

# 一种 MIMO 智能天线融合方法研究

马 优, 郑 植, 周玉龙

(电子科技大学 电子科学技术研究院, 四川 成都 610054)

**【摘 要】**提出一种采用波束调度策略的 MIMO 与智能天线融合设计方案,用以解决 MIMO 传输中空域相关性问题。融合方案在天线结构上以智能天线单元组建 MIMO 阵列,智能天线单元之间协同工作。分析了采用波束调度时的 MIMO 矩阵构成及其合并接收方式,给出一种波束间空域相关性的计算方法。仿真结果表明,在小角度扩展条件下,同指向的波束相关性与全向阵元相关性相似,而波束调度策略具有良好的去相关性,能有效提高 MIMO 信道容量。

**【关键词】**多输入多输出;智能天线;融合;相关性

**【中图分类号】**TN929.5

**【文献标识码】**A

**【文章编号】**1002-0802(2010)05-0173-03

## Study Incorporation of Smart Antennas into MIMO System

MA You, ZHENG Zhi, ZHOU Yu-long

(Research Institute of Electronic Science and Technology, University of Electronic Science  
and Technology of China, Chengdu Sichuan 610054, China)

**【Abstract】**A structure of MIMO system incorporated with smart antennas is proposed to reduce spatial correlation. The MIMO antenna arrays are constructed with several smart antenna units in accord work. The changes of the MIMO channels are analyzed, the spatial correlation between the beams is deduced and analyzed with a new method. Simulation result shows that the spatial correlation between smart antenna beams is almost the same as that the between full antennas when the beams point to the same direction. And the proposed incorporation system decreases spatial correlation between smart antenna units, and thus raises the MIMO channel capacity significantly.

**【Key words】**MIMO; smart antenna; incorporation; correlation

### 0 引言

MIMO 智能天线融合系统结构已被人们接受。然而,对于普通融合结构,当智能天线波束具有相同的指向时,波束间的相关性依赖于波束间距<sup>[1-2]</sup>,因此,不利于 MIMO 技术潜在高容量的实现。

本文提出一种采用波束调度策略的融合方案,通过智能天线单元间协同工作,形成不同指向的波束以跟踪具有不同到达角的可分辨时延路径。这种融合结构改变了 MIMO 信道矩阵构成,达到了去相关目的,为智能天线在 MIMO 传输中的应用提供一种新的思路。

### 1 MIMO 智能天线融合

普通的 MIMO 智能天线融合方案简单地使用智能天线组成 MIMO 阵列,智能天线单元之间相互独立工作自适应地形

成波束,其形成的波束很可能具有相似的指向,两个波束对某一时延路径信号的接收具有很强的空域相关性。提出一种改进的融合方案,即采用波束调度策略的 MIMO 智能天线融合方案,系统结构如图 1 所示。

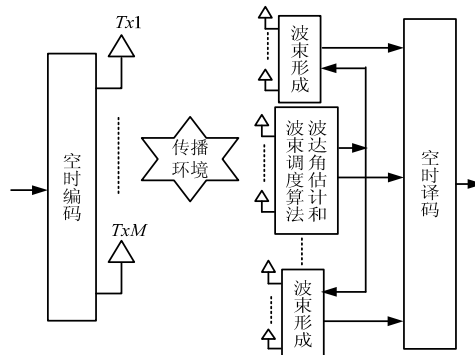


图 1 MIMO 智能天线融合系统结构

信号在传播过程中以簇的形式到达接收端,并具有不同的时延和到达角;因此,采用智能天线形成不同指向的波束接收不同到达角的时延路径,波束间必将获得很低的空域相关性。

改进的融合天线结构中采用一个主智能天线单元负责

**收稿日期:**2009-08-19。

**作者简介:**马 优(1984-),男,硕士研究生,主要研究方向为 MIMO 信道模型;郑 植(1982-),男,博士研究生,主要研究方向为阵列处理与智能天线;周玉龙(1984-),男,硕士研究生,主要研究方向为 MIMO 空时码。

波达角估计, 估计多个具有不同到达角的可分辨时延路径, 然后根据估计的波达角, 采用波束调度策略控制其他智能天线分别指向不同的时延路径方向。改进的融合天线结构如图 2 所示。

