

# 基于天线选择的 MIMO-HARQ 技术研究

袁 艳,申 敏

(重庆邮电大学)

**摘要:**在移动通信技术迅速发展的今天,差错控制技术在保证通信可靠性方面起到越来越重要的作用,因此本文研究了多输入多输出系统中基于天线选择技术的混合自动请求重传技术。发送端的数据经过CRC校验,信道编码、调制,然后经过串/并变换之后发送出去,接收端接收到信息之后经过相反的处理,然后反馈相关的重传信息给发送端,重传时在发射天线集中选择最优的天线组合进行数据重传。本文提出了基于准信道信息的QR分解天线选择算法,研究结果表明,基于QR分解的天线选择算法与穷尽搜索的最优天线选择算法性能相当,但是运算量却少了很多,因此更加适合于运用到现代移动通信系统中。

**关键词:**多输入多输出;混合自动请求重传;天线选择;正交三角分解

中图分类号:TN914 文献标识码:A

## Researching of MIMO-HARQ technology based on antenna selection

Yuan Yan, Shen Min

(Chongqing University of Posts and Telecommunications)

**Abstract:** Nowadays, Mobile Telecommunication develops very fast, Error Control Technology is very important in reliability. So we research Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ) based on Antenna Selection in MIMO system. Data in Node B is dealt with CRC check, channel coding, modulation etc. Then it is sent to receiver. UE get data and deal with opposite operation, then send ACK/NACK to transmitter. Node B selects the best antenna combination in all antennas based on feedback of UE. We propose QR Antenna Selection based on precise channel information. The performance is as much as classic Antenna Selection, but its arithmetic is simpler. So it is more suitable for wideband mobile communication.

**Keywords:** MIMO; HARQ; Antenna Selection; QR

## 0 引言

在无线通信迅速发展的今天,人们对于信息传输的要求与期望越来越高。其中最基本的信息传

输要求就是有效性和可靠性,尤其是对于数据传输这两个因素显得尤为重要。但是这两个因素又是互相制约的,因此,如何保证高速传输的数据能够准确无误地到达用户终端,成为众多学者研究的主要问题。而差错控制编码技术则为这一问题提供

了基本的解决办法,特别是近年来提出的结合了差错控制编码的混合自动请求重传(HARQ)技术更是能够有效地保证可靠的数据传输<sup>[1]</sup>。

随着人们对传输速率的更高要求,传统的 SISO 系统受频谱资源的限制,已经不能满足人们的需要。由于多入多出(MIMO: Multiple Input-Multiple Output)技术可以显著提高无线系统的频谱利用率,因此得到人们越来越多的关注,已经被认为是新一代无线传输系统的关键技术之一。在 MIMO 技术广泛应用的同时,无线数据通信的可靠性传输仍然不可避免的需要差错控制技术来提供保障。目前对于 MIMO 系统中混合自动请求重传方案的研究文献不是很多,有一些主要是集中在 HARQ 与空时编码的结合<sup>[2]</sup>,另外有一些也主要是分析传统 HARQ 方案在 MIMO 系统中的应用性能<sup>[3]</sup>,还有一些研究了 MIMO-HARQ 系统的联合检测与合并方案<sup>[4]</sup>。本文结合 MIMO 系统中的天线选择技术研究 HARQ 的性能。

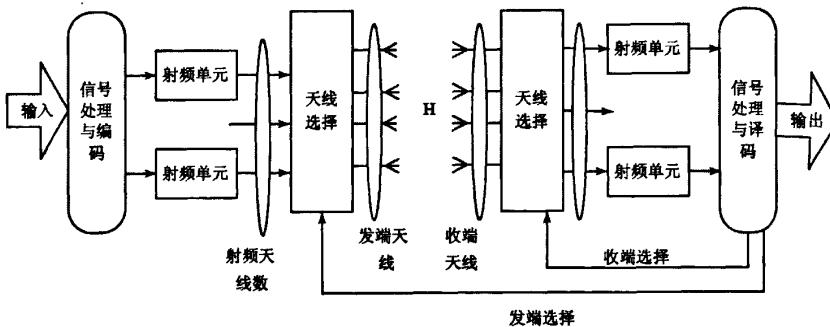


图 1 MIMO 系统中天线选择结构框图

MIMO 系统通过天线分集增大了系统的鲁棒性,通过空间复用增加了系统的容量,两者具有不同的指标和性能。因此天线选择技术用于 MIMO 系统时,也具有不同的准则和方法。但是,这两者之间的本质是相同的,这是因为 MIMO 技术的本质是通过提供的自由度来使实际系统获得空间复用增益或者空间分集增益。在空间复用 MIMO 系统中,当信噪比 SNR 较小时,信道容量与信道矩阵的 Frobenius 范数成正比关系<sup>[5]</sup>。本文在此基础上提出了基于准确信道信息的 QR 分解天线选择算法。

