

## PMCAP/CDMA 系统中一种新的多址干扰控制技术

李凡 刘俊琳 朱建伟 朱近康

(中国科学技术大学个人通信与扩频实验室 合肥 230026)

**摘要** 多址干扰(MAI)是限制 CDMA 系统容量的瓶颈,而在无线通信系统中,为了实现数据的高速无差错传输,混合 ARQ 已经得到越来越多的应用。该文利用第二类混合 ARQ(HARQ type-II)中每次重传的数据分组有不同的纠错能力和抗多址能力的特性,提出了一种新的联合区分多址干扰控制方法。仿真结果显示该方法在 CDMA 系统中有比传统方法更好的性能。

**关键词** 码分多址,混合 ARQ,多址干扰,联合区分多址干扰控制

中图分类号: TN914.53

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2006)07-1242-04

## A New MAI Control Method in PMCAP/CDMA Networks

Li Fan Liu Jun-lin Zhu Jian-wei Zhu Jin-kang

(PCN&SS Lab, Univ. of Sci. & Tech. of China, Hefei 230026, China)

**Abstract** Multiple Access Interference(MAI) is a well-known bottleneck which limits the capacity of CDMA systems, and as is known to all, hybrid ARQ has been widely used in wireless communication systems to support error free high rate data transmission. A combined differentiated MAI control scheme for CDMA networks with hybrid ARQ type-II is proposed in this paper, taking into account that different trials of data packets have different error-correcting capabilities against MAI and largely different quantities. Simulation shows that this method has better delay and throughput performance than traditional MAI control methods.

**Key words** CDMA, Hybrid ARQ, MAI, CD-MAI

### 1 引言

众所周知,多址干扰(MAI)是限制CDMA系统容量的主要因素。因此,控制、消除多址干扰是提高CDMA系统容量的主要方法。PMCAP/CDMA (Preamble Minislot Channel Access Protocol/CDMA) 协议<sup>[1,2]</sup>同时考虑到干扰控制和服务质量(QoS)保证,采用由移动终端向基站发preamble发起接入请求,基站根据现有可用的码字数,接受若干终端的接入请求,拒绝其他终端的接入请求,并向终端反馈接入确认信息。获得接入确认的终端可以使用基站分配的码字开始传输数据,这种方法避免了由于使用公共信令信道给业务信道造成的干扰。

在PMCAP协议中,传统上通过简单限制每个时隙可传输的数据分组数目的方法来控制多址干扰。CDMA系统中,可以通过使用第一类(type-I)和 第二类(type-II)混合 ARQ(Automatic Repeat Request)技术提高系统性能<sup>[2,3]</sup>,混合 ARQ采取ARQ与前向纠错(Forward Error Control, FEC)结合的方式,发送方对待发送数据进行编码再发送,如果接收端不能正确解码,则请求发送端重传。根据重传策略的不同,分为第一类混合ARQ和 第二类混合ARQ,第一类混合ARQ中,在接收端,如果不能正确解码,则将该数据包丢弃,而发送端在收到重传请求后,会重传与前一次相同的编码后数

据;而在第二类混合ARQ中,接收端并不丢弃不能正确解码的数据包,而是将其与重传的数据包合并,以组成新的具有更强纠错能力的纠错码进行解码,而在发送端发送的重传数据也不必与前一次的相同。显然,采用第二类混合ARQ可以实现编解码速率的自适应,实现第二类混合ARQ的方法有很多,本文所讨论的基于第二类混合ARQ的PMCAP/CDMA系统中,使用码率匹配穿刺卷积(RCPC, Rate-Compatible Punctured Convolutional)<sup>[4]</sup>编码实现速率自适应编码,其基本原理是初始状态时,对将原始数据按照某种速率编码后产生的数据进行穿刺,从而提高初始发送数据的编码速率,在需要重传时,按照对应的穿刺矩阵将之前穿刺掉的编码比特发送到接收端,以期在接收端合并组成较低编码速率的纠错码,提高其纠错性能。

