

文章编号 1672-6987(2004)04-0370-04

几种新型的多选择性天线分集

徐敏奎

(青岛科技大学 , 山东 青岛 266061)

摘要 : 基于发射端和接收端都具有完整的信道状态信息假设 , 提出了 3 种新型的用于多发送天线多接收天线的天线分集技术 : 多选择分集、多选择反相分集和扩展的多选择反相分集技术 , 并对其进行了性能仿真。这 3 种方案较之传统的选择性分集只需增加非常小的硬件复杂度 , 就能显著提高信噪比性能 , 达到降低功耗 , 提高系统性能的目的。

关键词 : 波束成型 ; 单选择分集 ; 多选择分集 ; 多选择反相分集 ; 扩展的多选择反相分集

中图分类号 : TN 92 文献标识码 : A

A Few Novel Multi-Selection Antenna Diversity Techniques

XU Min-kui

(Qingdao University of Science and Technology , Qingdao 266042 , China)

Abstract : Antenna diversity techniques can be used to improve the performance of a wireless communication system. Three new antenna diversity schemes , namely , multi-selection diversity , inverted multi-selection diversity , and extended inverted multi-selection diversity are proposed in this paper. These schemes only require a minimal RF hardware complexity. Simulation results showed that a significant signal to noise ratio (SNR) gain could be achieved by using these schemes compared to using traditional selection diversity techniques in certain cases.

Key words : beam forming ; antenna diversity ; multi-selection diversity ; inverted multi-selection diversity ; extended inverted multi-selection diversity

多入多出天线(Multiple Input Multiple Output , MIMO)通信系统是一种能够有效增加衰落信道容量 , 提高可靠性 , 降低通信误码率的新技术^[1~4]。 MIMO 系统在发送方和接收方都有多副天线 , 该技术能在不增加带宽的情况下成倍地提高通信系统的容量和频谱利用率 , 因而得到普遍研究并在实际系统中开始应用。近年来 , 各国学者对于 MIMO 的理论、性能、算法和实现等各方面正广泛进行研究。使用多天线主要有两种目的 , 一是通过空间复用提高信道容量 , 二是通过分集提高通信可靠性。本研究主要就分集技术在提高通信系统性能中的应用进行讨论。

现有的两种常用的分集技术波束成型(在接收端又通常被称为最大比合并^[5~6])和单选择分集^[7]都存在较大的局限性 : 波束成型具有相当高的系统性能 , 可靠性高 , 但是电路实现难度高 , 功耗大 , 严重限制了其适用范围 ; 单选择分集虽然很容易实现 , 但是比起波束成型性能下降很大 , 尤其是在天线数目比较多的情况下。本研究在综合两者优缺点的基础上 , 利用非常简单的射频前端电路对选择性分集进行扩展 , 提出多选择分集、多选择反相分集和扩展的多选择反相分集 3 种新型分集技术 , 在硬件复杂度增加不大的情况下 , 可以显著地提高系统性能。

1 分集方案

1.1 信道模型

建立 M 个发送天线, N 个接收天线的信道模型如图 1 所示。

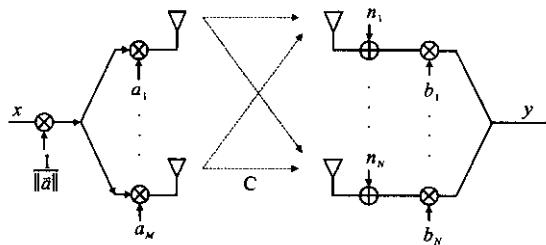


图 1 $M \times N$ 天线通信系统信道模型

Fig. 1 $M \times N$ communication system model

其数学模型为

$$y = b^H(Cax + n) \quad (1)$$

其中:

x 为发送信号, 功率为 P_s 。

y 为接收信号。

$a = (a_1, \dots, a_M)^T$ 为发送信号增益向量;

