

具有电倾角的双频双向印刷阵列天线

吴鹏飞^{1,2} 蒯振起^{1,2} 朱晓维^{1,2}

摘要

给出了由双面印刷偶极子组成的双频双向阵列天线设计,通过合理设计阵列馈电结构,实现了具有电倾角波束的天线,而不需使用复杂的移相器,极大地降低了天线的复杂度和成本;采用V形偶极子代替传统单元增加水平面波束宽度,并用微带结构的多工器将两个频段的阵列连接起来以实现双频特性,克服了一般双向天线仅为单频工作且不易实现电倾角的缺点.设计了具有 20° 电倾角的4单元和6单元双频天线阵列,分别工作在2.4 GHz和5.8 GHz频段.实验测试结果表明:天线在2.4 GHz频段VSWR <1.5 的带宽有15%,增益为6.6 dBi;而在5.8 GHz频段VSWR <1.5 的带宽有6%,增益为8.0 dBi.所设计的天线具有小型化、低成本、双频、多用途集成天线的优点.

关键词

双面印刷偶极子;电倾角;V形偶极子;微带滤波器

中图分类号 TN820.1

文献标志码 A

收稿日期 2009-06-11

资助项目 国家自然科学基金委创新群体基金(60621002);国家863计划(2007AA01Z2B4)

作者简介

吴鹏飞,男,硕士,产品研发工程师,主要研究方向为手机及移动终端天线设计.

peter.wu@amphenolmcp.com

朱晓维(通信作者),男,博士,教授,主要研究方向为无线通信系统的射频技术、微波毫米波天线及电路. xwzhu@seu.edu.cn

0 引言

Introduction

随着无线通信的日益发展,各种多频段、小型化的多功能天线受到越来越多的重视.现在寻找合适的站址或天线架设位置已变得越来越困难,且站址建设成本不断提高,一站多用显得尤其重要,所以多功能、多频段工作的集成天线技术,更是得到了研究人员的广泛关注.在实现多频性能的同时往往还要求天线具有特殊的波束形状,如双向波束可以实现长条形区域信号覆盖,合理分配信号能量;波束下倾或赋形以满足不同应用场合的需要、减小干扰.印刷天线具有体积小、成本低、易于设计制造等诸多优点,文献[1]给出了一种用印刷天线实现的工作于2.4 GHz WLAN的双向天线,该天线用同相馈电、相距半波长的两个印刷偶极子获得了较好的双向辐射特性,但由于仅有两个辐射单元,无法实现电下倾波束,且仅为单频段工作.为了获得波束下倾和较高的增益,需采用阵列天线结构,通过控制阵列单元的馈电相位以实现波束下倾.文献[2]给出了一种典型的双频双向基站天线,通过附加寄生单元获得双频特性,用移相器控制单元相位实现波束下倾.

本文提出了一种具有波束下倾角的双频双向印刷阵列天线.通过合理设计馈线结构取代复杂的移相器实现波束倾角,利用V形双面印刷偶极子作为单元,以展宽辐射方向图的水平面波束宽度,分别设计了工作于WLAN 2.4 GHz频段带电倾角的串馈双向阵列以及工作在WLAN 5.8 GHz频段带电倾角的并馈双向阵列.通过微带结构滤波器构成的分路/合路器将两个阵列组合,实现了具有电倾角和双频双向辐射特性的多功能集成天线,所设计的天线具有体积小、结构简单、易于制造、成本低等优点,适合用于IEEE 802.11a/b/g标准的多种室内信号分配系统和热点区域信号覆盖场合,同时本文所提出的天线设计方案也同样可推广用于GSM、CDMA、3G等其它移动通信系统.

1 电倾角阵列的设计

Design of arrays with an electrical downtilt angle

通过改变阵列天线中每个单元天线的激励电流的相位,其辐射方向图可以在空间扫描.对均匀激励的等间距线阵,角 γ 是平面波入

1 东南大学 信息科学与工程学院,南京,210096

2 毫米波国家重点实验室,南京,210096

射方向相对于阵轴的夹角,波到达原点的相位可任意地设为0,即 $\xi_0 = 0$,阵元 $n + 1$ 处波的相位比阵元 n 处超前 $\xi_1 = \beta d \cos \gamma$.如果电流具有线性递增相位,即第 $(n + 1)$ 阵元比第 n 阵元相位超前 α ,则阵因子可表示为^[3] $f_\alpha(\psi) = A_0 + A_0 e^{j\psi} + A_0 e^{j2\psi}$,即:

$$f_\alpha(\psi) = A_0 \frac{1 - e^{j3\psi}}{1 - e^{j\psi}} = A_0 e^{j\psi} \frac{\sin(3\psi/2)}{\sin(\psi/2)}. \quad (1)$$

