



装备科技译著出版基金



俄罗斯最新装备理论与技术丛书



[俄] A.C.Карташкин 著

滕克难 主编译

贾慧 薛鲁强 李建华 编译

曲长文 主审

Компьютерные информационные
технологии в бортовой РЛС

航空无线电系统与机载 雷达信息处理技术 (下)

——机载雷达信息处理技术



国防工业出版社
National Defense Industry Press



装备科技译著出版基金

俄罗斯最新装备理论与技术丛书

航空无线电系统与 机载雷达信息处理技术 (下)

机载雷达信息处理技术

[俄] A. C. Каргашкин 著

滕克难 主编译

贾 慧 薛鲁强 李建华 编译

曲长文 主审

国防工业出版社

·北京·

著作权合同登记 图字:军-2015-101号

图书在版编目(CIP)数据

航空无线电系统与机载雷达信息处理技术. 下, 机载
雷达信息处理技术/(俄罗斯) A·C. 卡尔达什良著; 滕
克难主编译. —北京: 国防工业出版社, 2017. 1

(俄罗斯最新装备理论与技术丛书)

ISBN 978-7-118-11022-7

I. ①航... II. ①A... ②滕... III. ①航空通信-
无线电通信②机载雷达-信息处理 IV. ①V243.1
②TN959.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 026977 号

Компьютерные информационные технологии в бортовой РЛС

A. C. Карташкин

ISBN:978-5-93037-228-1

©Оформление, ИП РадиоСофт, 2011

本书中文翻译版权经中华版权代理总公司授权

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 7 字数 128 千字

2017 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 75.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777

发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755

发行业务: (010) 88540717

编译者序

机载雷达是机载武器系统的重要组成部分,特别是机载相控阵雷达信息处理技术和总线设计技术是现代机载雷达系统的核心技术,它关系到机载雷达的分辨性能、抗干扰、杂波性能等重要指标,也决定了军用飞机的作战性能。21世纪以来,俄罗斯以第5代作战飞机研制为牵引,在机载雷达领域得到了巨大的进步,在机载雷达信息处理研究和机载雷达作战运用方面,形成了系统独特的专有技术,取得了一系列的技术创新,实现了机载雷达技术的跨越发展。

本书作者是长期从事机载雷达信息处理研究和运用方面的俄罗斯知名专家。通过各种具体案例,讲解了俄罗斯第4代、第5代作战飞机机载雷达计算机信息处理方面的主要技术原理知识,直观地反映出俄制有源相控阵机载雷达的技术特点和工程设计理念,并附带有极为丰富的工程实践经验总结。

本书俄文版由俄罗斯无线电软件出版社(Издательское предприятие РадиоСофт)于2011年出版。原著俄文书名为*Компьютерные информационные технологии в бортовой РЛС*,直译为机载雷达计算机信息技术,但这种表述无论从专业上,还是从语言结构上,都与我国读者的阅读习惯不相符合。所以,我们根据本书的内容、结构,结合我国航空术语和专业表述习惯,将该书中文版书名确定为《机载雷达信息处理技术》。为方便读者阅读,编译过程中在保持原著章节结构不变的基础上,对节内的部分内部编目进行了细化和明确。适用于飞机设计、航电系统、航空无线电系统及航空特设专业的科研设计人员,以及航空装备发展论证研究人员、航空装备使用维护工作者和工程师,高等院校教员、研究生和大学生参考使用。

本书的翻译编辑出版工作从2013年初启动。滕克难教授担任主编译,对全书进行统稿和审校,并对本书第1章进行了译校;李建华对本书第2章进行了译校;薛鲁强对本书第3章进行了译校;贾慧承担了全书文字翻译工作,并承担了所有图表和公式的翻译、编辑工作;曲长文教授对全书进行了审校。

历时3年多时间,本译著终于与读者见面了。至此,特别感谢装备科技译著出版基金给予的大力资助,特别感谢国防工业出版社为本译著编辑出版工作给

予的悉心指导。由于编译者水平有限,错误和疏漏之处在所难免,敬请同行专家和广大读者予以指正。

主编译: 秦克唯

二〇一六年六月七日

目 录

第1章 机载雷达基本功能及原理	1
1.1 引言	1
1.2 机载雷达在航空电子设备组成中的地位	4
1.3 有源相控阵机载雷达的组成结构	9
1.4 有源相控阵机载雷达的数字式信息总线	16
第2章 机载雷达计算机信息模型建模原理	27
2.1 引言	27
2.2 机载雷达自动化设计原理	31
2.3 机载数字式计算机的信息模型总体结构	48
2.4 机载雷达全寿命周期计算机信息模型组件	66
第3章 机载雷达计算机信息组件设计总体原则	80
3.1 引言	80
3.2 模型化设计原则	85
3.3 总线设计原则	91
3.4 控制程序设计原则	98
总结与展望	104
参考文献	105

