

# WCDMA 中的 OVSF 码分配算法<sup>①</sup>

刘欢 惠晓威 (辽宁工程技术大学 电子与信息工程学院 辽宁 葫芦岛 125105)

**摘要:** 作为第三代移动通信 IMT-2000 中三大主流技术之一的 WCDMA, 采用长度可变的正交码序列 OVSF 作为信道化扩频序列, 可支持多种速率请求。OVSF 码的可变长特性可以满足通信中的多速率业务要求, 而其正交性质则可以减小信道间的相互干扰。对 OVSF 码进行了研究, 通过理论及 MATLAB 仿真验证了其正交性, 分阶段对单码分配、动态码分配及满足不同 QoS 业务要求的动态码分配进行了介绍, 并分别针对系统吞吐量和码阻塞率对各单码分配算法进行了仿真比较, 验证了各种算法之间的性能优劣。

**关键词:** WCDMA; 正交可变扩频因子; 码分配; MATLAB 仿真

## OVSF Code Assignment Algorithm in WCDMA

LIU Huan, HUI Xiao-Wei

(Electronics and Information College, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China)

**Abstract:** As one of the three mainstream technologies in the 3rd generation mobile communication IMT-2000, WCDMA uses OVSF as its channelization codes, which can support a variety of rate requests. The variable length feature of OVSF codes can meet the multirate traffic requirements in communication, and its orthogonal nature can reduce the mutual interference between channels. This paper studies OVSF codes and verifies the orthogonality of OVSF codes in theory through MATLAB simulation. It introduces the single-code assignment, dynamic code assignment and the dynamic code assignment fulfilling different QoS requirements by stage. It also compares the system throughput and code blocking probability of each single-code assignment algorithm by simulation to verify the performance of various algorithms.

**Keywords:** WCDMA; OVSF; code assignment; MATLAB simulation

## 1 引言

第三代移动通信除支持单一速率的话音业务外, 还可支持不同速率的多媒体业务, 这就要求系统能够支持不同用户的可变速率传输。WCDMA 系统采用长度可变的正交可变扩频因子码(OVSF)作为信道化码, 为其提供高度灵活的业务起了重要作用。基于 OVSF 码资源的有限性, 如何合理的分配 OVSF 码也一直是研究的热点问题。近年来, 随着人们的不断深入研究, OVSF 码的各种分配算法的不断提出也经历着不同的思想阶段: 单码分配、引入码重分配、考虑不同 QoS 业务要求。

## 2 OVSF码

WCDMA 物理层的比特速率经过与扩频码相乘, 提高为统一的码片速率: 3.84Mbps。码片速率提高, 信号频谱也随之扩散, 因此, OVSF 码又可称为扩频码, 码片速率提高的倍数又叫扩频因子 SF。OVSF 码可以表示为满二叉树形式, 如图 1 所示。

其中 R、2R、4R、8R 等为各层节点支持的传输速率。OVSF 码字可记作  $C_m, n$ , 其中  $m$  为层数,  $n$  为码字序号。按照 OVSF 码的迭代生成规律, 码树中码字分别为:  $(0,1)=\{1\}$ ,  $(1,1)=\{1,1\}$ ,  $(1,2)=\{1,-1\}$ ,

<sup>①</sup> 基金项目:辽宁省教育基金(2008D028)

收稿时间:2009-10-08;收到修改稿时间:2009-11-17

$(2,1)=\{1,1,1,1\}$ ,  $(2,2)=\{1,1,-1,-1\}$ ,  $(2,3)=\{1,-1,1,-1\}$ ,  $(2,4)=\{1,-1,-1,1\}$ 等等。图中忙码为已分配出去的码字, 禁码为因其父码或子码是忙码而不能被分配的码字, 其余则为空码。也只有处于空码状态的码才能分配给用户。当一个空码被分配给用户后, 要阻塞其所有父码及子码, 使其均变为禁码。

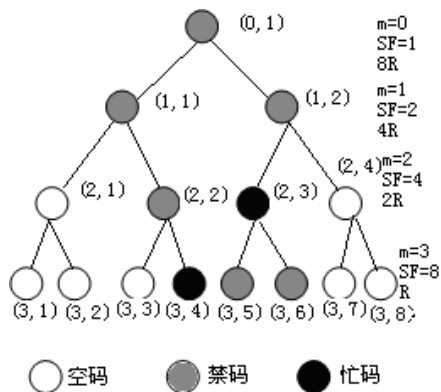


图1 OVSF 码树

OVSF 码的可变长特性可以满足通信中的多速率业务要求, 而其正交性质则可以减小信道间的相互干扰。呼叫到来时, 系统分配给每个呼叫的 OVSF 码是必须正交的, 码树中具有以下关系的码相互正交:

