

DOI:10.19651/j.cnki.emt.1802373

24 GHz 平面宽波束阵列天线设计*

高飞龙 冯菊 廖成 郑艳

(西南交通大学 物理科学与技术学院 成都 610031)

摘要: 为满足车载毫米波雷达系统在盲区探测、防撞预警等应用场景时宽视场角的需求,设计了一款平面宽波束微带阵列天线。采用平面微带天线作为基本辐射单元组成3元阵列,提高天线增益。阵列天线采用背馈式同轴馈电,通过特定的馈电网络,使天线三个阵元的馈电功率之比为0.5:1:0.5,提高天线增益的同时抑制副瓣电平。并在平面天线的基础上添加寄生单元和开槽结构,进一步拓宽了天线的波束宽度,改善了天线的阻抗匹配性能。天线使用三维电磁仿真软件HFSS仿真验证,仿真结果表明该天线可工作于22.4~25.8 GHz,E面和H面3 dB波束宽度分别为49°和81°,天线最大增益为9.4 dB,第1副瓣电平小于-20 dB。天线整体尺寸为17.5 mm×11.9 mm×1.308 mm,便于平面化应用和设备的小型化,有一定参考应用价值。

关键词: 车载毫米波雷达;宽波束;阵列天线;小型化;宽视场角

中图分类号: TN82 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1025

Design of planar antenna array with broad beamwidth at 24 GHz

Gao Feilong Feng Ju Liao Cheng Zheng Yan

(School of Physical Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: In order to realize the requirement of wide field of view (FOV) when used to blind zone exploration, collision warning and so on for Vehicle-borne millimeter wave radar system, a broad beamwidth micro-strip antenna array was designed. The planar micro-strip antenna was used for basic radiating element. Antenna array was formed with 3 element to improve the gain. Antenna array was back fed with coaxial cable. With specific feed network, made the ratio of feed power was 0.5:1:0.5, which improved the gain and suppress the sidelobe level. In addition, the parasitic element and slot were added to the antenna array, which broaden the beam width and improved the impedance matching performance of the antenna. The antenna was verified by 3-D electromagnetic simulation software HFSS. The simulation results show that the antenna array can work from 22.4 to 25.8 GHz with a maximum gain of 9.4 dB. The first sidelobe level is lower than -20 dB. The E-plane and H-plane half-power beamwidth are 49° and 81°, respectively. The overall size of antenna is 17.5 mm×11.9 mm×1.308 mm. It is useful for planar application and miniaturized of equipment.

Keywords: vehicle-borne millimeter wave radar; broad beamwidth; antenna array; miniaturized; broad FOV

0 引言

随着人们生活水平的提高和汽车工业的发展,车辆已经成为很多家庭的必备工具。而汽车的大量使用和无人驾驶技术的发展也带来了一系列操控和安全问题^[1]。许多汽车设计者选择采用现代电子技术如雷达探测等技术来改善车辆的可操控性和安全性能^[2]。

车载雷达已经成为许多车辆安全系统与控制系统的重要部件,毫米波段由于受恶劣天气影响较小,易于小型化,

具有较高分辨率,因而被广泛应用于车载雷达系统^[3]。而天线作为雷达系统的射频前端,其性能影响着整个系统,故而对车载雷达天线的研究有着重要意义^[4]。

车载毫米波雷达的探测距离和视场角(field of view, FOV)通常需要权衡设计,如自适应巡航,雷达测距就要求天线具有高增益、窄波束的特点^[5-6]。而在视野盲区探测、倒车碰撞预警、行人检测等应用中,需要雷达具备足够的FOV以检测较大视野范围的目标以避免事故发生^[7]。文献^[7]中提出的宽波束雷达阵列天线,采用平面线性排列的

收稿日期:2018-11-28

* 基金项目:国家自然科学基金(61771407)项目资助

排列结构,横向尺寸较大,波束宽度为 35° ,在实际应用的一些场景中FOV偏小。文献[8]中给出的24 GHz宽波束圆极化阵列天线采用平面线性结构实现宽波束,但其E面半功率波束宽度较窄,且天线整体尺寸较大,为 $70.94\text{ mm}\times 14.72\text{ mm}\times 0.508\text{ mm}$,不利于天线的小型化。文献[9-12]单天线实现宽波束性能的天线结构和方法,而本文则研究了阵列天线的宽波束实现方法。

