



北邮信息理论
与技术教研中心

BUPT Information Theory & Technology Center

第十三章

移动通信系统与网络概述



主讲人: 牛 凯

niukai@bupt.edu.cn



- 在上册中，我们详细介绍了移动通信的基本物理层技术与高级信号处理技术。作为下册的开篇，本章介绍移动通信系统与网络的基本技术概念。
- 本章分为两部分，第一部分介绍移动通信系统的基本概念，包括无线射频系统结构、功放预畸变技术、系统同步技术。
- 第二部分介绍移动通信网络的基本概念，包括移动通信的信令与协议、路由与交换、蜂窝网络结构、移动网络容量与业务质量等。

§ 13.1 无线射频系统

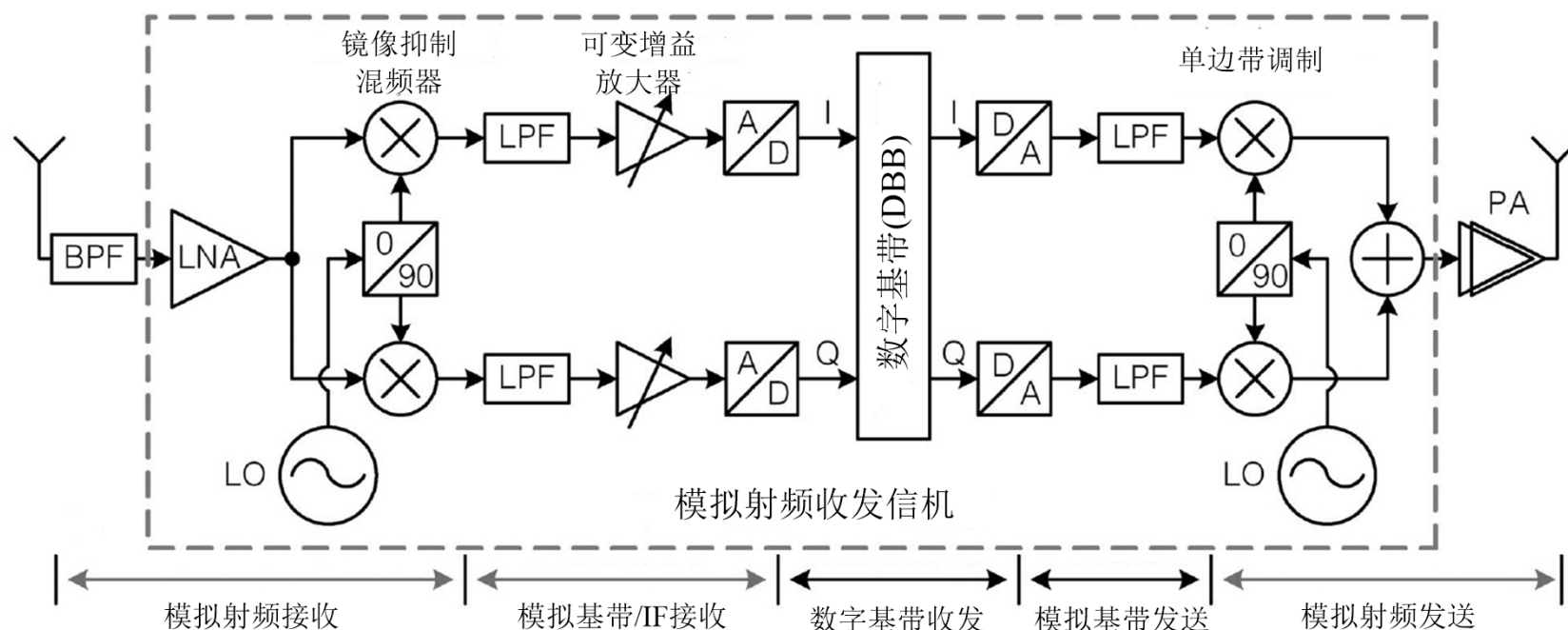


- 移动通信系统是无线信号处理的物理载体，狭义理解，主要包括移动通信的基站与移动台。
- 按照无线信号处理环节划分，可以将移动通信系统分为基带处理子系统与无线射频子系统。
- 数字化的射频架构越来越得到人们重视，成为3G以后基站与移动台前端信号处理的主流方案。



13.1.1 模拟射频架构

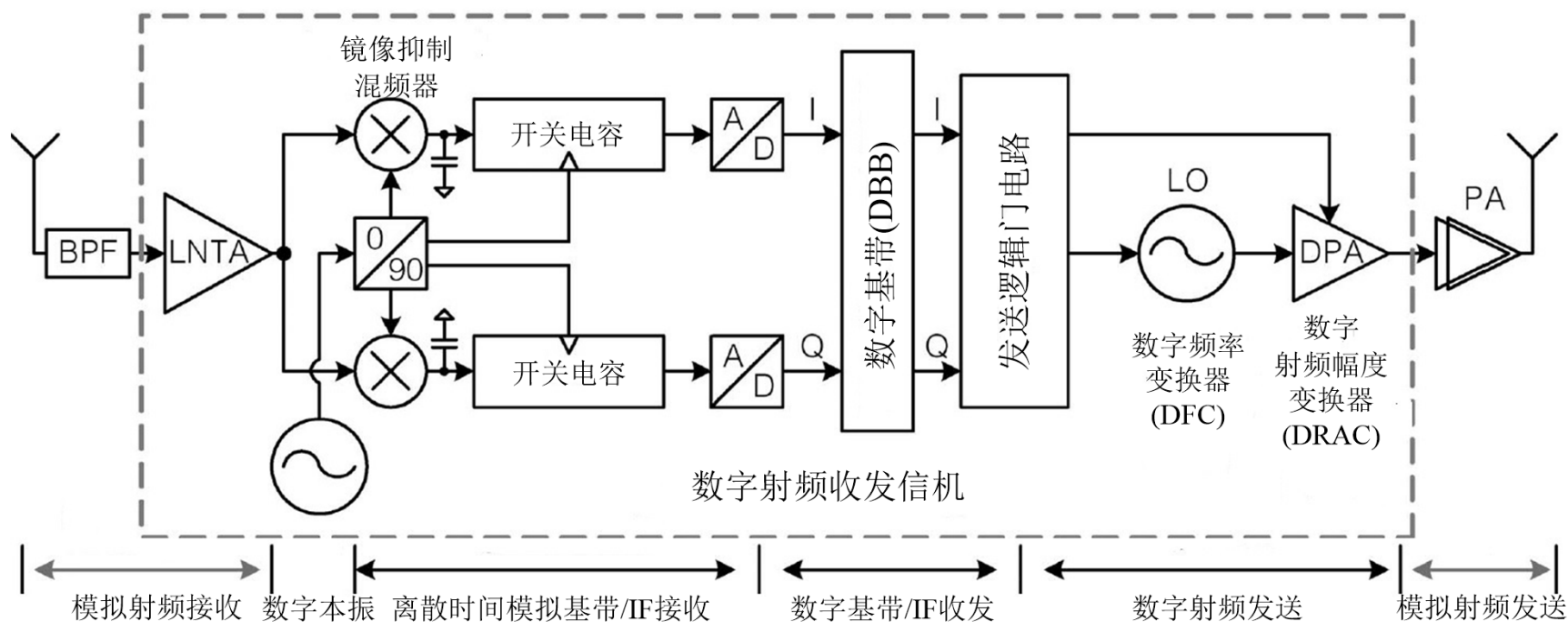
- 传统的模拟射频收发信机结构如图所示，包括了发送链路与接收链路。





13.1.2 数字射频架构

- 2000年前后无线射频系统的结构设计，经历了一次革新，逐步从模拟架构向数字密集的射频架构演进
- 从模拟到数字的革命构成软件无线电(SDR)核心技术





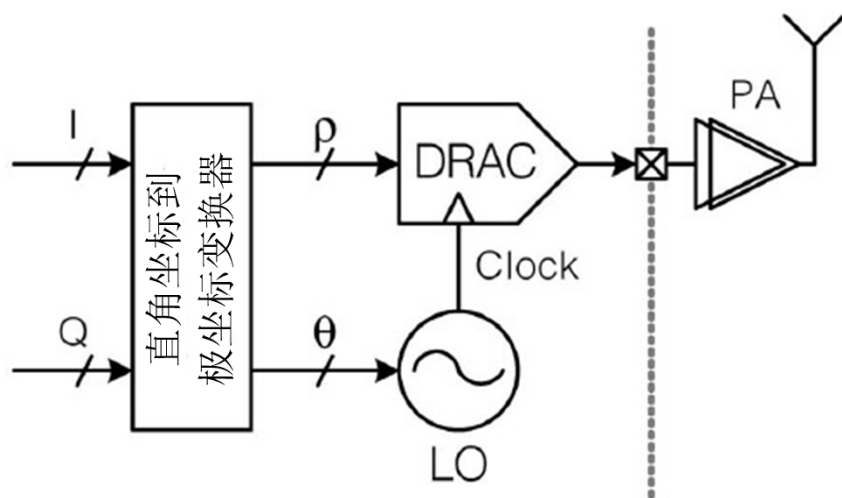
13.1.2 数字射频架构

- 数字射频架构相比传统模拟射频架构有如下优势：
- (1)在发送链路中，引入数字处理，可以获得更高质量的模拟信号，有效降低相位噪声与杂散干扰；
- (2)在接收链路中，引入数字处理，可以大幅度提高接收信号质量，抑制相位噪声，减小信号畸变；
- (3)数字射频架构是高度可重构的，通过软件配置的方式，可以精细控制与调整模拟电路模块，保证最佳的链路信号质量。