第1章 机载雷达基本功能及原理

1.1 引言

当今世界各国经济发展不均衡,导致各国之间的政治主张形成对立矛盾,而且随着这些矛盾的进一步加深,不断引发局部冲突。这种冲突经常会转变成局部战争,进而导致飞行器这种高效作战装备得到广泛使用。

飞行器的活动区域和担负的作战任务多种多样,可以深入敌后实施猛烈的空中突袭。在这种作战背景下,对于飞行器的驾驶员来说,无论是单独驾驶歼击机的飞行员,还是驾驶轰炸机的几名飞行员,都必须采取一定的措施不间断地获取周边态势信息。

比较典型的信息获取方法就是,由飞机驾驶员进行目视观察。这种信息获取方式对于飞行员来说是一种本能方式,但是在某些情况下,这种目视观察是非常危险的。例如,在低空飞行时,飞行员承受的心理压力非常大,而在高空飞行时或者是在陌生区域飞行时,目视确定自身的位置会出现明显误差。同时,在另外一些情况下,进行目视观察通常是行不通的,如夜间飞行时或者是超机动飞行时。因此,在现代飞行器上,除了使用目视观察,还要使用另外一种技术装备来保证信息获取,即使用航空电子设备。

航空电子设备,是功能上相互关联的机载系统的统称。这些机载系统的种类非常广泛,而且集成的传感器物理特性也多种多样,可以按照不同的物理原理进行工作。航空电子设备的主要任务就是,通过传感器采集到的信息进行分析,并做出相应的反应,进而控制飞机。如果飞行器是用于作战目的的,那么武器控制系统也归属于航空电子设备。

目前,用于构成信息流的主要航空电子设备就是机载雷达系统(PJIC)。机载雷达系统安装在飞行器上,通过向周围空间发射电磁波,再接收从周围目标反射的电磁波,进而确定反射电磁波的目标位置。通过这种工作方式,机载雷达具备了一项非常重要的特性,就是距离测量特性。机载雷达另一个鲜明优点就是可以瞬间获取周围空间的态势信息。正是这两个优点,使机载雷达成为复杂的和突然性的空中作战中不可或缺的信息系统。

现代空战的复杂性主要由两个原因决定,即单机的技战术机动更为复杂和编队飞机的指挥引导更为高效。下面具体介绍这两个原因的形成背景。

1. 单机技战术机动更为复杂

超机动(高难度机动)是现代战斗机的一项最为重要的效能指标。超机动,是指飞机可以在非常短的时间内完成转向(高级特技飞行),同时还可以完成复杂的空间机动(例如,以半径小于500m、在不超过1s的时间内完成盘旋机动)。现代最普及的高级特技飞行动作,如“чакра Фролова”筋斗(即飞机在平面上做俯仰360°盘旋)和“眼镜蛇”机动(即飞机以150°~180°迎角进行机动)。现代飞机之所以可以进行高难度机动,是由于有这样的几个原因:机翼的机械结构加强了,使用了专用的直接控制升降舵和襟翼的装置,以及采用了大推力矢量控制发动机。

因此,如果说第4代歼击机(例如,轻型的米格-29或F-16,以及重型的苏-27或F-15)只能算是初步具备了超机动能力,那么超机动性能则成为俄罗斯第5代歼击机的一项基本设计要求。其中,在第一型俄罗斯第5代歼击机T-50上,已经实现了超机动性能、多功能性和高智能性的设计理念,这型飞机是由俄罗斯航空工业集团公司(牵头单位是“苏霍伊”航空控股公司)设计制造的。这型飞机第一次成功试飞是在2010年1月29日,飞行时间47min,驾驶T-50的飞行员是俄罗斯功勋飞行员谢尔盖·伯克坦。这型飞机的正式投产在2015年完成。

