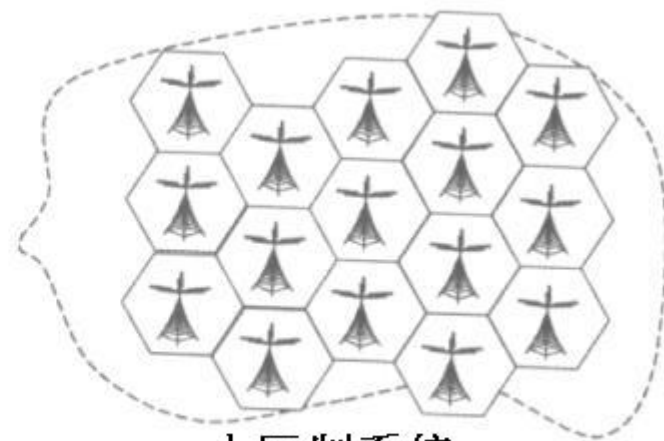
- 什么是蜂窝系统？
- 多址（MA）概念
- 标准化的蜂窝系统经历了那些发展阶段？

# 什么是蜂窝系统？

- 蜂窝系统是一种小区制无线通信系统，这是相对于在其出现之前的大区制无线通信系统而言的。



大区制系统



小区制系统



# 大区制与小区制的区别

系统	大区制	小区制
单个基站覆盖范围	大到一座城市，如美国纽约市	半径10km的区域
发射功率	50~200W	< 20W
基站天线	位于山巅或其它较高的位置	城区可设置于一般楼房的顶端平台
频率复用	不考虑	核心思想
用户数目	非常有限，十几个，小容量	大容量系统



# 什么是频率复用？

---

- **频率复用（frequency reuse）**：在提供给整个系统使用的频率资源一定的情况下，通过在整个服务区域上划分小区，每个小区由该小区基站来保证无线信号的有效覆盖。某小区使用的那部分频率资源，可以由相隔一定距离之外的其它小区（如不相邻接的小区）重复使用，只要使用相同频率的小区之间的相互干扰所造成的影响可以控制在用户可接受的水平之内。



# 频率复用例

- 设某城市地理区域可看作半径为**100km**的圆面。假定采用大区制时，城市中心的唯一基站可使用的总频率带宽为**360kHz**，设每个移动用户占用**30kHz**的带宽。这样，如果**按频率划分用户**，该系统可以同时为**12**个用户提供服务。  
而采用小区制以后，每个小区基站的有效覆盖区域的半径为**10km**，则要想覆盖整个城市需要建**100**个基站。假定在相邻接的**3**个小区上平分上述**12**个频道，则每个小区将分配到**4**个频道。若在每**3**个小区上复用全部频道，总共可以支持大约 **$33 * 12$** 个用户使用系统，即用户数提高了**33**倍。



# 蜂窝概念由来

---

- 蜂窝体制由美国贝尔实验室于1970年代末提出。目的就在于通过**频率复用**来解决大区制系统的容量受限问题。
- 由于在进行这种小区制系统设计和规划时常常采用**正六边形**的小区（**cell**）形状，而蜂窝的最小组成单位的形状也是正六边形，因此我们称这种系统为**蜂窝系统（cellular system）**。





# 多址（Multiple Access）概念

---

- 多用户通信系统
- 什么是多址？
- 传统的多址类型有哪些？



# 多用户通信系统

- **蜂窝系统**是一种**多用户通信系统**。即系统所提供的通信资源（如频率）有限，由许多拥有终端的用户通过**共享资源**的方式来达到通信的目的。所谓共享是指需要时由系统来进行分配，使用完毕即释放所占用资源。

如：某小区可供用户使用的不同频道为10个，而实际上小区内特定时间段内拥有手机的用户可能达到50个，甚至更多。用户对手机的使用显然具有随机性，但同时又具有一定的统计规律。那么，系统设计的一个问题就是，在满足一定服务质量要求的前提下，最大限度地使用这10个频道。



