

# 基于AIC技术的舰载天线共址耦合干扰抑制方法研究

丁志尧, 宋文武, 谭辉, 方重华, 徐扬

(中国舰船研究设计中心 电磁兼容性国防科技重点实验室, 湖北 武汉 430064)

**摘要:** 天线间的共址耦合干扰是一种常见的舰船电磁干扰问题, 严重影响了舰船总体作战性能的提高。本文提出了采用自适应干扰抵消技术解决此问题的方法, 分析了其基本原理, 给出了干扰抵消系统的实现方案以及实验室验证结果。该技术利用矢量合成的方法调整取样信号的幅度与相位, 在接收端与干扰信号合成从而相互抵消。结果表明, 自适应干扰抵消系统使干扰抵消比达到40 dB以上, 可以很好地解决舰载天线间的共址耦合干扰问题。

**关键词:** 共址耦合干扰; 自适应干扰抵消; 干扰抵消比

**中图分类号:** TN973.3 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-7649(2010)02-0059-03 **DOI:** 10.3404/j.issn.1672-7649.2010.02.014

## Study on the co-site interference suppression of shipboard antennas based on AIC method

DING Zhi-yao, SONG Wen-wu, TAN Hui, FANG Chong-hua, XU Yang

(The National Key Laboratory of EMC, China Ship Development and Design Center, Wuhan 430064, China)

**Abstract:** Co-site coupling interference between transmitting and receiving antennas is one of the main electromagnetic interferences in modern warships, and it seriously affects the warship's battling performance. This paper analyses the principle of interference suppression using adaptive interference cancellation (AIC) method, and describes an implementing scheme. At last, an experiment programme and some results are provided to demonstrate the effectiveness of the AIC system. Experiment results prove that an interference cancellation rate more than 40 dB can be achieved using this method.

**Key words:** co-site coupling interference; adaptive interference cancellation; ICR

## 0 引言

由于信息化战争的需求, 现代作战舰艇上装备有大量的通信电子设备。对于同一舰船上布置的无线电台, 由于发射电平与接收电平相差很大, 而收发天线间的隔离度有限, 因而即使收、发频率不同, 但仍会在接收机输入端产生很强的耦合干扰电压。此电压有可能会超过接收机的动态范围, 从而使接收机阻塞。这种共址天线耦合干扰使无线电台无法实现邻道双工通信, 也使同一舰船上的多部收发信机无法同时工作, 严重阻碍了舰船总体作战性能的提高<sup>[1-2]</sup>。

目前, 我国解决作战舰船内部天线间耦合干扰问题的主要方法是拉大天线间距以及分频分时等管理控制措施。由于舰船上可供天线布置的空间相对狭小, 拉大天线间距解决天线耦合干扰问题的作用相当有限; 而分频分时等控制措施会导致收发信机不能同时工作, 具有较大的局限性<sup>[2]</sup>。

自适应干扰抵消(AIC)技术及相应的干扰抵消系统(ICS), 是国外20世纪60年代末至70年代初发展起来的一项通信抗干扰技术, 也称为有源干扰抵消技术, 其主要特点是能有效抑制发射机对本地接收机的强信号阻塞干扰。本文描述了自适应干扰抵消系

收稿日期: 2009-06-25; 修回日期: 2009-08-24

基金项目: 国防科技重点实验室基金项目资助(9140C2106010703); 国防科技重点实验室基金项目资助(9140C2106010904)

作者简介: 丁志尧(1985-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电磁干扰控制。

统的基本原理,给出了该系统的实现方案,并对其干扰抵消效果进行了实验室验证。

## 1 自适应干扰抵消的基本原理

共址耦合干扰信号虽然幅度大,对于接收机具有较大的危害效果,但却是具有一定中心频率的窄带正弦信号,并且干扰发射机与被干扰接收机处于同一场地,可以很方便地从发射机中取得干扰源的信息。鉴于此,可以采用以下技术方案来消除被干扰接收机上的干扰信号,如图 1 所示。

