

WCDMA 速率匹配算法分析

谢一宁,宋文涛,罗汉文

(上海交通大学电子工程系,上海 200030)

摘 要: 多速率方案考虑如何以灵活、有效的方式将不同速率和质量要求(QoS)的业务进行复用,它是第三代移动通信系统的重要特征之一。速率匹配算法是多速率方案的核心算法。本文以 3GPP 最新制订的 WCDMA(FDD)多速率方案为基础,对上/下行链路的速率匹配算法进行了详细的比较与分析,并对其可能的改进作了讨论。

关键词: WCDMA;多速率方案;速率匹配

中图分类号: TN929.533

文献标识码: A

文章编号: 0372-2112(2001)10-1401-04

Analysis of Rate Matching Algorithm in W-CDMA

XIE Yi-ning, SONG Wen-tao, LUO Han-wen

(Dept. of Electronic Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: Multirate scheme in WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) deals with how to multiplex several services with different rates and Quality of Service (QoS) in a flexible and efficient way, and is a distinct characteristic in the 3G mobile communication systems. Rate Matching Algorithm is the key algorithm in Multirate scheme. This paper, according to the latest WCDMA (FDD) multirate scheme of 3GPP (3G partnership project), presents detailed comparison and analysis of rate matching algorithm in the uplink/downlink, and carries out some preliminary discussion about its possible improvement.

Key words: WCDMA; multirate scheme; rate matching

1 引言

第三代(3G)移动通信系统(ITU称之为IMT-2000)将拥有灵活的、多业务复用的高速无线空中接口,并可支持高达2Mb/s的、与固定网络相同质量的多媒体/分组/IP接入业务传输。随着第三代系统的不断成熟,移动通信将由传统的话音通信进入多媒体通信时代。基于DS-SS的WCDMA技术作为3G系统协议集的重要组成部分,在系统性能提高、业务灵活性和运营灵活性等方面均占有一定优势^[1]。1998年底,在世界范围内由多个标准化组织和通信厂商联合成立了3GPP组织,计划在2000~2001年左右确立事实上的W-CDMA标准^[2]。

采用多速率方案以灵活、有效的方式将不同速率和质量要求(QoS)的业务进行复用,是第三代移动通信系统区别于原有系统的重要特征之一。作为多速率方案的核心算法,速率匹配通过数据比特的重复/删除或插入DTX(Discontinuous Transmission,非连续发送标志)来完成复合业务流最高数据速率与物理信道可提供速率的匹配。为了理解和应用速率匹配算法,本文将以3GPP(3G Partnership Project)最近的规范^[3]为准,通过讨论WCDMA(FDD)速率匹配算法的原理,分析得出该算法的特点,并对其改进作了讨论。

2 WCDMA 多速率方案简述

2.1 多速率方案功能描述

多速率方案的实现主要是在位于物理层的信道编码单元(CCU)中完成的(参见文[3],图1、2)。根据3GPP有关规范,可将其流程归纳如下:

(a) CCU同MAC子层的一或多个传输信道(TrCH)存在逻辑连接,每个TrCH在每个TTI(传输时间间隔)内递交若干传输块(Transport Block)。

(b) CCU将传输块加CRC校验后进行合并,并分割成编码块(Code Block)进行信道编码(卷积码或Turbo码)。

(c) 上行链路中,编码后的数据块先进行帧间交织(块交织),拆分成10ms的帧,再进行速率匹配;下行链路则是先进行速率匹配,再进行帧间交织和帧分割。

(d) 每10ms内各TrCH经复用形成编码复合信道(CC-TrCH),并经物理信道分割和帧内交织后递交给扩频和调制单元。当总业务速率超过一个物理信道可提供的速率时,采用多个物理信道并行传输的多码道方式,而每个码道由相互正交的OVSF码^[3]进行扩频。

CCU单元中上/下行链路的速率匹配、帧间交织和帧分割次序有所区别,这是由于发送环境、信号处理复杂度限制等因素造成的。

对应每个传输信道有传输格式集 (TFs, 主要包括速率、TTI、编码方式、CRC 长度等信息), 而各个传输信道的传输格式 (TF) 组合形成传输格式组合集 (TFCs). TFs 和 TFCs 在每次传输信道的加入/删除和重定义时由收、发双方协商获得. 通常, 接收方须先提取接收比特流中的 TFC 指示信息 (TFCI) 才能进行解调、解复用和译码. 当 TFC 集有限和业务速率较低时, 为了节省发送功率和提高系统容量, 可不发送 TFCI, 而改由接收机进行盲速率检测 (Blind Rate Detection) 来获取本帧的 TFC 信息.