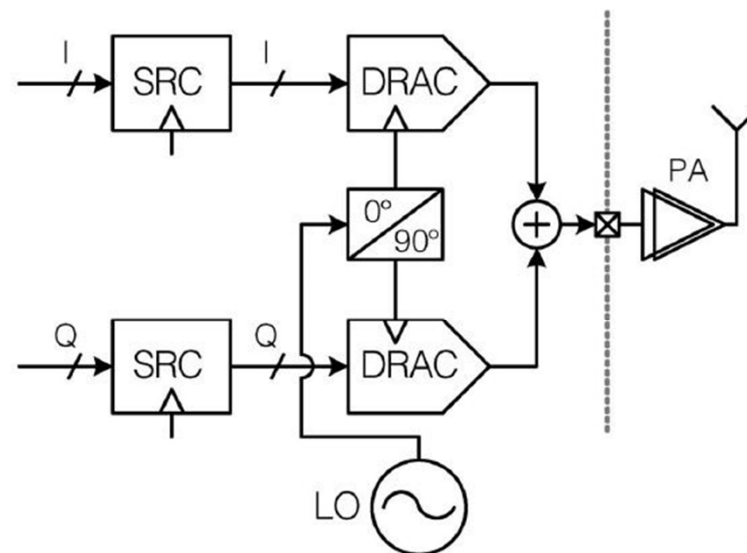


13.1.3 数字发射机

- 常用的数字发射机实现结构有两种：极坐标调制发射机与I/Q直角坐标调制发射机



(a)极坐标调制发射机



(b)I/Q直角调制发射机

图13.3 数字发射机实现结构

13.1.3 数字发射机

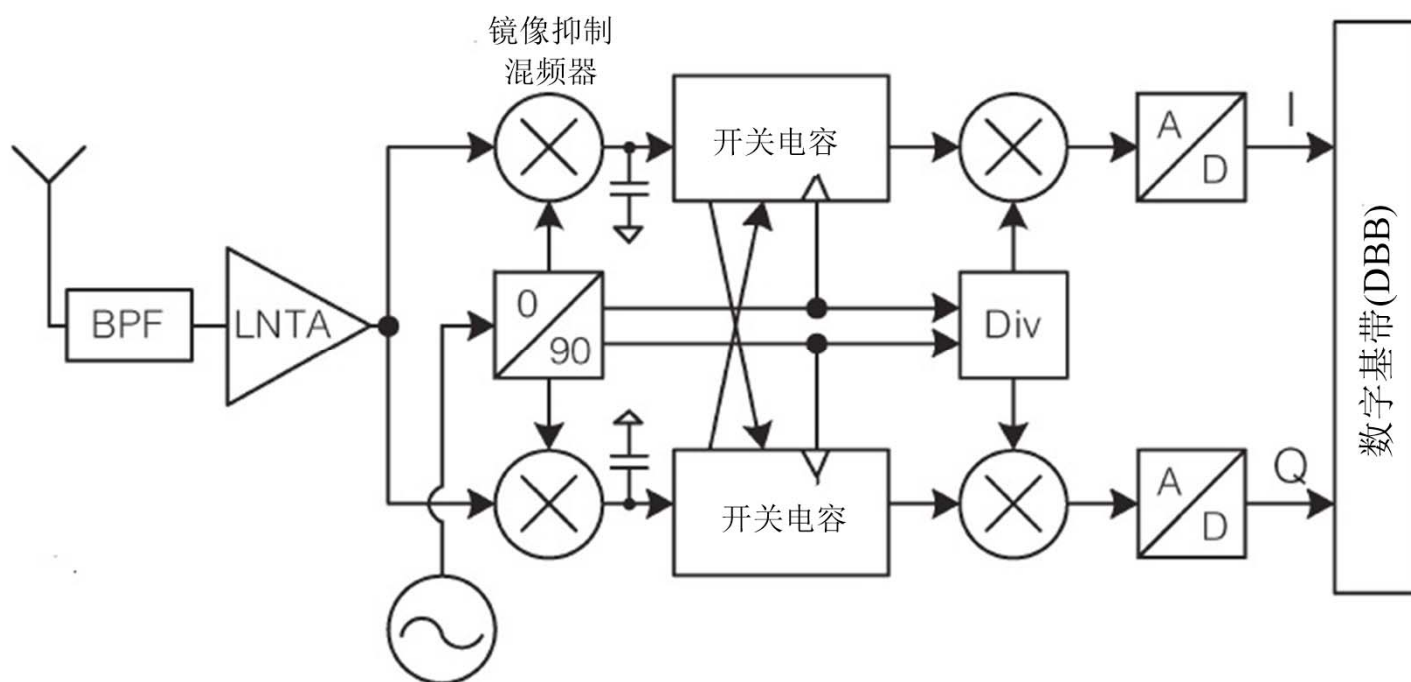


- **1. 极坐标调制发射机**
 - 这种全数字发射机结构从2005年左右开始大规模普及。核心结构是将基带的I/Q两路信号转换为极坐标信号，即幅度与相位信号。
 - 极坐标发射机适合于窄带RF信号调制，例如2G(GSM、IS-95)与3G(WCDMA、cdma2000)等系统，如果推广到宽带信号调制，由于幅度与相位会有带宽扩展效应，不太适用。
- **2. 直角坐标调制发射机**
 - 直角坐标调制发射机比极坐标调制发射机更复杂，引入的电路噪声更多，没有更多的优势。
 - 但由于前者没有信号展宽效应，因此更加适合移动宽带调制，在4G/5G系统中有广泛应用。



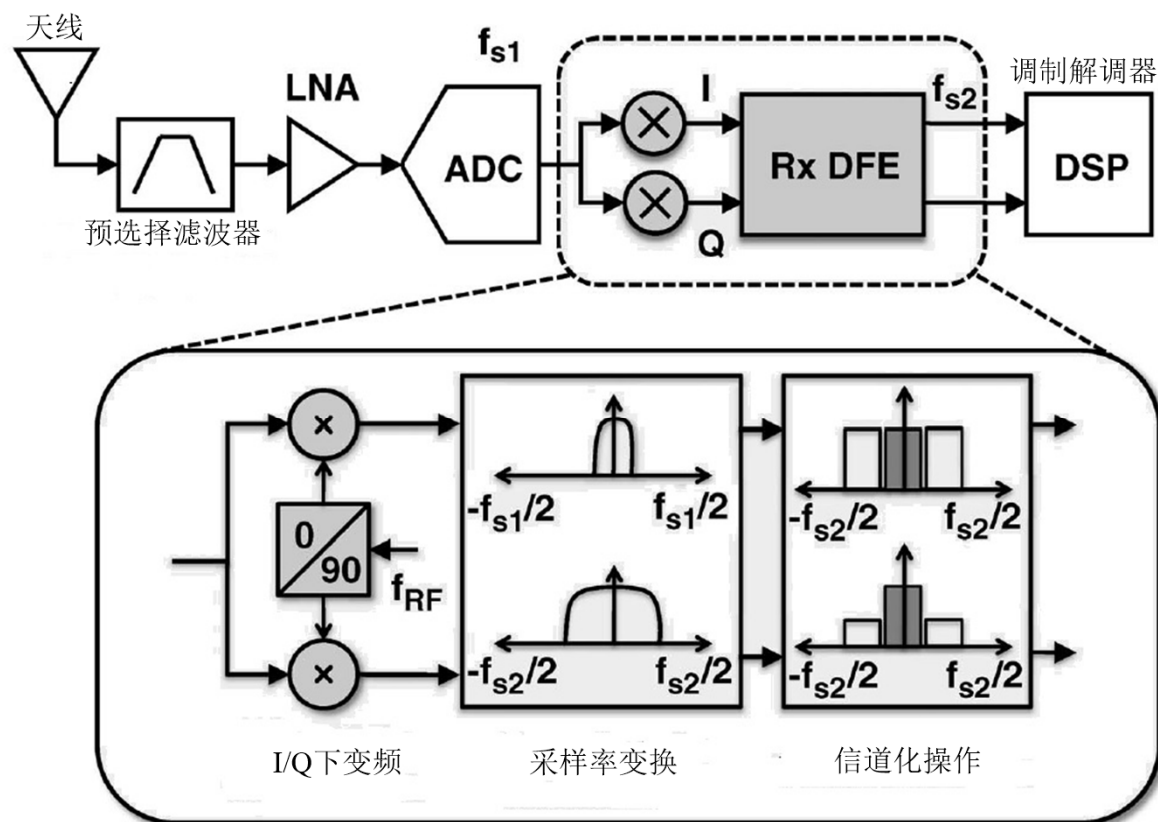
13.1.4 数字接收机

- 1. 高中频离散时间接收机
- 由于仍然采用模拟电路调节，因此难以在性能与面积上匹配先进CMOS工艺，有一定的局限性。



13.1.4 数字接收机

- 2. 数字前端(DFE)接收机
- 基本特征是在LNA单元后直接送入高速ADC器件，将RF信号数字化，然后采用数字信号处理(DSP)模块完成后续的所有信号处理操作，因此是一种全数字化的接收机





13.1.5 常用射频参数

信噪比 $SNR = 10\lg \frac{S}{N} dB$ 邻道功率比 $L_{ACPR} = 10\lg \left(\frac{P_{adj}}{P_{ch}} \right) dB$

热噪声功率 $N = (-174 + 10\lg B) dBm$

相位噪声 $L = 10\lg \left(\frac{P_R}{P_C} \times \frac{1}{B} \right) dBc$

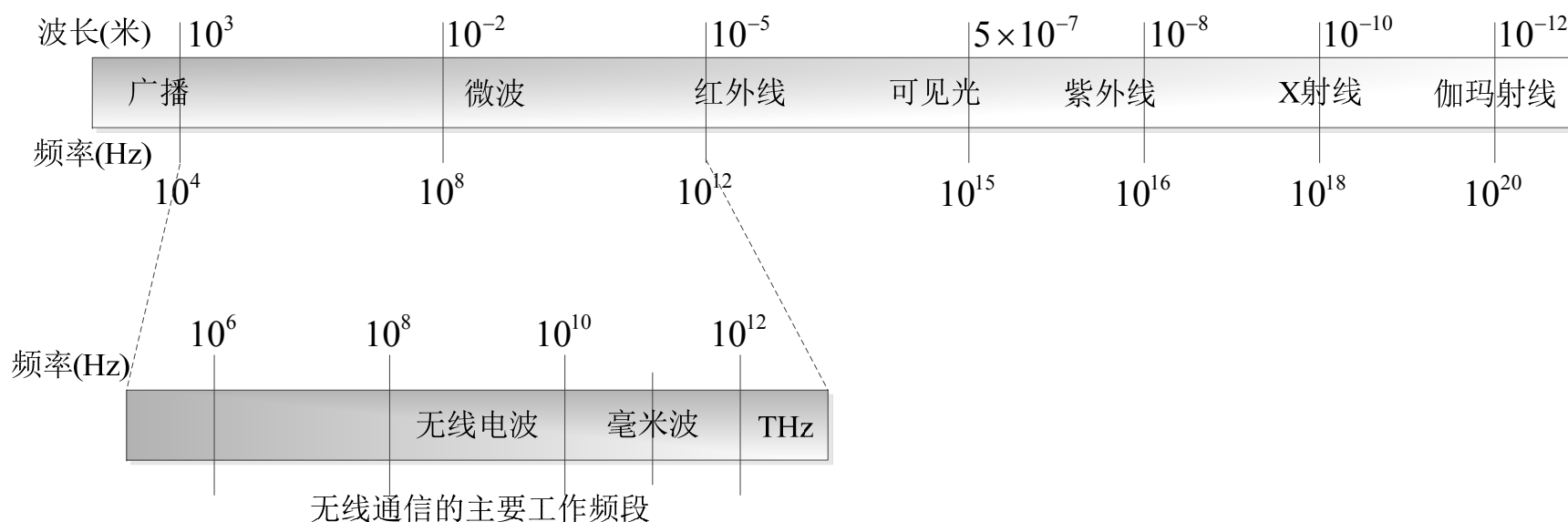
误差矢量幅度(EVM) $EVM_{rms} = \sqrt{\frac{\mathbb{E}(\|x(t) - s(t)\|^2)}{\mathbb{E}(\|s(t)\|^2)}} \times 100\%$

ADC的动态范围 $D = 20\lg(2^n) + 1.76 dB$



13.1.6 电磁波频谱

- ITU对无线电频谱进行了统一划分，包括14个频段，表达方式如下：
- 3000kHz及以下频率，以kHz(千赫兹)表示；
- 3MHz~3000MHz(包括3000MHz)，以MHz(兆赫兹)表示；
- 3GHz~3000GHz(包括3000GHz)，以GHz(吉赫兹)表示。





