

基于 MMSE 准则的 MIMO 系统干扰抑制

胡海华

(成都航空职业技术学院 电子工程系, 四川 成都 610021)

摘要: MIMO 系统可有效对抗衰落并提高系统容量。在实际环境中, MIMO 系统可能接收到来自空间某个方向上的干扰。针对空时分组码 MIMO 系统, 给出一种基于 MMSE 准则数字波束形成的干扰抑制方案, 仿真结果表明该方案能有效抑制 MIMO 系统中的强定向干扰, 但与无干扰的理想情况相比, 系统的一些性能有所降低。

关键词: MIMO; 空时分组码; 波束形成; 干扰抑制

中图分类号: TN973.3

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)19-0063-03

Interference suppression for MIMO system based on MMSE criteria

HU Hai Hua

(Department of Electronic Engineering, Chengdu Aeronautic Vocational and Technical College, Chengdu 610021, China)

Abstract: MIMO communication system is an effective system to mitigate fading effect and improve system capacity. In real environments, the MIMO system may face interference coming from certain direction. This paper presents a scheme to suppress directional interference for STBC MIMO system based on MMSE beam-forming. Simulation result shows that the scheme is valid to suppress directional strong interference for STBC MIMO system although with some performance degradation compared with the ideal case of non-interference.

Key words: MIMO; STBC; beam-forming; interference suppression

新一代无线通信系统要求能够高速可靠地传输信息, 提供较高的系统容量及数据传输率。然而, 无线通信信道中的多径衰落限制了无线系统的容量及数据传输率。多入多出^[1](MIMO)系统在收发两端分别采用多天线, 将传输空间分解成多个空间子信道, 把普通技术视为有害的多径传输加以利用。MIMO 系统可以有效地对抗衰落, 并可使无线通信系统容量得到很大的提高。目前, MIMO 系统相关的技术研究已获得重要进展, 并已经被 3GPP 标准采用^[2]。

空时编码是 MIMO 系统的关键技术之一。已有文献提出了空时分组码、空时网格码、空时分层码等许多 MIMO 空时编码方法。特别是 Alamouti^[3]提出的空时分组码, 其性能优越、处理简单, 具有很好的应用前景。

MIMO 系统空时码在无线信道中具有足够多的散射路径的情况下可以得到很好的性能, 但在实际应用环境中, MIMO 系统还将受到干扰的影响。一种情况是多用户干扰, 这方面已有相应的研究^[5-6]。此外, MIMO 系统也

可能接收到来自空间某个方向上的外来干扰。当干扰很强时, MIMO 系统性能会迅速下降, 这种情况下有必要采用相应的处理来抑制干扰。本文针对空时分组码 MIMO 系统, 给出一种基于数字波束形成(DBF)的抑制强定向干扰的处理方法, 并通过计算机仿真来验证其抑制强定向干扰的有效性。

1 MIMO 系统空时分组码

空时分组码是应用最为广泛的 MIMO 空时码。图 1 示出了采用 Alamouti^[3]2×2 天线空时分组码的 MIMO 系统。本文只针对 2×2 天线情况进行讨论。但是, 干扰抑制的基本方法对任意的 M×N 天线情况只要作适当修改都是可适用的。

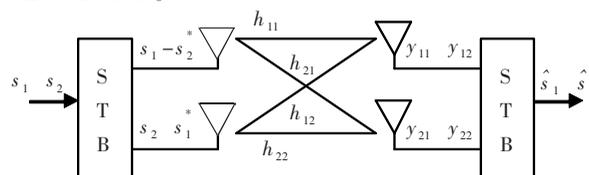


图 1 Alamouti STBC

在图 1 所示的 Alamouti 空时编码方案中, s_1, s_2 为连续两个输入符号, 经空时分组编码以后, 第 1 个符号周期内两天线上的符号分别为 s_1, s_2 ; 第 2 个符号周期内两天线上的符号分别为 $-s_2^*$ 和 s_1^* 。 $h_{ji}(i=1, 2; j=1, 2)$ 为第 i 个发射天线与第 j 个接收天线之间的信道参数。 y_{11}, y_{21} 为第 1 个符号周期内两接收天线分别接收到的信号; y_{12}, y_{22} 为第 2 个符号周期内两接收天线分别接收到的信号; 经空时分组解码处理得到 \hat{s}_1, \hat{s}_2 。

首先定义如下的符号矢量 s 、接收噪声矢量 n 和接收信号矢量 y :

$$s = [s_1, s_2]^T$$

$$n = [n_{11}, n_{12}, n_{21}, n_{22}]^T$$

$$y = [y_{11}, y_{12}, y_{21}, y_{22}]^T$$

并定义如下的信道矩阵 H :