- 1) 位于码树同层的所有码字相互正交;
- 2) 彼此没有父子关系的任何两个不同层的码相互正交。

OVSF 的特色就是在相同或不同长度的码字之间相互正交。如, 对同层的  $C_{2,1}$  和  $C_{2,3}$  进行相关运算, 有  $C_{2,1} \cdot C_{2,3} = C_{2,1}(1) \cdot C_{2,3}(1) + C_{2,1}(2) \cdot C_{2,3}(2) + C_{2,1}(3) \cdot C_{2,3}(3) + C_{2,1}(4) \cdot C_{2,3}(4) = 1 \times 1 + 1 \times (-1) + 1 \times 1 + 1 \times (-1) = 0$ , 可见, 两者是正交的。对不同层(不同长度)的码字进行相关运算, 需要先将短码构造成长码等长的码字, 如对  $C_{1,1}$  和  $C_{2,4}$  进行相关运算, 有  $C_{2,4} = C_{1,1}(1) \cdot C_{2,4}(1) + C_{1,1}(2) \cdot C_{2,4}(2) + C_{1,1}(3) \cdot C_{2,4}(3) + C_{1,1}(4) \cdot C_{2,4}(4) = 1 \times 1 + 1 \times (-1) + 1 \times 1 + 1 \times (-1) = 0$ , 可见, 这两者也是正交的。而当位于不同层的码字之间存在直通路是, 码字之间是有相关性的, 如  $C_{1,1}$  和  $C_{2,1}$ 。所以, 当一个码已经在一个时隙中采用时, 则其上级码树直至树根上的码和下级码树所有的码不能在同一时隙中使用, 因为这些码不

一定是正交的。OVSF 码的正交性可经 MATLAB 仿真, 由图 2 验证:

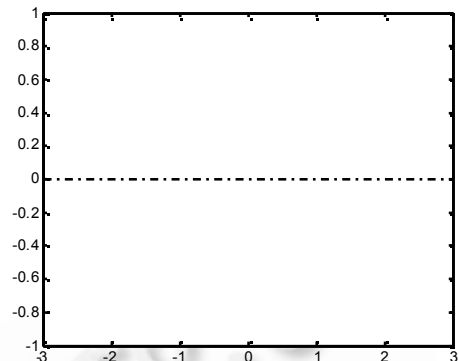


图2 OVSF 码的正交性

OVSF 码在分配过程中受到限制, 不恰当的码分配策略则会导致码阻塞或者信道化码资源受到限制。当码树经过一段时间的使用, 出现码表碎片时, 进行码重分配则是重要的。而 OVSF 码的各种分配算法也是由起初简单的单码分配开始, 进一步着眼于码重分配和满足不同的 QoS 业务要求等不断地进行着改进的, 以求 OVSF 码资源的充分利用的。

### 3 单码分配

从码树中为用户分配一个码的过程即为单码分配, 其硬件复杂度小, 易于实现。单码分配的过程为: 当一数据率为  $iR$  的请求到达时, 系统首先判断  $iR$  是否大于此时系统容量, 若大于则阻塞该请求, 否则在相应速率层按一种准则选择一个空码分配给该请求。目前, 具有代表性的单码分配算法有随机、极左、紧凑和权重算法四种。另外, 文献[1]中, 针对碎片提出了一种极左碎片(自身为空码但兄弟码为禁码或忙码的码字即为碎片)算法, 该算法首先选择码树相应速率层最左边的碎片分配给用户。极左使分配过程最简, 分配碎片能充分利用码资源。该算法也是一种相当简单的单码分配算法。

本文首先针对系统的吞吐量这个统计量对随机算法、紧凑算法和权重算法进行了 MATLAB 仿真比较, 仿真所采用呼叫请求速率模型 B: 组合 1(1R、2R、4R、8R, 或称为 1111 模型)中各速率的比例为 1:1:1:1, 平均呼叫请求速率  $R' = 3.75R$  (高低速率呼叫个数相等, 负荷较重)。仿真结果如图 3 所

示:

