

文章编号 1005-0388(2010)03-0548-05

具有 RCS 减缩效果的超宽带仿生天线

刘英 姜文 龚书喜 洪涛

(西安电子科技大学 天线与微波技术重点实验室, 陕西 西安 710071)

摘要 基于仿生学原理和向日葵模型, 研制了一种新型可用于雷达低可见平台的超宽带单极子天线。利用外边界为多段圆心角和半径相同的圆弧、内边界为圆的结构模拟向日葵花的形状。该仿生结构天线的辐射和散射特性进行了分析、优化, 找出最适合作天线辐射单元的尺寸。并与参考天线作对比, 发现在满足超宽带天线的相关指标要求下, 仿生天线具有良好的 RCS 减缩效果; 适用于对超宽带天线有低雷达截面要求的场合。利用仿生学减缩天线雷达截面的方法为天线隐身技术提供了新的方向。

关键词 雷达截面; 单极子天线; 仿生学; 隐身

中图分类号 TN821.8 **文献标志码** A

1. 引言

隐身技术是一种涉及多学科的综合技术, 其目的是控制目标特征信号使发现和攻击低可见平台变得困难。雷达截面(RCS)是雷达探测技术、隐身和反隐身技术中表征目标可被识别特性的一个基本参数, 是目标体在平面波照射下返回功率的一种量度。减缩雷达截面就是控制和降低军用目标的雷达特征, 降低敌方电子探测系统的探测能力和武器平台的战斗效力, 从而提高己方军用目标的突防能力和战场生存能力。目前减小 RCS 的技术大致包括如下四个基本方法, 即外形隐身技术、雷达吸波材料涂覆技术、无源对消技术和有源对消技术。其中最常应用且最有效的是前两种。通过改变目标外形和使用雷达吸波材料这两种方法可以有效地减小军事平台的雷达截面, 提高隐身性能。但是对于雷达低可见平台, 平台上的天线对其总 RCS 贡献非常大, 因此, 必须对天线 RCS 进行控制。同时具有较好的辐射特性与散射特性是设计隐身天线的原则。但是天线系统自身的工作特点是必须首先保证自身雷达波的正常发射和接收, 因此, 低 RCS 外形设计技术、雷达吸波材料技术等常规的隐身措施不能简单地成功

应用于天线隐身。以上原因使得天线系统的隐身成为当今隐身技术中一项难以解决的关键问题。目前国内外均没有找到一种完全理想的技术方法可以同时既显著地降低天线 RCS 又完全不影响天线的正常工作。这就使得寻求新的降低天线 RCS 方法变得更加迫切^[1-3]。

与普通散射体不同的是天线散射通常包括结构模式项散射场和天线模式项散射场两部分。天线的结构模式项散射场与发射机负载情况无关, 可认为是接匹配负载时的散射场; 天线模式项散射场是由于传输线与发射机不匹配而造成的反射功率二次辐射而产生的散射场, 它随天线的负载情况而变化, 是天线与普通散射体不同而特有的^[4]。

在天线的散射理论研究方面, 文献[4]提出了一套系统的天线分析理论。在此基础上, 文献[5]进一步提出了分析超宽带天线散射问题的理论和试验方法。天线 RCS 减缩所面临的最大问题就是在天线辐射性能与散射性能两方面的兼顾, 要求雷达天线只辐射和接收我方雷达波, 不反射和散射敌方雷达波, 这是实际中很难解决的一对矛盾。隐身技术不是单一技术, 而应是各种技术的联合运用。由于常规的隐身措施不能简单地应用于天线隐身, 所以, 除了前述的

收稿日期: 2009-09-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60801042)

