

## 第3章 CDMA概述及原理

- 3.1 移动通信发展史及CDMA标准
- 3.2 CDMA的基本原理

# 3.1 移动通信发展史及CDMA标准

- 移动通信的历史可以追溯到20世纪初，但在近20年来才得到飞速发展。移动通信技术基本上以开辟新的移动通信频段、有效利用频率和移动台的小型化、轻便化为中心而发展，其中有效利用频率技术是移动通信的核心。
- 20世纪40年代，第一个移动电话系统在美国开通。
- 20世纪70年代初，美国贝尔实验室提出了蜂窝系统的概念和理论。此后，蜂窝移动通信系统经历了三代演变，见表3-1-1。



# 3.1 移动通信发展史及CDMA标准

- 1.第一代蜂窝移动通信系统
- 20世纪70年代末，第一代蜂窝移动通信系统诞生于美国贝尔实验室，即著名的先进移动电话系统AMPS。其后，北欧（丹麦、挪威、瑞典、芬兰）和英国相继研制和开发了类似的NMTS（Nordic Mobile Telephone System）和TACS（Total Access Communication System）移动通信系统。中国在1987年开始使用模拟制式蜂窝电话通信。1987年11月，第一个移动电话局在广州开通。
- 仅仅几年后，采用模拟制式的第一代蜂窝移动通信系统就暴露出了容量不足、业务形式单一及语音质量不高等严重弊端，这就促使了对第二代蜂窝移动通信系统的研发。



# 3.1 移动通信发展史及CDMA标准

- 2.第二代蜂窝移动通信系统
- 第二代蜂窝移动通信系统（2G）采用数字制式，提供了更高的频谱利用率、更好的数据业务和通信质量以及比第一代系统更先进的漫游功能。
- 典型的第二代蜂窝移动通信系统包括：居于主导地位的GSM系统（全球移动通信系统）、美国IS-54 / IS-136与IS-95系统、日本PDC（Personal Digital Cellular）系统。其中IS-95是美国电信工业协会TIA于1993年确定的美国蜂窝移动通信标准，它采用了Qualcomm公司推出的CDMA技术规范。



# 3.1 移动通信发展史及CDMA标准

- 3.第三代蜂窝移动通信系统及CDMA标准
- 1985年，国际电信联盟ITU提出未来公共陆地移动通信系统FPLMTS，即第三代移动通信系统。FPLMTS后来被更名为IMT-2000。欧洲电信标准协会ETSI也提出了通用移动通信系统UMTS。
- IMT-2000和UMTS的概念和目的非常相似，均致力于在全球统一频段，按统一标准，提供功能、质量与固定有线通信系统相当的多种服务。
- 第三代蜂窝移动通信和个人通信系统提供更大的系统容量、更高速的数据传输能力。
- 目前，3G系统数据传输速率在车辆上可以达到144 kbit/s，在室外步行时可以达到384 kbit/s，在建筑物里可以达到2 Mbit/s，在未来这些速率还能进一步提高。



# 3.1 移动通信发展史及CDMA标准

- 4.RTT技术
- IMT-2000中最关键的是无线传输技术（RTT）。截至1998年6月底，ITU征集到来自欧洲、日本、美国、中国和韩国的10个地面接口RTT标准。
- 尽管ITU在尽最大努力寻求标准的统一，但以欧美为代表的两大区域性标准化组织3GPP和3GPP2，分别以WCDMA和CDMA2000为基础形成了两大格局。其中3GPP是由欧洲电信标准研究院ETSI发起的第三代伙伴计划，3GPP2是由美国ANSI（American National Standards Institute）发起的另一个第三代伙伴计划。中国于1999年4月成立了无线通信标准研究组CWTS，并于1999年5月正式加入了3GPP和3GPP2。



## 3.1 移动通信发展史及CDMA标准

- 3G从概念化模型到商用的整个过程的成功促使我们去考虑下一代的移动通信系统。4G最大的数据传输速率超过100Mbit/s，这个速率是移动电话数据传输速率的1万倍，也是3G移动电话速率的50倍。
- CDMA2000标准的演进过程：
- CDMA2000技术的完整演进过程如图3-1-1所示。
- 在以下章节中，如不加特殊说明，提到的IS-95就是IS-95A。采用IS-95规范的CDMA系统统称为CDMAOne。对应CDMA2000技术的演进过程，CDMA各阶段系统的描述如表3-1-2所示。



