

用于 MIMO 系统基站的寄生振子开关八木分集天线

程 焘^{1,2}, 聂在平²

(1. 中国电子科技集团第十研究所, 四川成都 610036; 2. 电子科技大学, 四川成都 610054)

摘要: 提出了一种用于 MIMO 系统基站的寄生振子开关八木分集天线。采用寄生振子开关八木天线阵列组成基站分集天线系统。该天线系统充分利用基站空间, 在 Z 向进行组阵以获取阵列增益, 在水平面则利用天线方向图的可重构性来进行方向图分集。通过 MIMO 通信平台的外场测试, 得到了多天线系统的误码率的实验数据, 说明了该基站天线的确具有提高信道容量、降低误码率的作用。

关键词: MIMO 无线通信; 天线分集; 八木天线; 方向图可重构

中图分类号: TN828.6 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112 (2007) 12-2417-04

A Switched Parasitic Yagi-Uda Diversity Antenna Used for MIMO Base Station

CHENG Yan^{1,2}, NIE Zai-ping²

(1. The 10th Institute of China Electronic and Technological Group, Chengdu, Sichuan 610036, China;

2. University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, Sichuan 610054, China)

Abstract: A switched parasitic yagi-uda diversity antenna for MIMO base station is presented. This diversity antenna system is composed of switched parasitic yagi-uda antennas and makes full use of the base station space. It contains antenna array along Z-direction to achieve array gain while uses the reconfigurable radiation pattern to get pattern diversity in the azimuth plane. Using it in the experimental MIMO system shows that this diversity antenna system can increase channel capacity and decrease BER of the communication system.

Key words: MIMO wireless communication; antenna diversity; Yagi-uda antenna; radiation pattern reconfigurable

1 引言

移动通信业务已经从传统的话音扩展到数据、图像、视频等多媒体业务, 对服务质量与传输速率的要求也越来越高。而工作频带在移动通信中是非常稀缺的资源, 因此, 必须采用先进的技术有效地利用有限的频率资源, 满足高速率、大容量的业务需求; 同时克服高速数据在无线信道下的多径衰落, 降低噪声和多径干扰, 达到改善系统性能的目的。多输入多输出(Multiple—Input Multiple—Output, MIMO)技术就是基于上述目的而提出的新技术, 并已成为目前无线通信领域的研究热点之一。MIMO 技术能大大提高系统的容量, 被视为未来无线通信中最有竞争力的技术之一, 亦已被作为后 3G 的候选技术。

1908 年, Marconi 就提出了利用多天线技术来抗衰落。在 20 世纪 70 年代有人提出将多入多出(MIMO)技术用于通信系统, 但是对无线移动通信系统 MIMO 技术产生巨大推动的奠基工作则是 20 世纪 90 年代由 AT &

T(American Telephone & Telegraph Company, 美国电话电报公司)Bell 实验室学者完成的^[1~3]。

MIMO(多人多出)技术是基于多径无线信道的。MIMO 系统在发射端和接收端均采用多天线和多通道, 将传统上认为有害的多径信道加以利用。研究表明, 对于发射天线数为 N , 接收天线数为 M 的 MIMO 系统, 假定信道为独立的瑞利衰落信道, 则在功率和带宽固定的情况下, 信道的最大容量随 $\min(M, N)$ 的增加而线性增加^[2]; 而同样条件下, 只在接收端或发射端采用天线阵列的普通智能天线系统其容量仅随天线数的对数增加而增加。

为得到所需的增益以及系统容量, 实现 MIMO 的各种优势, 多天线的阵元及其布局的设计尤显重要。近来研究表明: 天线单元方向图、极化特性, 多天线排列结构以及互耦都对 MIMO 通信性能有重大影响。

对于架设在高处的无线通信基站, 基站天线一旦架设完成, 其空间位置就基本固定下来, 而不像移动终端一样会随机改变。但是从移动终端到达基站的信号却可

能随机地来自任意方向,同时,基站发射出去的信号也可能是针对位于任意方向的移动终端.因此要求所设计的基站天线能够覆盖整个方位向.与移动终端天线相比,基站天线的设计对体积、重量和成本要求相对宽松,因此可充分利用基站空间提高增益等天线辐射特性.

