



# 基于互补源的紧凑型圆极化倾斜波束天线

## 摘要

本文提出一种结构紧凑且固有倾斜辐射波束的圆极化天线.通过使用一对正交的互补源,将在俯仰面的倾角方向上产生圆极化波.为了验证方法的可行性,该天线主要由扇形的单极子、短路钉和L型的接地板组成.短路钉一端连接单极子天线,另一端连接接地板的水平部分,从而形成一个环路辐射单元.研究表明:该天线的最大辐射增益在 $\theta=60^\circ$ , $\varphi=90^\circ$ 的方向上,具有6.2%左右的3 dB轴比工作带宽.同时,相较于现有的倾斜波束圆极化天线,它的结构更加紧凑,适用于小型化的设计需求.

## 关键词

互补源;圆极化天线;紧凑型;倾斜辐射方向图

中图分类号 TN823

文献标志码 A

## 0 引言

具有倾角辐射波束的圆极化天线广泛地应用在各种无线通信系统中<sup>[1]</sup>.但是对于传统的圆极化天线,比如微带贴片天线和交叉偶极子天线,通常辐射波束的最大值存在于垂直于天线表面的方向上,如图1a所示.为了能够实现对倾角方向上进行覆盖,最直接的方法就是利用可调节单元机械式地旋转该天线,使得整个系统对准想要的倾角方向,如图1b所示.但是这种方法需要一个复杂的可调节结构,不仅增加了系统设计的成本,而且还会占用更大的空间,不利于系统的小型化设计<sup>[2]</sup>.针对上述问题,研究人员提出一种具有固有倾斜波束的圆极化天线,如图1c所示.该设计能够在不旋转天线的情况下实现对具有一定倾角的方向进行信号覆盖.其中,最具有代表性的方法是采用螺旋类型结构的天线<sup>[3-5]</sup>.然而,该类天线通常体积庞大且螺旋形结构设计相对复杂.

为了满足小型化设计的需求,本文基于互补源理论,提出采用一对正交互补偶极子的方法来实现倾斜波束辐射特性.通过优化设计,该设计天线的结构更加紧凑,适用于小型化的需求.此外,它不仅加工设计简单,而且具有稳定的辐射特性.

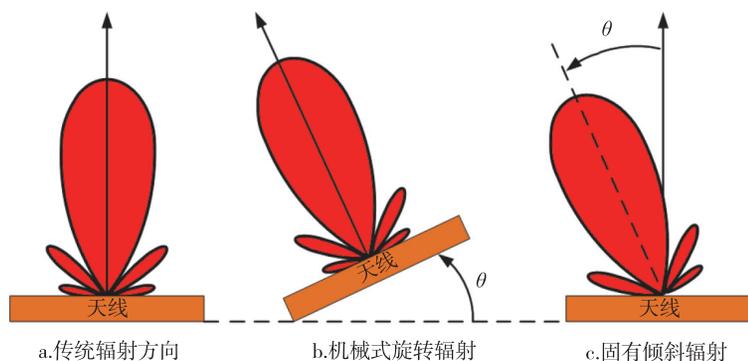


图1 辐射方向示意

Fig. 1 Illustration of the radiation of antennas

收稿日期 2018-11-29

资助项目 澳门科学技术发展基金(014/2015/AMJ);国家自然科学基金(61471204)

作者简介

张文海,男,博士,研究方向为天线理论与设计,yb47413@umac.mo

## 1 倾斜波束的原理分析

如图2所示,电偶极子和磁偶极子分别放置于 $z$ 轴和 $y$ 轴,假设同时激励互补偶极子并给予等幅且 $90^\circ$ 的相位差.从图2中可以观察

1 澳门大学 科技学院,澳门,999078

2 华南理工大学 电子与信息学院,广州,510641

3 南京邮电大学 江苏省无线通信重点实验室,南京,210003

到,两个“8”字形的辐射方向图出现在  $yz$  俯仰面且在对称轴方向上相互交叉重叠.该俯仰面的四个象限都会产生圆极化波,在 I 和 III 象限将产生左手圆极化波,在 II 和 IV 象限将辐射右手圆极化波<sup>[6-7]</sup>.其轴比(Axial Ratio,其量值记  $R_A$ ,单位 dB)特性可以表示为

