

天线不平衡对基于功控的闭环发送分集性能的影响

纪福星 王倩雅 杨鸿文

北京邮电大学电信工程学院 北京 100876

摘要：鉴于实际应用环境中天线总不可能理想平衡，本文研究了天线的不平衡对基于功控的闭环发送分集性能的影响。仿真结果表明，与平衡天线相比，天线不平衡会造成一定的性能损失，视不平衡的程度不同，这种损失一般在 1~2dB 范围内。和单天线系统的平均性能相比，天线越是不平衡，单天线的平均性能越差，因此发送分集的性能增益也越大，一般可达到 7~11dB。

关键词：不平衡天线；功率增益；发送分集；衰落信道

Research on Performance of Closed Loop Transmit Diversity Based on Power Control with Imbalanced Antenna

Ji Fuxing Wang Qianya Yang Hongwen

Telecommunication Engineering School Beijing University Of Posts and Telecommunications, Beijing 100876

Abstract: Considering perfectly balanced antenna does not exist in actual environment, this paper investigates the performance of closed loop transmit diversity based on power control with imbalanced antenna. The simulation result shows imbalanced antenna brings some performance loss compared with balanced antenna. The loss ranges from 1 to 2 dB according to increased imbalance degree. However, as antennae become more imbalanced, the average performance of single antenna transmission is poorer. Hence transmit diversity can benefit larger power gain over single antenna transmission, commonly between 7 and 11dB.

Keywords: Imbalanced Antenna; Power Gain; Transmit Diversity; Fading Channel

1 引言

在衰落环境中，发送分集是一种简单且有效的用来改善系统性能、提高传输容量的方法。因此已被 3G 系统，如 WCDMA、CDMA2000 等采用^[1]。在 FDD 系统中，依据是否存在从接收端到发送端的反馈信道，发送分集可以分为开环发送分集和闭环发送分集。其中，闭环发送分集由于利用了从接收端反馈回来的信道信息，因此可以获得比开环发送分集更大的性能增益^[2]。但闭环分集的缺点也很明显，它需要反馈信道以报告信道信息，这将耗费一定的反向信道资源。为此，人们围绕怎样通过较少的反馈比特来实现闭环发送分集想出了很多办法。例如文献[3]针对存在闭环功控的系统提出了一种闭环发送分集方案，它利用自有的功控比特同时实现闭环分集。

目前人们对闭环发送分集的研究普遍假设发送天线是平衡的，即各个发送天线所经历的信道增益相同。但在实际当中，由于电子器件制造工艺、天线使用环境的不对称性等各种因素，各个发送天线很难是理想平衡的，即分支的平均强度可能不同。天线不平衡会造成分集增益减小，系统设计复杂度增加等问题。天线不平衡在实际当中是很现实的问题，但相关的研究主要还比较少，主要是接收分集方面的性能分析^{[4][5]}。本文针对文献[3]中的系统，研究了天线不平衡对其性能的影响。由于实际中，天线不平衡的问题很

现实,因此这样的研究对于具体技术的应用具有重要意义。

本文第2节介绍本文所采用的发送分集系统模型,第3节给出了基于功控的闭环发送分集方案,第4节是不同信道条件下的仿真结果,最后在第5节给出结论。

2 系统模型

本文考虑的系统模型为发送端(Tx)配置两副发射天线,接收端(Rx)配置一副接收天线。假设信道是平衰落,两副发射天线到接收天线间的信道复增益分别记为 h_1 和 h_2 。信道的不平衡表现为 $E[|h_1|^2] \neq E[|h_2|^2]$,即信道的功率增益不同。不失一般性地,我们假设 $E[|h_1|^2] < E[|h_2|^2]$,即第一路更差一些。为了方便和平衡的天线相比较,还假定总的信道增益不变,即: $E[|h_1|^2] + E[|h_2|^2] = 2$ 。两天线之间的不平衡程度用不平衡因子 α 衡量,定义为: $\alpha = E[|h_2|^2]/E[|h_1|^2]$,其分贝值为 $\alpha dB = 10 \log_{10}(E[|h_2|^2]/E[|h_1|^2])$ 。当 $\alpha = 1(0dB)$ 时, $E[|h_1|^2] = E[|h_2|^2]$,两副发送天线的增益完全相同,即是平衡的。

