

文章编号 1005-0388(2005)06-0789-06

多发射天线选择的无线信道序 统计特性研究*

庄铭杰^{1,2} 郭东辉¹

(1. 厦门大学物理系, mjzhuang176@163.com, 福建 厦门 361005;

2. 集美大学信息工程学院, 福建 厦门 361021)

摘 要 在独立平坦的瑞利衰落信道中, 提出一种确定排序信道衰落因子大小的联合概率密度函数(PDF)序系数的方法。根据输出信噪比最大的天线选择原则, 就信道状态信息(CSI)正确和差错两种不同情况, 分别给出 n 个最大排序的信道衰落因子的边缘 PDF 理论式。最后, 对采用正交空时分组码的多发射天线选择系统进行数值仿真, 结果表明: 多天线选择能极大地提高系统的传输质量, 而且能有效地抵抗 CSI 差错引起的性能下降。

关键词 多天线选择, 瑞利衰落信道, 正交空时分组码, 概率密度函数

中图分类号 TN929.5 **文献标识码** A

Investigation of order statistics characteristic of wireless fading channels of multiple transmit antennas selection

ZHUANG Ming-jie^{1,2} GUO dong hui¹

(1. Dept. of Physics, Xiamen University, MJZhuang176@163.com, mjzhuang176@163.com, Xiamen Fujian 361005, China; 2. Information Technology College, Jimei University, Xiamen Fujian 361021, China)

Abstract In independent flat Rayleigh fading channels, the paper presented a method that evaluated the order coefficient of the joint probability density function (PDF) of the sorted channels gain magnitude (CGM). Based on the antennas selection rule of the maximum output signal-to-noise ratio, for the two cases of the correct and the erroneous channels state information (CSI), the paper then calculated the expressions of marginal PDF of n maximal sorted CGMs, respectively, and the numerical simulation values for a multiple transmit antennas selection (MTAS) system employing orthogonal space-time block coding (STBC) were presented. The results show that MTAS can enhance largely system transmission performance, and combat effectively or mitigate the effects of the erroneous CSI.

Key words multiple transmit antennas selection, Rayleigh fading channel, STBC, PDF

1 引言

在无线移动通信中,多发射和多接收天线系统(MIMO)能从充分利用空间域的角度来提高了系统用户的容量^[1,2],它不仅能提高信号数据的传输速率,而且能提高系统接收的分集阶数以抵抗无线多径衰落信道的影晌^[3~6]。因此,MIMO已成为近年来研究的热点,并且将它看作是未来移动通信中能显著提高系统容量和性能的一种有效技术^[7]。然而,MIMO有一明显的缺点,它需要与系统天线数目一样多的射频(RF)链路,尤其是发射天线的RF链路。一个天线的成本比一个RF链路的成本要来得低,因此,总是选择最好天线工作的多天线选择就成为一种备受欢迎的技术。由于它具有低复杂度、低成本和能保留多天线的优点,是MIMO领域的一个新的研究热点^[8~10,13,14]。

多天线选择主要集中在对MIMO系统中的天线耦合问题和天线子集选择问题的研究上,文献[11]给出了当天线间隔 $d \geq 2 \sim 3\lambda$ (工作波长)时,从多发射天线到多接收天线之间的信道可以近似地认为是独立不相关的,且天线之间的耦合可以忽略^[12];文献[13]从秩准则出发,研究最优多天线子集的选择问题;文献[14]从系统输出容量最大的准则出发,研究最优的多天线选择子集的问题;对空间复用系统,文献[9]从基于最小差错率来研究多天线选择,等等。评价多天线选择的指标一般是从系统的传输误码性能和容量来衡量,对多天线选择的传输性能和容量进行理论研究的困难是:MIMO系统的多天线选择的信道衰落因子大小的边缘概率密度函数(PDF)一般式难于确定或是无法确定,一般的文献仅给出3根或多根发射天线(nT_x)选择2根发射天线($2T_x$)这种特例的理论分析^[15]。在实际应用中,对于选择天线数大于2个的情况,通常采用仿真的方法来给出系统的性能和容量。

MIMO系统发射正交空时组码(STBC)时,接收端的输出信噪比(SNR)是取决于信道衰落因子大小的平方和^[3,16,17]。因此,可从系统最大的输出SNR出发,研究多发射天线和单接收天线(MISO)系统的天线选择的无线信道序统计特性。选择的准则是:在每帧信号(由多个符号组成的)处理周期内,根据反馈的信道状态信息(CSI),从 NT_x 到 $1R_x$ 的 N 个信道中挑选 n 根信道衰落因子大小最大的发射天线;而在下一帧信号的处理周期内,按新的反馈CSI重新挑选 n 根最好的发射天线。根据这个准

