

# 多媒体 CDMA 系统中最小传输时间的 动态资源分配方案

汪勇刚, 朱世华, 吕 玲

(西安交通大学信息与通信工程系, 陕西西安 710049)

**摘 要:** 本文提出了两种在多媒体 CDMA 系统中最小化传输时间的动态资源分配方案. 对于多媒体业务, 当我们让传输时间是可变量数据速率的函数时, 该方案即可找出当前用户组的最优数据速率集, 以使系统的传输时间最小. 文中给出并证明了计算最优速率集和对应最小传输时间的方法, 归纳了当系统中业务变化时, 根据变化的 QoS 要求和用户数目进行动态资源分配的流程. 最后, 与最大吞吐量动态资源分配方案进行了比较, 给出了三种方案在吞吐量和传输时间上的差异.

**关键词:** 码分多址; 动态资源分配; 移动通信; 多媒体

**中图分类号:** TN929. 533

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0372-2112 (2003) 04-0518-05

## Dynamic Resource Allocation to Minimize Transmission Time in Multimedia CDMA Systems

WANG Yong-gang, ZHU Shi-hua, LV Ling

(Dept. of Information and Communication Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shaanxi 710049, China)

**Abstract:** In this paper, two resource allocation schemes are proposed to minimize the transmission time in multimedia CDMA systems. When the time is expressed as a function of various data rates, the optimum set of data rates for concurrent user groups to achieve minimum transmission time can be derived. The approach of calculating the optimum set of data rates and the minimum transmission time is presented and proved. For various traffic conditions, we proposed dynamic resource allocation schemes according to various QoS requirements and the number of users. Finally, the two new schemes are compared with the maximum throughput resource allocation scheme, and the differences of these schemes in throughput and transmission time are presented.

**Key words:** CDMA; dynamic resource allocation; mobile communications; multimedia

### 1 引言

在未来的无线移动通信系统中, 多媒体业务, 如语音、图像、视频和数据的需求会进一步增加, 应用多址扩频技术的 CDMA 系统具有高度的灵活性和频谱利用效率, 被认为是承载多媒体业务的最主要的无线系统<sup>[1,2]</sup>. 由于 CDMA 系统只有有限的无线资源, 而多媒体业务具有可变的 QoS (业务质量) 要求, 因此系统资源必须合理地分配给用户, 才能获得最高的利用效率. 有效利用系统资源, 首先要确定系统容量的约束条件, 以及系统中存在的对于不同业务类型用户组的可供分配的资源<sup>[3,4]</sup>. 按照比特速率在一个传输块中可否改变, 承载业务被分为两类, 固定比特速率 (CBR) 业务和可变比特速率 (VBR) 业务. 在分配时, 各种业务应在满足 QoS 要求的基础上获得自己所需的比特速率, 并使得系统的效率最高或最优.

最优的准则有很多种, 如系统吞吐量最大, 用户的传输时

间最小等. 最大吞吐量的动态资源分配方案在文献[6,7]中已有研究, 给出的结论是, 为了使系统吞吐量最大, 只有一个 VBR 用户组可以分配较高的比特速率, 而其它 VBR 用户组只能以满足 QoS 要求的最低速率传输数据. 这种倾斜的分配方案虽然可以获得最大的吞吐量, 但带来的后果是, 某些 VBR 用户组只能一直以最低速率传输数据, 从而使传输时间变得过大. 因此, 该方案并不是一种十分合理的选择. 在“面向业务”的未来无线移动通信系统中, 评价一个系统性能好坏的标准并不局限于系统的总业务流量, 而更重要的一点是提供给承载业务的服务的满意程度. 基于数据包传输的多媒体业务, 尤其是人机交互形式的业务, 响应时间是一个非常重要的评价服务质量的指标, 因此, 与服务的响应时间密切相关的业务传输时间变得尤为重要. 现有的资源分配方案的研究都以承载最多的业务、最大化的业务流量为出发点, 而都没有考虑怎样获得最满意的“面向业务”的服务质量. 本文的研究则以此

收稿日期: 2001-11-05; 修回日期: 2002-07-16

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 60072040); 国家“863”项目 (No. 2001AA123041)