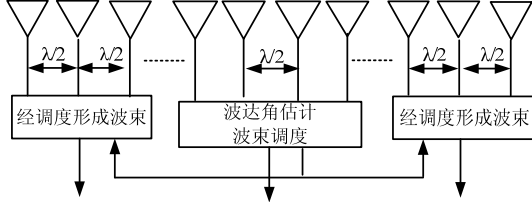


图 2 MIMO 智能天线融合天线结构

## 2 融合系统性能分析

### 2.1 波束间空域相关性

假设两个智能天线波束  $B1$  和  $B2$  形成的方向图分别为  $f_1(\phi)$  和  $f_2(\phi)$ , 对文献[4]中的公式进行修改, 对于某一时延路径, 波束对入射信号的增益为:

$$\bar{g} = \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_m f_1(\phi_m) a(\phi_m) \sqrt{p(\phi_m)} \\ \sum_m f_2(\phi_m) a(\phi_m) e^{j\tau_m} \sqrt{p(\phi_m)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$m$  是不可分辨散射路径数目,  $a$  表示散射体对信号的衰落。在  $\phi \in (\phi_0 - \Delta, \phi_0 + \Delta)$  内,  $\Delta$  为角度扩展, 两波束对信号增益的复相关系数可表示为积分形式:

$$\rho_c(g_1, g_2) = \frac{1}{\sqrt{P_1 P_2}} \int_{\phi_0 - \Delta}^{\phi_0 + \Delta} f_2(\phi) f_1^*(\phi) e^{j\tau_m} p(\phi) d\phi, \quad (2)$$

其中  $P_1$  和  $P_2$  表示如下:

$$P_1 = \sum_m |f_1(\phi_m)|^2 p(\phi_m) = \int_{\phi_0 - \Delta}^{\phi_0 + \Delta} |f_1(\phi)|^2 p(\phi) d\phi, \quad (3)$$

$$P_2 = \sum_m |f_2(\phi_m)|^2 p(\phi_m) = \int_{\phi_0 - \Delta}^{\phi_0 + \Delta} |f_2(\phi)|^2 p(\phi) d\phi. \quad (4)$$

经过推导得到接收信号实部与实部或虚部与虚部之间的相关系数  $R_{xx}$ , 以及实部与虚部间的相关系数  $R_{xy}$ :

$$R_{xx} = \text{Re} \left\{ \frac{1}{\sqrt{P_1 P_2}} \int_{\phi_0 - \Delta}^{\phi_0 + \Delta} f_2(\phi) f_1^*(\phi) e^{j\tau_m} p(\phi) d\phi \right\}, \quad (5)$$

$$R_{xy} = \text{Im} \left\{ \frac{1}{\sqrt{P_1 P_2}} \int_{\phi_0 - \Delta}^{\phi_0 + \Delta} f_2(\phi) f_1^*(\phi) e^{j\tau_m} p(\phi) d\phi \right\}, \quad (6)$$

当采用全向天线接收, 即  $f_1(\phi) = f_2(\phi) = 1$ , 上述表达式简化为:

$$R_{xx} = \text{Re} \left\{ \int_{\phi_0 - \Delta}^{\phi_0 + \Delta} e^{j2\pi d / \lambda \sin(\phi)} p(\phi) d\phi \right\}, \quad (7)$$

$$R_{xy} = \text{Im} \left\{ \int_{\phi_0 - \Delta}^{\phi_0 + \Delta} e^{j2\pi d / \lambda \sin(\phi)} p(\phi) d\phi \right\}. \quad (8)$$

对于具有相同方向图的波束, 其相关性计算可简化为全向阵元间的空域相形表达式; 而对于方向图不同, 却能同时接收某路径的波束, 当来波角度扩展  $AS$  很小时, 在区域  $\phi \in (\phi_0 - \Delta, \phi_0 + \Delta)$ , 波束  $f_1(\phi)$  和  $f_2(\phi)$  类似两个大小不同的常数, 因此, 其相关性与全向阵元的相关性相似。

### 2.2 波束调度接收

不同来波方向的信号具有不同的路径衰落, 采用不同的方向图接收, 如图 3 所示。

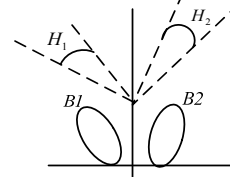


图 3 两智能天线单元接收信号示意

对于  $2 \times 2$  的 MIMO 结构, 假设智能天线 1 接收路径 1, 抑制路径 2, 智能天线 2 则接收路径 2, 抑制路径 1, 则对于两个时延路径的 MIMO 信道矩阵可表示为:

$$H_1 = \begin{bmatrix} h_{11}^1 & h_{12}^1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

$$H_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ h_{21}^2 & h_{22}^2 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