其中 $\psi = \beta d \cos \gamma + \alpha$. $\Psi = 0$ 时,式(1)取最大值,即:

$$\beta d \cos \gamma + \alpha = \frac{2\pi d}{\lambda} \cos \lambda + \alpha = 0. \quad (2)$$

若单元间距 $d = \lambda/2$,对于端射阵有 $\gamma = 0^\circ$,则 $\alpha = -\pi$;对于边射阵有 $\gamma = 90^\circ$,则 $\alpha = 0$.

在串馈印刷阵列中,通过适当设计馈线结构引入所需的相位差以实现波束电倾角,而不必使用移相器,可以极大地节约天线成本,降低天线实现的复杂度,但大的相位差需要的馈线较长.若将两振子设置成相反方向排列,则可通过适当地调节垂直方向上的单元间距而不必使馈线弯曲便可得到要求的 E 面倾角,相应地式(2)变为

$$\pi + \beta d \cos \gamma + \alpha = 0. \quad (3)$$

本文设计的具有下倾角的2.4 GHz印刷偶极子4元阵结构如图1a所示:在垂直方向上天线为串馈;辐射单元为印刷半波振子.天线馈电端口为微带结构,经线性渐变巴伦转换为印刷平行双线,馈电网络均以平行双线实现^[4,8].用CST软件优化后的结构参数为振子臂长28.5 mm,臂宽3 mm;单元水平和垂直间距均为68 mm.天线在2.45 GHz处 E 面倾角 20° ,波宽 40° ;H面波宽 59° ;增益7.8 dBi.

采用并馈方式设计的工作在5.8 GHz的6单元

印刷偶极子阵列,如图1b所示.馈电网络采用类似上述4单元阵列的印刷双线结构.调节馈电点1和2的位置可方便地实现各辐射单元所需的馈电相位,达到控制天线的倾角的目的.利用公式(2)可确定1和2的准确位置.仿真优化的结构参数为 $L_1 = 21$ mm, $L_2 = 17.5$ mm, $L_3 = 10.5$ mm, $L_4 = 17.5$ mm,单元臂长11.5 mm,臂宽3 mm;水平间距23 mm,垂直间距28 mm.5.8 GHz处 E 面倾角 20° ,波宽 36° ;H面波宽 85° ;增益约为8.5 dBi.2个频段的天线均印刷在相对介电常数 $\epsilon_r = 2.65$,厚度为1 mm的介质基片上.

印刷振子阵实现的带电倾角平面阵列,结构简单、尺寸较小,但是其H面辐射方向图波宽较窄.虽然缩短单元的水平间距有利于波宽的改善,但会造成方向图的畸变.基于这种情况,本文将天线单元振子臂加以倾斜,形成一种V型结构的偶极子印刷阵列^[9].

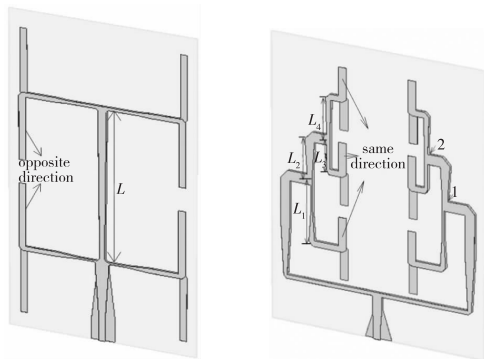
对图1a所示的工作在2.4 GHz频段的串馈4单元阵列,在缩短单元水平间距的基础上,同时将偶极子臂倾斜角度 θ ,随着 θ 的减小,H面辐射方向图的半功率波瓣宽度逐渐增加.在驻波及增益无明显变化的情况下, $\theta = 90^\circ$ 时,2.45 GHz处 E 面倾角 20° , E 面半功率点波瓣宽度 44.4° ,H面半功率点波瓣宽度 92.9° ; $\theta = 75^\circ$ 时,2.45 GHz处 E 面倾角 20° , E 面半功率点波瓣宽度 43.3° ,H面半功率点波瓣宽度增加到 99.5° ; $\theta = 60^\circ$ 时,2.45 GHz处 E 面倾角 20° , E 面半功率点波瓣宽度 43.7° ,H面半功率点波瓣宽度达到 103.6° .