由于混合 ARQ 方案本身具有的特点,针对采用第二类混合 ARQ 的 PMCAP/CDMA 系统,如何实现更有效的多址干扰控制成为一个值得关心的问题。比如在使用 RCPC 编码实现第二类混合 ARQ 的 PMCAP/CDMA 系统中,每次重传的编码比特由于携带了更多的冗余信息,从而使得接收端合并后具有不同的纠错能力和抗多址干扰能力。考虑到这点,文献[5]中提出了一种区分 MAI 控制方法(D-MAI),在该多址干扰控制方案中,将不同重传轮次的数据包区分对待,对其采取不同的多址干扰控制标准,从而能够更有效地利用系统资源。但是在该方案中,不同重传轮次的数据包由于被区分

控制和轮询调度,所以它们是轮流发送的,并未考虑到传输过程中对应于不同重传轮次的数据包数目的分布。考虑到这一点,本文对区分 MAI 控制方案进行了改进,在对不同重传轮次的数据包进行区分多址干扰控制的基础上,同时对对应各重传轮次的数据包数目进行联合考虑,以确定最终发送的数据包,所以称之为联合区分 MAI 控制方法(CD-MAI)。采用这种方案,可以根据不同重传轮次的数据包数目的分布情况,在完成多址干扰控制的同时,选取更优的发送数据包组合,更大限度地利用系统资源,从而提高系统的性能。

本文的第2节简要介绍了 PMCAP/CDMA 的系统模型;第3节介绍了联合区分多址干扰控制方法,并与区分多址干扰控制方法进行了比较;第4节提供了相应的仿真结果比较以及性能分析;最后根据仿真结果给出了结论。

## 2 系统模型

图1给出了 PMCAP 系统中移动终端和基站端各自的流程模型。图中  $L$  表示系统总的码字数目,  $L_u$  表示已经被使用的码字数目,  $L_{ack}$  表示此次被允许接入的终端数目。

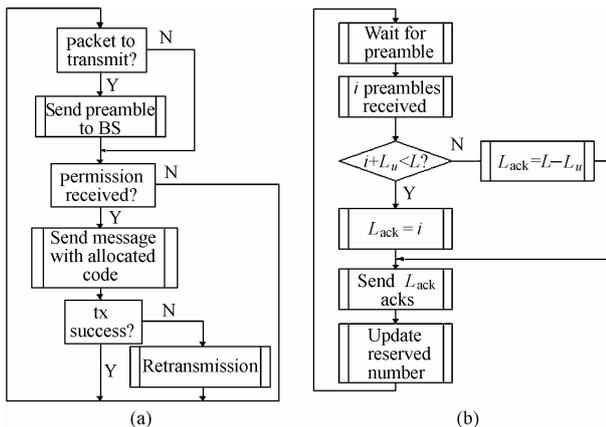


图1 PMCAP 系统中移动终端 (a) 及基站端 (b) 的流程

Fig.1 Flowchart of MT and BS in PMCAP  
(a) Mobile terminal (b) Base station

本文中,我们考虑一个单小区系统,包括一个基站,多个移动终端,终端利用码分多址(CDMA)技术和基站通信,系统总的可用码字数固定为  $L$  个。为了专注于所提算法的研究,我们假设基站到移动终端的无延时无差错反馈能力。需要指出的是,在该系统中,移动终端即使成功地接入后,在收到基站端的数据发送确认之前也是不能发送数据分组的。所以,事实上多址干扰控制可以在接入级和传输级两级实现。接入级多址干扰控制是指当系统没有剩余可分配的码字时,所有的接入请求都自然被拒绝,直到有码字被释放才能允许新的接入请求,从而达到了控制多址干扰的目的。而传输级 MAI 控制是指基站发送接入确认之后的多址干扰控制,基站需要决定每个时隙可同时传送的分组数,并选择相应的终端,向它们反馈数据传输确认信息。本文将着重介绍传输级的多址干扰控制。