2.2 上/下行链路多速率方案的特点

2.2.1 上行链路多速率方案的特点 (a) 针对移动台处的电磁兼容 (EMC) 问题^[5], 应避免不连续传输, 即速率匹配只通过重复/删除比特进行. (b) 在帧间交织和帧分割后, 以 10ms 的帧为单位进行动态的速率匹配. 但速率匹配参数的确定应考虑到帧间交织带来的影响, 从而增加了该算法的复杂度 (详见第 3 部分有关 e_{ini} 参数计算的分析).

2.2.2 下行链路多速率方案的特点 (a) 允许非连续发送: 除了固定位置 DTX 插入方式 (各 TrCH 在 CCTrCH 中的起始位置固定) 外, 为节省有限的 OVSF 码资源, 还引入了可变位置 DTX 插入的方式 (各 TrCH 在 CCTrCH 中的起始位置可变), 参见图 1. (b) 速率匹配位于帧间交织前, 使盲速率检测可不考虑到帧间交织的影响. 但须进一步插入 DTX 保证速率的完全匹配 (半静态方式).

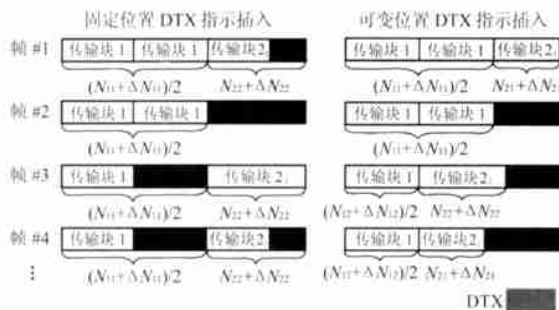


图 1 固定/可变位置 DTX 指示插入示意图 (为了便于说明问题, 这里未考虑到交织的影响; 事实上经过交织后 DTX 将在整个帧中分布)

3 WCDMA 速率匹配算法的分析与讨论

WCDMA 系统多速率方案设计的关键任务之一是设计高效而又简洁的速率匹配算法. 这里将以文 [3] 中给出的算法为依据, 对上/下行链路速率匹配算法的特点与实质作较详细的分析.

3.1 速率匹配模式的确定

3.1.1 最优速率匹配模式的确定 所谓速率匹配模式 (Rate Matching Pattern), 是指数据块中哪些比特须重复/删除 (及重复多少位). 比特的重复/删除会造成相应位上误码性能的提高/降低. 特别是在删除比特时, 这些位上的信息将丢失. 诸如卷积码或 Turbo 码的编/译码方式, 应尽量避免在约束长度内有较多的比特被删除. 因此, 最优删除模式应保证被删除比特尽可能“均匀”地分布在数据流中, 即“最优速率匹配模式”.

WCDMA 速率匹配算法中, 速率匹配模式正是基于这一原则确定的.

3.1.2 确定速率匹配模式算法分析 设 N 为速率匹配前的比特数, N 为重复 ($N > 0$) 或删除 ($N < 0$) 的比特数. 速率匹配模式由 3 个参数 e_{ini} 、 e_{minus} 和 e_{plus} 确定, 其中

$$e_{minus} = \lfloor N \rfloor, e_{plus} = a \cdot N$$

且 $0 < e_{ini} \leq aN$, a 为一常数. 算法可归纳如下:

(a) $e = e_{ini}$ (初始位移);

(b) $e = e - e_{minus}$;

(c) 如果 $e \leq 0$, 则 $e = e + e_{plus}$, 并重复 (或删除) 一个比特. (重复该过程直至 $e > 0$, 再转向 b)

参见图 2 可以帮助理解该过程. 该过程中重复 (或删除) 的比特数恰为:

$$\left\lfloor \frac{N \cdot e_{minus} - e_{ini}}{e_{plus}} \right\rfloor + 1 = \left\lfloor \frac{N \cdot a \lfloor N \rfloor - e_{ini}}{a \cdot N} \right\rfloor + 1 = \lfloor N \rfloor - \frac{e_{ini}}{aN}$$

$$= (\lfloor N \rfloor - 1) + 1 = \lfloor N \rfloor$$

同时, 由图 2 可见, 该算法保证了被删除比特尽可能均匀地分布在数据流中, 故该删除模式是最优的.

