

异步 DS-CDMA 系统中的最优时空线性多用户检测器¹

王文杰 张建国 殷勤业

(西安交通大学电信学院信息工程研究所 西安 710049)

摘 要 该文给出了一种适用于异步 DS-CDMA 系统的通用线性时空二维多用户检测方法, 它将所有线性多用户检测器归结到一个统一的数学模型之下。基于此模型, 该文将时空线性多用户检测问题转化为一个权矢量的优化问题, 并在线性约束最小方差 (LCMV) 准则下给出了权矢量的优化解。对现有的几种典型线性多用户检测器的分析表明, 这些方法都可以看作是该文提出的通用时空线性多用户检测方法的特例, 且只能在某种限定条件下得到局部最优解, 因此其抑制多址干扰和噪声的能力都低于文中的最优时空线性多用户检测器。最后, 给出了数值仿真结果。

关键词 时空二维处理, 线性多用户检测器, 码分多址
中图分类号 TN914.4, TN911.23

1 引言

DS-CDMA 系统以其较高的频带利用率, 较强的抗干扰能力, 引起人们普遍关注。在实际系统中, 由于码的准正交性及多径效应, DS-CDMA 系统中存在着多址干扰 (MAI)。MAI 的存在使基于匹配滤波器的单用户检测器在接收远区用户信号时, 受到近区用户的干扰, 即存在远近效应问题, 从而限制了系统容量。多用户检测方法能够充分利用各用户的扩频码信息, 减小 MAI 的影响, 是克服远近效应的有效手段。

最优多用户检测器^[1]采用最大似然估计方法, 由于其运算量太大而很难实施。为此人们提出了一系列次最优的方法以减小运算量。这些方法可以分为线性多用户检测器^[2,3]和非线性多用户检测器两种, 其中线性多用户检测器以解相关方法^[2]最具代表性。虽然多用户检测器可以有效解决远近效应问题, 进而可以大大提高系统容量, 但是小区中容纳的最多用户数受扩频码长度的限制。对于过载系统 (即用户数大于扩频码长度的情况), 传统的多用户检测器的性能会显著下降。阵列天线的引入将传统的多用户检测方法推广到了时空域, 如文献 [4-6] 中的时空解相关器就是解相关器推广到时空域的结果。由于引入了空间信息, 多用户检测的性能得到一定程度的改善, 并可以应用于过载系统中, 使系统容量得到进一步提高。本文重点研究在异步 DS-CDMA 系统中如何充分合理地利用时域与空域信息, 以得到最优的时空线性多用户检测方法。

在采用阵列天线后, 不同用户的信号不仅具有由于被分配了不同的扩频码而带来的时域特征, 而且具有由于用户空间位置的不同而带来的空域特征, 时域特征和空域特征均可以用来区分不同的用户。因此, 本文将用户的空域特征和时域特征等同看待, 将二者合并后构造时空特征矢量。所构造的时空特征矢量中含有完备的时空二维信息, 并具有简单的数学表达形式。据此, 本文给出了一种通用的时空线性多用户检测方法, 从而将所有的线性多用户检测方法归结到一个统一的数学模型下。基于此模型, 本文将一个时空线性多用户检测问题转化为一个权矢量的优化问题, 并在 LCMV 准则下给出了权矢量的最优解。

利用本文提出的数学模型以权矢量优化的观点对前述几种线性多用户检测器重新进行了推导, 证明了这几种线性多用户检测方法都是本文通用时空线性多用户检测方法的特例。由于这些线性多用户检测方法都是在某些限定下得到局部最优解, 因而其抑制干扰和噪声的性能都低于本文提出的最优时空线性多用户检测器。

¹ 2000-06-16 收到, 2000-12-22 定稿

国家自然科学基金、博士点基金及深圳华为公司科技基金联合资助

2 信号模型

假设基站采用 M 元天线阵, 移动台发射的信号为 BPSK 调制的 DS-CDMA 信号, 则在加性高斯白噪声信道中基站接收到的阵列信号可以表示为

$$\mathbf{r}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sqrt{P_k} g_{k,l} \mathbf{a}_{k,l} b_k[n] s_k(t - nT_b - \tau_{k,l}) + \mathbf{u}(t) \quad (1)$$