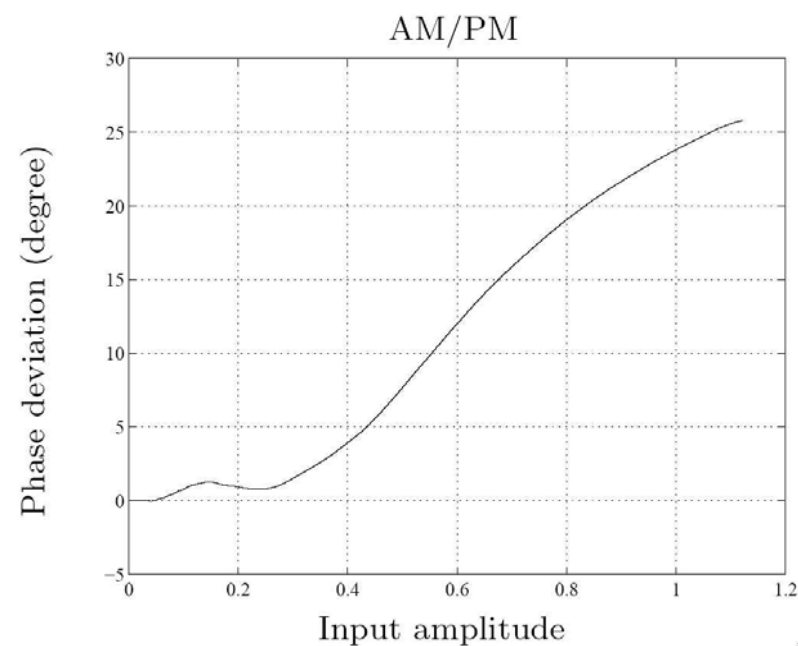
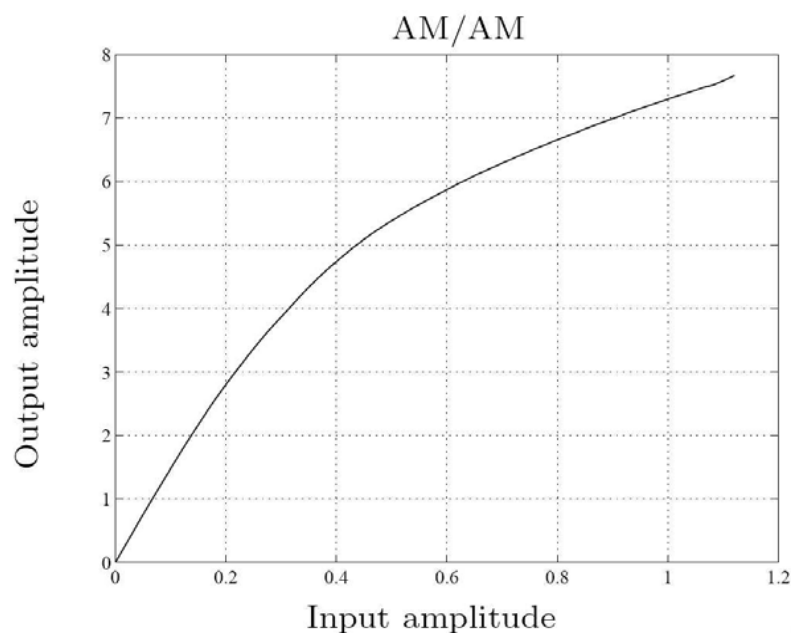
13.1.6 电磁波频谱

频段序号	频段名称	频率范围	波段名称	波长范围
-1	至低频(TLF)	0.03~0.3Hz	至长波/千兆米波	10000~1000Mm
0	至低频(TLF)	0.3~3Hz	至长波/百兆米波	1000~100Mm
1	极低频(ELF)	3~30Hz	极长波	100~10Mm
2	超低频(SLF)	30~300Hz	超长波	10~1Mm
3	特低频(ULF)	300~3000Hz	特长波	1000~100km
4	甚低频(VLF)	3~30kHz	甚长波	100~10km
5	低频(LF)	30~300kHz	长波	10~1km
6	中频(MF)	300~3000kHz	中波	1000~100m
7	高频(HF)	3~30MHz	短波	100~10m
8	甚高频(VHF)	30~300MHz	米波	10~1m
9	特高频(UHF)	300~3000MHz	分米波	10~1dm
10	超高频(SHF)	3~30GHz	厘米波	10~1cm
11	极高频(EHF)	30~300GHz	毫米波	10~1mm



§ 13.2 功放线性化

- 13.2.1 功率放大器
- 按照功率放大器中功放管的导电方式不同，可将功放分为A类功放、B类功放、AB类功放、C类功放等，它们有着不同的特征和效率。
- 2 功率放大器产生的信号畸变





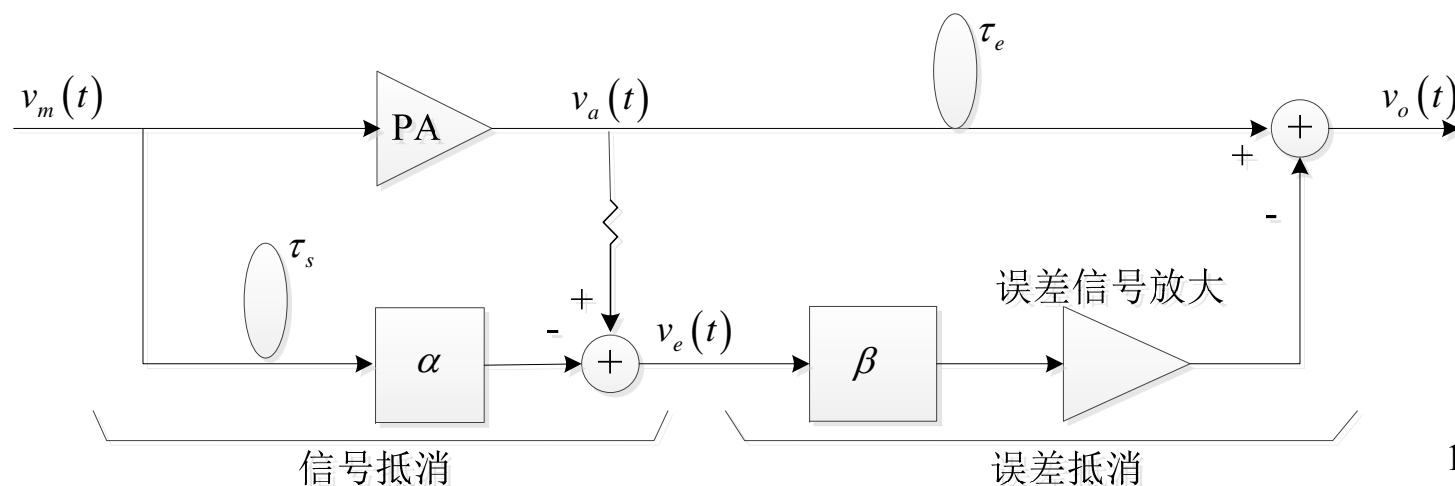
13.2.2 功放线性化技术分类

1. 负反馈技术

- 负反馈技术用来提高射频功放的线性度，包括了射频负反馈、中频负反馈技术等。

2. 前馈技术

- 前馈式射频功放中包括了一主一辅两个功率放大器
- 前馈技术不受信号带宽的限制，对于宽带大功率功放的线性化，前馈技术是基本方案。

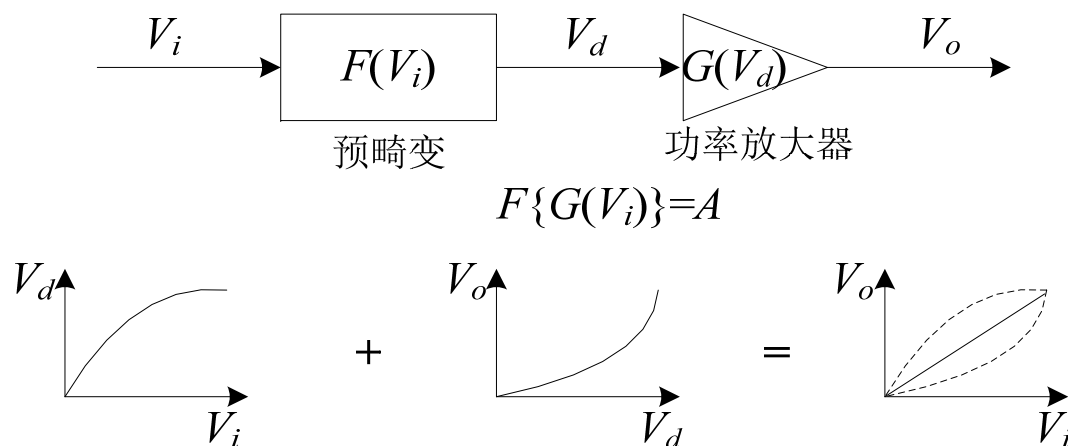




13.2.2 功放线性化技术分类

3. 线性预畸变技术

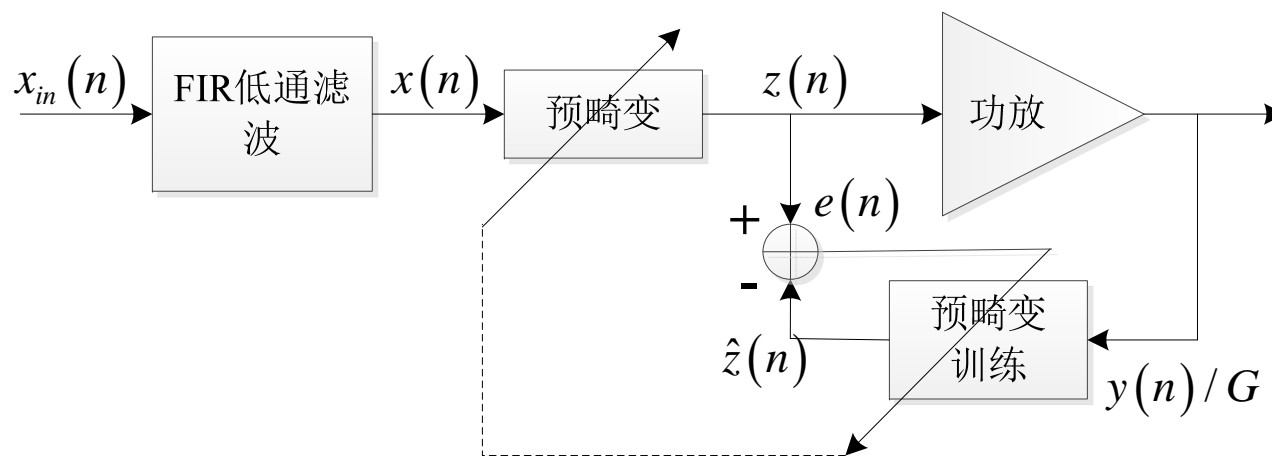
- 线性预畸变功率放大器是在末级功放前将输入信号进行预处理，使输入信号产生畸变，其畸变特性与末级功放的(非线性)特性相反，即对末级功放的非线性进行补偿，达到末级功放输出线性的目的。
- 线性预畸变功率放大器又可分为两类：数字预畸变(DLP)和模拟预畸变(RLP)。





13.2.3 数字预畸变技术

- DLP系统结构



- 宽带功放采用有记忆的多项式预畸变模型

$$z(n) = \sum_{k=1}^K \sum_{q=0}^Q a_{kq} y(n-q) |y(n-q)|^{k-1}$$

- 最小二乘算法求得上式的解为 $\hat{\mathbf{a}} = (\mathbf{R}^H \mathbf{R})^{-1} \mathbf{R}^H \mathbf{z}$

13.2.3 数字预畸变技术

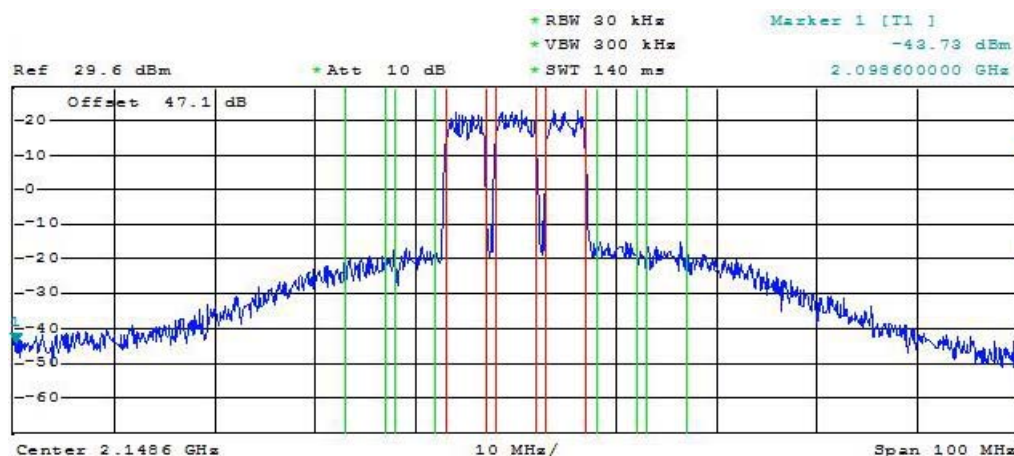


图13.18 3载波WCDMA功放输出PSD(无DPD)