联系人: 姜文 E-mail:jw13@vip.qq.com

设计思路外,还需要探索新的理念来丰富隐身技术。试验证明,海鸥虽然与燕八哥的形体大小相近,但海鸥的雷达截面比燕八哥的大200倍。蜜蜂的体积小于麻雀,但它的雷达截面比麻雀大16倍^[1]。仿生概念已经成功应用于很多领域,天线的隐身必然也可应用仿生技术寻求新的设计方案。利用向日葵花的仿生模型设计超宽带天线,以此为例说明仿生学在天线隐身技术领域中的应用。

国内外关于超宽带天线RCS减缩的文献并不多见。文献[6]给出了一种超宽带平面单极子天线,天线的辐射单元和辐射地板分别印制在介质板的两侧,实现了天线平面化。该天线因出色的辐射特性而被广泛应用,但是圆形的辐射单元使其天线雷达散射截面很高,不利于天线的隐身,仿生学辐射单元则可有效地解决这一问题。

2. 天线设计

超宽带仿生天线包括辐射单元、辐射地板、50Ω微带馈电线和介质材料板四部分。天线辐射单元和天线辐射地板分别印制在介质材料板的两侧,介质材料板的尺寸为50 mm×42 mm,介电常数为4.4,厚度为0.8 mm。辐射单元具有由多段半径和圆心角相同的圆弧组成的外边界和圆形内边界。外圆弧半径为8 mm,内圆半径为8.5 mm。天线的辐射地板为两边倒有90度圆弧角的矩形,矩形的长度与介质材料板的宽度相等,为42 mm,矩形的宽度为16 mm。馈电线宽度为1.56 mm。

以超宽阻抗带宽为目的,对外边界圆弧的个数、圆心角和半径以及内边界圆的半径进行优化得到最优结果,并以该结果设计超宽带天线。仿生天线和参考天线的结构示意图如图1所示。为了说明仿生天线辐射单元结构在RCS减缩方面的优越性,设计两天线的辐射地板和介质材料板为完全相同。

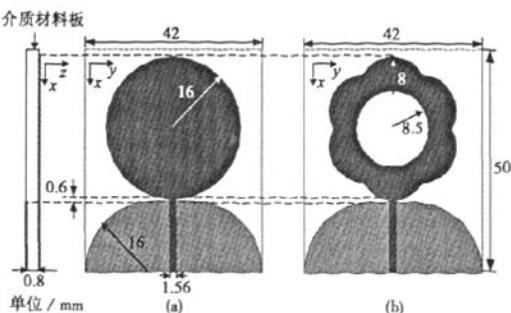


图1 天线结构示意图

3. 实验结果分析

通过印制板技术加工两天线的天线样机。图2-3分别给出两天线VSWR的仿真结果和实际测试结果,测试采用Agilent E8361网络分析仪。从图中可以看出计算结果与测试结果吻合良好。实测结果表明,在VSWR小于2.0时,仿生天线具有2.0~20.0 GHz的带宽,参考天线具有2.3~14.0 GHz的带宽,均充分覆盖了UWB所要求的3.1~10.6 GHz带宽。

