

# Turbo-BLAST 系统中基于容量的天线选择和功率分配算法\*

陈小敏 徐大专 虞湘宾

(南京航空航天大学信息科学与技术学院, 南京 210016)

**摘要:** 在不完全信道状态信息条件下, 提出了一种适用于 Turbo-BLAST 系统的天线选择和功率分配算法。所提算法以信道容量最大化为准则, 从所有天线中选取一组天线子集用于发射, 并对选择的天线子集进行注水功率分配, 以充分利用 Turbo-BLAST 系统的空间复用增益并提高信道容量。在接收端, 采用 Turbo 原理对接收信号进行迭代检测以改善系统的误比特率性能。仿真结果表明采用所提算法不仅可以显著提高系统的信道容量, 而且误比特率性能也得到明显的改善。

**关键词:** Turbo-BLAST; 不完全信道状态信息; 天线选择; 注水功率分配; 迭代检测

**中图分类号:** TN911 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0530(2010)01-0051-05

## Antenna Selection and Power Allocation Algorithm Based on Maximum Capacity for Turbo-BLAST System

CHEN Xiao-min XU Da-zhuan YU Xiang-bin

(College of Information Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing, 210016, China)

**Abstract:** Antenna selection and power allocation algorithm which aimed at maximizing channel capacity is presented for Turbo-BLAST system in the presence of imperfect channel state information. At the transmitter, the transmit antenna subset is selected for data transmission based on the maximization of the channel capacity. Meanwhile, the water-filling power allocation is used for the selected antenna subset so that the spatial multiplexing gains of Turbo-BLAST system are fully utilized to improve the channel capacity. At the receiver, turbo iterative idea is employed for signals detection to improve the bit error rate (BER) performance further. Simulation results show that the proposed algorithm improves not only the channel capacity but also the BER performance.

**Key words:** Turbo-BLAST; Imperfect Channel State Information; Antenna Selection; Water-filling Power Allocation; Iterative Detection

## 1 引言

在 Turbo-BLAST<sup>[1]</sup>系统中, 采用链路自适应技术可以改善系统性能<sup>[2-6]</sup>。链路自适应技术的性能依赖于信道状态信息, 而在实际系统中, 由于接收机估计不准确、量化精度误差等因素, 接收端得到的信道状态信息和实际信道信息存在一定的误差<sup>[7-8]</sup>。本文针对信道估计有误差情况, 提出了使信道容量最大化的天线选择和功率分配算法, 并采用 Turbo 原理对接收信号进行迭代检测。仿真结果表明, 采用所提算法可以显著提高 Turbo-BLAST 系统的信道容量, 而接收端的迭代检测则

可以进一步改善系统的误比特率(Bite error rate, BER)性能。

## 2 信道模型

设 Turbo-BLAST 系统有  $M$  个发射天线和  $N$  个接收天线, 从  $M$  个天线中选择  $L$  个天线用于发射, 共有  $\binom{M}{L}$  种可能的天线子集, 基于容量最大化的准则, 选择信道条件最好的一组天线子集用于发射。用  $\mathbf{H}_A \in \mathbb{C}^{N \times M}$  表示所有天线所对应的信道矩阵。  $\mathbf{H} \in (\mathbf{h}_{ji}) \in \mathbb{C}^{N \times L}$  表示

所选择的子集矩阵,其元素满足  $h_{ji} \sim \mathcal{CN}(0, 1)$ ,  $\mathcal{CN}(a, b)$  表示均值为  $a$  方差为  $b$  的复高斯分布,  $\mathbf{E} = (e_{ji}) \in \mathbb{C}^{N \times L}$  表示信道估计误差矩阵,其元素满足  $e_{ji} \sim \mathcal{CN}(0, \sigma_e^2)$ ,  $\sigma_e^2$  为估计误差的方差,反映信道估计的准确性,  $\hat{\mathbf{H}} = (\hat{h}_{ji}) \in \mathbb{C}^{N \times L}$  表示天线子集对应的信道估计矩阵,其元素满足  $\hat{h}_{ji} \sim \mathcal{CN}(0, 1 - \sigma_e^2)$ ;  $\hat{\mathbf{H}}$  和  $\mathbf{E}$  中的元素为独立同分布的复高斯变量,并且  $\hat{\mathbf{H}}$  和  $\mathbf{E}$  也是相互独立的,  $\hat{\mathbf{H}}$  和  $\mathbf{H}$  之间的关系可以表示为

