

# 浅议 CDMA 扩频通信技术

刘 严春满

CDMA 是英文 Code Division Multiple Access 的缩写,直译为码分多址,是一种以扩频通信为基础的载波调制和多址接入技术。CDMA 最早的标准是由美国高通公司提出来的,并于 1990 年 7 月 31 号公布发表,现在主要使用地区及国家有韩国、日本、美国等,我国也开始使用这一移动通信技术标准。CDMA 是为现代移动通信网大容量、高质量、综合业务、软切换及国际漫游等要求而设计的一种移动通信技术。



(TH) 和直扩 (DS) 三种。

直接序列扩频,就是直接用具有高码元速率的扩频序列在发射端扩展信号的频谱,而在接收端用相同的扩频码序列进行解扩,把展开的扩频信号还原成原来的信号,故而多个扩频设备可共享同一频带,每个系统使用各自独特的扩展码,这就产生了码

## 一、CDMA 扩频通信的工作原理

CDMA 采用扩频技术,扩频是指发送信号所在点频谱远大于信息本身所需的最小带宽,是将窄带的信息信号调制到很宽的频带上。其理论依据是香农定理,根据香农信道容量公式  $C = W \log_2(1 + S/N)$ ,在速率  $C$  不变的条件下,频带宽度  $W$  与信噪比  $S/N$  的关系是相反的,即在频带宽度  $W$  增加的情况下,可在较低的信噪比下,以不变的传输速率传递信息。甚至频宽足够大时,在信号几乎被噪声淹没的情况下,也能可靠地通信。这是扩频与常规通信(如调幅与调频)的主要区别。扩频通信具有与噪声类似的特性,故可与常规设备同用一个频段,而且干扰极小。通常采用的扩频方式有跳频(FH)、跳时

分多址。扩频通信的原理如图 1 所示。在发射端,数据信号先通过载波信号进行数据调制,变成窄带的较大功率数字信号到达 A 点,再经扩频序列进行扩频调制,调制成宽带的低功率扩频信号到达 B 点进行发射,信号扩频前后频谱的变化如图 2 所示;接收端在码元同步电路的作用下,用与发射端相同的扩频序列先解扩,再用与发射端相同的载波信号进行数据解调,最后可得到有用的信息数据。CDMA 的每个用户分配一个独特的扩频序列对信息序列进行调制,在接收端,尽管所有的用户信号在同一频段上重叠,但不同用户扩频序列之间的相关性很小。

对上述的 CDMA 扩频通信可以做如下比喻,我们将带宽想象成一间大房子。所有的人都将进入这里,如果他们使用完全不同的语言,他们就可以清楚地听到同伴的声音,而只受到一些来自别人谈话的干扰。在这里,屋里的空气可以被想象成宽带的载

的晶粒尺寸均属于微米尺度,大约  $1 \sim 10 \mu\text{m}$ ,因此称为微米陶瓷。当所选用的原料以及成材后的晶粒达到纳米尺度时,将为陶瓷材料的制备科学、陶瓷学、陶瓷工艺以及最终的材料性能带来突变,如果晶粒的线度能够降到  $0.01 \sim 0.1 \mu\text{m}$  ( $10 \sim 100 \text{nm}$ ),就是纳米陶瓷。所谓纳米陶瓷,是指陶瓷原料及其显微结构中所体现的晶粒、晶界、气孔和缺陷分布等的尺度,都在纳米级以内。这将使陶瓷的性能得到极大改善,以致发生突变而出现新的性能。研究结果表明,晶粒非常细小的氧化锆陶瓷,其强度和韧性都大幅度提高,硬度和塑性也有所改善,亚微米晶粒的钛酸钡陶瓷介电常数比普通材料提高 1 倍以上,抗

电强度也有大幅度提高。但这些材料还不是真正的纳米陶瓷。我们期待着纳米陶瓷能为陶瓷材料开拓更广泛的用途。

从先进陶瓷到纳米陶瓷,将是陶瓷发展进程中的第三次飞跃。近 30 年来陶瓷科学的飞速发展了这一突破打下了良好基础,而现代表征技术的发展则为这次突破提供了强有力支持。电子显微镜,包括扫描电子显微镜和投射电子显微镜的推广应用,特别是高分辨率电镜和分析电镜技术的发展,将为纳米陶瓷的研究、制备、成型、烧结等,提供强有力的支持和保证。我们期待着实现陶瓷发展中的新飞跃。

(江苏省南京师范大学强化培养部 210046)