其中,  $h_{ij}^l$  表示发射天线  $j$  到接收天线  $i$  之间的第  $l$  径的衰落系数。若移动端天线间空域相关性为零, 则列向量不相关。

信号经过两个智能天线接收并合并, MIMO 信道矩阵可表示为:

$$H = H_1 + H_2 = \begin{bmatrix} h_{11}^1 & h_{12}^1 \\ h_{21}^2 & h_{22}^2 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

由前面的分析可知, 对于信道矩阵  $H$ , 由于各路径衰落不相关, 则其行向量不相关, 而列向量的相关性由移动端天线间的空域相关性决定。

假设移动端天线间的空域相关矩阵表示为  $R$ , 文献[3]和文献[5]给出了基于空间相关性的统计 MIMO 信道建模方法, 则引入移动端空域相关性的 MIMO 信道矩阵可表示为:

$$H^l = H_0^l R^{\frac{l}{2}}, \quad (12)$$

其中,  $R^{\frac{l}{2}}$  由  $R = R^{\frac{T}{2}} R^{\frac{1}{2}}$  决定。

## 3 仿真分析

对于智能天线独立工作的情形, 各智能天线具有相似的指向。选择基站端角度功率谱为 Laplacian 分布, 平均到达角  $AOA = 20^\circ$ , 仿真波束间功率相关性, 如图 4 所示。对于此情形, 智能天线波束间的空域相关性与采用全向单天线接收时的相关性相似, 对相关性无改善作用。

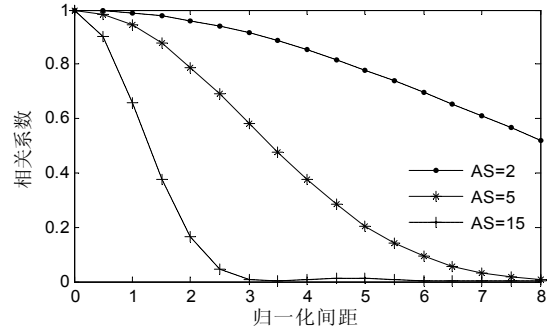


图 4 基站端功率相关性

假设移动端采用全向阵元, 信号离开角  $AOD$  为  $22.5^\circ$ , PAS 服从均匀分布, 仿真其相关性, 如图 5 所示。

引入波束调度策略的 MIMO 与智能天线融合结构对各路径进行合并, 总体信道矩阵具有去相关性的优点。仿真其对

系统性能的改善。选择  $2 \times 2$  的 MIMO 结构, 移动端阵元相关性为 0.5, 不采用调度策略时波束间相关性为 0.75, 对比各接收模式对信道容量的影响<sup>[6]</sup>。图 6 表明, 利用波束调度策略的去相关性能有效提高 MIMO 传输信道容量。

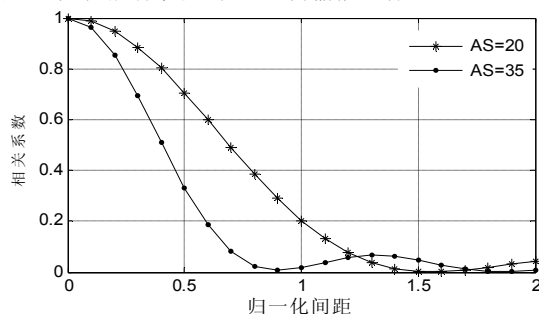


图 5 移动端功率相关性

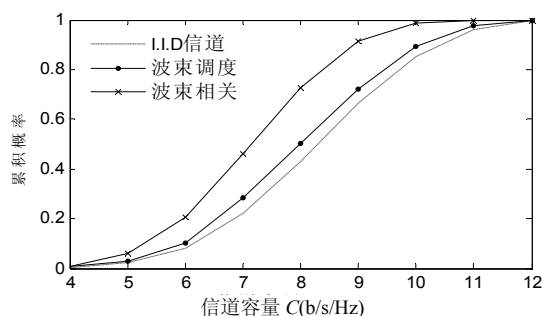


图 6 波束调度对信道容量的影响

## 4 结语

智能天线和 MIMO 是两种重要的信号传输技术, 本论文提出的采用波束调度策略的融合方法利用智能天线间的协同工作, 提供了波束间的角度分集, 获得了去相关性的特性, 从而提升了 MIMO 传输的性能。