$$\mathbf{H} = \hat{\mathbf{H}} + \mathbf{E} \quad (1)$$

### 3 采用天线选择和注水功率分配的 Turbo-BLAST 系统模型

来自信源的信息比特流经过卷积编码、调制和串/并变换后,通过所选择的子集经过功率加载后发射出去,系统模型如图 1 所示。用  $\mathbf{x}$  表示发射信号;  $\mathbf{r}$  为等效基带接收信号;  $\mathbf{n}$  为加性高斯白噪声,其各分量元素为独立同分布的复高斯随机变量,均值为 0, 方差为  $\sigma_n^2$ ;  $\mathbf{P} = \text{diag}(\sqrt{P_1}, \dots, \sqrt{P_L})$  为发射端的功率分配矩阵,满足总功率约束条件  $\sum_{i=1}^L P_i = M$ 。

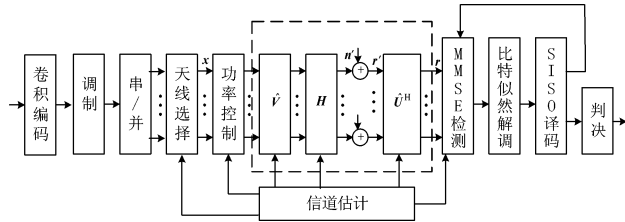


图 1 采用注水算法的 Turbo-BLAST 系统模型

因为仅已知信道估计矩阵和估计误差的统计特性,所以利用信道估计矩阵  $\hat{\mathbf{H}}$  来进行天线选择和功率分配。首先,对  $\hat{\mathbf{H}}$  进行奇异值分解,表示为

$$\hat{\mathbf{H}} = \hat{\mathbf{U}} \hat{\mathbf{\Lambda}} \hat{\mathbf{V}}^H \quad (2)$$

其中  $(\cdot)^H$  表示矩阵的共轭转置,  $\hat{\mathbf{U}}$  和  $\hat{\mathbf{V}}$  为酉矩阵,满足  $\hat{\mathbf{U}}^H \hat{\mathbf{U}} = \hat{\mathbf{U}} \hat{\mathbf{U}}^H = \mathbf{I}_N$ ,  $\hat{\mathbf{V}} \hat{\mathbf{V}}^H = \hat{\mathbf{V}}^H \hat{\mathbf{V}} = \mathbf{I}_L$ ,  $\hat{\mathbf{\Lambda}} = \text{diag}(\sqrt{\lambda_1}, \dots, \sqrt{\lambda_L}, 0, \dots, 0) \in \mathbb{C}^{N \times L}$ ,  $\{\lambda_i\}_{i=1}^L$  为  $\hat{\mathbf{H}} \hat{\mathbf{H}}^H$  的特征值。然后,令  $\mathbf{r} \triangleq \hat{\mathbf{U}}^H \mathbf{r}'$ ,  $\mathbf{n} \triangleq \hat{\mathbf{U}}^H \mathbf{n}'$ ,  $\mathbf{r}$  和  $\mathbf{n}'$  具有相同的分布,则接收信号可以表示为

$$\mathbf{r} = \hat{\mathbf{U}}^H \mathbf{r}' = \hat{\mathbf{U}}^H (\mathbf{H} \hat{\mathbf{V}} \mathbf{P} \mathbf{x} + \mathbf{n}') = \hat{\mathbf{U}}^H \mathbf{H} \hat{\mathbf{V}} \mathbf{P} \mathbf{x} + \hat{\mathbf{U}}^H \mathbf{n}' \quad (3)$$

