**CDMA扩频比对RAKE接收机性能影响的仿真研究**

孙雅伦

（东南大学 吴健雄学院，江苏 南京 210096）

**摘 要：**本文介绍了CDMA技术的基本原理，并与TDMA、FDMA对比，分析了CDMA技术的优点。依据CDMA技术的原理，利用MATLAB工具，建立了CDMA2000下行链路的仿真模型。改变扩频比，分析仿真结果，研究不同的扩频比对于RAKE接收机性能的影响。扩频比变大，RAKE接收机的误码率降低，但是符号速率也会下降。

**关键词：**CDMA；扩频比；RAKE接收机

**Study of Simulations on The Influence of CDMA Spread Spectrum Ratio on The Performance of RAKE Receiver**

Sun Yalun

(Chien-Shiung Wu College, Southeast University, Nanjing 210096 ,China)

**Abstract:**In this paper, the basic principle of CDMA technology is introduced, and compared with TDMA,FDMA, the advantages of CDMA technology are analyzed. According to the principle of CDMA technology and MATLAB tool, the simulation model of CDMA2000 downlink is established. By changing the spread spectrum ratio and analyzing the simulation results, the influence of different spread spectrum ratio on the performance of RAKE receiver is studied. When the spread spectrum ratio increases, the bit error rate of RAKE receiver decreases, but the symbol rate also decreases.

**Key words:** CDMA; Spread spectrum ratio; RAKE receiver

CDMA（码分多址）技术相比于TDMA（时分多址）技术、FDMA（频分多址）技术，具有抗干扰能力强、软容量、软切换、保密好、发射功率小、频率规划简单的优点，可以同时并且满频谱地传输信息。早在20世纪40年代就提出了CDMA理论，并将这种技术运用在了军事通信上，经过几十年的发展，随着硬件水平地提高，CDMA技术也日益成熟，开始商业化，使用在民用通信上，成为了第三代移动通信中的主导技术。

由于在实际系统中，使用的都是数字硬件电路，信号需要经过采集和量化，所以要考虑到信号序列的字长问题，使用不同的字长，对于接受信号的性能会有较大的影响。而且进行数字信号处理时，加法器、积分器、乘法器等都是有字长限制的，字长太小会减小接收信息的精度；字长太大，会发生溢出，也会造成接收信号的精度损失。因此，字长在CDMA的实际应用中具有十分重要的意义，

**作者简介：**孙雅伦，（1998-），男，本科生，E-mail:

huolunyou@163.com.

本文根据CDMA2000的物理层标准，建立了1x下行链路的仿真模型，在不同的扩频比情况下，RAKE接收机表现了不同的性能，通过分析仿真结果，发现扩频比有RAKE接收机性能之间的关系，对于实现实际的系统有一定的借鉴意义。

本文的第一部分对CDMA技术进行介绍，并分析其特点；第二部分介绍了建立CDMA2000 1x下行链路的仿真模型的过程；第三部分对仿真结果进行分析；第四部分得出结论。

**1 CDMA技术**

CDMA技术让每一个频道使用所能提供的全部频谱，而不是给每一个通话者分配一个固定的频率。CDMA 对每一组通话用随机数字序列进行编码，其数字语音编码技术，可保证在消除背景噪音的同时提供高质量、高清晰度的语音通话服务。这种语音编码算法还可提供更高的安全性和保密性。由于 CDMA 网络可使每个蜂窝覆盖面积增大，因此与其他的系统相比，CDMA 系统需要的蜂窝站点和基站的数目更少，载波安装、启动和维护的费用明显减少，从而使每个用户得到更大的利益。CDMA 还能使用户更容易享受各种增值业务，如传真、数据、国际互联网、先进的留言功能、呼叫识别和呼叫等待等。此外，新一代宽带 CDMA 技术还将满足用户对多媒体及其它一些先进功能的需求。[1]

**1.1码分多址技术**

CDMA通过对不同用户进行编码，可以区分同一时刻、同一频率的信号，并且可以很好的保护用户的信息。CDMA 把无线频谱划分成许多1.25MHz 的片，在传递每个会话时，通过整个 1.25MHz 片，与其它会话同时并发地进行复用。更准确地说，CDMA 通过频率段扩展一个语音会话，并用伪随机噪声（PN）码对信号进行编码。每个CDMA 信道都被划分成64个不同的（逻辑）信道，并对这些信道唯一地进行 PN 编码。编码信号通过 1.25MHz 片以近似随机的方式进行扩展。CDMA 系统的这种编码技术，可拥有许多编码数字排列,，且每部手机的编码还可随时变化，可以很好地杜绝盗码。[2]

扩频是CDMA中十分重要的过程，将一个符号按照一定的扩频比进行频率扩展，使数据在更宽的频谱上传输。根据Shannon公式：

 bit/s (1)

