

共面引导天线多模式合成跟踪技术

杨智峰 刘 婕

(63717 部队·山西兴县·033613)

摘要 讲述了共面引导天线用多种模式用加权合成角度误差电压驱动天线实现角度跟踪，并消除副瓣跟踪的可能性。

关键词 共面引导天线；分集合成技术

随着电子技术的快速发展，雷达的集成化程度和定位精度也在迅速提高。脉冲压缩技术解决了测距精度和平均功率与距离分辨率的矛盾，雷达天线口面的增大提高了角跟踪精度与跟踪距离。但是天线口面的增加导致波束变窄，角度捕获目标变得更加困难。同时由于波束变窄，跟踪过程中稍有干扰便有可能使天线偏离目标或滑向副瓣。在没有可靠的实时引导源的情况下提高雷达自身的自跟踪性能和抗干扰性便非常重要。

1 雷达天线自跟踪原理

雷达天线完成角度的自跟踪首先要解调出角度误差电压，来驱动伺服天线运动对准目标。误差电压的极性要求与天线偏离目标的方向相反，误差电压的大小与天线偏离目标角度的大小成正，与目标的远近和信号的强弱无关即角误差电压的归一化。根据角度误差电压产生的机理不同，角度误差电压的解调的大致可分为以下几种：

振幅比较法 天线偏离目标时，两个指向略有不同的差通道馈源收到的信号幅度也略有差异。通过比较并放大两个差通道馈源信号的幅度差便可解调出对应极性和幅度的角度误差电压。

相位比较法 天线偏离目标时，两个指相同的差通道馈源收到的信号相位略有差异。通过比较并放大两个差通道馈源信号的相位差便可解调出对应极性和幅度的角度误差电压。

多模馈源法 天线偏离目标时，差模馈源收到的信号与和通道信号相位有所不同。通过比较并放大差通道与和通道信号的相位差便可解调出对应极性和幅度的角度误差电压。

光学成像法 天线偏离目标时，目标在光学靶面的成像会偏离光轴中心。通过比较并放大目标成像与光轴的差值便可解调出对应极性和幅度的角度误差电压。

同步引导法 计算本天线与其他引导天线的实时角度差，产生相应极性与大小的误差电压。

数字引导法 将目标实时位置信息转换为本天线的极坐标值，与本天线的实时角度值做差得到对应极性与大小的误差电压值。

2 多模式合成自跟踪技术

2.1 多模式合成跟踪的优势

天线上同时安装有多套引导或自跟踪系统时，每套引导或自跟踪系统都可以产生自己的角度误差电压并驱动天线运动完成角度自跟踪。雷达设计时一般选择某一通道为主通道，在自跟踪时主通道输出角度误差电压驱动伺服天线完成自跟踪。其它通道在天线需要引导时才输出角度误差电压驱动伺服天线运动将天线引导到主通道波束内，在主通道捕获目标后切换主通道输出角度误差电压驱动伺服天线继续自跟踪。

在天线自跟踪时只有一个通道产生自跟踪所需的误差电压。在空间目标有所动作（如姿态变化、级间分离、单头旋转等）时信号质量会突然变差甚至中断，在信号突然变差或中断时雷达的跟踪精度也会变差甚至丢失目标或滑向副瓣。

目标的动作会引起某些信号的突变，但某些信号被影响的程度可能较小。如目标剧烈振动会引起合作目标的频综系统失锁但是反射信号和光学信号基本不受影响； β 角过大（超过160°）时雷达有效反射截面积LCS会减小，火箭的尾焰会对信号造成很大的衰减并使信号相位变的非常紊乱，但是对于光学系统的跟踪却非常有利；发动机关机后光学系统无法继续跟踪，级间分离后雷达有效反射截面积LCS大幅度减小并且反射信号分裂为多个目标反射式跟踪困难，合作目标的信号却变得很稳定。由此可知，单一模式很难完成全部段落的良好跟踪，所以本文提出多模式合成自跟踪方案。

