

基于共形天线的捷联被动导引头系统研究

王 琦

(中国航天科工集团 8511 研究所, 江苏 南京 210007)

摘要: 基于共形天线的捷联被动导引头具有结构简单、隐蔽性好等优点, 受到了广泛关注。对基于共形天线的捷联被动导引技术进行了研究, 对该项技术的原理及关键技术进行了论述。该技术目前还处在研究阶段, 有很大的发展空间。

关键词: 共形天线; 捷联; 反辐射; 导引头

中图分类号: TN973; TJ761.1⁺9 **文献标识码:** A

Strapdown passive seeker based on conformal antenna

Wang Qi

(No. 8511 Research Institute of CASIC, Nanjing 210007, Jiangsu, China)

Abstract: A Strapdown passive seeker based on conformal antenna is widely concerned for its advantages such as simple structure and good concealment. A strapdown passive seeker based on conformal antenna is studied. The principle and key technologies are described. The technology is currently in research phase, which is of more development space.

Key words: conformal antenna; strapdown; anti-radiation; seeker

1 引言

随着现代军事装备高新技术应用不断增多, 对电子系统的体积、质量、性能的要求越来越严格, 部件越来越向着短、小、轻、薄、高可靠性、高速度的方向快速发展。在导弹导引头上, 为了提高其生存力、战斗力, 天线设计必须以小型化、低剖面、高性能、低 RCS 为前提。高精度、小型化导引头发展的需要, 以及成本和体积问题的制约, 传统基于陀螺稳定平台的末制导方案逐渐受到了限制, 于是捷联末制导技术应运而生。

基于共形天线的捷联被动导引头采用的天线能与飞行器外壳形状完全融合, 满足反辐射导弹(ARM)空气回力学外形要求。同时去除常平架天线稳定系统, 数字方式对弹体扰动造成的天线波束指向偏差实施实时修正, 稳定天线波束在惯性空间的指向。这种导引头与通常的被动导引头相比具有以下特点: 导引头上设备简单, 质量轻; 一般不挤占弹体头部空间, 对主动雷达天线的性能不会产生大的影响; 易于主被动融合; 不使弹径尺寸增加, 可显著减小导弹尺寸和体积, 减少伺服系统机械跟踪限制。这些特点决定了基于共形天

线的捷联被动导引头能显著提高 ARM 对预警机的攻击性能, 是反辐射导引头的发展趋势。但基于共形天线的捷联导引头也存在着一些关键技术需要解决。

2 系统原理

对于工作在超低频段的被动导引头, 为了满足导引头的高精度测角和宽频带接收的技术要求, 可选择的天馈系统体制非常少, 采用捷联干涉仪测相体制是实现在超低频段高精度测角的有效方法^[1]。在共形天线坐标系通过天线阵列得到目标二维角度, 结合捷联惯性测量器件测定的平台三维姿态角度信息进行数字解耦运算, 最终可输出一个虚拟的波束运动角速率信号进行比例导引。

被动导引头主要包括: 测向子系统、捷联惯性测量子系统、去耦解算模块。其信号生成过程如图 1 所示。

被动导引头测向子系统完成信号接收、信号分选、二维测向功能, 主要由天线阵、测向接收机、数字信道化接收机构成: 天线阵对雷达信号进行接收, 同时为了有效获取雷达空间位置信息, 重点保证天线阵相位一致性; 数字信道化接收机对接收的射频信号进行有目的地参数测量、分析, 把截获的目标信号参数传输给测向接收机作为信号分选依据, 使到达测向计算的数据

