

非相干天线选择算法

宋高俊^{1,2}

(1. 安徽理工大学电子工程系, 安徽淮南 232001; 2. 南昌航空工业学院电子工程系, 江西南昌 330034)

摘要: 基于广义似然比检验 (GLRT) 与天线选择相结合, 提出了平瑞利衰落信道的非相干天线选择 (NON-AS) 算法, 天线选择和信号检测无需信道状态信息. NON-AS 算法适用于多输入多输出 (MIMO) 系统的接收端, 接收天线选择是基于每个天线瞬时接收到信号矢量的 F-2 范数. 与相干检测的天线选择相比, NON-AS 算法不需要估计信道, 大大降低了系统复杂性. 成对错误概率分析和仿真结果表明: 在高信噪比情况下, 选择有最大范数的接收天线, 系统能实现和使用全部接收天线相同的分集增益.

关键词: 天线选择; 非相干; 广义似然比检验; 信号相关度

中图分类号: TN914 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2005) 12-2269-03

Noncoherent Antenna Selection Algorithm

SONG Gao-Jun^{1,2}

(1. Department of Electronic Engineering, Anhui University of Technology, Huainan, Anhui 232001, China;

2. Department of Electronic Engineering, Nanchang Institute Of Aeronautical Technology, Nanchang, Jiangxi 330034, China)

Abstract: Based on combining the generalized likelihood ratio test (GLRT) with antenna selection (AS), the paper presents a non coherent antenna selection (NON-AS) algorithm over flat Rayleigh fading channel, which do not require channel state information (CSI) for antenna selection and signal detection. The NON-AS algorithm can be applied to receiver of multiple input and multiple output (MIMO) systems, and selection of receive antennas is based on the Frobenius 2 norm of instantaneous received signal vector. Compared with coherent antenna selection, the NON-AS algorithm do not require estimating channel state information, which greatly reduce system complexity. The pair wise error probability analysis and simulation results show that, under the condition of high SNR, by selecting the set of antennas that observe the largest instantaneous Frobenius-2 norm of received signal vector, the same diversity gain can be achieved as the one obtained by using all the receive antennas.

Key words: antenna selection; non coherence; generalized likelihood ratio test; signal correlation order

1 引言

无线通信系统的容量和性能在很大程度上受到衰落和干扰的限制. 文献 [1, 2] 的研究表明, 使用多天线发送和接收 (MIMO) 可以极大的改善系统的性能, 提高通信系统的效率. 然而, 多天线系统所付出的代价是需要更多的射频链路, 这会导致系统成本和复杂性上升. 因此, 在收发两端射频链路限定的情况下, 如何提高系统的性能, 是一个重要的研究领域. 其中采用天线选择技术是一种可行而有效的方法, 受到人们的关注.

目前的文献中已提出了多种天线选择方案, 包括发射天线选择^[3, 4]接收天线选择^[5]和发射接收混合选择方法^[4, 5]. 然而这些方法都假设了在发射机或接收机处能准确的获得信道参数, 属于相干检测的天线选择. 在系统天线较多和信道快衰落的情况下, 信道的估计是很困难的, 即使能实现, 系统也将

是非常复杂, 并且需要更多的训练时间, 导致传输效率降低. 基于广义似然比检验 (GLRT) 和 MIMO 系统接收信号矢量的范数, 本文研究了酉空时调制系统的天线选择问题, 提出了非相干的天线选择 (NON-AS) 算法, 系统的天线选择和解码不需要信道信息.

2 系统模型和算法

2.1 系统模型

假设一个平瑞利衰落的无线信道, 系统有 M 个发送天线和 N 个接收天线. 假设系统只有 M_T 个发射和 N_R 个接收射频链路. 根据天线选择准则, 从 M 个发送天线和 N 个接收天线中选择最好的 M_T 个发射和 N_R 个接收天线, 分别连接到发送和接收链路. 本文只研究接收天线选择问题, 因此 $M = M_T$. 假设发射机和接收机都无信道状态信息, 采用正交信号设计和非相干检测, 信号模型为^[8]