因为  $\mathbf{H} = \hat{\mathbf{H}} + \mathbf{E}$ , 则 (3) 式可变换为

$$\begin{aligned} \mathbf{r} &= \hat{\mathbf{U}}^H (\hat{\mathbf{H}} + \mathbf{E}) \hat{\mathbf{V}} \mathbf{P} \mathbf{x} + \hat{\mathbf{U}}^H \mathbf{n}' \\ &= \hat{\mathbf{U}}^H \hat{\mathbf{U}} \hat{\mathbf{\Lambda}} \hat{\mathbf{V}}^H \hat{\mathbf{V}} \mathbf{P} \mathbf{x} + \hat{\mathbf{U}}^H \mathbf{E} \hat{\mathbf{V}} \mathbf{P} \mathbf{x} + \hat{\mathbf{U}}^H \mathbf{n}' \\ &= \hat{\mathbf{\Lambda}} \mathbf{P} \mathbf{x} + \hat{\mathbf{U}}^H \mathbf{E} \hat{\mathbf{V}} \mathbf{P} \mathbf{x} + \hat{\mathbf{U}}^H \mathbf{n}' \end{aligned} \quad (4)$$

其中  $\hat{\mathbf{n}} \triangleq \hat{\mathbf{U}}^H \mathbf{E} \hat{\mathbf{V}} \mathbf{P} \mathbf{x} + \mathbf{n}$  为由信道估计误差和信道噪声组成的等效噪声,等效噪声元素的方差可通过下列计算获得。首先,设  $\mathbf{f} = \hat{\mathbf{U}}^H \mathbf{E} \hat{\mathbf{V}} \mathbf{P} \mathbf{x}$ ,  $\mathbf{G} = \hat{\mathbf{U}}^H \mathbf{E} \hat{\mathbf{V}}$ , 则  $\mathbf{f} = \mathbf{G} \mathbf{P} \mathbf{x}$ , 用  $\mathcal{E}\{\cdot\}$  表示求期望。由  $\mathbf{G}$  的表达式可得

$$\mathcal{E}\{\mathbf{G}\} = \mathcal{E}\{\hat{\mathbf{U}}^H \mathbf{E} \hat{\mathbf{V}}\} = \hat{\mathbf{U}}^H \mathcal{E}\{\mathbf{E}\} \hat{\mathbf{V}} = \mathbf{0}_{N \times L} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \mathcal{E}\{\mathbf{G} \mathbf{G}^H\} &= \mathcal{E}\{\hat{\mathbf{U}}^H \mathbf{E} \hat{\mathbf{V}} \hat{\mathbf{V}}^H \mathbf{E}^H \hat{\mathbf{U}}\} = \mathcal{E}\{\hat{\mathbf{U}}^H \mathbf{E} \mathbf{E}^H \hat{\mathbf{U}}\} \\ &= \hat{\mathbf{U}}^H \mathcal{E}\{\mathbf{E} \mathbf{E}^H\} \hat{\mathbf{U}} = \sigma_e^2 \hat{\mathbf{U}}^H \hat{\mathbf{U}} = \sigma_e^2 \mathbf{I}_{N \times N} \end{aligned} \quad (6)$$

由此可见,经过酉变换后,  $\mathbf{G}$  与  $\mathbf{E}$  有着相同的概率分布,即它们元素满足均值为 0, 方差为  $\sigma_e^2$ 。

$$\mathbf{f} = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & \cdots & g_{1L} \\ g_{21} & g_{22} & \cdots & g_{2L} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{N1} & g_{N2} & \cdots & g_{NL} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{k=1}^L g_{1k} \sqrt{P_k} x_k \\ \sum_{k=1}^L g_{2k} \sqrt{P_k} x_k \\ \vdots \\ \sum_{k=1}^L g_{Nk} \sqrt{P_k} x_k \end{bmatrix} \quad (7)$$