# 3.1 移动通信发展史及CDMA标准

- 5.为什么需要3G
- 随着时代的进步，人们对移动通信提出了更高的要求。
- 2G系统虽然可以比较好地提供移动语音通信，但是对于用户不断增加的需求（例如：在移动中享用数据、多媒体通信）却显得力不从心。此外，在一些人口高度密集的发达地区，2G系统本身的技术瓶颈导致它不能满足不断增长的用户容量的需求。
- 在这种情况下，3G系统成为大家的热切期望目标。其中，最受瞩目的两种3G方案（WCDMA、CDMA2000）中，WCDMA标准不断有新的版本出现，变化多而快，显得稳定性不足。
- 与此形成对比的是，CDMA2000是由上一代CDMA系统直接发展而来的。CDMA2000从1x走向1xEV-DO的演进则相对较为平滑。CDMA20001x在向前延伸的过程中，无线子系统只需要在软硬件上作部分的变动，相对来说要平稳一些。





## 3.2 CDMA的基本原理

### • 3.2.1 扩频通信技术

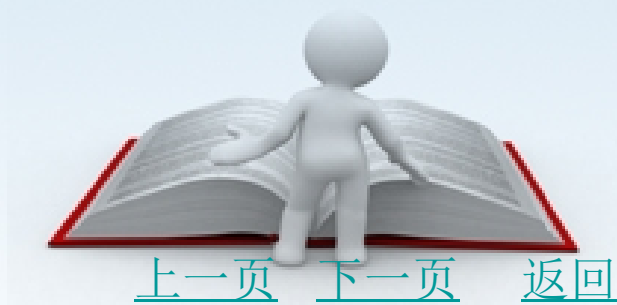
- 扩频通信技术，即扩展频谱通信（Spread Spectrum Communication），它与光纤通信、卫星通信一同被誉为进入信息时代的三大高技术通信传输方式。
- 1.扩频通信的理论基础
- 扩频通信的基本思想和理论依据是香农（Shannon）公式。
- 香农在信息论的研究中得出了信道容量的公式：

$$C = B \times \log_2 (1 + S/N)$$



## 3.2 CDMA的基本原理

- 2.扩频与解扩频过程
- 扩频通信技术是一种信息传输方式：在发送端采用扩频码调制，使信号所占的频带宽度远大于所传的信息必需的带宽；在接收端采用相同的扩频码进行相干解调来恢复所传的信息数据。
- 图3-2-1表明了整个扩频与解扩频过程。
- （1）信息数据经过常规的数据调制，变成窄带信号（假定带宽为 $B_1$ ）。
- （2）窄带信号经扩频编码发生器产生的伪随机编码（PN码：Pseudo Noise Code）扩频调制，形成功率谱密度极低的宽带扩频信号（假定带宽为 $B_2$ ， $B_2$ 远大于 $B_1$ ）。窄带信号以PN码所规定的规律分散到宽带上后，被发射出去。



## 3.2 CDMA的基本原理

- (3) 在信号传输过程中会产生一些干扰噪声(窄带噪声、宽带噪声)
- (4) 在接收端,宽带信号经与发射时相同的伪随机编码扩频解调,恢复成常规的窄带信号。即依照PN码的规律从宽带中提取与发射对应的成分进行积分,形成普通的窄带信号。再用常规的通信处理方式将窄带信号解调成信息数据。干扰噪声则被解扩成跟信号不相关的宽带信号。
- 3.处理增益与抗干扰容限
- 扩频通信系统有两个重要的概念:处理增益、抗干扰容限。
- 处理增益表明扩频通信系统信噪比改善的程度,是系统抗干扰的一个性能指标。



## 3.2 CDMA的基本原理

- 4.扩频通信技术的特点
- 1) 抗干扰能力强
- 在扩频通信技术中，在发送端信号被扩展到很宽的频带上发送，在接收端扩频信号带宽被压缩，恢复成窄带信号。干扰信号与扩频伪随机码不相关，被扩展到很宽的频带上后，进入与有用信号同频带内的干扰功率大大降低，从而增加了输出信号 / 干扰比，因此具有很强的抗干扰能力。抗干扰能力与频带的扩展倍数成正比，频谱扩展得越宽，抗干扰的能力越强。
- 2) 可进行多址通信
- CDMA扩频通信系统虽然占用了很宽的频带，但由于各网在同一时刻共用同一频段，其频谱利用率高，因此可支持多址通信。