本文首先提出了一款工作于24 GHz的宽波束微带阵列天线,通过合理的馈电网络设计和激励控制,可使天线达到E面 39° 、H面 70° 的半功率波束宽度。并在此基础上通过添加寄生贴片和开槽结构,进一步拓宽了该天线波束宽度,实现了E面 49° 、H面 81° 的半功率波束宽度,天线匹配良好, -10 dB 带宽可达 $22.4\sim 25.8\text{ GHz}$,天线采用三元结构,总体尺寸较小,便于电路集成和设备小型化,有一定参考应用价值。

1 微带宽波束阵列天线设计

本文所设计的平面宽波束天线主要用于汽车辅助驾驶系统中的盲区探测等场景,驾驶汽车时的视野盲区如图1所示,宽波束雷达探测设备的应用场景如图2所示。

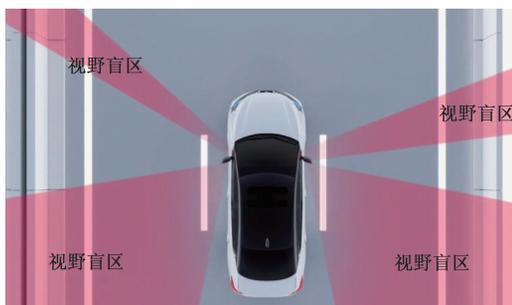


图1 驾驶车辆时的视野盲区示意图

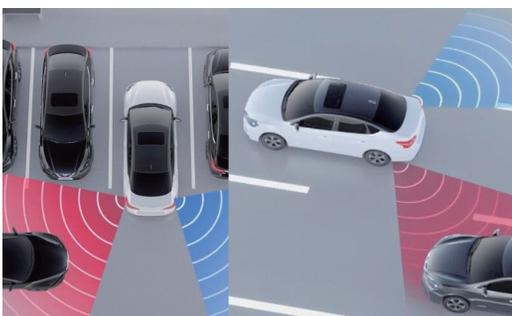


图2 宽波束探测雷达应用场景

为降低阵列天线整体的复杂度,便于组成阵列,本文选用平面矩形微带天线作为基本辐射单元。在HFSS中设计仿真了矩形贴片单元,根据天线工作的频率和介质材料的特性,计算单元天线的长和宽,计算公式由式(1)~(4)给出。通过在贴片上开槽的方法能够方便的调整贴片单元的

阻抗匹配。天线的谐振阻抗随着开槽的深度和宽度的增大而下降,而天线的谐振频率则随着槽深度的增大和宽度的减小而有所下降^[13],故可以通过调节槽宽、槽深来调整匹配特性。

本文采用相对介电常数为2.2,厚度为0.508 mm的Rogers RT5880介质基板。贴片单元的宽度 W 的计算公式为:

$$W = \frac{c}{2f_r} \left(\frac{\epsilon_r}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

式中: f_r 为谐振频率; ϵ_r 为相对介电常数。若介质板的厚度为 h ,贴片单元的长度 L 的计算公式为:

$$L = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta L \quad (2)$$

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{w} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$\Delta L = 0.412 h \frac{(\epsilon_e + 0.3)(w/h + 0.264)}{(\epsilon_e - 0.258)(w/h + 0.8)} \quad (4)$$

由于单个贴片在增益较低且波束宽度有限,因此确定了单元天线的结构尺寸之后,采用组阵的方式来提高天线的增益,拓宽波束宽度。本文采用常见的平面阵列结构,采用E面组阵的方式,方便阵列排布和馈电网络的设计。在阵元数量的确定上,考虑汽车宽波束雷达探测天线的增益需求、拓宽天线波束宽度的需要、天线总体尺寸的增加和增加阵元带来的成本增加等因素,本文采用3个天线单元来组阵设计。