现代物理知识

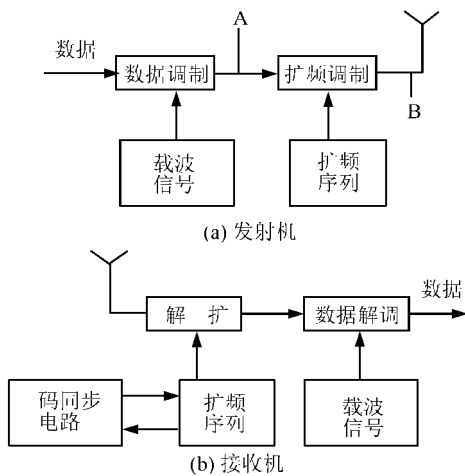


图 1 扩频通信的原理性框

波,而不同的语言即编码,我们可以不断增加用户直到整个背景噪音限制了我们的。如果能控制住用户的信号强度,在保持高质量通话的同时,我们就可以容纳更多的用户。

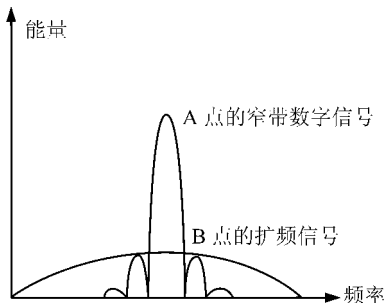


图 2 信号扩频前后频谱的变化

## 二、CDMA 中的关键技术

CDMA 作为第三代移动通信基础标准的推出,是由于 CDMA 移动通信如下的一些新的关键技术。

**扩频序列(PN 码)技术** 扩频序列也叫扩频码,扩频序列在 CDMA 中用作地址码,它的选择直接影响系统的容量、抗干扰等各方面的性能。扩频码的设计是扩频通信的关键技术之一,具有良好相关特性及随机性的扩频码对扩频通信系统是非常重要的,对系统的性能起决定性的作用。理想的扩频码应具有如下主要特性:尖锐的自相关特性、处处为零的互相关特性、足够多的地址码、尽可能大的复杂度等,最常用的有 M 序列和 Gold 序列。在接收端,接收机对接收信号解扩,解扩的实现依靠本地产生一个与发射端一样的扩频序列,并要求本地扩频序列与接收信号中的扩频序列同步,同步是通过搜索和跟踪接收信号来实现的。

**功率控制技术** 功率控制技术是 CDMA 系统

的核心技术。CDMA 系统是一个自干扰系统,所有移动用户都占用相同带宽和频率,每个用户的有用信号对其他用户而言都是干扰。在基站接收端,当某个用户的信号强度远大于其他用户时,尽管该用户的接收性能会有所提高,但对其他用户干扰增大,减小了通信小区整体的接收容量,造成“远近效应”。例如,当基站端某个用户的接收信号强度是其他用户的 10 倍时,小区的接收用户数就减少了 9 个。因此为保证小区容量尽可能大,就要求所有用户到达基站的信号强度相同,这就必须对手机终端的发射功率进行控制。

功率控制可分为以下三种。(1) 仅由手机参与的反向开环功率控制:它是手机根据在小区中接受功率的变化,调节手机发射功率以实现所有手机发出的信号在基站时都有相同的功率,主要是为了补偿阴影、拐弯等效应,所以它有一个很大的动态范围;(2) 由手机、基站同时参与的反向闭环功率控制:闭环功率控制的设计目标是使基站迅速纠正手机的开环功率估计值,以使手机保持最理想的发射功率;(3) 前向功率控制:在前向功率控制中,基站根据测量结果调整每个手机的发射功率,其目的是对路径衰落小的手机分派较小的前向链路功率,对那些远离基站和误码率高的手机分派较大的前向链路功率。

**RAKE 接收技术** 发射机发出的扩频信号,在传输过程中受到不同建筑物、山岗等各种障碍物的反射和折射,到达接收机时每个波束具有不同的延迟,形成多径信号。如果不同路径信号的延迟超过一定的时间延迟时,则在接收端可将不同波束区别开来。将这些不同波束分别经过不同的延迟线,对齐以及合并在一起,实现变害为利,把原来的干扰信号变成有用信号组合在一起。移动通信中的分集合并接收技术,是十分有效的抗多径衰落的方法。CDMA 个人通信系统,采用时间分集和空间分集两种 RAKE 接收方法。基站端运用空间分集,采用有一定间隔的两组天线,分别接收来自不同方向的信号,独立处理,最后合并解调;移动台采用时间分集 RAKE 接收,让接收信号通过相关延迟,不同的延迟相关输出结果对应不同路径的信号,选其最大输出的前几个作合并,实现 RAKE 接收。