为出发点,目的是使可变比特速率业务的传输时间尽可能小,缩短服务的响应,提高系统的整体性能。

本文研究了一种获得最小传输时间的业务速率集的方法,并依据该方法给出了在业务变化条件下,获得最小传输时间的动态资源分配方案。最小传输时间可以从两个方面考虑,一是平均的传输时间最小,二是最大的传输时间最小。我们的分析也从这两方面着手,给出了最优解的证明、求解的过程和结果。文中还分别对最大吞吐量、平均传输时间最小和最大传输时间最小这三种动态资源分配方案作了数值仿真,比较了三种方案在吞吐量和传输时间上的差别。

## 2 系统容量、吞吐量和传输时间

在多媒体 CDMA 系统中,假定同时存在  $M$  个固定比特速率(CBR)的用户组和  $N$  个可变比特速率(VBR)的用户组,在同一用户组内的用户具有相同的 QoS 要求,即具有相同的  $E_b/I_0$  和相同的数据速率。为了满足所有用户的 QoS 要求,CDMA 系统的容量必须受限于约束条件<sup>[3-5]</sup>

$$\sum_{i=1}^M c_i K_{c_i} + \sum_{j=1}^N v_j K_{v_j} = 1 \quad (1)$$

式中:  $c_i = \left[ \frac{W}{R_{c_i} (E_b/I_0)} + 1 \right]^{-1}$ ;  $v_j = \left[ \frac{W}{R_{v_j} (E_b/I_0)} + 1 \right]^{-1}$ ; 下标  $c_i$  和  $v_j$  分别代表第  $i$  个 CBR 用户组和第  $j$  个 VBR 用户组;  $K_{c_i}$  和  $K_{v_j}$  分别是第  $i$  个 CBR 用户组和第  $j$  个 VBR 用户组中用户的个数;  $W$  是扩频带宽;  $E_b/I_0$  是接收机解调要求的比特能量与干扰谱密度之比;  $R$  是业务传输速率。我们定义  $R_{v_j, \min}$  是第  $j$  个 VBR 用户组要求的最小传输速率,则令  $R_{v_j} = a_j R_{v_j, \min}$ ,  $a_j$  定义为速率因子,  $a_j \geq 1$ 。在式(1)中,  $\frac{1}{a_j}$  认为是被一个用户占用的归一化的系统资源,它由用户业务的传输速率和  $E_b/I_0$ , 即 QoS 要求决定。在  $E_b/I_0$  确定的情况下,主要决定用户占用资源大小的因素是该用户业务的传输速率  $R$ 。由于 CBR 用户组的传输速率是固定的,因此它占用固定的系统资源,而 VBR 用户组在动态改变业务传输速率的情况下,可以动态地改变系统资源的利用率。

文献[7]给出了获得最大吞吐量  $T$  的最优速率因子集,这种资源分配即便可以使得系统在每一时刻取得最大吞吐量,但对于从获得较小的传输时间来看,并不是一种最优的选择。下面研究获得最小传输时间的最优业务速率集。

## 3 最小传输时间的业务速率

首先定义在 VBR 用户组中每一组用户请求传送的数据块长度为  $B_j$ ,若针对平均传输时间最小,  $B_j$  为组内用户数据块长度的均值,而如果针对最大传输时间最小,则  $B_j$  是组内用户数据块长度的最大值。这样,第  $j$  个用户组的传输时间为

$$T_j = B_j / R_{v_j} = B_j / a_j R_{v_j, \min} \quad (2)$$

$$\text{此外,令 } C = 1 - \sum_{i=1}^M c_i K_{c_i} = \sum_{j=1}^N v_j K_{v_j} \quad (3)$$

是除了 CBR 用户组占用的资源以外, VBR 用户组可自由支配的系统资源。

### 3.1 平均传输时间最小

问题可以描述为:找出最优的集合  $(a_1, a_2, \dots, a_N)_{opt}$ ,使得平均传输时间  $D$  最小,

$$D = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{B_j}{a_j R_{v_j, \min}} K_{v_j} \quad (4)$$

