

一种改进的 Turbo 多用户检测算法

张 芳, 任品毅, 朱世华, 姚一佳

(西安交通大学电子与信息工程学院, 710049, 西安)

摘要: 在分析 Turbo 检测器的软最小均方误差干扰消除算法和部分并行干扰消除算法的基础上提出了一种新的多用户检测算法. 该算法综合了前 2 种算法的优点, 采用部分干扰对消代替软干扰消除, 使误码率得到一定程度的提高. 仿真结果表明: 新算法的误码率性能较高, 在低信噪比时更加适用.

关键词: 多用户检测; 软干扰消除; 部分干扰消除

中图分类号: TN914 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253 - 987X(2004)04 - 0439 - 02

Improved Algorithm for Turbo Multiuser Detection

Zhang Fang, Ren Pinyi, Zhu Shihua, Yao Yijia

(School of Electronics and Information Engineering, Xi an Jiaotong University, Xi an 710049, China)

本文以现有的 2 种适用于 Turbo 编码^[1,2]的 CD-MA 系统的低复杂度迭代多用户检测方法^[3,4]为基础, 提出了一种综合两者优点的新算法, 最后通过计算机仿真实验对 3 种算法进行了对比.

1 软输入软输出多用户检测器

文献[3]提出的软最小均方误差(MMSE)干扰消除算法首先定义每个码元的软估值, 在此基础上再进行一系列的运算, 如 MMSE 滤波, 高斯近似等. 文献[4]采用了一种改进的部分干扰消除(PPIC)算法对外信息进行计算, 从而实现迭代运算. 本文综合以上两种算法的优点, 用部分干扰消除算法代替软估值, 这样会使误码率性能有所提高.

(1) 利用 PPIC 算法^[4]得到对第 k 个用户第 m 次迭代的估计值

$$b_k^{(m)} = p^{(m)} (Y_k - \mathbf{T}_k^{(m)}) + (1 - p^{(m)}) b_k^{(m-1)} \quad (1)$$

式(1)的迭代初始条件为

$$b_k^{(0)}(i) = E\{b_k(i) | \sum [b_k(i)]\} = \frac{b_k(i) \exp(b_k(i) \sum [b_k(i)])}{1 + \exp(b_k(i) \sum [b_k(i)])} = \tanh\left(\frac{1}{2} \sum [b_k(i)]\right)$$

式中: $p^{(m)}$ 为第 m 次的迭代系数; Y_k 为第 k 个匹配滤波器的输出; $\mathbf{T}_k^{(m)}$ 为由其他用户第 $m-1$ 次迭代的硬判决得到的多址干扰估计值; $b_k(i)$ 为用户 k 的第 i 比特值; $\sum [b_k(i)]$ 是前次迭代中第 k 个用户信道经译码、交织后反馈回来的先验信息. 对 $\tilde{b}_k^{(m)}$ 作硬判决, 即

$$\mathfrak{b}_k^{(m)} = \text{sgn}\{\tilde{b}_k^{(m)}\} \quad (2)$$

可以看到, 此算法中迭代的初始值取为与软 MMSE 算法中的软估值相等.

(2) 将 $\mathfrak{b}_k^{(a)}$ (其中 a 为 PPIC 算法的迭代次数) 作为第 1 次估值带入文献[3]中描述的算法, 即对每一个用户 k 的第 i 比特值由原算法的软估值改为

$$\mathfrak{b}_k(i) = \mathfrak{b}_k^{(a)}(i) \quad (3)$$

然后, 再通过 MMSE 滤波并对其结果进行高斯近似, 进一步减小剩余干扰.

2 算法的性能分析

假设多用户检测器对用户 k 的输出为 $z_k(i)$, 则误码率为

$$P_k = Q\left[\left(\frac{E^2(z_k(i))}{\text{var}(z_k(i))}\right)^{1/2}\right] = Q\left[\left(\frac{\mu_k^2(i)}{v_k^2(i)}\right)^{1/2}\right] \quad (4)$$

收稿日期: 2003 - 11 - 05. 作者简介: 张 芳(1979~), 女, 硕士生; 朱世华(联系人), 男, 教授, 博士生导师. 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60202007); 国家高技术研究发展计划资助项目(2001AA123041); 武器装备预研基金资助项目(5147302010JW08124).

