

用于产生 OAM 涡旋光束的圆极化正八边环形贴片天线

陈思宇,黄 铭

(云南大学 信息学院,昆明 650500)

摘要:针对目前已有的轨道角动量(OAM)的生成方法的不足,设计了一种能够产生多个 OAM 拓扑荷的圆极化正八边环形贴片天线,对该天线的回波损耗、二维增益方向、三维增益方向和空间辐射相位分布等性能指标进行了仿真研究,仿真结果表明各项性能指标符合要求。

关键词:无线通信;量子通信;轨道角动量;涡旋光束;正八边环形贴片天线

中图分类号:TN827+.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-5561(2019)05-0019-03

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2019.05.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Circularly polarized orthogonal octagonal ring patch antenna for generating OAM vortex beams

CHEN Siyu, HUANG Ming

(School of Information Science and Engineering, Yunnan University, Kunming 650500, China)

Abstract: In view of the shortcomings of the existing methods for generating orbital angular momentum (OAM), this paper proposes an circularly polarized regular octagon ring patch antenna that can generate multiple OAM topological charges. The performance indexes such as return loss, two-dimensional radiation pattern, three-dimensional radiation pattern and spatial radiation phase distribution of the antenna are simulated and studied. The simulation results show that the performance indexes meet the requirements.

Key words: wireless communication; quantum communications; OAM; vortex beam; regular octagon ring patch antenna

0 引言

近年来,日益增长的带宽需求和有限的频谱资源之间的矛盾变得越来越突出,通信系统的容量可能达到一定的饱和水平^[1,2],在有限的频谱资源下提升频谱利用率变得尤为重要。轨道角动量(OAM)作为一种新兴技术,引起了国内外专家及学者的广泛关注,如何利用携带有 OAM 的涡旋电磁波来提高频谱利用率,成了无线通信领域最新的研究热点^[3-5]。目前,不同的 OAM 涡旋光束的生成方法相继提出,比如螺旋相位板、天线阵列等。然而,这些方法要么结构相对复

投稿日期:2018-06-28。

基金项目:国家自然科学基金项目(批准号:61461052)资助。

作者简介:陈思宇(1992-),男,汉族,硕士研究生,研究方向为电磁场方向下的轨道角动量的生成、微波射频器件和天线等,擅长微波射频硬件(包括天线的设计、仿真及优化调试),科研成果主要为各类微带贴片天线、天线阵列和表面结构等。



杂,要么制作成本较高,技术难度超出现有生产技术水平而无法做出实物理器件,探寻能够产生 OAM 涡旋电磁波的简单有效的新方法,对基于 OAM 的无线通信系统的研究具有非常重要的意义。本文设计一种用于产生 OAM 涡旋光束的圆极化正八边环形贴片天线,该天线采用了正八边环形辐射贴片结构和特殊的馈电方式,能产生具有多个 OAM 拓扑荷的涡旋光束。

1 正八边环形贴片天线的基本原理与结构设计

本文所提出的正八边环形贴片天线整体结构,主要由一块正八边环形辐射贴片和接地金属面分别放置于一块介质基板的上下两侧。要实现圆极化的一个经典方法是在一块辐射贴片上用正交馈电(2个等幅但相位差为 90°的馈电点)来激励,通过适当调整 2 个馈电点的相对方位夹角进而可以得到圆极化模式。

天线的总体几何结构如图 1 所示,馈电方式是本设计的一个非常重要的部分,为了产生 OAM 涡旋光

陈思宇,黄铭;用于产生 OAM 涡旋光束的圆极化正八边环形贴片天线

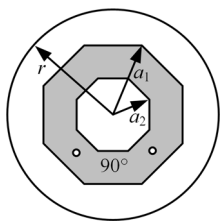


图 1 天线几何结构图

束,馈电方式采用同轴线正交馈电,2 个馈电点的相对方位角的理论推导值为 90° ,与仿真结果相符。与此同时,在仿真过程中,同样还试验了 2 个馈电点间的相对方位角其它不同值。在不改变天线整体结构形状、介质基板尺寸和辐射贴片内外径尺寸的情况下,目前并不能产生更低或更多拓扑荷的 OAM,只有在 90° 的情况下才能够产生 OAM,此时拓扑荷为 3。

天线被设计工作在 4.2GHz 频率点附近,辐射贴片和接地金属面分别放置于一块介质基板(材料为 FR4,相对介电常数为 4.4,损耗角正切为 0.02)的上下两侧。天线的具体尺寸参数为:正八边环形贴片的外接圆半径和内侧外接圆半径分别为 $a_1=18\text{mm}$ 、 $a_2=6.7\text{mm}$,介质基板的半径及厚度分别为 $r=50.0\text{mm}$ 、 $h=1.7\text{mm}$,2 个馈电点之间的夹角为 90° ,且 2 个馈电相位差为 90° (或 -90°)。本设计采用新颖的正八边环形辐射贴片并结合特殊的馈电方式,使天线整体结构更加紧凑和小巧。