# 什么是多址？

---

- 在多用户通信系统中，整个通信资源（如频率）由系统掌控，按照用户需求提供给用户使用，在不发生资源分配冲突的前提下必须进行用户的区分，一般称这种区分用户的技术为多址（**Multiple Access, MA**）。

应当指出，也存在允许冲突的多址方式，这里暂不讨论。

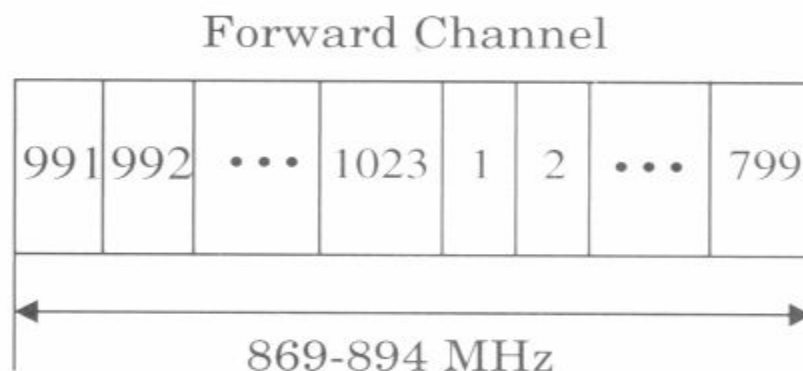


# 最基本的多址方式——FDMA

---

- **FDMA**，即**Frequency Division Multiple Access**，称作**频分多址**。也就是采用频率来区分用户，就是说系统向需要同时进行通信的不同用户分配不同的频道。
- 举例：**AMPS**系统。先来考虑蜂窝系统的前向信道（Forward Channel，也称作下行链路，Down Link），即由基站（BS）到移动台（MS）的无线通信链路。

# AMPS系统的前向信道划分



Forward Channel       $1 \leq N \leq 799$        $0.030N + 870.0$   
                          $991 \leq N \leq 1023$        $0.030(N - 1023) + 870.0$   
(Channels 800–990 are unused)



## AMPS系统用于前向工作的频率资源特点

---

- AMPS工作于**UHF**（300M~3000MHz）频段，确切些是**800MHz**频段。
- 前向工作频段总带宽为**25MHz**；
- 针对每个用户的工作带宽都是**30kHz**，称之为一个（前向）用户频道。
- 系统总共可以向用户提供**832**个前向频道。
- 基站向每个用户发送的信号都占用以载频为中心的**30kHz**带宽。

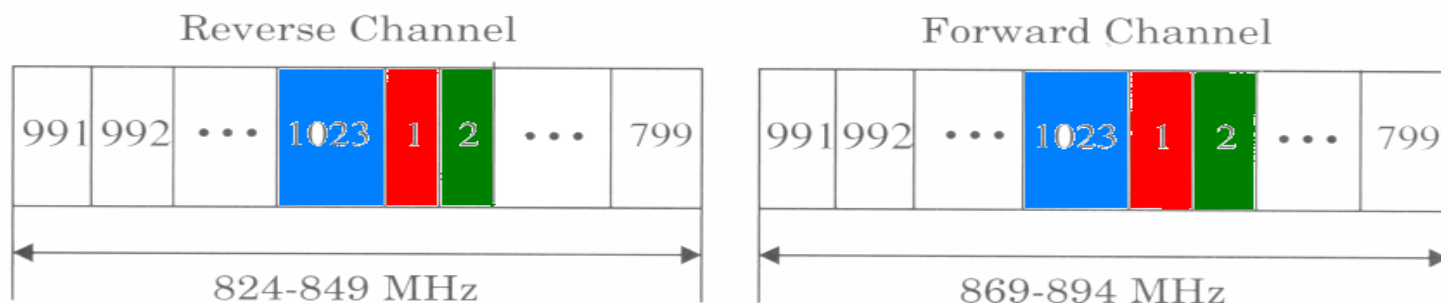


## 多址方式与双工方式的概念区分

---

- 多址用于区分用户，双工（全双工）方式用于区分同一的用户两个不同通信方向。要完整地描述一个蜂窝系统的基本属性应当确切地说明其多址方式和双工方式，一般记作，**多址方式 / 双工方式**。
- 如：**AMPS**系统是一个**FDMA / FDD**系统。