收稿日期: 2009-10-02; 2009-12-26 修回。

作者简介: 王琦(1972-), 男, 博士, 主要研究方向为电子对抗。

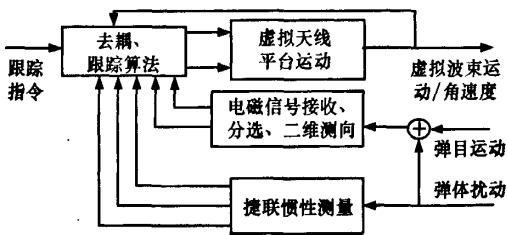


图 1 被动导引信号生成

只为威胁雷达的信号；测向接收机利用圆阵干涉仪体制，对选通的信号进行测向。

捷联惯性测量子系统主要完成导弹姿态、三维角速度测量功能。主要由速率陀螺构成。

去耦解算模块利用惯性测量子系统将测量坐标系下的目标二维角度信息转换为惯性坐标系下一个虚拟波束的跟踪运动。并由虚拟波束二维角速率信息进行比例制导。

3 关键技术

3.1 共形天线

ARM 要实现宽视角、宽频带，共形天线作为其关键部件，必须满足超宽频带内的电性能要求，又必须满足 ARM 的空气动力学外形要求。从大量的文献资料来看，导引头天线从 20 世纪 50 年代到 80 年代经历了三次变革，从锥扫体制到单脉冲抛物面天线，进而发展到平面波导型阵列天线，在 20 世纪 80 年代，共形天线由于技术难度较大以及当时的技术条件、工艺和基础材料等相关方面的制约，其研究大都集中在点频或窄频带工作的单个天线上。随着人们对太空研究的发展，特别是 ARM 及各种飞行器在战争中的地位日益加强及其相关技术快速发展，对共形天线技术的要求也越来越严格，最明显的就是希望共形天线能形成阵列并在宽频带甚至超宽频带内工作。

反辐射共形天线的设计要求包括：体积小、质量轻；有足够的机械强度和刚度，能承受一定强度的过载、振动和冲击；能忍受因导弹高速飞行时产生的高热；有良好的耐电击穿性能；宽频带内，各天线单元具有较好的幅相一致性。

3.2 测向技术

测量导弹与目标坐标系中的目标的角位置与角速度信息，是被动寻的装置的主要功能。显然，准确的测向技术是设计被动导引头的基础。

寻的导引头中，被动导引头可以选择的体制通常受到了天线系统布局空间的限制。在天线波束很宽，又要保证导引头的测角精度情况下，一般采用干涉仪

测角体制。由于受到弹体的限制，因此用于相位干涉的一对天线间的基线不能任意调整，导致某些频段清晰的测角范围减少，即出现测角模糊。由于相位干涉仪测量的相位差范围是 $[-\pi, \pi]$ ，如果基线相位差范围超过这个范围，就会出现相位模糊，所以只能得到以 2π 为周期的模糊值，只是真实相位差在 $[-\pi, \pi]$ 之间的投影。这样，真实相位差 = 测量相位差 + 模糊数 $\times 2\pi$ ，为此需要求出模糊数进行真实相位差解算。

在实际解模糊中，为减少计算量，充分利用一些先验信息，例如入射角度范围、信号频率范围等等。可根据这些信息，确定模糊数出现范围。在该范围内进行搜索，当各个基线组测定的二维角度相近时，则认为是真实相位差。

测角精度会随着天线阵元数增多而提高，在一些条件允许下，也可以采用多个脉冲测得的角度进行平均得到更好的精度。

3.3 捷联制导技术

捷联导引头将包括天线在内的全部硬件结构刚性地直接固定在弹体上。稳定和跟踪平台的撤除，使导引系统结构简单可靠。但是，在制导过程中弹体在惯性空间的姿态是不断变化的，因此，要得到相对于惯性空间的目标视线角及角速率，就必须将导引头测量信号中耦合的弹体姿态运动信息去除，才能获得被比例导引所用的目标视线角速率。因此，设计适合捷联导引头特点的捷联制导律已成为捷联制导技术发展的重要一环。

虽然视线角速率的获取可根据测得的弹体姿态信息和体视线角信息构建出“数学平台”实现目标视线角的测量与弹体运动的隔离。如文献中提到，可采用对捷联导引头的测量信息与姿态角之和微分的方法获取视线角速率，如图 2 所示。但此种方法只适用于线性导引头，对于非线性导引头来讲，其测量误差包括非线性、量化和零位等误差，引入微分后对于导引头测量值非线性和量化误差的微分项将导致制导系统发散，而且捷联导引头大的瞬时视场带来大的背景噪声，任何构建姿态解耦“数学平台”的测量信息误差都会反映到最终目标视线角速率中去。因此，这种方法在工程应用上有缺陷，必须寻找其它的途径实现比例导引。

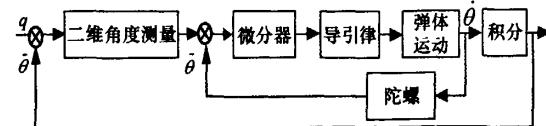


图 2 利用导弹姿态角和测量视线角产生制导信号框图

有文献提出需要用滤波的方法来得到目标视线角速率,由于捷联导引头测量信号与弹体姿态信息的耦合增加了系统的非线性程度,UKF 被认为是比 EKF 更合适的滤波器。但是,对系统建模不精确及对系统噪声标定不准确会导致滤波结果不理想。这时可采用了四阶龙格库塔法建立系统离散模型,防止模型不精确导致的滤波发散;针对模型参数噪声和状态噪声并存的问题,采用参数-状态联合估计简化系统噪声模型,提高滤波精度。