需要注意的是,歼击机的超机动性能设计理念并不是所有国家所追求的。例如,北约国家的飞机制造厂商更关注于超机动全向制导攻击导弹的研发,他们认为现代空战可能不会采用传统的尾后攻击战术。因此,“超机动”这个术语已经从五角大楼出版的现代军事文献中消失。从飞机机动性的视角来看,世界上第一款第5代歼击机美国的F-22“猛禽”(已经在2005年装备部队),其机动性能相当于俄罗斯的苏-27歼击机,其空气动力学设计与T-50非常近似。

关于俄制飞机与美制飞机之间,谁在超机动性能方面更加具有优势的问题,在2008年的一本英国杂志中进行了一项“世界上最好的歼击机”问卷调查,占据第一位的是俄罗斯达到4代半水平的苏-35MKI(有59%的投票率),而美国的F-22只获得了37%的投票率,美国空军的主战歼击机F-15只有4%的投票率。

此外,同样是在2008年,澳大利亚空军使用新型的美制第5代战斗机F-35与俄罗斯的苏-30歼击机进行了一次模拟空战对抗。在计算机仿真模拟对抗中,苏-30取得了令人信服的胜利,而苏-30优越的超机动性能,则成为制胜的首要因素。

由此可见,飞机的超机动性能不仅没有丧失其优越性,反而其具有的生命力和应用前景得到了进一步的确认,而且随着空中作战复杂性的不断发展,飞机的超机动性能将会得到进一步加强。

2. 编队飞机的指挥引导更为高效

现代空战的“多对多”对抗战术已经替代了“1对1”对抗战术。这种“多对多”对抗模式可能是“2对2”,或者是“2对4”。

以4架歼击机编队对地面机场执行掩护任务作为编队空战的假想案例,此时,8架敌机(2架轰炸机和6架护航歼击机)企图摧毁这个机场。这种情况下,以美国空军飞机编队作为分析模型,输入到计算机仿真系统中。当参与的飞行员人数达到56人且同时发射的导弹数量达到32枚时,军事专家会一致认为这种编队空战是十分复杂的。当防御方歼击机突破敌方轰炸机编队时,双方的歼击机不会再集结成编队,而是由驾驶员单独控制飞机进行作战,这时的战场态势会更为复杂。这就需要地面指挥所来缓解这种复杂性带来的冲突问题。

对于航空编队的实际数量和武器装备来说,一个F-15或F-22飞行中队标准配置是24架飞机,每架飞机可挂载6枚AIM-120AMRAAM全天候中距空空导弹(Advanced Medium-Range Air-to-Air Missile)。也就是说,由于来袭的不仅有突击的飞机,还有飞机发射的导弹,所以军事目标的数量增加会导致空战态势更为复杂。军事专家甚至还注意到,使用高性能的导弹,比歼击机进行超机动更加具有战术优势。

对于T-50歼击机来说,它有16个武器挂点(有8个武器挂点是在飞机机舱里)。

通过上述两种情况的分析(飞机超机动性能和编队战术行动指挥引导)可以看出,现代空中作战需要高效地获取空中态势信息,而机载雷达可以保证高效地获取空中态势信息。

由俄罗斯Фазотрон-НИИР公司制造的Жук-М雷达系统,是一种技战术性能非常先进的多功能机载雷达,这型雷达安装在第4代单座多用途舰载歼击机苏-33上,可以作为舰上起飞和着舰的瞄准系统使用。Жук-М雷达具有两种工作模式,即“空对空”和“空对面”模式。这种雷达的第一种工作模式,可以对170km之内的、处于雷达扫描范围内的20个空中目标进行跟踪,还可以同时对其中4个目标进行攻击。Жук-М雷达的第二种工作模式,可以对25~300km之内的地面和水面目标提供攻击指令。

另一个非常重要的问题就是,为了使机载电子设备有效工作,必须对机载雷达接收到的信息进行处理,才能产生真实的时间标准控制指令(这些指令用于发射武器、进行机动等),这些信息处理方法实际上就是提取出位置和当前时间的信息。这种信息处理是由机载数字式计算机系统(БЦВС)完成的。

实际上,在面对复杂的环境时,飞行员经常会心理紧张,并不总是能够完整地判断出复杂的空中态势和及时地采取可行的应对措施。这就导致了飞行员很难在最短的时间内接收大量的重要信息,所以也就不可能采取必要的应对措施。由于机载数字式计算机系统(БЦВС)具有快速处理和存储大容量信息的能力,

所以是解决上述问题很好的手段。因此,如今人们特别关注于机载数字式计算机系统的各种功能问题,如计算机的结构构造、指令系统的总线结构、接口特性、各种运算组件的配置等问题。这些问题归总起来,就是要求必须设计专用的机载计算机(包括专用的处理器)。