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{12}^* & -h_{11}^* \\ h_{21} & h_{22} \\ h_{22}^* & -h_{21}^* \end{bmatrix}$$

空时分组码 MIMO 系统的信号模型可以表达为:

$$y = \sqrt{\frac{E_s}{2}} Hs + n \quad (1)$$

对 s 的最大似然估计为:

$$\hat{s}_{ML} = \arg \min_{s \in c} \|H \cdot s - y\|^2 \quad (2)$$

其中 c 是所有可能的发送符号矢量集。

可以验证:

$$H^H H = \alpha I_2 \quad (3)$$

其中 $(\cdot)^H$ 表示共轭转置, I_2 为 2×2 的单位矩阵, $\alpha = |h_{11}|^2 + |h_{12}|^2 + |h_{21}|^2 + |h_{22}|^2$ 。

因此, 对 s 的最大似然估计可表示为:

$$\hat{s}_{ML} = \arg \min_{s \in c} \|\alpha H^H y - \alpha \sqrt{E_s/2} \cdot s\|^2 =$$

$$\arg \min_{s \in c} \{ \alpha \cdot [\|H^H y - s\|^2 + (\alpha - 1) \cdot \|s\|^2] +$$

$$(1 - \alpha) y^H H H^H y \} = \arg \min_{s \in c} \{ \|H^H y - s\|^2 +$$

$$(\alpha \sqrt{E_s/2} - 1) \cdot \|s\|^2 \} \quad (4)$$

在输入符号恒模的情况下(比如 PSK 符号), $|s_i| = \text{constant}, i=1, 2; \|s\|^2 = 2 \cdot (\text{constant})^2$ 也为常数, 从而最大似然估计成为:

$$\hat{s}_{ML} = \arg \min_{s \in c} \|H^H y - s\|^2 \quad (5)$$

这样, 基于矢量 s 的最大似然搜索可以转为在两个符号周期内分别进行标量 s_i 的最大似然搜索。搜索量由

《微型机与应用》2010 年第 29 卷第 19 期

$(2^b)^2$ 降为 $2 \cdot 2^b$, 其中 2^b 为发送符号集中的所有可能符号数。因此 Alamouti 空时码的解码只需先进行线性处理然后在两个符号周期内分别进行最大似然判决即可, 其运算量大为降低。

2 存在定向干扰时的空时分组码 MIMO 系统

当 MIMO 系统存在外来定向干扰时, 接收信号矢量可表达为:

$$y = \sqrt{\frac{E_s}{2}} Hs + n + J \quad (6)$$

其中 $J = [J_{11}, J_{12}, J_{21}, J_{22}]^T$ 为干扰矢量。

假设定向干扰方向与接收天线阵法线夹角为 θ_j , 则

$$J_{2j} = J_{1j} \cdot \exp[-(2\pi/\lambda) \cdot d \cdot \sin(\theta_j)], P=1, 2。$$

其中 d 为接收天线间距, λ 为电磁波波长。

记 $\Delta\phi(\theta_j) = (2\pi/\lambda) \cdot d \cdot \sin(\theta_j)$, 则干扰可表达成:

$$J = [J_{11}, J_{12}, J_{11} \exp[-j \cdot \Delta\phi(\theta_1)], J_{12} \exp[j \cdot \Delta\phi(\theta_1)]]^T$$

当存在定向干扰时, 直接采用式(5)的空时分组码解码处理算法将不能正常工作。在干扰很强时, 系统会被强的定向干扰所堵塞。

3 MIMO 系统抑制定向干扰方案

图 2 示出了一种基于数字波束形成(DBF)的 MIMO 系统定向干扰抑制方案。图中两组波束形成器对应 Alamouti 空时分组码每个分组的两个符号周期, 每组波束形成器所进行的处理为空时联合加权处理。

