

SCDMA 编码系统中 MUD 技术的应用研究

于秀兰, 张勇

(重庆邮电学院, 重庆 400065)

摘要:从 Turbo 编码的同步 CDMA 系统中多用户检测技术的应用着手, 重点研究了多步联合检测技术和迭代多用户检测技术, 并在仿真结果的基础上把 2 种技术结合起来, 提出了一种新的检测技术, 相对于单纯的 MSJD, 其系统性能将大大提高, 相对于单纯的迭代多用户检测, 运算量也将大大减少。

关键词:Turbo 码; CDMA 系统; 多用户检测; 迭代多用户检测; 多步联合检测

中图分类号:TN929.533 **文献标识码:**A

0 引言

CDMA 具有高容量、软切换等优点, 已经成为第三代移动通信中的主要技术, 但是, CDMA 是干扰受限的系统, 多址干扰是影响 CDMA 系统容量和性能提高的主要因素。采用多用户检测和信道编码是两种提高 CDMA 系统性能的非常有效的方法。如何将多用户检测(MUD)技术和译码算法结合在一起进行考虑, 以便最大限度地提高系统性能, 是现在第三代移动通信的一个研究热点。

Turbo 码具有优异的纠错性能, 特别适合于高速率对译码时延要求不高的数据传输业务, 并可降低对发射功率的要求, 增加系统容量, 能够满足第三代移动通信中对高速分组数据业务的要求。下面以 3GPP 提出的 Turbo 编码方案为例做介绍^[1]。

K 个用户的同步 CDMA 编码系统模型如图 1

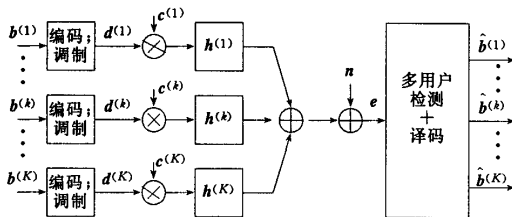


图1 同步CDMA编码系统模型
Fig. 1 Transmission model of SCDMA coding

所示^[2]。在发送端, 用户 k 对 M 帧二进制信息比特序列 $\{b_j^{(k)}\}$ 进行 Turbo 编码后交织; 再进行 BPSK 调制, 得到 M 帧 (N 个数据符号 / 数据区) 的数据符号序列 $\{d_i^{(k)}\}$; 然后用扩频系数为 SF 的扩频码 $c^{(k)}$ 对数据符号进行扩频调制, 经过冲激响应为 $h^{(k)}$ 的信道后到达接收端得到用户 k 的接收信号, 表示为

$$e^{(k)} = A^{(k)} d^{(k)} \quad (1)$$

式(1)中

$$e^{(k)} = [e_1^{(k)}, e_2^{(k)}, \dots, e_{N \cdot SF + W - 1}^{(k)}]^T, k = 1, \dots, K \quad (2)$$

$$d^{(k)} = [d_1^{(k)}, d_2^{(k)}, \dots, d_N^{(k)}]^T, k = 1, \dots, K \quad (3)$$

$$A_{(n-1) \cdot SF + l, n}^{(k)} =$$

$$\begin{cases} B_l^{(k)}, & n = 1, 2, \dots, N; l = 1, 2, \dots, SF + W - 1; \\ & k = 1, 2, \dots, K \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (4)$$

$$B^{(k)} = c^{(k)} * h^{(k)} \quad (5)$$

设共有 K 个用户, 考虑到信道噪声 n , 则接收机收到的总信号 e 可表示如下:

$$e = \sum_{k=1}^K e^{(k)} + n = \sum_{k=1}^K A^{(k)} d^{(k)} + n = Ad + n \quad (6)$$

式(6)中, 矢量 $e^{(k)}$ 是用户 k 对接收机收到的总信号

• 收稿日期:2003-03-10 修订日期:2003-04-15

作者简介:于秀兰(1973-),女,四川广安人,讲师,硕士,研究方向为移动通信技术。

的贡献,矩阵 A 称为系统矩阵,它是由 K 个用户的扩频码以及信道冲激响应决定的; n 表示零均值加性高斯噪声序列。

在接收端,传统的检测技术是将多用户检测的软输出直接作为 Turbo 译码的软输入。多用户检测技术可采用线性联合检测(JD),即 ZF-BLE 算法或 MMSE-BLE 算法^[3],这类传统的检测技术对接收数据进行多用户检测可以同时得到所有用户的数据符号。但是随着用户数的增加,它将引起信噪比恶化,而且信道译码后的输出信息都不能得到充分利用,当系统满码道工作时,传统的多用户检测技术不能达到系统性能的要求。本文从改善信噪比恶化和充分利用信道译码后的输出信息入手,提出了多步联合检测技术和迭代多用户检测技术^[4]。