这里举一个机载数字式计算机系统的具体实例,即安装在第4代歼击机米格-29飞机上的武器控制系统。由于米格-29可以挂载6枚近距格斗空空导弹P-60M,或者是挂载6枚近距拦截空空导弹P-73,因此米格-29不仅可以使使用航炮进行机动格斗空战,还可以使用近程和中程全向制导空空导弹对低空飞行的(此时机载雷达需要从大功率的地面信号反射背景下提取出有用的目标信息)敌方突袭飞机和侦察飞机进行拦截。

综上所述,可以得出这样的结论:如何利用机载雷达和机载数字式计算机有效地评估出空中态势,是一项十分迫切而又复杂的任务。如今人们正在致力于研究解决此类问题的各种方法。

1.2 机载雷达在航空电子设备组成中的地位

前文提到过,航空电子设备是功能上相互关联的机载系统的统称。这就意味着,使用不同物理原理的机载系统和各种仪器设备,可以联合起来进行协同工作。因此,所有的航空电子设备可以整合成一个机载系统,来完成单一的功能任务,即对各种传感器获取的信息进行处理,并将处理后的信息反馈给飞行器控制设备和其他机载系统(如武器控制系统)用以提高飞行器控制效能。

由于新型的飞行器日趋复杂,内部航空电子设备的组成也不断变化,例如,可能会出现新的电子设备作为一个独立单元进行以前所不能实现的信息联络。但是这种情况下的信息联络,多数情况下是由航空电子设备中的计算机设备完成的。

图1.1中展示出了第5代歼击机(包括F-22飞机)航空电子设备的基本组成结构。图中展示出来的航空电子设备包括:

- 1——有源相控阵天线(AΦAP)机载雷达系统;
- 2——歼击机导航、通信和识别(如敌我识别)综合无线电系统;
- 3——电子对抗系统;
- 4——雷达照射告警系统;
- 5——目标指示与瞄准系统;
- 6——光纤通信系统(点对点式的);
- 7——原始信息处理机载数字式计算机系统,这种系统用于信号处理(即对原始信息进行处理)和信息处理(即对二次信息或目标航迹信息进行处理);
- 8——设备接口总线(即符合MIL-Stb 1553B标准的信息交互通道);

- 9——外部存储器(即大容量的存储器);
- 10——二次信息处理机载数字式计算机系统,这种系统的功能可参见第7项,并且设备1、2、3、4、7、10之间的通信总线是一种高速信息交互总线;
- 11——数字式视频信息存储系统(内存很大,并且数据下载速度快);
- 12——信息交换总线(接口协议如第8项);
- 13——视频信息显示器;
- 14——信息交换总线(接口协议如第8项);
- 15——武器控制系统;
- 16——机载武器;
- 17——惯性制导(惯导)系统;
- 18——信息交换总线(接口协议如第8项);
- 19——地面指挥控制无线电系统;
- 20——机载设备工作状态监控系统;
- 21——供电监控与配电系统;
- 22——手动控制系统(或者是人工智能控制系统,如语音控制系统);
- 23——武器检查系统;
- 24——飞机控制系统(包括发动机工作状态控制系统);
- 25——飞机控制响应装置系统;
- 26——信息交换总线(接口协议如第8项);
- 27——信息交换总线(接口协议如第8项);
- 28——传感器系统;
- 29——大气信号传感器系统。