式中，C为信道容量，B为信号带宽，S为信号平均功率，N为噪声功率。可以通过带宽来换取信噪比，当信号在传输过程中，信噪比下降时，可以增大信号带宽，从而减小误码率。经过扩频的信号，带宽可以增加到原本的好几倍，传输的准确率得到了极大的提高，具有很好的抗干扰性能。

**1.2 分集接收技术**

在CDMA系统宽带调制中，使用了三种分集接收技术，分别是时间分集、频率分集、空间分集，来减少信号之间的相互干扰，提高通信的质量。时间分集通过运用代码交叉和纠错实现，频率分集通过把信号能量扩展到范围更广的频段来实现，空间分集通过基站接收天线复用、多信号处理设备、多基站连接来实现。[3]

接收机同时接收到多个信号，分别解调这些信号，再按照一定的规则进行合并，可以减小信道衰落的影响。

**1.3 软切换技术**

在通话过程中，如果移动台搜索到其他基站更强的导频信号，那么移动台将会发送消息给当前基站，报告新基站（具有更强导频信号）的出现并提出软切换的请求。基站将请求转达给管理无线通信资源的基站控制台（BSC），基站控制台可能连接了管理非无线链路的移动交换中心（MSC）。基站控制台与新基站取得联系并得到该基站的沃尔什码的分配序号，这一分配情况通过当前基站传送给移动台。此后的通话过程中，移动台同时连接着两个基站，而两个基站之间通过基站控制台实现地面的连接。移动台分别以两个基站的导频信号为参考接收两路信号。对移动台来说，来自两个基站的信号可等效于多径传输的接收信号，因此可利用RAKE接收完成。基站控制台对两个基站的非相干接收信号，以20ms的帧为单位进行比较，选择较好的帧作为接收信号。在移动台与新基站建立了稳定的连接之后，原基站才中止与此移动台的连接。这种双重连接的机制，也称为“先连接后挂断”，能够有效地降低掉话率并改善小区边缘地带信号接收差的情况。

**1.4 CDMA技术的优点**

1.4.1 抗干扰能力强

CDMA使用扩频技术，信号传输时使用更宽的频谱，当有的频率发生衰落时，其他的频率可以仍然保持完好，抗多径衰落能力很强，而且在相同信噪比的情况下，CDMA的无差错传输信道容量更大，精确度更高。

1.4.2 软容量

CDMA 系统的大容量的一个因素是由于频率复用系数高于其他制式，另一个因素是使用了话音激活和扇区化等技术。在FDMA和TDMA 中，当小区服务的用户达到最大信道时，新来的呼叫将被拒绝；而在 CDMA 中，用户数目和服务质量之间可以相互折中。CDMA 还具有小区“ 呼吸” 功能，例如 当相邻小区负荷一轻一重时，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的轻负荷小区上。用这种方式可以很好地保证CDMA系统信息传输的性能，增大了系统的信息容量。

1.4.3 软切换

用户在移动时，需要切换基站，先与原基站和新基站都保持接通，当用户与新基站建立了稳定的通信之后，再断开与原基站的联系。使用这种先切换后断开的方式，可以防止用户掉线，提高了用户的使用体验，信息传输更为稳定。

1.4.4 保密好

CDMA传输信号可以使用扰码加密，再加上使用跳频技术，可以很好地防止信息的泄露。

**2 CDMA2000仿真模型建立**

**2.1发送结构**

基带发送结构如图1所示，需要发送的信息，先经过编码器和交织器；再加上扰码加密，并且可以提高信息传输的准确性；然后对数据进行扩频，使用导频信道以及其他的信道一同传输。[4]

使用不同的码道，扩频出来的信息也是不一样的，而且码道之间是正交的，这样才能保证每个码道之间独立传输，解码时能够互不干扰，得到正确的信息。这里假设只用两个码道，码道1、码道2和一个导频信道，比如，码道1使用的序列是“1111-1-1-1-1”，对“1”进行扩频比为8的扩频，得到的序列是“1111-1-1-1-1”；如果正交的码道2使用的序列是“11-1-1-1-111”，对“-1”进行扩频比为8的扩频，得到的序列为“-1-11111-1-1”。导频信道是“11111111”，只扩频，不对数据做其他改变，由于导频信道上调制的信号已知，可以利用导频信道做信道估计。

很多时候，扩频码（Walsh码）之间的正交性无法得到保证，所以需要扰码来降低Walsh码之间的相关性。将信息加上扰码之后，再将所有的信道合成一个序列，然后发送出去。而使用扰码，还可以对信息进行加密，如果用户没有相应的解码序列是无法得到信息的正确值的。由于仿真只是对简单的情形进行模拟，各种序列码不是很复杂，在实际系统中，常采用伪码直接扩频，跳频编码等扩展频谱手段，提高通信的可靠性。发送时有很多信道，每个信道都要做到正交，使用的序列码也很复杂，扰码也是如此，考虑到正交性和加密等问题，设计起来比较困难。