约束条件为

$$\sum_{j=1}^N v_j K_{v_j} = C \quad (5)$$

$$a_j \geq 1 \text{ for all } j \quad (6)$$

这里,  $v_j$  是  $a_j$  的非线性函数,并且  $C \leq 1$  ( $a_j = 1$  for all  $j$ )。

为了求解的方便,先将式(6)中的条件放宽,令  $a_j$  可以取任意正数,即  $a_j > 0$ ,并在式(5)的约束条件之下,证明如果  $D$  在  $a_j > 0$  对于所有  $j$  的域上有极值点,则在极值点上取得的  $D$  值是最小值。记  $b_j = 1/a_j$ ,  $K = \sum_{j=1}^N K_{v_j}$ , 则  $D = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^N \frac{b_j B_j K_{v_j}}{R_{v_j, \min}}$ , 对  $b_k$  求二阶导,得到

$$\frac{\partial^2 D}{\partial b_k^2} = \frac{2W}{K} \sum_{j=1}^N \frac{K_{v_j} B_j (E_b/I_0) v_j}{v_j^2 R_{v_j, \min}^2 (E_b/I_0)^2 v_k^2} \left( 1 + \frac{v_k K_{v_k}}{v_j K_{v_j}} \right) \quad (7)$$

因为式(7)中所有的值都是正值,所以对所有的  $k$ , 有  $\partial^2 D / \partial b_k^2 > 0$ , 因此  $D$  在  $b_j > 0$  的区域上是下凸的。由于  $a_j$  和  $b_j$  一一对应,因此  $D$  在  $a_j > 0$  的域上也是下凸的。如果存在极值点,则在极值点上取得的值是最小值。

下面用拉格朗日乘数法求解满足式(5)的  $D$  的条件极值。先构造拉格朗日函数

$$F = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^N \frac{B_j K_{v_j}}{a_j R_{v_j, \min}} + \left( \sum_{j=1}^N v_j K_{v_j} - C \right) \quad (8)$$

求其对  $a_k$  和  $v_k$  的偏导,并令其等于零,得到

$$F_{a_k} = \frac{K_{v_k}}{a_k^2 R_{v_k, \min}} \left[ \frac{2 v_k W}{(E_b/I_0) v_k} - \frac{B_k}{K} \right] = 0 \quad (9)$$

$$F_{v_k} = \sum_{j=1}^N v_j K_{v_j} - C = 0 \quad (10)$$

由式(9)可以解得  $v_k = \left[ \frac{B_k (E_b/I_0) v_k}{WK} \right]^{1/2}$ , 并代入式(10), 得

$$\left( \frac{B_k (E_b/I_0) v_k}{WK} \right)^{1/2} = \left[ \sum_{j=1}^N \frac{K_{v_j} B_j (E_b/I_0) v_j}{K} \right]^{1/2} / C \quad (11)$$

令  $Q_k = \frac{C}{\left[ \sum_{j=1}^N \frac{K_{v_j} B_j (E_b/I_0) v_j}{K} \right]^{1/2}}$ , 由

$$v_k = \left[ \frac{W}{a_k R_{v_k, \min} (E_b/I_0) v_k} + 1 \right]^{-1} = Q_k \quad (12)$$

得到

$$a_k = \frac{W}{R_{v_k, \min} (E_b/I_0) v_k (1/Q_k - 1)} \quad (13)$$

因此  $D$  在  $a_j > 0$  对于所有  $j$  的区域上存在极值点  $A = (a_1, a_2, \dots, a_N)$ , 并在极值点上取得最小值,其中  $a_k$  由式(13)求解,  $1 \leq k \leq N$ 。

下面考虑在  $a_j \geq 1$  区域上的最小值,如果  $D$  的极值点  $A$  不在  $a_j \geq 1$  的区域内,即有  $T$  个分量小于 1,那么  $D$  的最小值只能在边界处取得。



或一个呼叫结束时,用户组和它们占用的资源被更新,依据不同的优化目的,可以求得最优的速率集,使得平均传输时间最小或最大传输时间最小,并更改各 VBR 用户组的业务传输速率.

