

星载高增益圆极化小型微带天线阵列

金宇婷,邢斯瑞,孙伟

(长光卫星技术有限公司,吉林 长春 130000)

摘要: 针对卫星 X 波段通信系统的需求,设计一种新型星载高增益圆极化小型微带天线阵列。新型微带方形贴片单元采用侧馈的馈电方式,利用切角技术实现圆极化,开槽技术实现小型化,天线阵列采用多层馈电网络实现阻抗匹配,圆形分布实现阵列小型化和辐射性能最优化。通过电磁仿真软件仿真优化天线阵列,结果表明:在中心频点 8.2 GHz 处回波损耗小于-25 dB,10 dB 带宽为 2.6%,增益为 16.2 dB,半功率波瓣宽度为 23.6°,轴比为 1.65 dB。经加工测试结果与仿真结果基本一致。该天线对 X 波段无线通信系统设计有一定指导意义。

关键词: 高增益;圆极化;小型化;微带天线阵列

中图分类号: TN82

文献标识码: A

DOI:10.16157/j.issn.0258-7998.191121

中文引用格式: 金宇婷,邢斯瑞,孙伟. 星载高增益圆极化小型微带天线阵列[J]. 电子技术应用, 2020, 46(5): 59-62, 73.

英文引用格式: Jin Yuting, Xing Sirui, Sun Wei. Design of small high-gain circularly-polarized microstrip antenna array for satellite communication system[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(5): 59-62, 73.

Design of small high-gain circularly-polarized microstrip antenna array for satellite communication system

Jin Yuting, Xing Sirui, Sun Wei

(Chang Guang Satellite Technology Co., Ltd., Changchun 130000, China)

Abstract: A novel small high-gain circularly polarized microstrip antenna array is designed for satellite X-band communication system. The square antenna cell is fed by side-feed, circular polarization is realized by using corner cutting and miniaturization is realized by slotting technology. Multi-layer feeding network is used for antenna arrays in order to match impedance, the circular distribution of multiple cells achieve good performance including miniaturization of size and optimal radiation performance. Based on the above aspects, an antenna array with 8 microstrip cells is simulated and optimized by simulation software, results show that the antenna array has the return loss under -25 dB at the center frequency 8.2 GHz, the 10 dB-bandwidth of 2.6%, the gain of 16.2 dB, the half-power bandwidth of 23.6°, and the axis ratio of 1.65 dB. The measured results and the simulation results match well. The antenna has certain guiding significance for the design of X-band wireless communication system.

Key words: high-gain; circularly-polarized; miniaturization; microstrip antenna

0 引言

随着科技的迅猛发展,无线通信系统^[1-2]在民用、军用、商业、医疗等各大领域的应用日益广泛。其中各种电磁设备正不断向小型化、高集成度、高性能化发展,以满足系统级的优良性能及不同的功能需求。本文依托吉林一号卫星网络,提出了一款星载 X 波段高增益小型圆极化微带天线阵列,可以满足在中高度轨道上建立稳定的无线通信,以完成吉林一号的图像视频传输任务。因此,天线在其中有着极其重要的地位^[3-6]。

微带天线与其他天线相比^[7-9],具有易集成、低剖面、易共形、易加工、馈电网络便于与辐射体一体化设计、结构紧凑、一致性好、低成本、适合批量生产等优点^[10-13],广泛应用于无线电、通信、广播、电视、雷达、导航、电子对抗、遥感射电天文等多个领域^[14]。圆极化天线的实

用意义主要体现在:(1)圆极化天线可接收任意极化的来波,且其辐射波也可由任意极化天线收到,故卫星通信、电子侦察和干扰中普遍采用圆极化天线;(2)在通信、雷达的极化分集工作和电子对抗等应用中广泛利用圆极化天线的旋向正交性;(3)圆极化波入射到对称目标(如平面、球面等)时旋向逆转,因此圆极化天线应用于移动通信、GPS 等能抑制雨雾干扰和抗多径反射^[15-18]。因此,圆极化微带天线是卫星天线普遍选择的形式。因卫星系统的特殊性,对组成系统或单元的功耗、尺寸大小、性能和工艺等有着较高的标准。目前多数的圆极化微带天线不能同时满足性能(如增益、轴比等)和尺寸大小的要求,因此高性能小型化的微带天线阵列是其不可或缺的重要部件。