## 参考文献

- [1] Shiu D S, Foschini G J, Gans M J, et al. Fading Correlation and Its Effect on the Capacity of Multielement Antenna Systems[J]. IEEE Trans. on Communications, 2000, 48 (03): 502-513.
- [2] Salz J, Winters J H. Effect of Fading Correlation on Adaptive Arrays in Digital Mobile Radio[J]. IEEE Trans. Vehi. Tech., 1994, 43 (04): 1049-1057.
- [3] Yu K, Ottersten B. Models for MIMO Propagation Channels, a Review[J]. Wiley Journal Wireless Communication Mobile Computer, 2002, 2 (07): 653-666.
- [4] 李忻, 聂在平. MIMO 信道中衰落信号的空域相关性评估[J]. 电子学报, 2004, 32 (12): 14-18.
- [5] 朱淑真, 张鹏. 基于空时相关性的 MIMO 无线信道建模及仿真[J]. 通信技术, 2007, 40 (12): 55-57.
- [6] 乐渭斌, 王衍文, 陆辉, 等. B3G 无线通信中 MIMO 技术现状[J]. 通信技术, 2007, 40 (11): 43-44, 151.

(上接第 169 页)

## 2 结语

作为中国第三代移动通信网络的自主标准, TD-SCDMA 网络已经开始试商用, 而 TD-LTE 在中国移动的支持下, 作为 TD-SCDMA 未来的发展方向, 极有可能成为未来的一种商用标准。尽管 TD-LTE 在未来的发展上仍然存在种种变数, 但本文所讨论的网络融合、终端技术及网络管理等问题, 将仍然具有一定的典型意义。

## 参考文献

- [1] 通信产业网. 中国移动宣布支持 LTE 测试[EB/OL]. (2008-02-16) [2009-06-11]. <http://www.ccidcom.com/China3G/News/200802/28465.html>.
- [2] 姚世宏. 中国电信网络融合问题研究[J]. 兰州大学学报: 社会科学版, 2005, 33 (06): 123-128.

- [3] UMA. UMA Today[EB/OL]. (2009-01-01) [2009-06-11]. <http://www.umatoday.com>.
- [4] 杨琳琳. 3GPP LTE 系统的切换机制研究[J]. 通信技术, 2008, 41 (08): 20-22.
- [5] Vivek Gupta, Intel Corporation. IEEE 802. 21 Media Independent Handover Services[DB/OL]. (2009-03-22) [2009-06-11]. <http://www.ieee802.org/21/>.
- [6] 张生花, 杨济安. TD-SCDMA 向 B3G/4G 的演进研究[J]. 通信技术, 2007, 40 (11): 149-150, 153.
- [7] 邓敏军. TD-SCDMA 室内分布系统功率探讨[J]. 邮电设计技术, 2008 (03): 25-29.
- [8] Wallenius E, Hamalainen T, Halttunen K, et al. XML Based 3G/LTE Network and Service Management Concept[C]. USA: IEEE, 2008: 308-317.
- [9] 陈昌川, 廖晓峰, 赵川斌. TD-LTE 无线接入网介绍[J]. 通信技术, 2009, 42 (03): 103-105.

(上接第 172 页)

- [2] 3GPP TR25. 892 V6. 0. 0. Feasibility Study for Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) for UTRAN enhancement (Released 7) [S]. USA: 3GPP, 2006.
- [3] Wan Lei, Tsai Shiauhe, Almgren Magnus. A Fading Insensitive Performance Metric for A Unified Link Quality Model[J]. Proceedings of IEEE WCNC, 2006 (04): 2110-2114.

- [4] IEEE 802. 16m Evaluation Methodology Document, IEEE. [EB/OL] (2007-07-03) [2009-01-13]. [http://www.ieee802.org/16/tgm/docs/80216m-08\\_004r2.pdf](http://www.ieee802.org/16/tgm/docs/80216m-08_004r2.pdf).
- [5] ETSI TR 101. 112 v3. 2. 0. Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS [S]. USA: [s.n], 1998.

## 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>