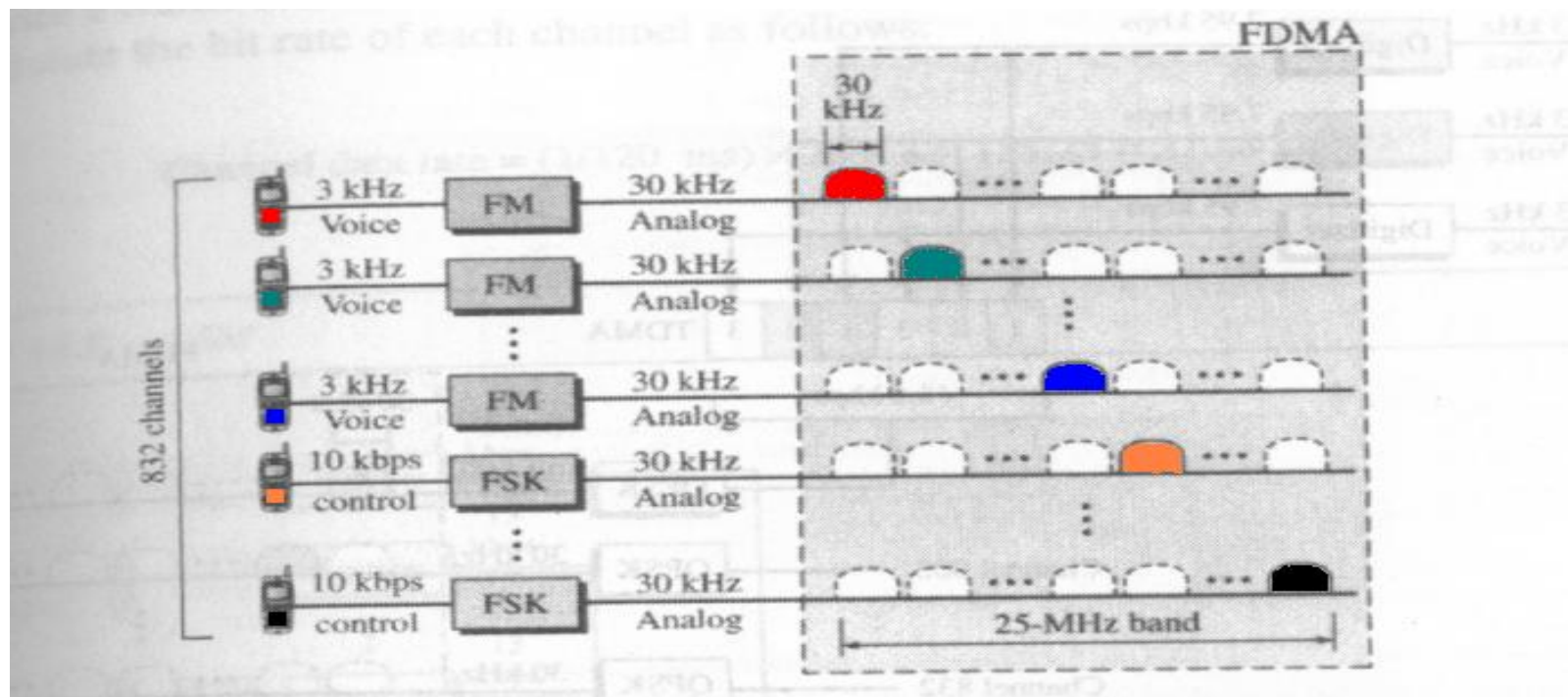
# AMPS系统完整的频率资源配置情况



	Channel Number	Center Frequency (MHz)
Reverse Channel	$1 \leq N \leq 799$	$0.030N + 825.0$
	$991 \leq N \leq 1023$	$0.030(N - 1023) + 825.0$
Forward Channel	$1 \leq N \leq 799$	$0.030N + 870.0$
	$991 \leq N \leq 1023$	$0.030(N - 1023) + 870.0$
	(Channels 800–990 are unused)	