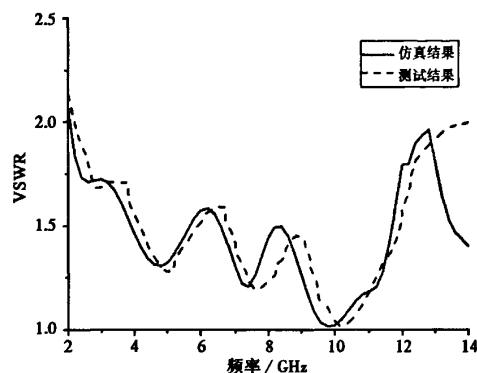


图2 参考天线VSWR的计算结果和测试结果

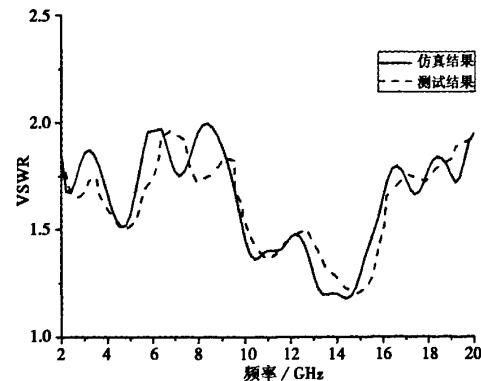
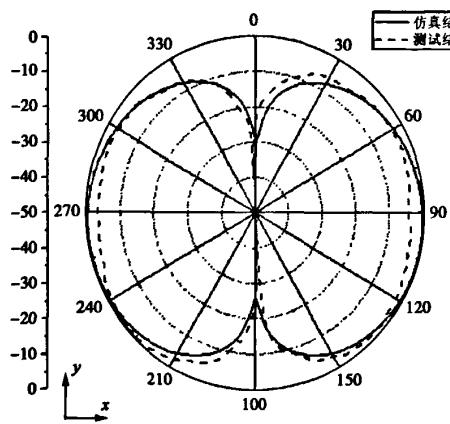
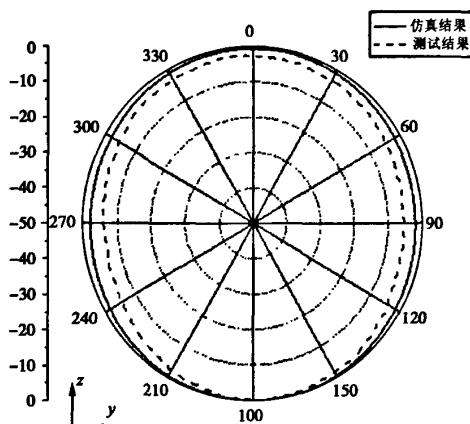


图3 仿生天线VSWR的计算结果和测试结果

图4、5分别给出仿生天线在低频(3.0 GHz)和高频(9.0 GHz)的E面(x - y 面)和H面(y - z 面)辐射方向图,计算和测量结果吻合良好。图6给出了两天线离散频率点的实测增益。以上结果表明仿生天线可被视为平面单极子天线,其最大辐射方向垂直于 x 轴,且在整个UWB带宽内具有良好的全向性,可较好地用于超宽带系统^[7-8]。

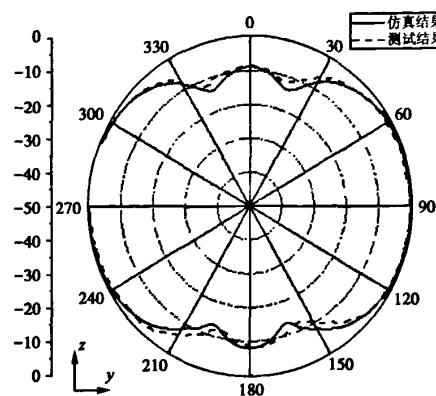


(a) E 面



(b) H 面

图 4 仿生天线低频的辐射方向图(3 GHz)



(b) H 面

图 5 仿生天线高频的辐射方向图(9 GHz)

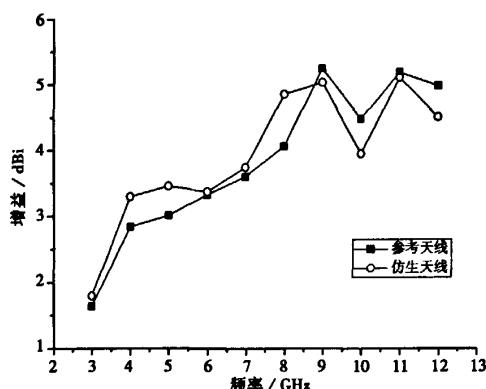
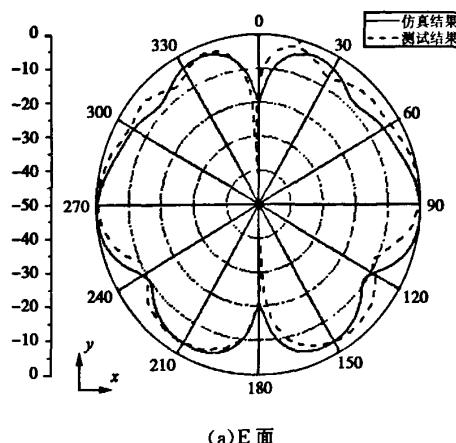