由于阵元数量为奇数,本文设计了一个E型馈电网络,对3个阵元采用同相非同幅馈电,3个单元的馈电功率之比为 $0.5:1:0.5$ 。分配较大功率至中间单元,降低两侧单元的馈电功率。这种结构的馈电网络设计可在提高阵列天线增益的同时,抑制副瓣电平的产生^[14-15]。阵元间距初步确定在 $0.4\lambda_0 \sim \lambda_0$ 之间,再优化调整。综合设计后的三元微带阵列天线平面结构如图3所示。

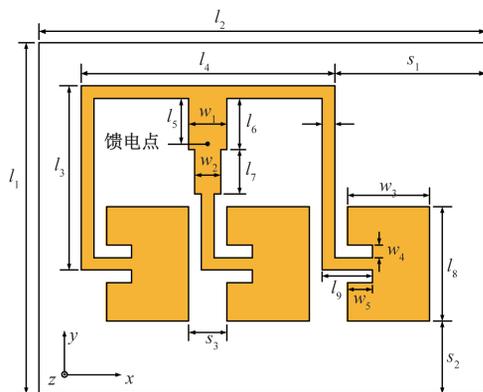


图3 阵列天线模型

阵列天线模型图中各参数如表1所示。

天线采用背馈式同轴馈电,通过控制馈电点位置及馈

表 1 天线结构参数(单位:mm)

l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	l_7	l_8	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	s_1	s_2	s_3
11.9	17.5	7.635	10.57	1.92	2.4	2.28	4.87	1.47	0.81	3.8	0.5	0.9	5.025	0.685	1.7

电点到每个贴片相同的有效电长度保证各贴片单元同相馈电。在馈电点与中间单元之间添加了 $\lambda/4$ 阻抗变换器改善天线的匹配性能,天线的 S_{11} 仿真结果如图 4 所示。

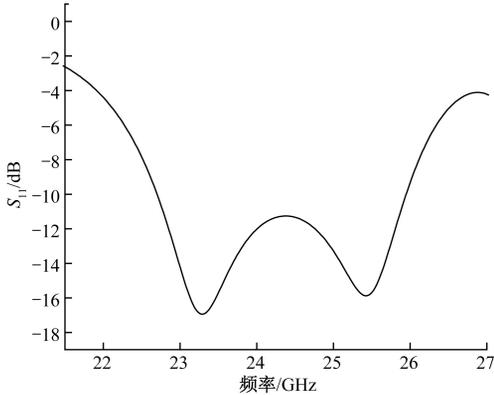


图 4 天线 S_{11} 仿真结果

由天线 S_{11} 仿真结果,该阵列天线的 -10 dB 带宽为 22.70~25.84 GHz,相对带宽为 13.5%。天线的增益仿真结果如图 5 所示,仿真结果显示,该天线的 E 面和 H 面的 3 dB 波束宽度分别为 39° 和 72° ,最大增益为 11 dB,第 1 副瓣电平小于 -20 dB。

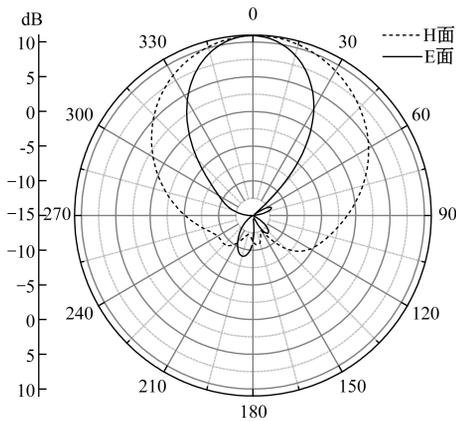


图 5 天线增益仿真结果

2 微带阵列天线的改进研究

在三元平面宽波束阵列天线的基础上,本文继续研究了优化该天线性能的方法。在设计馈电网络时为了避免产生较大旁瓣,天线分配了较大功率至中间贴片单元,天线的主要能量辐射也来自于中间单元,两侧贴片的辐射能量较弱,不利于拓宽天线波束。本文在两侧辐射贴片正上方各添加了一个寄生贴片,用于集中天线两侧贴片的辐射