2 V形偶极子双频双向印刷阵列天线

V-shaped dipole dual-band bidirectional printed array antenna

作为一个例子,将图1所示结构2个频段天线辐射单元用V形振子代替,用分路合路器将它们连接起来构成双频双向天线.分路合路器用分布参数元件构成微带线低通滤波器和集总参数元件构成的高通滤波器组成^[10],如图2a所示,实测的S参数曲线示于图2b.对于低通滤波器,2.4 ~ 2.483 5 GHz范围内 $S_{21} > -0.4$ dB,5.725 ~ 5.85 GHz范围内 $S_{21} < -25$ dB;对于高通滤波器,5.725 ~ 5.85 GHz范围内 $S_{31} > -0.9$ dB,2.4 ~ 2.483 5 GHz范围内 $S_{31} < -25$ dB.

实际的双频双向天线照片如图3所示.整个天线制作在长140 mm,宽160 mm,厚度1 mm, $\epsilon_r =$



a. 2.4 GHz 串馈阵列; b. 5.8 GHz 并馈阵列

a. Series feed array at 2.4 GHz; b. Parallel feed array at 5.8 GHz

图1 具有下倾角的双向天线结构

Fig. 1 Structure of bidirectional antenna with a downtilt angle

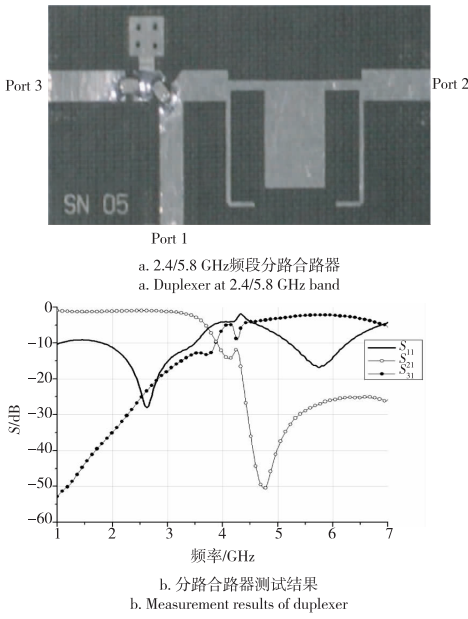


图2 天线分路合路器结构及测试结果
Fig. 2 Structure of duplexer and its measurement results

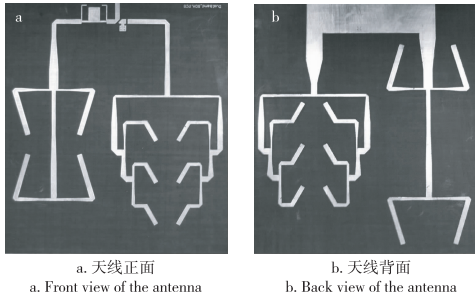


图3 设计加工的双频双向天线
Fig. 3 Fabricated dual band bidirectional antenna

2.65的介质基片上. 图4给出了实测的反射系数以及辐射方向图. 天线在要求频段内均满足 $VSWR < 1.5$, 实测的辐射方向图半功率点波瓣宽度列于表1. 低频段的E面倾角是 20° , 高频段的E面倾角略小, 两个频段的天线增益均达到设计要求. 实测与仿真结果较为吻合.

表1 波束宽度测量结果

Table 1 Measurement results of beam width

频率/GHz	E面波束宽度/ $^\circ$	H面波束宽度/ $^\circ$
2.40	40.7	96.7
2.45	40.2	88.1
2.50	36.4	82.4
5.725	19.7	86.0
5.790	18.8	86.6
5.850	18.2	91.3