$$R_A = 20 | \log_{10} | \tan \theta | | . \quad (1)$$

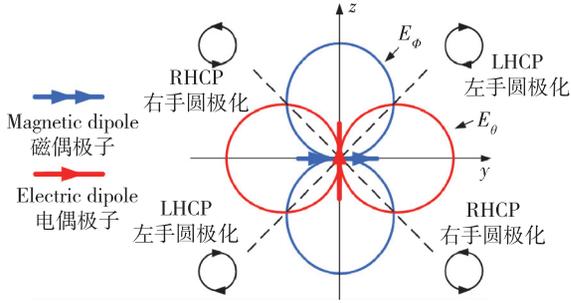


图2 正交的互补偶极子产生圆极化

Fig. 2 Circular polarization realized by orthogonally oriented complementary dipoles

为了验证理论分析的可行性,图3给出了正交型的互补偶极子天线结构.它由蝴蝶结偶极子和一个弧形结构组成.弧形结构连接偶极子的两端,从而形成一个环结构天线<sup>[8]</sup>.该天线工作在 2.4 GHz,所用介质材料为空气介质.通过仿真可以发现,圆极化特性的产生取决于偶极子的张角大小.当张角等于  $120^\circ$  时,在对称轴方向上的轴比特性都低于 3 dB,与理论分析结果非常吻合.

## 2 圆极化倾斜波束天线结构与测量结果

图4给出了相应的倾斜波束圆极化天线.为了实现具有倾斜角辐射特性,引入 L 型的反射板结构.该天线结构还包括一个扇形的单极子、短路钉和正方形的寄生单元.短路钉连接单极子的一个角和 L 型反射板的水平部分,从而形成一个环路结构.寄生单元为正方形(边长为  $G$ ),主要用于改善天线的阻抗匹配特性<sup>[9]</sup>.

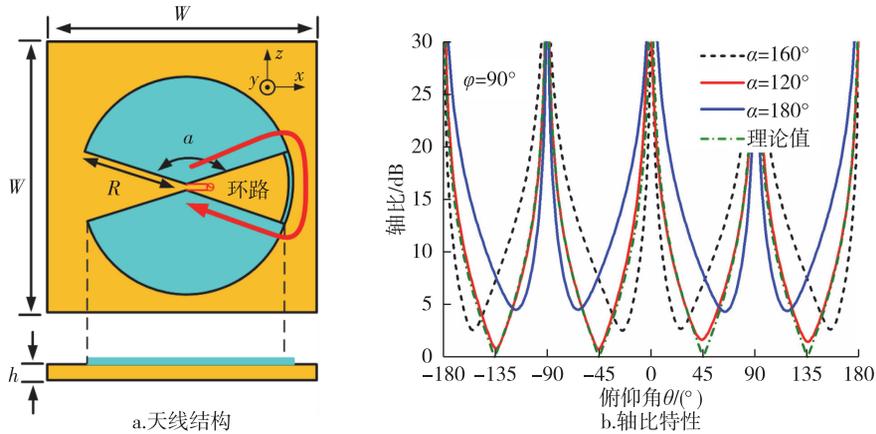


图3 正交的互补偶极子天线 ( $W = 50 \text{ mm}, h = 1 \text{ mm}, R \approx 0.25\lambda, \alpha = 120^\circ$ )

Fig. 3 Proposed orthogonally oriented complementary dipoles antenna ( $W = 50 \text{ mm}, h = 1 \text{ mm}, R \approx 0.25\lambda, \alpha = 120^\circ$ )

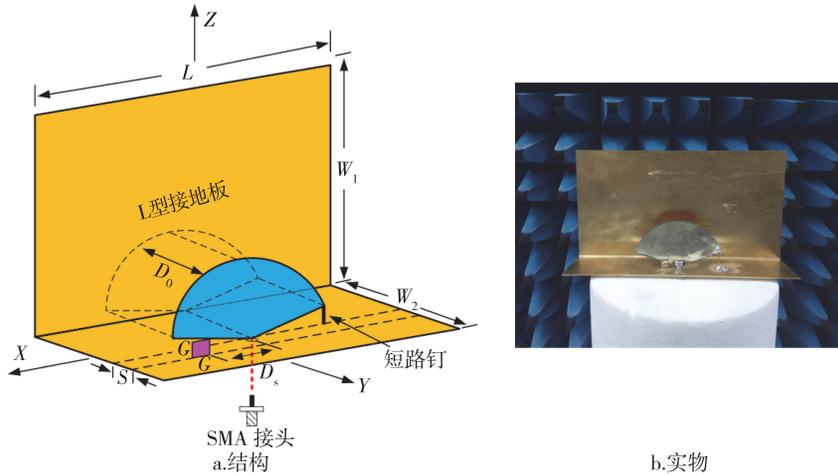


图4 具有倾斜辐射波束的圆极化互补偶极子天线<sup>[7]</sup>

Fig. 4 Proposed orthogonally oriented complementary dipoles antenna with tilted beam<sup>[7]</sup>