其中 K 为基站接收到的用户信号总数, T_b 为 bit 周期, $\sqrt{P_k}$ 表示第 k 个用户的信号幅度, $g_{k,l}$ 和 $\tau_{k,l}$ 分别是第 k 个用户的第 l 条多径的复增益和时延, $\mathbf{a}_{k,l}$ 为 $M \times 1$ 的导向矢量, 它反映了用户的空域特征。 $b_k[n] \in \{+1, -1\}$ 是第 k 个用户的第 n 个信息码元, $\mathbf{u}(t)$ 为 $M \times 1$ 的白噪声矢量, 每个阵元的噪声输出相互独立且服从均值为零, 方差为 σ^2 的高斯分布。本文假设每一个用户的多径个数都等于 L 。 $s_k(t)$ 为第 k 个用户的归一化特征波形

$$s_k(t) = \frac{1}{G} \sum_{p=0}^{G-1} c_k[p] \psi(t - pT_c) \quad (2)$$

其中 G 为扩频增益, $\{c_k(p)\}_{p=0}^{G-1}$ 为第 k 个用户的扩频序列, 它反映了用户的时域特征。 $\psi(t)$ 为归一化的脉冲成形函数, 设其持续期为 $[0 \sim T_c]$, $T_c = T_b/G$ 为 chip 周期。

假设被接收用户为第 1 个用户, 对第 1 个用户的每一条多径信号进行接收可以得到 L 个输出, 对其进行 RAKE 合并即可得到判决统计量。考虑接收第一个用户的第一条路径信号, 将接收到的信号经过相应的脉冲成形函数匹配滤波器, 并以 chip 率采样得到接收信号的离散形式为

$$\mathbf{r}[p] = \int_{-\infty}^{+\infty} \mathbf{r}(t) \psi(t - pT_c - \tau_{1,1}) dt \quad (3)$$

将 (1) 式和 (2) 式带入 (3) 式有

$$\mathbf{r}[p] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sqrt{P_k} g_{k,l} \mathbf{a}_{k,l} b_k[n] \tilde{c}_{k,l}[p + m_{1,1} - m_{k,l} + (n_{1,1} - n_{k,l})G - nG] + \hat{\mathbf{u}}[p] \quad (4)$$

其中

$$\tilde{c}_{k,l}[p] = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t - \tau'_{k,l}) \psi(t - pT_c - \tau'_{1,1}) dt \quad (5)$$

$$\hat{\mathbf{u}}[p] = \int_{-\infty}^{+\infty} \mathbf{u}(t) \psi(t - pT_c - \tau_{1,1}) dt \quad (6)$$

$n_{k,l}$, $m_{k,l}$ 和 $\tau'_{k,l}$ 由下式确定, $\tau_{k,l} = n_{k,l}T_b + m_{k,l}T_c + \tau'_{k,l}$ ($n_{k,l}$ 和 $m_{k,l}$ 为整数, 且 $m_{k,l} < G$, $\tau'_{k,l} < T_c$)。

3 最优时空线性多用户检测器

3.1 通用时空线性多用户检测器

观察 (4) 式可以发现, 载在第 1 用户第 1 条路径信号中的第 n 个数据码流 $b_1[n]$ 的全部信息包含在 G 个 $M \times 1$ 的矢量 $r[p]$, $p \in [nG, (n+1)G-1]$ 中, 但我们不仅仅是在宽度为 G 的数据窗口 $[nG, (n+1)G-1]$ 中提取被接收数据码元 $b_1[n]$, 而是将窗口宽度扩大为 $2P+1$, 这时数据窗为: $[\tilde{G}-P+nG, \tilde{G}+P+nG]$, 其中 $\tilde{G} = \lceil G/2 \rceil$, $\lceil \cdot \rceil$ 表示向上取整。参数 P 控制数据窗口宽度。这是由于在异步系统中, 在数据窗口 $[nG, (n+1)G-1]$ 内外的数据是相互相关的, 不同于同步系统中的情况。数据窗的宽度的选取将在下一节中讨论。