图 6 天线增益对比图



(a) E 面

图 7-8 分别给出了仿生天线和参考天线端接开路负载、短路负载时的 RCS 随频率变化的曲线图。利用这两种状态可求解天线端接任意负载时的天线 RCS。超宽带天线具有很宽的阻抗带宽，在此计算出两天线端接 50Ω 阻抗时的天线 RCS，如图 9 所示。全文提到的 RCS 均指的是单站 RCS；平面波的入射方向为 $-z$ 轴方向，即天线的最大辐射方向；极化方式为垂直极化，即电场矢量方向平行于 x 轴。从图 7、8 可看出，与窄带天线不同，超宽带天线的 RCS 在整个频带内没有哪一种状态可以一直保持最大或者最小。这种现象的原因可解释为与窄带天线相比，超宽带天线所要考虑的频带更宽，天线的结构模式项 RCS 和天线模式项 RCS 之间的相位差变化更大。

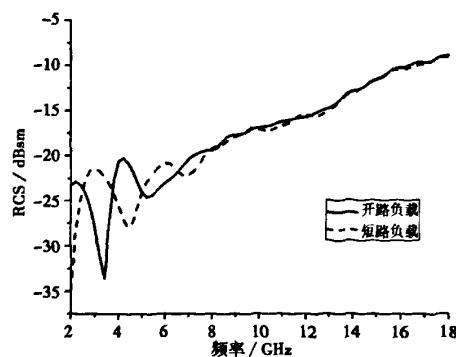


图7 仿生天线 RCS 曲线图

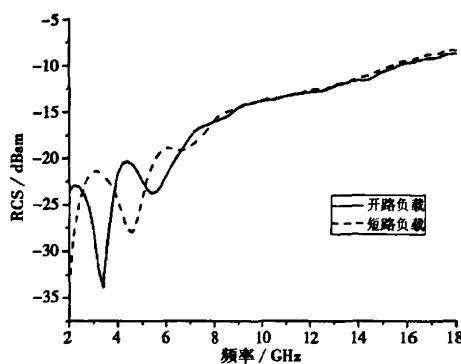


图8 参考天线 RCS 曲线图

从图9中可看出仿生天线在很宽频带内的RCS均小于参考天线。这种现象可解释为仿生天线辐射单元的面积小于参考天线的圆形辐射单元。与传统的圆形辐射单元结构相比,仿生辐射单元结构同时具有良好的辐射特性和低RCS特性,解决了以往减缩方法难以在整个超宽频带内均达到良好效果的问题。

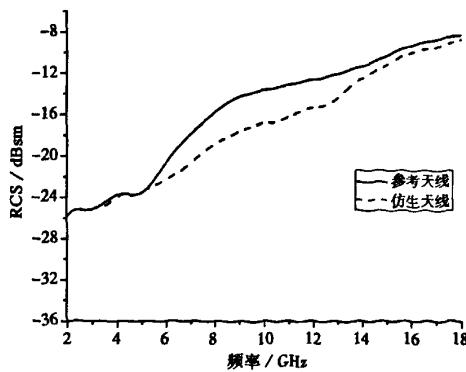


图9 仿生天线与参考天线 RCS 对比图

4. 结论

基于仿生学原理设计了一种低雷达截面的超宽带仿生天线。利用外边界为多个半径和圆心角相同的圆弧,内边界为圆的结构设计天线辐射单元。利用两边倒有90度圆弧角的矩形设计辐射地板,从而使天线同时具有2.0~20.0 GHz超宽频带和低雷达截面特性。仿生辐射单元结构有利于天线同时实现超宽带特性和低雷达截面特性,适用于对超宽带天线有低雷达截面要求的场合。将仿生学应用于天线隐身技术的方法为今后设计对雷达截面有要求的天线系统提供了新的思路。

