DOI:10.13878/j.cnki.jnuist.2019.01.006

贾飞飞[1,2]　刘培涛[2]　薛泉[1]

一种小型化双低频 4T4R 基站天线阵列设计方法

摘要

能够支持双低频 4T4R 的 MIMO 基站阵列天线已成为目前运营商布网主流,当采用常规设计时,往往造成天线尺寸过大、风载荷过高等问题.在 MIMO 阵列天线小型化设计时,由于各阵列间距离缩小,电磁耦合急剧上升,导致各天线水平面波束宽度恶化,性能下降严重.针对此问题,提出了一种小型化阵列天线设计方法.采用波束合成技术,利用一种功率比随频率变化的新型不等功分电桥复用一组辐射单元,这样每列天线均可复用一个窄波束宽度单元,再通过该窄波束单元与其他宽波束单元合成理想的水平面波束宽度,提升天线覆盖性能.实测结果表明:采用本文阵列天线设计方法能够得到收敛的水平面波束宽度,范围在 56°~68°,同时具有较好的增益和系统隔离度,大幅改善了天线性能.

关键词

MIMO 阵列天线;基站天线;4T4R 天线阵列;水平面波束合成;宽带电桥

中图分类号 TN828.6

文献标志码 A

收稿日期 2018-11-29

资助项目 珠江人才计划创新创业团队(2017ZT07X032)

作者简介

贾飞飞,男,博士生 ,研究方向为移动通信天线、基站天线设计.jff1117@163.com

1 华南理工大学 电子与信息学院,广州,510640

2 京信通信技术(广州)有限公司,广州,510663

0 引言

随着移动通信向后 4G 和 5G 发展,运营商开始逐步清退 2G 网络,清退后的 700~900 MHz 频谱由于良好的空间传输特性被运营商重新利用起来,能够同时支持 700~900 MHz 与 1 700~2 600 MHz 的超宽带双频双极化天线成为研究热点[1-2].随着运营商开始深耕低频网络,支持 4T4R 的双低频 MIMO 天线成为运营商主流需求.常规设计时[3],MIMO 天线列间距往往在一个波长左右,以确保每列天线均能获得良好的辐射性能,这就导致天线尺寸过大,占用了大量宝贵铁塔资源,同时尺寸大使得天线风载荷过大,风险系数增加.

为了缩小天线尺寸,改善小尺寸后双低频 MIMO 阵列天线的辐射特性,许多阵列设计方式相继被提出.文献[4]最先提出了利用波束合成的方式改善小型化双低频天线波束宽度的设计思路,给出一种 L 形阵列布局方式,即两个辐射单元组阵形成一个窄波束宽度辐射单元.该窄波束辐射单元与其他宽波束辐射单元进行波束合成,得到较优的水平面波束宽度性能,然而该方法由于每列天线都需要一个窄波束单元,增加了天线长度,并不是优选方案.文献[5]提出了一种利用电桥复用窄波束单元的方案,该方案避免了增加天线长度,通过在馈电网络中加入一个弱耦合电桥,电桥直流端输出的主激励信号与耦合端输出的辅助激励信号同时对一水平二元阵激励,从而获得所需要的窄波束单元,但由于电桥在整个频段内具有相同的功率分配比,导致水平面波束宽度收敛性未得到解决.

为解决上述问题,本文提出了一种进一步改善双低频 MIMO 阵列天线水平面波束宽度的方法.通过设计出一种功率分配比随频率变化而变化的不等功分电桥[6-7],在低频段该电桥具有近似等功率的分配比,渐变到高频段该电桥的功率分配比逐步加大,从而使得复用的二元阵在低频段获得较窄的波束宽度,而在高频段获得较宽的波束宽度[8].具有该特性的二元阵方向图与其他阵元方向图进行叠加,使得双低频天线阵列半功率波束宽度具有很好的收敛性,提升了天线的覆盖性能.