对  $\mathbf{f}$  中的任意元素  $f_q = \sum_{k=1}^L g_{qk} \sqrt{P_k} x_k$ ,  $q = 1, 2, \dots, N$ , 求其方差  $\sigma_q^2$ 。由于  $\mathbf{E}$  的均值为零,故  $\mathbf{f}$  的均值也为零,因此  $f_q$  的方差可表示为

$$\sigma_q^2 = \mathcal{E}(f_q f_q^*) = \mathcal{E} \left\{ \left[ \sum_{k=1}^L g_{qk} \sqrt{P_k} x_k \right] \left[ \sum_{j=1}^L g_{qj} \sqrt{P_k} x_j \right]^* \right\} \quad (8)$$

利用  $\{g_{ij}\}$  独立同分布以及  $g_{ij} \sim \mathcal{CN}(0, \sigma_e^2)$ , 则有  $\mathcal{E}\{g_{qk} g_{qj}^*\} = \sigma_e^2 \delta(k-j)$ 。因此  $f_q$  的方差为

$$\begin{aligned} \sigma_q^2 &= \sum_{k=1}^L \mathcal{E} \left\{ (g_{qk} \sqrt{P_k} x_k) (g_{qk} \sqrt{P_k} x_k)^* \right\} \\ &= \sum_{k=1}^L P_k \mathcal{E} \{|g_{qk}|^2\} \mathcal{E}\{|x_k|^2\} = \sigma_e^2 \sum_{k=1}^L P_k = M \sigma_e^2 \end{aligned} \quad (9)$$

考虑到  $\hat{\mathbf{n}} = \mathbf{f} + \mathbf{n}'$ , 故其元素可表示为  $\hat{n}_q = f_q + n'_q$ ,  $q = 1, \dots, N$ , 利用  $\mathbf{f}$  和  $\mathbf{n}'$  是相互独立的(由  $\mathbf{E}$  和  $\mathbf{n}'$  的独立性获得), 可求得  $\hat{n}_q$  的方差为

$$\begin{aligned} \mathcal{E}\{\hat{n}_q \hat{n}_q^*\} &= \mathcal{E}\{(f_q + n'_q)(f_q + n'_q)^*\} \\ &= \mathcal{E}\{|f_q|^2\} + \mathcal{E}\{|n'_q|^2\} = M \sigma_e^2 + \sigma_n^2 \end{aligned} \quad (10)$$

同样可求出  $\hat{\mathbf{n}}$  中其它元素的方差也为  $M \sigma_e^2 + \sigma_n^2$ , 故等效噪声的方差为  $\sigma_n^2 = M \sigma_e^2 + \sigma_n^2$ 。

### 4 I-CSI 条件下基于容量的天线选择和注水功率分配

在 I-CSI 条件下,根据天线子集的信道估计矩阵  $\hat{\mathbf{H}}$

和估计误差方差  $\sigma_e^2$ , 可求得采用注水算法的系统信道容量为

$$C(\hat{\lambda}) = \sum_{k=1}^L \log_2 \left[ 1 + P_k \hat{\lambda}_k / (M\sigma_e^2 + \sigma_n^2) \right] \quad (11)$$

其中  $\hat{\lambda} = \text{diag}[\hat{\lambda}_1, \dots, \hat{\lambda}_L, 0, \dots, 0]^T$ ,  $\{\hat{\lambda}_k\}_{k=1}^L$  为  $\hat{H}\hat{H}^H$  的特征值,  $[\cdot]^T$  表示矩阵的转置。

发送端首先对所有可能的天线组合进行搜索, 通过计算各天线子集的系统容量, 将容量最大的天线子集作为最终的选择, 基于信道容量最大化的天线选择问题可以表示为

$$[\mathbf{H}]_{\text{opt}} = \underset{\mathbf{H} \in \mathbf{H}_A}{\text{argmax}} \left\{ \sum_{k=1}^L \log_2 \left[ 1 + P_k \hat{\lambda}_k / (M\sigma_e^2 + \sigma_n^2) \right] \right\} \quad (12)$$