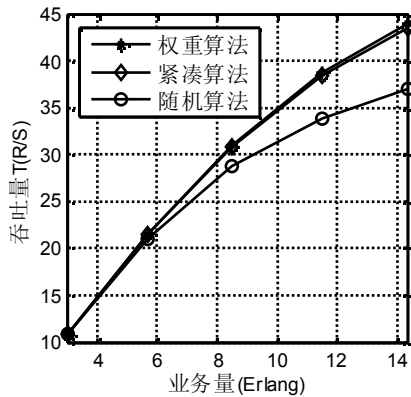


图3 吞吐量比较

由图3可见,随着系统业务量的增加,单位时间内占用OVSF码的呼叫用户增多,三种单码分配算法的吞吐量都增大;但随着业务量的增加,三种算法的优劣就显现出来了:权重算法的吞吐量最大,紧凑算法稍小,随机算法系统吞吐量最小,性能最差。

针对码阻塞率这个统计量对极左、极左碎片和权重算法进行仿真比较,仿真所采用的是速率模型C:组合1(1R、2R、4R、8R,或称1248模型)中各速率的比例为1:2:4:8,平均呼叫请求速率 $R' = 5.6R$ (高低速率呼叫个数较多,负荷很重)。结果如图4所示:

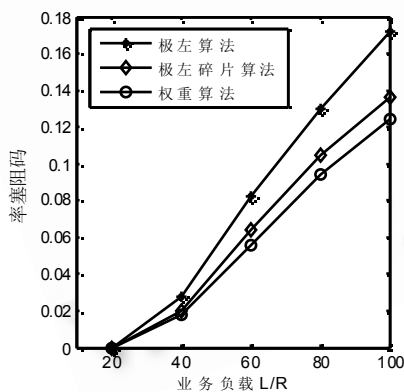


图4 码阻塞率比较

由图4可见,总体来看,在该速率模型下,高速率请求较多,三种算法的码阻塞率都较高;随着系统业务负载的增加,三种算法的码阻塞率增加;权重算法码阻塞率最小,极左碎片算法比权重法稍高,但要比极左算法低很多,可见,在码阻塞率上,极左碎片算法比极左算法有较大改进。

#### 4 动态码分配算法

上文提到的五种单码分配算法都没有考虑发生阻塞时重新分配码字的问题。而码阻塞的出现,使得码重分配成为必要。这类算法之所以称为动态分配算法,主要原因是发生码字阻塞时,系统可以通过码字重新分配策略动态调整一个用户业务的OVSF码。也就是对禁码或忙码进行调整,空出满足要求的码字分配给用户。通过重新分配码字,可以消除一些码字的阻塞,从而提高码字利用率,以充分利用码字资源。

T.M inn 和 K.-Y.Siu 提出的基本动态OVSF码分配算法是所有分配算法的基础,该算法的关键策略是选择可用OVSF码和重新分配OVSF码。其基本步骤为:

- 1) 当新用户进入系统时,若OVSF码树所能支持的通信速率小于用户业务的传输速率的要求,则分配失败;否则进行2)。
- 2) 若码树中存在一个可用的码字,其支持的速率与用户业务传输速率相等,则分配给用户,且阻塞其所有祖先码和子孙码;否则进行3)。
- 3) 对系统中已分配码字的用户重新分配码字,若之后在码树中能找到一个符合要求的可用码字,则将其分配给用户,且阻塞其所有祖先码和子孙码;否则分配码字失败。

伴随着码字分配的进行,码字阻塞现象是不可避免的问题。因此必须采用合适的策略,尽可能使阻塞码的数量在最大限度内保持最小。随机动态分配算法采用随机分配,存在码阻塞的概率较大。针对码阻塞率和系统开销的问题,很多学者也进行了深入的研究,不断的对算法进行改进。如文献[2]中提出动态有序分配算法:当新呼叫到达时,若系统容量允许,则从相应层低序号码字向高序号顺序搜索,有空码就分配,否则进行码字重排。该算法能极大的降低了码阻塞率,减少了系统开销,且在系统负荷有余量的条件下保证了用户呼叫的公平性。文献[3]中提出了引入了代价函数的改进型OVSF码随机动态分配算法,该算法采用了搜索最小代价函数值、以邻近原则进行码树重排、释放同级码字中具有最大代价函数的码字策略。算法的代价函数需考虑干扰代价、业务需求代价、紧凑分配代价。该算法有效的降低了码阻塞率、系统的信令开销和复杂度。

### 5 对不同QoS业务要求的动态OVSF码分配算法

WCDMA 系统中，不同的用户业务具有不同的 QoS 要求且速率也不恒定<sup>[4]</sup>。而前面提到的各种算法都没有考虑不同业务的差异。Carl E. Fossa, Jr. 和 Nathaniel J. Davis 提出的满足不同业务要求的动态 OVSF 码分配算法将系统中业务分为高 QoS 业务和 best-effort 业务。算法尽力满足前者的传输需要，而当传输的速率未达到系统的峰值速率时，利用剩余的无线带宽传输 best-effort 业务。该算法基本流程如图 5 所示：