2 正八边环形贴片天线的性能仿真结果及分析

我们使用 Ansoft 公司推出的全波三维电磁仿真软件 Ansoft HFSS 对所提出的天线的远场辐射特性进行模拟仿真,选择 50Ω 的阻抗匹配可以较好地减少每个同轴馈电端口中的能量反射(即回波损耗),并将 2 个馈电端口的功率均设置为 1W 。以下分别从正八边环形贴片天线的回波损耗、二维增益方向图、三维增益方向图和空间辐射相位分布等方面来考察天线的性能指标。

2.1 回波损耗

正八边环形贴片天线的 2 个馈电点的回波损耗即 S 参数(S_{11} 、 S_{22} 、 S_{33} 、 S_{44})反映馈电情况分别如图 2、图 3 所示。

从图 2、图 3 可以看出,2 个馈电端口的谐振频率

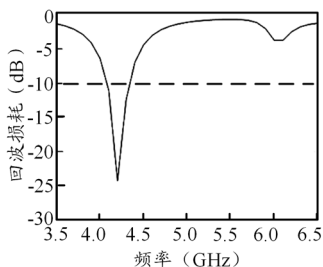


图 2 S_{11} 、 S_{22} 参数反映馈电情况

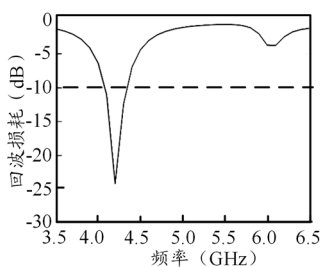


图 3 S_{33} 、 S_{44} 参数反映馈电情况

均在 4.2GHz 频点附近且回波损耗均小于 -20dB ,有效带宽均达到至少 0.4GHz 左右,体现了良好的带宽性,这说明辐射贴片都达到了良好的阻抗匹配和能量输入。

2.2 二维增益方向图

天线的 E 面和 H 面的二维增益方向图分别如图 4、图 5 所示。方向图的覆盖面形状基本达到比较好的结果,但 E 面和 H 面的二维增益方向图相对不太均匀,造成这种结果的原因是由于整个辐射贴片的 2 个馈电点的位置相对于对称轴 Z 轴不是中心对称分布以及存在馈电相位差而造成的。

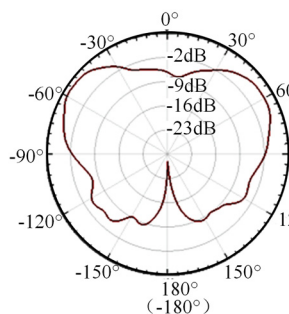


图 4 E 面二维增益方向图

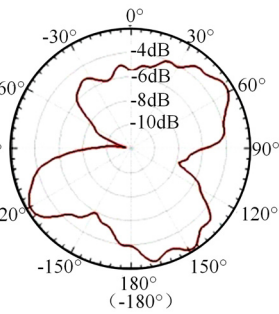


图 5 H 面二维增益方向图

2.3 三维增益方向图

天线的三维增益方向图如图 6 所示。可以看出,正八边环形贴片天线的增益结果比较好,辐射比较均匀,故本设计是可适用于实际应用的。

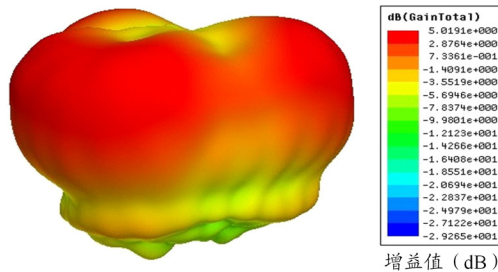


图 6 三维增益方向图

2.4 空间辐射相位分布

天线的空间辐射相位分布是 OAM 最重要的特性之一,也是本设计的重要性能指标之一。只要该正八边环形贴片天线向空间所辐射出的电磁波在空间中具有螺旋相位分布,那么就可以认为电磁波携带有 OAM。天线的空间辐射相位分布如图 7 所示(左侧)。为了清晰地显示并观测所产生的涡旋光束在空间中的螺旋相位分布,本文在模拟仿真时设置了一个尺寸为 $200\text{mm}\times 200\text{mm}$ 的平面,该平面平行于天线,位于天线表面正上方 100mm 处。

从图 7(左侧)可以看出,天线成功地生成了拓扑

荷为+3的OAM涡旋光束。在垂直于辐射波传播方向的平面上,每2个拓扑荷之间的相位差均达到了 360° ,这一结果显示了相位螺旋角随空间方位角的变化,意味着所生成的3个OAM拓扑荷都是良好的,即说明本文提出的正八边环形贴片天线可以很好地产生OAM,3种独立的拓扑荷之间相互正交,可分别独立用于多路复用、信道的调制和信息传输。另外,若将贴片的2个馈电相位差由 90° 改为 -90° 时,又可产生拓扑荷为-3的涡旋光束,此时的空间辐射相位分布如图7所示(右侧)。