1 多步联合检测技术

多步联合检测(MSJD)的思路是^[5-7]:在第一个周期,把接收到的用户数据分为几组,分别对各组进行联合检测,而把其他用户信号当作噪声;在下一周期,从总的接收信号减去其他组的用户信号,重构出每一组信号,由于去除了其他组用户对该组信号的干扰,这样就可改善信噪比的恶化。由于 Turbo 码的优良特性,在进行信号重构时是在译码比特的基础上进行的,信号的重构也就是进行与发送端相同的编码、调制、扩频以及信道的模拟。

假定接收信号包含的用户被分为 2 组(第 1 组和第 2 组),各自进行联合检测,由两个周期来完成,

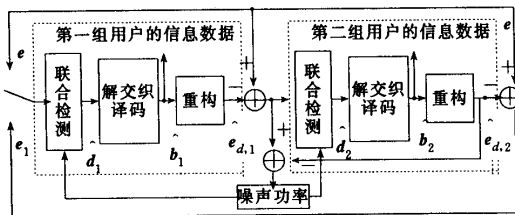


图2 多步联合检测
Fig. 2 Multi-step JD structure

如图 2 所示。设第 1 组包含用户 1 至用户 K_g ($K_g < K$),第 2 组包含用户 $K_g + 1$ 至用户 K ,一般情况下,取 $K_g \approx K/2$,接收信号 e 表示为

$$e = \sum_{k=1}^{K_g} e^{(k)} + n = \sum_{k=1}^{K_g} e^{(k)} + \sum_{k=K_g+1}^K e^{(k)} + n =$$

$$\sum_{k=1}^{K_g} A^{(k)} d^{(k)} + \sum_{k=K_g+1}^K A^{(k)} d^{(k)} + n \quad (7)$$

多步联合检测(MSJD)可由如下 4 个步骤来实现所有用户的检测:

第 1 步:接收端把总的接收信号 e 作为迫零算法(ZF)部分联合检测的输入信号,即图 2 中的双掷开关向上打。对用户 1 至用户 K_g 进行联合检测,把其他用户信号当作噪声处理,估计出第 1 组用户的数据符号

$$\hat{d}_{c1,ZF-BLE} = (A_1^*{}^T A_1)^{-1} A_1^*{}^T e \quad (8)$$

式(8)中,第 1 组用户的数据符号估计值

$$\hat{d}_{c1,ZF-BLE} = [\hat{d}^{(1)T}, \hat{d}^{(2)T}, \dots, \hat{d}^{(K_g)T}]^T = [\hat{d}_1, \hat{d}_2, \dots, \hat{d}_{K_g \cdot N}]^T$$

A_1 为第 1 组用户的系统矩阵

$$A_1 = [A^{(1)}, A^{(2)}, \dots, A^{(K_g)}]$$

再在第 1 组估计出的译码比特 \hat{b}_i 的基础上,重构出用户 k 的接收信号。再通过

$$\hat{e}_{d,1} = \sum_{k=1}^{K_g} A^{(k)} \hat{d}^{(k)} \quad (9)$$

重构得到第 1 组的用户信号,然后从总用户信号中减去 $\hat{e}_{d,1}$,得到第 2 组用户的输入信号

$$e_2 = e - \hat{e}_{d,1} \quad (10)$$

第 2 步:采用传统的 ZF-BLE 联合检测算法得到第 2 组用户的数据符号 $\hat{d}^{(k)}$, $k = K_g + 1, \dots, K$,它的输入信号 e_2 由第 1 步生成。再经过与第 1 步类似的处理,估计出第 2 组用户的信息比特,并通过式(11)得到第 1 组用户的输入信号

$$e_1 = e - \hat{e}_{d,2} = e - \sum_{k=K_g+1}^K A^{(k)} \hat{d}^{(k)} \quad (11)$$

通过第 1 步和第 2 步,检测了所有用户的信息比特,这是 MSJD 的第一个周期。在下面进行第二个周期,由于 MMSE 联合检测算法一般优于 ZF 联合检测算法,将采用 MMSE-BLE 代替 ZF-BLE,这就需要知道噪声功率 σ^2 ,噪声 \hat{n} 可由 $\hat{n} = e_2 - \hat{e}_{d,2}$ 估计得出,容易得到

$$\sigma^2 = E\{|\hat{n}_i|^2\}, i = 1, 2, \dots, N \times SF + W - 1 \quad (12)$$