则,在平坦Rayleigh(瑞利)衰落信道中,将研究采用STBC的MISO系统之天线选择的信道衰落因子大小的边缘PDF。

以系统最大的输出SNR为准则来研究多发射天线的关键是:确定 N 个排序的独立随机变量的联合PDF序系数 C_N 以及它的一般式。为此,假设系统发射STBC和传输BPSK调制信号,并应用系统的传输比特误码率(BER)的Chernoff上界,提出了一种确定 C_N 的方法。在此基础上,根据反馈的CSI是正确的或差错的这两种情况,分别推导了MISO系统中 NT_x 选 nT_x 的信道衰落因子大小的边缘PDF的一般式。应用这些PDF关系式,在平坦瑞利衰落信道中,在BPSK调制下,对采用STBC的MISO多发射天线选择系统进行研究,并给出了BER的Chernoff上界的理论分析值。结果表明:在选择天线数目 n 固定的情况下,无论反馈的CSI是否有差错,当可供发射的天线数目越多,系统的传输性能越好;与理想的情况相比,若反馈的CSI有差错,则系统的BER性能会有所下降,但在实际发射天线数目相同的情况下,天线选择的误码率性能远优于无天线选择,故天线选择本身已具有抗信道差错的能力。

2 独立无线信道的序统计特性

对于一个有 N 根发射天线和单根接收天线(NT_x-1R_x)系统,假设从 N 根发射天线到接收天线之间的信道是独立不相关的,均经历了相同的平坦瑞利衰落分布,假设每一维复高斯随机过程的样本是零均值,方差为 σ^2 。若从第 i 根发射天线到接收天线的信道衰落因子大小为 h_i ,那么 h_i 的概率密度函数(PDF)为^[18]

$$p_{H_i}(h_i) = \frac{h_i}{\sigma^2} e^{-h_i/2\sigma^2} \quad h_i \geq 0 \quad (1)$$

令 $x_i = h_i^2$, $\rho^2 = 2\sigma^2$,即随机变量 x_i 的PDF为

$$f_{X_i}(x_i) = \frac{1}{\rho^2} e^{-x_i/\rho^2} \quad x_i \geq 0 \quad (2)$$

由于这 N 个随机的信道衰落因子大小的平方是相互独立的,这样, x_1, x_2, \dots, x_N 的联合PDF为

$$\begin{aligned} f_{X_1 X_2 \dots X_N}(x_1, x_2, \dots, x_N) &= \prod_{i=1}^N f_{X_i}(x_i) \\ &= \rho^{-2N} e^{-\sum_{i=1}^N x_i/\rho^2} \quad x_i \geq 0 \end{aligned} \quad (3)$$

若 h_i 是已知的,大小已按顺序排好。不失一般性地,假设 $h_1^2 \geq h_2^2 \geq \dots \geq h_N^2$,或 $x_1 \geq x_2 \geq \dots \geq x_N$ 。这样, N 个排序的随机变量 x_1, x_2, \dots, x_N 的联合

PDF 可写为

$$g_{X_1 X_2 \dots X_N}(x_1, x_2, \dots, x_N) = C_N \prod_{i=1}^N f_{X_i}(x_i) \\ = C_N \rho^{2N} e^{-\sum_{i=1}^N x_i/\rho^2} \quad x_1 \geq x_2 \geq \dots \geq x_N \quad (4)$$

式中 C_N 是一个待定的序系数, 它应满足 $g_{X_1 X_2 \dots X_N}(x_1, x_2, \dots, x_N)$ 对 x_1, x_2, \dots, x_N 全积分为 1 (概率归一)。假设系统发射 STBC 和传输 BPSK 调制信号, 并应用 Chernoff 上界来求解系统误码率, 下面给出一种确定 C_N 的方法。

系统采用 STBC 和传输 BPSK 调制信号的条件 BER 为^[3, 4, 15-17]

$$P_{e2, BPSK}^N = Q\left(\sqrt{\frac{4C_n E_b}{N N_0} \sum_{i=1}^N x_i}\right) \quad (5)$$