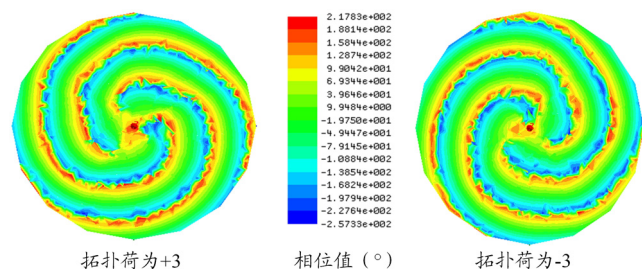


图7 空间辐射相位分布

为了更好地体现本设计的优点、创新及优越性,现选取一种可产生OAM的天线阵列的方式进行简要介绍。我们提出了一种正八边环形贴片天线阵列,如图8所示,其由8个辐射贴片通过围绕同心等径向距离均匀分布于中心四周并由微带线馈电,8个辐射贴片的馈电幅度

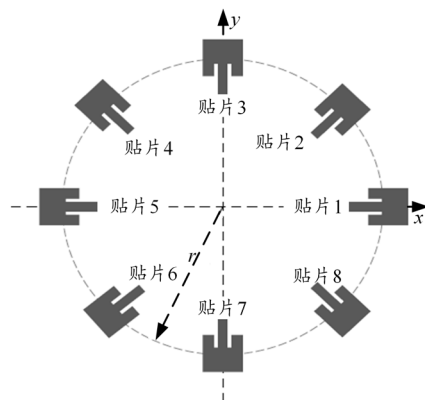


图8 贴片天线阵列几何结构图

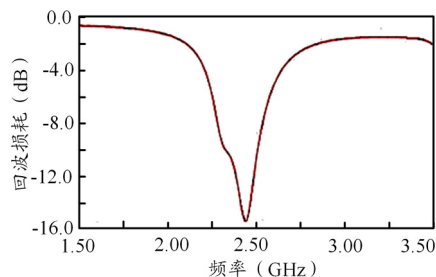


图9 贴片天线阵列回波损耗

相同但相位差依次相差 135° ,进而一整个圆周的总相位差达到了 $135^\circ \times 8$ 。该贴片天线阵列最终可产生拓扑荷为3的模式。这种生成OAM的方法通过控制多个辐射贴片的馈电各自产生特定相位差的辐射波进而达到总的辐射波在空间中一周具有 $360^\circ \times 3$ 的相位

差 10° ,回波损耗、空间辐射相位分布分别如图9、图10所示,贴片天线的有效带宽更宽、相位分布显然更加完整规则、层次更加清晰分明。因此,该天线在实际应用方面具有更大的容量和潜力,2个馈电点相较于8个甚至更多的馈电点对于实际工程应用来说大大降低了冗余复杂和经济成本。

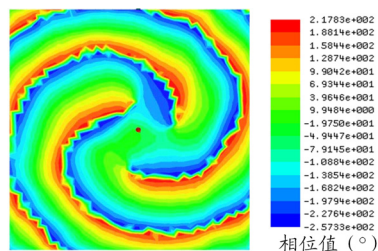


图10 贴片天线阵列空间辐射相位分布

3 结束语

本文设计出了一种正八边环形贴片天线,所采用的正八边环形辐射贴片由2个特定的相对方位角激励来正交馈电,当贴片的馈电相位差为 90° 或 -90° 时,可分别产生具有拓扑荷为+3或者-3的OAM的涡旋光束。本设计优化了天线的谐振特性,使天线的结构尺寸更加小巧简易,在未来可以应用于基于OAM的通信系统尤其是量子通信当中。

参考文献:

- [1] YOON U. Baseband DSP/FPGA for beamspace MIMO RF antenna at LTE-A communication[J]. ResearchGate, 2016, 11(9): 599–600.
- [2] MICHELE T, CHRISTOPHE C, JULIEN P-C. Reply to comment on "Encoding many channels on the same frequency through radio vorticity: First experimental test"[J]. New Journal of Physics, 2013, 15(11): 78001–78004.
- [3] THIDE B, THEN H, SJOHOLM J, et al. Utilization of photon orbital angular momentum in the low-frequency radio domain[J]. Physical Review Letters, 2007, 99(8): 087701–087702.
- [4] HUI X N, ZHENG S, HU Y P, et al. Ultralow reflectivity spiral phase plate for generation of millimeter-wave OAM beam[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2014(14): 966–969.
- [5] MARI E, SPINELLO F, OLDONI M, et al. Near-field experimental verification of separation of OAM channels [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2015(14): 556–558.
- [6] ZHANG Y M, LI J L. Comments on "Radial Uniform Circular Array Antenna for Dual-mode OAM Communication" [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2018, 17(4): 719–721.
- [7] MIRKO B, FABRIZIO T, FILIBERTO B, et al. Circular Polarized Patch Antenna Generating Orbital Angular Momentum [J]. Progress in Electromagnetics Research, 2014(148): 23–30.
- [8] 段宝岩,王猛. 微波天线多场耦合理论模型与多学科优化设计的研究[J]. 电子学报, 2013, 41(10): 2051–2060.
- [9] 党唯冀,朱永忠,余阳,等. 无线通信中的轨道角动量天线综述[J]. 电子技术应用, 2013, 43(6): 33–36.