于是, 将上述数据窗内的 $2P+1$ 个 $M \times 1$ 的向量排成 $(2P+1)M \times 1$ 的列向量有

$$x[n] = [r[\tilde{G}-P+nG]^T, \dots, r[\tilde{G}+nG]^T, \dots, r[\tilde{G}+P+nG]^T]^T \quad (7)$$

列向量 $x[n]$ 的生成过程如图 1 所示。为表述简洁, $x[n]$ 还可以表示成如下的矩阵形式:

$$x[n] = Sb[n] + u[n] \quad (8)$$

其中

$$u[n] = [\tilde{u}[\tilde{G}-P+nG]^T, \dots, \tilde{u}[\tilde{G}+nG]^T, \dots, \tilde{u}[\tilde{G}+P+nG]^T]^T, \quad (2P+1)M \times 1 \quad (9)$$

$$b[n] = [\tilde{b}[n-\tilde{P}]^T, \dots, \tilde{b}[n]^T, \dots, \tilde{b}[n+\tilde{P}]^T]^T, \quad (2\tilde{P}+1)KL \times 1 \quad (10)$$

$$\tilde{b}[n] = [\sqrt{p_1}g_{1,1}b_1[n], \dots, \sqrt{p_1}g_{1,L}b_1[n+n_{1,1}-n_{1,L}], \dots, \sqrt{p_K}g_{K,L}b_K[n+n_{1,1}-n_{K,L}]]^T \quad (11)$$

$$S = [\tilde{S}[-\tilde{P}], \dots, \tilde{S}[0], \dots, \tilde{S}[\tilde{P}]], \quad (2P+1)M \times (2\tilde{P}+1)KL \quad (12)$$

$$\tilde{S}[p] = [s_{1,1}[p], \dots, s_{1,L}[p], s_{2,1}[p], \dots, s_{K,L}[p]] \quad (13)$$

$$s_{k,l}[p] = c_{k,l}[p] \odot a_{k,l} \quad (14)$$

$$c_{k,l}[p] = [\tilde{c}_{k,l}[pG+m_{1,1}-m_{k,l}-P], \dots, \tilde{c}_{k,l}[pG+m_{1,1}-m_{k,l}], \dots, \tilde{c}_{k,l}[pG+m_{1,1}-m_{k,l}+P]]^T \quad (15)$$

其中 $\tilde{P} = \lceil \frac{2P+1-G}{2G} \rceil$, 表示持续期外一侧的以比特为单位的有效数据长度, 如图 1 中所示, $\tilde{P} = 2: \{\cdot\}^T$ 表示转置; $\odot$ 表示 Kronecker 积。由于 (14) 式中, $c_{k,l}[p]$ 包含了用户的时域信息, $a_{k,l}$ 包含了用户的空域信息, 因此本文将 $s_{k,l}[p]$ 命名为第 k 个用户的第 l 条路径第 p 个码元的时空特征矢量。本文将 K 个用户的 L 条路径的 $2\tilde{P}+1$ 个码元看作 $(2\tilde{P}+1)KL$ 个用户发出的信号, 因此 S 是一个 $(2P+1)M \times (2\tilde{P}+1)KL$ 的矩阵。 $x[n]$ 可被解释为 $(2\tilde{P}+1)KL$ 个用户的时空特征矢量被各自信息码元调制后与信道噪声的总和。至此, 通用的时空线性多用户检测器即可表示为

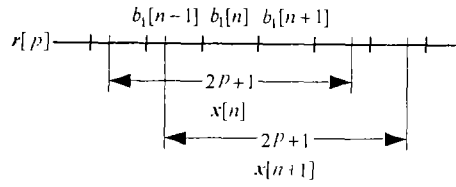


图 1 数据窗口示意图

$$y[n] = \mathbf{w}^H \mathbf{x}[n] \quad (16)$$

其中 $\{\cdot\}^H$ 表示共轭转置, $\mathbf{w}$ 为 $(2P+1)M \times 1$ 的权矢量, 不同的线性多用户检测器对应不同权矢量的选取。