经过滤波后，可以将不需要的频段滤除掉，保留有效信息，在发送端进行一次处理后，接收效果会更好。

滤波

扩频

扰码

编码交织

信息

输出

信道

图1 CDMA2000发送结构

**2.2 接收结构**

基带接收结构如图2所示，先对接收到的信号进行滤波，滤除传输过程中加入到信息里的外界的干扰，提高信息译码的准确性。

动态范围归一

A/D转换

接收

滤波

RAKE接收

功率归一

解交织译码

解扰

图2 基带接收结构

在进行信道估计和RAKE接收之前，首先需要对等效复包络信号进行动态范围归一化，保证信息在一定的范围内，RAKE接收机可以对其进行操作，使RAKE接收机更好的工作。当然，在动态范围归一化的时候，由于会对深度衰落的信号有放大作用，也会放大噪声，会降低信噪比。实际系统中，是使用模拟AGC来实现的。[4]

经过RAKE接收机接收的信号，进行A/D转换，将接收到的信号，转换成字长为8比特的序列，接着需要对发射时加在信号上的扰码进行解码，再将信号功率归一化，方便后面的解交织和译码。译码使用的是Viterbi译码，一种最大似然译码，译码速度快，而且占用内存较小，可以很好的保证卷积的准确性。

**2.3 RAKE接收机**

分集接收，用来改善接收信号的电平起伏和衰落，将接收到的携带相同信息的相互独立的多路传输信号，进行相应的合并，可以增强信号的功率，从而减小信道传输衰落的影响。当接收端获得承载相同信息，衰落特性相互独立的信号后，通常进行加权相加合并，比如共有m路相互独立的衰落信号，分别为，，…，，那么接收信号就可以写为：

r(t)= + +…+ (2)

其中，，，…，为各路信号的加权系数，在基带或者中频都可以进行合并，根据加权系数的取值不同，可以使用选择式合并（SC）、最大比值合并（MRC）、等增益合并（EGC）。[5]

选择式合并，是一种很简单的合并方式，从m路信号中选择信噪比最大的一路信号作为输出信号，那么其他路的加权系数就都是零，实际上，选择式合并不是严格定义上的合并，它舍掉了其他的m-1路信号，利用率很低，造成了很大的浪费。而最大比值合并就可以很好地解决这个问题，是一种现阶段最优的合并方式，先是检测m路信号的信噪比，使得加权系数，，…，可以跟随信噪比改变，和信噪比成正比关系，当信噪比变大时，加权系数也变大。不过这种跟随信噪比的加权系数变化实现起来比较困难，实际中希望可以用固定的常数来表示，不过，由于在发射信号中加入了导频，在接收的时候就可以通过相位来实现同相相加，增大了有效信号的功率，有利于提高接收信号的准确度。

RAKE接收机使用的是隐分集的方式，没有设备增益，通过将扩散的信号合并起来，充分利用信号能量。主要是通过在发射端对扩频信号进行设计，使用适当的扩频比；再在接收端对接收信号进行处理，将接收信号分离、处理、合并，增大需要信号的功率，减小信道衰落带来的影响，让接收到的信号得到最充分的利用，译码的时候提高信息的准确率。RAKE接收机将那些幅度大于噪声背景的多径分量取出，对它进行延时并相位校准，使它们在某一时刻是同步的，将矢量合并变为代数求和，再按照最大比值合并。由于用户是随机移动的，接收到的多径信号在幅度、相位、数量上也是随机的，使用这种分离后，相位校准，再合并的方式，可以大幅提高多径分集的使用效果。当多径延迟时间超过了一个码片的持续时间，多径信号之间便不再存在相关性了。[6]这时就可以将不相关的两个路径分离，再处理。RAKE接收机原理图[6]，如图3。

解调

滤波



2

**…**

**…**

(m-1)

图3 RAKE接收机

RAKE接收机如果选用MRC方式，那么权值(i=1,2,…,m)可以取为多径信道复增益(i=1,2,…,m)的共轭，可以得到

= i=1,2,…,m (3)

这时的输出信噪比SNR是最大的，

SNR= (4)

其中，G是扩频比增益，是噪声功率，所以想要使用MRC就需要在接收端估计多径信道的冲击响应，尽可能多的收集多径信号的能量，增加RAKE接收机的指峰数，这样就会增大系统硬件的复杂性，以及系统的功耗，而且对于下行的信号实现起来难度更大。所以，利用线性系统的互易原理，将接收端的RAKE分集技术等效地搬到发射端来实现，就是我们说的发送分集技术，相当于在发射端预先实现了一次RAKE接收技术。