$$Y = \sqrt{T_Y/M} SH + W \quad (1)$$

其中 γ 是每个接收天线的信噪比, $S \in C^{T \times M}$ 是 T 个符号间发射的编码信号矩阵, 满足正交关系 $S^H S = I_M$, 其中上标 H 表示共轭转置. $H \in C^{M \times N_R}$ 是未知的信道系数矩阵, $W \in C^{T \times N_R}$ 是加性高斯噪声, 假设发射天线和接收天线相互独立, W 和 H 的矩阵元是独立同分布的均值为 0 方差为 1 的复高斯随机变量. 将 Y 、 W 和 H 写成列矢量形式, $y = \text{vec}(Y)$ 、 $h = \text{vec}(H)$ 和 $w = \text{vec}(W)$, 则式(1)可以表示为

$$y(k) = \sqrt{T_Y/M} (I_{N_R} \otimes S) h(k) + w(k) = Ah(k) + w(k) \quad (2)$$

式中 $A = \sqrt{T_Y/M} (I_{N_R} \otimes S)$, k 表示 $G = \begin{pmatrix} N \\ N_R \end{pmatrix}$ 种接收天线组合中的第 k 种选择.

2.2 天线选择和检测算法

根据式(2), 我们将天线选择和 GLRT 信号估计结合起来, 联合估计发射信号, 算法如下

$$S = \arg \min_{S \in B} \min_{h \in B} \min_h \| y(k) - Ah(k) \|^2 \quad (3)$$

其中 B 是所有不同的发射信号矩阵集合. 在给定 S 和 k 的情况下, $h(k)$ 的最佳估计为^[7]

$$\hat{h}(k) = [A^H A]^{-1} A^H y(k) \quad (4)$$

将式(4)代入式(3)中并考虑到 S 的正交关系, 可得

$$S = \arg \max_{S \in V} \max_{k \in G} [y^H(k) (I_{N_R} \otimes S S^H) y(k)] \quad (5)$$

选择 $\max_k |y(k)|$ 的接收天线组合 k_0 , 则有

$$S = \arg \max_{S \in B} [y^H(k_0) (I_{N_R} \otimes S S^H) y(k_0)] \quad (6)$$

比较算法(6)和[6]的非相干似然检测算法, 显然形式上是相同的, 当 $G = 1$ 时, 两种算法完全等价. 这也表明在多天正交信号设计的系统中, 非相干似然检测和 GLRT 检测是等价的. 算法(6)实现了非相干的瞬时天线选择.

3 性能分析

考虑 $N_R = 1$ 的简单情况, 即每次从 N 个接收天线中选择一个天线. 假设发送信号是 S_1 , 而接收机的判决输出是 S_2 , 对于某一天线选择 k , 根据算法式(6), 条件成对错误概率为

$$P[v < 0 | h(k)] = P[y^H(k) S_1 S_1^H y(k) - y^H(k) S_2 S_2^H y(k) < 0 | h(k)] \quad (7)$$

将式(2)代入式(7), 取高信噪比近似, 可求得条件成对错误概率的上限为[见附录式(4)]

$$P[v < 0 | h(k)] \leq \frac{1}{2} \exp[-h^H(k) (I_M - S_1^H S_2 S_2^H S_1) h(k)] \quad (8)$$

显然, $|h(k)|$ 越大, 则系统的错误概率越小. 在高信噪比的条件下, 我们的天线选择算法 $\max_k |y(k)|$ 逼近于 $\max_k |h(k)|$, 因此, 对于最佳天线选择的条件成对错误概率上限可以改写为

$$P[v < 0 | h] \leq \frac{1}{2} \exp[-h^H (I_M - S_1^H S_2 S_2^H S_1) h] \quad (9)$$

对信道 h 求统计平均, 则平均成对错误概率的上限为

$$P[v < 0] \leq \int \frac{1}{2} \exp[-h^H (I_M - S_1^H S_2 S_2^H S_1) h] f(h) dh \quad (10)$$

上式中 $f(h)$ 是 $h = \arg(\max_k |h(k)|)$ 的概率密度函数, 比较式(10)和文献[3]的式(7), 两式形式相同, 信道条件也相同, 采用类似方法求解可得

$$P[v < 0] \leq \left[\frac{N}{2(M!)^{N-1}} \frac{1}{\prod_{i=1}^M (1 - \lambda_i)} \sum_{i=1}^M \dots \sum_{i_{MN-M}=1}^M \frac{l_1! \dots l_M!}{(1 - \lambda_1)^{l_1} \dots (1 - \lambda_M)^{l_M}} \right] \left(\frac{T_Y}{M} \right)^{-MN} \quad (11)$$

上式中 λ 是 $S_1^H S_2 S_2^H S_1$ 的奇异值. 式(11)清楚的表明, 在高信噪比和信号互相关阵奇异值 λ_i 不等于 1 的情况下, 在接收机处只选择一个天线接收, 可实现分集增益 MN , 这和使用全部接收天线能实现的分集增益相同. 根据式(11), 天线选择对编码增益的影响是很难判断的, 下节将过仿真分析.

