

雷达导引头天线技术研究

翟龙军¹, 刘隆和², 姜永华², 王长春¹

(1. 海军航空工程学院学员旅; 2. 海军航空工程学院电子工程系, 烟台, 264001)

摘要: 介绍了战术导弹雷达导引头天线技术的发展过程, 提出当代雷达导引头天线应采用阵列天线的看法, 并就圆形天线阵的性能及其在导弹导引头中的应用进行了分析。

关键词: 雷达制导; 天线; 雷达

中图分类号: TN 95

文献标识码: A

THE STUDY ON THE ANTENNA OF RADAR SEEKER

ZHAI Long-jun¹, LIU Long-he², JIANG Yong-hua², WANG Chang-chun¹

(1. Students' of Brigade of NAEI; 2. Department of Electronic Engineering, NAEI, Yantai, 264001)

Abstract: In this paper, the development of the antenna technology of tactic missile seeker is introduced. The opinion of the antenna of modern radar seeker that the array antenna should be used is proposed. And also, the performance of the circular array antenna and its application in missile seeker is analyzed.

Key words: radar guidance; antenna; radar

0 引言

战术导弹中雷达导引头应用得最多、技术发展最快。雷达导引头目前已成为战术导弹的主要制导设备。雷达导引头的天线技术随着导引头性能的不断提高, 加工技术和微波器件的发展, 也在不断地更新换代。具体发展过程如表1所示。

表1 战术导弹雷达导引头天线发展年表

年代 (20世纪)	天线类型	应用实例
50-60年代	双反射器锥扫 或隐蔽锥扫天线	美国“麻雀IIIb”、法 国“玛特拉 R530”、原 苏联“冥河”
60-70年代	双反射器 卡氏天线	原苏联“萨姆 6”、意 大利“阿斯派德”
70-80年代	波导隙缝阵列 单脉冲天线 (平板裂缝天线)	美国“AIM-120”
80-90年代	平板裂缝天线、 相控阵天线	俄罗斯研制的 1/4 波导 高度的隙缝阵列天线 阵、美国马丁·玛丽埃塔 公司研制的 W 波段捷联 相控阵天线

从表中可看出, 目前战术导弹雷达导引头天线技术已进入应用阵列天线的时代。雷达导引头阵列天线目前主要有两类:

- (1) 波导隙缝天线(简称平板裂缝天线)。
- (2) 相控阵天线。

但从发展多(双)模复合寻的制导系统考虑, 上述阵列天线都很难与其他模式相兼容, 必须研究其他形式的天线。最适合多(双)模复合寻的制导系统的雷达天线应该是共形天线阵和圆形天线阵。

1 圆形天线阵的波束合成

圆形天线阵是天线阵元均匀排列在半径为 R 的圆周上的天线阵。它可以实现 360°方位角的测向, 是瞬时多波束精确测向技术之一。其结构示意如图1所示。

圆形天线阵的馈电(激励)模式主要有两种: 同相馈电模式和线性相位模式。同相馈电会使所有阵元产生的辐射场在一个方向(主波束)上相干叠加。可见它只能形成一个主波束, 要形成瞬时多波

束，应采用线性相位模式。即在宽频带范围内，由具有固定线性相移的波束合成网络给多阵元馈电。

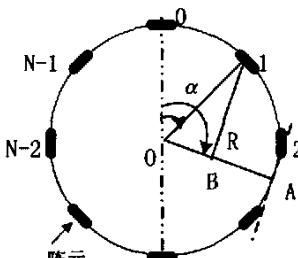


图1 圆形天线阵示意图

设方位参考方向为0号天线与圆心的连线，俯仰参考方向为天线阵所在平面，建立坐标系如图2。

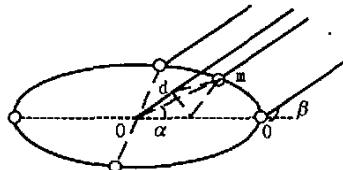


图2 圆形天线阵波程差示意图

设信号入射方向为 (α, β) ，圆心O为相位参考基准，则信号到达第m个阵元与到达圆心O的波程差为：

$$d_m = R \cos\left(\frac{2\pi}{N} m - \alpha\right) \cos\beta \quad (1)$$

从而引起的相位差为：

$$\begin{aligned} \Delta\phi_m(\alpha, \beta) &= \omega \frac{d_m}{c} = \\ &= \frac{\omega R \cos\left(\frac{2\pi}{N} m - \alpha\right) \cos\beta}{c} = \quad (2) \\ &= \frac{R \cos\left(\frac{2\pi}{N} m - \alpha\right) \cos\beta}{\lambda} \end{aligned}$$