1 小型化双低频 MIMO 天线阵列分析

双低频 MIMO 基站天线通常是指在 690~960 MHz 具有 65°水平面半功率波束宽度,同时支持 4T4R 的基站天线系列.受限于较低的工

作频段,该类天线往往具有较宽的截面尺寸,运营商在部署时遇到诸多困难.为解决小型化难题,建立如图 1 所示简单阵列模型,对小型化双低频 MIMO 阵列天线的主要影响因素进行分析.

对该类天线进行小型化设计通常有两种思路:1)辐射单元小型化设计;2)缩小两个低频阵列的列间距.通过对两种设计思路进行多种尝试,发现对双低频 MIMO 阵列天线而言,两个低频阵列的列间距是限制天线尺寸是否能缩小的关键.列间距的缩小将造成两列低频阵列间电磁耦合急剧上升,耦合到另一列阵列上的电磁能量增大将带来更多的寄生辐射,从而使天线的水平面半功率波束宽度急剧变宽.

以中心频点 825 MHz 设置不同的阵列间距进行仿真,结果如表 1 所示.当阵列间距仅有 825 MHz 的 0.6 倍波长时,690 MHz 与 960 MHz 波束宽度均较宽,且 690 MHz 波束宽度恶化至 87°附近,可见波束宽度已恶化至不可接受;而当阵列间距增大至 825 MHz 的 0.9 倍波长时,690 MHz 与 960 MHz 波束宽度均收窄至 65°附近,均具有较好的辐射特性.此时对应的列间距约为 330 mm,若以此间距设计天线的整体尺寸将宽至 550 mm 左右,运营商不接受如此宽的天线.

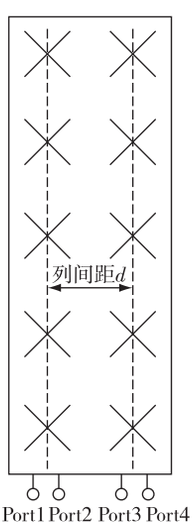


图 1　双低频 4T4R 基站天线阵列模型

Fig. 1　Two lower band 4T4R base station antenna array model

2　小型化双低频天线阵列设计及功率分配比随频率可变电桥设计

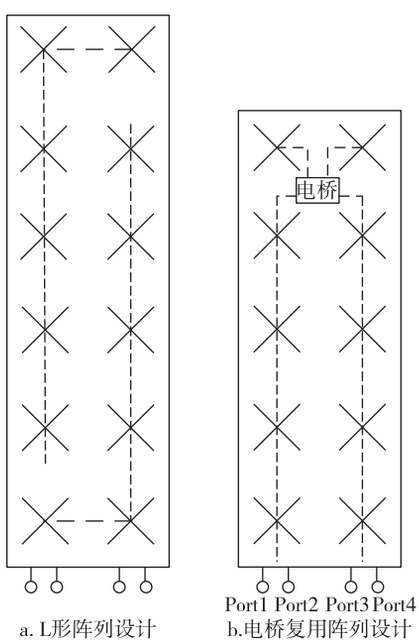
2.1　小型化双低频天线阵列设计

为实现双低频天线小型化,必须缩小其列间距,在小的列间距下保障天线的辐射性能成为研究重点.如图 2 所示,利用波束合成技术,提出两种小型化阵列设计方式.两个辐射单元以水平组阵的形式替代原先一个辐射单元,两个辐射单元水平组阵后将得到一个较窄的波束宽度,用此窄波束宽度阵元与其他宽波束宽度阵元进行波束合成,综合后,天线阵列将得到一个较优的波束宽度范围.

表 1　列间距与双低频天线水平波束宽度的关系

Table 1　The relationship of two lower band antenna HPBW and array spacing

列间距 d(以中心频点 825 MHz 计算)	水平面波束宽度/(°)	
	690 MHz	960 MHz
0.6λ	87.13	70.50
0.7λ	80.33	64.04
0.8λ	72.08	61.08
0.9λ	67.44	60.93
1.0λ	64.82	60.50



a. L形阵列设计　b.电桥复用阵列设计

图 2　小型化双低频 4T4R 基站天线阵列设计

Fig. 2　Compact two lower band 4T4R base station antenna array design

图 2a 给出一种 L 形阵列组阵方式,额外增加一组辐射单元,每列天线各自拥有一组水平组阵单元,从而利用该水平组阵单元收窄天线阵列波束宽度,但是该方案需增加天线的长度.图 2b 给出一种利用电桥,两个阵列复用一组水平组阵单元,在不需要加长天线的基础上同样起到收窄天线阵列波束宽度的目的,但是,该收窄特性属于线性收窄,即原先波束宽度较为发散的特性未得到改善.