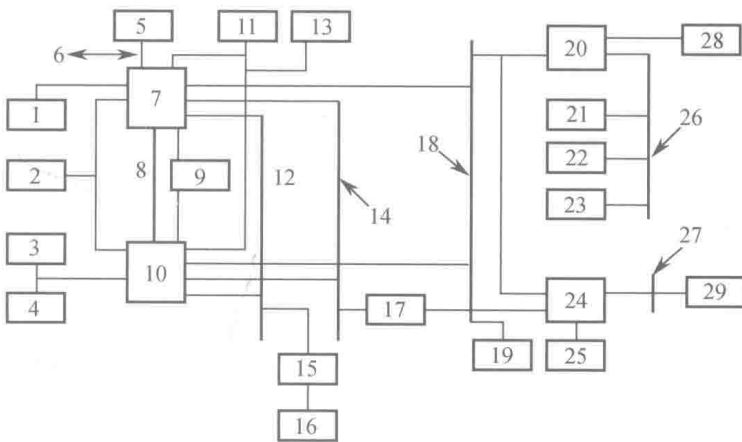


图 1.1

由图 1.1 可见,从组成结构上看,机载雷达并不是航空电子设备中唯一的无线电设备,但是从功能上看,机载雷达在获取周围信息方面的优势地位是无须置

疑的。

下面介绍一下机载脉冲雷达的工作原理,这种雷达的工作体制是一种最常用的机载雷达工作体制。

在初始时刻,雷达天线(本案例中使用的是有源相控阵天线(AΦAP))发射载波频率是高频的(传统的机载雷达采用的载波频率是1GHz,脉冲宽度是1μs)无线电脉冲。这些脉冲在空间传播到目标时(空中的、水面的或地面的目标),目标会反射脉冲使其返回到雷达天线的接收端。

严格地说,这个脉冲的反射传播方向不仅仅是朝着机载雷达的天线方向,还会向其他方向传播,所以机载雷达天线接收到的脉冲功率明显小于发射脉冲的功率。机载雷达天线接收到的脉冲通常称为接收信号,这个脉冲的参数(延迟时间、到达方向、填充频率等)不仅包含目标的空间位置,而且包含目标运动速度、加速度等信息。需要注意的是,雷达天线除了接收到目标反射信号,还会接收到其他电磁波信号(如宇宙空间中的辐射信号、各种二次反射信号、外部干扰源专门发射的干扰信号等)。这些电磁信号通常称为干扰信号。

无线电信号被雷达天线接收到之后,电磁信号转换成电信号(这种电信号的特征可以用电流或电压值进行表示,而且这些电流或电压值保留着目标位置和运动参数的原始信息),然后这些电信号还要再经过专门的原始信息处理。

在原始信息处理过程中,不仅要“信号和干扰信号”的混合信号中提取出有用的信号,而且要同时减弱干扰信号,这种信号处理过程包括信号放大、选择、高频转低频、模拟信号转换成数字信号、数字信号滤波(主要是采用快速傅里叶变换算法)和其他信号处理操作。

经过原始信息处理之后,可以得到以下结果:

(1) 信号截获或者未截获(应该得到确切的唯一性答案,即接收到的信号中有没有目标反射信号);

(2) 测量出目标参数的瞬时值(即接收到的信号达到时刻、目标距离、歼击机与目标的相对速度等)。

之后,机载雷达天线重新(经过一个重复周期之后,机载雷达标准的重复周期等于1ms)发射高频电磁脉冲信号,并重复上述过程。

在下一个重复周期中,经过原始信息处理之后的信号要进行二次信息处理。二次信息处理可能需要几个重复周期时间(即雷达在空间进行一次或几次扫描的时间),并最终产生多个目标信息数据。

经过二次信息处理之后,可以得到以下结果:

(1) 探测出目标航迹(同时消除假目标的航迹);

(2) 经过原始信息处理得到的某个目标参数值,可以绘制出该目标的空间运动轨迹;

(3) 可以根据目标的重要性不同,对多个目标进行排序(如距离最近的或

者是速度最快的目标被凸显出来)；

(4) 目标识别结果等。

经过二次信息处理之后得到的数据,可以用于控制机载武器和控制歼击机(雷达的载机)飞行,这些数据发送给指示系统之后,可以显示出相关信息。

机载雷达的主要工作原理如上所述。

在现役的和在研的歼击机上,机载雷达属于一种航空电子设备,而航空电子设备的研制发展趋势是机电一体化,所以最重要的任务就是解决机载雷达与其他航空电子设备的集成问题。

歼击机(雷达的载机)的主要任务是,在远距离上发现敌方目标。当歼击机发现目标之后,要采取专门措施保持不要丢掉目标,即使歼击机保持在能够使目标处于雷达探测的轨迹上。由于距离比较远,所以目标雷达信号可能比较小(这与目标外形和目标表面的无线电波吸收特性有关),这就意味着雷达探测要在很大的信噪比条件下进行。另一种可以使雷达探测变得更为复杂的情况,是存在多个目标,此时必须将目标区分开来,并对其进行识别。所以,机载雷达不仅要发射特殊形式的脉冲信号(如宽带比较大的和超宽角度的信号),而且要采取接收信号处理算法的改进措施。

为了解决上述难题,机载雷达可以采用发射多频信号(由于目标表面对雷达波的吸收效应只发生在很窄的频段范围内)、使用复杂脉冲信号(包括线性频率调制或相位编码)和使用长时间相干信号累积技术等。