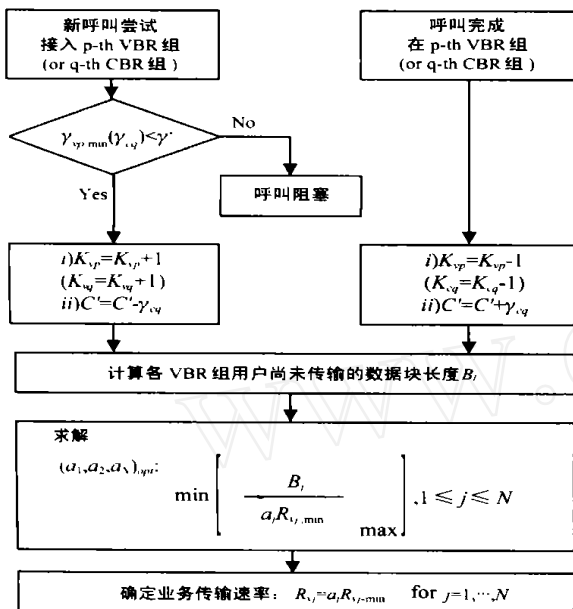


图2 最大传输时间最小的动态资源分配方案

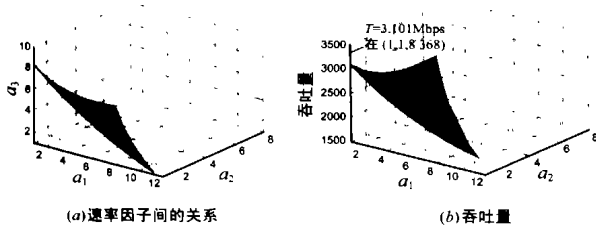
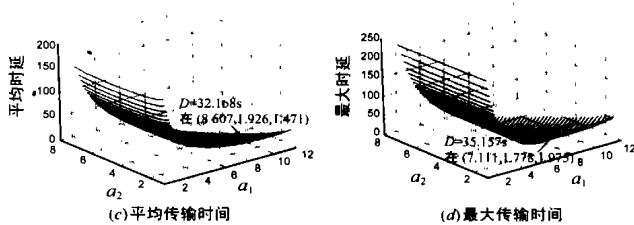


图3(a) 速率因子间的关系

(b) 吞吐量



(c) 平均传输时间

(d) 最大传输时间

表2 三种方案的比较

优化目标	最优速率集 (a <sub>1</sub> , a <sub>2</sub> , a <sub>3</sub> ) <sub>opt</sub>	吞吐量 (Mbps)	平均传输 时间(s)	最大传输 时间(s)
最大吞吐量	(1, 1, 8.368)	3.1010	172.912	250
平均传输时间最小	(8.607, 1.926, 1.471)	1.9604	32.168	47.219
最大传输时间最小	(7.111, 1.778, 1.075)	1.9480	35.157	35.157

如图3(c)、(d)所示,传输时间的函数是一个下凸的形状,因此最小值在最底部取得.观察表2中的数值,两种最小传输时间的动态资源分配方案是根据请求业务的数据块长度将保留资源合理地分配给VBR用户组,使每个VBR用户都以一个恰当的速率传送数据,保证了系统在传送这些数据时所用的平均时间或最大时间最小.从表2的数据来看,后两种方案比第一种方案的吞吐量减小了1/3,但平均传输时间和最大传输时间却都不到原先的1/5,因此,虽然这两种方案在瞬时刻的吞吐量不是最高,但从系统全局来看,可以使每个呼叫请求都能以较快的时间结束,缩短了服务的响应时间,对于系统性能的提高是一个很好的选择.

## 5 数值结果及分析

我们考虑一个具有5个用户组,其中包括2个CBR用户组和3个VBR用户组,并且有明确的QoS要求<sup>[8]</sup>的系统,扩频带宽取  $W = 3.84\text{MHz}$ ,用户的数目和QoS要求如表1所示.

表1 用户组的参数

CBR group1	$R_{c1} = 8\text{kbps}$ , ( $E_b/I_0$ ) <sub>c1</sub> = 4dB, $K_{c1} = 20$
CBR group2	$R_{c2} = 12.2\text{kbps}$ , ( $E_b/I_0$ ) <sub>c2</sub> = 4dB, $K_{c2} = 16$
VBR group1	$R_{v1,min} = 8\text{kbps}$ , ( $E_b/I_0$ ) <sub>v1</sub> = 4dB, $K_{v1} = 10$ , $B_1 = 2\text{Mbits}$
VBR group2	$R_{v2,min} = 64\text{kbps}$ , ( $E_b/I_0$ ) <sub>v2</sub> = 2dB, $K_{v2} = 4$ , $B_2 = 4\text{Mbits}$
VBR group3	$R_{v3,min} = 144\text{kbps}$ , ( $E_b/I_0$ ) <sub>v3</sub> = 1.5dB, $K_{v3} = 2$ , $B_3 = 10\text{Mbits}$

为了利用全部系统资源,设置  $C = 1$ ,根据式(1)计算的用户组速率因子关系在图3(a)中画出.吞吐量  $T$ 和速率集的关系<sup>[7]</sup>在图3(b)中画出,根据式(4)计算的平均传输时间和速率集的关系和根据式(14)计算的最大传输时间和速率集的关系分别在图3(c)和图3(d)中画出.由于  $a_3$  由  $a_1, a_2$  唯一确定,因此图3(b)(c)(d)中画的只是以  $a_1, a_2$  为变量的函数图形,图中标注的点是取到最大最小值的最优速率集和极值的量.不同资源分配方案得到的在吞吐量和传输时间的差异在表2中也作了比较.