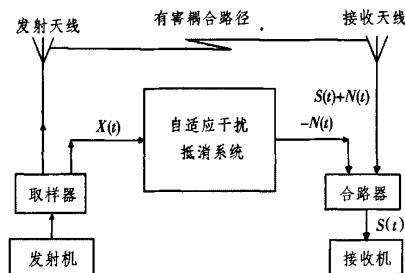


图 1 自适应干扰抵消基本原理

Fig. 1 The principle of adaptive interference cancellation

被干扰接收天线处是有用信号  $S(t)$  与干扰信号  $N(t)$  的混合信号,如果能消除干扰信号,进入接收机的就只存在有用信号成分了。为了实现这一目的,首先通过取样器从干扰发射机中取样一小部分信号,大部分发射能量仍然通过发射天线辐射出去,对于发射机正常工作影响较小。从干扰发射机中取样的信号  $X(t)$  和被干扰接收天线处的干扰信号  $N(t)$  是具有相同中心频率的正弦窄带信号,只不过二者的幅度和相位不相同,即二者具有一定的相关性。如果能设计 1 个信号处理电路(即干扰抵消系统),可以同时控制取样信号  $X(t)$  的幅度和相位,使之与干扰信号  $N(t)$  等幅反相,即为  $-N(t)$ ;然后在合路器处将接收天线中的混合信号与信号处理电路的输出信号进行合成,这样就可以达到消除干扰信号的目的,只剩下有用信号进入接收机。简而言之,自适应干扰抵消就是调整取样信号的幅度和相位,使之与干扰信号等幅反相,然后将二者进行合成,从而达到消除干扰的目的。

## 2 自适应干扰抵消系统实现方案

自适应干扰抵消系统的实现方案如图 2 所示,信号的幅相控制采用正交合成的方法实现。先利用  $90^\circ$  移相器将取样信号  $X_0$  分成 2 路相互正交的信号  $X_I$  与  $X_Q$ ,通过 2 个电调衰减器分别对  $X_I$  和  $X_Q$  进行

加权控制,即对其幅度和相位进行控制。调节控制电压  $W_I, W_Q$ ,合成信号  $N_c$  的相位在  $0^\circ \sim 360^\circ$  间可调,而且其幅度也在一定的动态范围内可调。由于接收天线接收到的干扰信号  $N_R$  的幅度有限,调节  $W_I, W_Q$  总能找到 1 组最佳的  $W_I, W_Q$ ,使得对应的  $N_c$  与  $N_R$  无限趋近于等幅反相<sup>[3]</sup>,二者合成就可以相互抵消,从而达到消除干扰的目的。

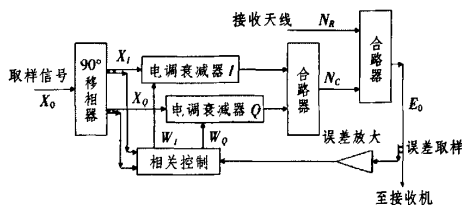


图 2 系统实现方案

Fig. 2 Implementing scheme of the system

该方案通过加权系数  $W_I$  与  $W_Q$  控制合成信号  $N_c$  的幅度和相位,是 1 种快速的自适应调整过程。相关控制部分完成 LMS 算法,得到的加权系数  $W_I$  与  $W_Q$  可以反映误差信号  $E_0$  中残存干扰信号的幅度和相位等重要信息,从而控制电调衰减器进行相应的调整,使得合成信号  $N_c$  自动朝着与干扰信号  $N_R$  等幅反相的方向变化<sup>[4-5]</sup>。由此可见,电调衰减器是自适应干扰抵消系统的核心部件,也是设计难点之一。

在方案实现过程中,我们重点解决了电调衰减器承受功率、线性控制以及实时控制等难题。该系统所能抵消的最大干扰功率超过了计算以及实船测量得到的最大共址耦合干扰功率,对于干扰信号功率、频率以及相位的变化可以快速地自适应响应,解决了现有产品在舰船晃动、天线摇摆时干扰抵消效果不佳的问题。

## 3 实验验证

干扰抵消比(ICR)是自适应干扰抵消系统的一个最重要的参数,其定义为:

$$ICR = -10 \log_{10} \frac{P_E}{P_R}$$

式中:  $P_R$  为抵消前干扰信号的功率;  $P_E$  为抵消后残存干扰信号的功率。

为了在实验室对自适应干扰抵消系统抑制共址耦合干扰信号的作用进行验证,最重要的就是测量其 ICR 参数。

### 3.1 验证方案

在实验室,利用 2 台信号源配合功放来模拟舰船

上相邻的收发天线,验证实验布置框图如图 3 所示。

信号源 1 的输出信号经功放放大后可模拟取样信号与干扰信号,改变程控衰减器的衰减值可以改变干扰信号的功率,改变取样器到程控衰减器之间连接电缆的长度可以改变干扰信号的相位,以模拟舰船上由于天线摆动等环境变化造成的耦合干扰信号功率与相位随时发生变化的实际情况。