当歼击机驾驶员进入战斗状态时,他可能会在远距离上发射制导导弹。由于歼击机先敌攻击具有优势,所以在技术上就要求在雷达照射到目标后能够快速发射导弹。这种情况要求机载探测瞄准系统的反应速度要比较快。

导弹发射之后,机载雷达的作用是为导弹提供无线电弹道修正指令。实际上,导弹通常具备复合制导能力,并且导弹自主飞行时间明显比导弹自导时间长(导弹自导阶段是指弹载导引头控制导弹飞向目标的阶段)。由于目标可能采取机动摆脱导弹跟踪,所以雷达提供无线电弹道修正指令的必要性进一步凸显。如果不进行修正,导弹的脱靶概率会增加,这种结果显然是不能接受的。进行无线电弹道修正,还有一个好处就是可以消除(在导弹的飞行过程中)导弹发射时对目标的寻的角度误差。

基于上述原因,歼击机在导弹飞行过程中产生连续的控制指令,这些指令可以提高导弹对目标的杀伤概率。现代技术条件下,这种控制指令可以由安装在导弹内部的、非常复杂的制导系统产生。近年来,这种无线电指令系统得到了广泛应用,而且无线电指令系统中还广泛地采用了计算机设备(如数字式机载计算机可以与机载雷达密切协同工作),而这种数字式计算机可以使无线电指令系统的指令算法更为高效。

如果现在看近距空战的情况,就可以发现,近距空战与远距空战的区别就

是, 近距离空战的歼击机超机动性能是最好的。实际上, 从计算机处理的角度来看, 为了实现超机动, 仅仅通过原始信息和二次信息处理来获取实时的目标距离和角度坐标是远远不够的, 还需要进行第三次, 甚至是更多次的信息处理, 才能满足相应的信息需求。在这种情形下, 很难明确地区分出究竟是目标还是歼击机在进行超机动。

由于机载雷达在近距离空战中的任务是必须对周围态势变化进行稳定跟踪, 所以机载雷达天线方向图必须具备以下功能: 对空间进行周期性扫描, 不遗漏单个目标; 存在多个目标时, 可以从一个目标探测转移到对另一个目标探测。

要想在近距离空战中对目标进行连续探测, 不仅对机载雷达和数字式计算机性能提出了非常严格的要求, 而且对其他设备和航空电子设备系统也提出了非常严格的要求。特别是, 机载雷达天线要能够使方向图无惯性且大角度地(垂直和水平平面上)进行空间扫描(在空间中移动)。如果仅使用一种无线电设备进行目标探测, 不可能达到令人满意的效果, 因为作为雷达载机的歼击机, 其机动速度是非常快的, 而且进行的机动也是不能事先预料的, 这就会使方向图与目标方向发生偏离。因此, 为了保持对指定目标的跟踪状态, 可以有计划地校正天线波束方向。为了有效控制方向图的位置, 不仅要接收装置上获取角度信息, 而且要从其他装置上(如加速度表、陀螺仪、空速传感器)获取角度信息。

控制天线方向图的另外一个任务就是, 扩大天线波束随机角度偏差的稳定范围。这种随机角度偏差, 通常是由歼击机自身纵轴不规则摆动引起的, 这种情况不仅发生在空战过程中, 而且在直线飞行过程中也会发生。此时, 需要采用联合修正的方法来解决, 即利用陀螺仪和机载雷达、数字式计算机一起控制天线波束的外形。

最后, 数字式机载计算机上的专用处理器内存中应该存有有效的跟踪算法程序(这些程序在内部结构上有多个循环控制回路), 这种算法程序的工作过程不仅要产生当前测量出的角加速度和相应的衍生数据, 而且要根据人工智能系统(可以对目标进行更加精确跟踪的机构)提供的空中态势监控进行算法程序修正。

根据上述分析可以得出这样的结论: 对空中目标进行跟踪, 最常使用的方法不是进行机动, 而是控制雷达天线的方向图。

下面介绍雷达在近距离空战中的作战使用特点。

如果在近距离上(几百米到一两千米的距离上)使用航炮武器, 那么通过雷达获取的目标角度坐标精度可能不会很高, 因为会有角度噪声干扰存在(这是一种随机现象, 是由目标进行二次信号反射或者多个密集目标进行信号反射, 导致反射信号相位中心点不规则移动引起的)。所以, 近距离空战中使用机载雷达进行目标探测并不适用, 而是应使用光学或红外探测设备。