对于 MIMO 系统中的基站天线,除了要达到上面所说的移动通信基站天线的基本要求以外,为了达到较好的分集效果,各分集天线单元之间的相关性要尽量小.这就要求分集天线之间的间距尽量大.而且相对于移动终端,基站天线可利用的空间受限较少,设计基站天线时可以充分利用三维空间,考虑各种分集方式.

2 天线形式与天线布局

2.1 单元天线形式

本文采用寄生振子开关八木天线作为单元天线,其工作频段选用 MIMO 系统实验平台的射频工作频率 2110~2170MHz.寄生振子开关天线^[4,5]具有结构简单、便于制作、方向图可重构等特点,常应用于分集系统.本文所采用的八木开关天线除具有寄生振子开关天线的特点外,还具有方向性强、可进一步组成阵列的优点.本文采用折合振子作为有源单元,并在反射器中央装有微波开关,结构如图 1 所示.微波开关可根据需要控制反射器的通断,当反射器接通时,天线为折合振子八木天线;当反射器断开时,天线为带散射体的折合振子天线,引向器以及断开的反射器则成为天线附近的散射体.八木天线可调整的参数较多,根据设计经验并用电磁仿真软件进行优化,得到的天线尺寸见表 1:

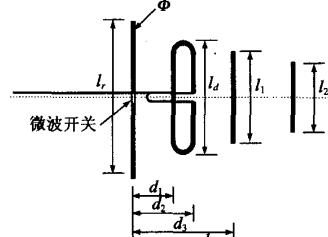


图 1 寄生振子开关八木天线
结构示意图

表 1 寄生振子开关八木天线尺寸

l_r	l_d	l_1	l_2	d_1	d_2	d_3	d_4	Φ
76mm	63mm	46mm	40mm	19mm	28mm	54mm	89mm	5mm

2.2 倾仰面内的天线组阵

为了有效利用基站的空间,在倾仰面内锐化波瓣获取阵列增益,进一步提高基站天线的覆盖半径,将四个寄生振子开关八木天线在 Z 向即倾仰面内组成阵列,单元间距为一个波长左右.采用同相四等分功率分配器进行等幅同相的馈电.

当四个天线单元反射器上的微波开关同时接通时,天线阵列为四元折合振子八木天线阵列,此时方位面方向图具有较强的方向性,便于接收某一特定方向

的来波;当四个天线单元反射器上的微波开关同时断开时,天线阵列为附近存在散射体的四元折合振子天线阵列,此时天线阵列方向性不是很强,可以接收各个方向的来波.

2.3 方位面的天线分集

为得到所需的分集增益以及系统容量,实现 MIMO 的各种优势,多天线的阵元及其布局的设计尤显重要.近来研究表明:天线单元方向图、极化特性,多天线排列结构以及互耦都对多天线之间的非相关性及 MIMO 通信性能有重大影响.

寄生振子开关八木天线具有方向图可重构的特性,因此用方位面内四元开关八木天线阵列作为多天线的分集单元,可在水平面内能实现方向图分集.同时,在水平面内用四个四元寄生振子开关八木天线阵列既能覆盖整个方位面,又具有较高的增益.天线布局如图 2 所示:

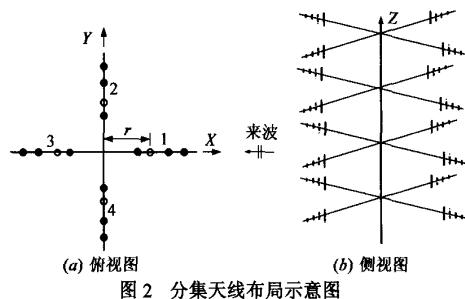


图 2 分集天线布局示意图

图中的虚线单元代表八木天线的有源单元即折合振子.使用时可以根据实际情况将天线反射器上的微波开关断开或者导通,即将八木天线的反射器断开或者接通来控制天线方向图的重构,实现方向图分集.例如,当来波从 $x = +\infty$ 处沿负 X 方向入射时,1 号分集臂天线阵列中的反射器全部接通,1 号臂为四元折合振子八木天线阵列;2、3、4 号分集臂天线阵列中的反射器全部断开,2、3、4 号臂为俯仰面内的四元带散射体的折合振子天线阵列,其引向器和反射器都充当散射体.1 号臂用主瓣的最大方向对准来波;而 2、3、4 号臂由于反射器全部断开,方位面的方向性不是很强,但也可以接收到来波,这样就达到了接收分集的目的.同理,当来波从其它方向入射时,微波开关可以根据来波方向作接通或者断开的相应调整,以达到最好的分集效果.同样,在下行链路中,也可以适当调整开关,以达到发射分集的目的.在实际应用中可根据需要组成六臂的开关阵列,做相应的扩展.