发射天线 $N = 2$, 满速率以及 $N = 3, 4, 3/4$ 速率, 式中 $C_n = 1$; 而 $N > 2$, 半速率, $C_n = 2$ 。 E_b 是一个比特能量, N_0 是高斯白噪声的单边功率谱密度。式(5)是关于 $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 的条件 BER, 必须对它进行统计平均。

对于独立信道, 联合式(3)和式(5), 即系统的平均 BER 可用下面的积分表示

$$\bar{P}_{eBPSK}^N |_{ind.} = \int_0^\infty \dots \int_0^\infty Q\left(\sqrt{\frac{4C_n E_b}{N N_0} \sum_{i=1}^N x_i}\right) \times \prod_{i=1}^N f(x_i) \quad dx_1 dx_2 \dots dx_N \quad (6)$$

利用高斯 $Q(x)$ 函数的一种较准确近似式^[19], 即, $Q(x) \leq \frac{1}{2} e^{-x^2/2}$, 并将它代入式(6), 经过 N 重积分, 最后得系统平均 BER 的 Chernoff 上界为

$$\bar{P}_{eBPSK}^N |_{ind.} \leq \int_0^\infty \dots \int_0^\infty \frac{1}{2\rho^{2N}} e^{-\frac{4C_n E_b \rho^2}{N_0} \sum_{i=1}^N x_i/2\rho^2} \times e^{-\sum_{i=1}^N x_i/\rho^2} \quad dx_1 dx_2 \dots dx_N \\ = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2C_n \rho^2 E_b / N_0 + 1} \right)^N \quad (7)$$

对信道衰落因子大小排序的 $NT_x - 1R_x$ 系统, 应用式(4)和式(5), 同样可得到系统的平均 BER 为

$$\bar{P}_{eBPSK}^N |_{sort.} = \int_0^\infty \int_0^{x_1} \dots \int_0^{x_{N-1}} Q\left(\sqrt{\frac{4C_n E_b}{N N_0} \sum_{i=1}^N x_i/\rho^2}\right) \times C_N \prod_{i=1}^N f_{X_i}(x_i) \quad dx_1 dx_2 \dots dx_N \quad (8)$$

同样, 上式应用 Chernoff 上界, 经过 N 重积分得

$$\bar{P}_{eBPSK}^N |_{sort.} \leq \frac{C_N}{2N!(2C_n \rho^2 E_b / N_0 + 1)^N} \quad (9)$$

显然, 同样采用 STBC 和传输 BPSK 调制信号

的 MISO 系统, 上述两种情况下求得平均 BER 应相等, 包括它们的 Chernoff 上界式(7)和式(9)亦应相等。由式(7)与式(9), 可得序系数 C_N 为

$$C_N = N! \quad (10)$$

将 C_N 代入式(4), 最后得到一个经历独立平坦瑞利衰落信道的 MISO 系统, 其 N 个排序的信道衰落因子大小的联合 PDF 为

$$g_{X_1 X_2 \dots X_N}(x_1, x_2, \dots, x_N) = N! \rho^{2N} e^{-\sum_{i=1}^N x_i/\rho^2} \quad x_1 \geq x_2 \geq \dots \geq x_N \quad (11)$$

3 多发射天线选择的信道序统计特性

由于从接收端向发射端反馈的 CSI 有可能发生差错, 因此, 下面分别就正确的和差错的 CSI 两种情况来求解多发射天线选择的边缘 PDF。

3.1 正确的反馈 CSI

假设从接收端经反馈通道到达发射端的 CSI 是正确的, 应用式(11), 研究 N 选 $n (n \leq N) (NT_x - nTx)$ MISO 系统的多发射天线选择问题, 并推导 n 个最好天线信道增益因子大小排序的边缘 PDF 的一般理论式。具体做法: 从 N 个发射天线对应的 N 个信道增益因子 x_1, x_2, \dots, x_N 中选择 n 个最好的信道增益因子 x_1, x_2, \dots, x_n , 而去掉 $x_{n+1}, x_{n+2}, \dots, x_N$, 推导如下:

$$g_{X_1 X_2 \dots X_n}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{N!}{\rho^{2N}} \int_0^{x_n} \int_0^{x_{n+1}} \dots \int_0^{x_{N-1}} e^{-\sum_{i=1}^N x_i/\rho^2} \\ dx_{n+1} dx_{n+2} \dots dx_N = \frac{N!}{\rho^{2N}} \prod_{i=1}^n f_{X_i}(x_i) \times \int_0^{x_n} \int_0^{x_{n+1}} \dots \int_0^{x_{N-1}} e^{-\sum_{i=n+1}^N x_i/\rho^2} \\ dx_{n+1} dx_{n+2} \dots dx_N$$

