

一种抗多径干扰的多模卫星导航船载终端天线

房少军 陈东 王钟藻 傅世强

(大连海事大学信息科学技术学院,辽宁 大连 116026)

摘要 虽然信号处理技术已经非常成熟,但是多径信号干扰仍然是高精度接收机的主要误差源之一。为了解决这个问题,本文提出了一种抗多径干扰的多模卫星导航船载终端天线。该天线采用短路环(SAP)技术抑制多径信号干扰,同时采用双层结构和 L 型带条近耦合馈电使天线 VSWR 小于 2 的阻抗带宽达 37.6% (1100~1620 MHz),能够覆盖 GPS、GALILEO、GLONASS、COMPASS 四大导航系统的所有工作频段。轴比小于 3 dB 的圆极化带宽达 60% 以上,同时轴比小于 4.5 dB 的辐射张角大于 180°。所设计的天线能满足多模卫星导航船载终端的要求,具有良好的应用前景。

关键词 多径信号;圆极化;短路环天线;卫星导航;抑制多径干扰

中图分类号 TN82

1. 引言

综合运用 GPS、GALILEO、GLONASS、COMPASS 四个卫星导航系统进行导航定位,使得终端既具有 GPS/GLONASS/GALILEO 定位精度高、相对可靠的特点,同时又与我国自主知识产权的 COMPASS 定位系统相结合,不仅仅在经济领域有重要性,在国防方面也有不可替代的作用,这是很多有自己的空间和实力的国家,都会积极发展的领域。

未来的船载卫星导航必将是多模式兼容和多系统集成,因此研究一种兼容多模卫星导航定位系统的终端天线具有现实意义。对于船载卫星导航,无论是单系统高精度接收机,还是多系统高精度接收机,一直都受到甲板和海面多径信号带来的定位误差的困扰。为了抑制甲板和海面多径信号的接收,那么要求卫星导航接收天线具有较小的低仰角增益。增大天线地板可以提高天线抗多径干扰性能,但是小体积易便携的大趋势下,增大地板行不通。于是就提出了一些抗多径干扰的天线技术。文献[1]提出了一种 Choke-Ring 天线,但是这种结构天线重量大,体积大。文献[2]提出 Pinwheel 天线,这

种天线剖面低,体积小,重量轻。但是机构复杂,设计难度大,同时很难实现多模工作。于是考虑将短路环技术^[3]与新型微带天线频带拓宽技术相结合,同时考虑到较好的中心对称结构以保证稳定的相位中心,提出了一种抗多径干扰的多模卫星导航船载终端天线。该天线采用一分四宽带移相网路和 L 型带条近耦合四馈电,实现了抗多径干扰的多模卫星导航天线。

2. 天线设计

应用于高精度导航接收机的天线在上半空间应该具有较宽的辐射方向性图,在低仰角和下半空间则要能够抑制多径信号的接收。同时该天线还得有稳定的相位中心和较好的抑制交叉极化的能力。另外对于多模导航天线,要求在各个工作频带具有相近的性能:相同的辐射特性、相同的极化特性和相同的相位中心。

目前应用于高精度导航接收机的天线很多都是采用 Choke-Ring 地板结构的微带天线^[4]。通常也把这种地板称为“软”边界,这种结构可以抑制表面波传播从而抑制边缘辐射。这种结构不但复杂,而

