

# 一种 VHF 自适应零位天线系统

陈 健, 裴昌幸, 曾兴雯, 杜武林

(西安电子科技大学 通信工程学院 陕西 西安 710071)

**摘要:**介绍了一种基于 TMS320C25 为控制、处理核心的 VHF 自适应零位天线系统,给出了该系统模数结合的基本结构,阐述了鞭环组合有源天线阵的机理,系统采用了空间谱估计的测向算法以及一种简便、有效的抗干扰算法,实验结果表明系统能有效地抑制干扰。

**关键词:**自适应天线;干扰对消;空间谱估计算法

**中图分类号:** TN973.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-240X(2002)05-0660-04

## An adaptive nulling antenna system for VHF

CHEN Jian, PEI Chang-xing, ZENG Xing-wen, DU Wu-lin

(School of Communication Engineering, Xidian Univ., Xi'an 710071, China)

**Abstract:** This paper presents an adaptive antenna system based on TMS320C25 for VHF. The digital-analog combination design and the whip-loop assemble antenna are discussed. The Directions of Arrival signals are determined by spatial spectral estimation. With a brief and effective algorithm, the adaptive antenna system for VHF is proved by experiments that the system can suppress interference effectively.

**Key Words:** adaptive antenna; interference rejection; spatial spectral estimation algorithm

在现代战争中,电子对抗与反对抗是极为重要的组成部分,夺取电子战的胜利,取得“制电磁权”,是取得战争胜利的先决条件。自适应零位天线是一种空间域的抗敌方有意干扰和其他电台无意干扰的重要手段,其基本技术手段是自动波束形成技术和自动零点控制技术。只要干扰信号的来向与有用信号的来向不同,自适应零位天线技术就能有效地发挥作用,消除干扰信号的影响,而且自适应零位天线系统是一附加的抗干扰单元,应用时不需要对电台作改动,因此适应零位天线技术是战术电台抗干扰的一种很有前途的技术。文中介绍一种在 VHF 波段工作的自适应零位天线系统,该系统可以适合于野战通信战术电台。

## 1 系统的硬件设计

自适应零位天线实际上是一个电子系统:它对所收到的信号进行实时处理,通过调节天线阵元相位,改变其定向特性,使有用信号的方向增益最大,并将波束的零位对准干扰方向,从而避开对方的干扰<sup>[1,2,4]</sup>。笔者所设计的 VHF 自适应零位天线系统主要由 5 部分组成:三元阵天线及宽带放大器、加权网络、接收通道、相关器、信号处理器,如图 1 所示。

$N$  元阵天线最多可以处理  $N-1$  个信号的信息,即自由度为  $N-1$ 。但随着  $N$  的增加,天线阵的尺寸、重量及自适应算法和收敛时间都将大幅度增加,使得系统的整体性能下降。考虑到战场实际情况,一个有用信号和一个干扰信号是最可能出现的情形,即某频率点上的有意干扰通常只有一个,因此采用三元天线阵,其自由度为 2,可以发现两个信号,最多可以抑制两个干扰。系统采用的三元阵天线为一根全向鞭天线和一对正

收稿日期 2001-10-31

基金项目:国家部委“九五”预研资助项目(31.5.4.4)