本文提出了一款星载 X 波段高增益小型圆极化微

带天线,其单元和阵列的性能都是优良的。本天线工作在X波段,单元采用侧馈设计,在贴片上开槽可以使天线小型化,在辐射贴片上对称切角可以实现圆极化;阵列采用底馈设计,多层馈电网络和圆形阵列排布可以使阵列匹配性能良好和进一步小型化,并且得到较为理想的轴比,相比同性能天线具有更小的尺寸、更好的性能。吉林一号卫星网络包含多颗视频图像卫星,此天线可为其图像视频数据下传提供无线保障,同时也为X波段高增益圆极化小型微带天线阵列提供了一种新的思路。

1 单元结构设计与仿真

1.1 天线单元设计

微带天线是在介质基板上通过光刻或真空镀膜技术形成相当于导带变形的天线辐射单元及其馈电结构。天线阵元采用正方向贴片原型,其边长理论值为:

$$a = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

式中: f 为设计天线的工作频率; ϵ_r 为2.2,是介质基板的相对介电常数; c 为光速。

在上述理论基础上,当微带天线在贴片表面开槽或细缝时,切断了原先的表面电流路径,使电流绕槽边曲折流过而路径变长,贴片等效尺寸相对增加,谐振频率降低,可使天线小型化。本文设计的天线单元即采用此种方法进行小型化。

对微带贴片天线单元进行切角处理,当电磁波流过贴片表面时,因其路径不等,导致辐射电场分量以螺旋式前进,即形成了圆极化波。本文就是利用这一原理实现圆极化。同时采用匹配枝节,调整驻波使其匹配性能良好,介质基板为Rogers RT/duroid 5880,大小为36 mm×36 mm,厚度为0.508 mm,微带天线单元模型如图1所示(为突出天线单元结构,介质基板有截取),具体尺寸如表1所示。

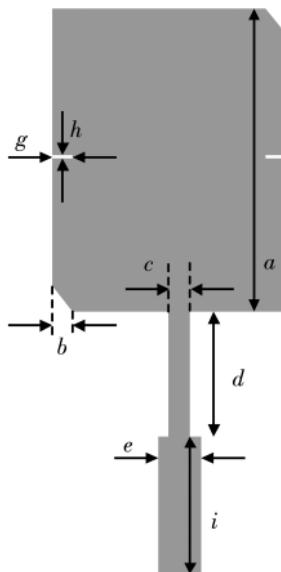


图1 微带天线单元模型图

表1 微带天线尺寸数据

参数	(mm)
a	11.84
b	1.2
c	0.54
d	6.17
e	1.57
g	0.92
h	0.15
i	4

1.2 仿真结果分析

本文采用仿真软件进行建模仿真,具体结果如下。天线单元回波损耗仿真结果如图2所示。由图可知,在谐振频率8.2 GHz处回波损耗S11<-25 dB,10 dB天线带宽为8.097~8.336 GHz,共0.239 GHz,相对带宽为2.9%,匹配性能良好。