在Tx和Rx之间存在反馈信道用来传送闭环功控的反馈比特,在CDMA2000、WCDMA等系统中都采用了单比特的闭环功控^{[6][7]}。本文下节所介绍的发送分集就是Rx通过反馈比特将得到的信道信息传递给Tx,用来调整基站的发送功率,并同时实现闭环发送分集。

3 发送分集方案

本文的研究针对的是文献[3]提出的基于功控的闭环发送分集方案,故本节简略介绍其中提出的两种分集方案,包括STD和PTD。

3.1 TD

STD(选择发送分集)的基本原理就是从两个发射天线中选择一个较好的发送信号。选择的依据就是从移动台反馈到基站段的反馈比特。而反馈信息 $PC(t)$ 只有一比特,“0”表示此时信道条件较好;“1”则相反。

$$PC(t) = \begin{cases} 0, & \text{信道条件较好} \\ 1, & \text{信道条件恶化} \end{cases} \quad (1)$$

具体的算法是:首先,基站随机选择一个天线作为发射天线。而后,基站接收来自移动台的反馈信息,当反馈比特为“0”时表示此时信道条件较好,因此不改变发射天线,同时要降低发送功率;当反馈比特为“1”时,表示此时的信道恶化,要提高基站的发送功率,但是是否要改变发射天线仅仅从这一反馈比特还不能确定。因为信道变化是连续的,若要了解此时哪副天线信道条件好,必须结合之前若干时隙的信道情况来判定。具体是通过如下滤波结果来决定天线选择:

$$y(t) = \beta \times a(t-\tau) \times (1 - 2 \times PC(t-\tau)) + (1 - \beta) \times y(t-1) \quad (2)$$

其中, β ($0 < \beta \leq 1$)是一个参数,用来控制当前天线选择对过去功控的依赖程度; $a(t-\tau) \in \{1, -1\}$ 表示 $t-\tau$ 时刻的天线选择情况,“1”表示选择第一副天线,“-1”表示选择第二副天线, τ 是功控时延。 $y(t)$ 用来决定当前时刻应该选择哪副天线,若 $y(t) > 0$ 则选择第一副天线,反之选择第二副天线。

3.2 PTD

相位发送分集的实质就是调整两副天线间的相位差,使其最小,从而来自两副天线的信号能尽量以同

相的方式在收端叠加，使得接收到的信号能量最大。具体的实现方式是固定第一副天线的相位，同时不断改变第二副天线相位来实现最大化接收信号能量。该算法在发送端建立了一个表格，来存储第二副天线在不同相位下所观测到的最小发送功率，如图 1 所示。每个表项对应着一个第二副天线的相位设置值 $\varphi(i) = i \times (2\pi/N)$ (N 是表的长度)，以及该相位下过去观测到的最小发送功率 $P(i)$ 。

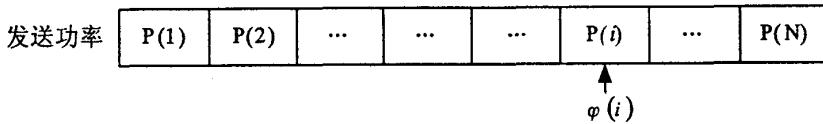


图 1 相位发送分集中采用的存储表

发送端首先根据收到的功控反馈比特来更新这个表。当前接收到的功控比特是对 τ 时刻前的天线相位设置的响应。若这个比特为“0”，发送端认为当时的相位设计是有利的，故此降低图 1 中，对应当时相位处的发送功率；若收到“1”，则增加图 1 中对应当时相位处的发送功率。然后，发送端将决定下一时隙第二副天线将要使用的相位和发送功率，方法是搜索图 1 所示的表，以发送功率最小的项作为拟采用的设置，发送端将随机决定是使用此项还是其邻项。