# 射频信道占用示意图（反向信道）





## AMPS系统的双向频率资源使用特点(1)

---

- 用于反向工作的频率段总带宽同样为**25MHz**，这是**FDD**系统的基本特点，即两个频段宽度一致。
- 每个用户向基站发送信息所占用的反向频道宽度也是**30kHz**，即每个用户向基站发送的信号都占用以载频为中心的**30kHz**带宽。反向频道也共有832个。



## AMPS系统的双向频率资源使用特点(2)

---

- 系统在与某个用户进行双工通信时，会**成对地提供载频**。提供方式为每个双工通信将同时占用相同频率编号（N）的一对载频（或一对频道）。
- 双工间隔为**45MHz**。



# FDMA与FDM概念的区分

- **FDM: Frequency Division Multiplexing**

在低频段将各路信号复用起来，通过调制统一在高频段传输。

OFDMA  
的含义？

- **FDMA: Frequency Division Multiple Access**

各用户信号被各自调制到射频频道上进行发送。用所占用的射频频道不同来区分用户。



## 还有哪些传统的无冲突多址方式？

---

- 时分多址（TDMA）和码分多址（CDMA）。
- TDMA和CDMA都是以FDMA为基础的。所以目前应先搞清楚FDMA的含义。



# 习题

---

- 设**AMPS**系统向某用户分配了 **$N=2$** 的一对频道，试计算该用户前向信道和反向信道的载频。**AMPS**系统频道宽度为**30kHz**，试画出该用户的发 / 收频谱示意图。对同一用户而言，为什么**AMPS**规定的反向频道位于较低频段，而前向频道位于较高频段？  
(提示：1.蜂窝系统是功率发射不对称的系统——**BS**发射功率比**MS**发射功率大得多；2.相同传播距离上，频率越高电波信号衰减越大。)