假设被接收用户为第 1 个用户, 对于第 1 个用户的第 1 条多径, 设其权矢量为 $\mathbf{w}_{1,1}$, 检测器输出为

$$y_{1,1}[n] = \mathbf{w}_{1,1}^H \mathbf{x}[n] \quad (17)$$

由于 $y_{1,1}[n]$ 中的信干噪比 (SINR) 的大小直接依赖于权矢量的选取, 于是时空线性多用户检测器的问题转化为一个权矢量的优化设计问题。

对于第 1 个用户的其它多径信号, 只要改变 (3) 式中的多径时延和 (16) 式中的权矢量并进行类似处理即可得到其它多径输出, 然后进行 RAKE 合并即可得到判决统计量。

时空特征矢量的引入, 将一个时空二维问题转换为一个一维问题, 可以用时域的多用户检测方法或空域的波束形成方法来解决时空线性多用户检测问题, 简化了数学表达的复杂度。比较 $s_{k,j}[p]$ 和 $c_{k,j}[p]$ 可以看出, 由于空域信息的引入, 时空二维多用户检测器与传统的时域多用户检测器相比增加了等效处理增益, 提高了用户特征之间的正交性, 从而可以改善接收机性能。

3.2 权矢量的优化设计

在推导时空权矢量之前, 首先作如下假设 (1) 不同用户数据码流间相互独立; (2) 同一用户数据码流为随机信号, 即相邻数据码元之间互不相关; (3) 在观测时间内用户来波方向和相对时延保持不变; (4) 各多径信号的信道增益在观测时间内会发生变化且变化的复增益间互不相关。

由于在实际移动通信环境中, 用户来波方向及相对时延是慢变的, 而信道的复增益是快变的, 因此上述假设是合理的。

定理 1 在上述假设条件下, (8) 式中的 $\mathbf{b}[n]$ 的各元素间互不相关。

证明 考察 (11) 式并由假设 (1), $\tilde{\mathbf{b}}[n]$ 中不同用户的数据间互不相关。对于同一用户的不同多径信号, 当多径的相对时延大于 1 个比特周期时, 由假设 (2) 可知不同多径信号相互不相关, 当多径相对时延小于 1 个比特周期时, 由于不同多径的信道复增益互不相关性, 即假设 (4), 不同多径信号也互不相关。考察 (10) 式可知, $\mathbf{b}[n]$ 是由相互相邻的数据码流向量 $\{\tilde{\mathbf{b}}[m]\}_{m=n-p}^{m=n+p}$ 构成的, 由假设 (2) 知, $\tilde{\mathbf{b}}[m]$ 间互不相关, 故 $\mathbf{b}[n]$ 中各元素间互不相关。证毕

定理 1 表明, 对于某一特定的被接收信号, 在干扰信号中无其相干源存在, 故可以用熟知的 LCMV 准则来优化权系数。

考察时空线性多用户检测器的输出功率:

$$p(\mathbf{w}) = E[y[n]y[n]^*] = \mathbf{w}^H \mathbf{R} \mathbf{w} \quad (18)$$

其中 $\mathbf{R} = E[\mathbf{x}[n]\mathbf{x}[n]^H]$, 是阵列信号 $\mathbf{x}[n]$ 的协方差矩阵, 为了尽量抑制在时空线性多用户检测器输出中的噪声和干扰成分, 本文选用 LCMV 准则来优化权矢量 $\mathbf{w}$, 即

$$\min_{\mathbf{w}} \mathbf{w}^H \mathbf{R} \mathbf{w} \quad \text{s.t.} \quad \mathbf{w}^H \mathbf{s}_{1,1}[0] = 1 \quad (19)$$

LCMV 准则下的最优解为

$$\mathbf{w}_{\text{opt}} = \frac{\mathbf{R}^{-1} \mathbf{s}_{1,1}[0]}{\mathbf{s}_{1,1}[0]^H \mathbf{R}^{-1} \mathbf{s}_{1,1}[0]} \quad (20)$$

观察 (20) 式可以发现, 尽管被接收的第 1 个用户第 1 条路径的第 n 个码元的持续期为 $[0 \sim T_b]$, 但是最优权值在有限持续期 $[0 \sim T_b]$ 外不一定为 0, 这一结果多少让人有些吃惊。这是由于在异步系统中, 在数据窗口 $[nG, (n+1)G - 1]$ 内外的数据是相互相关的, 因此可以用增大数据窗口宽度的方法来优化权矢量, 以进一步降低多址干扰。