## 3 联合区分多址干扰(CD-MAI)控制算法

在 PMCAP/CDMA 系统中,传统的 MAI 控制方法是简单地限制每个时隙传输的分组数目小于某个门限  $L$ ,我们可以称之为简易 MAI 控制方法。而在使用 RCPC 编码实现第二类混合 ARQ 的 PMCAP/CDMA 系统中,每次重传的数据分组由于采用了不同的编码速率,从而具有不同的纠错能力和抗多址干扰能力。考虑到这点,文献[5]中提出了一种区分 MAI 控制方法(D-MAI)。该方法中,不同轮次的重传分组被归类到 2 个不同的分组队列:第 1、第 2 次传输分组归类到第 1 个队列,第 3 次及 3 次以上传输分组归类到第 2 个队列。考虑到每个队列中的分组在接收端解码时有不同的纠错能力,对每个队列实行不同的 MAI 控制准则。在传输时,根据一定的调度算法,一个时隙中只能发送其中某个队列中的若干分组。这种区分 MAI 控制方法具有比简易 MAI 控制方法更好的性能,但该方法的缺陷是没有考虑到传输过程中 2 个队列中的分组数目也会有较大的差异。假设  $P_{ERRi}$  为第  $i$  次传输的平均误帧率(FER),  $N$  为一段时间内传输成功的分组数(不包括重传分组),  $N_1$ ,  $N_2$  分别表示经过队列 1 和 2 传输的总分组数(包括重传分组),则有

$$N_1 = N(1 + P_{ERR1}) \tag{1}$$

$$N_2 = NP_{ERR1}P_{ERR2} \cdot (1 + P_{ERR3} + P_{ERR3}P_{ERR4} + \dots + P_{ERR3}P_{ERR4} \dots P_{ERRi} + \dots) \tag{2}$$

对  $i \geq 3$ , 可以假设  $P_{ERRi} = P_{ERR3}$ , 则上式变为

$$N_2 = NP_{ERR1}P_{ERR2}(1 + P_{ERR3} + P_{ERR3}^2 + \dots + P_{ERR3}^i + \dots) \tag{3}$$

考虑到  $FER \ll 1$ , 则上式可简化为

$$N_2 \cong \frac{NP_{ERR1}P_{ERR2}}{1 - P_{ERR3}} \tag{4}$$

比较式(1)和式(4),显然,  $N_2$  远小于  $N_1$ 。这表明,调度到传输队列 2 时很有可能队列中的分组数小于系统所加的限制。所以如果在该时隙中只能传输队列 2 中的分组,则必然会造成系统资源的浪费。据此,我们提出一种改进的联合区分 MAI 控制方法(CD-MAI)。该方法允许在传输队列 2 中分组的过程中,若其中的分组数目达不到加在其上的限制,则可以同时传输队列 1 中的部分分组。而调度到队列 1 时,还是保持原来的方法,只允许传输该队列中的分组,因为队列 1 中的分组数较多,以上方法对队列 1 意义不大。本文中采用权重轮询(Weighed Round Robin, WRR)<sup>[6]</sup>调度算法,则 CD-MAI 的具体算法示意如下:

```

IF ((ptrWRR == 1) && (l1 > 0))
    IF (l1 < L1)
        允许该 l1 个终端的接入请求,并将这些终端从队列 1 中清除。
    ELSE
        允许前 L1 个终端的接入请求,并将这些终端从队列 1 中清除。
ENDIF
ELSE IF (ptrWRR == 2)
    IF (l2 < L2)

```

允许该 $l_2$ 个终端的接入请求,并将这些终端从队列 2 中清除。

IF ( $l_2 < L_1$ )

$$L'_1 = L_1 - l_2$$

IF( $l_1 < L'_1$ )

允许该 $l_1$ 个终端的接入请求,并将这些终端从队列 1 中清除。

ELSE

允许前 $L'_1$ 个终端的接入请求,并将这些终端从队列 1 中清除。

ENDIF

ENDIF

ELSE

允许前 $L_2$ 个终端的接入请求,并将这些终端从队列 2 中清除。

ENDIF

ENDIF

在该算法中,我们采用了一个最简单线性函数 $L'_1 = L_1 - l_2$ 来计算当传输队列 2 中的分组时,队列 1 中可以同时被传输的分组数。今后也可以考虑采用一些更复杂的关系函数,以期达到更好的性能。