## 3.2 CDMA的基本原理

- 3) 保密性好
- 扩频通信系统将传送的信息扩展到很宽的频带上去，其功率密度随频谱的展宽而降低，甚至可以将信号淹没在噪声中，因此，其保密性很强。要截获、窃听或侦察这样的信号是非常困难的。除非采用与发送端所用的扩频码且与之同步后进行相关检测，否则对扩频信号的截获、窃听或侦察无能为力。
- 4) 抗多径干扰
- 在移动通信、室内通信等通信环境下，多径干扰非常严重。系统必须具有很强的抗干扰能力，才能保证通信的畅通。扩频通信技术利用扩频所用的扩频码的相关特性来达到抗多径干扰，甚至可利用多径能量来提高系统的性能。
- 当然，扩频通信还有很多其他优点。例如，精确地定时和测距，抗噪声，功率谱密度低，可任意选址等。



## 3.2 CDMA的基本原理

### • 3.2.2 多址技术

- 多址方式是许多用户地址共同使用同一资源（频段）相互通信的一种方式。对于CDMA系统来说就是许多的用户在同一时间使用相同的频点。通常，这些用户位于不同的地方并可能处于运动状态。例如，多个卫星通信地球站使用同一卫星转发器相互通信、多个移动台通过基站相互通信等均属于多址通信方式。
- 由于使用共同的传输频段，各用户系统之间可能会产生相互干扰，即多址干扰，同时也称为自干扰。为了消除或减少多址干扰，不同用户的信号必须具有某种特征以便接收机能够将不同用户信号区分开，这一过程称作信号分割。
- 多址接入方式的数学基础是信号的正交分割原理。传输信号可以表达为时间、频率和码型的函数。



## 3.2 CDMA的基本原理

- 根据传输信号不同特性来区分信道的多址接入方式，如图 3-2-2 所示。
- **3.2.3 CDMA系统的实现**
- CDMA是一种先进的、有广阔发展前景的多址接入方式。目前，它已成为世界许多国家研究开发的热点。
- 码分多址使用一组正交（或准正交）的伪随机噪声（PN）序列，通过相关处理来实现多个用户共享空间传输的频率资源和同时入网接续的功能。
- 1. CDMA扩频通信原理
- 扩频通信系统有三种实现方式：直接序列扩频（DSSS）、跳频扩频（FHSS）和跳时扩频（THSS）。
- CDMA采用直接序列扩频通信技术，如图 3-2-3 所示。



## 3.2 CDMA的基本原理

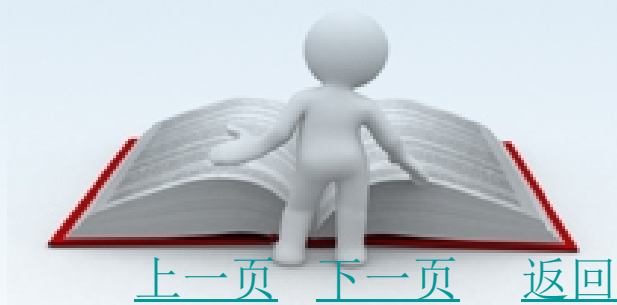
- 在发端，有用信号经扩频处理后，频谱被展宽；在终接端，利用伪码的相关性作解扩处理后，有用信号频谱被恢复成窄带谱。
- 宽带无用信号与本地伪码不相关，因此不能解扩，仍为宽带谱；窄带无用信号被本地伪码扩展为宽带谱。由于无用的干扰信号为宽带谱，而有用信号为窄带谱，我们可以用一个窄带滤波器排除带外的干扰电平，于是窄带内的信噪比就大大提高了。
- 通常CDMA可以采用连续多个扩频序列进行扩频，然后以相反的顺序进行频谱压缩，恢复出原始数据，如图3-2-4所示。





## 3.2 CDMA的基本原理

- 2.CDMA扩频码的选择
- 扩频码需要有区分度，也就是所谓的正交。合适的扩频码应该具备以下特性：
  - ①互相关特性。
  - 用自身的扩频码可以解扩出信号，而其他的扩频码不可以解扩出信号。
  - ②自相关特性。
  - 自身的时延不影响解扩出信号。
  - ③容易产生。
  - ④具有随机性。
  - ⑤具有尽可能长的周期以对抗干扰。



## 3.2 CDMA的基本原理

- 表 3-2-1 列出了 IS-95 系统中三种码的比较，表 3-2-2 列出了 CDMA 2000 系统中三种码的比较。
- 在实际应用中可以将 Walsh 码与 PN 码各自的优点进行互补，即利用复合码特性来克服各自的缺点。