能量,合理控制寄生单元的尺寸和位置,可以拓宽该天线的波束宽度且控制副瓣电平。寄生单元几何中心的位置位于贴片几何中心(未开槽时的矩形几何中心)的正上方,中间采用射频泡沫做支撑材料。并且通过在中心贴片单元上开槽的方式优化了天线的辐射特性,在中间贴片单元上添加了 3 个开槽,其中上下两侧中心各开了一个相互对称的矩形槽,贴片右侧中心位置一个。天线几何结构和相关尺寸如图 6 所示。除寄生贴片和开槽结构之外,天线其他结构不变。

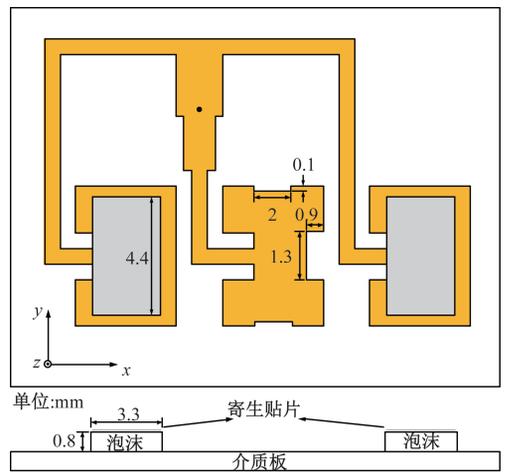


图 6 改进后的天线结构

改进后的天线 S_{11} 仿真结果如图 7 所示,天线在添加寄生单元和开槽之后,其阻抗匹配特性有明显改善。改进后的天线的 -10 dB 带宽为 22.3~25.8 GHz。