目前采用捷联制导体制进行比例导引只是进行了许多理论研究,还需要大量的试验才能真正应用到实际中去。

3.4 目标信号分选技术

被动寻的导引头可通过空域、时域和频域进行目标信号识别。首先利用波束宽度与指向进行空域选择,空域识别可排除探测域视场外的目标;时域和频域依据目标信号的时频特征进行识别,可利用频率、脉宽信息在微波通道中分选,接下来在数字域利用目标信号 PRI 进行分选,使进行测向运算的数据满足 PRI、频率、PW 与装订参数相匹配。测向计算后再一次利用 DOA 信息进行分选,从而始终对目标准确跟踪。这样处理不是简单地对每个脉冲进行参数估计,而是有效利用预定信号参数值,在接收过程中一步一步对入射的信号进行过滤,选择符合先验特征的目标信号,使感

(上接第 14 页)和拦截的重要依据,为提高突防概率,弹道导弹必须具备一定的中段红外突防能力。对于识别能力较弱或拦截目标单一的 BMD 系统,采用红外假目标(气球)突防是有效的,随着 BMD 系统红外探测与识别能力的增强,尤其是未来中段拦截多杀伤器(MKV)的出现,使得目标(无论真假)只要被发现就会被跟踪和摧毁,传统的多目标措施已不再满足突防需要,基于此,本文提出采用空间烟云对 BMD 红外探测与识别系统进行干扰的设想,在分析了空间烟云红外干扰机理的基础上,讨论了空间烟云对 MKV 探测及识别性能有效干扰的作用。空间烟云利用对目标的遮蔽作用,通过降低目标被红外探测系统发现与识别的概率,来提高目标对抗 MKV 的能力,突破了传统红外假目标突防难以有效对抗 MKV 拦截的技术局限性,将其用于导弹突防,对增强弹道导弹的中段生存能力具有重要的意义。■

参考文献:

- 1 Darin S W, Kent P P, Crawford Thomas M. Multiple kill vehicle (MKV) interceptor and method for intercepting exo

兴趣的目标信号进入到测向系统中。为后续处理减少处理压力,能够腾出资源进行去耦、剔除野值、滤波等运算。

4 结束语

导引头是反辐射导弹核心部件,它的性能决定了 ARM 的攻击能力。其中基于共形天线的捷联被动导引头对付空中预警飞机和各种空中干扰机的武器系统,具有隐蔽性好、抗电子干扰能力强和作用距离远等特点,在现代战争中将有非常强的生命力,在战略和战术上都具有实用意义。本文对这类导引头的系统原理与关键技术进行了论述。在实际使用中要使反辐射导弹真正发挥作用,还要充分考虑战场环境及反辐射导弹的各种对抗技术,提高导弹综合能力,才能使其攻击效能最高。■

参考文献:

- 1 楚德强,杨军.捷联反辐射寻的制导系统比例导引方法研究[J].弹箭与制导学报,2007(2):77-79.
- 2 何庆强,王秉中,殷忠良,等.导引头共形相控阵天线新技术[J].系统工程与电子技术,2006,28(12):1816-1819.
- 3 薛舜,周军,葛致磊.捷联导引头目标视线角速率重构方法研究[J].计算机仿真,2009(3):82-85.
- 4 车梦虎.反辐射导引头关键技术及发展趋势研究[J].航天电子对抗,2008(4).
- and endo-atmospheric targets [P]. WO: 2008/045582 A2. 2008-04-17.
- 2 彭渊,李业惠,张素梅.多拦截器——弹道导弹防御的新锐[J].现代军事,2006(1):44-45.
- 3 Multiple kill Vehicle (MKV) Interceptor with Autonomous Kill Vehicles[P]. WO: 2008/066938 A2. 2008-06-05.
- 4 Payton G. Advanced Concepts in Missile Defense[EB/OL]. <http://www.marshall.org/pdf/materials/703.pdf>, 2005-09-12
- 5 陆伟宁.弹道导弹攻防对抗技术[M].北京:中国宇航出版社,2007.
- 6 周遵宁,赵鲁生,任跃,等.外层空间红外成像制导对抗技术分析[J].红外技术,2002,24(6):14-16.
- 7 张敬贤,李玉丹,金伟其.微光与红外成像技术[M].北京:北京理工大学出版社,1995.
- 8 安德鲁 M 赛斯勒,约翰 M 康沃尔,鲍勃 迪艾兹,等. NMD 与反制 NMD [M]. 卢胜利,米建军,译.北京:国防大学出版社,2001.
- 9 陈立学.辐射温差的传递模型[J].红外与毫米波学报,1998,17(6):473-476.
- 10 邱继进,梅建庭.烟幕对红外制导武器的干扰研究[J].红外与激光工程,2006,35(2):212-215.

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>