

雷达—电子战—通信一体化概论

Leida-Dianzizhan-Tongxin Yitihua Gailun



张明友
编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

雷达—电子战—通信 一体化概论

张明友 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

雷达—电子战—通信一体化是近代多传感器系统变革的新技术和新体制的集中体现,代表未来作战平台多传感器系统发展的必然趋势,是集中了现代材料学、光子学、微电子学、光子技术、微机械技术,尤其是计算机硬件和软件以及软件无线电技术等各学科成就的高科技系统。

本书共分7章,内容包括:绪论,一体化航空电子系统,航空电子系统的综合传感器系统(ISS),舰用先进多功能射频概念(AMRFC),航空(或舰用)电子系统的综合射频孔径,航空(或舰用)电子系统的统一光电网络和航空(或舰用)电子软件架构设计技术。

本书题材新颖,论述简明,由部件到整机紧密联系目前国内外多传感器综合的新概念和新技术,可供从事雷达、电子战和通信工程的广大科技人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

雷达—电子战—通信一体化概论/张明友编著. —北京:
国防工业出版社, 2010. 6
ISBN 978-7-118-06710-1

I. ①雷... II. ①张... III. ①雷达对抗—研究②航空电气设备—研究 IV. ①TN974②V242

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 075079 号

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)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经销

开本 787 × 1092 1/16 印张 16 1/2 字数 420 千字
2010 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 32.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422
发行传真:(010)68411535

发行邮购:(010)68414474
发行业务:(010)68472764

前 言

目前,光电子信息技术在现代高科技战场上的地位和作用越来越突出,这类武器装备在侦察、监视、预警、定位、成像、电子对抗、导航和通信等方面发挥了举足轻重的作用。随着空战、海战电磁环境的日趋复杂,作战平台面临的威胁不断增多。为提高作战效能和生存率,尤其是机动平台,如战机、战舰和战车,不得不同时配备越来越多的光电子传感器设备。然而,设备不断增加不但消耗了大量的能源,占据更多的空间,而且削弱了作战平台的机动能力,增加了雷达反射截面积,降低了现代电磁环境中的抗干扰能力和现代武器装备系统的作战效能。

随着材料学、光子学、微电子学、光电子技术、微机械技术,尤其是计算机硬件和软件技术以及软件无线电技术等的发展,机动平台的光电子武器装备要想在极为恶劣的电磁环境中生存和发展,必须实现多传感器系统硬件和软件的系统综合和功能综合。这意味着,可利用宽带相控阵和软件无线电技术,从顶层对雷达、电子战、通信等功能进行一体化设计,根据作战流程、任务种类、目标类型、威胁等级统一调度时间、空间和频率资源,成为武器平台多传感器发展的新趋势。多功能一体化减少了机上或舰上天线的数量,实现了阵面与机体(或舰体)的共形,可极大地改善机上(或舰上)电磁兼容环境,便于飞机(或舰艇)结构的优化设计,提高飞机(或舰艇)的隐身性能,全面提升探测、通信和干扰与抗干扰能力,有效提高作战效能和快速反应能力,降低全寿命使用周期的保障费用。

雷达—电子战—通信一体化代表着未来机动平台多传感器系统发展的必然趋势,也可以说是这类多传感器迈向综合领域的一次革命,它们是集中了现代光电子科学技术各学科成就的高科技系统。较先进的发展中国家已在竞相发展。因此出版此类书籍对促进军事现代化有重要价值。

目前,这类系统在设计上采用模块化、综合化、智能化和网络化结构,把多种光电子信息技术功能集于一体,通过软件重新编程使系统具备不同功能,实现具有资源冗余共享、动态重构、高可利用率和简易的可维修性等许多全新概念。雷达—电子战—通信一体化系统尚处于初始阶段,很多问题有待进一步探讨,这正是编写本书的目的。

本书以航空电子一体化为主,从介绍“宝石柱”计划和“宝石台”计划到讨论综合射频传感器、综合射频孔径、统一光电网络和软件架构设计,对整个系统做了比较完整的描述。所讨论的许多内容同样适用于舰载电子一体化系统,尤其第4章和第5章与后者相关性更强。全书共分7章:

第1章绪论。首先介绍了雷达—通信一体化、电子战—雷达一体化的概念,引入雷达—电子战—通信一体化的概念;然后简介了航空电子系统的若干重要技术和技术特征;最后讨论了一体化电子系统中的综合化和模块化之间的关系。