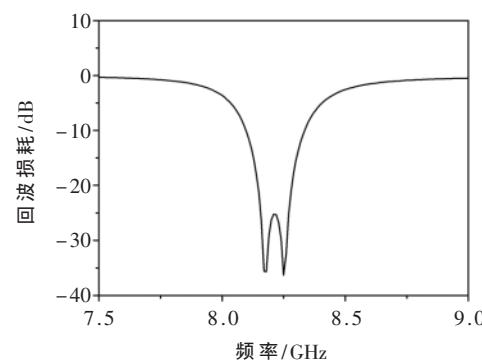


图2 微带天线单元回波损耗

图3为天线单元仿真的轴比图,可以看到,中心处轴比为1.5 dB,E面和H面在大角度范围内都比较平滑且小于3 dB,可见圆极化性能良好。

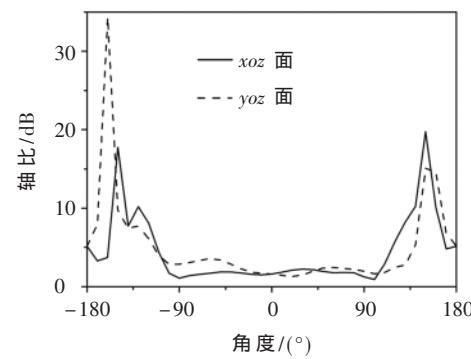


图3 微带天线单元轴比

图4为天线单元方向图的仿真结果。由图可知,在谐振频率法向方向增益为8 dB,前后比为23.5 dB,半功率波瓣宽度为74°,曲线平滑,辐射性能良好。

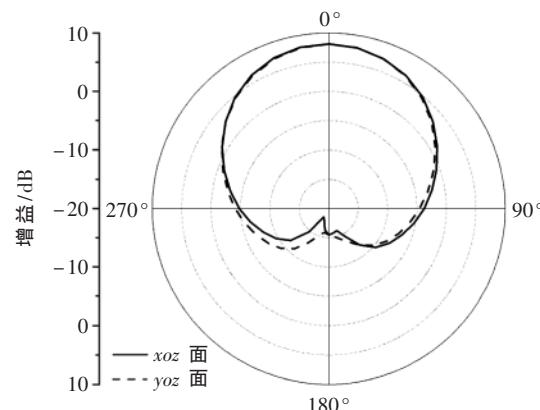


图4 微带天线单元方向图

图 5 为天线单元增益随频率变化的仿真结果。由图可知,在 7.5 GHz~9 GHz 频段内,天线增益比较平滑,均大于 7.5 dB,在中心频点 8.2 GHz 处达到增益峰值,微带单元辐射性能良好。

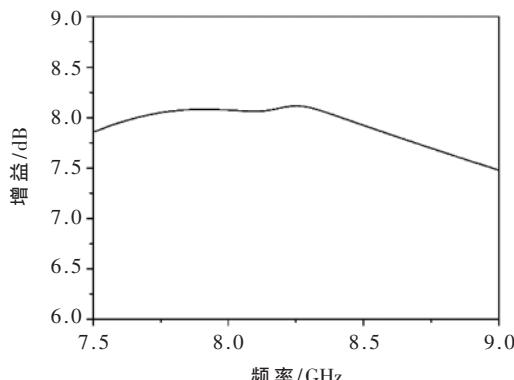


图 5 微带天线单元增益随频率变化图

2 天线阵列设计、仿真与实测

2.1 天线阵列设计

本文设计了一款 8 天线单元的微带天线阵列。一般阵列的天线个数为 $2N$ 个,根据增益等指标需求计算确定天线数量。8 阵元的天线阵列若为矩形,会导致 E 面和 H 面辐射波瓣宽度不一致;若为方形,整体增益不能达到最优值,同时尺寸偏大。因此,本文设计的 8 阵元天线阵列采用圆形排布,优点如下:

- (1) 保证了 E 面和 H 面辐射波瓣宽度一致;
- (2) 整体增益最优,辐射效率大;
- (3) 圆极化性能进一步提升;
- (4) 整体尺寸最小。

天线整体模型如图 6 所示,8 天线单元平均分布在半径为 50 mm 的圆上,介质基板为 Rogers RT/duriod 5880,每一层厚度均为 0.508 mm,共 5 层。一层表面为天线阵列贴片,二、四层表面和五层底为金属地,三、五层表面为馈电网络。

馈电网络是阵列天线的重要部分,本文设计的 8 单元微带功分馈电网络如图 6 所示,已用较暗颜色画出。

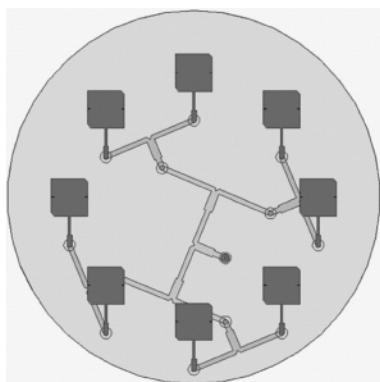


图 6 微带天线阵列模型图

为了给各个辐射单元提供等幅同相的输入功率同时不增加额外的整体尺寸,该馈电网络由 7 个“T”形等比例功率分配器构成,保证输入端口与阻抗 50Ω 的 SMA 接头连接匹配性良好,同时输出端口与阵元的输入阻抗匹配性良好且整体损耗小。