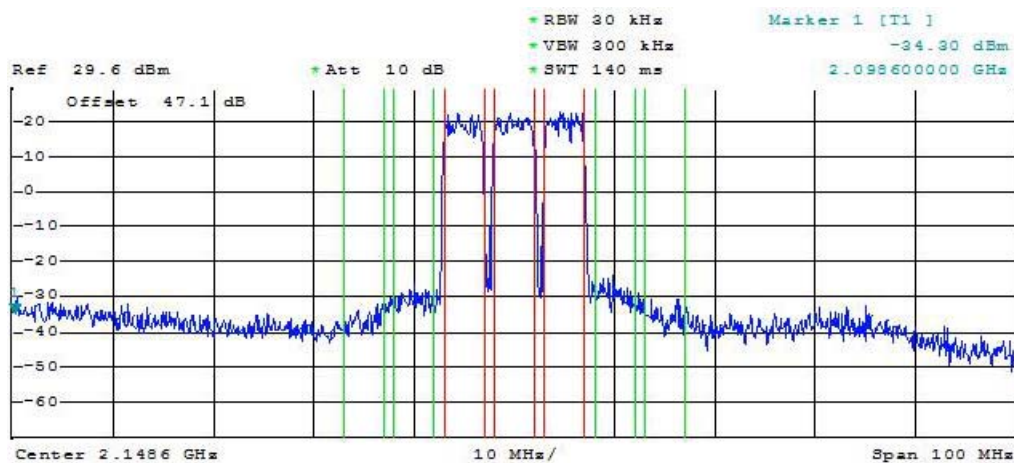
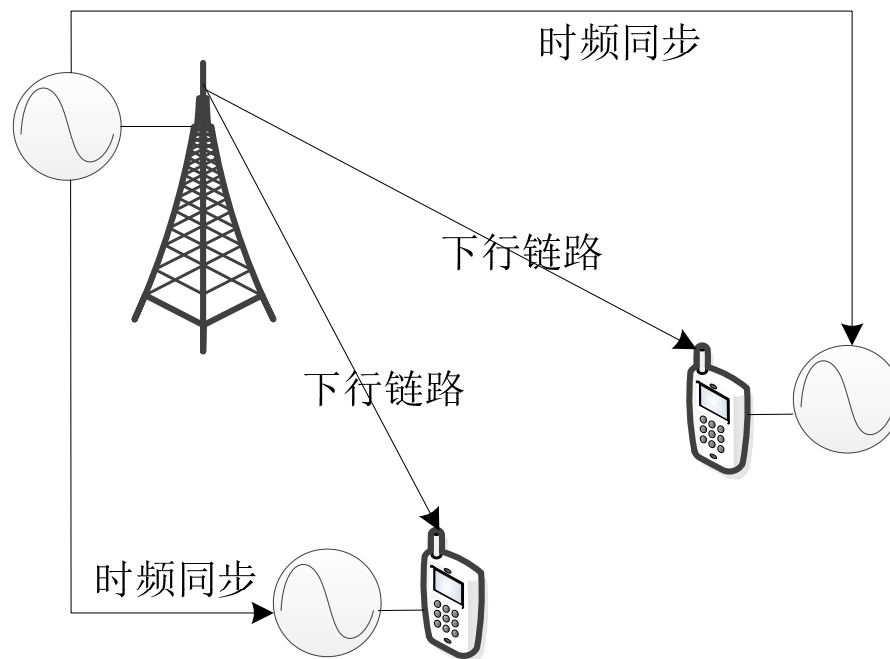


图13.19 3载波WCDMA功放输出PSD(有DPD)



§ 13.3 系统同步技术

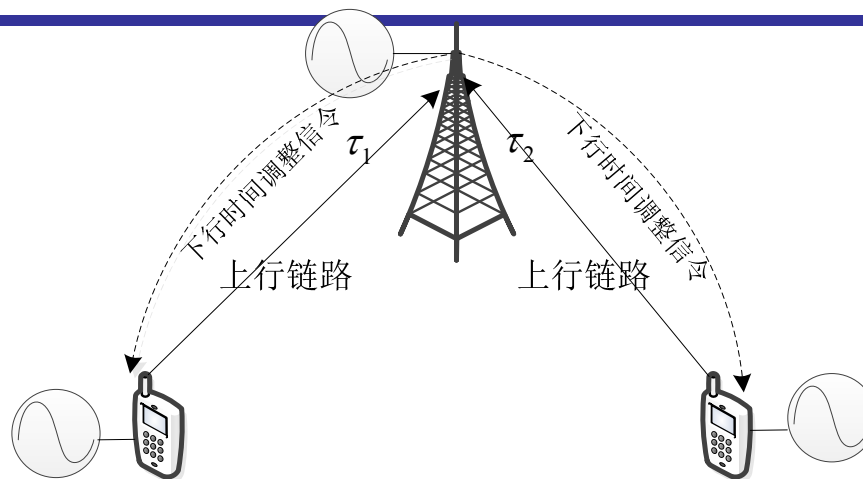
- 同步是移动通信中非常关键的基础技术，它为移动通信系统正常工作提供了时间与频率的基准参考。
- 一般的，移动通信系统中的同步划分为下行同步、上行同步与小区间同步三类。
- 1. 下行同步



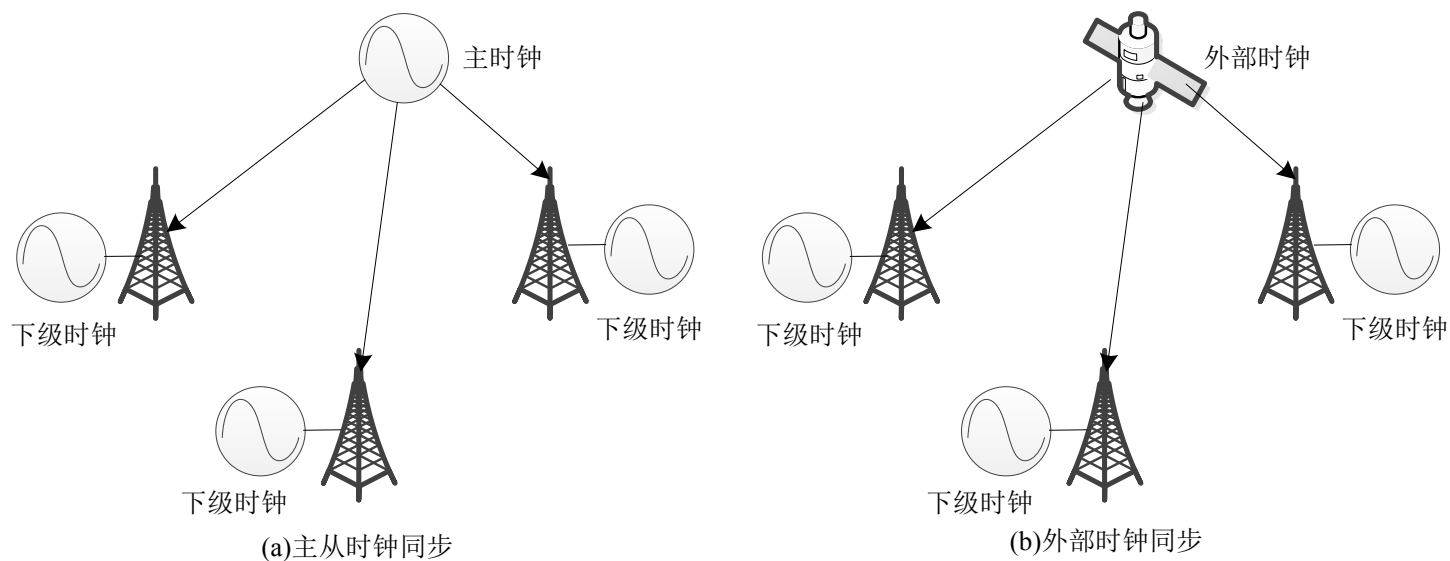
§ 13.3 系统同步技术



• 2. 上行同步



• 3. 小区间同步



§ 13.4 移动网络的概念与特点



- 移动通信网是现代通信网中的一个重要组成部分。而现代通信网主要是由下列四个主要部分组成：
 - 1) 终端机：其主要功能是将待传送的信息转换成电信号并送入网内，同时从网上提取所需的信息。比如电话机、手机、传真机、数传机、视频终端摄像机与显示器等。
 - 2) 信道：它是载荷信息的信号所传送的通道，它主要包含固体介质的传输线、电缆、光缆；空气介质的无线信道等。从特性上可以分为恒参量非时变信道与变参量的时变信道，移动信道属于后者。

§ 13.4 移动网络的概念与特点



- 3)变换设施：要将简单的点对点的通信组成多点对多点的通信网就必须有交换设备。
- 4)信令与协议：仅有硬件设备还不能在通信网内高效的互相交换信息，尤其是对自动化程度高，使用的环境条件(信源、业务、信道、用户等方面)复杂时，必需要有一些规范性的约定。这些约定在电话网中称为信令，而在计算机与数据网中则被称为协议。其实它就是网内使用专用“语言”用来协调网内、网间、运行以达到互通互控的目的。

§ 13.4 移动网络的概念与特点



- 现代电信网一般是指全局性核心、干线网络，其最大特性是静态固定的网络。
- 移动通信网，相对于PSTN网，它是属于接入网，即是核心网外围面向移动用户的接入网络。移动通信网不同于静态的PSTN网，其网络配置是动态的
- 固定网使用的资源，比如最典型的带宽是可以通过增加设备而不断增大的。亦即可通过增加光纤线数量和电缆芯线而增大；但是移动网中带宽与功率都是受到明显的严格限制。



13.4.1 信令与协议

- 信令与协议就是网内统一使用通信规程和专用语言，用它来协调网内、网间的正常运行；以实现互通、互控的目的。下面简要介绍移动通信网中主要的信令与协议：
 - 1)通信信令
 - 2)七号信令SS7
 - 3)网络协议
 - 4)TCP/IP协议
 - 5)移动应用协议 MAP
 - 6)WAP协议(Wireless Application Protocol)