观察 (20) 式还可以发现, 我们只在构造被接收用户的时空特征矢量时应用了被接收用户的空间特征和特征波形, 并不需要其它干扰源和噪声的任何信息, 这是由于这些信息已经全部包含在协方差矩阵中了。因此本文方法不同于传统的解相关器, 它不仅可以抑制已知用户 (同小区内用户) 的多址干扰, 而且可以有效抑制未知用户 (相邻小区用户) 的多址干扰和信道噪声。

3.3 时空线性多用户检测模型通用性分析

如果将时空权矢量选取为第 1 个用户第 1 条路径的时空特征矢量, 即 $\mathbf{w}_m = \mathbf{s}_{1,1}[0]$, 则文中的通用时空线性多用户检测器转化为时空匹配滤波器。此时, (20) 式中最优权矢量的解 $\mathbf{w}_{\text{opt}} = \mathbf{s}_{1,1}[0]$ 。也就是说在单用户且只考虑噪声的情况下, 时空匹配滤波器就是最优解。然而实际系统中, 这种情况是没有意义的。由于时空匹配滤波器不能在很大程度上抑制多址干扰, 因此它具有远近效应问题。

在众多线性多用户检测器中, 以解相关器^[2]最为典型。文献 [4-6] 将其推广到了时空域, 提出了时空解相关方法。可以证明, 文献 [4-6] 中的时空解相关器都是文中通用时空线性多用户检测器的特例, 限于篇幅, 下面以文献 [4] 为例给出证明。

应用本文提出的时空特征矢量, 文献 [4] 中的联合时空解相关器可以被重新表述为: 假设有 K' 个用户的扩频序列已知, $K' < K$, (8) 式中的信号可以重写为

$$\mathbf{x}[n] = \bar{\mathbf{S}} \bar{\mathbf{b}}[n] + \bar{\mathbf{I}}[n] \quad (21)$$

其中 $\bar{\mathbf{b}}[n]$ 和 $\bar{\mathbf{S}}$ 的定义与 (10)、(12) 式类似, 只要将 K 替换为 K' 即可。 $\bar{\mathbf{I}}[n]$ 为表示由未知用户和噪声带来的干扰项。

$\mathbf{x}[n]$ 经 K' 个用户的匹配滤波器的输出为

$$\bar{\mathbf{y}}[n] = \bar{\mathbf{S}}^H \mathbf{x}[n] = \bar{\mathbf{R}} \bar{\mathbf{b}}[n] + \bar{\mathbf{S}}^H \bar{\mathbf{I}}[n] \quad (22)$$

其中 $\bar{\mathbf{R}} = \bar{\mathbf{S}}^H \bar{\mathbf{S}}$, 为时空特征矢量的互相关矩阵, 时空解相关器的输出为

$$\bar{\mathbf{z}}[n] = \bar{\mathbf{R}}^{-1} \bar{\mathbf{y}}[n] \quad (23)$$

考虑第 1 个用户的第 1 条路径的第 n 个数据的解相关输出, 为此令 $\mathbf{p}$ 为 $\bar{\mathbf{R}}^{-1}$ 的第 $\bar{p}K'L + 1$ 行矢量, 它可以表示为

$$\mathbf{p} = [\bar{p}[-\bar{P}], \dots, \bar{p}[0], \dots, \bar{p}[\bar{P}]] \quad (24)$$

$$\bar{p}[p] = [\rho_{1,1}[p], \dots, \rho_{1,L}[p], \rho_{2,1}[p], \dots, \rho_{K,L}[p]] \quad (25)$$

则被接收用户的时空联合解相关输出为

$$y_d[n] = \mathbf{p} \bar{\mathbf{S}}^H \mathbf{x}[n] = \sum_{k=1}^{K'} \sum_{l=1}^L \sum_{p=-\tilde{P}}^{\tilde{P}} \rho_{k,l}[p] \mathbf{s}_{k,l}[p]^H \mathbf{x}[n] = \mathbf{w}_d^H \mathbf{x}[n] \quad (26)$$