其中：c为光速； ω 为入射信号频率； λ 为入射信号波长；N为阵元个数；R为天线阵半径。

设入射信号为 $s(t) = a(t)e^{j(\omega t + \phi(t))}$ ，其中， (α_0, β_0) 为信号的入射方向。则在每个阵元上产生的信号为 $x_{m0}(t) = s(t)A_m e^{-j\Delta\phi_m(\alpha_0, \beta_0)}$ ，其中， A_m 为第m个阵元的天线增益。

若采用对各阵元的信号进行复加权求和进行波束合成，可得输出信号为：

$$y_0(t) = \sum_{m=0}^{N-1} C_m(\alpha_0, \beta_0) x_{m0}(t) \quad (3)$$

设 $A_m=1$ ，

令 $C_m(\alpha_0, \beta_0) = A_m^{-1} e^{j\Delta\phi_m(\alpha_0, \beta_0)} = e^{j\Delta\phi_m(\alpha_0, \beta_0)}$ ，则 $y_0(t) = Ns(t)$ 。

在圆形天线阵复加权常数一定的情况下，圆形天线阵归一化方向图函数确定。在信号的入射方向为 (α, β) 时，输出信号为

$$\begin{aligned} y(t) &= \sum_{m=0}^{N-1} C_m(\alpha_0, \beta_0) x_m(t) = \\ &= \sum_{m=0}^{N-1} C_m(\alpha_0, \beta_0) s(t) e^{-j\Delta\phi_m(\alpha, \beta)} \end{aligned} \quad (4)$$

所以圆形阵归一化方向图函数为：

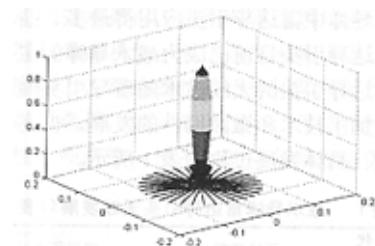
$$\begin{aligned} F(\alpha, \beta) &= \frac{|y(t)|^2}{|y_0(t)|^2} = \frac{\left| \sum_{m=0}^{N-1} C_m(\alpha_0, \beta_0) s(t) e^{-j\Delta\phi_m(\alpha, \beta)} \right|^2}{|Ns(t)|^2} \\ &= \left| \sum_{m=0}^{N-1} \frac{1}{N} e^{j \frac{2\pi}{N} (\cos\frac{2\pi}{N} m - \alpha) \cos\beta_0 - \cos\frac{2\pi}{N} m - \alpha \cos\beta} \right|^2 \end{aligned} \quad (5)$$

2 圆形阵归一化方向图的仿真及分析

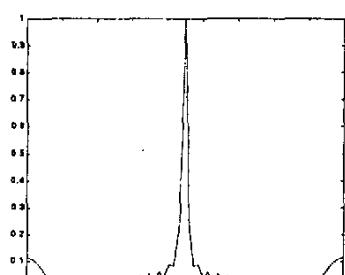
2.1 主波束指向

当 $\alpha=\alpha_0, \beta=\beta_0$ 时， $F(\alpha, \beta)=F(\alpha_0, \beta_0)=1$ ，所以，形成波束的主波束方向为 (α_0, β_0) 。设阵元数 $N=32$ ，圆形阵半径 $R=5\lambda$ ，以下是对主波束指向的仿真结果。