4 仿真结果

算法性能的衡量标准是编码信号的帧错误率 (FER), 每帧信号用一个信号矩阵 S 表示, 使用了文献[6]的编码方法, 取 $N_R = 1$, $M = 2$ 和 $T = 8$, 码速是 1 比特/秒/赫, 因此每帧信号的状态数是 256.

实验 1 取 $N = 2$, 研究编码信号的相关度对非相干天线选择算法的影响选用了 3 种不同相关度的信号, 相关系数 ρ (定义为 $\max_{S_i \neq S_j} |S_i^H S_j|$) 分别为 0.29, 0.37 和 0.46 (他们的奇异值都不等于 1). 仿真结果如图 1 所示, 注意性能曲线的坡度反映了分集增益的大小, 显然在高信噪比时, 不同相关度的信号有着渐近相同的分集增益, 和采用了全部接收天线的非相干似然检测系统的分集增益相同, 在本例中的分集是 4, 这一结果与上节的分析是一致的. 此外, 相关的增加降低了编码增益, 从而造成系统总体性能的下降. 因此, 采用低相关的编码方法可以提高 NON-AS 算法的性能.

实验 2 研究接收天线数对天线选择系统性能的影响仿真研究了非相干 $(2, N, 1) / (M, N, m)$ 的含义是发射天线为 M , 接收天线为 N , 从 N 个天线中选择 m 个天线/选择算法的性能, 如图 2 所示, 显然, 随着接收天线的增加, 和非天线选择的 $(2, 1, 1)$ 非相干似然检测算法相比, NON-AS 算法的性能明显提高, 如信噪比为 14dB 时, $(2, 1, 1)$ 的帧错误率是 0.01, 而 $(2, 5, 1)$ 的帧错误率减小到 0.000045. 图 2 中我们还注意到另

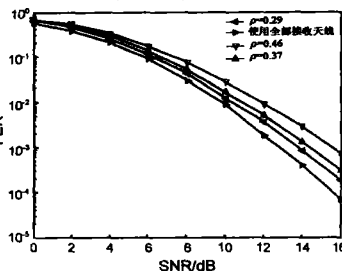


图 1 信号相关对分集增益的影响, 选择方式为 (2,2,1)

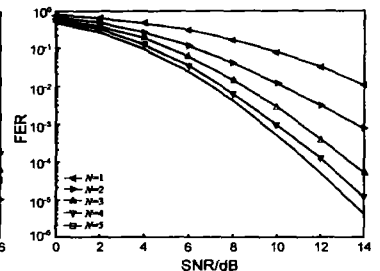


图 2 不同接收天线数的分集增益, 选择方式为 (2,N,1)

一变化趋势,随着选择天线的增多,性能的相对增加减小,如在帧错误率为 0.01 时, (2, 2, 1) 相对 (2, 1, 1) 性能提高了约 4dB, 而 (2, 5, 1) 相对 (2, 4, 1) 性能提高仅约 0.2dB. 因此从提高系统性能和复杂性的比考虑,只需采用 2~3 个天线的选择就能实现大部分分集增益,而且系统简单.

5 结论

本文提出了非相干的天线选择算法,天线选择仅在接收机处实施.这种算法是将广义似然比检验和天线选择结合起来联合检测信号,天线的瞬时选择不需要信道信息,因此和相干检测的天线选择系统相比,不需要信道估计,大大降低了系统复杂性.仿真结果表明,系统的性能和设计码组的相关度有关,相关越小则性能越好,可以实现的分集增益是 MN , 这个增益和使用了所有 N 个接收天线的增益相同.

