

一种新型接收机天线系统的设计*

姚 瑶¹⁾ 盖明朋²⁾ 郜海龙³⁾

(92493 部队 16 分队¹⁾ 葫芦岛 125000)(海军 704 厂²⁾ 青岛 266109)(北海舰队通信处³⁾ 青岛 266106)

摘要 提出一种新型接收机天线系统的设计方案,并对部分模块作了仿真分析;该设计的实现依赖于自适应算法,以及自适应调零在天线系统中的应用,通过性能与可实现性的综合考虑,选择功率反演算法作为系统的前置算法,为系统提供必要的零点信息,更新系统的权值,使系统自动在干扰来向上面设置零点,把干扰抑制在一个很低的水平上,或者完全抑制。

关键词 自适应算法;功率反演;LMS;接收机

中图分类号 TN911.7

A New Design of Antenna System Used in Receiver

Yao Yao¹⁾ Gai Mingming²⁾ Xi Hailong³⁾

(The No. 16 Unit of the 92493 Army¹⁾, Huludao 125000)(No. 704 Navy Factory²⁾, Qingdao 266109)
(Communications Department of the Beihai Fleet³⁾, Qingdao 266106)

Abstract This article gives a method to design a new antenna system used in receivers, and gives some simulations for certain module. This design bases on adaptive algorithm, and the application of adaptive nulling antenna, at last the power inversion algorithm is chosen taking account of the realizability and performance to supply null information for the system, in order to update the weights in the system, and the interferences can be restrained to a low level or delete from the received signals.

Key words adaptive algorithm, power inversion, LMS, receiver

Class Number TN911.7

1 引言

GPS 系统是由美国国防部的陆海空三军在 20 世纪 70 年代联合研制的新型卫星导航系统,它能够全球性、全天候、连续和实时的为用户提供导航定位和定时的功能。它所表现出的优越性能,使其迅速的在民用和军用市场中扩展^[1]。与此同时,随着 GPS 在现代战争和日常应用,它也表现出一些缺陷。例如, GPS 的有用信号在地球表面非常微弱,即使很微弱的干扰信号都能对其造成影响,这成为 GPS 发展的障碍^[2],从而引起了新一轮的科

研挑战。

功率反演算法可以说是一种功率最小化的算法,它追求输出功率的最小化,无论对有用信号还是干扰信号都加以抑制^[3]。由于卫星信号在地面非常的微弱,最小信号电平为 -160dBw,大约会比干扰低 20~30dB 或者更高。在这种情况下,系统会抑制掉干扰信号的大部分能量,从而就达到了抗干扰的目的。这种算法不需要参考信号,同样不需要知道信号或者干扰的来向,它会自动在干扰的来向上面产生零陷,并且随着干扰的增强产生的零陷深度会越深,非常适合用在卫星接收机中^[4]。

* 收稿日期:2008 年 7 月 15 日,修回日期:2008 年 8 月 30 日

作者简介:姚瑶,女,助理工程师。盖明朋,女,助理工程师。郜海龙,男,工程师。

2 功率反演算法原理

假设下图中的 $n+1$ 元天线均匀线阵：

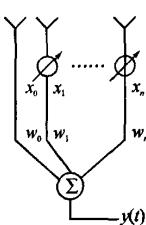


图 1 天线模型

如图 1 所示,其中 x_0 表示主天线, $x_1 \dots x_n$ 表示辅助天线。功率反演算法实质上是一种具有严格约束条件的自适应算法,其约束条件为 $w^T s_0 = 1$ 。现今 $s_0 = [1 \ 0 \ 0 \ \dots]$,即无论何时都保证主天线的增益为 1,即 $w_0 = 1$ 。

$$\text{令 } W(t) = [w_1(t) \ w_2(t) \ \dots \ w_n(t)]^T$$

$\dots \ w_n(t)$ 为辅助天线元的权向量, $X(t) = [x_1(t) \ x_2(t) \ \dots \ x_n(t)]^T$ 为辅助天线元的信号向量; 功率反演算法最初来自于 Compton 的文章^[5],其中所表述的数学模型中没有区别主天线和辅助天线:

$$\tau(dw/dt) + (I + k\Phi) = w_0$$

其中各个参数的意义如下: τ 是与系统响应有关的常数; k 是环的增益控制稳定的权值,在 Compton 的文章中有详细的讨论,它的取值是受到信号功率限制的,在此不作详细讨论; I 是单位向量; $\Phi = E[X^* X^T]$ 是信号的相关矩阵。