可能还存在着另外一种可以导致雷达探测出现误差的情况, 即当歼击机发

射近距制导导弹时,会导致歼击机发生明显的横向过载。此时,可能发生目标锁定角度出现误差。为了减少这种误差,需要使机载雷达和机载数字式计算机系统有效配合工作。从另外一个角度来看,在完成导弹发射之后,通常要限制歼击机进行超机动,因为歼击机大幅度机动会导致雷达天线方向图偏离攻击目标,并且发射的导弹可能会接收不到歼击机发射的制导指令(引导导弹跟踪目标的指令)。所以,航空电子设备不仅要与雷达和机载数字式计算机系统有效配合,而且要与歼击机控制系统(包括飞机发动机)有效配合。

航空电子设备在近距离空战中的作战使用特点就是如此。最后需要注意的是,在现代空战中,实际上会经常在任何距离上使用无线电电子对抗设备。所以,目前所有的歼击机上都会安装电子对抗系统。这些电子对抗系统的工作方式分为两类:压制敌方雷达系统和欺骗敌方雷达系统。这两类电子对抗系统的工作方式,主要是从功能上和获取信息上,破坏敌方雷达系统的正常工作状态。

功能破坏,是指利用外部大功率高频脉冲毁伤敌方雷达系统的电子部件。这种雷达毁伤方式是一种通用的作战方式,而为了减少这种毁伤的作用效果,在受保护的雷达上可以采用电子防护措施,例如,在雷达接收机的输入端口上加装防护装置、高频放大器、混频器等。

信息获取破坏,是指利用干扰信号(包括距离欺骗和速度欺骗,以及模拟目标反射信号的转发式干扰信号)对机载雷达和机载数字式计算机系统的正常工作产生影响,使其将假目标信号视为真实目标信号进行程序处理(此时的程序处理,是指可以对各种物理特性分析处理的计算机处理方法)。为了有效保护雷达信息获取不被破坏,比较有效的方法是提高雷达工作的隐蔽性(例如,采用成熟的技术方法将机载雷达与其他物理原理技术的传感器进行一体化集成,推算战场态势的发展趋势,相应地减少雷达的辐射工作时间,或者采用被动探测的工作方式测量目标角度坐标,再使用运动方程计算出目标距离和速度等),而为了防止机载数字式计算机系统的计算机处理程序遭到破坏,在整个信息处理过程中都要保证机载数字式计算机系统的工作稳定性。

综上所述,机载雷达在歼击机航空电子设备组成中占据着重要地位。因此,在进行新一代航空电子设备的设计任务中,必须考虑到如何扩展机载雷达信息来源的可行性。

1.3 有源相控阵机载雷达的组成结构

空战中必须经常性地获取某个空中目标的位置信息,而当歼击机(雷达载机)或者目标做出各种机动动作时,为了获取信息(除了目视观察),机载雷达的天线方向图必须始终能够指向指定的目标。如果在雷达扫描区域内有多个目标,那么机载雷达的天线方向图或者是要转换到可对多个目标进行切换跟踪的

特殊工作模式下,或者是要转换到多波束跟踪工作模式下(即多个雷达波束可以分别对某一个目标的空间移动进行跟踪)。有源相控阵天线是一种先进的雷达天线,其既可以对空间进行无惯性(瞬时地)扫描,也可以形成多波束辐射的方向图。

需要注意的是,传统的机载雷达使用的是面天线,这种天线有一个凹形的反射器(大多是抛物面反射器)和一个外置的辐射器,可以形成足够窄的($1^{\circ} \sim 3^{\circ}$)方向图,并且只有通过机械方式(存在反应延迟)使反射器和辐射器一起转动,才能实现方向图在空间中的扫描。