2.2 仿真结果分析

使用仿真软件进行建模仿真,具体结果如下。天线阵列匹配良好,如图 7 所示,在谐振频率 8.2 GHz 处回波损耗 $S11 < -25$ dB,10 dB 天线带宽为 8.084~8.297 GHz,共 0.213 GHz,相对带宽为 2.6%。

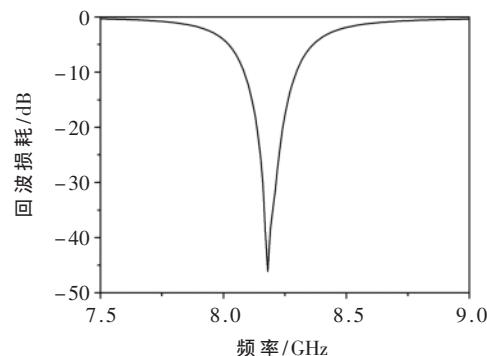


图 7 微带天线阵列回波损耗

图 8 为天线阵列仿真的轴比图,可以看到,中心处轴比为 1.65 dB,E 面和 H 面 $\pm 180^\circ$ 范围内都比较平滑且小于 3 dB,可见圆极化性能良好。

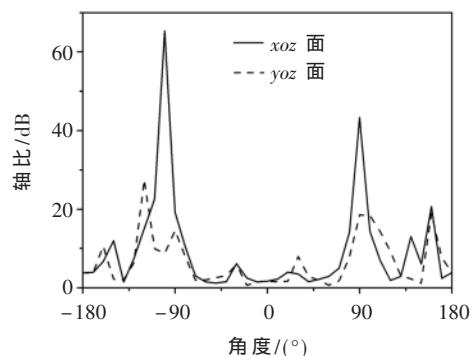


图 8 微带天线阵列轴比

图 9 为天线阵列仿真的方向图。由图可知,在谐振点法向方向增益为 16.2 dB,前后比为 27.5 dB,半功率波瓣宽度为 23.6° ,最大主瓣电平与最大副瓣电平差值大于 11 dB,整体曲线平滑,辐射性能良好。

2.3 实测结果

按照上述仿真的天线加工实物进行测试,加工实物照片如图 10 所示(已加装天线罩),测试结果为轴比方向图,如图 11 所示。由图可知,此天线阵列在谐振点处法向方向的实际增益为 15.5 dB,前后比大于 18 dB,半功率波瓣宽度为 21.6° ,最大主瓣电平与最大副瓣电平差值大于 10 dB,轴比小于 2 dB,与仿真结果基本一致。

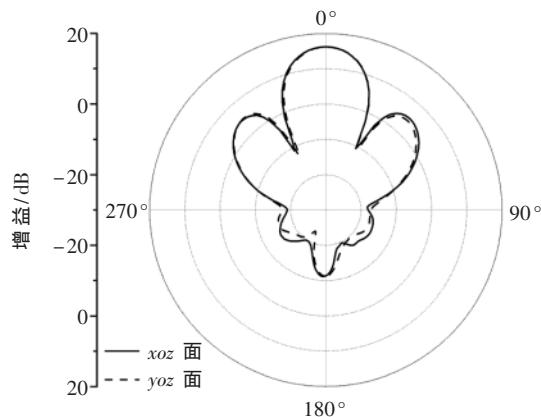


图 9 微带天线阵列方向图



图 10 微带天线阵列实物图

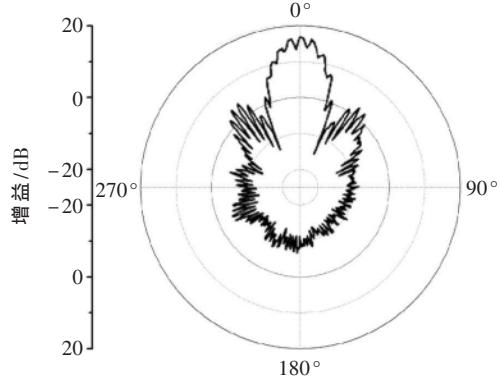


图 11 微带天线阵列实际方向图

2.4 对比结果

根据仿真及实测性能结果,与其他文献结果进行对比,总结见表2。在横向对比中,本文所设计的微带天线阵列在阵元数相同的情况下增益较高,带宽较窄,标明天线阵列辐射指向性较好;在谐振频率处驻波较小,标明天线阵列匹配性能良好,因此本天线阵列具有一定的优势,不论在实际工程中还是设计中都有一定的参考意义。