在实际的操作中上式过于复杂,不易于实现,相比较而言 LMS 算法的表达式:

$$dw/dt = \mu e X \quad e = d(t) - w^T X^*$$

其中各个参数的意义如下: $d(t)$ 是参考信号; e 是方差; μ 是算法的迭代步长,其取值受到限制信号相关矩阵特征值的限制。

由上面的表示可以看出 LMS 算法^[6]的计算相对简洁,复杂度较小。这种方法可以借鉴到功率反演算法中来,可以极大地改善算法的实用性,以下是对功率反演算法的改进。

LMS 算法权值更新的迭代过程可以表示为:

$$W(n+1) = W(n) + \mu x(n)e^*(n)$$

依照图 1 中功率反演算法的天线模型,令主天线元信号 $x_0(t)$ 代替 LMS 算法中的参考信号 $d(t)$,那么功率反演算法的数学模型可以表示为:

$$W(n+1) = W(n) + \mu x(n)e^*(n)$$

$$e(n) = x_0(n) - W^T(n)X^*(n)$$

在上述的表达式中出现的上标 T 表示向量的转置,* 表示向量的共轭。经过计算推导,功率反演算法的最优权值可以表示为:

$$W_{opt} = R_{xx}^{-1}r_{x_0}$$

在仿真分析部分,本文对两个算法的优劣做了

详细的讨论。

3 系统设计

从仿真部分的分析可以看出功率反演算法在与 LMS 算法的比较中还表现出了一些弱点,它在干扰抑制方面不如 LMS 算法,只是消除参考信号对于 LMS 算法的困扰,这样对于一般的、要求比较低的系统来说确实是一种很好的抗干扰算法;在对干扰抑制要求比较高的系统中就不是那么适用了,为了把该算法应用于实践,Compton 在文章中对该算法的应用还提出了一个提议,即把该算法作为干扰检测算法来适用,然后借助高性能的抗干扰算法来实现干扰的抑制,Mohamed 等人做了这方面的研究,本文提出一种采用零点抵消技术^[7]的天线系统,系统结构如图 2 所示。

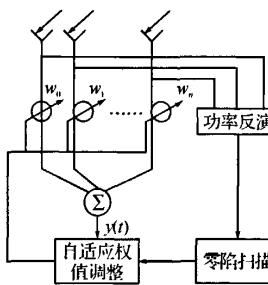


图 2 系统结构框图

本设计采用功率反演算法作为前置算法,用来检测来自不同方向上的干扰,在抑制干扰的时候采用零点设置系统^[8~9],如图中的“自适应权值调整”,用来在干扰方向上面设置零点,这样就能更好地抵消来自不同方向的干扰。本文对零点设置系统进行了仿真,得到了很好的仿真效果。

4 仿真分析

在仿真分析中为了方便比较,采用信号与干扰的比值为 50dB,干扰来自 50 度角方向,这样可以明了地显示出比较结果。

在图 3 所示的 LMS 算法仿真中可以看出如果干信比为 50dB 的话,LMS 算法对干扰的抑制会达到将近 60dB,这样的效果就相当于把干扰完全抑制掉了,不过由图中也可以看出,在 30~80 度的方向上面该算法同样会对这个区间的信号产生 10dB 左右的抑制,如果有用信号也在这个区间,那么就会得到一定的抑制,该仿真建立在良好的参考信号基础之上,可以很明显地看出该算法的优劣。

在图 4 中可以看出,同样的条件下,功率反演算法对干扰的抵制作用相对要弱一些,能达到 47dB 左右,这就说明没有把干扰完全抵制掉,也就

(下转第 155 页)

参考文献

- [1] 周青龙. 故障诊断与监控[M]. 兵器工业出版社出版, 1992
- [2] Joseph Giarratano, Gary Riley (美). 刘星成, 汤庸, 译. 专家系统原理与编程[M]. 印鉴. 北京: 机械工业出版社, 2000
- [3] 卢学军, 缪思恩, 王一欧, 等. 故障诊断专家系统知识处理及知识库管理方法研究[J]. 计算机工程与应用, 2001, 24: 167~169
- [4] 周洪煜, 彭其润, 周爱红. 基于单片机和BP神经网络的
- 凝汽器故障诊断系统[J]. 工业仪表与自动化装置, 2003, 5(4): 33~35
- [5] 余晓晖等. 基于BP神经网络的水轮机调速系统故障诊断[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2001, 24(6)
- [6] 曾凡智, 李风保. 基于神经网络的设备故障诊断[J]. 计算机应用, 2004, 24(2): 59~61
- [7] 蔡卫峰. 神经网络技术在分布式系统智能故障诊断中应用[J]. 化工自动化及仪表, 2002, 29(5): 12~17
- [8] 吴凌云, 王华. BP神经网络专家系统在故障诊断中的应用[J]. 信息技术, 2003, 27(2): 66~68