基于上述考虑,本文在图 2b 方案的基础提出一种改进设计方案,引入一种功率分配比随频率变化而变化的不等功分电桥,电桥在不同频点处具有不同功率响应.利用该特点,使得电桥馈电的水平二元阵具有与其他天线阵元相反的波束宽度特性,从而在收窄天线波束宽度的同时,使得天线整体的波束宽度范围更为收敛.设计思路如表 2 所示,将二元阵波束宽度变化的斜率与其他阵元波束宽度变化的斜率相反设计,从而使综合后的天线阵列方向图收敛特性较图 2b 方案大幅提升.需注意的是,表 2 中采用的阵列间距为 825 MHz 的 0.7 倍波长.

表 2　波束宽度收敛性设计思路

Table 2　The horizontal beamwidth design of the proposed antenna

频点/MHz	波束宽度/(°)		
	水平二元阵	其他阵元	预期
690	30	80.33	70
825	35	71.26	64
960	45	64.04	60

2.2　功率分配比随频率可变电桥设计

利用二元阵天线阵列特性,单元间功率差距越大波束宽度越宽的特点,提出对功率分配比随频率可变电桥的设计要求,即在 690 MHz 频率其功分比为 1∶1,功分比随频率的变化近似线性变化,在 960 MHz 频率功分比渐变为 1∶4.

利用一段 1/4 波长反方向终端短路的耦合线代替传统电桥 3/4 波长段的作用,可以适当拓展电桥的工作带宽[4-5].本文利用两段 1/4 波长反方向终端短路交趾耦合线来代替传统电桥 3/4 波长段,以进一步拓展电桥的工作频段.经过仿真优化,所需功率分配比随频率可变电桥最终结构如图 3 所示.

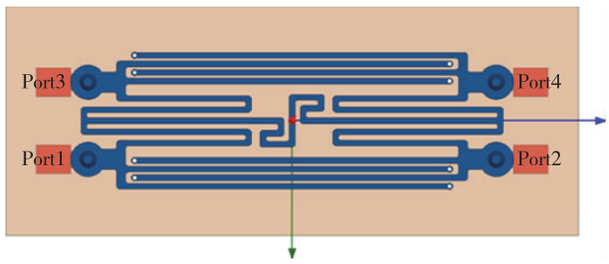


图 3　功率分配比随频率可变电桥仿真模型

Fig. 3　The simulation model of the proposed hybrid bridge

由仿真结果(图 4)可以看出,所设计的电桥在 690 MHz 功率分配比为近似等功率设计,在 960 MHz 功率分配比近似为 4∶1.表 3 给出了所设计电桥在两个边频点与中心频点对应的功率分配情况.同时,所设计电桥输入端口回波损耗在-27 dB 以下,两输入端口隔离在-24 dB 以下.采用该功率分配比的二元阵,可在 690 MHz 附近获得较窄的波束宽度,在 960 MHz 附近获得较宽的波束宽度,能够满足表 2 中小型化双低频天线阵列的波束合成要求.