附录

定义 $F = S_1 S_1^H - S_2 S_2^H$, 将式(2)代入式(7),并取高信噪比近似,则成对错误概率可写为

$$P[v < 0 | \mathbf{h}(k)] = P[\mathbf{h}^H(k)(\mathbf{I}_{N_R} \odot \mathbf{S}_1^H) \mathbf{F}(\mathbf{I}_{N_R} \odot \mathbf{S}_1) \mathbf{h}(k) (\mathbf{I}_{N_R} \odot \mathbf{S}_1^H) \mathbf{F} \mathbf{w} + \mathbf{w}^H \mathbf{F}(\mathbf{I}_{N_R} \odot \mathbf{S}_1) \mathbf{h}(k) < 0 | \mathbf{h}(k)] \quad (1)$$

定义 $c = \mathbf{h}^H(k)(\mathbf{I}_{N_R} \odot \mathbf{S}_1^H) \mathbf{F}(\mathbf{I}_{N_R} \odot \mathbf{S}_1)$, $\mathbf{q} = \mathbf{F}(\mathbf{I}_{N_R} \odot \mathbf{S}_1) \mathbf{h}(k)$, $x = \mathbf{q}^H \mathbf{w} + \mathbf{w} \mathbf{q}$, 则

$$P[v < 0 | \mathbf{h}(k)] = P[c + x < 0 | \mathbf{h}(k)] \quad (2)$$

显然, x 是一个均值为 0, 方差 $\sigma_x^2 = |\mathbf{q}|^2/2$ 的高斯随机变量, 因此^[8]

$$P[v < 0 | \mathbf{h}(k)] = P[x < -c | \mathbf{h}(k)] = P[x > c | \mathbf{h}(k)] = Q(c/\sigma_x) \quad (3)$$

取 $Q(x)$ 的一个紧上限 $Q(x) \leq \frac{1}{2} \exp(-x^2/2)$, 将 c 和 σ_x 的表示代入, 则条件成对错误概率的上限可以表示为

$$P[v < 0 | \mathbf{h}(k)] \leq \frac{1}{2} \exp[-\mathbf{h}^H(k)(\mathbf{I}_{MN} - \mathbf{I}_{N_R} \odot \mathbf{S}_1^H \mathbf{S}_2 \mathbf{S}_2^H \mathbf{S}_1) \mathbf{h}(k)] \quad (4)$$

参考文献:

[1] S Thoen, L Perre, B Gyselinckx, et al. Performance analysis of

combined transmit SC/ receive MRC [J]. IEEE Trans Commun, 2001, 49(1): 5- 8.

- [2] Z Chen, B Vucetic, J Yuan, et al. Analysis of transmit antenna selection/Maximal ratio combining in rayleigh fading channels [C]. In Proc IEEE ISTT03, Yokohama, Japan: 2003. 94.
- [3] I Bahceci, T M Duman, Y Altunbasak. Antenna selection for multiple antenna transmission systems: performance analysis and code construction [J]. IEEE Trans Information Theory, 2003, 49(10): 2669- 2881.
- [4] X Cai, G B Giannakis. Performance analysis of combined transmit selection diversity and receive generalized selection combining in rayleigh fading channels [J]. IEEE Trans Wireless communication, 2004, 3(6): 1980- 1983.
- [5] D A Gore, A J Paulraj. MIMO antenna subset selection with space time coding [J]. IEEE Trans Signal Processing, 2002, 50(10): 2580- 2588.
- [6] B M Hochwald, T L Marzetta, T J Richardson, et al. system design of unitary space time constellations [J]. IEEE Trans Inf Theory, 2000, 46(6): 1962- 1973.
- [7] Steven M Kay. 统计信号处理基础——估计与检测理论 [M]. 北京, 电子工业出版社, 2003. Steven M Kay. Fundamentals of Statistical Signal Processing [M]. Beijing: Publishing House of E I, 2003. (in Chinese)
- [8] J Boutros, E Viterbo, C Rastello, et al. Good lattice constellations for both rayleigh fading and gaussian channels [J]. IEEE Trans Inf Theory, 42(2): 502- 518.

作者简介:



宋高俊 男, 1959 年 8 月出生于安徽省合肥市, 副教授, 博士, 主要从事移动通信、信号处理以及编码理论等领域的教学和研究工作。
Tel(宅) 0554 6631800, 手机: 13866345703,
E mail: sgjal@163.com.