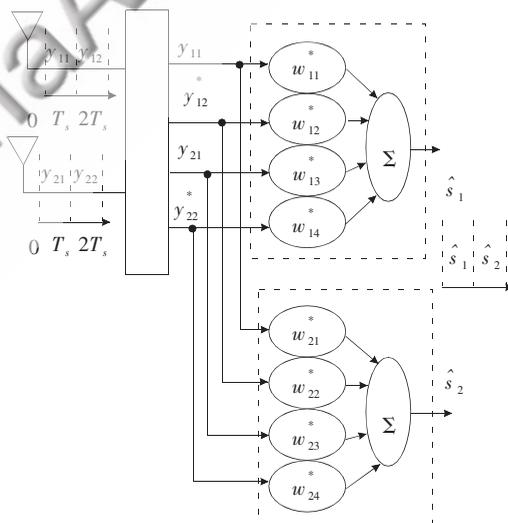


图 2 基于 DBF 的 MIMO 系统定向干扰抑制方案

令 $w_1 = [w_{11}, w_{12}, w_{13}, w_{14}]^T, w_2 = [w_{21}, w_{22}, w_{23}, w_{24}]^T$, 则两组波束形成器的输出分别为:

$$\hat{s}_1 = w_1^H y, \hat{s}_2 = w_2^H y \quad (7)$$

最佳的信号检测和干扰抑制处理在于根据一定准则寻求最佳权 w_1, w_2 。本文采用 MMSE 准则。

$$w_{i,opt} = \arg \min_{w_i} E\{\|w_i^H \cdot y - s_i\|^2\}, i=1, 2 \quad (8)$$

式(8)的最佳权矢量 $w_{i,opt}(i=1, 2)$ 满足 Vinner-Hopff

欢迎网上投稿 www.pcachina.com 73

方程^[4],即:

$$R_{yy}w_{i,opt} = r_{ys_i}, i=1, 2 \quad (9)$$

其中 $R_{yy} = E\{yy^H\}$

$$r_{ys_i} = E\{ys_i^*\}, i=1, 2 \quad (10)$$

由式(9)可得到 $R_{yy}[w_{1,opt} \ w_{2,opt}] = [r_{ys_1} \ r_{ys_2}]$

$$\text{而 } [r_{ys_1} \ r_{ys_2}] = [E\{ys_1^*\} \ E\{ys_2^*\}] = E\{ys^H\} = R_{ys} \quad (11)$$

令 $W_{opt} = [w_{1,opt} \ w_{2,opt}]$, 则式(9)成为:

$$R_{yy}W_{opt} = R_{ys} \quad (12)$$

$$\text{从而, } W_{opt} = (R_{yy})^{-1}R_{ys} \quad (13)$$

假定信号与噪声及干扰相互独立,且噪声与干扰均值均为零,根据式(6)的信号模型可推算出 R_{yy} 和 R_{ys} , 进一步可得:

$$W_{opt} = \sqrt{\frac{E_{s0}}{2}} \cdot \left[\frac{E_s}{2} HH^H + E\{nn^H\} + E\{JJ^H\} \right]^{-1} \cdot H \quad (14)$$

将噪声功率记为 σ_n^2 , 则 $E\{nn^H\} = \sigma_n^2 \cdot I$ 。

将干扰信号功率记为 σ_j^2 , 且设 J_{11} 、 J_{12} 为零均值且相互独立, 可得:

$$E\{JJ^H\} = \sigma_j^2 \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & e^{-j \cdot \Delta\phi(\theta_j)} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & e^{-j \cdot \Delta\phi(\theta_j)} \\ e^{-j \cdot \Delta\phi(\theta_j)} & 0 & 1 & 0 \\ 0 & e^{-j \cdot \Delta\phi(\theta_j)} & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

将式(15)右边的矩阵记为 $A(\theta_j)$, 则:

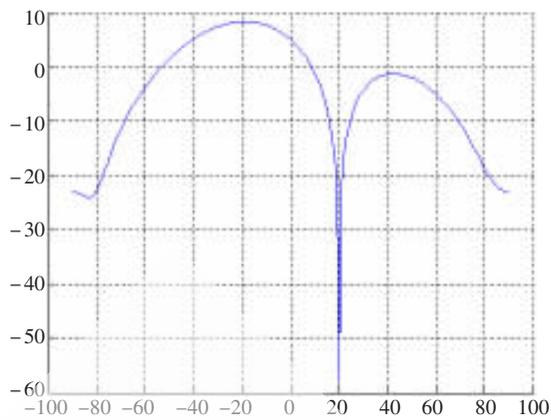
$$E\{JJ^H\} = \sigma_j^2 \cdot A(\theta_j)$$

$$\text{从而, } W_{opt} = \sqrt{\frac{E_{s0}}{2}} \cdot \left[\frac{E_s}{2} HH^H + \sigma_n^2 \cdot I + \sigma_j^2 \cdot A(\theta_j) \right]^{-1} \cdot H$$