对上式进行 $(N - n)$ 重积分, 最后得到 $NT_x - nTx$ 系统的边缘 PDF 一般表达式为

$$g_{X_1 X_2 \dots X_n}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{N! \rho^{2n}}{(N - n)!} e^{-\sum_{i=1}^n x_i/\rho^2} (1 - e^{-x_n/\rho^2})^{N-n} \quad (12)$$

3.2 有差错的反馈 CSI

假设在某一传输符号的处理期间, 信道状态的正确排序为 $x_1 \geq x_2 \geq \dots \geq x_N$ 。但在实际通信过程中, 由于接收机到发射机的反馈通道信息有可能发生差错, 使得 N 个信道的正确排序发生变化。为了讨论的方便, 这里假设每次仅发生在相邻位置的顺序对换, 其它的情况不会发生, 同时假设出现每一种错误的位置对换是等概率的。例如: 对 $N = 4$, 正确排序为 $x_1 \geq x_2 \geq x_3 \geq x_4$, 而可能出现的错误排序为

$x_2 \geq x_1 \geq x_3 \geq x_4$ 或 $x_1 \geq x_3 \geq x_2 \geq x_4$ 或 $x_1 \geq x_2 \geq x_4 \geq x_3$, 这三种错误是等概率的; 不会出现 $x_2 \geq x_3 \geq x_1 \geq x_4$ 或 $x_1 \geq x_4 \geq x_2 \geq x_3$ 或 $x_4 \geq x_1 \geq x_2 \geq x_3$ 等情况。一般地, 对于 $N T_x - n T_x$ 的情况, 正确排序为

$$x_1 \geq x_2 \geq \dots \geq x_n \geq x_{n+1} \geq \dots \geq x_N$$

出现概率为 $P_c (\leq 1)$; 而可能出现的错误排序为

$$x_2 \geq x_1 \geq x_3 \geq x_4 \geq \dots \geq x_n \geq x_{n+1} \geq \dots \geq x_N$$

$$x_1 \geq x_3 \geq x_2 \geq x_4 \geq \dots \geq x_n \geq x_{n+1} \geq \dots \geq x_N$$

.....

$$x_1 \geq x_2 \geq \dots x_{n-1} \geq x_{n+1} \geq \dots \geq x_n \geq \dots \geq x_N$$

.....

$$x_1 \geq x_2 \geq x_3 \geq \dots \geq x_n \geq x_{n+1} \geq \dots \geq x_N \geq$$

x_{N-1}

共有 $(N-1)$ 种情况。当 $n=N$ 的特殊情况, 虽有 $(N-1)$ 种情况出现错误, 但它们的边缘 PDF 与正确排序一样, 均为式(11)。一般地, 对于 $n < N$ 的 $N T_x - n T_x$ 的天线选择, 对可能出现的 $(N-1)$ 种错误的排序分三部分来讨论:

① 前 $(n-1)$ 种情况。由于所选用 n 个最好天线没变, 故这 $(n-1)$ 种的边缘 PDF 均与式(12)一样, 即

$$g_{x_2 x_1 \dots x_{i-1} x_{i+1} \dots x_n} (x_2, x_1, \dots, x_{i-1} x_{i+1} \dots x_n) = \dots = g_{x_1 x_2 \dots x_{i-1} \dots x_n x_{n-1}} (x_1, x_2, \dots, x_i \dots x_n, x_{n-1}) = \frac{N! \rho^{2n}}{(N-n)!} e^{-\sum_{i=1}^n x_i / \rho^2} (1 - e^{-x_n / \rho^2})^{N-n} \quad i = 1, 2, \dots, (n-1) \quad (13)$$

② 后 $(N-n-1)$ 种情况。由于后 $(N-n)$ 个天线被排除掉, 故后 $(N-n-1)$ 种情况的错误排序对 x_1, x_2, \dots, x_n 的边缘 PDF 不会有影响, 仍为式(12)。

③ 第 n 种情况。相当于

$$x_1 \geq x_2 \geq \dots x_{n-1} \geq x_{n+1} \geq \dots \geq x_n \geq x_{n+2} \geq \dots \geq x_N \geq 0$$