3 结论

本文设计了一款新型高增益圆极化小型微带天线阵列。微带天线单元采用侧馈形式,利用切角技术实现圆极化,利用开槽技术减小结构尺寸,实现小型化。微带天线阵列采用多层底馈形式,圆形排布阵列使增益和轴比达到最优值。此天线阵列经加工测试,测试结果与仿真结果基本一致,验证了此设计的合理性。该天线工作在X频段,具有良好的辐射性能,且结构简单紧凑,可

表 2 对比数据分析

文献	频段/GHz	阵元数目	增益/dB	驻波/dB	带宽/%
本文	8.08~8.3	8	16.2	<-20	2.9
文献[14]	10.2~10.8	64	22	<-11	2
文献[19]	9.5~11.3	8	15.1	<-14	18.3
文献[20]	10.3~11.2	64	22	<-12	6.36
文献[21]	10.2~10.9	64	21.2	<-10	6.9
文献[22]	9.7~10.3	32	20	<-15.6	8

用于小型化的X波段无线通信系统中。同时,此天线对微带天线阵列的设计也有一定的指导意义。

参考文献

- [1] 李娥.浅谈现代通信系统[J].信息技术与信息化,2018(9):90~94.
- [2] 梁云杰.现代无线通信技术的现状分析及其发展展望[J].信息通信,2017(1):263~264.
- [3] ELHABCCHI M, SRIFI M N, TOUAHNI R. A tri-band-notched UWB planar monopole antenna using DGS and semi arc-shaped slot for WIMAX/WLAN/X-band rejection[J]. Progress in Electromagnetics Research Letters, 2017, 70: 7~14.
- [4] ZHI R, HAN M, BAI J, et al. Miniature multiband antenna for WLAN and X-band satellite communication application[J]. Progress in Electromagnetics Research Letters, 2018, 75: 13~18.
- [5] JIN Y T, SI L M, ZHANG Q L, et al. Dual-band bandpass filter using composite metamaterial resonator[J]. Modern Physics Letters B, 2016, 30(7): 1650079.
- [6] JIN Y T, SI L M, ZHANG Q L, et al. New design of ultra-wideband bandpass filter using metamaterial resonator[C]. 6th IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation, and EMC Technologies. Shanghai, China, 2015: 561~563.
- [7] SAEIDI-MANESH H, ZHANG G. High-isolation, low cross-polarization, dual-polarization, hybrid feed microstrip patch array antenna for MPAR application[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2018, 66(5): 2326~2332.
- [8] LIU Y, HAO Y, LI K, et al. Radar cross section reduction of a microstrip antenna based on polarization conversion metamaterial[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2016, 15: 80~83.
- [9] VARAMINI G, KESHTKAR A, NASER-MOGHADASI M, et al. Compact and miniaturized microstrip antenna based on fractal and metamaterial loads with reconfigurable qualification[J]. AEU-International Journal of Electronics and Communications, 2018, 83: 213~221.
- [10] ZHANG C, GAO J, CAO X, et al. Low scattering microstrip antenna array using coding artificial magnetic conductor

(下转第 73 页)

surveillance system[J].International Conference on Communication and Signal Processing, 2019, 19(4-6): 0157-0160.

[16] SENGAR S S, MUKHOPADHYAY S. Moving object detection based on frame difference and W4[J]. Signal Image and Video Processing, 2017, 11(7): 1357-1364.

[17] Zhang Yi, Yin Liang. The environment of autonomous navigation of unmanned vehicle technology in figure[J]. Journal of Ordnance, 2014, 35(1): 32-37.

[18] 张洁, 赵红东, 李宇海, 等. 复杂背景下车型识别分类器[J]. 激光与光电子学进展, 2019, 56(4): 166-173.