$b = (b_1, \dots, b_N)^T$ 为接收信号增益向量。

上角标 T 表示转置。

b^H 中上角标 H 表示共轭转置。

C 为 N 行 M 列的复信道系数矩阵, 且每个元素是独立同分布的均值为 0、方差为 1 的复高斯随机变量。

$n = (n_1, \dots, n_N)$ 为独立同分布的 N 维信道噪声向量, 平均功率为 P_n 。

通过简单的推导, 可以得到接收端获得的信噪比为

$$\text{SNR} = \frac{P_s \|b^H Ca\|^2}{P_n \|b\|^2} \quad (2)$$

因此, 通过优化发送和接收信号的增益系数, 可以提高接收信噪比, 从而达到降低误码率, 提高通信性能的目的。

1.2 模型分类

根据发送信号增益 a 和接收信号增益 b 取值不同限制条件下的通信系统性能, 将系统模型分为 5 类:

(1) 当 a, b 可取任意复向量时, 就是传统意义上的波束成型或最大比合并;

(2) 当 a, b 中各有一个元素为 1, 其它元素都为 0 时, 就是传统意义上的选择分集, 称之为单

选择分集;

(3) 当 a, b 中所有元素可取值 0 或 1 时, 称之为多选择分集;

(4) 当 a, b 中所有元素可取值 1 或 -1 时, 称之为多选择反相分集;

(5) 当 a, b 中所有元素可取值 0, 1 或 -1 时, 称之为扩展的多选择反相分集。

1.3 对几种天线性质的分析

1.3.1 波束成型

对于任意的信道系数矩阵 C , 可以对其进行奇异值分解^[5,6], 得到 $C = U * S * V^H$, 其中 U 和 V 为 unitary 矩阵, S 为对角元素大于零且单调递减的对角阵。容易证明, 此时 a 是 V 的第一列(称为最大右奇异向量)。令 N 维列向量 w 为接收到的信号向量, 且 $w = Cax + n$ 。为获得最大接收信噪比, 令接收信号增益的取值为 $b = \lambda Ca$, λ 为任意非零复标量, 此时接收端获得的信噪比为

$$\text{SNR} = \frac{P_s \|b^H Ca\|^2}{P_n \|b\|^2} = \frac{P_s \|Ca\|^2}{P_n} \quad (3)$$

由于波束成型技术中的发送、接收信号增益取值范围包含了单、多选择分集, 多选择反相分集和扩展的多选择反相分集 4 种方案, 因此在以上 5 种方案中性能最优, 但是由于电路实现难度高, 功耗大, 造价昂贵等因素的限制, 应用范围大大缩小。

1.3.2 单选择分集

为了降低成本, 简化实现, 人们提出了单选择分集。在单选择分集技术中, 发送、接收信号增益向量中各有一个元素为 1, 其它都为 0, 相当于在整个通信过程中的任意时刻只有一对发送和接收天线在工作。在进行了一定的信道估计, 获得 C 之后, 单选择分集选取一对信道系数模最大的天线。因此在电路上只需要简单的开关控制电路就可以实现。但是在天线数目比较大的情况下, 比起波束成型其性能有很大的下降^[6,7]。

单选择分集性能差的原因是在通信过程中的任一时刻只能利用一对天线上的信号。作者利用简单的分路器、合路器和反相器, 加上开关控制电路, 可以实现以下 3 种新型的分集方案, 从而以很少的硬件代价利用所有天线的信号, 达到改善性能的目的。

1.3.3 多选择分集

改善单选择分集性能的方法是采用多选择分集。在多选择分集技术中, 发送和接收信号增益向量中可以有多个元素为 1, 其它元素为零, 非零

元素的位置也是根据信道矩阵 C 来确定。很明显,多选择分集技术的增益系数选取包含了传统的选择分集,因此性能优于单选择分集。

1.3.4 多选择反相分集

多选择反相分集与多选择分集类似,只是将各路发送、接收信号增益系数可取值改为 1 或 -1,即信号有通过和反向通过两种状态,而在电路实现上是利用反相器来取代开关。反相分集的性能分析比较复杂,本文利用仿真研究其性能。