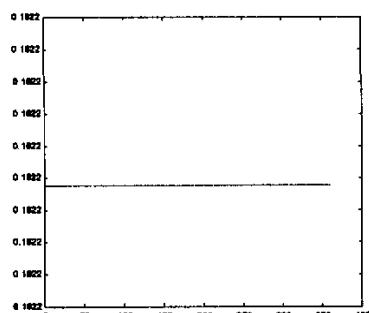
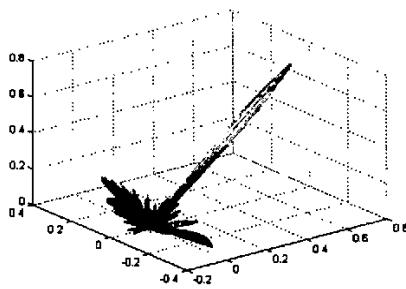
(1) $\alpha_0=0, \beta_0=\pi/2$ 时的主波束指向



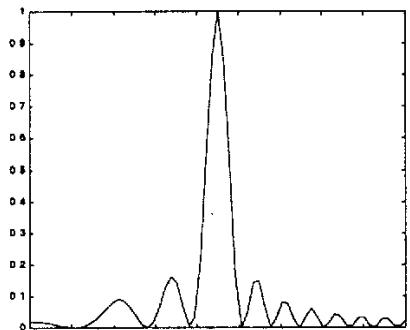
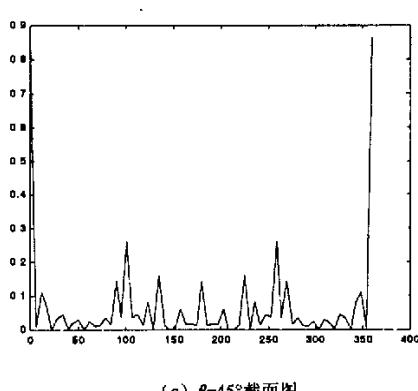
(a) 立体图



(b) $\alpha=0$ 截面图

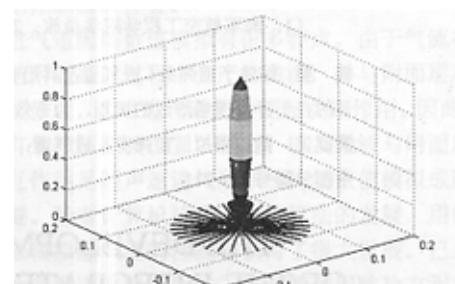
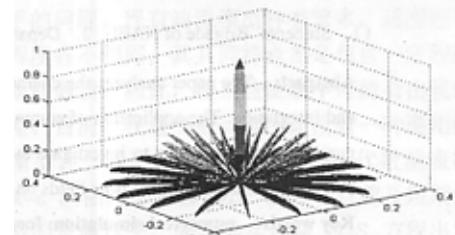
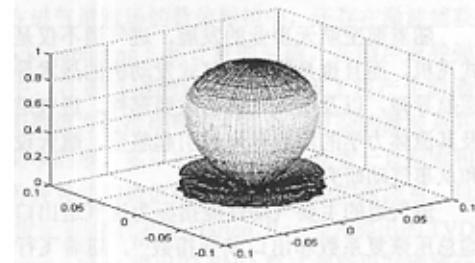
(c) $\beta=84^\circ$ 截面图图 3 $\alpha_0=0, \beta_0=\pi/2$ 时的天线方向图(2) $\alpha_0=0, \beta_0=\pi/4$ 时的主波束指向

(a) 立体图

(b) $\alpha=0$ 截面图(c) $\beta=45^\circ$ 截面图图 4 $\alpha_0=0, \beta=45^\circ$ 时的天线方向图

2.1 主瓣宽度、副瓣电平与阵元数 N 及圆形阵半径 R 之间的关系

主瓣宽度、副瓣电平与阵元数 N 及圆形阵半径 R 之间的解析关系较难求出, 故用仿真方法求出方向图进行比较。以下为主波束方向为 $\alpha_0=0, \beta_0=\pi/2$ 时, 不同阵元数 N 及圆形阵半径 R 的圆形阵的归一化方向图的仿真结果, 如图 5 所示。