相控阵天线可以实现更为快速的方向图扫描。相控阵天线是由一组具有辐射特性的独立单元组成(每个单元的辐射方向图都比较宽),并且这些单元之间以很小的间隔距离规则地排列在一块平板上(这种平板的尺寸一般是 $0.5\text{m} \times 0.8\text{m}$)。相控阵天线和专用的配电系统,可以把电磁能量通过专用的波导通道馈送给每个辐射单元。当每个辐射单元接收到特定的一部分电磁能量后,开始辐射电磁场。于是,这些单独的电磁场在相控阵天线的前方空间中形成一个合成的电磁场(该电磁场是由所有辐射单元共同形成的)。如果每个辐射单元辐射的电磁波初始相位是恒定的,并且是服从一定规律的(即辐射单元之间的相位关系具有规律性),那么合成的电磁场就会具有可控特性,即相控阵天线方向图具有可控性。此时,当辐射单元辐射的电磁波相位相同时,相控阵天线方向图是最大的。为了实现方向图扫描,必须使辐射单元辐射的电磁波初始相位随时间变化(每个辐射单元都按照预先设定好的规律进行变化)。这种方向图扫描的速度与初始相位的变化情况有关,如果利用高速处理电子设备来实现这种相位变化,那么就可以实现无惯性的移动方向图,这也是相控阵天线的主要优点之一。

相控阵天线的缺点是,向辐射单元馈送的电磁能量损耗很大(是面天线的 $2 \sim 4$ 倍)。显然,如果每个辐射单元上都改装成单独使用的有源电子设备(即“收-发一体机”),那么这种能量损耗(无益的损耗)可以明显降低。这种由“收-发一体机”组成的相控阵天线,就是有源相控阵天线。

图 1.2 就是一种由“收-发一体机”组成的有源相控阵天线组成结构示意图。图中标示出来的有源相控阵天线组成部分包括:

- 1——辐射单元;
- 2——匹配装置;
- 3——收-发模块;
- 4——第一个收-发模块转换开关;
- 5——限幅器;
- 6——可控放大器;
- 7——带有低噪声放大器和滤波器的信号接收通道;

- 8——信号发射通道的信号放大器；
- 9——第二个收 - 发模块转换开关；
- 10——可控移相器；
- 11——配电系统；
- 12——控制雷达接收机和发射机工作的信息总线；
- 13——无线电脉冲信号幅度和相位控制装置；
- 14——放大系数计算装置；
- 15——相位移动计算装置；
- 16——机载雷达数字信息总线。

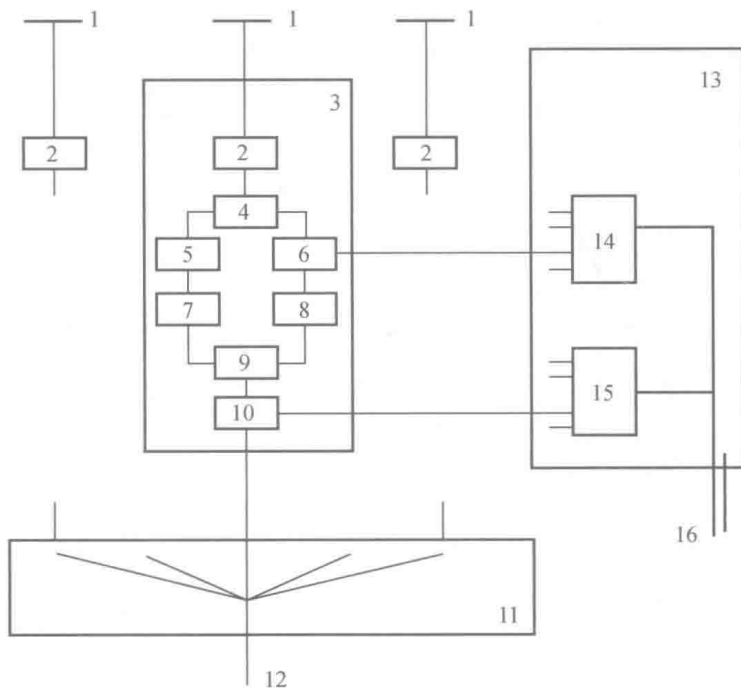


图 1.2

下面举例说明图 1.2 组成结构的工作过程。

机载雷达产生的无线电脉冲信号通过总线(12号组件)进入可控移相器(10号组件)的第一个输入端口上。相位移动计算装置(15号组件)将数字式的相位移动代码发送给可控移相器(10号组件)的第二个输入端口,并且发送的这个相位移动代码对应着的是天线最大方向图所需指向的方向。接下来,调制好初始相位的无线电脉冲进入到第二个收-发模块转换开关(9号组件)。

通过开关(9号组件)的脉冲进入信号发射通道的信号放大器(8号组件),对脉冲信号幅度进行放大,也使辐射到空间中的无线电脉冲具有足够的辐射能量。发射通道中的可控放大器(6号组件),其放大系数是可调节的。这种放大系数调节是由放大系数计算装置(14号组件)实现的,即计算装置产生一个需要