由于错误地选择了 x_{n+1} , 而漏掉了 x_n , 这种情况下的边缘 PDF 的推导如下:

$$g_{x_1 x_2 \dots x_{n-1} x_{n+1}} (x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_{n+1}) = \int_{x_{n+1}}^{x_{n-1}} \int_0^{x_{n+1}} \dots \int_0^{x_{n-1}} N! \rho^{2N} e^{-\sum_{i=1}^N x_i / \rho^2} dx_n dx_{n+2} \dots dx_N$$

同样, 对上式进行 $(N-n-1)$ 重积分得

$$N! \rho^{2n} e^{-\sum_{i=1, i \neq n}^n x_i / \rho^2} \int_{x_{n+1}}^{x_{n-1}} \frac{(1 - e^{-x_n / \rho^2})^{N-n-1}}{(N-n-1)! \rho^2} dx_n$$

最后得 $x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_{n+1}$ 的边缘 PDF 一般表达式为

$$g_{x_1 x_2 \dots x_{n-1} x_{n+1}} (x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_{n+1}) = \frac{N!}{(N-n-1)!} \rho^{2n} e^{-\sum_{i=1, i \neq n}^n x_i / \rho^2} (e^{-x_{n+1} / \rho^2} - e^{-x_{n-1} / \rho^2}) \times (1 - e^{-x_{n+1} / \rho^2})^{N-n-1} \quad (14)$$

上面分析知, 若正确排序 $x_1 \geq x_2 \geq \dots \geq x_n \geq x_{n+1} \geq \dots \geq x_N$ 的出现概率为 $P_c (\leq 1)$, 仅排序 $x_1 \geq x_2 \geq \dots x_{n-1} \geq x_{n+1} \geq \dots \geq x_n \geq x_{n+2} \dots \geq x_N$ 这一种情况对 x_1, x_2, \dots, x_n 的边缘 PDF 会有影响, 它出现的概率为 $(1 - P_c) / (N-1)$, 而其它 $(N-2)$ 种情况对 x_1, x_2, \dots, x_n 的边缘 PDF 不会有影响。这样, 对于某 MISO 的多发射天线选择通信系统, 令正确排序或没有影响 x_1, x_2, \dots, x_n 的边缘 PDF 时系统的 BER 为 BER_{orr} ; 而出现第 n 种错误排序时系统的 BER 为 BER_{err} , 则整个系统的平均 BER 为

$$BER = P_c \times BER_{orr} + (1 - P_c) \times (N-2) \times BER_{err} / (N-1) + (1 - P_c) \times BER_{err} / (N-1) \quad (15)$$

4 比特误码界的数值结果与讨论

如上所述, 信道衰落因子大小的边缘 PDF 是研究多天线选择的 MIMO/MISO 系统的基础, 可见, 第三部分推得的多天线选择的边缘 PDF 式(12)和式(14)是非常重要的, 可以应用这两式来研究多天线选择的 MISO 系统的传输性能。假设 n 个被选中的发射天线采用 STBC 进行编码, 传输信号采用 BPSK 数字调制; 进一步假设这 n 个发射天线相距足够远, 使得从选择发射天线到接收天线的 n 个信道是相互独立的, 传输的信号均经历了相同的平坦瑞利衰落分布, 令每一维复高斯随机过程的样本是零均值, 方差 $\sigma^2 = 0.5$ 。这样, 可以应用式(12)和式(14)对式(5)的条件 BER 求平均, 得到基于 STBC 的多天线选择的 MISO 系统的平均 BER。由于这部分推导较为复杂, 这里仅以图形的形式给出 BER 的 Chernoff 上界随 SNR 变化的曲线图。当反馈的 CSI 是正确的, 图 1 给出了在 $n=2$, 而 $N=2, 3, 4, 5$ 和 6 情况下, 系统的平均比特误码率上界的理论分析值随信噪比 $2E_b/N_0$ 的变化曲线; 另外, 图中还给出了 Monte Carlo 仿真的结果。图 1 示出理论分析结果和仿真结果是相一致的, 说明提出的多发射天线选择的无线信道的边缘 PDF 模型是正确的, 它们均证实了采用多发射天线选择能提高系统的传输性能。图 2 给出了当反馈 CSI 的正确概率 $P_c = 0.9$ 时, 可用的发射天线数 $N=3, 4, 5, 6, 7$ 和 8, 而选择

天线数 $n = 2$ 时, 系统的比特误码性能的 Chernoff 界随信噪比 $\text{SNR} = E_b/N_0$ 的变化曲线, 为了便于比较, 图中也给出了两个发射天线系统的曲线。从图 2 可以看出, 尽管反馈的 CSI 有差错, 但是当可供