(a) $N=32, R=5\lambda$ (b) $N=16, R=5\lambda$ (c) $N=32, R=3\lambda$ 图 5 $\alpha_0=0, \beta_0=\pi/2$ 不同阵元数 N 及圆形阵半径 R 的圆形阵的归一化方向图

从仿真结果可以看出: 当阵元数 N 增加时, 圆形阵方向图副瓣增多, 副瓣电平增加, 主波束宽度减小; 当圆形天线阵半径 R 增加时, 主波束宽度减小, 第一副瓣电平减小。

(下转第 644 页)

明显偏下。这表明需对图像进行预处理，以增强目标并抑制背景，同时需对算法进行改进。图3为用本文方法的提取结果，其中Limit取值为15，将图像沿行方向平均分成8个区，即每个块的大小为 8×256 。显然，与图2相比，图3中海天线的提取结果更加准确。

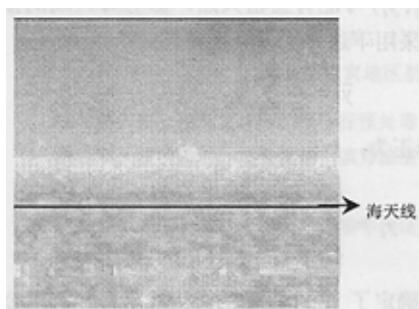


图3 本文方法结果

4 结论

本文提出了一种实现舰船目标红外图像海天

线提取的有效方法，即首先使用邻域平均法进行预处理以抑制背景，增强目标，进而利用直线拟合法完成海天线的提取。由于邻域平均法能有效地抑制背景干扰，同时增强目标信息，因此非常有利于后续的海天线提取。针对直线拟合法在实际应用中的不足，本文对其作了改进，结果表明，改进的直线拟合法能够有效地确定舰船目标红外图像中的海天线区域。

参 考 文 献：

- 1 张 锋, 杨树谦, 倪汉昌. 舰船红外图像特征提取及目标识别技术探讨[J]. 红外与激光技术, 1991.2
- 2 N.C. Mohanty, Image Enhancement and Recognition of Moving Ship in Cluttered Background[J]. IEEE, 82CH1761-6/82, 1982: 135-140
- 3 裴继红. 海面舰船红外成像目标的实时识别与跟踪[D]. 西安电子科技大学, 1994
- 4 沈庭芝, 方子文. 数字图像处理及模式识别[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1998. 42-48

(上接第621页)

3 结束语

目前战术导弹雷达导引头天线已进入应用阵列天线的时代。阵列天线的波束扫描可以不采用机械扫描机构，利用数控移相器改变移相值的办法实现，这样波束扫描速度快，没有滞后现象，是对付高速、大机动目标和同时对多目标进行跟踪的理想天线形式。从天线效率、副瓣电平来看，阵列天线也有很大的优势：圆锥扫描抛物面天线的效率为30%，副瓣电平为-10~-15dB；卡氏单脉冲抛物面天线的效率为40%，副瓣电平为-15~-20dB；波导裂缝阵单脉冲天线的效率为45%~55%，副瓣电平 ≥ -20 dB。

多(双)模复合寻的导引头的关键技术之一是探测头在导弹头部的配置问题。目前雷达导引头与其它类型导引头复合的困难就是天线太大，且必须

占据头部的中央位置，其它探测器难以安装。若雷达导引头天线采用圆形天线阵，只占据导引头头部的边缘位置，中央位置可转让给其它模式的探测头。因此，从发展多(双)模复合制导的技术出发，圆形天线阵具有独特的应用价值。

参 考 文 献：

- 1 杨小牛, 等. 软件无线电原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001
- 2 刘隆和. 多模复合寻的制导技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998
- 3 林象平. 雷达对抗原理[M]. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1985
- 4 丁勇生. 2cm 半高波导隙缝阵列单脉冲天线设计[J]. 制导与引信, 2000(21): 3
- 5 刘隆和, 翟龙军, 姜永华. 软件导引头[J]. 海军航空工程学院学报, 2002(1): 101-104

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>