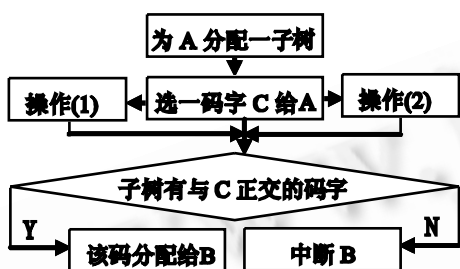


图 5 算法流程

其中，A 为高 QoS 业务，B 为 best-effort 业务，操作(1)为：若传输 A 的时延超过了门限值，则将 C 的父码分配给 A，同时阻塞 B；操作(2)为：当传输 A 信道利用率低于门限值，则将 C 的子码分配给 A，同时阻塞 B。该算法能有效地利用无线带宽传输各种业务，同时为高 QoS 要求的业务提供所需服务质量保障，但在传输 best-effort 业务时可能会因没有可分配的码字而暂时无法传输。

为了提高 WCDMA 系统中高优先级业务的接入率，文献[5]针对具有不同 QoS 要求的业务提出了抢占式 OVSF 码动态分配算法。该算法按优先级将 WCDMA 系统中的业务分为高、低优先级，当新的高优先级业务呼叫到达时，若出现容量阻塞则通过码字抢占机制进行分配，否则按动态码分配策略进行分配。在抢占机制中提出了优先级系数  $P_{m,n}$  和阻塞系数  $B_{m,n}$

$$P_{m,n} = \begin{cases} P_{m,n}, & C_{m,n} \text{是忙码;} \\ \max \left[ P_{j,k} \mid C_{j,k} \in \left( S_A^{(m,n)} \cup S_D^{(m,n)} \right), I_B^{(j,k)} = 1 \right], & C_{m,n} \text{是禁码;} \\ 0, & C_{m,n} \text{是空码;} \end{cases} \quad (1)$$

$$B_{m,n} = - \sum_{C_{j,k} \in S_A^{(m,n)}} [(m-j) I_B^{(j,k)}] + \sum_{C_{j,k} \in S_B^{(m,n)}} I_B^{(j,k)} \quad (2)$$

$P_{m,n}$  反映了占用或禁用该码字业务的最高优先级， $B_{m,n}$  反映了码字的父码和子码集合中忙码的情况。码字抢占机制通过这两个系数选择码字进一步提供在容量阻塞时接纳高优先级业务呼叫的能力，通过优先级系数选择码字可以保证高优先级业务不被中断，选择阻塞系数最小的码进行分配可保证最少数目的低优先级业务被中断。动态码分配策略则通过极左极右准则和最大剩余容量选择码字，完全消除了码阻塞，提高了呼叫接入率。文献对该算法进行了 MATLAB 仿真，验证了其对于高优先级业务接入率的提高，同时保证低的中断业务数和重分配码数，能够更好地为不同类型的业务提供 QoS 保证。

### 6 结语

OVSF 码作为 WCDMA 系统的一种无线资源，需要合理分配。如何在系统容量有限的前提下，尽可能多地为不同呼叫连接分配 OVSF 码是码字分配急需解决的问题<sup>[6]</sup>。本文通过对 OVSF 码的研究，介绍了各种从不同角度改进 OVSF 码分配的算法，但也存在着各自的不足之处，有待进一步地改进。在 OVSF 码的分配基本原则下，还有众多的实际因素制约着码的分配和使用，其中最主要的是码的可利用率及实现复杂度。

#### 参考文献

- 1 杨恺,黄爱苹等.OVSF 码分配算法研究.无线电通信技术, 2006,32(5):32-35.
- 2 朱春梅,徐菲等.基于 OVSF 码动态有序分配算法的呼叫公平性研究.计算机工程与应用, 2003,12(3):12-14.
- 3 郑宝鑫,石文孝等.改进型 OVSF 码随机动态分配算法.吉林大学学报, 2008,26(6):553-557.
- 4 张平,王卫东.WCDMA 移动通信系统.北京:人民邮电出版社, 2006.
- 5 邓周,金德鹏.抢占式 OVSF 码动态分配算法.清华大学学报, 2008,48(7):1112-1115.
- 6 Erlebach T, Jacob R. An Algorithmic View on OVSF Code Assignment. Algorithmica, 2007,47:269-298.