然后在总功率约束条件下, 对所选择的天线子集进行注水功率分配, 对天线子集进行注水功率分配的约束优化问题可以表示为

$$\left. \begin{aligned} [P_1, \dots, P_L]_{\text{opt}} &= \underset{|P_1, \dots, P_L|}{\text{arg max}} \left\{ \sum_{k=1}^L \log_2 (1 + P_k \hat{\lambda}_k / (M\sigma_e^2 + \sigma_n^2)) \right\} \\ \text{s. t.} \quad &\sum_{k=1}^L P_k = M \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

通过对 (13) 式求解, 为得对所选择的天线子集的第  $k$  个子信道上分配的发射功率为

$$P_k = \left[ \mu - (M\sigma_e^2 + \sigma_n^2) \hat{\lambda}_k^{-1} \right]^+ \quad (14)$$

其中  $(x)^+$  表示  $\max\{x, 0\}$ ;  $\mu$  满足  $\sum_{k=1}^L \left[ \mu - (M\sigma_e^2 + \sigma_n^2) \hat{\lambda}_k^{-1} \right]^+ = M$ 。

## 5 改进的迭代检测算法

对采用天线选择和注水功率分配的 Turbo-BLAST 系统, 在信道估计有误差时, 公式 (4) 可以表示为期望接收信号加干扰的形式

$$\mathbf{r} = \hat{\mathbf{A}}\mathbf{P}\mathbf{x} + \hat{\mathbf{n}} = \hat{\lambda}_k \sqrt{P_k} \mathbf{x}_k + \hat{\mathbf{A}}_{\bar{k}} \mathbf{P}_{\bar{k}} \mathbf{x}_{\bar{k}} + \hat{\mathbf{n}} \quad (15)$$

其中  $\mathbf{x}_{\bar{k}} = [x_1, \dots, x_{k-1}, x_{k+1}, \dots, x_L]^T$ ,  $\hat{\lambda}_k = [0, \dots, 0, \sqrt{\hat{\lambda}_k}, 0, \dots, 0]^T$  表示矩阵  $\hat{\mathbf{A}}$  的第  $k$  列,  $\hat{\mathbf{A}}_{\bar{k}} \triangleq \text{diag}(\hat{\lambda}_1, \dots, \hat{\lambda}_{k-1}, \hat{\lambda}_{k+1}, \dots, \hat{\lambda}_L, 0, \dots, 0)$ ,  $\mathbf{P}_{\bar{k}} = \text{diag}(\sqrt{P_1}, \dots, \sqrt{P_{k-1}}, \sqrt{P_{k+1}}, \dots, \sqrt{P_L})$ ,  $\hat{\lambda}_k \sqrt{P_k} \mathbf{x}_k$  为期望接收信号,  $\hat{\mathbf{A}}_{\bar{k}} \mathbf{P}_{\bar{k}} \mathbf{x}_{\bar{k}}$  为邻天线干扰。

为进一步改善系统的误比特率性能, 接收端采用 Turbo 原理对接收信号进行迭代检测, 在信道估计有误差情况下, 利用信道估计矩阵进行检测, 并把信道估计误差和信道噪声引起的误差作为等效噪声, 可以得到

I-CSI 条件下的基于最小均方误差 (Minimum Mean Square Error, MMSE) 检测的权向量矩阵为

$$\hat{\mathbf{w}}_k = \left\{ \hat{\lambda}_k \hat{\lambda}_k^H \mathbf{P}_k + (\hat{\mathbf{A}}_{\bar{k}} \mathbf{P}_{\bar{k}})^H \left[ \boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{x}_{\bar{k}}^H) - \boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{x}_{\bar{k}}) \boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{x}_{\bar{k}})^H \right] (\hat{\mathbf{A}}_{\bar{k}} \mathbf{P}_{\bar{k}})^H + (M\sigma_e^2 + \sigma_n^2) \mathbf{I}_N \right\}^{-1} \hat{\lambda}_k \sqrt{P_k} \quad (16)$$