4 仿真结果

本节通过仿真给出不同信道条件下基于功控的闭环发送分集的性能。仿真过程中使用的参数参照 CDMA2000 系统的话音信道。数据速率为 9.6kbps，卷积码编码器的码率为 1/2，生成多项式为 $(753, 561)_8$ ，有交织且调制为 BPSK 方式。经过调制的符号置于长度为 20ms 的帧中传送，每帧包含 16 个时隙且每时隙长度为 1.25ms。功控速度为 800Hz，功控步长为 1dB，功控时延为 2 个 PCG。我们还假设功控指令并不理想，其错误率为 4%。外环功控采用文献[8]中定义的方法，目标误帧率为 1%。在 STD 方案中，取参数 $\beta = 0.05$ ；在 PTD 方案中，数据表长度取 $N = 10$ 。

仿真中的信道采用 Jakes 模型，衰落分布是莱斯因子为 K 的莱斯衰落 ($K=0$ 即瑞利衰落)，莱斯因子 K 定义为直射径功率与散射功率之比；最大多普勒频移 fd 包括 1.5Hz 和 55.56Hz (对应 30kmph 车速) 两种。发送天线之间存在相关性，相关系数 ρ 定义为： $\rho^2 = Cov[h_1 h_2^*]$ 。性能比较的依据是满足目标误帧率的情况下，各种方案所需要的归一化平均发送功率。

4.1 不平衡天线与平衡天线下的发送分集性能比较

图 2 中横坐标为两天线之间的不平衡因子 α ，纵坐标为归一化发送功率的 dB 值。图中曲线表示在瑞利或莱斯信道下，STD (选择发送分集方案) 所需要的发送功率。从图中可以看出，当不平衡因子 $\alpha = 10$ (dB) 时，大多数信道条件下，STD 所需的发送功率要比天线平衡时 ($\alpha = 0$ dB) 多出 1~2dB，表明天线不平衡会带来一定程度的功率损失。尤其是当接收端快速移动时，此时的最大多普勒频移迅速增大，不平衡会带来更大的功率损失，约为 2dB。

图 3 中的曲线图表示在瑞利或莱斯信道条件下相位发送分集方案所需要的发送功率，横纵坐标和图中示符号同图 2。由图可知，当不平衡因子 $\alpha = 10$ (dB) 时，相位发送分集需要的发送功率比天线平衡时要高出 1~2dB。

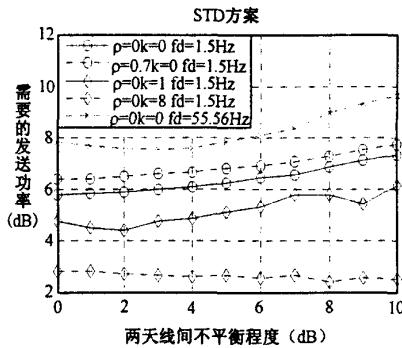


图 2 不同信道条件下 STD 的发送功率随不平衡程度的变化趋势

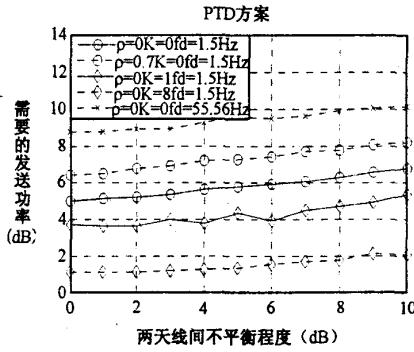


图 3 不同信道条件下 PTD 的发送功率随不平衡程度的变化趋势

4.2 信道不平衡条件下发送分集与单天线的性能比较

本节给出发送天线不平衡时, 不同发送分集方案和单天线系统的性能比较。因为有两副天线, 所以单天线的性能便有两个结果, 各对应一个天线。作为比较的标准, 我们以其平均性能作为“单天线”的性能。在发送端无法预知哪个天线更好时, 这是一个合理的比较标准, 文献[9]也采用了这种方法。具体来说, 单天线下所需要的发送功率指

$$P = \frac{P_{h_1} + P_{h_2}}{2} \quad (1)$$

其中, P_{h_1} 和 P_{h_2} 分别表示单使用天线 1 (差天线) 和天线 2 (好天线) 时, 系统达到相同 FER 所需要的平均发送功率。分集系统相对于单天线系统的增益定义为:

$$\text{功率增益} = 10 \log_{10} \left(\frac{\text{单天线所需的发送功率}}{\text{发送分集所需的发送功率}} \right) \quad (2)$$