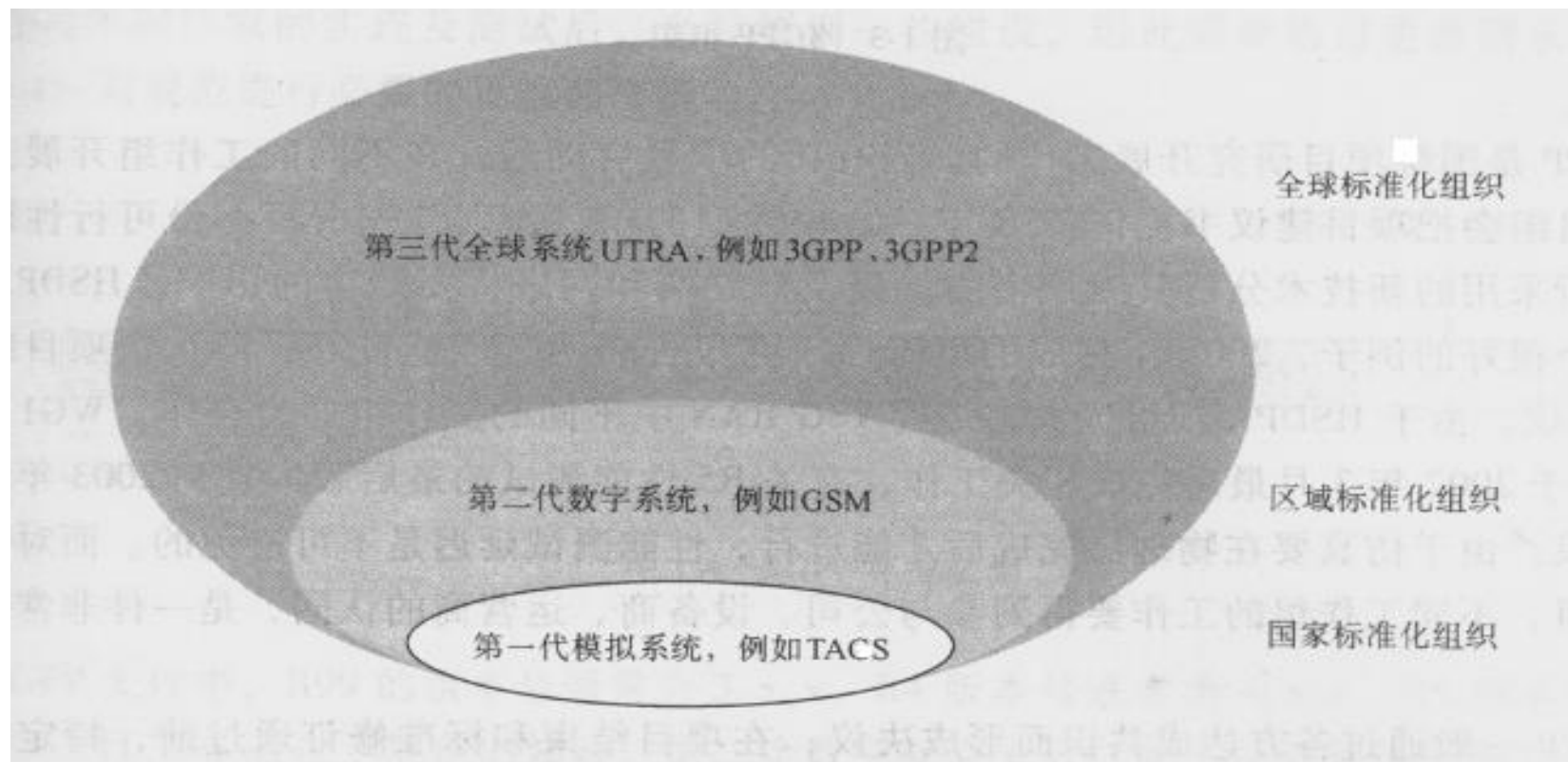
# 标准化蜂窝系统的演进

---

蜂窝系统作为最典型的无线移动通信系统，迄今为止已经发展到了第三代（**3G**）。并已开始向第四代（**4G**）甚至5G演进。注：**G**代表**Generation**。

从1980年代出现第一代（**1G**）**模拟**蜂窝系统逐渐商用化算起，可以说蜂窝系统的发展之路就是标准化之路。

## 各代系统及其标准化示意图



注：1G系统中，除北欧的NMT系统属区域性标准外，标准的制定基本上都局限于一国范围内。





## 各代典型系统举例

---

[第一代, **1G**]

美**AMPS**、英**TACS**

[第二代, **2G**]

欧**GSM**、美**DAMPS (IS-136)**、日**PDC**、  
美**IS-95 CDMA**

[第三代, **3G**]

欧**WCDMA**、美**CDMA2000**、中**TD-SCDMA**



# 1G模拟蜂窝系统

---

- “**模拟**”的含义：语音信号调制前不进行数字编码，直接进行**FM**调制。但应该指出的是，1G系统的信令信息可以是经过编码的，对数字信令进行的是**2FSK**调制。

# 1G模拟蜂窝系统的特点

- 语音采用模拟传输；
- 双工采用频分双工方式(**FDD**)，多址方式采用频分多址(**FDMA**)；
- 具有小区切换功能，并支持国内漫游；
- 交换方式为面向连接的电路交换
- 标准不统一，且多局限在一个国家
- 功能简单，用户带宽较窄，只能语音
- 网络覆盖区域有限，信号(服务)质量差
- 用户多为消费能力很强的高端用户