为了实现紧凑型的结构,针对 L 型接地板的垂直部分进行了相应的分析.如图 5 所示,当接地板的边长从 60 mm 增加到 180 mm 时,天线的最大增益增幅明显.超过 180 mm 时,则变化不大.另一方面,接地板的大小同样影响天线的阻抗带宽特性.如图所示,当接地板的大小从 60 mm 增加到 160 mm 时,阻抗带宽也逐渐变宽,接近 50%.而继续增加接地板的大小,对带宽的影响不大.此外,如果接地板的尺寸较小,比如小于 100 mm×100 mm,该天线的后背辐射较大,影响天线辐射的前后比特性.

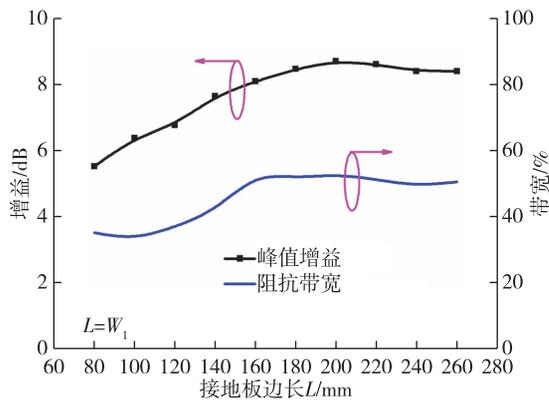


图 5 接地板尺寸对天线性能的影响

Fig. 5 Effect of size of ground plane on the performances of proposed antenna

最后,在仿真优化设计的基础上对天线的样品进行加工与测试.图 6 给出了天线的阻抗特性和辐射特性,从测试的结果可以看到实测的结果跟仿真结果十分接近.该天线具有接近 47%的阻抗带宽和 6%的轴比带宽.从图 6c 中还可以观察到,该天线具有固有的倾斜辐射特性,最大的辐射增益发生在  $\theta=60^\circ$  的方向上.同时,该天线能够实现接近 8 dB 的最大增益.此外,表 1 给出了与其他圆极化倾斜波束天线的性能对比.从比较的结果中可以得出,所提出的设计方法可以有效地实现圆极化倾斜波束类型天线的小型化设计.

表 1 天线性能比较

Table 1 Figure of merits comparison

参考文献	天线类型	尺寸大小 (长×宽×高)	增益/ dB
[1]	螺旋结构类型天线	15.60λ×0.27λ(直径×高)	9.10
[3]		9λ×9λ×0.25λ	8.40
[4]		2.06λ×2.19λ(直径×高)	6.50
[5]		11.53λ×0.39λ(直径×高)	9.00
本文工作	互补源天线	1.43λ×0.75λ×0.38λ	7.97