表 3　电桥仿真功率比变化

Table 3　The proposed hybrid bridge's power distribution varies with frequency

频点/MHz	功率比/dB	
	S_{21}	S_{31}
690	-3.04	-3.39
825	-1.58	-5.77
960	-1.08	-7.57

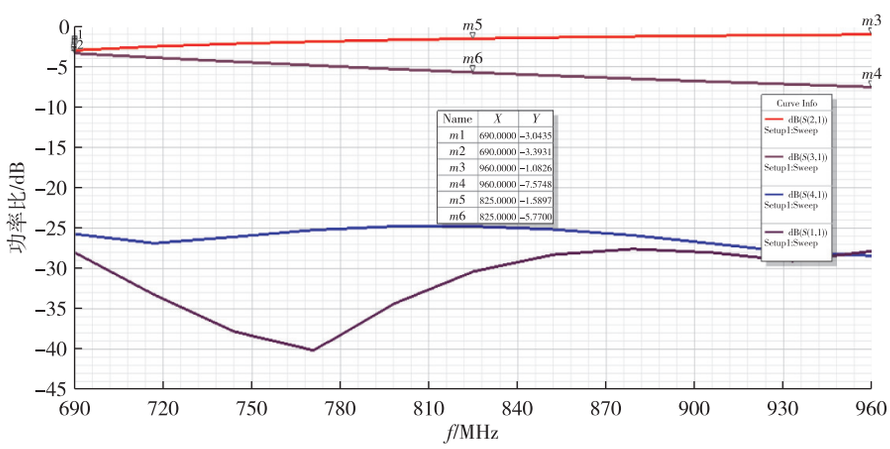


图 4　功率分配比随频率可变电桥仿真结果

Fig. 4　The simulation result of the proposed hybrid bridge

3 验证与实测

根据理论及仿真结果,对所得电桥及双低频天线进行加工验证.图 5 为所设计电桥的加工实物图.图 6 为该电桥的测试结果,与仿真结果基本一致,满足设计需求.

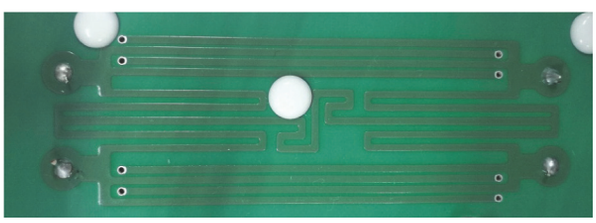


图 5 功率分配比随频率可变电桥实物

Fig. 5 The photograph of the proposed hybrid bridge

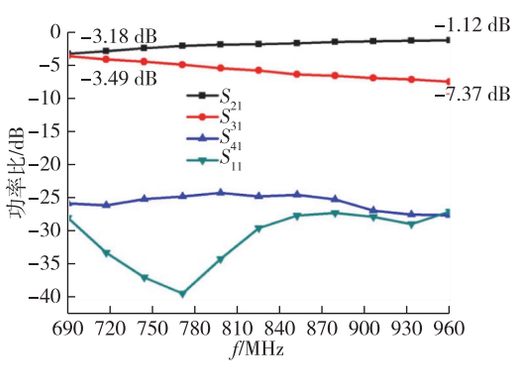


图 6 功率分配比随频率可变电桥测试结果

Fig. 6 The measured results of the proposed hybrid bridge

利用该功率分配比随频率可变电桥,研发一款小型化双低频 4T4R 天线.该验证天线由两列五单元天线阵列组成,列间距近似选取中心频点 825 MHz 的 0.7 倍波长,约为 250 mm,每列天线的阵元间距选取中心频点 825 MHz 的 0.75 倍波长,约为 275 mm,整个双低频 4T4R 阵列天线的长宽为 1 400 mm×440 mm,远远小于常规设计时的天线尺寸,达到天线小型化目的.采用图 2b 所示方案,每个阵列的第一个辐射单元组成水平二元阵,由所设计电桥进行馈电,通过该电桥每列天线复用该二元阵作为各自的第一个阵元,达到收敛水平波束宽度的设计目的.图 7 为该小型化双低频 4T4R 天线的测试结果,可以看出 690~960 MHz 频段内天线的水平波束宽度范围为 57°~69°,在 63°±6°范围内,达到收敛水平波束宽度的目的.

4 结束语

本文针对小型化双低频 4T4R 天线阵列所遇到的瓶颈问题进行了分析,找到限制天线小型化的原因.随后,本文引入一种功率分配比随频率可变的电桥,在工作频段的低频部分使电桥两个输出端口近似等功率设计,高频段两个输出端口有较大的输出功率比.利用波束合成技术,使得电桥馈电的二元阵波束宽度与小型化双低频天线其他阵元的波束宽度具有相反的变化趋势,从而在波束合成后获得较为收敛的水平面波束宽度,大幅提升了小型化双低频 4T4R 天线的覆盖性能,具有极高的工程应用意义.