13.4.1 信令与协议

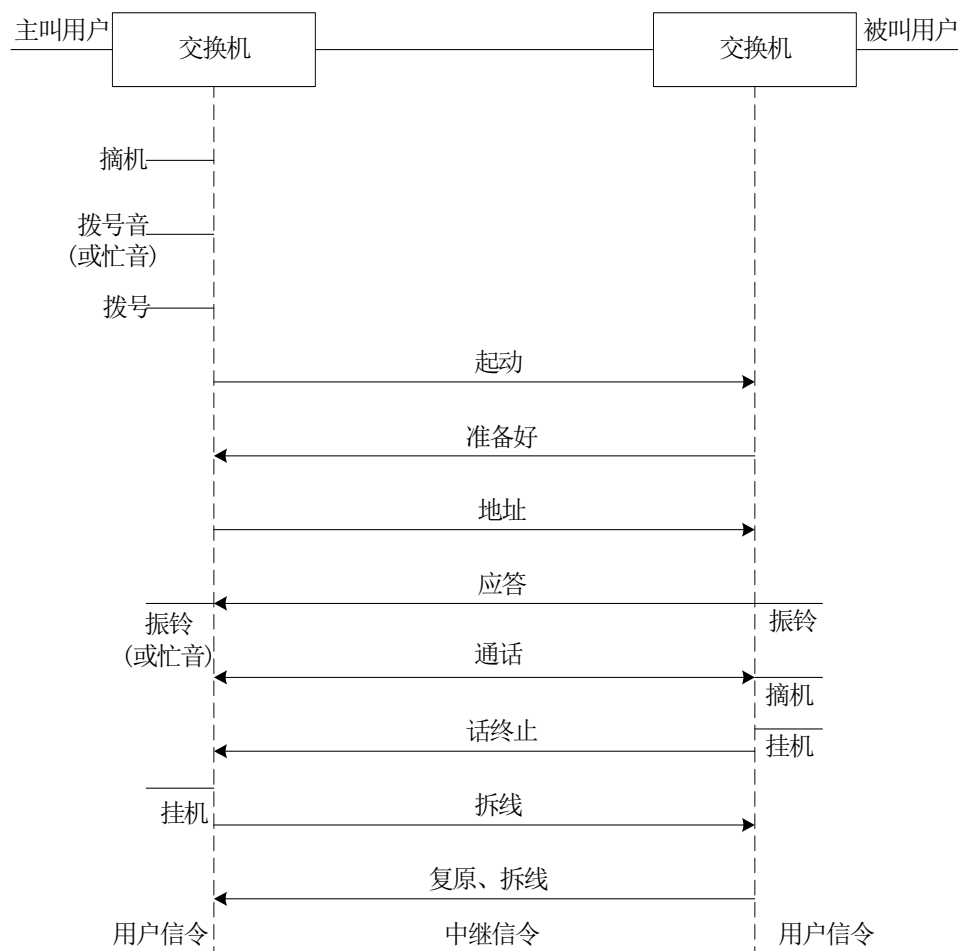
1. 通信信令

- 在话音通信中，人们将统一使用的通信规程和专用语言称为信令，在移动通信的话音通信中，也与固网中一样使用这些信令。
- 二十世纪八十年代初期，即第一代模拟移动通信时期，话音与信令同时共用一个传输信道，即带内传输，并称之为随路信令，由于信令速率远低于话音，而且当此信道不通话时为了随时呼叫还必须保证信令通信而占用该信道，从而大大降低了信道的利用率。同时，还必须不断处理(不是同时)信令和用户数据。



13.4.1 信令与协议

- 一个典型的随路电话信令原理性示例如下，它描述了电话信号从呼叫开始和拆线为止的情况。





13.4.1 信令与协议

- 电话信令主要包括用户线信令和中继线信令两大类型：
 - 1) 用户线信令主要包括主叫端到交换局和交换局到被叫端之间的信号规范。最常用的有摘机、拨号音、忙音、拨号、振铃、挂机等。
 - 2) 中继线信令是交换局之间联系的语言，也称为局间信令，其信号形式随中继线类型而异。最常用的有起动、准备好、地址、应答、通话、话终止、拆线、复原等。



13.4.1 信令与协议

- 上世纪八十年代，电信网PSTN和移动电话网开始使用公共信道信令CCS系统。CCS是一种数字通信技术，它将同一信道中的用户数据(含话音和数据)和控制用的信令等网络数据分离开来，让CCS占用一个独立的信道与用户数据信息同时传送。显然CCS是一种带外信令传送技术，因此它支持的信令速率不再受到话音带宽的限制，它可以将很多用户信道控制信令以及网络数据集中起来允许更高的传输速率，即从每秒56Kbps一直到数兆比特。



13.4.1 信令与协议

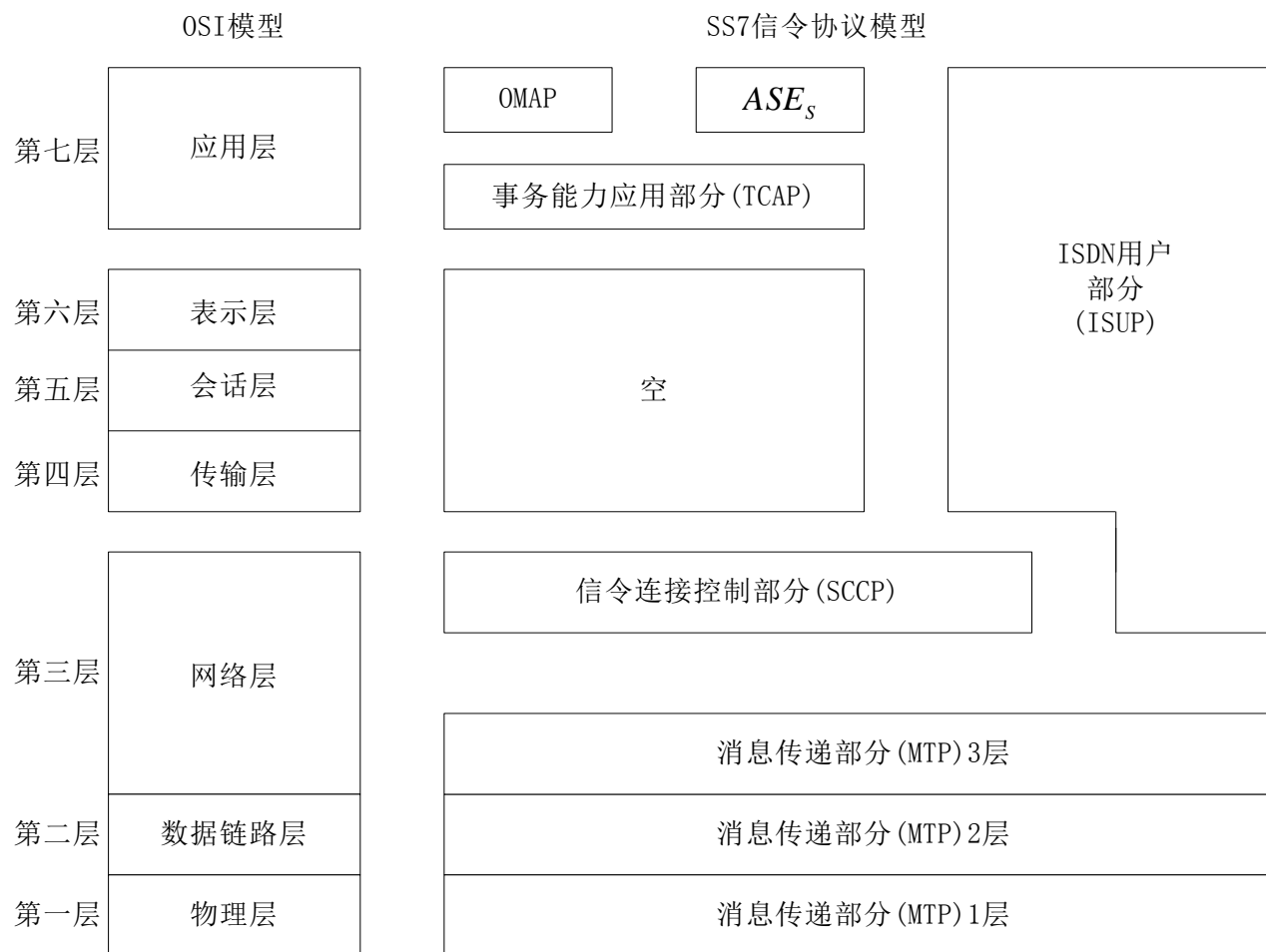
2. 七号信令SS7

- SS7来源于CCITT(ITU-T的前身)基于公共信道信令标准CCS NO.6开发的带外信令系统，后来又沿着ISO7层体系结构思路发展。
- 第二代移动通信系统中GSM与IS-95的IS-41均使用SS7规定的信令协议，SS7是在网络实体之间传送控制信息的信令系统。



13.4.1 信令与协议

- SS7协议结构以及OSI模型对照图如下所示:





13.4.1 信令与协议

3. 网络协议

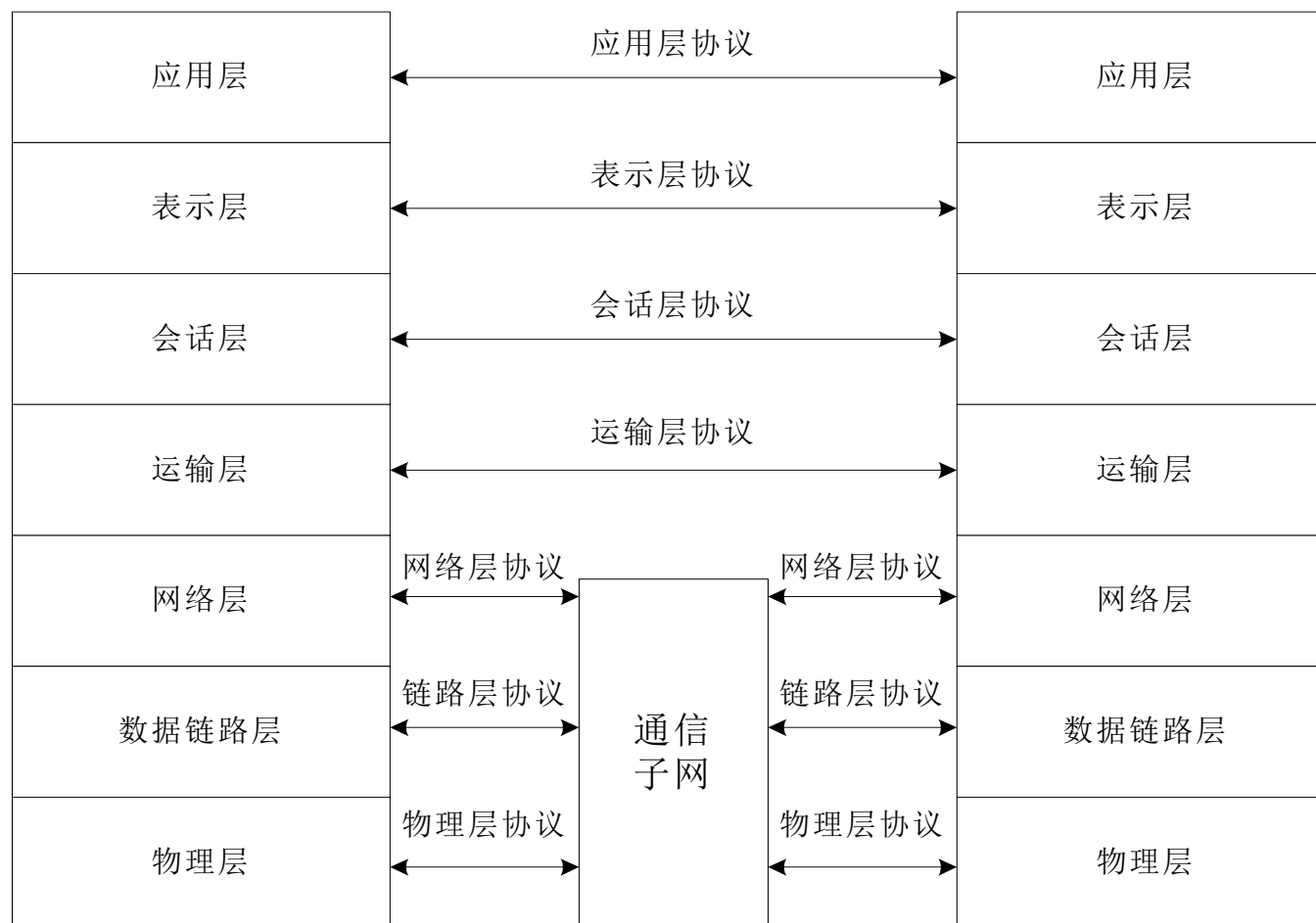
- 协议这个词来源于计算机技术与数据通信，其含义与话音通信中的信令基本上类似。在现代通信中，传送的是多媒体业务，既含有话音也含有数据与图像等综合业务。因此既需要信令也需要协议，而且两者互相渗透，有时几乎不加区分。
- 计算机中的网络协议是指计算机网络中互相通信的对等实体间交换信息时所必须遵守的规程。所谓对等实体是指计算机网络体系结构中处于相同层次的通信进程。