### 3.2.4 语音编码技术

- 长期以来，在通信网的发展中，解决信息传输效率是一个关键问题，极其重要。目前科研人员已通过两个途径研究这一课题：
  - (1) 研究新的调制方法与技术，提高信道传输信息的比特率。其指标是每赫兹带宽所传送的比特数。
  - (2) 压缩信源编码的比特率。例如，标准 PCM 编码，对 3.4 kHz 频带信号需用 64 kbit/s 编码比特率传送，而压缩这一比特率显然可以提高信道传送的话路数。



## 3.2 CDMA的基本原理

- 语音编码属于信源编码，目前语音编码技术通常分为三类：波形编码、参量编码和混合编码。
- 那么，什么样的语音编码技术适用于移动通信呢？这主要取决于移动通信道的条件。由于频率资源十分有限，所以要求编码信号的速率较低；由于移动通信道的传播条件恶劣，因而编码算法应有较好的抗误码能力。另外，从用户的角度出发，还应有较好的语音质量和较短的时延。



## 3.2 CDMA的基本原理

- 归纳起来，移动通信对数字语音编码的要求如下：
  - (1) 速率较低，纯编码速率应低于  $16 \text{ kbit/s}$ 。
  - (2) 在一定编码速率下音质应尽可能高。
  - (3) 编码时延应较短，控制在几十毫秒以内。
  - (4) 在强噪声环境中，算法应具有较好的抗误码性能，以保持较好的语音质量。
  - (5) 算法复杂程度适中，易于大规模集成。



## 3.2 CDMA的基本原理

### • 3.2.5 信道编码技术

- 移动通信系统由于信道的特殊性，为了达到一定的比特误码率（BER）指标，对信道编码要求很高，主要是差错控制编码，也称为纠错编码。差错控制编码的方法有：循环冗余校验、卷积、块交织、Turbo码和扰码。
- 1.移动通信信道的特点
- 移动信道是最复杂的通信信道，因为无线信号在传播时会受到各种各样的干扰。
- 除了有线信道中的干扰外，在无线信号的传播途中会有各种各样的障碍物使信号产生多径效应、阴影效应、散射和衍射，使信号产生衰落，导致信号受到地形的影响。



## 3.2 CDMA的基本原理

- 此外天气的变化也会使无线信号产生慢衰落。当移动台处于高速移动的状态时情况会更糟，信号还会产生多普勒频移效应。
- 所有的这些因素又会因为移动台的移动而变化，因此移动通信信道具有以下特点。
  - 1) 多径传播
- 由多径传播引起的多径干扰，是指无线电波因传输路径的不同引起到达时间的不同而导致接收端码元的相互干扰。它可使所传输的数据信号幅度衰落，可能引起波形展宽，因而数据传输速率会受到限制。
- 移动信道中多径的产生主要是因为庞大建筑物对信号的反射造成的。从移动台的角度看，就是相同的信号以不同的时间和方向到达移动台，如图 3 - 2 - 5 所示。



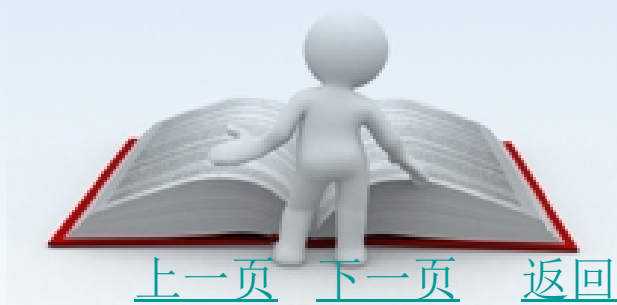
## 3.2 CDMA的基本原理

- 另外，如果是宽带通信，信号的频谱较宽，还会发生频率选择性衰落。这主要是因为针对不同的多径情况，不同频率产生的衰落深度也不同，造成有的频率分量完全被多径抵消掉，如图 3-2-6 所示。
- 2) 多普勒频移
- 在生活中我们常会遇到这样的情形，当一辆警车迎面急驶而来时我们会觉得警笛的声音越来越刺耳尖利，而当其远离驶去时又变得缓和起来。这就是多普勒频移造成的频率变化。
- 3) 信号阴影与传输损耗
- 衰落指在接收端信号的振幅总是呈现出忽大忽小的随机变化的现象。依据持续时间长短，衰落一般有快慢之分。