第一次迭代时因为没有发送信息的先验信息, 假设发送信息的先验等概率分布, 即  $\boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{x}_{\bar{k}}) = \mathbf{0}$ , 对第  $k$  个发送符号的线性 MMSE 检测为

$$\mathbf{x}_k = (\hat{\lambda}_k \sqrt{P_k})^H \left[ (\hat{\mathbf{A}}\mathbf{P})(\hat{\mathbf{A}}\mathbf{P})^H + (M\sigma_e^2 + \sigma_n^2) \mathbf{I}_N \right]^{-1} \mathbf{r} \quad (17)$$

从第二次迭代开始, 可以根据前一次检测反馈的后验概率信息估计发送符号, 并且用估计出的发送符号的期望来进行软干扰抵消。随着迭代次数的增加, 假设  $\boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{x}_{\bar{k}}) \rightarrow \mathbf{x}_{\bar{k}}$ , 则 (17) 式可以简化为

$$\mathbf{x}_k = (\hat{\lambda}_k \sqrt{P_k})^H \left[ (\hat{\lambda}_k \sqrt{P_k})(\hat{\lambda}_k \sqrt{P_k})^H + (M\sigma_e^2 + \sigma_n^2) \right]^{-1} \left[ \mathbf{r} - \hat{\mathbf{A}}_{\bar{k}} \mathbf{P}_{\bar{k}} \boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{x}_{\bar{k}}) \right] \quad (18)$$

根据公式 (18) 对接收符号进行软干扰抵消迭代检测, 得到发送符号的估计; 然后对得到的发送符号进行基于软干扰抵消的迭代检测<sup>[1]</sup>。

## 6 仿真结果

在本节中, 通过仿真给出系统性能, 以验证所提算法的有效性。图 2 给出了 6 发 6 收的 Turbo-BLAST 系统采用天线选择和功率分配后的信道容量性能, 仿真目的是研究所提算法对信道容量的改善和信道估计误差对信道容量的影响。图 3 给出了 8 发 8 收的系统, 所选择的天线数目和信道估计误差以及信噪比关系, 仿真目的是研究信道估计误差和信噪比对所选择的天线数目的影响。图中 TAS&TPA 表示采用本文所提算法进

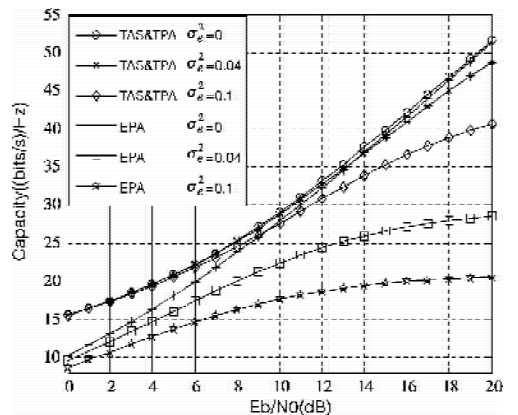


图 2 Turbo-BLAST 系统信道容量

行天线选择和功率分配后的 Turbo-BLAST 系统, EPA 表示等功率分配的 Turbo-BLAST 系统。

由图 2 可以看出, 采用所提算法可以显著提高 Turbo-BLAST 系统的信道容量, 和采用全部 6 根发送天线相比, 采用所提算法选择部分天线用于发射对应的信道容量反而更大, 其原因是增加了每个被选择天线的发射功率, 削减了具有低奇异值的耦合信道。此外, 由图 2 也可以发现, 当信道估计有误差, 和等功率分配的 6 发 6 收 Turbo-BLAST 系统相比, 采用所提算法在高信噪比区域可以显著提高信道容量, 这是因为信噪比

