

doi: 10.3969/j.issn.1674-8425(z).2014.02.016

# 接收天线选择对 MIMO-OFDM 系统 信道容量的影响

顾朝志<sup>1</sup>, 张磊<sup>2</sup>, 李莉<sup>1</sup>

(1. 中国石油大学 计算机与通信工程学院, 山东 青岛 266580;

2. 南京邮电大学, 南京 210003)

**摘 要:** 将 MIMO 的天线选择方法引入 MIMO-OFDM 系统。仿真分析了递增、递减、最大范数法等接收天线选择中的性能, 并给出接收天线选择联合信号处理算法如 MRC、EGC 等对系统性能的影响。仿真结果表明: 接收天线选择会降低信道容量, 而联合信号合并算法对信道容量有提高作用。

**关键词:** MIMO-OFDM; 天线选择; 信道容量; MRC; EGC

**中图分类号:** TN929.5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-8425(2014)02-0072-04

## Effect of Receiving Antenna Selection on Channel Capacity of MIMO-OFDM Systems

GU Zhao-zhi<sup>1</sup>, ZHANG Lei<sup>2</sup>, LI Li<sup>1</sup>

(1. College of Computer and Communication Engineering,

China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;

2. Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** The MIMO antenna selection method was introduced in MIMO-OFDM system. Then the performance of increment, decrement, maximum norm method and the impact of signal processing algorithms such as MRC, EGC on the system performance was simulated. Numerical results show that receiving antenna selection will reduce the channel capacity, and the combined signal processing algorithm will enhance the capacity.

**Key words:** MIMO-OFDM; antenna selection; channel capacity; MRC; EGC

MIMO-OFDM 技术可以在不增加额外带宽和发射功率的情况下提高无线通信系统的容量和频谱利用率, 并能有效地抵抗多径衰落、抑制符号间

干扰, 成为 4G 的核心技术。在 MIMO-OFDM 系统中, 由于收发两端均采用多天线, 因此要使用与天线数目同样多的射频链路, 大大增加了系统的硬

收稿日期: 2013-10-24

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助(13CX02028A)

作者简介: 顾朝志(1976—), 女, 博士研究生, 讲师, 主要从事信息与信号处理研究。

引用格式: 顾朝志, 张磊, 李莉. 接收天线选择对 MIMO-OFDM 系统信道容量的影响[J]. 重庆理工大学学报: 自然科学版, 2014(2): 72-75.

**Citation format:** GU Zhao-zhi, ZHANG Lei, LI Li. Effect of Receiving Antenna Selection on Channel Capacity of MIMO-OFDM Systems[J]. Journal of Chongqing University of Technology: Natural Science, 2014(2): 72-75.

件成本和信号处理难度。天线选择技术通过较少的射频链路来支持较多的天线,以很小的性能损失换取成本的大幅降低,加速了 MIMO-OFDM 技术的发展和应。

天线选择主要运用于单纯的 MIMO 系统<sup>[1-8]</sup>,近年来这一技术也逐渐应用到 MIMO-OFDM 系统中<sup>[9-11]</sup>。MIMO-OFDM 系统的天线选择有基于子载波和子系统两种方式。采用基于子载波的选择方法时,在每一子载波的天线子集选择过程中,实际面对的就是一个单载波的 MIMO 系统,所以现有的 MIMO 系统的天线选择方法可引入到 MIMO-OFDM 系统的天线选择中。由于发射天线选择时需将 CSI 反馈给发射机,这在信道随机变化很快时是不可行的,所以接收天线选择更具吸引力。理论而言,接收天线选择会降低信道矩阵的秩,势必引起信道容量的降低,若在天线选择后联合相应的信号合并处理算法,则可弥补这一性能损失。本文基于 MIMO-OFDM 系统的接收天线选择和信号处理算法展开分析。

## 1 MIMO-OFDM 系统结构及信道模型

图 1 为 MIMO-OFDM 系统接收端天线选择框图。由天线接收到的信号经特定的天线选择算法选择出需要解调的天线,之后经 FFT、并串转换、解调等过程恢复信源的信息。

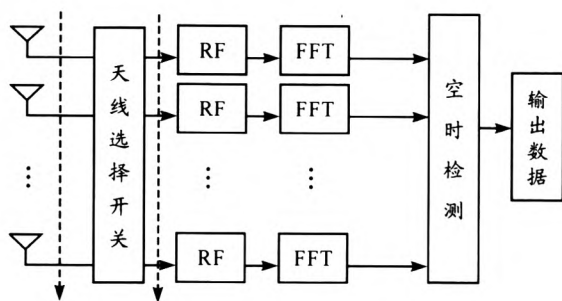


图 1 MIMO-OFDM 系统接收端天线选择框图

令  $C_i$  代表每一个子信道的容量,  $C_i = \log_2 \det \left( I_{n_R} + \frac{\rho_{si}}{n_T} H H^* \right)$ ,  $H$  为归一化的信道矩阵, 则整个 MIMO-OFDM 系统的信道容量为  $C = \sum_{i=1}^K C_i$ 。