## 3.2 CDMA的基本原理

- 2.循环冗余校验
- 循环冗余校验（CRC）利用循环码，不仅可以用于检查和纠正独立的随机错误，而且也可以用于检查和纠正突发错误。在硬件方面，循环码很容易用带反馈的移位寄存器实现，循环码正是由于其特有的码的代数结构清晰、性能较好、编译码简单和易于实现等优点，成为数据通信中最常用的一种抗干扰方式。实际应用中CRC往往用于检错。
- 3.卷积编码
- 卷积编码技术能有效地克服随机的单个数据错误。卷积码是1955年由Elias最早提出，由于其编码方法可以用卷积运算形式表达，因此而得名。





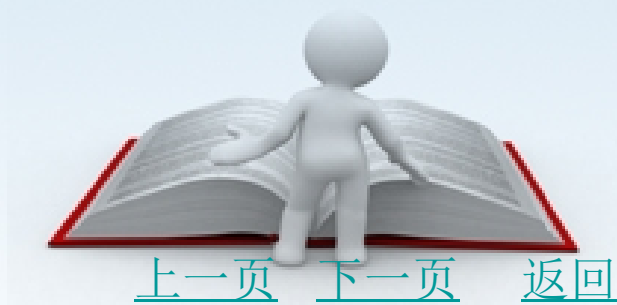
## 3.2 CDMA的基本原理

- 4.块交织技术
- 块交织技术的目的是尽可能纠正连串突发数据错误，使得在接收端解交织后落入每个接收字里的差错个数不大于纠错码能纠正的个数。
- 在陆地移动通信的变参信道上，比特差错经常是成串发生的。这是由于持续较长的深衰落谷点会影响到相继一串的比特。然而，信道编码仅在检测和校正有限个差错和不太长的差错串时才有效。
- 5.T u r b o 码
- T u r b o 码是1993年提出的一种新型信道编码方案，是近年来纠错编码领域的重要突破。
- T u r b o 码使用相对简单的R S C（递归系统卷积）码和交织器进行编码，使用迭代和解交织的方法进行译码。T u r b o 码能得到接近理论极限的纠错性能，具有很强的抗衰落、抗干扰能力。因此，T u r b o 码被确定为第三代移动通信系统的核心系统之一。



## 3.2 CDMA的基本原理

- 但由于Turbo码的译码复杂度大、译码时延大等原因，比较适合时延要求不高的数据业务，在语音业务和对译码时延要求比较苛刻的数据业务中仍使用卷积码。
- 1) Turbo码编码器
- Turbo码编码器由两个成员编码器（RSC1、RSC2）、一个Turbo交织器及删除器构成，如图3-2-7所示。
- (2) 交织器。
- Turbo交织器对输入的数据、帧质量指示比特（CRC）和保留比特进行交织，其功能是把一帧的输入比特顺序写入，再按预先定义的地址顺序把整帧数据读出。



## 3.2 CDMA的基本原理

- 2) Turbo码译码器
- 译码器的基本结构如图3-2-8所示，主要组成部分是两个软输入软输出的译码器、同编码器相关的交织器、去交织器。
- Turbo译码器的关键是同发送端的成员编码器相对应的成员译码器，即图3-2-8的DEC1和DEC2。单独来看DEC1与DEC2就是图3-2-7中的RSC1与RSC2直接对应的译码器，不过此成员译码器必须能输出软信息并能利用先验信息输入。从图3-2-8中可见，成员译码器有3个输入，除了一般译码器都有的系统位、校验位输入外，还有一个先验信息输入。



## 3.2 CDMA的基本原理

- 译码过程如下：
  - (1) 把对应于第一个成员编码器 (RSC1) 的系统位和校验位的软判决信息送给第一个译码单元 (DEC1) 进行译码。
  - DEC1 输出的软信息可以分解为内信息和外信息两部分，其中的外信息对 DEC2 来说是先验信息，但次序上需要经过交织处理才能和 DEC2 的系统位对应上。
  - (2) 第二个成员译码器开始译码。
  - RSC2 的系统位因为同 RSC1 重复所以被发送端删除，译码时可以把 RSC1 的系统位交织后送给 DEC2 作为它的系统位输入。DEC1 输出的外信息作为 DEC2 的先验信息输入。



## 3.2 CDMA的基本原理

- 第二个译码单元DEC<sub>2</sub>译码结束后也输出软信息，从中分离出外信息后可将此外信息反馈到第一个译码单元进行下一轮的译码。各轮译码之间的信息连接就是通过外信息达到的。
- (3) 译码过程可以多次反复进行，最后在迭代了一定次数后，通过对软信息作过零判决便得到最终的译码输出。



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/366004030101011011>