# 1G主要系统

制式	引入时间	双工	多址	调制方式	频谱位置 (MHz)	信道带宽 (kHz)	应用区域
NTT	1979	FDD	FDMA	FM	400 / 800	25	日本
NMT-450	1981	FDD	FDMA	FM	450~470	25	北欧4国 <sup>1</sup>
AMPS	1983	FDD	FDMA	FM	824~894	30	北美
ETACS <sup>2</sup>	1985	FDD	FDMA	FM	900	25	英国
C-450	1985	FDD	FDMA	FM	450~465	20 / 10	西德和葡萄牙
NMT-900	1986	FDD	FDMA	FM	890~960	12.5	北欧4国
JTACS	1988	FDD	FDMA	FM	860~925	25	日本
NAMPS	1992	FDD	FDMA	FM	824~894	10	北美

<sup>1</sup>注：指瑞典、挪威、丹麦和芬兰四国。

<sup>2</sup>注：中国在80年代末引入了TACS和AMPS。其中以ETACS系统居多。



## 2G数字蜂窝系统

---

- 随着通信技术向数字化方向发展，出现了2G系统。相比较于1G系统，2G系统以数字传输、时分多址（TDMA）或者码分多址（CDMA）为主体技术。并制定了更加完善的呼叫处理和网络管理功能。
- 特征：均采用语音编码，SIM卡的引入，设备的小型化等等。



## 2G数字蜂窝系统的改善

---

- 更高的频谱利用率，有利于提高系统容量；
- 支持多种业务，可以支持数据业务；
- 采用电路交换和分组交换；
- 支持国际漫游；
- 具备鉴权和加密功能，提高了系统的安全性；
- 其中的CDMA系统由于采用了直接序列扩频技术，在蜂窝组网和提高系统容量方面更具有突出的优势。