(上接第79页)

是说在后继的信号处理中还会有没有抑制掉的部分干扰混杂在有用信号里面, 这样无疑增加了信号处理部分的工作^[10], 也增加了对信号处理部分的

要求。同样在30~80度的方向上, 如果有用信号出现, 就会得到10dB左右的衰减, 不利于后继的信号处理。

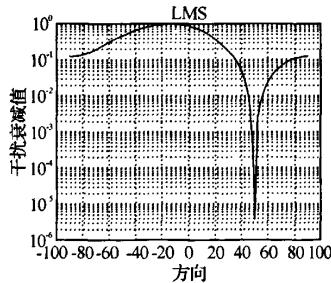


图3 LMS算法仿真

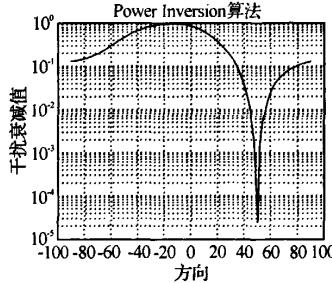


图4 Power Inversion算法仿真

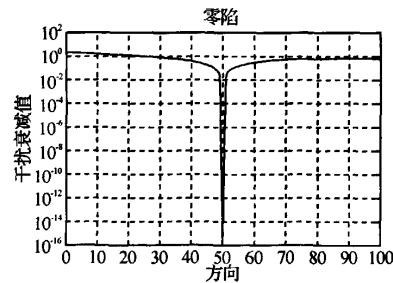


图5 零陷方向仿真

根据图2中的系统设计框架, 在图5中对零陷设置部分的设计, 在相同的干扰来向条件下, 做了衰减的仿真分析, 从图中可以看出, 相同的干扰条件下, 50度来向的干扰得到迅速的衰减, 而且在干扰来向周围的区域几乎没有得到任何的衰减, 这样就相当于在空间信号来向上直接把干扰信号挖取出来, 而没有对信号造成任何的影响。

5 结语

在前述的地讨论中, 充分展示了这种新型的接收机天线系统的优势, 针对GPS的应用, 该系统有很高的实用价值。目前我国正在抓紧时间研究北斗卫星定位系统, 不过现在还没有达到成熟阶段, 鉴于北斗系统的兼容性能, 以GPS作为研究对象来实践一些接收机的设计是很必要的, 为以后直接应用到我国自己的北斗系统中有很深远的意义。

参考文献

- [1] Elliott DK著, 邱致和王万义译. GPS原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002, 8
- [2] 邓小涛, 江帆, 石佳. GPS导航系统干扰对抗技术研究[J]. 现代电子技术, 2006, 20
- [3] 贾洪峰, 刘尚合. 用于GPS接收机的功率倒置阵抗干扰性能研究[J]. 军械工程学院学报, 2001, 04
- [4] 曾欣, 郑建生, 俞诗鲲. GPS卫星接收机的自适应抗干扰设计[J]. 电讯技术, 2003, 05
- [5] Compton R T. The power inversion adaptive array: concept and performance [J]. IEEE Transactionon Aerospace and Electronic Systems, 1979, 15(6): 803~814
- [6] C. C. Ko. Adaptive null-steering algorithm for separating multiple directional sources in linear power inversion arrays [J]. IEEE Proceedings-H, 1992, 139(6): 477~482
- [7] E. A. MOHAMED TAN Zhan-zhong. Adaptive antenna power inversion and linearly constrained minimum variance algorithms [J]. Chinese journal of aeronautics, 2005, 18(2): 153~160
- [8] 廖群, 郑秋生, 黄超. GPS自适应抗干扰算法及FPGA实现[J]. 现代雷达, 2006, 28(4)
- [9] 卢昕, 熊昌仑, 郑建生, 宗战华. 基于DSP技术的GPS接收机天线自适应抗干扰模块的设计与实现[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2005, (07)
- [10] 贾洪峰, 康锡张. GPS接收机天线自适应抗干扰系统的设计[J]. 通信学报, 2001, 22(8): 54~59

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>