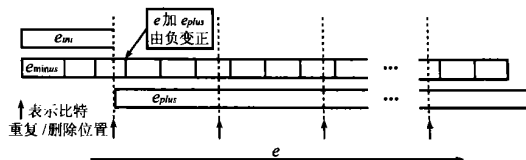


图 2 速率匹配算法: 最优速率匹配模式

3.2 上行链路速率匹配参数的确定

3.2.1 RM 的意义 信道对复用业务流 CCTrCH 中的每个比特的影响是一致的, 即所有复用业务在速率匹配后的误码性能是相同的. 然而, 多速率方案的一个重要任务是完成不同 QoS 业务的复用. 一种简单的方法是在速率匹配时对 QoS 要求高的业务重复较多的比特, 而对 QoS 要求较低的业务重复较少的比特甚至删除若干比特. 3GPP 的多速率方案中就采用了该方法. 在该方案中定义了速率匹配属性 RM, 该属性是由上层根据 QoS 要求为每个业务提供的一个半静态参数, RM 越高, 相应业务的 QoS 也就越高. WCDMA 速率匹配算法通过对各输入业务数据块长度用 RM 进行加权, 来实现不同复用业务的 QoS 要求.

3.2.2 CCTrCH 长度的确定 由于 OVSF 码资源的限制, CCTrCH 的长度 N_{data} 应尽可能小 (即扩频因子 SF 应尽量大)^[4]. 设 N_{SF} 是扩频因子为 SF 时的帧长, 则可用帧长集为 $\{N_{256}, N_{128}, \dots, N_8, N_4, 2N_4, \dots, 6N_4\}$ (每个移动台最多可支持 6 个码道并行发送). 如果 6 个码道仍不能放下所有业务, 则要进行部分比特的删除. 为避免性能急剧恶化, 删除界限 R_L 一般控制在 20% 以下.

3.2.3 比特删除时速率匹配参数 e_{ini} 的确定

如前所述, 最优删除模式应使被删除比特尽可能均匀地分布在复用业务流中. 但是, 上行链路中速率匹配是在帧间交织后进行的. 于是, 为使接收方在解交织后 (信道译码前) 被删除比特尽可能均匀地分布在数据流中, 必须对 TTI 中每帧的

e_{ini} 进行必要的控制 (相应的, 此时产生的模式是次优的)。

为了确定 TTI 内各帧的 e_{ini} , 可按如下方式进行: 先在解交织以前“均匀”地确定被删除比特的位置, 然后考虑到交织的影响 (列交换), 将这些位置映射到相应的帧 (每帧对应一列) 上, 并由此确定各帧的 e_{ini} 。以 TTI = 80ms (帧间交织列数为 8)、 $N/N_c = 6$ (这意味着平均每“跳”过 5 个比特就要删除一个比特) 为例, 说明该过程, 参见图 3。注意到为使每列 (对应一帧) 均有比特被删除, 该过程中可能需要“退”若干次。这样, 得到交织前 0~7 列的删除位置为 {0, 5, 2, 4, 1, 3, 0, 2}, 经列交换后得 {0, 1, 2, 0, 5, 3, 4, 2} (设帧间交织时列交换对应关系为 {0, 4, 2, 6, 1, 5, 3, 7})。在此基础上, 每列的 e_{ini} 值均可由上述值加一公共偏移得到, 因为只要保证相对位置不变即可。

将上述例子一般化: 为保证每列均有删除比特, 应“退” $\gcd(q, F) - 1$ 次, 这里 \gcd 代表取最大公约数, $q = \lfloor N/(N_c) \rfloor$ 为平均删除间隔, F 为 TTI 中的帧数。若 q 为偶, 则按通常删除方法将导致某些帧不会有比特被删除, 因此须作出调整: $q = q - \gcd(q, F)/F$; 这样, 当变量 $x = 0, 1, \dots, F-1$ 时, $\lceil x * q \rceil$ 与 $x * q$ 相比共少了 $\gcd(q, F) - 1$, 从而确保了每列中均有比特被删除。而初始位移则由

$$S(I_F(\lceil x * q \rceil \bmod F)) = (\lceil x * q \rceil \div F)$$

得到, 其中 I_F 是帧间交织时的对应交换关系。这里的同余运算 \bmod 可看作是换行, 而取整除法 \div 则对应了每列中删除比特所在的行 (即对应帧中初始的比特删除位置), 参见图 3。