3 测试结果

3.1 天线单元测试结果

MIMO 系统实验平台选用的射频工作频率为 2110

~2170MHz。根据表 1 所列参数实际制作的寄生振子开关八木天线当反射器上的微波开关接通时, VSWR 小于 1.3, 在整个工作频段内满足 VSWR 小于 2; 由于是按照八木天线进行的尺寸优化, 因此当寄生振子开关八木天线反射器上的微波开关断开, 即天线为带散射体的折合振子时, VSWR 会稍微变差, 但是仍然满足整个工作频段内 VSWR 小于 2。测试所得天线方位面内方向图如图 3(a)所示。通过比较法测得寄生振子开关八木天线的增益为 6dBi(反射器上的微波开关接通时)和 4dBi(反射器上的微波开关断开时)。

3.2 天线阵列测试结果

作为分集单元的四元寄生振子开关八木天线阵列是通过微带同相四等分功率分配器进行等幅同相馈电的。测试所得阵列的 VSWR 在整个频段内均小于 2。测试所得阵列的方位面方向图如图 3(b)所示。通过比较法测得四元寄生振子开关八木天线阵列的增益为 12dBi(四个单元的反射器上的微波开关全部接通时)和 10dBi(四个单元的反射器上的微波开关全部断开时)。从上面的测试结果可以看出:与图 3(a)相比, 俯仰面组阵对方位面方向图无明显影响, 但获得了阵列增益, 提高了天线的覆盖半径; 作为分集单元的天线阵列, 其主瓣宽度在 90 度到 100 度之间, 所以在水平面内布置 4 个分集单元就能覆盖整个方位面。

3.3 天线在系统测试平台上的测试结果

该寄生振子开关八木天线阵列作为 MIMO 系统中的基站端天线在系统测试平台上进行了上行链路的实验。即采用移动终端天线作为发射天线, 该寄生振子开关八木天线阵列作为接收天线。所使用的实验平台工作频段为 2110 ~ 2170MHz, 中心频率为 2150MHz, 采用 QPSK(四相相移键控)调制, 空时编码为 STBC(空时分组码)方案。发射机的射频带宽为 5MHz, 最多可同时使用 8 路发射通道, 每通道的最大发射功率为 30dBm, 天线接口驻波比小于 1.3。接收机的信道带宽为 5MHz, 最多可同时使用 4 路接收通道, 每通道的接收动态范围为 -110 ~ -80dBm。实验中传输的视频图像为分辨率 200 × 150 的图片。

发射天线为位于电子科技大学电子通信大楼 823 室内的便携式微带贴片天线; 接收天线为寄生振子开关八木天线阵列, 位于另一十二层建筑物的楼顶(四个分集臂反射器上的开关均断开)。发射符号速率为 2Mbps, 采样率为 20MHz, 载波频率为 2110MHz。误码率