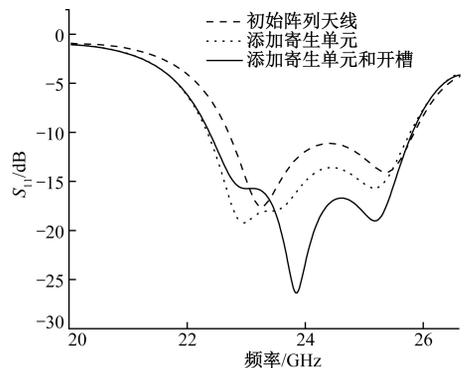


图 7 改进后的天线 S_{11} 仿真结果

天线的 E 面和 H 面辐射方向图如图 8 和 9 所示。

由改进后的天线增益方向图仿真结果,天线在 E 面的 3 dB 波束宽度原本为 39° ,仅添加寄生单元后拓宽至 47° ,

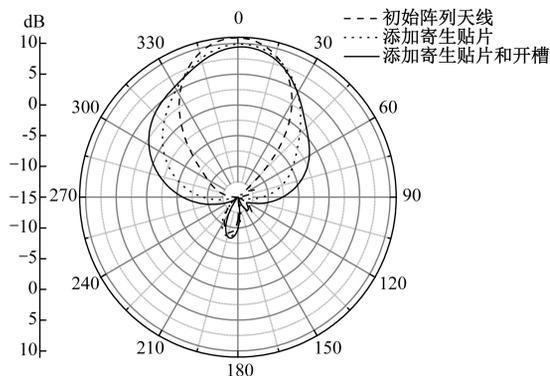


图8 改进后天线的E面辐射方向图

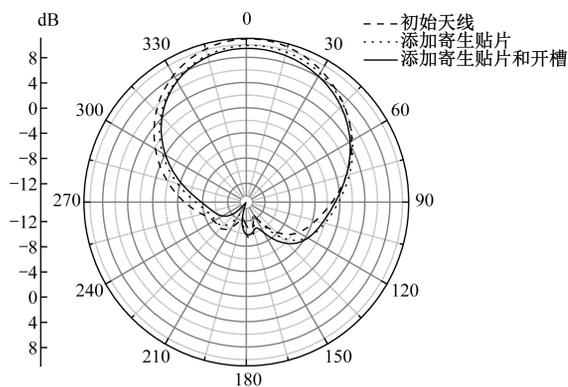


图9 改进后天线的H面辐射方向图

同时添加寄生贴片和开槽结构之后拓宽至 49° ,天线的E面波束宽度拓宽了 10° 。天线在H面的3 dB波束宽度原本为 72° ,仅添加寄生单元后拓宽至 79° ,同时添加寄生贴片和开槽结构之后拓宽至 81° ,天线的H面波束宽度拓宽了 9° 。在拓宽天线波束宽度的同时,天线增益自然也会相应的下降,添加了寄生贴片和开槽结构之后的天线最大增益为9.4 dB。

3 结 论

本文首先设计了一款工作于24 GHz的宽波束阵列天线。利用矩形辐射贴片组成三元阵列。通过合适的阵元间距和馈电网络设计,可使天线产生较宽的波束宽度。并在此基础上通过添加寄生贴片和开槽结构,改善了天线匹配,拓宽了波束宽度,使天线的E面和H面波束宽度均拓宽了 10° 左右。本文采用的拓宽天线波束的方法对于平面宽波束天线的设计有一定参考价值,设计的平面宽波束天线结构简单、辐射性能稳定、尺寸较小,有利于电路集成和设备小型化趋势^[16],在汽车雷达盲区探测等应用领域有一定实用参考价值。

参考文献

- [1] 徐扬.毫米波雷达微带阵列天线的研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2015.
- [2] 宋惠轩.24 GHz车载雷达成射频前端设计[D].西安:西安电子科技大学,2014.
- [3] 王坤鹏.车载毫米波防撞雷达天线的研究与设计[D].西安:西安电子科技大学,2011.
- [4] 郝宏刚,周小川.一种新型混合馈电24 GHz车载雷达阵列天线设计[J].微波学报,2018,34(3):48-51.
- [5] 孙元,胡欣,廖鹏,等.24 GHz微带阵列天线设计与实现[J].太赫兹科学与电子信息学报,2017,15(4):640-645.
- [6] 王绍龙,王伟,何小祥,等.24 GHz小型化低副瓣微带天线阵设计[J].微波学报,2014,30(S1):302-304.
- [7] 张慧,余英瑞,徐俊,等.77 GHz车载毫米波中远距雷达天线阵列设计[J].强激光与粒子束,2017,29(10):52-55.
- [8] 左全河,耿友林.24 GHz宽波束阵列天线的设计[J].强激光与粒子束,2018,30(2):58-61.
- [9] ZHANG F, ZHANG F S, ZHAO G, et al. A loaded wideband linearly tapered slot antenna with broad beamwidth [J]. IEEE Antenna Wireless Propagation Lett, 2011, 10: 79-82.
- [10] KO S T, LEE J H. Hybrid zeroth-order resonance patch antenna with broad e-plane beamwidth [J]. IEEE Trans Antenna Propagation, 2013, 61(1): 19-25.
- [11] LIU Z Q, ZHANG Y S, QIAN Z P, et al. A novel broad beamwidth conformal antenna on unmanned aerial vehicle [J]. IEEE Antenna Wireless Propagation Lett, 2012, 11: 196-199.
- [12] 叶喜红,何芒,周平源.宽带宽波束圆极化微带八木天线[J].电波科学学报,2015,30(4):759-763.
- [13] 李恒城,敬守钊.24GHz微带贴片天线阵的仿真与设计[J].微波学报,2010,26(S2):211-214.
- [14] 李亚靖,孙浩,杨雪霞,等.带CSRR结构的28 GHz微带阵列天线[J].电子测量技术,2018,41(18):80-84.
- [15] 张奥运.车载雷达低副瓣阵列天线设计[D].合肥:安徽大学,2018.
- [16] 汪意焯.24GHz汽车防撞雷达系统的研究与实现[D].成都:电子科技大学,2018.

作者简介

高飞龙,1991年出生,硕士研究生,主要研究方向为天线理论与技术。

E-mail:651212823@qq.com