1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56
57	58	59	60	61	62	63	64
65	66	67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88

图 3 最优速率匹配模式的确定 (阴影格表示删除位置)

- (1) 空心箭头代表通常方式下的跳 5 格删除
- (2) 灰箭头表示“退”一格 (跳 4 格) 删除
- (3) 实心箭头表示整体向下移 6 行重复删除模式

另外, 为避免删除比特后性能的严重恶化, Turbo 码应避免系统位的删除。针对 Turbo 码的速率匹配先将系统位与校验位分离, 仅对校验位进行删除, 然后重新合并。

须指出的是, 上述算法同样适用于比特重复时的情况: 将为避免列重复而“退”一步的方法改为“进”一步, 就可得到比特重复的模式, 并可避免较长一段内无比特重复的情况。事实上, 在 3GPP 规范 v3.1.0 及以后版本中, 通过允许 q 值可为负数, 将比特重复/删除时的速率匹配参数的确定算法进行了统一。

3.3 下行链路速率匹配参数的确定

3.3.1 固定 TrCH 位置时速率匹配参数的确定 与上行链

路不同的是, 下行链路中 CCTrCH 的长度是由上层通过分配 OVFS 码隐含确定的。当各 TrCH 位置在 CCTrCH 中固定时, 速率匹配模式是由各 TrCH 的 TF 集中最高速率的业务来确定的。这种固定速率匹配模式的方法有利于移动台进行盲速率检测, 如图 4 所示。这样, 当某 TrCH 的速率低于其最高速率时, 还需要插入 DTX 指示来填满该 TrCH 在 CCTrCH 中所占的位置。

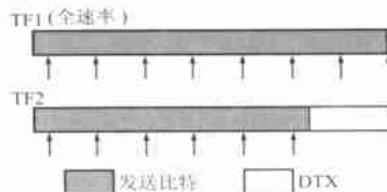


图 4 下行链路速率匹配模式 (箭头代表删除/重复比特位置)

3.3.2 可变 TrCH 位置时速率匹配参数的确定 当 TrCH 位置在 CCTrCH 中的位置可变时, 为了确保速率匹配算法的鲁棒性和简洁性, 可按如下方式进行: 对当前的 TFC 集, 固定每个 TrCH 应重复或删除的比特数 (不论输入的 TF), 保证复用后的总速率不超过实际可提供的速率。当 TFC 集变化时, 这些参数将重新计算。在文 [3] 中速率匹配参数的确定按 CCTrCH 达最大速率时 (并考虑 RM_i 的加权) 尽量少插 DTX 的要求, 对相应的 TFC 确定每个 TrCH 的 N_c 。为了保证按该参数进行速率匹配后 CCTrCH 的速率不会超过实际可用速率, 仍须对所有 TFC 进行验证并作出相应调整。

3.3.3 速率匹配参数 e_{ini} 的确定 由于下行链路中速率匹配在帧间交织之前进行, 因此算法可大为简化, 直接按最优速率匹配模式进行速率匹配即可。这里 e_{ini} 只具有决定速率匹配模式相对位移的作用。

3.4 对 WCDMA 速率匹配算法进行改进的讨论

3.4.1 利用速率匹配实现非均匀差错保护 依据 3.2.1 中关于最优速率匹配模式算法的分析, 该模式下重复/删除比特的位置将均匀分布在数据块中。然而, 如果能够依据信源特性对数据块中的不同段提供不同的能量保护 (非均匀差错保护, Unequal Error Protection, UEP), 可获得更好的误码性能。在 WCDMA 速率匹配算法中, 通过使参数 e_{minus} 可变 (原算法中该值固定), 即可方便地实现非均匀差错保护, 并获得比原有均匀差错保护更佳的性能。事实上, 可对现有算法作如下改动:

$$b) \quad e = e - e_{minus}; \quad b) \quad e = e - W_i \cdot e_{minus}, \quad \left(\sum_{i=1}^N W_i = N \right)$$

其中 $i = 1, 2, \dots, N$ (N 为块长), W_i 为权重。这里权重 W_i 起调整 e_{minus} 的作用: W_i 值越大, 相应的重复 (删除) 间隔就越小, 提供的差错保护也就越强 (弱)。因此, 通过对速率匹配算法的修正, 就可针对数据块中不同段的误码需求提供一种简单的非均匀差错保护方法。