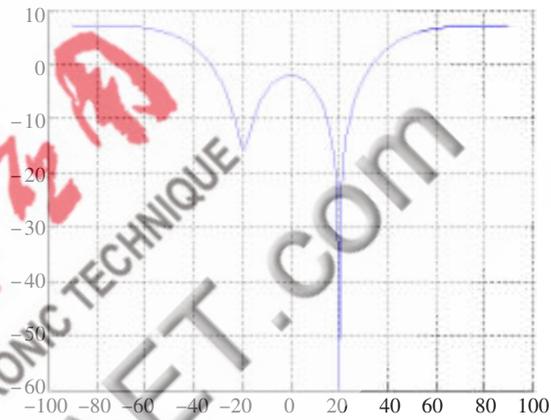
4 MIMO 系统抑制干扰的仿真结果

仿真中, 有用信号采用 Alamouti 2x2 空时分组码, 信噪比 SNR 为 5 dB。定向干扰由偏离接收天线阵法线 20° 的方向入射到接收机, 干扰比(INR)为 30 dB。仿真信道为瑞利慢衰落信道, 并且假定接收端已知信道参数, 在信道“准静态”期间进行波束形成。由于信道为随机信道, 因此波束也具有一定随机性。图 3 给出了波束图的样本(一个样本包括两个波束: $|g_1(\theta)|$ 和 $|g_2(\theta)|$)。从仿真结果中可以看出, 波束形成器在 20° 方向上已形成波束零点, 零深接近 -50 dB, 干扰得到了有效的抑制。

对于 INR 为 30 dB 的定向干扰, 在不同 SNR(0~15 dB) 情况下, 通过干扰抑制处理以后的误符号率特性如图 4 中位于中间的曲线所示。为了对比, 图 4 中还给出了存在干扰以及无干扰情况下直接以式(5)进行解码得到的误符号率特性曲线。从图 4 中可以看出, 当存在强干扰时, 如果不采取相应的干扰抑制处理, 那么 MIMO 系统将被干扰所堵塞, 无法进行正常的通信。而采用干扰抑制处理以后, MIMO 系统可以正常进行通信, 但与无干扰



(a) $|g_1(\theta)|$ 波束样本



(b) $|g_2(\theta)|$ 波束样本

图 3 波束形成器的波束图样本

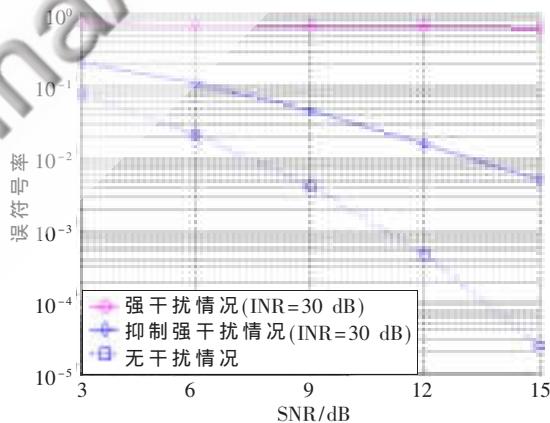


图 4 三种情况下的 SER~SNR 曲线

的理想情况相比, 系统的误符号率性能具有一定的损失。

本文针对空时分组码 MIMO 系统, 给出了一种基于 DBF 的抑制定向干扰的方案。DBF 准则采用的是 MMSE 准则。仿真结果表明, 该方案能有效抑制 MIMO 系统中的定向干扰。

参考文献

[1] GESBERT D, SHAFI M, SHIU D S, et al. From theory to practice: an overview of MIMO space-time coded wireless systems [J]. IEEE Journal on Select. Areas in Commu-

nications, 2003,21(3):281-302.

[2] 3GPP. Tx diversity solutions for multiple antennas release 5. Tech. Rep. 3G TR 25.869 V1.0.0, Jun. 2001.

[3] ALAMOUT S M. A simple transmit diversity technique for wireless communications [J]. IEEE Journal on Select Areas in Communications, 1998,16(8):1451-1458.

[4] HAYKIN S. Adaptive filter theory. Third Edition[M]. Prentice-Hall,1996.

[5] NAGUIB A, SESHADRI N, CALDERBANK A.Applications of space-time block codes and interference suppression for high capacity and high data rate wireless systems[C]. Conference Record of the Thirty-Second Asilomar Conference on Signals, Systems & Computers, Nov. 1998,2:1803-1810.

[6] TRAR X N, TANIGUCHI T, KARASAWA Y. Adaptive beamforming for multiuser space-time block coded systems [C]. 2004 IEEE Eighth International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications, Sydney, Australia, Aug. 2004:745-749.

(收稿日期:2010-06-04)

作者简介:

胡海华,男,1973年生,本科,主要研究方向:通信技术。