式中的分子即为式 (1) 中的 P 。

图 4 给出了信道不平衡条件时发送分集与单天线的性能比较。当两天线平衡时, 发送分集相对于单天线的功率增益大概有 7~8dB, 随着天线不平衡程度的增加, 增益也在不断加大。当不平衡因子 $\alpha = 10$ (dB) 时, 功率增益为 10~11dB。其中, 相位发送分集要比选择发送分集的功率增益大 1dB 左右。文献[9]中也有类似的观察结果。这个结果初看有些令人奇怪, 因为前面给出的结果表明天线不平衡是个负面因素。而出现图 4 中这种现象的原因在于, 式 (1) 的结果主要受坏天线决定, 天线越不平衡, 单使用坏天线需要的发送功率急剧增高。假如我们比较的标准是把分集系统和单个使用好天线的系统比, 结果如图 4 中的虚线所示, 仍然表明信道不平衡程度是负面因素。

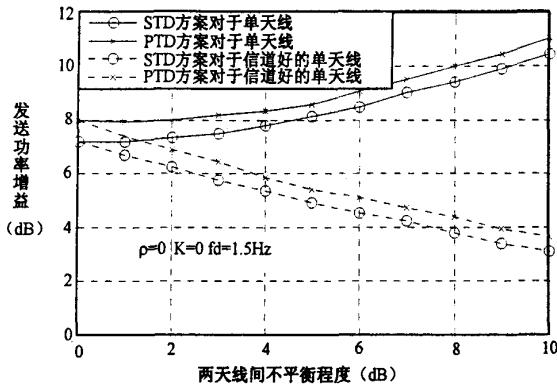


图 4 发送分集对单天线的发送功率增益

5 结论

本文研究了当两副发送天线不平衡时,选择发送分集和相位发送分集的性能。仿真结果表明,相对于平衡天线来说,天线的不平衡会使得发送分集的性能变差。当天线不平衡因子达到 $\alpha = 10$ dB 时,发送端需要的发送功率视具体信道因素和分集方案的不同,可能会增大 1~2dB。但如果是和单天线的平均性能相比较的话,由于天线不平衡时,单天线的平均性能迅速恶化,使得相对而言,发送分集的增益随天线的不平衡程度增加而增加。

参考文献

- [1] Derryberry.R.T, Gary.S.D, Ionescu.D.M, Mandyam.G, and Raghathan.B, "Transmit diversity in 3G CDMA systems", IEEE Commun.Mag., April 2002,40,(4),pp.68~75
- [2] Chi Wan Sung, Sin Chi Ip, "A Simple Algorithm for Closed-loop Transmit Diversity With a Low-data-rate Feedback Channel," Communication, Computers and signal Processing, 2005 IEEE, 24-26 Aug.2005 Page(s):384~387
- [3] Jing Jin, Wenbin Yao, Guohui Sun and etc, "Closed Loop Transmit Diversity Schemes Based on Power Control Command Bit", Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2006., Sept. 2006 Page(s):1~4
- [4] Gregory D.Durbin. Space-Time Wireless Channels. New Jersey: Prentice Hall, 2003
- [5] 罗涛, 月光新. 多天线无线通信原理与应用. 北京: 北京邮电大学出版社, 2005 年 11 月
- [6] R.Attar et al., "A Reverse Link Outer-Loop Power Control Algorithm for cdma2000 1xEV Systems," in IEEE International Conference on Communications 2002, April 2002. Page(s):573~578
- [7] J. Grandell and O. Saloaho, "Closed-loop power control algorithms in soft handover for WCDMA systems," in IEEE Int. Conf. Communications (ICC) Helsinki, Finland, vol. 3, Jun. 2001, pp. 791~795
- [8] 3GPP2 C.R1002-0 Version 1.0, cdma 2000 Evaluation Methodology Revision 0
- [9] "MTD diversity white paper", <http://www.magnoliabroadband.com/>

作者简介

纪福星, 男, 1983 年生, 天津人, 硕士生, 主要研究方向为无线通信。

王倩雅, 女, 1984 年生, 河北省保定市人, 本科生, 主要研究方向为无线通信。

杨鸿文, 男, 1964 年生, 甘肃岷县人, 北京邮电大学教授, 博士生导师, 主要研究方向为无线通信。

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>