作者简介:陈 健(1968-),男,西安电子科技大学博士研究生。  
万方数据

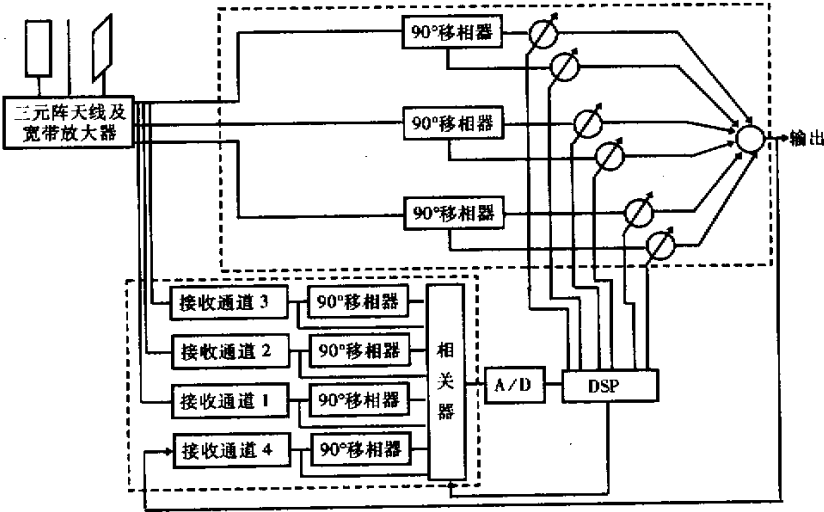


图 1 自适应天线系统硬件框图

交环天线组成,而且前置放大器对阵元的有效高度进行了频率补偿,目的是在 VHF 全频段内能获得平坦的频率特性.放大器输出信号  $X(t)$  与输入信号  $S(t)$  之间的关系可以用矢量表示为

$$X(t) = \alpha(\theta) S(t) \quad (1)$$

式中鞭环组合有源天线方向向量  $\alpha(\theta) = [1 \quad j \cos \theta \quad j \sin \theta]^T$ .  $\alpha(\theta)$  只与信号的来向  $\theta$  有关,而与信号频率无关.

放大器输出的信号  $X(t)$  分成上下两路:上路到加权网络,下路到接收通道.加权网络的加权系数是由 DSP 计算出来的,由于自适应算法的需要,加权网络是一复加权的网络.经加权网络后的输出信号可以表示为

$$y(t) = W_1 X_1(t) + W_2 X_2(t) + W_3 X_3(t) = W^T X(t) \quad (2)$$

$W$  为经 DSP 处理后得到的加权系数,  $y(t)$  为去掉干扰以后的有用信号.因此,自适应零位天线技术的关键即为找到合适的加权系数,使输出中无干扰信号,达到抗干扰的目的.

为达到要求的抵消比,系统中接收通道共有 4 个,接收通道 4 为误差通道,其作用在后面介绍,并且要求通道的一致性较好,否则通道的失配将会使计算加权系数的算法失效.通道采用了二次变频的超外差方式,有统一的电调谐和 AGC.

自适应算法中需要构造一相关矩阵,为降低对 DSP 的要求及达到实时处理的目的,系统中的相关运算采用硬件实现.来自接收通道的中频信号经过正交分支,通过开关控制,两两相乘积分即可得到相关矩阵.

信号处理器是系统的核心,完成的任务有:数据采集、算法处理、控制等.系统采用 TMS320C25 作处理器,特点是运算方便、控制简单、成本低等.

2 软件设计

自适应零位天线的这质是得到一方向增益图,将零点对准干扰,主波束对准有用信号<sup>[3]</sup>.如果能找到各信号来向(DOA),再通过最优化处理,就能达到此目的.系统采用 MUSIC 算法进行测向,再根据得到的 DOA 信息去除干扰信号;为消除通道失配的影响,最后采用功率反演算法(PI)算法对加权系数进行校正.

2.1 MUSIC 算法获取 DOA 信息

空间谱估计作为一种获取信号空间参数(方向、位置等)技术,应用领域日趋广泛.系统采用的是最基本的空间谱估计算法即 MUSIC(Multiple Signal Classification)算法来获取 DOA 信息.由于在获得 DOA 信息时,不

需要也无法区分有用信号与干扰信号,可统称为信号,只有在抵消干扰时才加以区分. MUSIC 算法获取 DOA 信息的步骤为:

(1) 构造自相关矩阵 设系统噪声为零均值、 $\sigma_n^2$  方差的白噪声. 对阵列输入  $X$  求自相关矩阵

$$R_{xx} = E\{x(t), x^H(t)\} = A R_{ss} A^H + \sigma_n^2 I \quad ,$$

(3)

式中  $R_{ss} = E\{s(t), s^H(t)\}$ . 由前述可知,系统主要抵消敌方的瞄准式干扰,敌方的有意干扰通常与我方的信号不相关,故  $R_{xx}$  为对角阵,对角元素即为各信号的功率.  $A$  为方向矩阵,若存在两个信号,则  $A = [\alpha(\theta_1), \alpha(\theta_2)]$ .