的, 即使 P_c 小时, 亦为如此, 这表明了多天线选择具有抵抗差错的反馈 CSI 的能力。之所以会出现这种情况, 可以从两个方面来加以解释: 首先, 从数学上看, 与建立的差错模型有关, 由式 (15) 可知, 在 P_c

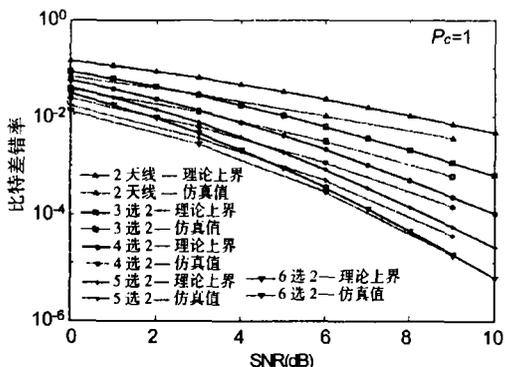


图 1 $N = 2, 3, 4, 5, 6, n = 2, P_c = 1$ 的误码率曲线

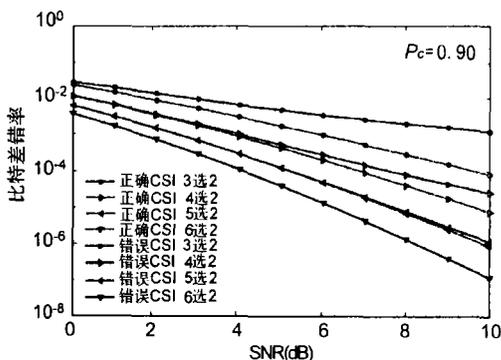


图 3 $N = 3, 4, 5, 6, n = 2, P_c = 0.9$ 与 $P_c = 1$ 的误码率曲线

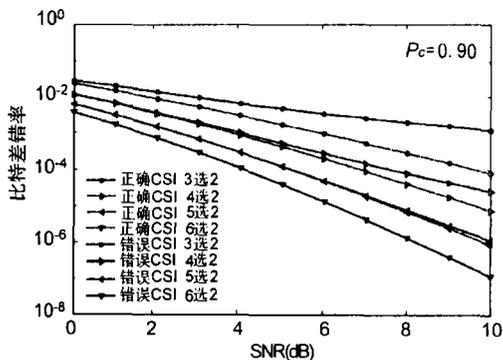


图 2 $N = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, n = 2, P_c = 0.9$ 的误码率曲线