式中： $Q(x) = \int_x^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} dt$; $E(\cdot)$ 表示求均值; $\mu_k(i)$ 、 $\nu_k(i)$ 分别为均值和方差。

由文献[3]可知, $\nu_k^2(i) = \mu_k(i) - \mu_k^2(i)$, 于是式(4)可改写为

$$P_k = Q\left(\left[\frac{\mu_k^2(i)}{\mu_k(i) - \mu_k^2(i)}\right]^{1/2}\right) = Q\left(\left[\frac{1}{1/\mu_k(i) - 1}\right]^{1/2}\right) \quad (5)$$

由文献[3]可以得到以下表达式

$$\mu_k(i) = A_k^2 \{ [V_k(i) + \sigma^2 R^{-1}]^{-1} \}_{kk} \quad (6)$$

式中： $V_k(i) \triangleq \text{Acov}\{b(i) - \hat{b}_k(i)\} A$, 其中 A 为信号幅度矩阵 $A = \text{diag}(A_1, A_2, \dots, A_k)$; cov 为协方差; $b(i)$ 为用户输出的信息比特; σ^2 为高斯白噪声方差; R 为扩频序列相关矩阵。

将式(5)、式(6)代入渐近有效性的定义式, 有

$$k = \sup\{0 < r < 1; \lim_{k \rightarrow \infty} P_k(r) / Q\left(\frac{(r_k)^{1/2}}{1 - A_k^2 [V_k^{-1}(i)]_{kk}}\right) < \infty\} \quad (7)$$

用角标 1、角标 2 分别表示对应于软 MMSE 算法和改进算法的各参量值。由于改进算法中采用了 PPIC 算法, 即在软 MMSE 算法中软估值的基础上使用了 PPIC 迭代算法, 对结果进行进一步迭代, 从而使其更接近于真实值, 使得至少在信噪比较小的情况下, $\hat{b}_{k2}(i)$ 的值相比 $\hat{b}_{k1}(i)$ 更接近于 $b(i)$, 即 $\hat{b}_{k2}(i) - b(i) < \hat{b}_{k1}(i) - b(i)$, 于是 $[V_{k1}(i)^{-1}]_{kk} < [V_{k2}(i)^{-1}]_{kk}$, $k_1 < k_2$, 即可得出改进算法的性能优于软 MMSE 算法。但是, 随着信噪比的增大, 软估值将愈发准确, 趋近于真实值, 此时改进算法的优势将越来越小, 从而使误码率性能趋于一致。

3 仿真结果

对 3 种算法的误码性能进行了计算机仿真实验, 结果如图 1 所示。其中, 用户数为 5, 所有用户均取码率 $R = 1/2$, Turbo 编码的子码是生成式为 (7, 5) 的 4 状态递归系统卷积码 (RSC), 采用长度为 128 的伪随机交织器。Turbo 译码采用 Log-MAP 算法, 迭代次数为 3。部分干扰消除算法的阶数为 2, 第 1 次迭代的参数 $[p^{(1)}, p^{(2)}]$ 定为 $[0.5, 0.55]$, 第 2 次迭代取为 $[0.6, 0.65]$, 第 3 次取为 $[0.7, 0.75]$ 。

从以上分析可以看到, 仿真结果与性能分析吻合, 本文提出的改进算法在迭代的初始情况和信噪比较小的情况下, 如在信噪比较差的卫星信道中, 其性能改善达到了 0.25 dB, 具有一定的优势。

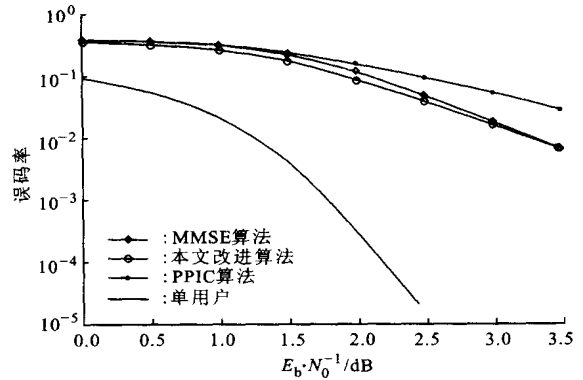


图 1 3 种多用户检测算法误码性能的比较

4 总结

本文提出了一种在 DS-CDMA 系统中的改进的 Turbo 多用户检测算法。其改进之处在于用部分干扰对消代替软干扰消除, 从而达到了更好的性能, 在信噪比较低时更加适用。经过分析, 本文算法的误码率性能较好, 但算法复杂度也较高。这种方法还可以被推广至更复杂的多径信道异步 CDMA 系统中。

参考文献:

- [1] Berrou C, Glavieux A. Near optimum error correcting coding and decoding: Turbo codes [J]. IEEE Trans Commun, 1996, 44(10): 1261~1271.
- [2] Berrou C, Glavieux A, Thitimajshima P. Near Shannon limit error correction coding and decoding: Turbo codes [A]. IEEE International Conference on Communications, ICC93, Geneva, Switzerland, 1993.
- [3] Wang X D, Poor H V. Iterative (Turbo) soft interference cancellation and decoding for coded CDMA [J]. IEEE Trans Comm, 1999, 47(7): 1046~1060.
- [4] Wu K M, Wang C L. An iterative multiuser receiver using partial parallel interference cancellation for Turbo-coded DS-SS-CDMA systems [A]. GLOBECOM '01, San Antonio, USA, 2001.

(编辑 刘 杨)