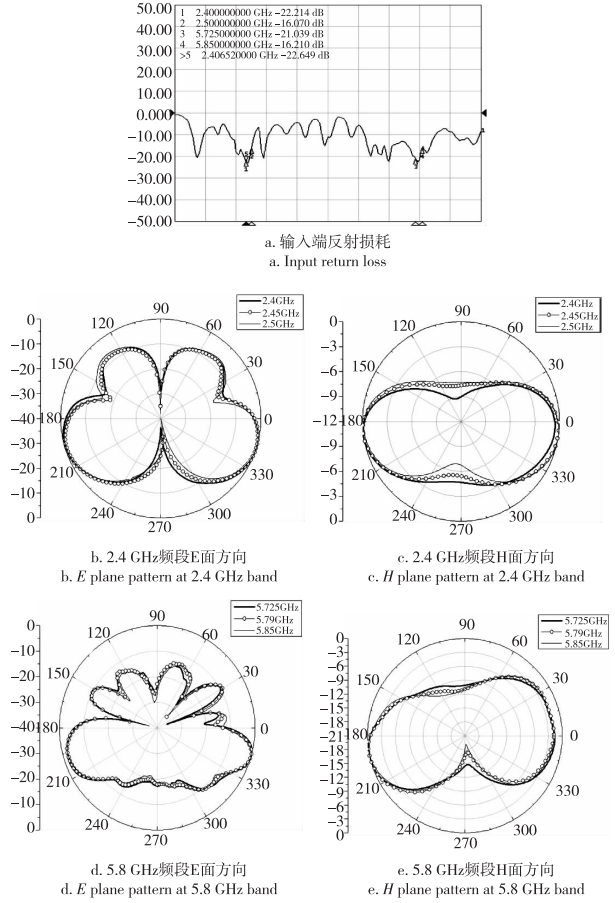


图4 双频双向天线测量结果
Fig. 4 Measurement results of dual band bidirectional antenna

3 结论

Conclusion

本文采用双面V形印刷偶极子设计了具有 20° 电倾角的用于WLAN 2.4 GHz/5.8 GHz频段的双频双向阵列天线, 串馈结构的2.4 GHz 4单元印刷天线平面阵列和并联馈电的5.8 GHz 6单元印刷天线平面阵列通过微带结构的多工器连接起来以实现双频特性. 实验测试结果显示, 天线的总体指标满足室内分布及热点区域信号覆盖系统的需求. 由于双频特性是通过微带结构的多工器将各自独立设计的天线连接起来实现的, 使得天线的尺寸还显得略大. 进一步的研究表明, 通过综合设计, 用适当的馈电网络和辐射单元, 有望不用多工器而实现带有电倾角的双频双向集成天线, 达到进一步提高天线集成度、减小天线尺寸目的.

参考文献

References

- [1] KUAI Zhenqi, HONG Wei, ZHOU Jianyi, et al. A bi-directional antenna mounted on ceiling for 2.4GHz WLAN applications [C] // 2006 China-Japan Joint Microwave Conference (2006CJMW) Proceedings, 2006: 343-344
- [2] Handbook of antennas in wireless communications [M]. Edited by Lal Chand Godara CRC Press, 2002
- [3] 康行健. 天线原理与设计 [M]. 北京理工大学出版社, 1993
- [3] KANG Xingjian, Antenna principle and design [M]. Press of Beijing Institute of Technology, 1993
- [4] Wilkinson W C. A class of printed circuit antennas [J]. IEEE AP-S Int Symp Dig, 1974(40): 270-272

- [5] Rutledge D B, Neikirk D P, Kasilingam D P. Integrated-circuit antennas [C] // Button K J. Infrared and Millimeter Waves. New York: Academic, 1983(10): 1-91
- [6] Bailey M C. Broad-band half-wave dipole [J]. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 1984(32): 410-412
- [7] Fatou T, Craig A G. Design of broad-band and dual band antennas comprised of series-fed printed-strip dipole pairs [J]. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 2000(48): 895-899
- [8] Ashkenazy J, Levine E, Treves D. Conformal arrays of double sided printed dipoles [J]. IEEE AP-S, 1986(2): 553-556
- [9] Chan K K, Silvester P. Analysis of the log-periodic V-dipole antenna [J]. IEEE Trans on Antennas Propa, 1975(37): 397-401
- [10] Reinhold L, Pavel B. RF circuit design: Theory and applications [M]. Prentice Hall, 2002

Dual-band bidirectional printed arrays antenna with an electrical downtilt angle

WU Pengfei^{1,2} KUAI Zhengqi^{1,2} ZHU Xiaowei^{1,2}

1 College of Information Science and Technology, Southeast University, Nanjing 210096;

2 National Key Lab of Millimeter Waves, Nanjing 210096

Abstract In this paper, the design of bidirectional and dual-band arrays comprised of double-sided printed dipoles is presented. V-shaped dipole is employed to replace the traditional element to increase the horizontal beamwidth. A microstrip multiplexer is used to join the dual-band antenna arrays. Four-element and six-element arrays respectively operating at 2.4 GHz and 5.8 GHz frequency bands, both with an electrical downtilt angle of 20°, are designed and fabricated. The measured result shows that antenna has bandwidth of 15% at lower band and 6% at higher band, both for VSWR < 1.5, respectively with the gain of 6.6 dBi and 8.0 dBi.

Key words double-sided printed dipoles; electrical downtilt angle; v-shaped dipoles; microstrip filter