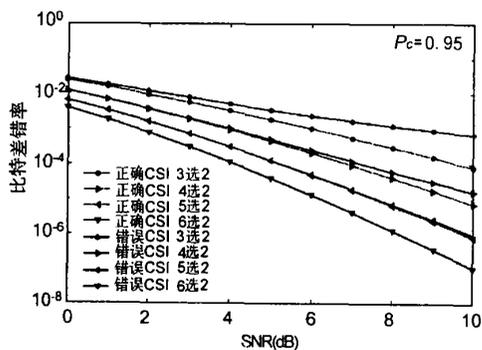


图 4 $N = 3, 4, 5, 6, n = 2, P_c = 0.95$ 与 $P_c = 1$ 的误码率曲线

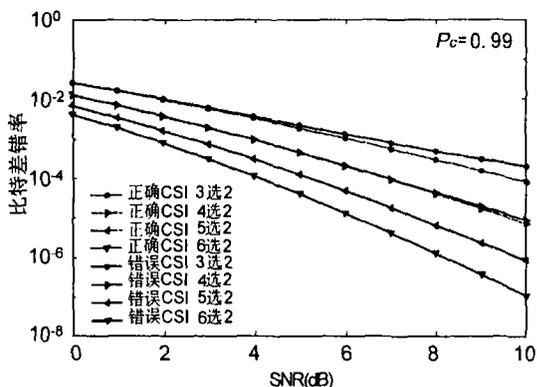


图 5 $N = 3, 4, 5, 6, n = 2, P_c = 0.99$ 与 $P_c = 1$ 的误码率曲线

选用的发射天线数 N 越大, 系统的传输性能越好, 即使是 3 选 2 这种情况, 它仍然比仅使用 2 个发射天线的情况好很多。为了说明反馈 CSI 的差错对系统的传输性能的影响, 图 3, 4 和 5 给出了当系统可用发射的天线数 $N = 3, 4, 5$ 和 6, 而选择天线数 $n = 2$ 时, 反馈 CSI 的正确率 $P_c = 0.9, 0.95$ 和 0.99 的 BER 之 Chernoff 上界随信噪比 E_b/N_0 的变化曲线, 为了便于比较, 图中也给出 $P_c = 1$ (无差错) 的变化曲线。由这三张图可以看出: ①与图 1、2 一样, 不管 P_c 为多大, 当 n 固定情况下, N 越大, 系统的比特误码率上界越小, 表明: 即使反馈的 CSI 有差错, 多天线选择仍能提高系统的传输性能; ②与正确的 CSI 相比, 当 CSI 的差错率越大, 在相同的条件下, 系统的传输性能会变差些, 这一点与预期的是一样的, 和实际情况是相符的; ③在 P_c 相同的情况下, 当选择的的天线数 n 固定不变时, 随着 N 的增大, 正确的和有差错的 CSI 的 BER 上界的曲线是基本重叠

固定的情况下,当 N 越大,出现第 n 种情况的概率 $(1 - P_c)/(N - 1)$ 就越小,使得系统的平均 BER 上界与正确的情况相差较小;其次,从物理上看,当 n 固定不变的情况下,若出现 x_n 与 x_{n+1} 交换位置这种情况时,只要可供选择的发射天线数 N 越多,那么,尽管第 $(n+1)$ 根发射天线的信道特性比第 n 根差些,但由于 N 大,从统计的角度看,第 $(n+1)$ 根天线的信道特性也可能相当不错,使得最后得到的系统传输性能与正确的情况相差不大。

5 结论

在未来移动通信中, MIMO 是一种能大幅度地提高系统容量和传输速率的关键技术,相对于 MIMO,多天线选择是一种低成本的、低复杂度的以及可以实现的次最优技术。由于 MISO 系统能减轻用户增加天线和 RF 电路的成本,并充分地利用基站空间大且易于增加可供使用的发射天线数的特点。针对 MISO 系统的多发射天线选择进行了详细的研究。求解相应于被选择天线之信道衰落因子大小的边缘 PDF 是对多天线选择系统进行研究的关键,而发射端知道反馈的 CSI 又是多发射天线选择的基础,因此,CSI 的正确性将直接影响到天线的选择和整个系统的性能。为此,就 CSI 正确的和差错的两种情况,详细地分析和推导了多天线选择系统的边缘 PDF。从最后给出 BER 的 Chernoff 上界的理论分析值和仿真结果可以看出:多天线选择的性能与实际预期是相一致的,确实能大幅度地提高系统的传输性能;即使在 CSI 有差错的情况,亦如此。文中得到的一些关于多天线选择的无线信道统计结果对 MISO 系统的多天线选择具有普遍的意义,可以直接用于相关领域的理论研究。