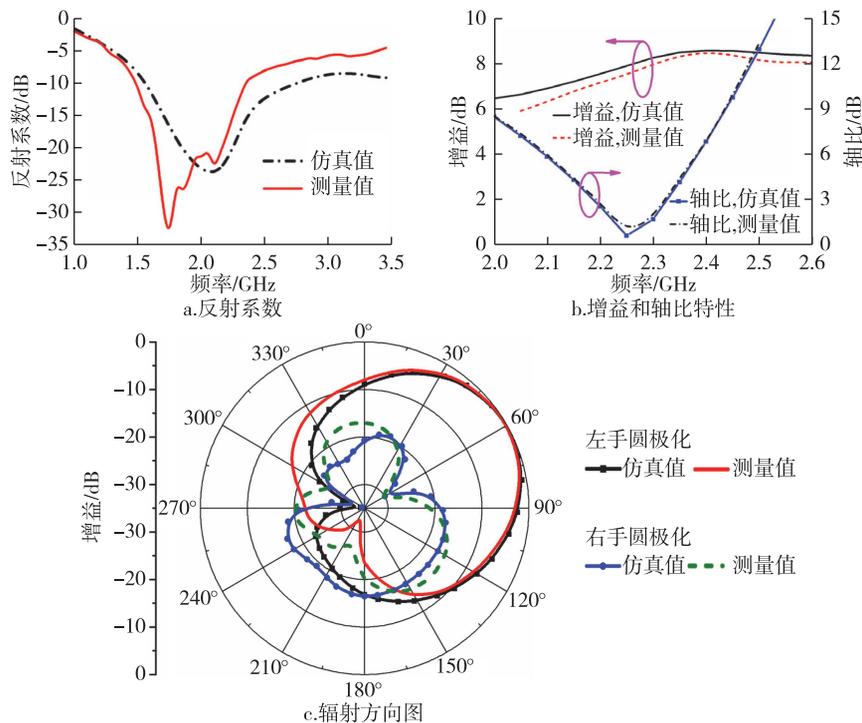


图 6 天线的测量结果

Fig. 6 Experimental results of proposed tilted beam antenna:

(a) reflection coefficient; (b) radiation gain and axial ratio property; (c) radiation pattern

### 3 结束语

本文提出一种具有紧凑型结构的倾斜圆极化辐射波束天线.理论分析和实验结果都表明,通过使用一对正交的互补偶极子天线,可以在俯仰面上的倾角范围内实现圆极化.相较于传统的设计方法,本文提出的方案更适用于小型化设计的需求,并且具有结构简单、易于加工制作和辐射特性稳定等优点.

### 参考文献

#### References

- [ 1 ] Nakano H, Aso N, Mizobe N, et al. Low-profile composite helical-spiral antenna for a circularly-polarized tilted beam[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2011, 59(7) : 2710-2713
- [ 2 ] Dadgarpour A, Zarghooni B, Virdee B S, et al. Beam tilting antenna using integrated metamaterial loading[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2014, 62(5) : 2874-2879
- [ 3 ] Nakano H, Okabe Y, Mimaki H, et al. A monofilar spiral antenna excited through a helical wire[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2003, 51(3) : 661-664
- [ 4 ] Zhang T L, Yang X Q, Fei D L, et al. Single-arm helical antenna with width of arm varying periodically for tilted beam[J]. Electronics Letters, 2015, 51(10) : 736-738
- [ 5 ] Nakano H, Kirita S, Mizobe N, et al. External-excitation curl antenna [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2011, 59(11) : 3969-3977
- [ 6 ] Kraus J D, Marhefka R J. Antennas: for all applications [M]. 3rd ed. New York, USA: McGraw-Hill, 2003
- [ 7 ] Zhang W H, Lu W J, Tam K W. Circularly polarized complementary antenna with tilted beam based on orthogonal dipoles [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2018, 17(8) : 1406-1410
- [ 8 ] Lu W J, Liu G M, Tong K F, et al. Dual-band loop-dipole composite unidirectional antenna for broadband wireless communications[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2014, 62(5) : 2860-2866
- [ 9 ] Zhang W H, Lu W J, Tam K W. Design of circularly polarized conical RFID reader antenna based on natural boundary conditions [J]. IEEE Journal of Radio Frequency Identification, 2018, 2(2) : 104-110

## Theory of complementary source and its application to compact circularly polarized tilted beam antenna

ZHANG Wenhai<sup>1,2</sup> XUE Quan<sup>2</sup> LÜ Wenjun<sup>3</sup> TAM Kam Weng<sup>1</sup>

1 Faculty of Science and Technology, University of Macau, Macao SAR 999078

2 School of Electric and Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641

3 Jiangsu Key Laboratory of Wireless Communications, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003

**Abstract** In this research study, a compact circularly polarized antenna with a tilted beam is proposed on the basis of a pair of orthogonally oriented complementary dipoles. The proof-of-concept demonstrates that the proposed antenna mainly consists of a planar sectorial monopole antenna, shorting pin, and L-shaped ground plane. The shorting pin connects the monopole and the horizontal part of the ground plane to realize a loop antenna. Experimental results show that a maximum radiation gain occurs at the direction of  $\theta = 60^\circ$ ,  $\varphi = 90^\circ$ , and an axial ratio at values lower than 3 dB is approximately 6.2%. More importantly, by comparing the proposed antenna with existing circularly polarized tilted beam counterparts, it can be seen that the proposed one is more compact, which fulfills the requirement of miniaturization.

**Key words** complementary source; circularly polarized antenna; compact size; tilted radiation pattern