在计算信道矩阵时,假设在每一个天线对之间,信号路径都遵循射线追踪方法中的两射线模型(如图 2 所示)。

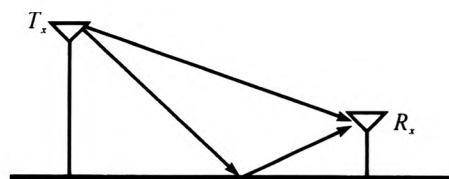


图 2 两射线模型

未归一化的信道矩阵为

$$H_1 = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & \cdots & h_{1M} \\ h_{21} & h_{22} & \cdots & h_{2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N1} & h_{N2} & \cdots & h_{NM} \end{pmatrix}$$

其中:元素  $h_{ij}$  表示第  $j$  根发射天线到第  $i$  根接收天线的信道衰落系数。选择  $n$  根天线进行接收,实际上就是从  $H$  中选择行数为  $n$  的子矩阵,并使用某种选择准则来计算特定天线选择结果下的 MIMO 系统的性能,将能使 MIMO 系统相应的性能达到最佳的选择结果作为最终选择输出。

## 2 天线选择及合并信号处理算法仿真分析

假设发射机和接收机均采用均匀线阵,子载波数取 256,在计算每一子载波上天线选择的信道容量时,采用 Monte-Carlo 法。图 3 是在复高斯随机信道中,  $3 \times 3$  天线结构、采用最优算法选择 2 根天线接收的信道容量结果。

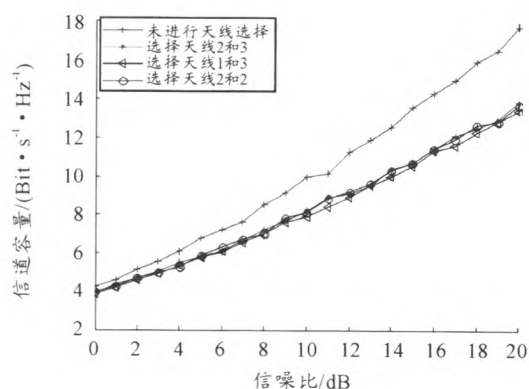


图 3 接收天线选择信道容量图

从图3可以看到:接收端进行天线选择后,所有接收子集的信道容量均低于未进行天线选择时的信道容量。这是由于接收天线选择使信道矩阵的秩减小,从而降低了信道容量。

最优算法的最大缺点是计算量过大,很难应用于实时性要求较高的系统。一些次优算法如递减算法、递增算法、最大范数算法等可大大降低复杂度。所以在最优算法的基础上,引入递增、递减、最大范数法等从 $8 \times 8$ 天线阵列中选择2根接收天线,各算法比较结果如图4所示。从图4可以看出:递减算法选择出的2根天线信道容量最高,最大范数法和递增算法曲线重合,性能相同,此时递减算法为最优选择算法。虽然经上述天线选择算法进行接收天线选择后的信道容量都有所降低,但天线选择能节省射频链路,降低系统的复杂度,这正是天线选择的目的所在。

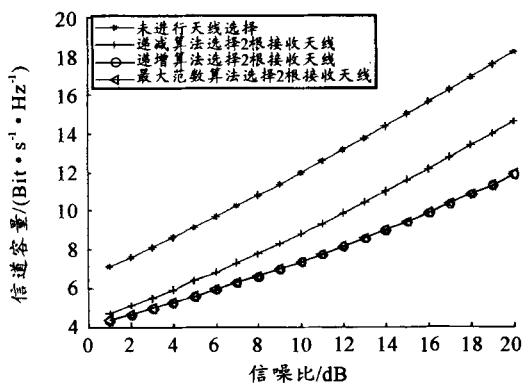


图4  $8 \times 8$  接收天线选择算法比较

上述仿真结果已经验证了接收天线选择会导致信道容量损失,若在接收端进行天线选择后再联合一些数字信号处理算法,则能弥补这一性能损失。图5是 $8 \times 8$ 天线结构接收天线选择和最大比值法(MRC)结合的结果,可以看出:递减算法选择2根天线联合MRC算法所得的信道容量比未进行天线选择的信道容量还高。图6是 $8 \times 8$ 天线结构接收天线选择和等增益合并法(EGC)结合的结果,可以看出:递增算法与EGC算法选择2根天线所得的信道容量比未进行天线选择的信道容量高。从而说明在接收端进行天线选择导致信道容量降低的情况下,可联合相应的信号处理算法来提高信道容量。