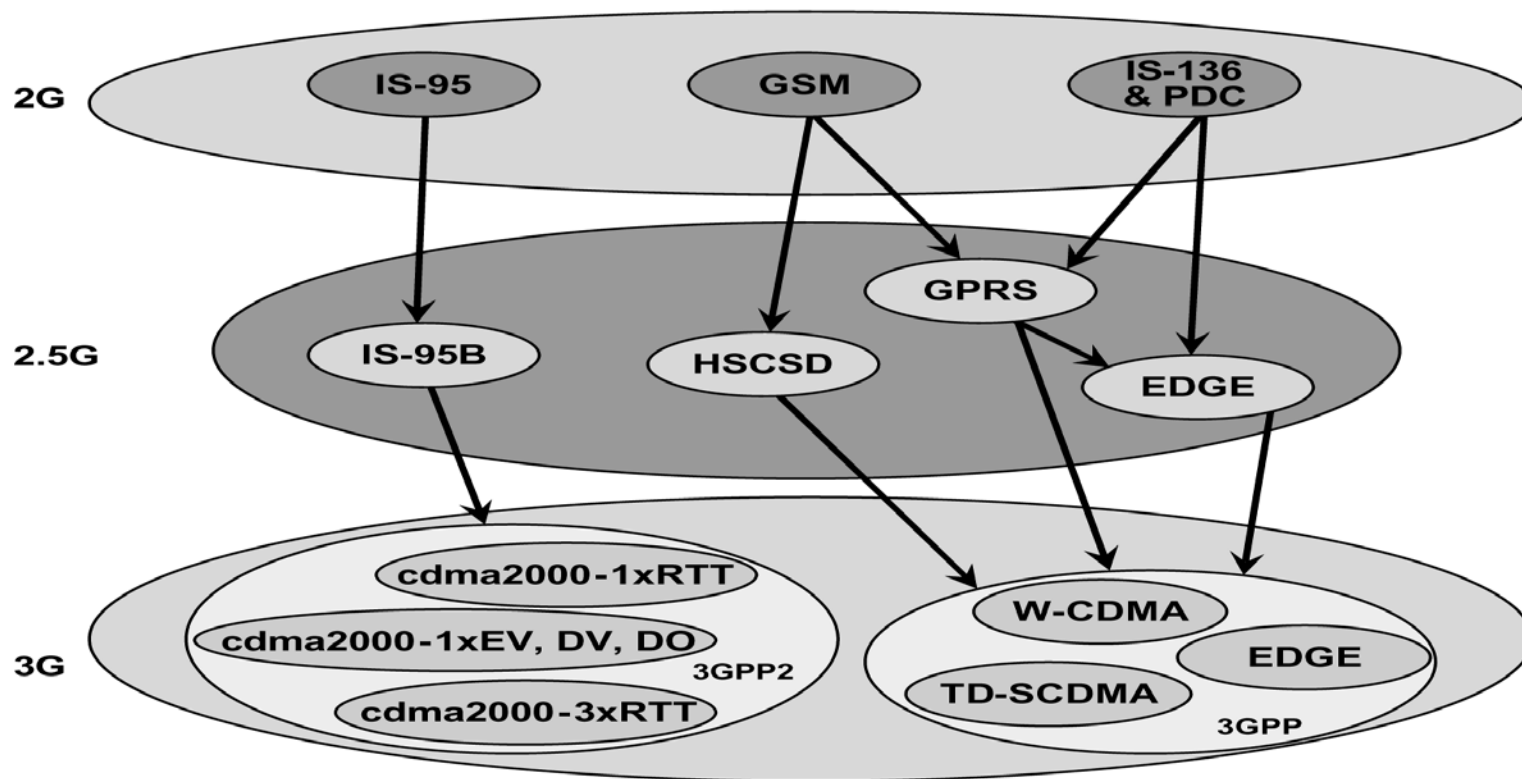


## 2G主要系统

制式	引入时间	双工	多址	调制方式	频谱位置 (MHz)	信道带宽 (kHz)	应用区域
GSM	1990	FDD	TDMA	GMSK	890~960	200	全球
USDC	1991	FDD	TDMA	$\pi / 4$ DQPSK	824~894	30	北美等
IS-95	1993	FDD	CDMA	正交扩频BPSK	824~894	1250 <sup>1</sup>	北美、韩国、日本、中国等
PDC	1993	FDD	TDMA	$\pi / 4$ DQPSK	810~1510	25	日本

<sup>1</sup>注：由于采用了扩频技术，IS-95 CDMA系统的信道带宽要宽得多。

# 2G向3G的演进







# 第三代移动通信的发展

- 第三代移动通信系统最早于1985年由国际电信联盟(ITU)提出，当时称为未来公众陆地移动通信系统(FPLMTS)，1996年更名为IMT-2000(国际移动通信-2000)，意即该系统工作在2000MHz频段，最高业务速率可达2000kb/s，预期在2000年左右得到商用。从1997年开始，由于第二代移动通信系统的巨大成功，用户的高速增长与有限的系统容量和有限的业务之间的矛盾渐趋明显，第三代移动通信的标准化工作从1997年开始进入实质阶段。



## 3G的最初目标(1)

- 全球普及和全球无缝漫游的系统：第二代移动通信系统一般为区域或国家标准，而第三代移动通信系统是一个在全球范围内覆盖和使用的系统。它将使用共同的频段及**全球统一标准**。
- 具有支持多媒体业务的能力，特别是支持Internet 业务的能力。必须满足以下三种环境的要求，即：快速移动环境,最高速率达144kb/ s ； 室外到室内或步行环境，最高速率达384kb/ s ； 室内环境，最高速率达**2Mb/ s**。