**2.4 Viterbi译码**

Viterbi译码算法（简称VA算法），是由Viterbi在1967年首先提出的，它是一种针对卷积码的最大似然译码算法。它不是在网格图上依次比较所有的可能路径，而是接收一段，计算、比较一段，保留最有可能的路径，从而使得整个码序列是一个最大似然序列。

Viterbi译码算法优点是，在码的约束比较小时，它比序列译码算法效率更高、速度更快，译码器也较简单。缺点就是随着约束长度的增加算法的复杂度增加很快，比如，当约束长度N为7时要比较的路径就有64条，而当约束长度为8时路径变为128条，此时的复杂度大大增加，所以Viterbi译码一般应用在约束长度小于10的场合中。

虽然有许多算法降低了复杂性、减少了运算量，但它们必然以牺牲性能为代价。希望立足于不降低算法性能，寻求实现最大似然译码的优化方法。这点我们主要是通过软件与硬件实现相结合做到的。Viterbi算法主要由路径度量模块（BMG）、加比选单元（ACS）、路径度量存储管理单元（MMU）、路径回溯单元（TB）和幸存路径存储管理单元（SMU）五部分组成，如图4。[7]

BMG

input

output

TB

BMG

ACS

SMU

RAM

图4 Viterbi译码流程图

分支度量计算度量单元（BMG）用来对所有的状态进行编码，然后计算输入的待译码码元与这些编码的软距离。加比选单元（ACS）对BMG单元送来的路径度量值进行累加，并且比较出较小的，将其存储起来，标识出来自哪个分支（0或1，幸存比特），存到SMU中，当达到回溯深度时，将最小状态送给TB单元进行回溯。

**3 仿真结果分析**

根据上文的分析，利用Matlab工具建立了一个简单的CDMA2000 1x下行链路模型，码片频率为1.2288MHz，采用QPSK调制，载频为2.11GHz，用修正的Jakes模型模拟多径信道的参数。假设接收到的符号、码片都同步。

扩频比对系统性能的影响十分重要，选取移动速度为10km/h，当选取字长为3比特，此时扩频比为8，仿真的误码率曲线如图5所示。随着信噪比的增加，仿真系统的误码率下降较快，但是当信噪比为18dB时，此时的误码率达到了最小值，即使再增加信噪比，误码率也不会再减小。



图5 扩频比8的误码率曲线

在相同的情况下，对字长为4，扩频比为16的情况进行仿真，结果如图6所示。误码率呈现下降



图6 扩频比16的误码率曲线

的趋势，由于只仿真了信噪比为0,2,4,…,20dB的情况，可以看到，信噪比为20dB时，误码率仍然有下降的趋势，还没有达到此时的最小误码率。

在移动速度为10km/h时，选择字长为2、3、4，即扩频比为4、8、16这三种情况进行了对比，仿真结果如图8所示。扩频比为8、16时，误码率相比于扩频比为4的情况已经有明显降低，信噪比增



图8扩频比为4、8、16对比曲线

大，误码率下降越多，尤其是信噪比14dB之后，相差大于10dB，对于系统的影响很明显。扩频比为8和16这两种情况在信噪比为18dB之前差距很小，由于信噪比大于18dB之后，扩频比为8情况的误码率达到最小值，而扩频比为16的情况还有下降趋势，扩频比为16的情况性能更优越。

**4 总结**

本文介绍了CDMA技术的原理和优点，对CDMA2000 1x下行链路的模型结构做了较为详细的讲解，研究了扩频比对CDMA2000系统性能的影响。仿真结果表明 ，增大扩频比，可以降低仿真系统的误码率，扩频比为16时，误码率随信噪比的增加下降较快，此时的仿真系统性能较为优越。由于符号速率=码片频率/扩频比，扩频比越大，符号速率就会越小，在设计系统时，要考虑到这一点，选取合适的扩频比。

**参考文献**

1. 吴雨川. 码分多址(CDMA)技术及其最新研究进展[A]. 武汉科技学院学报, 2005, (10): 1009-5160.
2. 刘卫国. CDMA主要技术特点浅析[J]. 电信快报, 2002, (8): 15-17.
3. 李善峰, 殷玲. CDMA技术与第三代移动通信的发展[J]. 山东电子, 2002(4): 46-47+52.
4. 陈玉, 尤肖虎. CDMA200下行链路定点仿真研究[J]. 电路与系统学报, 2002(01): 32-36.
5. 井敏英. RAKE接收技术分析与仿真[J]. 常州工学院学报, 2012, 25(05): 33-36.
6. 蒋俊峰. 无线收发芯片比较与选择[J]. 今日电子, 2003(9): 56-57.
7. 段高攀, 杜慧敏, 韩俊刚等. 可编程Viterbi译码器设计与实现[J]. 电子技术应用, 2014, 40(03): 29-31.