基金项目:交通部交通应用基础研究项目(No. 2010-329-225-030);国家自然科学基金项目(No. 61071044);中央高校

基本科研业务费专项资金资助

联系人:房少军 E-mail:fangshj@dlmu.edu.cn

且增加了天线的尺寸失去了微带天线低剖面的特点。

为了抑制表面波而减小边缘辐射。文献[5]详细分析了短路环结构抑制表面波的原理。文献[6]利用这个原理提出了工作于L1和L2的GPS抗多径干扰卫星导航天线。在此技术上,采用广泛使用的叠成技术和一种L型带条近耦合馈电方式能够使阻抗带宽达到37%;同时采用四点馈电技术扩展圆极化带宽的同时也使的圆极化张角在轴比4.5 dB以下达到180°,然而多点馈电会增加馈电网络加工复杂度、杂散辐射和损耗。本文设计的天线选择同时具有中心对称和轴对称的方形贴片单元利用4个空间和相位上依次相差90°的信号激励实现圆极化,从而得到具有较好的旋转对称性的辐射方向性图。天线采用四馈电不仅展开了圆极化轴比带宽,而且极大改善了相位方向图的轴向对称性,保证了相位中心的稳定。通过两个方形贴片堆叠在一起并且中心增加短路环使天线能够在较宽频带上实现抗多径干扰的性能。

天线结构如图1所示。下层贴片为激励单元,上层贴片为寄生单元,采用4个L型带条对下层激励单元贴片近耦合平衡馈电。馈电网络采用微带线

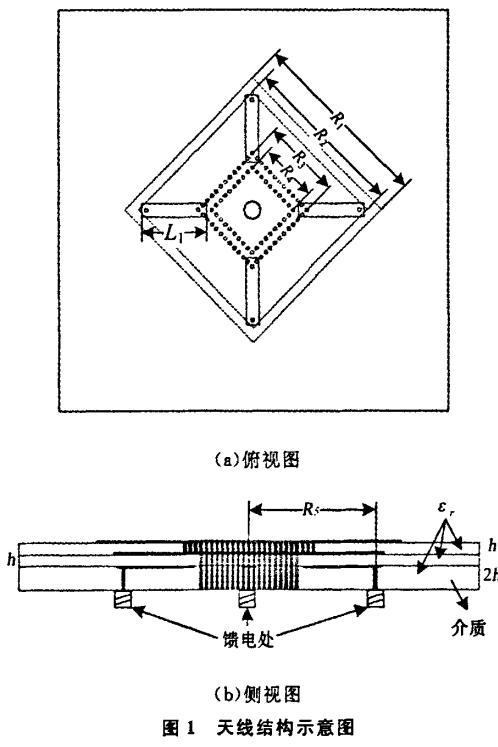


图1 天线结构示意图

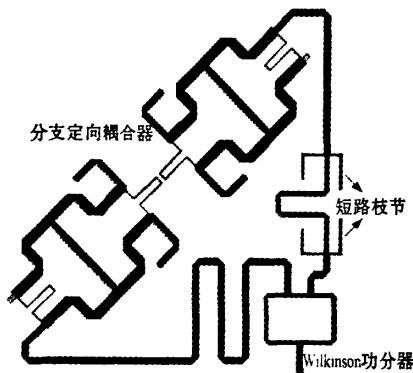


图2 移相馈电网络

结构,如图2,通过采用两个双分支定向耦合器和一个Wilkinson功分器提供等幅激励,功分器和耦合器的隔离端使用片状电阻,确保四个端口之间的相互隔离,吸收不平衡的反射能量。为了提高天线的极化纯度和增大轴比带宽,改善随频率变化的线性移相误差,使用改进的宽带移相器^[7]实现各端口依次90°相差。

天线采用介电常数为3.65的高性能航空微波材料。通过改变馈电L型带条的尺寸和贴片的大小能够改变天线的输入阻抗特性,通过调节贴片大小和中心短路环的尺寸可以改善高低频段的辐射方向性图,如图1所示,为了提高天线的辐射特性带宽,中心短路环采用上下层尺寸不等。通过仿真优化,得到物理尺寸为: $R_1 = 66 \text{ mm}$, $R_2 = 60 \text{ mm}$, $R_3 = 24 \text{ mm}$, $R_4 = 18 \text{ mm}$, $R_5 = 33 \text{ mm}$, $h = 3 \text{ mm}$, $L_1 = 20 \text{ mm}$ 。