**可变速率语音编码与自适应天线技术** 在 CDMA 中,为尽可能减少系统自身的干扰,系统应能根据用户情况自动地调节语音编码速率。当用户未说

话时,不发送数据或只发送很少的数据,这样既减少了对其他用户的干扰,又延长了电池的使用时间;天线作为向空间发射电磁波和从空间接收电磁波的接口,起着关键作用。自适应的基本思想是天线以多个高增益动态窄波束分别跟踪多个用户,接收信号时,来自窄波束以外的信号被抑制;发射信号时,对期望的用户发射的信号功率最大。采用自适应天线有增加系统容量,提高频谱利用率,抵抗多径衰落,减少远近效应的优点。

另外,CDMA 还采用了软切换技术、定时同步与扩频相关处理等先进的关键技术,有兴趣的读者可参阅相关文献。

### 三、CDMA 扩频通信的主要特点

CDMA 扩频通信在性能方面要优于频分多址(FDMA)和时分多址(TDMA),主要体现在如下几个方面。

**系统容量大且配置灵活** 在 CDMA 系统中,一方面由于频率复用率高于 FDMA 和 TDMA 制式,另一方面由于使用了话音激活和扇区化等技术。理论上 CDMA 移动网比模拟网系统容量大 20 倍,实际中比模拟网大 10 倍,比 GSM 要大 4~5 倍;在 FDMA 和 TDMA 中,当小区服务的用户数达到最大信道时,新来的呼叫被拒绝;而在 CDMA 中用户数目和服务质量之间可以相互折衷。CDMA 还具有小区“呼吸”功能,例如当相邻小区的负荷一轻一重时,重负荷小区通过减少发射功率,使该小区边缘的用户因为信号强度减弱而切换到相邻轻负荷的小区上。

**通话质量好** CDMA 系统话音质量很高,声码器可以动态地调整数据传输速率,并根据适当的门限值选择不同的电平级发射。同时门限值根据背景噪声的改变而变化,这样即使在背景噪声较大的情况下,也可以得到较好的通话质量。另外 CDMA 系统采用软切换技术——“先与新基站连接再与原基站断开”,完全克服了硬切换容易掉话的缺点。

**频率规划简单且保密性能好、发射功率小** 用户按不同的序列码区分,不同 CDMA 载波可在相邻小区内使用,网络规划灵活,扩展简单;在 CDMA 中,有用信号的功率比干扰信号的功率要低得多,信号仿佛隐藏在噪声之中,在空中传播时也非常隐蔽,同时还可以通过干扰码来实现加密,通过有效的功

率控制,使手机以非常节约的功率发射信号,既减少了对其他用户的干扰,又延长了电池的使用寿命。

但是 CDMA 系统也有缺点,主要体现在以下几个方面。(1) CDMA 系统中多个用户的信号在时域和频域上是混叠的,接收时需要把各个用户的信号分离开来。理想情况下,利用扩频码的正交特性可以保证无偏差地解调出用户所需要的数据。而实际系统由于同步的不准确、空间信道的多径特性等影响因素,导致各用户信号之间不能维持理想的正交特性,这时对某一特定用户而言,所有工作在同频段的其他用户信号都是干扰信号,随着系统用户数增加到一定数量时,干扰将增大到无法将有用信号提取出来的程度。(2) CDMA 网络由于移动台功率等因素的限制,不可能达到小区的理想容量,同时还要考虑小区的负荷情况。小区的负荷越大、容量越高,就要求用户的发射功率越大,所以造成了三者之间的矛盾。此外,CDMA 系统当时是在窄带 CDMA 基础上研发的,其扩频码数不够,而且其最初标准设计并非面向用户,造成目前没有统一的 CDMA 通信标准,限制了 CDMA 的推广。

虽然 CDMA 系统存在缺陷,但其具备了诸多先进关键技术及优于 FDMA、TDMA 的许多优点,现在世界上已淘汰以 FDMA 为核心技术的第一代模拟移动通信系统(1G),欧美等发达国家已停用或升级了以 TDMA 为核心技术的第二代数字移动通信系统(2G),开始执行以 CDMA 为核心技术的第三代数字移动通信系统(3G)。在第三代移动通信无线传输技术(RTT)的基础上,目前形成了三种代表性方案——欧洲和日本的 WCDMA、北美的 CDMA2000 及中国的 TD-SCDMA。值得一提的是 TD-SCDMA 与另外两种系统标准相比,采用了同步技术、软件无线电技术和智能天线等关键技术,而且其功率控制很简单,初期可不用软切换,比较适合非对称业务的传输。

毋庸置疑,在不久的将来,世界移动通信界将会是 CDMA 的天下,并且各个国家都将在 CDMA 系统的基础上进一步改进、提高、优化与发展移动通信新技术。

(刘 ,甘肃省天水师范学院数理与信息科学学院 741000;严春满,甘肃省兰州市西北师范大学物理与电子工程学院 730070)