## 3G的最初目标(2)

---

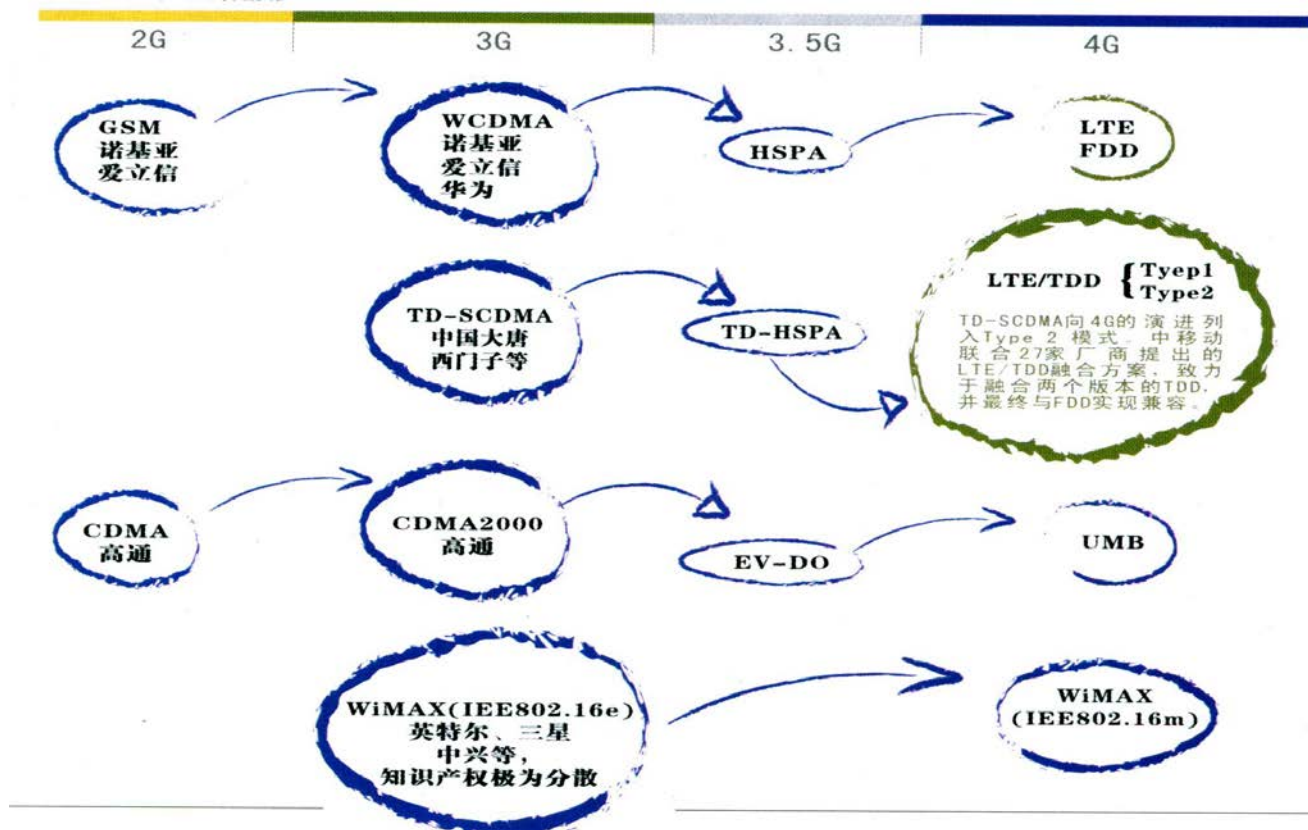
- 便于过渡、演进：由于第三代移动通信引入时，第二代网络已具有相当规模，所以第三代的网络一定要能在第二代网络的基础上逐渐灵活演进而成，并应与固定网兼容。
- 高频谱效率。
- 高服务质量。
- 低成本。
- 高保密性。

# 从3G到4G

- 提供更高的传输速率
- 使用OFDM作为核心技术
- 基于载波聚合增加可用频谱



# 从2G、3G到4G的技术演进



**LTE:**  
长期演进

**HSPA:** 高  
速分组接入

**UWB:** 超移  
动宽带



# 5G——IMT2020

---

- “无与伦比的快” ——传输速率
- “人多也不怕” ——系统容量
- “什么都能通信” ——万物互联
- “最佳体验如影随形” ——低延时



## 个人通信

---

- 任何人（Who）
- 任何时间（Whenever）
- 任何地点（Wherever）
- 与任何人（Whomever）
- 任何形式的通信（Whatever）