(2) 对自相关矩阵进行特征分解 设方向矢量  $\alpha(\theta_m)$  ( $m = 1, 2$ ) 相互独立,对  $R_{xx}$  进行特征分解,有

$$R_{xx} = \lambda v \quad ,$$

(4)

式中  $\lambda$  为矩阵  $R_{xx}$  的特征值,它表示信号、噪声所对应的能量,  $v$  为  $\lambda$  相应的特征向量. 由分析可得,最小的特征值对应于噪声.

(3) 确定信号来向 设最小特征值所对应的一个特征向量为  $v_N$ ,用方向矢量  $\alpha(\theta) = [1 \quad j \cos \theta \quad j \sin \theta]^T$  与  $v_N$  相乘. 当  $\theta$  角在  $0 \sim 2\pi$  间变化时有:

$$\begin{cases} \|\alpha(\theta) v\| = 0 & , \quad \theta \text{ 为信号来向} , \\ \|\alpha(\theta) v\| \neq 0 & , \quad \theta \text{ 不为信号来向} . \end{cases}$$

(5)

因此,通过  $\theta$  角在  $0 \sim 2\pi$  间变化对  $\|\alpha(\theta) v\|$  搜索最小值,即可以获得 DOA 信息.

2.2 去干扰算法

采用人工的方法,从不同的来向信号中区分出有用信号与干扰信号. 设干扰信号的来向为  $\theta_j$ ,则可令图 1 中的权向量  $W = \alpha(\theta_j) = [1 \quad -j \cos \theta_j \quad -j \sin \theta_j]^T$ ,此时的天线方向增益函数可以表示为

$$\alpha(\theta) = |W^T \alpha(\theta)| \quad ,$$

(6)

$$\begin{cases} \alpha(\theta) = 0 & , \quad \theta = \theta_j \quad , \\ \alpha(\theta) \neq 0 & , \quad \theta \neq \theta_j \quad . \end{cases}$$

(7)

因此图 1 在选择  $W = \alpha(\theta_j) = [1 \quad j \cos \theta_j \quad j \sin \theta_j]^T$  的加权后可在干扰方向形成零陷,从而达到去干扰的目的. 由此可看出,系统是采用最小化干扰信号的输出功率实现抗干扰的,而没有采用常用的最大化有用信号功率的方法,这是因为目的是消除干扰,虽然在零陷对准干扰时将对有用信号造成一定的衰减,但衰减并不严重(有用信号与干扰信号间存在的夹角越大,衰减越小).

用上述的方法进行干扰抵消时必须使通道的一致性较高,主要是要求多通道检测接收机在整个波段内增益和相移都必须一致,增益误差要小于 1 dB,相位误差小于  $1^\circ$ ,否则调零精度和深度都会受到影响. 考虑到通道的失配的影响,在设计系统时增加了一误差检测通道即图 1 中的通道 4,利用功率反演算法对上述的加权系数进行校正,从而提高系统的抵消比.