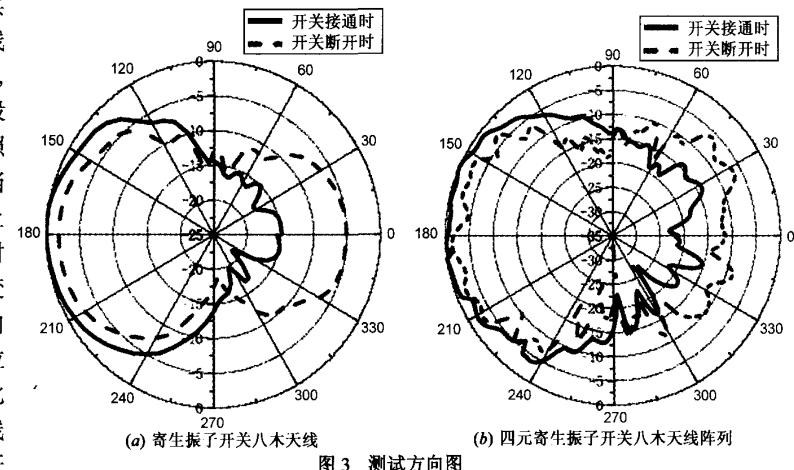


图 3 测试方向图

随总发射功率变化的曲线如图 4 所示, 其中 1T1R 代表使用一个发射天线一个接收天线(即一个四元寄生振子开关八木天线阵列), 4T4R 代表同时使用 4 个发射天线 4 个接收天线。由图可见, 多天线技术的应用, 在总发射功率不变的条件下使误码率大为下降。

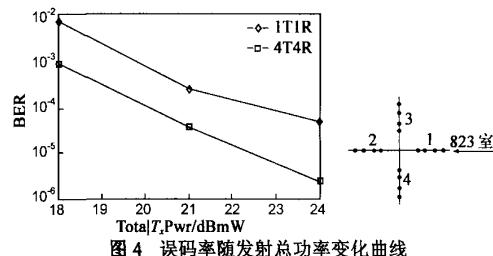


图 4 误码率随发射总功率变化曲线

4 总结

本文设计制作了一种用于 MIMO 系统基站端的开关八木天线阵列。该天线阵列采用俯仰面内的四组开关八木天线作为多天线系统的分集单元。由于在俯仰面内组阵, 锐化主瓣, 获取了俯仰面内的阵列增益; 同时, 在方位面采用多天线分集, 又获取了分集增益, 使基站具有更大的覆盖半径。该天线结构简单, 便于制作。天线通过微波开关控制其反射器的通断状态, 可灵活地改变天线的方向性, 重构方向图。同时, 通过在水平面的合理布局, 能实现水平全向覆盖以及水平面内的方向图分集。本文所给出的天线性能的实测数据以及天线在 MIMO 平台上的测试结果可以看出, 该天线具有一定的分集效果。在总发射功率不变的情况下, 相比单天线系统, 多天线系统能够显著降低传输误码率, 提高通信质量与容量。

致谢 本文系统实验所应用的 MIMO 试验平台是由电子科技大学 863“新型天线与分集技术”课题组研制的, 系统的高频部分由中兴通信公司西安研究所提供, 在此一并表示感谢。

参考文献:

- [1] Telatar E. Capacity of Multiantenna Gaussian Channels [Z]. USA: AT&T-Bell Lab internal Tech Memo, 1995.
- [2] Foschini G J, Gans M J. On the limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas [J]. *Wireless Pers Commun*, 1998, 6(3): 311 - 335.
- [3] S M Alamouti. A simple transmit diversity technique for wireless communications [J]. *IEEE J Sel Areas in Comm*, 1998, 16 (8): 1451 - 1458.
- [4] R Vaughan. Switched parasitic elements for antenna diversity [J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 1999, 47 (2): 399 - 405.
- [5] M Wennstrom, T Svantesson. An antenna solution for MIMO Channels: the switched parasitic antenna [A]. *IEEE Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communication (PIMRC)* [C]. San Diego: IEEE, 2001.
- [6] 李忻. 新一代无线通信系统中的 MIMO 信道建模与多天线设计研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2005.

作者简介:

程焱女, 1981 年出生于重庆市, 电子科技大学硕士毕业, 现为中国电子科技集团第十研究所助理工程师。从事新一代移动通信中的多天线技术、毫米波收发组件方面的研究工作。
E-mail: irisjo@163.com

聂在平 男, 1946 年生于陕西西安, 教授, 博士生导师, 中国电子学会会士, IEEE 高级会员。1981 年在现电子科技大学获硕士学位; 1987~1989 年在美国伊利诺依大学电磁实验室从事研究工作; 1990 年以来主持并完成 20 余项研究课题, 先后获国家科技进步二等奖一项, 省、部级科技进步一、二、三等奖共五项, 在国内外发表学术论文 200 余篇。主要研究兴趣包括: 计算电磁学、电磁散射与逆散射、非均匀介质中的场与波、新一代移动通信中的多天线技术等。

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>