1.3.5 扩展的多选择反相分集

将多选择分集和多选择反相分集合并,得到扩展的多选择反相分集。在扩展的多选择反相分集技术中,发送和接收信号的增益系数可以取 0、1、-1 三种状态,即将信号丢弃、通过和反相。显然,该方案包含了除波束成型外的其他 3 种分集方案,因此性能优于其它 3 种方案。

2 仿真结果及分析

对以上 5 种分集方案及无分集通信系统性能进行仿真。仿真系统采用 BPSK 调制方式,信道系数矩阵的元素是独立的复高斯随机变量,并且发送端和接收端知道完整的信道系数矩阵,3 种多选择分集方案的发送、接收信号增益系数的取值采用完全遍历查找获得。本研究仿真了 6 组不同的收发天线配置 2×1 , 1×2 , 2×2 , 4×1 , 1×4 和 4×4 。其中 $M \times N$ 表示 M 个发送天线和 N 个接收天线。图 2~图 7 分别给出了这 6 种情况下的误比特率性能的仿真结果。

结果分析:

(1) 多选择分集和扩展的多选择反相分集技术在增加很少的复杂度的条件下,可以获得比单

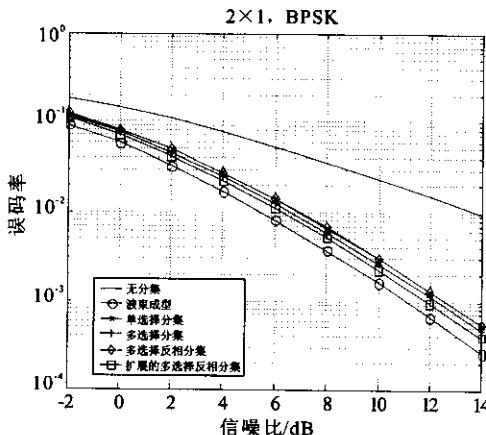


图 2 2×1 系统的误码性能

Fig. 2 2×1 system error rate performance
万方数据

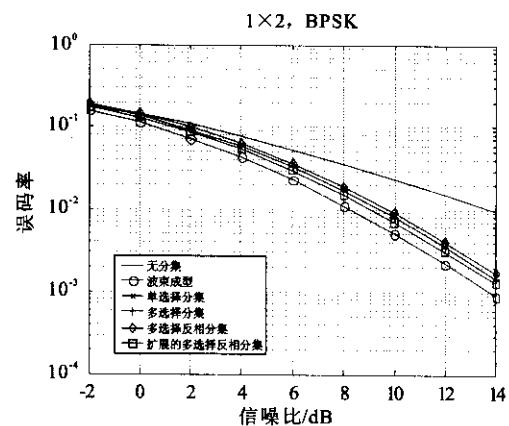


图 3 1×2 系统的误码性能

Fig. 3 1×2 system error rate performance

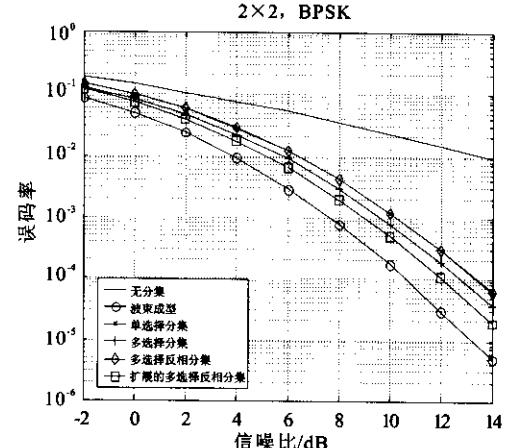


图 4 2×2 系统的误码性能

Fig. 4 2×2 system error rate performance

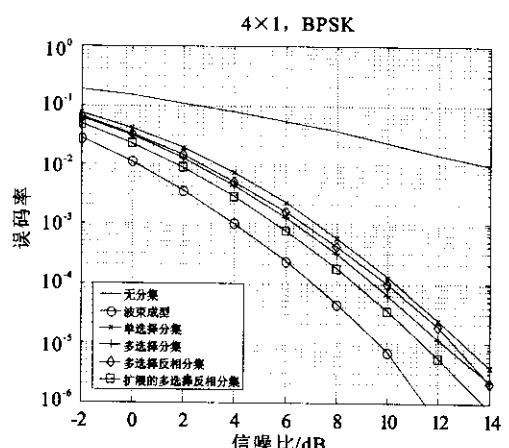


图 5 4×1 系统的误码性能

Fig. 5 4×1 system error rate performance

选择分集相当明显的信噪比增益。特别是扩展的多选择反相分集,在天线数目较多,高信噪比的情况下,比单选择分集有大约 3dB 的增益。

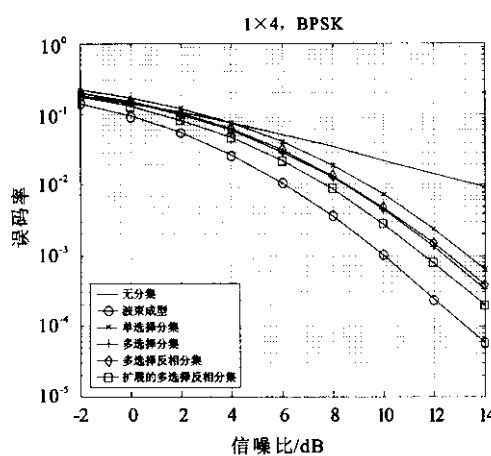


图6 1×4系统的误码性能

Fig. 6 1×4 system error rate performance

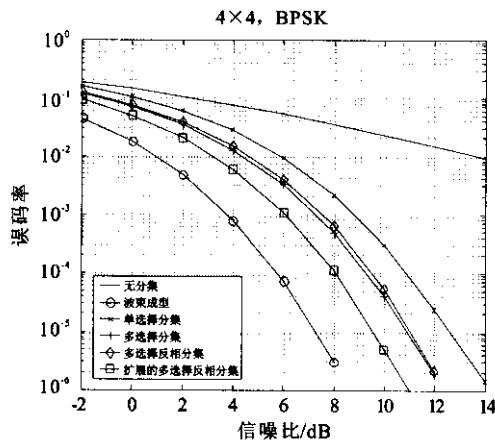


图7 4×4系统的误码性能

Fig. 7 4×4 system error rate performance

(2) 多选择反相分集技术在接收天线较多的情况下信噪比增益明显优于单选择分集,但是比多选择分集技术较差,然而随着天线数目的增加差别越来越小。实际应用中若反相器比开关电路