13.4.1 信令与协议

- OSI网络体系结构，是由国际标准化组织ISO提出和定义的计算机和数据通信的网络分层模型。
- OSI网络体系结构共分为七个层次：物理层、数据链路层、网络层、运输层、会话层、表示层、应用层，每层之间有相应的协议。对通信网而言，主要是下三层即物理层、数据链路层和网络层，而上面的四层可统一看作高层即网络应用高层。其示意图如下：

13.4.1 信令与协议



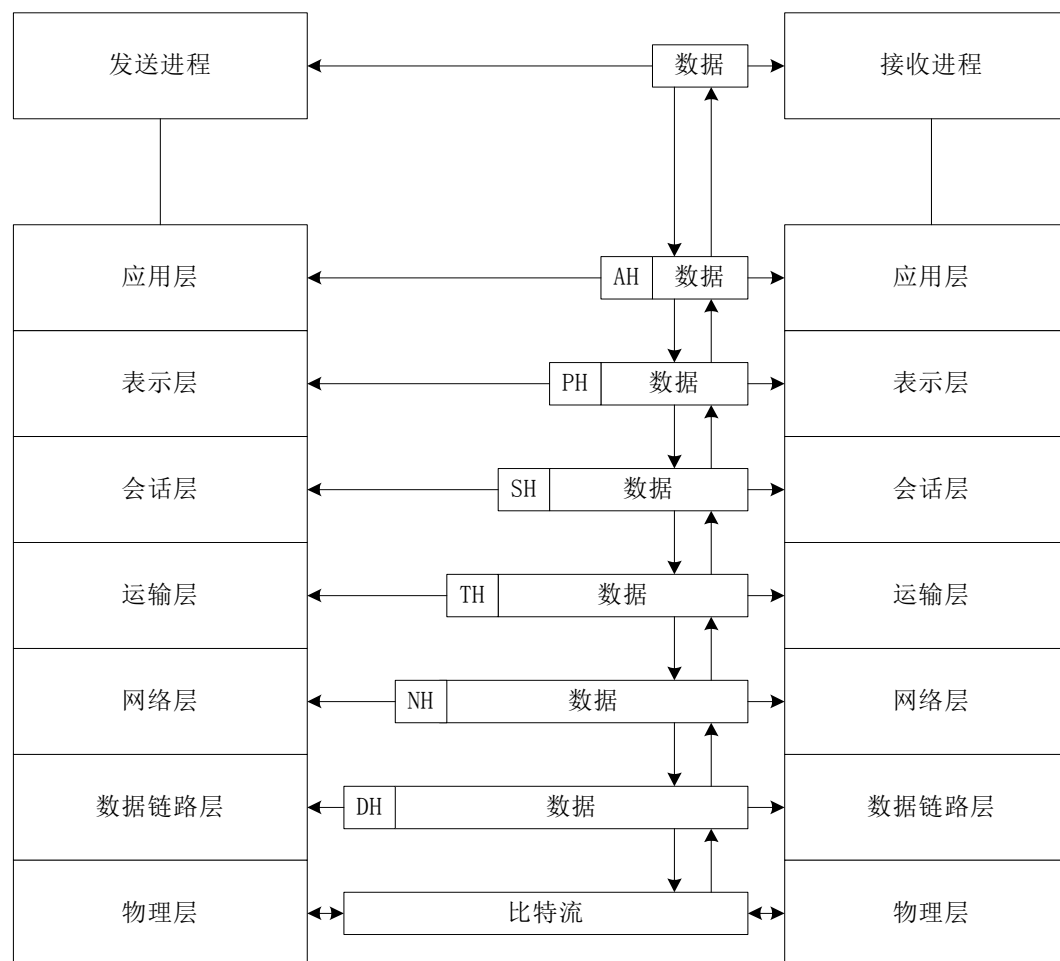
OSI网络体系结构的示意图



13.4.1 信令与协议

- 使用OSI网络体系结构时，除了物理层之外网络中数据的实际传输方向是垂直的。用户发送数据时，自上而下首先在发送端由发送进程把数据交给应用层而应用层在数据前面加上该层的有关控制和识别的信息，再把它交给表示层.....这一过程一直重复至物理层，并由传输媒介将数据传送至接收端。在接收端信息反来自下而上传递，并逐层拆除该层的控制和识别信息，最后将数据送至接收进程。整个变化过程如下图所示：

13.4.1 信令与协议



OSI网络体系结构中数据传输时的数据变化过程



13.4.1 信令与协议

4. TCP/IP协议

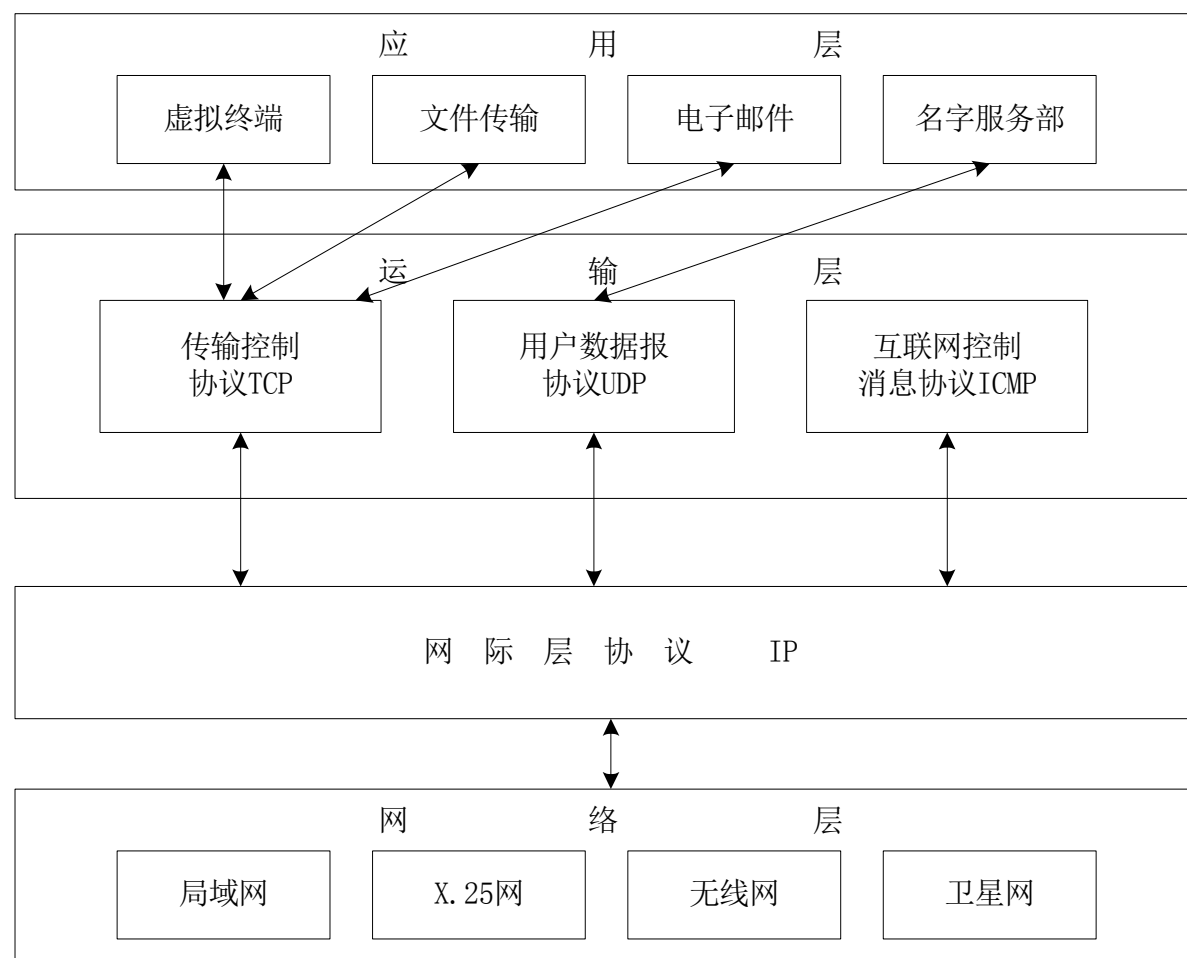
- TCP/IP协议是网络中提供可靠数据传输和无连接数据服务的一组协议。提供可靠数据传输的协议称为传输控制协议TCP，提供无连接数据报服务的协议称为网际协议IP。TCP/IP与OSI协议各层次的对应关系如下表所示：

OSI协议		TCP/IP协议	
7	应用层	4	应用层
6	表示层		
5	会话层		
4	运输层	3	运输层
3	网络层	2	网际层
2	数据链路层	1	网络层
1	物理层		

13.4.1 信令与协议



- 基于TCP/IP协议的网络体系结构如下图所示：





13.4.1 信令与协议

- TCP/IP协议分为四层：
 - 1) 网络层：它对应OSI协议中的物理层、数据链路层以及网络层中的一部分，该层中所使用的协议为各个通信子网本身固有的协议，比如分组交换的X.25协议、以太网的8802-3协议等等。网络层的作用是传输经网际层处理过的信号。
 - 2) 网际层：网际层所使用的协议是IP协议，它将运输层送来的信号组装成IP数据包并将它送至网络层。IP协议提供了统一的IP数据包格式以消除各通信子网的差异并为信号的收/发提供透明信道。网际层的主要功能有：因特网全网地址的识别与管理、IP数据包路由功能、发送与接收时使IP数据包长度与通信子网所允许的数据包长度相匹配。



13.4.1 信令与协议

- 3) 运输层：它为应用程序提供端至端的通信功能，有三个主要协议即传输控制协议(TCP)、用户数据协议(UDP)和互联网控制消息协议(ICMP)。TCP协议以建立高可靠性信号传输为目的，UDP协议提供无连接数据包服务，ICMP协议主要用于端主机和网关以及互联网管理中心，实现控制、管理网络运行。
- 4) 应用层：它为用户提供所需要的各种服务，主要包含：远程登录、文件传输、电子邮件等。



13.4.1 信令与协议

5. 移动应用协议 MAP

- MAP是专门用于移动通信网比如GSM与IS-41等的协议。GSM与IS-95均定义了相应的MAP协议，而MAP又定义了交换机MSC与数据库HLR、VLR之间的应用协议，以支持呼叫管理、短消息传送、位置管理、安全管理、无线资源管理和移动设备管理等一系列的功能。
- 从原理和功能上看，GSM与IS-95各自定义的MAP是完全类似的，然而在具体实现和协议方式上是有所不同和差异的。



13.4.2路由与交换

1. 无线网络中的业务路由选择

- 在无线网络中所传输的业务类型决定了其网络路由选择的策略，所采用的协议以及呼叫处理技术。网络常用的路由选择机制有两种：
 - 1) 面向连接的选择机制，又称为虚电路路由选择机制，它在整个传输过程中通信路由是不改变的。
 - 2) 虚连接选择机制，又称为数据包选择机制。其路由选择不用建立一个固定的连接，而采用分组(包)交换方式，即由若干个数据包组成一个消息，而每个数据包则独立选择路由，因此一个消息中的若干个数据包可能是经不同的路由传输，且所用的时间也不相等。