[19] Ren Shaoqing, He Kaiming, GIRSHICK R. et al. Faster

3808-3818.

[17] GYASI K O, WEN G J, INSERRA D, et al. A compact broadband cross-shaped circularly polarized planar monopole antenna with a ground plane extension[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2018, 17(2): 335-338.

[18] QU L, PIAO H, QU Y, et al. Circularly polarized MIMO ground radiation antennas for wearable devices[J]. Electronics Letters, 2018, 54(4): 189-190.

[19] 李勋. X 波段宽带微带阵列天线设计[J]. 无线通信技术, 2016, 25(1): 41-45, 49.

[20] 郝欣欣, 张怀武, 刘小飞. 64 单元 X 波段 LTCC 高增益圆极化微带阵列天线[J]. 压电与声光, 2015, 37(1): 130-133.

[21] 郝欣欣, 段耀铎, 徐海东, 等. 64 单元 X 波段高增益圆极化微带阵列天线设计[J]. 微波学报, 2014, 30(5): 31-34.

[22] 朱丹. X 波段 32 元高增益阵列天线设计与仿真[J]. 硅谷, 2014, 7(6): 27-29.

(上接第 62 页)

strategy for the enhancement of spectrum efficiency[J]. IEEE Communications Magazine, 2004, 4(3): 8-14.

[7] 冯文江, 郭瑜, 胡志远. 认知无线电中的频谱感知技术[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2007, 30(11): 46-49.

[8] 孙鹏, 杨富程, 宋杰, 等. 基于循环平稳检测的协作频谱感知[J]. 电子测试, 2019(4): 12-14.

[9] 甘国妹, 郑金存, 甘永进. 基于能量检测的频谱感知算法性能研究[J]. 科技创新与应用, 2019(3): 25-27.

[10] TURIN G L. Minimax strategies for matched-filter detection[J]. IEEE Transactions on Communications, 2003, 23(11):

R-CNN: towards real-time object detection with region proposal networks[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2017, 39(6): 1137-1147.

(收稿日期: 2019-10-18)

作者简介:

马秀(1993-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 电路与系统。

谭福奎(1966-), 男, 本科, 正高级实验师, 主要研究方向: 电路与系统、人工智能。

李良荣(1963-), 通信作者, 男, 本科, 教授, 主要研究方向: 电路与系统、电磁场与微波技术。

3808-3818.

[17] GYASI K O, WEN G J, INSERRA D, et al. A compact broadband cross-shaped circularly polarized planar monopole antenna with a ground plane extension[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2018, 17(2): 335-338.

[18] QU L, PIAO H, QU Y, et al. Circularly polarized MIMO ground radiation antennas for wearable devices[J]. Electronics Letters, 2018, 54(4): 189-190.

[19] 李勋. X 波段宽带微带阵列天线设计[J]. 无线通信技术, 2016, 25(1): 41-45, 49.

[20] 郝欣欣, 张怀武, 刘小飞. 64 单元 X 波段 LTCC 高增益圆极化微带阵列天线[J]. 压电与声光, 2015, 37(1): 130-133.

[21] 郝欣欣, 段耀铎, 徐海东, 等. 64 单元 X 波段高增益圆极化微带阵列天线设计[J]. 微波学报, 2014, 30(5): 31-34.

[22] 朱丹. X 波段 32 元高增益阵列天线设计与仿真[J]. 硅谷, 2014, 7(6): 27-29.

(收稿日期: 2019-10-23)

作者简介:

金宇婷(1991-), 通信作者, 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 卫星数据传输系统设计。

邢斯瑞(1987-), 男, 硕士, 副研究员, 主要研究方向: 卫星通信系统设计。

孙伟(1989-), 男, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向: 卫星通信系统设计。

1370-1371.

[11] 丰金花. 基于最小贝叶斯风险的频谱感知技术的研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2011.

[12] 王再励. 认知无线网络中的协作频谱检测技术研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2011.

(收稿日期: 2019-12-02)

作者简介:

聂慧锋(1983-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 信号与信息处理、电子对抗。

徐声海(1987-), 男, 本科, 工程师, 主要研究方向: 雷达、电子对抗。

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所