其中

$$\mathbf{w}_d = \sum_{k=1}^{K'} \sum_{l=1}^L \sum_{p=-\tilde{P}}^{\tilde{P}} \rho_{k,l}[p]^* \mathbf{s}_{k,l}[p] \quad (27)$$

实际上, 上述方法就是用时空特征矢量代替传统解相关中的扩频序列后做解相关的结果。由于这一方法应用了用户的空域信息, 与传统解相关相比增加了等效处理增益, 提高了用户特征之间的正交性, 从而改善了接收机性能。由 (27) 式可知, 该方法的权矢量就是已知用户时空特征矢量的线性组合, 即只能限定在已知时空特征矢量所张的子空间上寻找最优权系数。因此, 这种方法只能有效抑制已知扩频序列的用户干扰, 而对未知用户的干扰 (如小区外的用户干扰) 和噪声则无能为力。

可以证明, 现有的时空线性多用户检测方法都可以以不同的权矢量用 (16) 式所示模型来表示, 由于篇幅所限, 这里不再一一给出。因此现有的时空线性多用户检测方法都可以看做是本文通用线性时空多用户检测器的特例, 并且这些方法只能在某种限定条件下得到局部最优解, 其抑制多址干扰和噪声的能力都低于文中的最优时空线性多用户检测器。当然, 这种性能的提高是以运算量的增加为代价的。但是在这种情况下, 本文算法的运算量仍然远远小于前述的基于最大似然估计的最优多用户检测方法。

4 数据窗口宽度的选取

如前所述, 我们在逐一提取码元信息时, 选取的观测时间大于信息码元的持续期, 这一结果令人吃惊。因为一般来讲, 在持续期外没有被提取的信息, 因此要提取用户信息, 我们往往只要在用户信号持续期上考虑即可。

然而, 上述结论只适用于单用户的情况。在单用户条件下, 我们在提取信号时所抑制的只是信道噪声, 我们往往认为噪声在持续期内外是互不相关的, 因此考虑持续期外的信号对单用户信号的检测没有好处。多用户检测的主要任务是抑制其它用户的干扰。在异步系统中, 不同用户的信息码流间不同步, 因此在被接收用户信息码元的持续期内外, 干扰用户的信号间是相关的。为了最大限度地抑制多址干扰, 考虑持续期外的信号是有意义的。通俗地讲, 持续期外的干扰用户信号可以抵消一部分持续期内的干扰用户信号, 从而带来更好的干扰抑制效果。而且, 由于持续期外的各用户信号间也是相关的, 因此在持续期外进一步增宽数据窗口可以进一步提高干扰抑制能力。故当数据窗口的宽度为无穷宽时, 干扰抑制能力最好。这在实际系统中显然是不可能的, 好在持续期外信号对干扰抑制能力的影响随着数据窗口宽度的增大而逐渐减小, 因此, 当数据窗口大到一定程度, 干扰抑制能力将趋于稳定。数据窗口宽度的选取还和多径的时延散布有关。多径的时延散布越大, 持续期内外的相关性就越强, 在同样干扰抑制能力要求下数据窗口越宽。上述结论都将在仿真实验中给予证实。

5 仿真实验分析

实验中采用 2 元阵, 阵元各向同性, 间距为半波长。扩频码采用 15 位长的 Gold 码, 本原多项式系数为 {1001; 0011}。数据码元个数为 8000, 信噪比为 10dB。用户 1 为被接收用户, 其信号功率较其它用户的信号功率小约 6dB 左右, 以模拟远近效应情况, 假设有一个未知用户, 即

$K' = K - 1$ 。选取数据窗口宽度为 31, 即 $P = 15$ 。采用单径信道模型, 多径时延在 $0 \sim 7\text{chip}$ 内均匀分布。实验结果均为 200 次 Monte-Carlo 实验后的平均。

图 2 给出了本文方法、时空联合解相关方法和时空匹配滤波器方法的误码率特性随用户数的变化。图中结果表明, 最优线性多用户检测方法的误码率性能最好, 时空联合解相关方法在有一个用户未知的情况下, 性能显著下降。