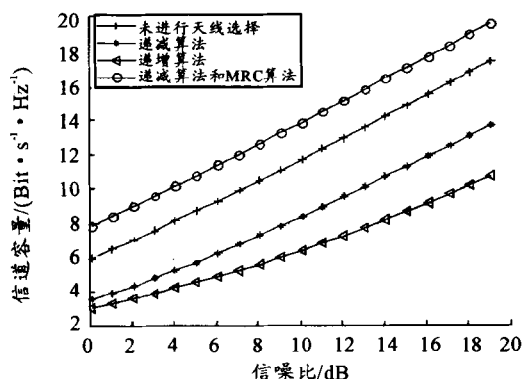


图5 接收端天线选择加MRC算法

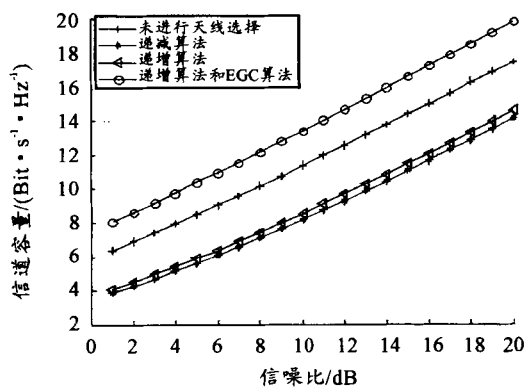


图6 接收端天线选择加EGC算法

### 3 结束语

本文基于双射线模型,以最大化容量为指标,将MIMO的天线选择方法引入MIMO-OFDM系统。仿真分析了递增算法、递减算法、最大范数算法等天线选择方法对信道容量的影响,并给出天线选择联合信号处理算法如MRC、EGC等对系统性能的影响。

### 参考文献:

- [1] Gharavi Alkhansari M, Gershman A B. Fast Antenna Subset Selection in MIMO System[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2004, 52(2): 339-347.
- [2] Chen Z, Yuan J, Vucetic B. Analysis of transmit antenna selection/maximal-ratio combination Rayleigh fading channels[C]// International Conference on Communication Technology. Australia: [s. n.], 2003, 2(9): 1532-1536.

- [3] Heath R W, Sandhu S, Paulraj A. Antenna selection for spatial multiplexing systems with linear receivers [J]. IEEE Communications Letters, 2001, 5(4): 142 - 144.
- [4] 解志斌, 顾培玉. 空时复用多用户 MIMO 系统联合天线选择[J]. 系统仿真学报, 2010, 22(6): 1466 - 1471.
- [5] Hu Chia Chang, Lin Chang Lin. An efficient combined antenna subset selection scheme for MIMO wireless communication systems in correlated channels [J]. International Journal of Electrical Engineering, 2010, 17(3): 199 - 205.
- [6] Kang, Jee Woong. Transmit antenna subset selection for downlink MIMO systems in multi-cell environments [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2010, 9(7): 2113 - 2118.
- [7] Xu Li Zhu, Jin Kang, Qiu Ling. Transmit antenna selection based on approximate capacity analysis in linear dispersion codes systems [J]. Journal of Electronics and Information Technology, 2010, 32(6): 1423 - 1428.
- [8] Jiang Chenzi, Cimini, Leonard J. Antenna Selection for Energy-Efficient MIMO Transmission [J]. IEEE Wireless Communications Letters, 2012, 1(6): 577 - 580.
- [9] Dong Li, Xianhua Dai. Joint Antenna and Subcarrier Selection for MIMO-OFDM systems [C]// 2006 International Conference on Communications, Circuits and Systems Proceedings. Guilin: [s. n.], 2006 (2): 1153 - 1156.
- [10] Hongyuan Zhang, Nabar R U. Transmit Antenna Selection in MIMO-OFDM Systems: Bulk Versus Per-Tone Selection [C]// IEEE International Conference on Communications. Santa Clara: [s. n.], 2008: 4371 - 4375.
- [11] Remlein P, Cogalan T, Gucluoglu T. OFDM with transmit and receive antenna selection based on subcarrier groups [J]. 8th International Symposium on CSNDSP, 2012: 1 - 4.

(责任编辑 杨黎丽)

## 《重庆理工大学学报(自然科学)》影响因子再创新高

据科学技术文献出版社出版的北京万方数据公司 2013 版《中国科技期刊引证报告》,《重庆理工大学学报(自然科学)》影响因子达到 0.784,在全国 62 家工业技术类大学学报中排名第 2,在 177 家自然科学类大学学报中排名第 8,创历史新高。

影响因子现已成为国际上通用的期刊评价指标,它不仅是一种测度期刊有用性和显示度的指标,而且也是测度期刊的学术水平,乃至论文质量的重要指标。《重庆理工大学学报(自然科学)》影响因子的大幅提升,在一定程度上反映了杂志学术水平和影响力的提高,具有重要的意义。在此,衷心地感谢广大的作者和读者,以及长期关心、支持我们期刊发展的专家、学者。我们将继续秉承“天道酬勤,格物至善;恪尽职守,全心全意”的社训,力争期刊获得更大的发展。

## 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](http://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](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、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](http://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>