值得注意的一点是,最优速率因子集中元素的数值求解结果是大于等于1的实数,在实际系统中,传输速率不可能取任意实数值,只能取一些离散的点,因此需要对  $a_j$  进行向下或向上对齐的后处理.这样获得的是次最优的速率因子集,系统性能比理想的要略有所下降.在离散情况下,约束条件(5)变为  $\sum_{j=1}^N v_j K_{vj} \leq C$ ,次最优的集合要使得  $C - \sum_{j=1}^N v_j K_{vj}$  最小,这样才能获得最小的对系统性能目标的扰动.

## 6 结论

本文提出的动态资源分配方案,对于多媒体业务,当传输时间是可变数据速率的函数时,该方案就是找出当前用户组的最优数据速率集,使得系统的传输时间最小.本文给出了计算最优速率集和对应最小传输时间的方法,并对方法进行了证明,以及当系统中用户增加或者减少时,根据可变的QoS要求和用户数目进行动态资源分配的流程.通过与最大吞吐量的动态资源分配方案相比较,并以一个简单系统的结果为例,

可以看到三种方案在吞吐量、平均传输时间和最大传输时间上的差异。结论是,虽然最小化平均传输时间和最大传输时间的动态资源分配方案在瞬时的吞吐量上要小一些,但是每个呼叫请求都能在较短的时间内结束,平均传输时间和最大传输时间都降低了很大的幅度,因而使服务的响应时间更快,提高了系统整体的性能。

#### 参考文献:

- [ 1 ] Baier P W. A critical review of CDMA [A]. Proc. of IEEE Veh. Tech. Conf., VTC '96 [C]. Atlanta, USA, 1996:6 - 10.
- [ 2 ] Wu J, Kaho R. A wireless multimedia CDMA system based on transmission power control [J]. IEEE J. Select. Areas Comm., 1996, 14 (4): 683 - 691.
- [ 3 ] Yang J R, Choi Y Y, et al. Capacity plane of CDMA system for multimedia traffic [J]. Electron. Lett., 1997, 33 (17): 1432 - 1433.
- [ 4 ] Sampath A, Kumar P S, et al. Power control and resource management for a multimedia wireless CDMA system [A]. Proc. of Personal, Indoor and Mobile Radio Comm., PIMRC '95 [C]. Toronto, Canada, 1995:21 - 25.
- [ 5 ] Yun L, Messerschmitt D G. Power control for variable QoS on a CDMA channel [A]. Proc. of Military Comm. Conf., MILCOM '94 [C]. Fort Monmouth, NJ, USA, 1994:178 - 182.
- [ 6 ] Ramakrishna S, Holtzman J M. A scheme for throughput maximization in a Dual-Class CDMA system [J]. IEEE J. Select. Areas Comm.,

1998, 16 (6): 830 - 844.

- [ 7 ] Yang J R, Koo I S, et al. A dynamic resource allocation scheme to maximize throughput in a multimedia CDMA system [A]. Proc. of IEEE Veh. Tech. Conf., VTC '99 [C]. Houston, TX, USA, 1999:348 - 351.
- [ 8 ] Holma H, Toskala A. Both of Nokia, Finland, WCDMA for UMTS, Radio Access for Third Generation Mobile Communications [M]. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2000:167 - 170.

#### 作者简介:



汪勇刚 男, 1975 年 2 月出生于江苏省太仓市, 西安交通大学博士研究生, 现主要从事宽带移动通信系统中信道分配和无线资源管理等方面的研究。



朱世华 男, 1950 年 1 月出生于上海市, 西安交通大学教授、博导, 1987 年获英国 ESSEX 大学电子信息工程博士学位, 现从事移动通信, 数字传输, 宽带移动网络等方面的研究。