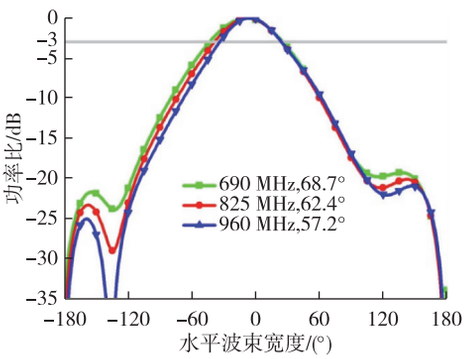


图 7 小型化双低频 4T4R 天线水平波束宽度测试结果

Fig. 7 Themeasured HPBW results of the proposed compact tow lower band 4T4R antenna

参考文献

References

[1] He Y J,Pan Z Z,Cheng X D,et al.A novel dual-band,dual-polarized,miniaturized and low-profile base station antenna[J].IEEE Transactions on Antennas and Propagation,2015,63(12):5399-5408

[2] Liu Y,Yi H,Wang F W,et al.A novel miniaturized broadband dual-polarized dipole antenna for base station [J].IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters,2013,12:1335-1338

[4] 肖伟宏,王乃彪,谢国庆.平面阵列天线及通信设备:CN205319307U[P].2016-06-15
XIAO Weihong,WANG Naibiao,XIE Guoqing.Planar antenna array and communication equipment:CN205319307U[P].2016-06-15

[5] 丁文,Samb Doudou,张理栋.多频天线方向图一致性研究[J].电信技术,2017(11):26-28,33
DING Wen,Samb Doudou,ZHANG Lidong.Research on multiband antenna pattern consistency[J].Telecommunications Technology,2017(11):26-28,33

[6] 李树良,凌天庆,张德斌.一种新型宽带不等分环形电桥[J].微波学报,2010,26(1):54-57,80
LI Shuliang,LING Tianqing,ZHANG Debin.Realization of broadband unequal power divided hybrid ring[J].Journal of Microwaves,2010,26(1):54-57,80

[7] 张纬国,何晓雄,吴俊.一种新型宽带环形电桥设计[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2017,40(6):

784-787
ZHANG Weiguo, HE Xiaoxiong, WU Jun. Design of a novel broadband hybrid ring[J].Journal of Hefei University of Technology (Natural Science), 2017, 40(6): 784-787

[8] 薛正辉,李伟明,任武.阵列天线分析与综合[M].北京:北京航空航天大学出版社,2011
XUE Zhenghui,LI Weiming,REN Wu.Analysis and synthesis of array antennas[M].Beijing:Beihang University Press,2011

A novel two low-band 4T4R base station antenna array

JIA Feifei[1,2] LIU Peitao[2] XUE Quan[1]

1 School of Electronic & Information Engineering,South China University of Technology,Guangzhou 510640

2 COMBA Telecom System Holding Co.,LTD,Guangzhou 510663

Abstract 4T4R MIMO antennas are commonly required by operators at base stations.Existing designs of these antennas exhibit several disadvantages,such as large dimensions,high wind loads,and high costs.Thus,a new compact MIMO antenna design can help overcome these limitations.However,when two low-band 4T4R antennas come to a compact design,the electromagnetic coupling between the two arrays will increase dramatically.This can cause several problems such as ultra-wide horizontal beam width,decrease in gain,and worse inter-system isolation.In this study,a novel antenna array design method is proposed to address this issue.Using hybrid bridges,which have a typical characteristic of different frequency points with different power divides,and horizontal beam-forming technologies,a better horizontal beam width can be achieved in compact two low-band antennas.The experimental results show that,with the proposed design,the two low-band antennas exhibit a 4T4R antenna sexhibita good performance in terms of horizontal beamwidth,gain,and inter-system isolation.

Key words MIMO antenna array;base station antenna;4T4R antenna array;horizontal beamforming;broadband hybrid bridge