信号源 2 输出的信号为有用信号,合路器的输出信号含有有用信号与干扰信号,可模拟接收天线接收到的信号。利用频谱仪监测干扰抵消系统工作前后干扰信号与有用信号功率的变化情况,前级加入 20 dB 衰减器是为了保护频谱仪不被烧毁。

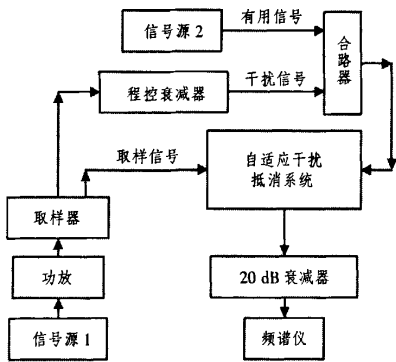


图 3 验证实验布置框图  
Fig. 3 Setup of the demonstrating experiment

3.2 验证结果与分析

针对干扰信号的不同频率、不同功率以及与有用信号的不同频率间隔等多种情况,对自适应干扰抵消系统的 ICR 参数进行测量,其中 1 组测量结果如图 4 所示。

图 4(a)显示的是抵消前干扰信号与有用信号的频谱,干扰信号频率为 16 MHz,功率为 33 dBm,有用信号频率为 16.4 MHz,功率为 -20 dBm(由于抵消系统中的合路器有 3 dB 损耗,而且频谱仪前有 20 dB 衰减,故频谱仪上显示的干扰信号与有用信号的功率均比实际功率小 23 dB)。干扰信号频率与有用信号频率非常接近,但是干扰信号的功率却要远大于有用信号的功率,会把有用信号淹没于其中,对接收机产生阻塞干扰,这是一种典型的共址耦合干扰。

图 4(b)显示的是利用所研制的自适应干扰抵消系统进行干扰抵消后,干扰信号与有用信号的频谱。

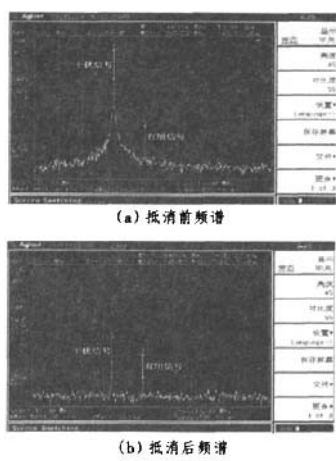


图 4 实验结果  
Fig. 4 Results of the experiment

对比可以发现,干扰信号的功率从 33 dBm 降到了 -8 dBm,即 ICR 为 41 dB,而有用信号的功率没有发生明显变化。这表明,该自适应干扰抵消系统在大幅抑制干扰信号时,没有对有用信号造成明显影响(除了抵消系统中的合路器会使有用信号损耗 3 dB),达到了抑制共址耦合干扰的目的。

4 结 语

本文分析了利用自适应干扰抵消技术解决舰载天线共址耦合干扰问题的基本原理,提出了可行的解决方案,最后对利用该方法解决共址耦合干扰问题的有效性进行了实验室验证。验证结果表明,该方法可使干扰抑制比(ICR)达到 40 dB,可以有效抑制舰载天线间的耦合干扰。

参考文献:

[1] 周开基,赵刚. 电磁兼容性原理[M]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2003.

[2] 谭辉,宋文武,等. 舰船天线间耦合干扰解决方案探讨[J]. 舰船科学技术,2007,29(5):76-79.

[3] 马义广,杜武林. 自适应干扰抵消系统的性能分析和设计[J]. 西安电子科技大学学报,1992,19(1):84-92.

[4] Abutaleb A S. An adaptive filter for noise canceling[J]. IEEE Trans. Circuits Syst.,1988,35(10):1201-1209.

[5] Solo V,Kong X. Adaptive signal processing algorithms[M]. Englewood Cliffs,Nj:Prentice Hall,1995.

## 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](http://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](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力和专注于微波、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](http://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>