13.4.2 路由与交换

2. 电路交换

- 电路交换就是把两个用户终端通过局站的交换机接通一条专用的通道，使它们之间能相应通信直至通信结束，而且只有在通信结束后该信道才能供其它用户终端使用。他提供的是面向连接的业务。最典型的是电话业务。
- 在移动通信中，基站和PSTN间的话音信道由移动交换中心MSC分配给特定的用户，无线信道被移动用户与MSC间双向通信所独占直至通信结束，因而它是通过电路交换实现面向连接的话音业务。
- 电路交换只适合于话音传输或者持续时间长的数据业务，而对于突发而暂短的数据业务电路交换不大适用。



13.4.2 路由与交换

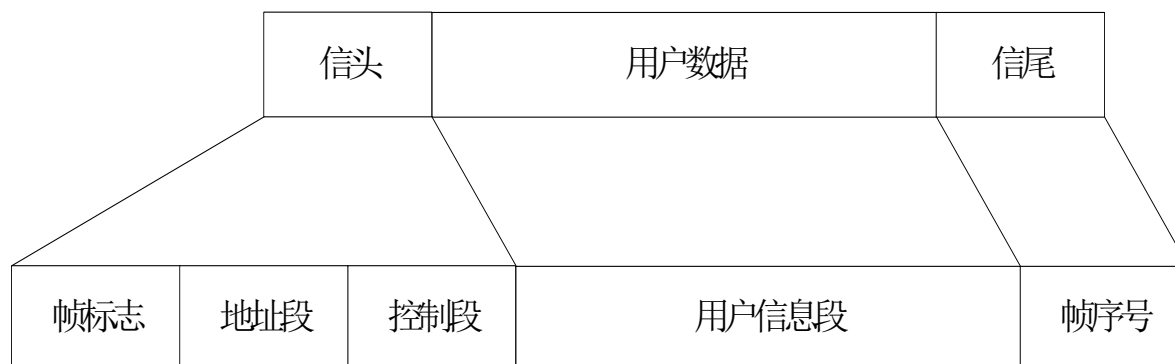
3. 分组交换

- 分组交换将一个消息分解为若干个数据分组(包), 每个分组(包)中由目的(宿)地址、编号和各种控制比特等组成一个包头, 它有点像邮政信封按地址在各交换点转接与交换。每份消息的各个分组(包)可以在同一路由上传送, 称它为虚电路方式, 也可以经过不同路由传送, 称它为虚连接或数据报, 它可以在接收端收到后按发送编号重新组成这个消息。每个消息包可进行差错控制; 收端可以根据数据分组(包)的编号检测信息包的丢失。



13.4.2路由与交换

- 一个典型的分组数据格式如下图所示：



- 1) 帧标志是一个特殊的顺序号，代表一帧的开始和结束；
- 2) 地址段包含用于传输消息与接收应答的信源和信宿地址；控制段含有传输的确认信息、自动请求重发ARQ以及分组排序的功能；
- 3) 用户信息段包含用户信息且其长度是不确定的；
- 4) 帧序号段包含帧段校验字段或CRC(循环冗余校验)，用于校验错误。



13.4.2路由与交换

- 分组交换是无连接(或虚连接)业务中最常用的技术,它允许许多数据用户与同一物理信道保护虚电路连接,用户可随时接入网中无需通过呼叫建立专用的独占线路。
- 与电路交换相比较,分组交换只有在发送和接收信息包分组(包)时信道才被占用,虽然每个分组(包)要占用一定比例的信息头,但是它对突发性强的较短的数据信息的传输仍具有更高的信道利用率。
- 数据传输中,采用分组交换的比较多,最主要的有,X.25、帧中继、ATM和IP;在移动通信中有蜂窝数字分组数据CDPD、通用无线分组业务GPRS,以及CDMA2000 1x数据业务与CDMA2000 1x EV-DO等。

§ 13.5 蜂窝式网络结构



- 上世纪七十年代美国贝尔实验室提出了蜂窝网概念，使移动通信正式走向商用化。
- 移动通信网利用蜂窝小区结构实现了频率的空间复用，从而大大提高了系统的容量。蜂窝的概念也真正解决了公用移动通信系统要求容量大与有限的无线频率资源之间的矛盾。
- 蜂窝网不仅成功的用于第一代模拟移动通信系统，第二代、第三代也继续延用了蜂窝网的概念，并在原有基本蜂窝网基础上进一步改进和优化，比如多层次的蜂窝网结构等等。



§ 13.5 蜂窝式网络结构

- 为了实现无缝隙覆盖，一个个天线辐射源产生的覆盖圆形必然会产生重叠。在通信中重叠区就是干扰区。那么在理论上采用什么样的多边形无缝隙结构才能使实际的天线覆盖圆圈重叠最小呢？
- 无缝隙的正多边形来逼近圆形覆盖小区的一些例子与参数如下：

小区形状	正三角形	正方形	正六边形(蜂窝)
邻区距离	r	$\sqrt{2}r$	$\sqrt{3}r$
小区面积	$1.3r^2$	$2r^2$	$2.6r^2$
重叠区面积	$1.2\pi r^2$	$0.73\pi r^2$	$0.35\pi r^2$

- 由此可见，在服务区面积一定的情况下，蜂窝式的正六边形重叠面积最小，是最佳形式的小区形状。

§ 13.5 蜂窝式网络结构



- 移动通信网中蜂窝区群结构与组成：在蜂窝移动通信系统中为了避免干扰，显然相邻近小区不能采用相同的信道，若想要实现同一信道在服务区内重复使用，同信道小区之间应有足够的空间隔离距离。满足空间隔离距离的区域称为空间复用区，而在同一个空间复用区内的小区组成了一个蜂窝区群，且只有在不同的区群间的小区才能实现信道再用。
- 区群组成的基本条件：区群之间可以互相邻接，且无缝隙、无重叠的进行覆盖；相互邻接的区群应保证各个相邻同信道小区之间的距离相等



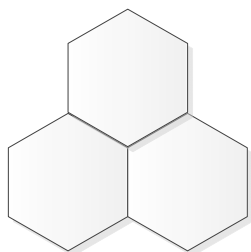
§ 13.5 蜂窝式网络结构

- 经证明，区群内的小区数目应满足下列表达式：

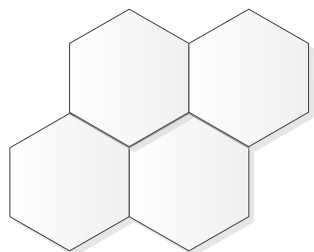
$$N = a^2 + ab + b^2$$

其中：a ≥ 0，b > 0 的整数

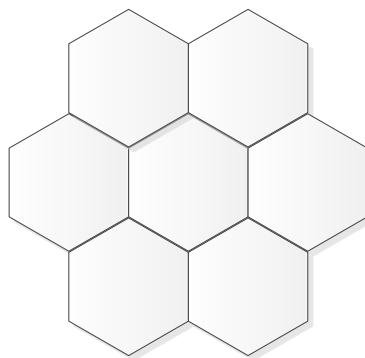
- 下面给出几种简单区群结构的组成：



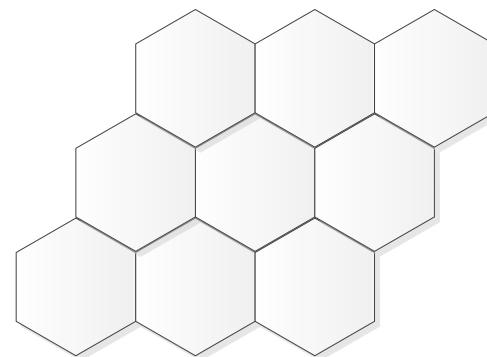
$$\begin{aligned} a &= 1 \\ b &= 2 \\ N &= 3 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} a &= 0 \\ b &= 2 \\ N &= 4 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} a &= 1 \\ b &= 2 \\ N &= 7 \end{aligned}$$

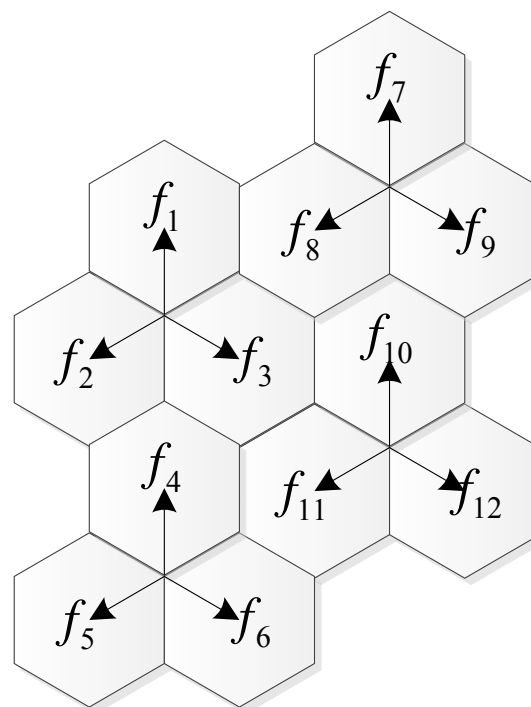
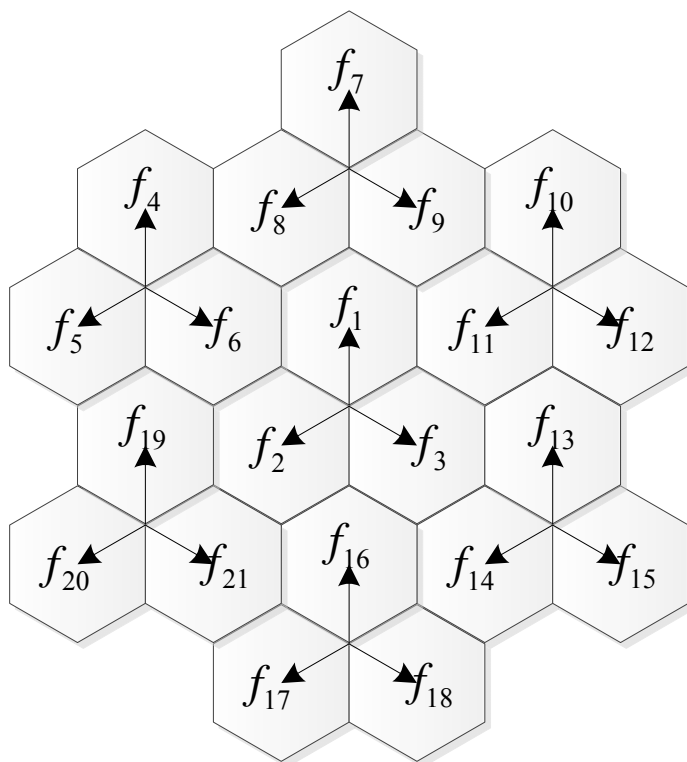


$$\begin{aligned} a &= 0 \\ b &= 3 \\ N &= 9 \end{aligned}$$



§ 13.5 蜂窝式网络结构

- 在第一代模拟移动通信网中经常采用7/21区群结构，即每个区群中包含7个基站，而每个基站覆盖3个小区，每个频率只用一次。在第二代数字式GSM系统中，经常采用4/12模式；其结构如下：