较高时, 这时的  $\mu \approx \frac{1}{L} \left[ M + \sum_{k=1}^L (M\sigma_e^2 + \sigma_n^2) \hat{\lambda}_k^{-1} \right]$ , 相应

的子信道功率为  $P_k \approx \mu - (M\sigma_e^2 + \sigma_n^2) \hat{\lambda}_k^{-1} = \frac{M}{L} + (M\sigma_e^2 +$

$\sigma_n^2) \left[ \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L \hat{\lambda}_k^{-1} - \hat{\lambda}_k^{-1} \right]$ , 高信噪比意味着信道噪声功率非常小, 对发送功率的主要影响是信道估计误差和所选择的发送天线数目, 信噪比越高, 信道估计误差的影响就越大, 所以对对应的信道容量就越小。而当信道完全估计 (即  $\sigma_e^2 = 0$ ) 时, 采用所提算法其对应的容量在低信噪比区域要明显好于等功率安排, 但随着信噪比的增加, 两者的差别越来越小, 在高信噪比时, 两者基本一致; 其原因当信道完全估计时, 这时的  $\mu \approx \frac{1}{L} (M + \sigma_n^2 \sum_{k=1}^L$

$\hat{\lambda}_k^{-1})$ , 相应的子信道功率为:  $P_k \approx \frac{M}{L} + \sigma_n^2 \left[ \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L \hat{\lambda}_k^{-1} -$

$\hat{\lambda}_k^{-1} \right]$ , 当信噪比较高时, 噪声功率  $\sigma_n^2$  将非常小, 从而  $P_k \approx \frac{M}{L}$ , 即对应于等功率情况。

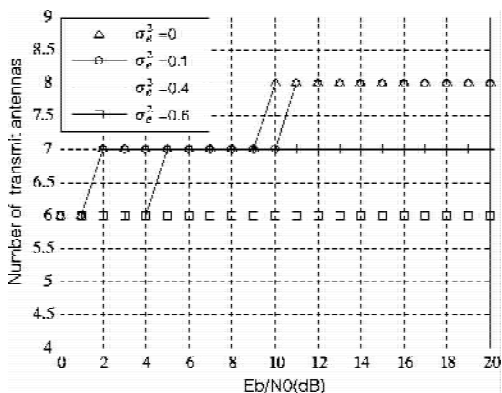


图3 不同信道估计误差时所选择的发射天线数随信噪比的变化

由图 3 可以看出, 当信道估计误差较小时, 所选择的的天线数目随着信噪比的增加而增加, 但当信道估计误差较大时, 随着信噪比的增加所选择的发射天线数目保持不变。而对同一信噪比, 当信道估计误差较小

时, 对选择的发送天线数目的没有影响, 但当估计误差增大时, 所能用于发送的天线数目会急剧下降, 而且信噪比越低对估计误差越敏感。这是因为根据前面的天线选择准则, 当估计误差变大时, 为了使得容量得到最大化, 则相应的选择天线数目  $L$  将降低, 尤其是信噪比较小时,  $L$  相对会变得较小, 以利于更多的功率分配给信道条件较好的天线, 以提高容量。另外, 当估计误差较小时, 随着信噪比的增大, 信道状况将变得越来越好, 相应地各特征值也得到很大程度地提高, 当选择的天线数目较大时, 则对应的容量也将变大。随着信噪比的不断增加, 选择的天线数目将会增加到发射天线数  $M$ , 容量也将达到最大化, 再增加信噪比, 将维持该值不变。

图 4 给出了 Turbo-BLAST 系统的 BER 性能, EPA 表示传统的 4 发 6 收的 Turbo-BLAST 系统, TAS&TPA 表示采用所提算法从 6 个天线中选择 4 个用于发送的 Turbo-BLAST 系统,  $I$  表示迭代次数。仿真目的是研究采用天线选择和功率分配后, 迭代检测算法是否可以改善系统的 BER 性能。