2.2 多模式合成自跟踪的原理

多模式合成自跟踪就是将多种模式产生的角度误差电压通过分集合成技术产生一个合成的角度误差电压。每种模式将产生相应通道的角度误差电压，各个通道的角度误差电压通过相应的权值合成新的角度误差电压，如式（1）所示

$$\begin{aligned} V &= P_1V_1 + P_2V_2 + P_3V_3 + \dots + P_iV_i, \\ P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_i &= 1 \end{aligned} \quad (1)$$

其中 V_i 为第 i 通道的角度误差电压； P_i 为第 i 通道的权值； V 为合成的角度误差电压。每个通道的权值 P_i 与相应的权值系数 k_i 有关，也与实时的信号质量（信噪比 $(S/N)_i$ ）有关，所以

$$P_i = k_i(S/N)_i \quad (2)$$

天线实时的跟踪精度 σ_i 与实时的信号质量 $(S/N)_i$ 有关，也与通道固有的跟踪特性有关，可以通过修正权值系数 k_i 的值来调整相应通道的权值，是跟踪精度高的通道有较高的权值。在跟踪段落内可以动态的调整权值系数 k_i 来提高整体的跟踪精度可跟踪平稳度。

3 多模式合成跟踪技术的实现

3.1 多模式合成跟踪技术的实现方法

目前越来越多的测控设备采用共面引导天线，如我站新上设备ML-3102。共面引导天线引导系统与自跟踪系统的电轴或光轴（光学系统）重合或平行。在捕获空间目标时，引导系统输出的误差电压驱动伺服天线进入自跟踪系统的波束内引导自跟踪系统进行捕获跟踪。在引导天线运动时实际上也是引导系统的自跟踪过程。对于空间中距离较远的目标，各个电轴或光轴平行的通道，其自跟踪零点可以认为是重合的。统一各个通道角度误差电压的极性与斜率后就可进行各个通道角度误差电压的加权合成。

以ML-3102单脉冲雷达为例。ML-3102具有单脉冲反射通道（LFM）、单脉冲应答通道（SCF）、遥测引导通道（S）、微光电视引导（O）通道共四个通道可以产生角度误差电压驱动天线完成自跟踪。将四个通道的误差电压加权合成新的角度误差电压可驱动天线完成更景区根平稳的自跟踪。如式（3）所示

$$V = (P_{\text{LFM}}V_{\text{LFM}} + P_{\text{SCF}}V_{\text{SCF}} + P_sV_s + P_oV_o) / (P_{\text{LFM}} + P_{\text{SCF}} + P_s + P_o) \quad (3)$$

其中 $P_i = k_i(S/N)_i$

3.2 多模式合成跟踪技术的权值控制

多模式合成自跟踪技术的权值控制对于合成后系统的平稳跟踪很重要。具体的权值可以通过具体通道的实时跟踪的特性来确定。可设定固定的权值系数各个通道根据实时的信号质量 $(S/N)_i$ 自动调整本通道的实时权值。

在主动段发动机工作尾焰亮度高光学通道信号平稳且精度高，可将光学通道的权值 P_o 可适当调高；在发动机关机或头体分离后火焰消失或与跟踪目标分离，光学通道的权值 P_o 应值为零。在级间分离后反射目标将发生分裂，在目标发生分裂至距离上可以分辨并跟踪反射主目标的时间内反射通道的跟踪精度将会下降，此时应适当调低反射通道的权值 P_{LFM} 。可设置预定权值通过时间查表的方式自动装定权值或手动切换权值来实现权值的动态控制。也可以根据实时任务的情况手动屏蔽某些通道。

4 结束语

本简单讲述了多模式合成跟踪技术的原理和实现方法。有不当的地方还请批评指正。

参考文献

- 1 袁永根. 单脉冲雷达培训教材.
- 2 张守信. 航天测量数处理. 北京: 解放军出版社, 1999.5.

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>