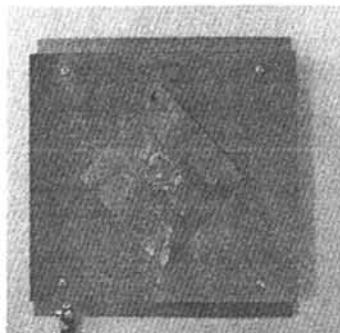
3. 实验结果

该天线利用基于有限元法的三维电磁仿真软件HFSS进行了仿真和优化,然后对天线进行了实物加工和测试。天线的实物图如图3所示,其中天线背面为馈电网络。

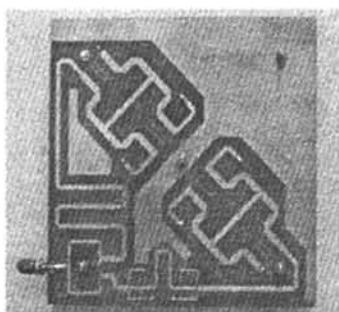
图4给出了天线输入端口回波损耗的仿真曲线以及采用Anristu MS2026A矢量网络分析仪的测试结果。测试结果表明回波损耗大于10 dB的阻抗带宽达37.6% (1100 ~ 1620 MHz),能够覆盖GPS、GALILEO、GLONASS、COMPASS四个导航系统的所有工作频段。

图5为天线的顶点增益,在工作频段内,最大右旋增益达到6 dBi以上,左旋增益在-30 dBi以下,天线具有非常好的交叉极化抑制能力,这是因为天

线采用四点馈电,从而得到较好的交叉极化性能和较宽的增益带宽。



(a) 正面图



(b) 背面图

图 3 天线实物图

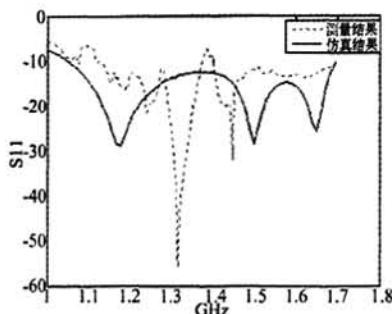


图 4 天线的回波损耗的仿真和测试结果

图 6 为导航频段的高频端和低频端: GPS-L1, GPS-L2, GLONASS-L1 三个频段的辐射方向性图。可以看出天线能够有效抑制低仰角和背面辐射, 同时有非常好的交叉极化抑制能力。因此, 该天线可

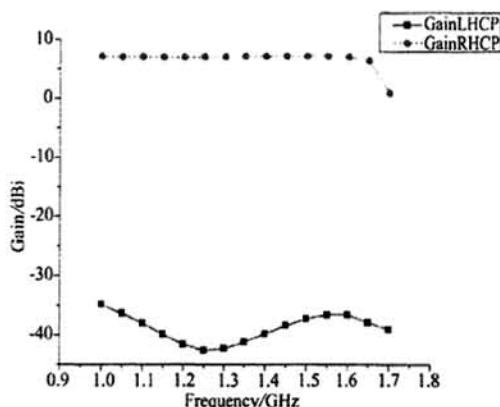


图 5 天线工作频段内增益

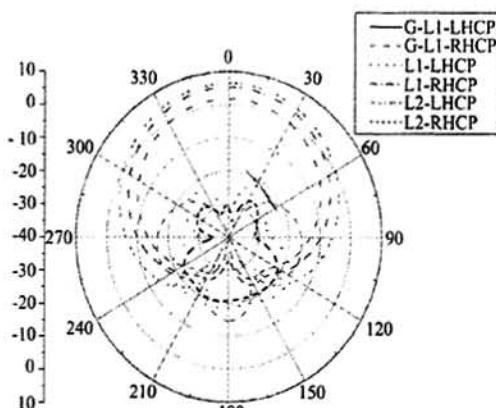


图 6 天线工作频带的方向性图

以抑制多径信号, 提高高精度导航接收机的抗多径干扰性能。

4. 结论

本文根据船载多模高精度卫星导航接收机对终端天线的要求和抗多径干扰技术的研究, 设计了一款抗多径干扰多模卫星导航船载终端天线。该天线采用四个 L 带条近耦合馈电技术, 展宽了天线的阻抗带宽和圆极化带宽, 此外通过使用叠层技术进一步改善天线性能, 仿真和测试性能一致性较好。实测天线驻波比小于 2 的带宽达 37.6%; 4.5 dB 轴比张角达到 180°以上。天线满足高精度多模卫星导航接收机的需求。同时该天线具有结构简单、易加工、低成本的优点, 具有良好的应用前景。