§ 13.5 蜂窝式网络结构

- 与蜂窝小区相关的另一个重要概念是小区分裂，是指随着网络业务量增长，一些业务负载重的小区缩小半径，变为面积更小的小区结构。

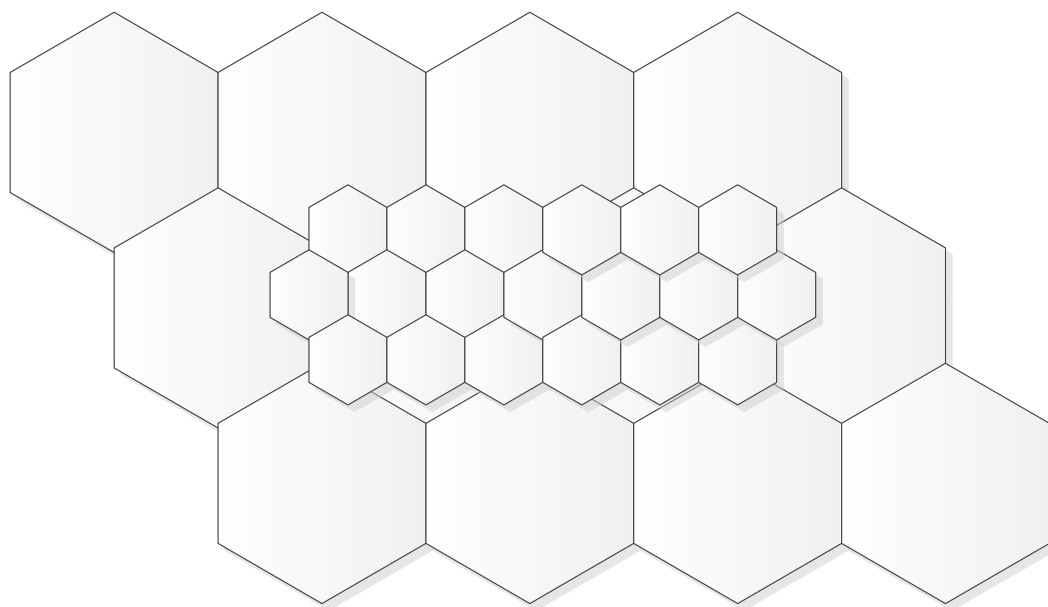


图13.34 小区分裂示意

§ 13.5 蜂窝式网络结构



- 蜂窝网的概念实质上是一种系统级的概念，
- 它采用许多小功率的发射机形成的小覆盖区来代替采用大功率发射机形成的大覆盖区，并将大覆盖区内较多的用户分配给不同蜂窝小区的小覆盖区以减少用户间和基站间的干扰，同时再通过区群间空间复用的概念满足用户数量不断增长的需求。

§ 13.6 网络容量与服务质量(QoS)



• 13.6.1 小区容量

- 小区容量包括上行小区容量与下行小区容量，它反映的是存在同频干扰(也称为共道干扰CCI)与多址干扰(MAI)情况下，单个小区传输信息的能力。
- 下行情况下，第一个基站第一个用户的接收信号表示为

$$y_1 = \sqrt{\beta_1 P_B} h_1 r_1^{-\alpha} s_1 + \sum_{b \in \mathcal{B}, b \neq 1} \sqrt{P_B} h_{1b} r_{1b}^{-\alpha} s_b + n$$

- 由于信道容量是依赖信道衰落与传播距离的随机变量，将其在空间与时间上求数学期望，可得下行平均小区容量

$$C_{DL} = \int_A \int_{\mathbb{R}^+} \log_2 \left[1 + \frac{\beta_1 P_B \|h_1\|^2 \|r_1\|^{-2\alpha}}{\sum_{b \in \mathcal{B}, b \neq 1} P_B \|h_{1b}\|^2 \|r_{1b}\|^{-2\alpha} + \sigma^2} \right] p(r_1) p(h_1) dr_1 dh_1$$

§ 13.6 网络容量与服务质量(QoS)



• 13.6.1 小区容量

- 对于上行情况考虑第一个基站第一个用户接收信号

$$y_{11} = \sqrt{P_M} h_1 r_1^{-\alpha} s_1 + \sum_{i \in \mathcal{S}, i \neq 1} \sqrt{P_M} h_i r_i^{-\alpha} s_i + \sum_{\substack{b_l \\ b \in \mathcal{B}, b \neq 1}} \sqrt{P_M} h_{1b_l} r_{1b_l}^{-\alpha} s_{b_l} + n$$

- 接收信干噪比可以表示为

$$SINR = \frac{P_M \|h_1\|^2 \|r_1\|^{-2\alpha}}{\sum_{i \in \mathcal{S}, i \neq 1} P_M \|h_i\|^2 \|r_i\|^{-2\alpha} + \sum_{\substack{b_l \\ b \in \mathcal{B}, b \neq 1}} P_M \|h_{1b_l}\|^2 \|r_{1b_l}\|^{-2\alpha} + \sigma^2}$$

- 在空间与时间求数学期望，可得上行平均小区容量

$$C_{UL} = \int_A \int_{\mathbb{R}^+} \log_2 \left[1 + \frac{P_M \|h_1\|^2 \|r_1\|^{-2\alpha}}{\sum_{i \in \mathcal{S}, i \neq 1} P_M \|h_i\|^2 \|r_i\|^{-2\alpha} + \sum_{\substack{b_l \\ b \in \mathcal{B}, b \neq 1}} P_M \|h_{1b_l}\|^2 \|r_{1b_l}\|^{-2\alpha} + \sigma^2} \right] p(r_1) p(h_1) dr_1 dh_1$$

13.6.2 服务质量(QoS)



- ITU-T建议E-800对通信服务质量(QOS)作了如下定义：“通信性能的综合效果，决定了用户对其服务的满意程度”。
- 在移动通信中，QOS的需求对网络规划设计以及网络成本均具有很大影响。
- QOS主要取决于下列四个因素：
 - 1) 业务支撑。主要通过辅助性服务(信息、供应和收费等)反映出来；
 - 2) 使用便利性；
 - 3) 传输的完整性；
 - 4) 适用性。它是指网络在需要时建立呼叫和维持通信的能力
- 以上四个要素中适用性最为重要。

13.6.2 服务质量(QoS)



- 在移动话音通信网络中，QoS参数主要与话音呼叫过程和通话质量密切相关，它通常与下列四个阶段有关：
 - 1) 在开始呼叫阶段，网络无法提供服务，或者称为拒呼率；
 - 2) 在网络可用时呼叫失败，或称为呼损率；
 - 3) 呼叫成功建立后发生中断，话音通信中断并收到忙音或没有声音；
 - 4) 一次通话完成，但通话质量低劣。

13.6.2 服务质量(QoS)



- 在数字与数据通信系统中，一般采用平均误码率BER(或 \bar{P}_e)来描述QOS性能，它又可分为：平均误码率BER，平均误帧率FER或者平均误包(分组)率PER。
- 若为数字话音，按前面呼叫通话的四个阶段又可细分为：多信道冲突概率(一般小于20%)，虚、假呼叫(告警)概率，呼叫失败(呼损)概率，错误呼叫(同步丢失)概率，平均误帧率，信号处理时延(一般小于1~10ms)。
- 话音的QOS除了上述数字化传送过程的以客观测试指标为主的一系列指标以外，还与人的主观接受系统的性能有关。话音的最终评判准则一般采用与主观用户评估的MOS得分来度量。



13.6.3 业务交换模型

- 在移动通信中的业务交换，分为电路交换与分组交换两种形式。当业务呼叫遇到无可用资源时，对于电路交换业务，立即拒绝该呼叫；而分组交换业务，则进行排队，直到有可用资源时再接受服务。
- 1. 电路交换模型**



图13.35 电路交换系统

13.6.3 业务交换模型



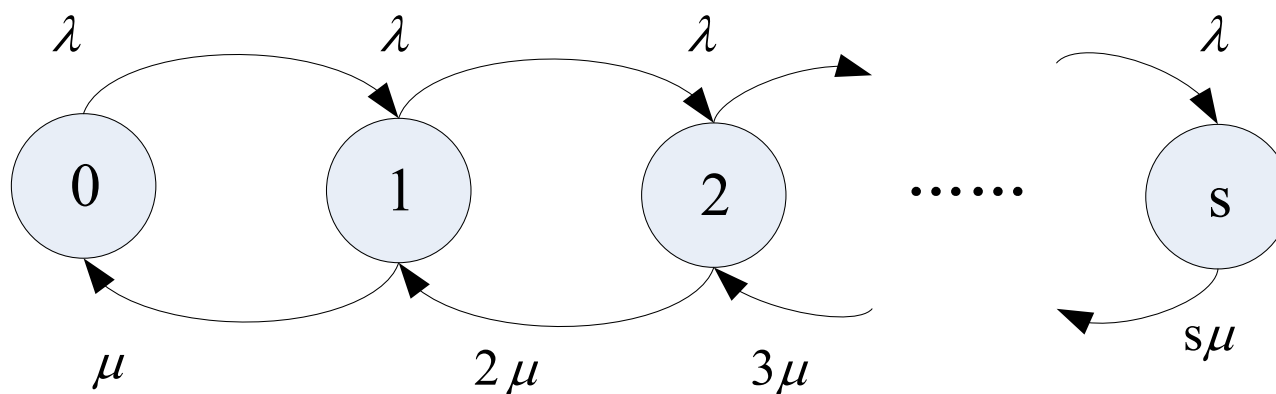
- 2. 分组交换系统



13.6.4 业务容量



- 1. 拒绝系统与爱尔兰B公式
- 这个排队系统是一个特殊生灭过程，其状态转移图如图所示



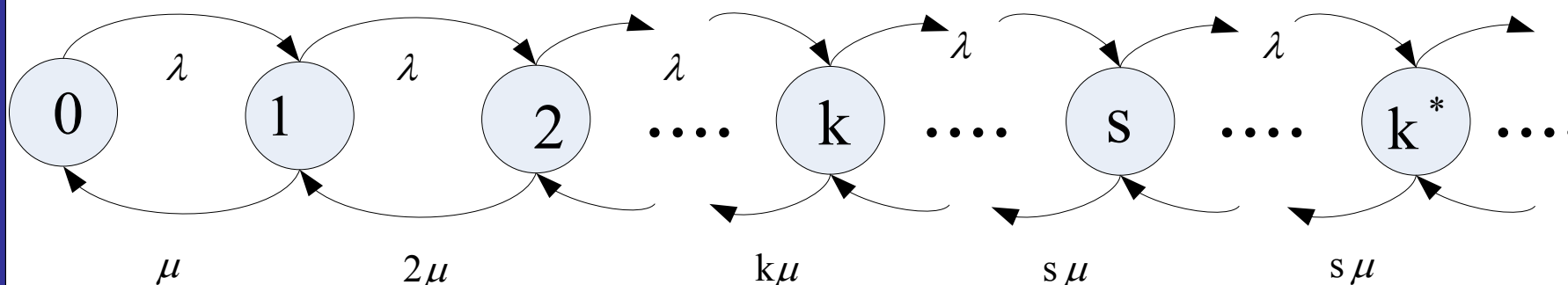
$$B(s, a) = \frac{a^s / s!}{\sum_{r=0}^s \frac{a^r}{r!}}, \quad a = \frac{\lambda}{\mu}$$

爱尔兰B公式



13.6.4 业务容量

• 2. 等待系统与爱尔兰C公式



爱尔兰C公式

$$P\{w > 0\} = \sum_{k=s}^{\infty} p_k = \frac{a^s}{s!} p_0 \sum_{k=s}^{\infty} \left(\frac{a}{s}\right)^{k-s} = \frac{a^s}{s!} \frac{p_0}{1 - a/s}, a < s$$

- 爱尔兰容量公式都是针对经典排队模型给出的业务容量结果，不适合移动数据业务的动态时变特性。
- 为了表征业务QoS与无线链路的动态适配过程，Wu与Negi提出了有效容量的概念，是移动网络业务容量分析的新方向，具有重要的工程指导意义。

§ 13.7 本章小结



- 本章介绍了移动通信系统与网络的基本概念。主要内容有两个方面，首先介绍移动通信系统的结构与组成，包括无线射频系统、功放线性化、系统同步技术等，
- 然后介绍移动网络的概念和特点，包括移动网的信令和协议、路由和交换、蜂窝式网络结构、网络容量与服务质量QoS等。



谢谢！