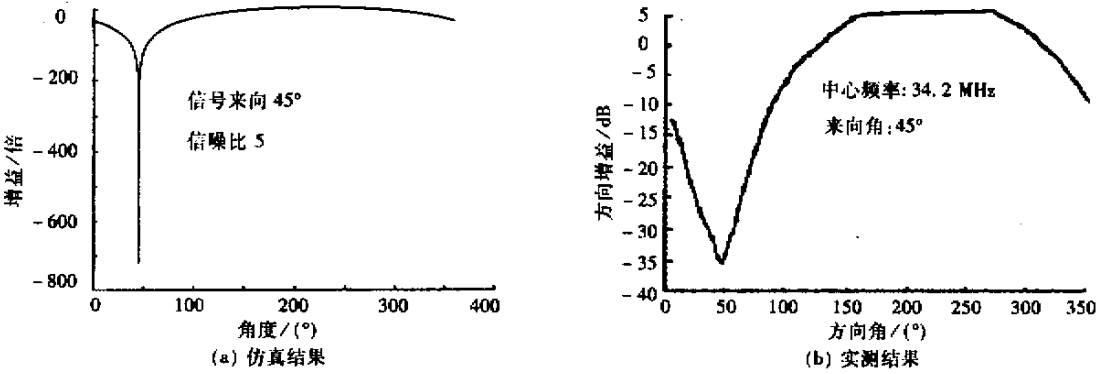


图 2 只有一个干扰信号的情况

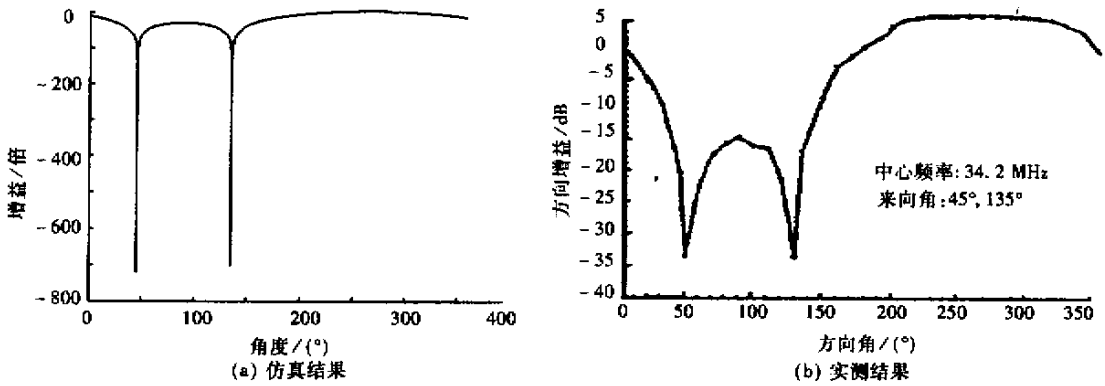


图 3 两个干扰信号的情况

3 实验结果

图 2 和图 3 分别给出了一个干扰信号和两个干扰信号的抵消情况,其中图 2(a)和图 3(a)为计算机仿真结果,图 2(b)和图 3(b)为系统实测结果.由图可以看出,系统具有抵消一个、两个干扰信号的能力,实测结果基本与理论结果相符,造成理论结果和实测结果误差的原因主要是通道失配的影响.实验结果表明,系统的干扰抵消比能达到30 dB,角度误差为 $\pm 5^\circ$ .

参考文献：

[1] Flam R P, Ball J F, Burgess. A Null-Forming Array for Frequency Hopping HF Communicaitons[ A ]. International Conf on Communications[ C ]. [ s.l. ], 1986, 3 :1913-1916.

[2] 石 镇. 自适应天线原理[ M ]. 北京:国防工业出版社,1991.

[3] Tung T L, Yao K C, et al. Source Localization and Spatial Filtering Using Wideband MUSIC and Maximum Power Beamforming for Multimedia Applications[ A ]. IEEE Workshop on Signal Processing Sytems[ C ]. SiPS: Design and Implementation, IEEE, 1999. 625-634.

[4] 裴昌幸. 自适应零位天线系统及其设计与实现[ J ]. 西安电子科技大学学报,1999, 26( 2 ): 170-173.

( 编辑：李维东 )

## 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>