## 1 天线选择技术

MIMO 系统在实际应用中,无论是为了提高系统的可靠性利用其分集特性,还是为了提高系统容量利用其空间复用特性,都不可避免地在发射端和接收端布置多幅天线,因此其射频链路(包括放大器、上变频下变频、模数/数模转换器等)的硬件成本和通信双方为了保持信道的相关性所需空间的局限性(尤其是移动终端),以及天线数目的增加所导致的空时码编解码复杂性都在一定程度上限制了 MIMO 系统的快速应用。因此如何才能做到既要保持多天线系统较高的频谱效率和较高的可靠性,又要降低系统的复杂度和成本,逐渐成为人们的研究热点。目前,一种较有前景的技术就是在发送端或者接收端进行天线选择,用以克服 MIMO 系统的上述缺点。系统模型如图 1 所示。

## 2 基于天线选择的 HARQ 技术的系统模型

本节主要将基于准信道信息的 QR 分解天线选择技术与 HARQ 相结合,以牺牲信道容量来换取可靠性传输<sup>[6]</sup>。发送端的数据经过信道编码,调制,然后经过串/并变换,分成 M 个子流,从 M 根天线上发送出去,接收端对接收到的数据首先进行数据检测,然后并/串转换后进行解调和解码,然后进行 CRC 检测,如果检测该数据块有错,则反馈 NACK 给发送端要求重传,如果检测该数据块正确,则反馈 ACK。

如果发送端收到 NACK，则重传错误的数据块<sup>[7]</sup>，同时天线选择模块根据反馈的信息选择最佳的天线进行发送，使系统性能最佳。系统模型如图 2 所示。

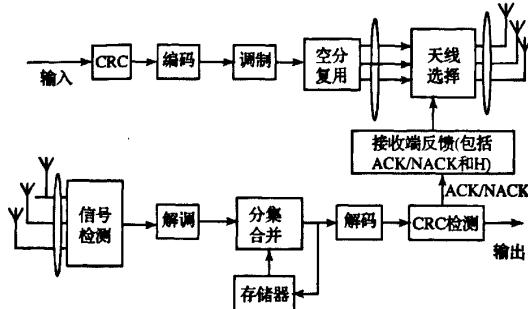


图 2 基于 MIMO 天线选择算法的 HARQ 系统框图

对于  $K_R$  个接收天线,  $K_T$  个发送天线, 接收端选择  $M_R$  个天线, 发送端选择  $M_T$  个天线的情况, 最优选择算法是对所有的天线进行穷尽搜索, 使得选择出来的天线子集组成的信道矩阵  $H$  的 Frobenius 范数最大, 即使得  $H_F^2$  的值最大。然而天线子集的可能组合共有  $\binom{K_T}{M_T} * \binom{K_R}{M_R}$  种, 如果对每一种天线子集都进行范数计算, 计算量比较大。为方便分析, 假设  $K_R = K_T$ 。首先对信道矩阵进行 QR 分解:  $H = QR$ 。其中  $H$  是  $K_R \times K_T$  的信道矩阵,  $Q$  是  $K_R \times K_R$  的酉矩阵。 $R$  是  $K_R \times K_T$  的上三角矩阵。分别表示为:  $H = (h_1 \dots h_{K_T})$ ,  $Q = (q_1 \dots q_{K_R})$ ,  $R$

$= \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1K_T} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & r_{K_R K_T} \end{bmatrix}$ 。由矩阵范数的性质知:  $|H|_F^2 = |QR|_F^2 = |R|_F^2$ 。因为  $R = Q^H H$ , 并且可以表

示为  $R = \begin{bmatrix} q_1^H \\ \vdots \\ q_{K_R}^H \end{bmatrix} (h_1 \dots h_{K_T}) = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1K_T} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & r_{K_R K_T} \end{bmatrix}$ , 因

为酉矩阵  $Q$  的共轭转置  $Q^H$  仍然是酉矩阵, 所以上式可表示为:  $R = Q^H (h_1 \dots h_{K_T}) = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1K_T} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & r_{K_R K_T} \end{bmatrix}$ 。由于  $R$  是上三角矩阵, 主对角线以下的元素全为零, 计算其 Frobenius 范数的

计算量相对于全部非零元素的矩阵要小很多。根据矩阵范数的性质, 有:  $|Q^H (h_1 \dots h_{K_T})|_F^2 =$

$$\begin{aligned} & |Q^H h_1|_F^2 + \dots + |Q^H h_{K_T}|_F^2 \\ & = |h_1|_F^2 + \dots + |h_{K_T}|_F^2 \end{aligned}$$

发送天线选择就是选择  $H = (h_1 \dots h_{K_T})$  中的某几列。所以, 我们只需要计算上三角矩阵  $R$  的每一列的范数, 选出其中最大的  $M_T$  列所对应的发送天线。选出发送天线之后, 再对子信道矩阵的每一行求范数, 选出其中范数最大的  $M_R$  行所对应的接收天线。

由上面分析可知, 我们只需要进行一次 QR 分解, 计算上三角矩阵的列范数  $K_T$  次, 然后对已选出发送天线的子信道矩阵计算其行范数  $K_R$  次。相对于穷尽搜索的  $\binom{K_T}{M_T} * \binom{K_R}{M_R}$  次矩阵 Frobenius 范数计算, 运算量少了许多。