(下转第 461 页)

5. 结 论

本文分别对在不同倒角半径的情况下,偶极子光电导天线的偏置电场的分布及天线的辐射性能进行仿真分析。当倒角半径增加时,天线所能承受的最高偏置电压可以得到显著的提高,但与此同时带来了天线的辐射效率的下降。综合上述两种因素,本文对倒角半径进行优化分析,并得出在实际的偶极子光电导天线的设计中,倒角半径应大于 $5 \mu\text{m}$,此时天线的最大辐射功率可以提高 6 倍。

参考文献

- [1] 刘盛纲,钟仁斌. 太赫兹科学技术及其应用的新发展 [J]. 电子科技大学学报, 2009, 38(5): 481-486.
- [2] DARROW J T, ZHANG X C, AUSTON D H, et al. Saturation properties of large-aperture photoconducting antennas[J]. IEEE J. Quantum Electron. 1992, 28 (6): 1607-1616.
- [3] CAI Y, BRENER I, LOPATA J, et al. Design and performance of singular electric field terahertz photoconducting antennas[J]. Appl. Phys. Lett., 1977, 71 (15): 2076-2078.
- [4] YANG J, FAN W, XUE B. Biased electric field analysis of a photoconductive antenna for terahertz generation[J]. Nucl. Instr. and Meth. 2011, A 637(1): S165-S167.
- [5] ZHANG J Z, CHEN Z Z, CHEN X M. FDTD analysis of photoconductive antennas for millimeter-wave generation[J]. Int. J. RF Microwave Comput.-Aided Eng., 2000, 10, 213.
- [6] DUVILLARET L, GARET F, ROUX J F. Analytical modeling and optimization of terahertz time-domain spectroscopy experiments using photoswitches as antennas[J]. IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. 2001, 7(4): 615-623.

作者简介

刁俊铭 (1986—), 男, 河北人, 硕士, 主要研究领域为光电导天线产生太赫兹波辐射的研究。

杨 峰 (1962—), 男, 贵州人, 教授、博士生导师, 主要研究领域为共形天线等。

(上接第 440 页)

参考文献

- [1] SCAPPUZZO F S, SERGEY N. A low-multipath wideband GPS antenna with cutoff or non-cutoff corrugated ground plane [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2009, 57(1): 33-46.
- [2] KUNYSZ W. High performance GPS pinwheel antenna [EB/OL]. http://www.sokkia.com.tw/NOVATEL/Documents/Papers/gps_pinwheel_ant.pdf
- [2] BOCCIA L, AMENDOLA G, MASSA G D. A dual frequency microstrip patch antenna for high precision GPS applications [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. 2004, 3 (1): 157-160.
- [3] BEDFORD L, BROWN N, WALFORD J. Leica AR25 White paper [EB/OL]. Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland. <http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/nrs/AR25/white-tech-paper/>
- [4] JACKSON D R, WILLIAMS J T, BHATTACHARYYA A K, ET AL. Microstrip patch designs

that do not excite surface waves [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 1993, 41(8): 1026-1037.

- [5] BOCCIA L, AMENDOLA G, DI MASSA G. Shorted annular patches as flexible antennas for space applications [C]//Proceedings of 17th International Conference on Applied Electromagnetics and Communications, 2003: 189-192.
- [6] EOM S Y, JEON S I, CHAE J S, et al. Broadband 180° bit phase Shifter using a new switched network [C]//Proceedings of IEEE MTT-S International Microwave Symposium digest, Philadelphia, 2003: 39-42.

作者简介:

房少军 (1957—), 男, 山东人, 大连海事大学教授, 博士生导师, 辽宁省教学名师, 主要从事电磁场、微波技术及天线方面的教学与研究工作。

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果, 又能免除您舟车劳顿的辛苦, 学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>