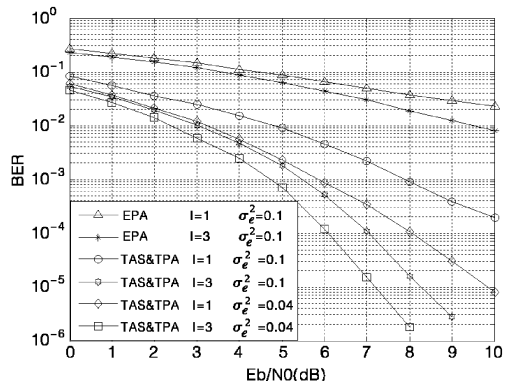


图4 Turbo-BLAST 系统的迭代检测性能

由图 4 可以看出, 发送端的天线选择和功率分配也可以改善 Turbo-BLAST 系统的误比特率性能, 而接收端的迭代检测可以进一步改善系统的 BER 性能。对不同的信道估计误差, 迭代 3 次的性能明显好于迭代 1 次的 BER 性能。这也说明所提的迭代检测算法对采用天线选择和功率分配后的 Turbo-BLAST 系统是有效的, 可以在信道估计有误差时通过迭代检测来改善系统的误比特率性能, 从而减小信道估计误差的影响。

## 7 结论

本文提出了信道估计存在误差时的天线选择和注水功率分配算法, 并给出了适用于采用天线选择和功率分配的 Turbo-BLAST 系统的迭代检测算法。仿真结果显示所提天线选择和功率分配方法对于 Turbo-BLAST

系统是有效的,在信道估计有误差时可以显著提高系统的信道容量并改善系统的 BER 性能。

### 参考文献

- [ 1 ] Sellathurai M, Haykin S. Turbo-BLAST for wireless communications; theory and experiments[ J ], IEEE Transactions on Signal Processing, 2002, 50( 10 ): 2538-2546.
- [ 2 ] Nam S H, Shin O S, Lee K B. Transmit power allocation for a modified V-BLAST system[ J ]. IEEE Transactions on Communications. 2004, 52( 7 ): 1074-1079.
- [ 3 ] Palomar, D. P; Fonollosa, J. R. Practical algorithms for a family of waterfilling solutions[ J ], IEEE Transactions on Signal Processing, 2005, 53( 2 ): 686-695.
- [ 4 ] Zhibin Xie, Jinkuan Wang, Yun Wang et al. Effective Antenna Selection in MIMO Systems Under Spatial Correlated Fading[ C ]. Proceedings of the 7<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Control and Automation, Chongqing, China, 2008: 2293-2304.
- [ 5 ] Zhengyan Shi and Harry Leib. Transmit Antenna Selected V-BLAST Systems With Power Allocation[ J ]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2008, 57( 4 ): 2293-2304.
- [ 6 ] Michael A. Jensen M. Morris L. Efficient Capacity-Based Antenna Selection for MIMO Systems[ J ] IEEE Transactions on vehicular technology, 2005, 54( 1 ): 110-116.
- [ 7 ] Kanakis, T; Rapajic, T. B. Relaying MIMO channel capacity with imperfect channel knowledge at the receiver[ C ]. Pr-

ceedings of IEEE Mobile WiMAX Symposium. 2007: 80-84.

- [ 8 ] Zhendong Zhou; Vucetic, B. ; Dohler, M. et al. MIMO systems with adaptive modulation[ J ]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2005, 54( 5 ): 1828-1842.

### 作者简介



陈小敏( 1975- ), 女, 江苏人, 南京航空航天大学讲师。主要研究方向: 空时编码的信号检测和链路自适应技术。

E-mail: chenxm402@nuaa.edu.cn



徐大专( 1963- ), 男, 江苏人, 南京航空航天大学教授, 博士生导师。主要研究方向: 信号处理和无损检测。

E-mail: xudazhuan@nuaa.edu.cn



虞湘宾( 1972- ), 男, 江苏人, 南京航空航天大学副教授, 主要研究方向: 空时编码及自适应调制。

E-mail: yxbxy@nuaa.edu.cn