参考文献

- [1] S Telatar. Capacity of multi antenna Gaussian channels [J]. Eur. Trans. Tel., 1999, 10(6): 585~ 595.
- [2] G J Foschini and M J Gaus. On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas [J]. Wireless Commun. Mag., 1998, 6(3): 311~ 335.
- [3] V Tarokh, H Jafarkhani and R A Calderbank. Space time block codes from orthogonal designs [J]. IEEE Trans. IT., 1999, 45(7): 1456~ 1467.
- [4] S Alamouti. A simple transmit diversity technique for wireless communications [J]. IEEE JSAC, 1998, 16(10): 1451~ 1458.
- [5] 王超, 廖桂生, 张林让, 等. 智能天线与时空编码技术的性能分析 [J]. 电波科学学报, 2003, 18(3): 252~ 255.
C Wang, G S Liao, L R Zhang, et al.. Performance analysis of smart antenna and space time coding [J]. Chinese Journal of Radio Science, 2003, 18(3): 252~ 255.
- [6] 程型清, 李刚, 宿淑春, 等. 空时发射分集在 LAS-CDMA 中的性能分析 [J]. 电波科学学报, 2005, 20(1): 81~ 85.
X Q Cheng, G Li, S C Xu, et al.. Performance analysis of transmit diversity schemes in LAS-CDMA [J]. Chinese Journal of Radio Science, 2005, 20(1): 81~ 85.
- [7] A J Paulraj, D A Gore, R U Nabar, et al.. An Overview of MIMO Communications - A Key to Gigabit Wireless [A]. Proc. of the IEEE [C], 2004, 92(2): 198~ 218.
- [8] D A Gore and A J Paulraj. MIMO antenna subset selection with space time coding [J]. IEEE Trans. SP., 2002, 50(10): 2580~ 2588.
- [9] R Heath and A Paulraj. Antenna selection for spatial multiplexing systems based on minimum error rate [A]. in Proc. IEEE Int. Contr. Conf. [C], Helsinki, Finland, 2001, 2276~ 2280.
- [10] A Gorokhov, D A Gore. and A J Paulraj. Receive antenna selection for MIMO spatial multiplexing: theory and algorithms [J]. IEEE Trans. SP, 2003, 51(11): 2796~ 2807.
- [11] W C Y Lee. Effects on correlation between two mobile radio base station antennas [J]. IEEE Trans. Comm., 1973, 21(11): 1214~ 1224.
- [12] 王自力, 龚耀寰. MIMO 宏小区窄带信道模型的相关性能分析 [J]. 电波科学学报, 2005, 20(1): 37~ 42.
Z L Wang, Y H Gong. Correlation characteristic analysis of MIMO macro cell narrowband channel model [J]. Chinese Journal of Radio Science, 2005, 20(1): 37~ 42.
- [13] D A Gore, R U Nabar, and A Paulraj. Selecting an optimal set of transmit antennas for a low rank matrix channel [A]. in Proc. IEEE ICASSP [C], 2000, 2785~ 2788.
- [14] A Molisch, M Win and J Winters. Capacity of MIMO systems with antenna selection [A]. In Proc. IEEE Int. Contr. Conf. [C], Helsinki, Finland, 2001, 570~ 574.

(下转第 801 页)

from the turbulent air [J]. Radio Science, 1980, 15 (2): 277~ 282.

- [8] D A Holdsworth. A simple model of atmospheric radar backscatter: Description and application to the full correlation analysis of spaced antenna data [J]. Radio Science, 1985, 30(4): 1263~ 1280.
- [9] A 石丸. 随机介质中波的传播和散射[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [10] Brenton G W Vandepier. On the spaced antenna and imaging Dopple interferometer techniques [J]. Radio Science, 1995, 30(4): 885~ 901.
- [11] B H Briggs. On the analysis of patterns in geophysics I. Correlation analysis [J]. J. Atmospheric and Terrestrial physics, 1968, 30(10): 1777~ 1788.
- [12] 李凤琴, 胡雄等. 武汉中层大气中频雷达及其初步探测结果[J]. 空间科学学报 2002, 22(1): 65~ 70.
- [13] 杨涛, 周莹莉, 等. 利用全相关分析方法确定大气风场[J]. 电波科学学报, 2003, 18(3): 324~ 327.

T Yang, Y L Zhou, *et al.*. Wind field measurement by the full correlation analysis method [J]. Chinese Journal of Radio Science, 2003, 18(3), 324~ 327.



舒卫平 男, 湖南人, 1998 年毕业于武汉大学无线电物理系, 现为武汉大学博士研究生, 主要从事大气探测雷达算法和硬件方面的研究。



赵正予 (1952-), 男, 吉林人, 武汉大学电信学院电子工程系教授, 博士, 博导, 现主要从事大气探测雷达和电离层人工变态方面的研究。

Email: dicilab@yahoo.com.cn

(上接第 794 页)

- [15] W H Wong and E G Larsson. Orthogonal space time block coding with antenna selection and power allocation [J]. IEE Electr. Letters 20th, 2003, 39(3): 379~ 381.
- [16] V Tarokh, H Jarkhani and A R Calderbank. Space time block coding for wireless communications: performance results [J]. IEEE JSAC, 1999, 7(3): 451~ 460.
- [17] 罗涛, 李祥明, 乐光新. 正交空时分组码最大比率合并接收组合形式的配方方法 [J]. 电子科学学刊, 2002, 24(4): 473~ 478.
- [18] J G Proakis. Digital communications (4th) [M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.
- [19] J S Lee and L E Miller 著, 许希斌等译. CDMA 系统工程手册 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2001.



庄铭杰 (1964-), 男, 福建人, 1986 年毕业于复旦大学无线电电子学专业, 2005 年毕业于厦门大学物理系, 获博士学位, 现为集美大学信息工程学院副教授。主要研究方向: 新一代无线移动通信系统。

郭东辉 (1967-), 男, 福建人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要研究方向: 网络通讯、人工智能、集成电路设计。