容易实现,可以考虑多选择反相分集。

3 结束语

本研究在仿真中获取3种多选择分集发送、接收天线增益的系数是采用完全遍历查找,算法复杂度随着天线数目的增多成指数倍增加,即 $O(2^{M+N})$ 。在发送、接收天线个数较少的情况下速度影响不显著,当天线个数很多时将严重影响系统的实时性。进一步的工作是探索求解 a 和 b 的快速算法。

本研究只讨论了发送端和接收端为一路输入、输出信号的简单情况,深入地研究应拓展到多路输入、多路输出信号。

参 考 文 献

- [1] Winters J H. On the capacity of radio communication systems with diversity in a Rayleigh fading environment [J]. IEEE J Select Areas Commun, 1987, (5): 871~878.
- [2] Foschini G J, Gans M J. On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas [J]. Wireless Pers Commun, 1998, (6): 331~335.
- [3] Molisch A F, Win M Z, Winters J H. Capacity of MIMO systems with antenna selection [C]. In: Proc Int Conf on Communications, 2001.
- [4] Telatar I E. Capacity of multi-antenna gaussian channels [J]. European Trans, On Telecomm, 1999, 10(6): 585~596.
- [5] Proakis J G. Digital communications [M]. 4th Edition, New York: McGraw-Hill, 2000.
- [6] Paulraj A, Nabar R, Gore D. Introduction to space-time wireless communications [M]. New York: Cambridge University Press, 2003.
- [7] Thoen S, Van der Perre L, Gyselinckx L, et al. Performance analysis of combined transmit-SC/receive-MRC [J]. IEEE Trans Commun, 2001, 49(49): 5~8.

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>