参考文献

- [1] KNOTT E F, SHAEFFER J F. Radar Cross Section [M]. 2nd Edition, NC: SciTech, 2004: 63-64.
- [2] 刘英,龚书喜,傅德民.高温超导天线在天线RCS减缩中的应用[J].电波科学学报,2004,19(3): 286-289.
LIU Ying, GONG Shuxi, FU Demin. Application of high-temperature superconducting antenna in RCS reduction [J]. Chinese Journal of Radio Science, 2004, 19 (3): 286-289. (in Chinese)
- [3] JIANG Wen, GONG Shuxi, LI Yan-ping. A novel low RCS mobius-band monopole antenna[J]. Journal of Electromagnetic Waves and Applications, 2009, 23: 1887-1895.
- [4] GREEN R B. The General Theory of Antenna Scattering[D]. Ohio : Antenna Laboratory, Ohio State University, 1963.
- [5] HU S, CHEN H, LAW C L. Backscattering cross section of Ultrawideband antennas[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letter, 2007, 6: 70-73.
- [6] LIANG J, CHIAU C C, AND CHEN X -D. Study of a printed circular disc monopole antenna for UWB systems[J]. IEEE Trans on Antennas and Propagations, 2005, 35: 3500-3504.
- [7] 孙思扬,林欣,高攸纲,等.一种可展宽频带的微带贴片天线[J].电波科学学报,2009,24(2): 307-310.
SUN Siyang, LIN Xin, GAO Yougang, et al. Design of a wideband microstrip patch antenna [J]. Chinese Journal of Radio Science, 2009, 24 (2): 307-310. (in Chinese)
- [8] 张文梅,陈雪,韩国瑞,等.平面超宽带天线的设计与研究[J].电波科学学报,2008,23(2): 335-339.
ZHANG Wenmei, CHEN Xue, HAN Guorui, et al. Design of planar UWB antennas [J]. Chinese Journal

of Radio Science, 2008, 23 (2): 335-339. (in Chinese)

作者简介



刘英 (1977—),女,河南人,西安电子科技大学副教授,硕士生导师,博士。主要研究方向为:天线理论与设计,电磁散射与隐身技术。



姜文 (1985—),男,山东人,西安电子科技大学博士生。主要研究方向为:宽带天线设计、电磁散射与隐身技术。



龚书喜 (1957—),男,河北人,西安电子科技大学教授,博士生导师,博士。研究方向为:电磁理论、电磁辐射、电磁散射与隐身技术等。

Bionic antenna with reduced RCS for ultra-wideband application

LIU Ying JIANG Wen GONG Shu-xi HONG Tao

(Key Lab. of Antennas and Microwave Technology, Xidian University,
Xi'an Shaanxi 710071, China)

Abstract Based on bionics principle and the model of sunflower, a novel ultra-wideband monopole antenna with low radar cross section (RCS) is presented for low-observable platforms. The bionic element has an outer boundary composed of several arcs of uniform radius and central angle and a circular inner boundary, which simulates the structure of sunflower. Simulation analysis for bionic structure is conducted and the optimized structure is obtained for antenna element. The radiating element of the proposed antenna is designed by using the model of sunflower. Radiation and scattering characteristics of the proposed antenna are studied and compared to those of a reference antenna. The results show that the bionic antenna has favorable UWB-related performances and lower RCS than the reference antenna. The proposed antenna serves as good candidate for the future design of UWB antennas with requirement of RCS control. The method of applying bionics to antenna RCS reduction charts a novel direction for antenna stealth.

Key words RCS; monopole antennas; bionics; stealth

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>