图 3 给出不同多径时延散布的情况下, 误码率性能随处理窗口宽度的变化。实验中用户数为 12, 两条曲线分别表示最大多径时延为 7chip 和 4chip 时误码率性能随处理窗口宽度的变化。图中结果表明, 在同样误码率要求的条件下, 时延散布越大, 要求的处理窗口宽度就越大。

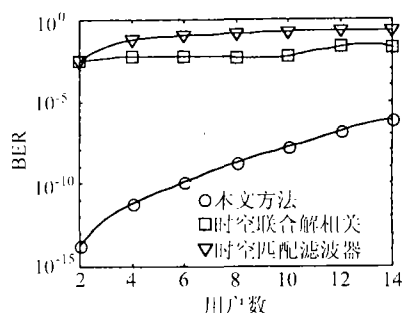


图 2 误码率特性随用户数的变化

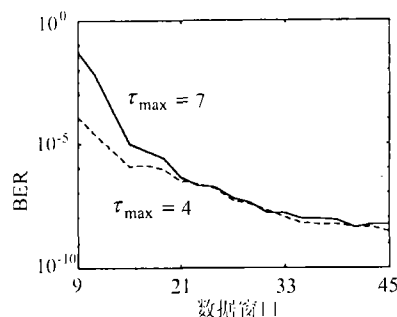


图 3 误码率性能随处理窗口宽度的变化

6 结 论

本文提出了一种通用的时空线性多用户检测器, 并依据 LCMV 准则给出了时空线性多用户检测器的最优解。现有的线性多用户检测方法都是文中通用的时空线性多用户检测器的特例, 且其抑制多址干扰和噪声的能力都低于文中提出的最优时空线性多用户检测器。

参 考 文 献

- [1] S. Verdu, Minimum probability of error for asynchronous Gaussian multiple-access channel, IEEE Trans. on Info. Theory, 1986, IT-32(1), 85-96.
- [2] R. Lupas, S. Verdu, Linear multiuser detectors for synchronous code-division multiple-access channels, IEEE Trans. on Info. Theory, 1989, (1), 123-136.
- [3] M. Honig, U. Madhow, S. Verdu, Blind adaptive multiuser detection, IEEE Trans. on Info. Theory, 1995, 41(7), 944-960.
- [4] S. Y. Miller, S. C. Schwartz, Integrated spatial-temporal detectors for asynchronous Gaussian multiple-access channels, IEEE Trans. on Comm. 1995, 43(2), 396-411.
- [5] J. Choi, Beamforming for the multiuser detection with decorrelator in synchronous CDMA systems: Approaches and performance analysis, Signal Processing, 1997, 60(7), 195-211.
- [6] X. D. Wang, H. V. Poor, Space-time multiuser detection in multipath CDMA channels, IEEE Trans. on Signal Processing, 1999, 47(9), 2356-2374.

OPTIMAL LINEAR SPACE-TIME MULTIUSER DETECTOR FOR ASYNCHRONOUS DS-CDMA SYSTEMS

Wang Wenjie Zhang Jianguo Yin Qinye

*(Inst. of Info. Eng., School of Electron. & Info. Eng.,
Xi'an Jiaotong Univ., Xi'an 710049, China)*

Abstract A versatile signal model suitable for linear space-time multiuser detectors in asynchronous DS-CDMA systems is proposed. Based on the model, a versatile linear space-time multiuser detector is presented and its optimal solution according to the Linear Constrained Minimum Variance (LCMV) criterion is deduced. The analyses of the existent linear multiuser detectors demonstrate that these methods are just the special cases of the versatile detector in this paper and can only achieve the suboptimal solution. Hence their interference canceling performance is inferior to the optimal detector in this paper. Finally, numerical simulations are presented.

Key words Space-time processing, Linear multiuser detector, CDMA

王文杰: 男, 1971 年生, 博士生, 主要从事时空多用户检测方面的研究.

张建国: 男, 1972 年生, 博士生, 主要从事智能天线技术研究.

殷勤业: 男, 1950 年生, 教授, 博士生导师, 主要从事阵列信号处理, 时频分析, 神经网络, 智能天线, 移动通信等技术的研究.