3.4.2 利用信道编码方式实现速率匹配 现有算法是通过简单的比特重复/删除来实现速率匹配的。可以预计, 用码率分辨率高的卷积码/Turbo 码在信道编码时同时实现速率匹配, 将可获得更好的性能。最初针对混合 ARQ 技术提出速率兼容 (Rate-Compatible) 码 [7,8] 正是具有该性质的一类码。随着

3GPP 逐步引入和完善混合 ARQ 技术,使得采用该类码进行速率匹配具有实际意义。

另一方面,文[9]中曾提出一种新颖的针对 Turbo 码的速率匹配方法:在编码以前插入已知比特(其数目由欲匹配的速率决定),并在译码时在已知比特位置给出足够大的先验信息进行迭代译码。当然,有关该码(以及相应的卷积码的情况)的应用仍有待进一步地研究。

4 结束语

速率匹配算法作为多速率方案的核心算法,是第三代移动通信系统实现多业务、多速率业务灵活复用的关键环节。在 3GPP 的最新规范中,速率匹配算法的主要特点有:

⑧ 上/下行链路出于不同考虑,其速率匹配算法有较大区别;

⑧ 考虑了不同业务的 QoS 要求;

⑧ 通过简单的比特删除/重复模式,可实现对任意数据率的速率匹配;

⑧ 具有灵活的业务复用方式,可支持盲速率检测;

⑧ 采用了最优(下行)/次优(上行)速率匹配模式提高误码性能;

利用改进的速率匹配算法可以简单地实现非均匀差错保护;另一方面,用速率兼容码或速率匹配 Turbo 码等编码方式取代简单的比特重复/删除模式,在速率匹配算法中有着良好的应用前景。

参考文献:

- [1] E Dahlman, et al. UMTS/IMT-2000 based on wideband CDMA [J]. IEEE Commun. Mag., 1998, 36(9): 70 - 80.
- [2] Third Generation Partnership Project (3GPP): Partnership project description [Z]. <http://www.3gpp.org>.
- [3] 3GPP TSG RAN WG1 TS 25.212 v3.1.0 (1999-12), Multiplexing and channel (FDD) [S].
- [4] F Adachi, M Sawahashi, K Okawa. Tree-structured generation of orthogonal spreading codes with different length for forward link of DS-SS mobile radio [J]. Elect. Lett., 1997, 33(1): 27 - 28.
- [5] T Ojanpera, R Prasad, et al. Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communications [M]. Boston-London: Artech House, 1998.
- [6] 3GPP TSG RAN Working Group #1 (Layer 1) Temporary Documents [R]. [ftp.3gpp.org/TSG_RAN/](ftp://ftp.3gpp.org/TSG_RAN/).
- [7] J Hagenauer. Rate-compatible punctured convolutional codes and their applications [J]. IEEE Trans. Commun., 1998, 36(4): 389 - 400.
- [8] D N Rowitch, L B Milstein. Rate compatible punctured Turbo codes in a hybrid FEC/ARQ system [A]. Proc. Communications Theory Mini-Conference of GLOBECOM 97 [C], 1997: 55 - 59.
- [9] J Lee, K Park, K Ryu, P Park. The optimum number of inserted known bits in the rate matched Turbo codes with known Bits [A]. 1999 IEEE TENCON [C], 1999: 12 - 14.

作者简介:



谢一宁 男, 1976 年 11 月生于上海市, 1998 年 6 月获上海交通大学学士学位, 1998 年 8 月直升硕士研究生, 现主要从事数字移动通信、WCDMA 相关技术与 DSP 技术的研究工作。



宋文涛 男, 1936 年 1 月出生于江苏高邮市, 教授, 博士生导师, 现任上海交通大学电子信息学院学位评定委员会主席, 上海交通大学“信息与通信工程”博士后流动站站长, 现主要从事数字移动通信方面的教学和研究工作。

罗汉文 男, 1950 年 10 月出生于江苏兴化, 副教授, 现任交通大学电子工程系通信教研室副主任, 电子工业通信技术标准化委员会委员, 上海市通信学会无线专业委员会副主任, 目前主要从事本科生、硕士研究生的数字移动通信等课程的教学和研究工作。