### 3 仿真结果

本小节对上述介绍的重传时基于准信道信息的空时分组码天线选择算法进行仿真, 仿真基于 Alamouti 发送分集方案。发送端天线选择的时候将接收端天线数固定为 2 个, 发送端天线数依次为 3、4、5, 设定最大重传次数为 4。重传时从发送端选择两根天线进行传送, 仿真结果如图 3 所示。

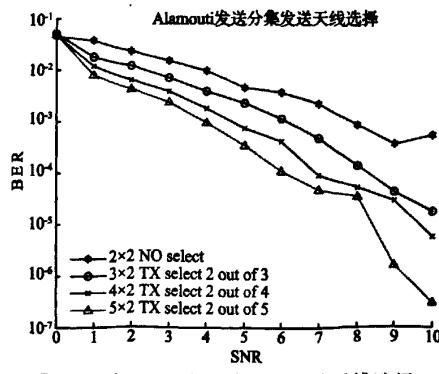


图 3 Alamouti 发送分集发送端天线选择

从图 4 中可以看出, 重传时在发送端进行天线选择, 随着发送端天线总数的增加, 天线选择后的性能改善也越来越好。

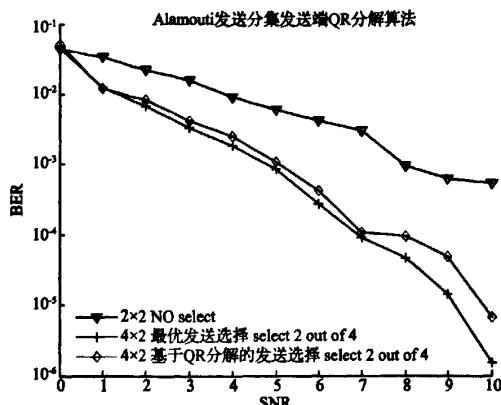


图 4 Alamouti 发送分集 QR 分解发送端天线选择算法

上图为 Alamouti 发送分集的基于 QR 分解的发送端天线选择的仿真图。由图可知,基于 QR 分解算法的性能与穷尽搜索的最优算法性能相当。

#### 4 结论分析

本文主要是基于 MIMO 天线选择的 HARQ 技术研究,在接收端反馈 NACK 的情况下,发送端不是把数据包通过所有的发送天线进行重传,而是在发送天线集中通过天线选择算法选择最优的天线组合进行传送,使重传的 BER 更小,达到提高系统可靠性的目标。本文仿真结果发现发送端进行天线选择的重传随着发送端天线数目的增加,性能越好。同时还比较了穷尽搜索的最优算法与基于 QR 分解的天线选择算法,结果发现两种算法的性能相当。但是基于 QR 分解算法的复杂度低,在 MIMO 天线选择中更实用。

#### 参考文献

- [1] Lijun Zhang, Victor O K Li, Zhigang Cao. Throughput Analysis of Nonbinary type-II Hybrid ARQ[C]. 14<sup>th</sup> IEEE Proceedings on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2003.

- [2] Toshiaki KOIKE, Hidekazu MURATA, Susumu YOSHIDA, "Evaluation of HARQ Scheme with Antenna Permutation and TCM Reassignment for Space-Time Transmission in Slow Nakagami-Rice Fading MIMO Channel", IEICE TRANS. COMMUN., VOL. E87-B, NO. 2 FEBRUARY 2004, 1-8.
- [3] A. Maaref, S. Aissa, "Combined adaptive modulation and truncated ARQ for packet data transmission in MIMO systems," Global Telecommunications Conference, 2004. GLOBECOM'04. IEEE vol. 6, 29 Nov.-3 Dec., 2004:3818-3822.
- [4] Eko N. Onggosanusi, Anand G. Dabak, Yan Hui, Gibong Jeong, Hybrid ARQ Transmission and Combining for MIMO Systems IEEE, 2003.
- [5] A. B. Gershman, N. D. Sidiropoulos. Space-Time Processing for MIMO Communications[M]. 2005.
- [6] Chunlong Bai, Witold A. Krzymien and Ivan J. Fair. Hybrid-ARQ for Layered Space Time MIMO Systems with Channel State Information Only at the Receiver IEEE, 2007.
- [7] Igor Stanojev, Osvaldo Simeone and Yeheskel Bar. Performance Analysis of Collaborative Hybrid-ARQ Protocols over Fading Channels IEEE 2007.
- [8] Stefan GOGA, Jaroslav POLEC, Kvetoslava KOTULIAKOV, Throughput Analysis of an Adaptation Rule in the HARQ Environment, RADIOENGINEERING, VOL. 12, NO. 2, JUNE 2003:38-40.

#### 作者简介



袁艳(1981),女,重庆,重庆邮电大学在读研究生,研究方向:第三代移动通信TD-SCDMA 手机终端芯片的研发。  
E-mail: yuanyan\_tomato@163.com

申敏,女,研究生导师,重庆邮电大学教授。

## 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](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>