第 3 步:联合检测采用 MMSE 算法,检测出第 1 组用户的数据 $d^{(k)}$, $k = 1, \dots, K_g$ 为

$$\hat{d}_{c,MMSE-BLE} = (A_1^*{}^T A_1 + \sigma^2 I)^{-1} A_1^*{}^T e \quad (13)$$

进行与第 1 步相同的处理,得到第 2 组用户的输入信号

$$e_2 = e - \hat{e}_{d,1} \quad (14)$$

第 4 步:采用 MMSE 算法,检测出第 2 组用户的数据 $\hat{d}^{(k)}$, $k = K_g + 1, \dots, K$,再进行与第 2 步相同的处理,得到第 1 组用户下一周期的输入信号

$$e_1 = e - \hat{e}_{d,2} \quad (15)$$

第 3 步和第 4 步称为 MSJD 的第二个周期。以后的周期的处理过程与第二周期相似。在最后的的一个周期输出所有用户的译码比特,即估计出的信息比特。

图 3 给出了信道模型为加性高斯白噪声时,系统满码道($K = 16$)工作,所有码道平均分配为两组($K_g = 8$),MSJD 将改善系统性能。可见,相对于传统的多用户检测技术,它将大大提高系统的性能。但是单纯的采用 MSJD 技术, K 个码道最多只能接近采用传统检测技术时的 $K/2$ 个码道的性能。

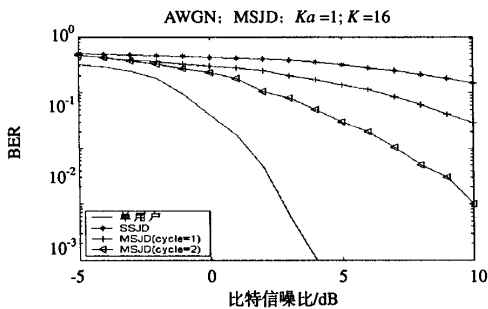


图 3 MSJD 的性能曲线
Fig.3 Multi-step JD performance curve

2 迭代多用户检测技术

迭代多用户检测(迭代 MUD)技术结合了 Turbo 码的译码和多用户检测的研究,其迭代思想来源于 Turbo 码的迭代译码算法,由于其接近单用户系统的良好性能,已经成为目前通信领域中编码系统多用户检测技术的研究热点。它采用迭代反馈的方式把信道译码后的软输出信息 $P_r(d_i^{(k)} | y^{(k)})$ 反馈给多用户检测,迭代多用户检测的具体处理过程详见参考文献[2]。

图 4 给出了在加性高斯白噪声的信道模型下,一个时隙占据不同的码道数,分配给同一用户,进行多次迭代后的多用户检测的性能曲线。固定每比特信噪比 $E_b/N_0 = 3$ dB,可见随着迭代次数的增加,迭代

多用户检测技术将大大提高系统的性能,接近单用户的性能曲线。但是由于迭代多用户检测算法中的似然计算和矩阵生成的运算量皆与码道数呈指数关系,当码道数 $K > 8$ 时运算量将变得很大,几乎不可能实时实现。

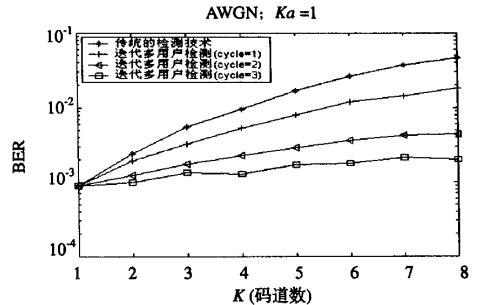


图 4 迭代多用户检测技术的性能曲线
Fig.4 Iterative MUD performance curve

3 MSJD 和迭代 MUD 的结合技术

由前面的介绍可以看出,系统满码道工作时,单纯的采用 MSJD 技术最多只能接近采用 SSJD 时 8 码道的性能;如采用迭代 MUD 技术,运算量将非常巨大。这就容易想到,如果把迭代 MUD 技术和 MSJD 技术相结合,可以利用 2 种多用户检测技术的优点来提高系统性能。具体处理方法如下:把所有的码道分为 2 组,每组码道分别进行迭代 MUD(迭代周期数固定为 2),然后对各组用户的接收数据进行重构,得到 MSJD 下一周期的输入信号,在下一周期又分别进行迭代 MUD。图 5 给出了在加性高斯白噪声信道采用该算法的系统性能曲线。