#### 4 性能仿真

在分组数据传输系统中,平均分组时延和吞吐量是衡量系统性能的两个最重要参数。以下给出本文所介绍方法与其他传统方法的系统性能比较。

本文中,定义分组平均时延( $D$ )为

$$D = \sum_{i=1}^N D_i / N \quad (5)$$

其中 $N$ 表示仿真时间内成功传输的分组数(不包括重传), $D_i$ 表示其中第 $i$ 个分组成功传输的时延。定义系统吞吐量( $T$ )为

$$T = N_r F / (N \tau) \quad (6)$$

其中 $N_r$ 表示仿真时间内成功传输的分组数(不包括重传), $F$ 表示单个数据分组的比特数, $N$ 表示仿真时隙数, $\tau$ 表示时隙长度。不同于单用户系统的吞吐量定义,为了衡量多用户系统中的多址干扰控制方案的性能,在本文中,吞吐量定义为在每个信道数据传输速率和业务量恒定条件下,单位时间内(以秒为单位)传输到基站的信息比特数。

系统仿真参数如表 1 所示。D-MAI 算法和 CD-MAI 算法的仿真采用了相同的参数,以便于性能比较。

表 1 仿真参数列表

参数	数值
$N$ (仿真时隙数)	5000
$M$ (移动终端数)	33
$G$ (扩频增益)	31
$C$ (系统总码字数)	33
$R$ (信道数据速率)	51.2 kbps
$F$ (帧长)	512 bit
$\tau$ (时隙长度)	10ms
$P_{EMAX}$ (最大容许 FER)	0.1

对于每个移动终端,数据的到达符合泊松分布,分组到达率为 $\lambda$ 。本文的 RCPC 编码由编码速率 $R=1/3$ ,约束长度 $K=9$ ,生成多项式为(575, 623, 727)的卷积码穿刺而成。穿刺矩阵为

$$P_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad P_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad P_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

队列 1 中的数据分组采用对应于 1/2 编码速率的 RCPC 码,而队列 2 中的数据分组采用对应于 1/3 编码速率的 RCPC 码。另外,本方案中,采用截断停等 ARQ(stop-and-wait ARQ)协议,最大传输次数为 3。权重轮询调度算法的轮询周期为 10,具体地说就是每 10 个 slot 中有一个 slot 会将轮询指针 ptrWRR 指向队列 2,其余 slot 均指向队列 1。需要说明的是,由于该方案主要是针对传输级的多址干扰控制,所以仿真中未考虑接入级多址干扰控制,也就是说基站总是会接受接入请求。

图 2 显示了多个用户同时传输分组情况下,不同速率的 RCPC 编码在加性高斯白噪声(AWGN)下的误帧率(FER)性能。仿真中采用的数据帧长为 512 bit。

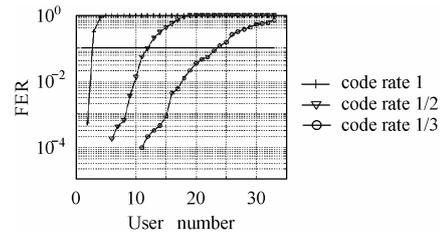


图 2 AWGN 下不同速率的 RCPC 编码的 FER ( $E_b/N_0$ )  
Fig.2 FER of the RCPC code in AWGN ( $E_b/N_0=5\text{dB}$ )

由图 2 中可以得出,当信噪比 $E_b/N_0$ 为 5dB,假设 $P_{EMAX}$ 为 0.1 时,选取队列 1 和队列 2 的最大分组数限制分别为 $L_1=12$ 和 $L_2=23$ 。

根据以上选取的参数,仿真得到区分 MAI(D-MAI)控制方案和联合区分 MAI(CD-MAI)控制方案的时延性能如图 3 所示。从图 3 中可以看出,当系统负荷较轻时,两者的时延性能差距很小,这是由于此时加在两个队列上的分组数限制几乎总能满足队列中所有分组的的同时传输要求,所以实质上 CD-MAI 方法没有起大作用,自然也会有跟 D-MAI 大致一样的性能。但随着系统负荷的增加,多址干扰问题愈发明显,加在队列 1 上的分组数限制开始生效,而队列 2 中虽存在若干分组,但数目还达不到加在队列 2 上的限制数 $L_2$ ,甚至都达不到 $L_1$ 。此时 CD-MAI 方法开始发挥作用,允许在传输队列 2 中分组的同时,部分传输队列 1 中的分组,因此 CD-MAI 方法较 D-MAI 方法有更低的分组平均时延。当系统负荷继续上升,两种算法的时延都快速上升,这是由于系统负荷达到了饱和,导致了移动终端中分组溢出,这些被阻塞的分组导致了分组平均时延的快速上升。