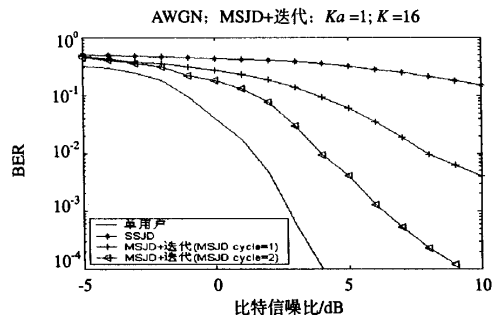


图 5 “MSJD+迭代 MUD”的性能曲线
Fig.5 “MSJD+Iterative MUD” performance curve

与图 3 相对照可以看出:将迭代 MUD 技术和 MSJD 技术结合起来,相对于单纯的 MSJD,其系统性能将大大提高,但不能达到迭代 MUD 的性能,这

是因为其中的“似然计算”和“矩阵生成”未能考虑到另一组的码道信号的影响,不能完全消除MAI,但是相对于迭代多用户检测技术,其运算量将大大减少。

4 结 论

当一个时隙占据的码道数较小($K \leq 8$)时,通常采用迭代多用户检测技术进行数据检测,经过3次迭代后,系统性能将得到很大提高,无论码道数的多少,都接近于单用户的性能。但是由于迭代多用户检测算法运算量皆与码道数呈指数关系,当码道数 $K > 8$ 时几乎不可能实时实现。MSJD的出发点就是为了解决码道数太大引起的信噪比恶化,所以当—一个时隙占据的码道数较大($K \geq 8$)时,可以采用MSJD技术来进行多用户检测,随着MSJD周期数的增加,系统性能将提高。当一个时隙占用 K 个码道时,采用MSJD的系统性能最好也只能接近传统检测时的 $K/2$ 个码道的性能。把迭代多用户检测和MSJD相结合,则可以利用两种多用户检测技术的优点来进一步提高系统的性能,它是系统性能和运算量的一个折中。

值得注意的是,我们以Turbo编码的系统介绍的多用户检测技术,如果稍经变化,同样适用于其他编码系统。

参考文献:

- [1] 3GPP TS 25. 222 V3. 5. 0-2000. 3rd Generation Partnership Project; Technical

Specification Group Radio access Network; Multiplexing and channel coding (TDD)[S].

- [2] 于秀兰,许萍,郑建宏. 迭代MUD技术在SCDMA系统中的应用[J]. 重庆邮电学院学报(自然科学版),2002,14(4):28-32.
- [3] 黄华生,蒋泽. TD-SCDMA系统中联合检测的原理和实现[J]. 重庆邮电学院学报(自然科学版),2001,13(2):5-8.
- [4] 刘文杰,王视环,傅海洋. 码分多址信道中的迭代译码及干扰消除[J]. 重庆邮电学院学报(自然科学版),2002,14(3):18-21.
- [5] MECKERLE M, WEBER T, BAIER P W, et al. Space-Time Signal Processing utilizing Multi-Step Joint Detection for the Uplink of time Division CDMA [A]. in Proc. International Conference on Communication Technologies [C]. Beijing. Aug. 2000, vol. 2, 1330-1335.
- [6] WEBER T, Oster J, Boer P W, et al. Weckerle, Turbo Multiuser Detection for TD-CDMA [J]. Kleinheubacher Berichte, 2001,45(1):159-164.
- [7] 于林,张德民. 移动七号信令集中监测系统中消息过滤的实现[J]. 重庆邮电学院学报(自然科学版),2003,15(3):30-33.

(编辑:龙能芬)

Multi-user detection technology for synchronous coded CDMA system

YU Xiu-lan, ZHANG Yong

(Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, P. R. China)

Abstract: In the paper, the application of multi-user detection technology for synchronous turbo-coded CDMA is focused on, and two technologies, multi-step joint detection and iterative multi-user detection, are exploited. Based on simulation results, a new technology, combined by MSJD and iterative MUD, is brought forward, which greatly improves system performance compared with MSJD and reduces complexity compared with iterative MUD.

Key words: Turbo code; CDMA system; multi-user detection; iterative multi-user detection; multi-step joint detection