图 4 显示了在相同的仿真参数下, D-MAI 控制方法和

CD-MAI 控制方法的系统吞吐量性能曲线。从图 4 可以看出两种方法的系统吞吐量性能基本上一致。上面的仿真说明,本文所提出的联合区分 MAI 控制(CD-MAI)方法在保持与区分 MAI(D-MAI)控制方法基本一致的吞吐量性能下,取得了比区分 MAI(D-MAI)控制方法更小的分组平均时延性能。

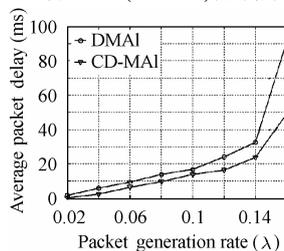


图3 差分 MAI 控制方法和组合差分 MAI 控制方法的时延性能( $E_b/N_0=5\text{dB}$ )

Fig.3 Delay performance of Differentiated MAI control and CD-MAI control ( $E_b/N_0=5\text{dB}$ )

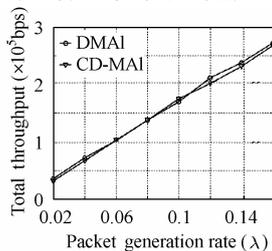


图4 差分 MAI 控制方法和组合差分 MAI 控制方法的系统吞吐量性能( $E_b/N_0=5\text{dB}$ )

Fig.4 Throughput performance of Differentiated MAI control and CD-MAI control ( $E_b/N_0=5\text{dB}$ )

## 5 结束语

在本文中,针对采用第二类混合 ARQ(HARQ type-II)技术的 PMCAP/CDMA 系统,我们提出了一种改进的联合区分 MAI(CD-MAI)控制方法。考虑到不同次的重传分组使用了不同编码速率的 RCPC 编码,从而具有不同的纠错能力和抗多址干扰能力。将不同次的重传分组排列到两个不同的队列中,采用区分控制的方式,用调度算法依次传输这两个队列中的数据分组。在此基础上,考虑到两个队列中分组个数的不平衡性,提出一种改进的调度算法,允许在传输队列 2 中的数据分组的同时,传输一部分队列 1 中的数据分组。仿真结果显示这种改进的联合区分 MAI 控制方法在保持与区分 MAI(D-MAI)控制方法基本一致的吞吐量性能下,有比后者

更好的时延性能。对这种方法的下一步研究将考虑从理论上或者通过进一步仿真,以寻求达到最优系统性能的联合控制规则。

## 参考文献

- [1] Yang Y, He J, Liu M. A medium access control protocol for voice and data integration in receiver-oriented DS-CDMA PCNs, IEEE ICUPC, 1997, San Diego, vol. 1: 38-42.
- [2] Jiao Wenhua, Liu Zhimin, Liang Qinglin. Performance analysis and application of PMCAP/CDMA in voice/data integration networks, IEEE VTC, 2001, Atlantic city, vol.2: 1020-1024.
- [3] Zhang Qian, Wong T F, Lehnert J S. Performance of a type-II hybrid ARQ protocol in slotted DS-SSMA packet radio systems. *IEEE Trans. on Communications*, 1999, 47(2): 281-290.
- [4] Hagenauer J, Seshadri N. Rate-compatible punctured convolutional codes (RCPC codes) and their applications. *IEEE Trans. on Communications*, 1988, 36(4): 389-400.
- [5] Jiao Wenhua, Li Shu. Differentiated MAI control for hybrid ARQ type-II in CDMA networks, IEEE globecom, 2003, San Francisco, vol. 1: 75-80.
- [6] Liang Ji, Arvanitis T N, Woolley S I. Fair weighted round robin scheduling scheme for DiffServ networks. *Electronics Letters*, 2003, 39(3): 333-335.

李 凡: 男, 1979 年生, 博士生, 研究方向为无线通信系统中的自适应链路技术和无线接入技术。

刘俊琳: 男, 1979 年生, 博士生, 研究方向为无线通信、OFDM、无线资源管理、分组数据传输。

朱建伟: 男, 1981 年生, 硕士生, 研究方向为移动通信中的接入技术。

朱近康: 男, 1943 年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为移动通信与无线通信、扩频通信、通信中的信号处理。