第2章一体化航空电子系统。主要围绕新一代航空电子系统的结构,对“宝石柱”计划和“宝石台”计划展开了讨论,并对其中的两类核心器件:通用综合处理器(CIP)和综合核心处理器

(ICP)做了介绍。

第3章航空电子系统的综合传感器系统(ISS)。主要介绍了ISS的功能、要求、实现途径以及美国空军的论证结果。

第4章舰用先进多功能射频概念(AMRFC)。主要讨论AMRFC的组成、射频(RF)功能、硬件结构和软件结构以及设计结果和演示性能。

第5章航空(或舰用)电子系统的综合射频孔径。主要介绍了航空电子系统和舰载电子系统中综合射频孔径的概念性设计,以及一种车载多功能射频应用的Ka频段电扫天线。

第6章航空(或舰用)电子系统的统一光电网络。主要介绍了光纤通道(FC)技术和可扩展互连接口(SCI)技术在航空电子统一光电网络中的应用。还介绍了一种潜在的候选技术——全双工以太网(AFDX)。

第7章航空(或舰用)电子软件架构设计技术。主要介绍了模块化航空电子设备的应用软件接口标准和基于一种3层堆栈的软件设计方法,基于商用货架产品(COTS)的航空电子软件开发,以及若干开放系统硬件结构可提供的软件结构的例子。

由于这类多传感器系统一体化技术复杂,涉及内容广泛,而目前资料较少。我们仅靠收集到的国内外有限的文献及初步研究编成本书,以求起到抛砖引玉的作用。

在编写本书过程中,特别感谢硕士研究生冉涌为本书收集了网上的大量文献资料。张伟副研究员对第1章、第3章和第4章,崔明雷副教授对第2章,邱文杰教授对第5章,曾家志教授对第6章,宋超博士对第7章分别阅读后提出了宝贵的修改意见,在此对他们的帮助表示衷心的感谢!此外,在编写过程中还得到了肖先赐教授、魏平教授、汪学刚教授、吕幼新教授、张玉兴教授、钱璐讲师、于雪莲讲师以及硕士研究生汪志刚和段锐等的帮助,在此也一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有误,殷切希望读者批评指正。

编者

2010年1月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 雷达—通信一体化概念	2
1.2.1 雷达信号与通信信号的特点	2
1.2.2 雷达增加通信功能的可行性	3
1.3 雷达—电子战一体化概念	3
1.4 雷达—电子战—通信一体化概念	4
1.5 航空电子系统一体化的若干重要技术简介	5
1.5.1 航空电子系统综合设计技术	6
1.5.2 综合处理系统技术	6
1.5.3 共享孔径技术和有源相控阵技术	6
1.5.4 综合传感器技术和共用模块设计技术	7
1.5.5 总线技术和统一网络技术	7
1.5.6 综合显控记录技术	8
1.5.7 软件技术和软件无线电技术	8
1.5.8 数据融合技术	8
1.6 航空电子系统一体化的技术特征	10
1.6.1 采用多功能共用模块	10
1.6.2 资源冗余	10
1.6.3 动态重构	10
1.6.4 高利用率和可维修性	11
1.6.5 硬件和软件均采用开放式结构	11
1.7 一体化电子系统中综合化和模块化之间的关系	11
1.7.1 综合化和模块化之间的关系	11
1.7.2 只有模块化,没有综合化技术,就无法实现系统一体化	14
第 2 章 一体化航空电子系统	16
2.1 概述	16
2.2 新一代航空电子系统结构的发展过程	18
2.3 “宝石柱”计划	23
2.3.1 概述	23

2.3.2	“宝石柱”计划构成的系统	24
2.3.3	“宝石柱”计划的特点	26
2.3.4	ATF 飞机的航空电子设备的综合化设计简介	29
2.4	“宝石台”计划	31
2.4.1	概述	31
2.4.2	未来军用航空电子的发展趋势	38
2.4.3	JSF 航空电子设备简介	39
2.5	“宝石柱”的通用综合处理器	42
2.5.1	F-22 的航空电子系统核心处理子系统结构	42
2.5.2	F-22 的通用综合处理器技术分析	43
2.6	“宝石台”的综合核心处理器	45
2.6.1	F-35 的综合核心处理器技术分析	45
2.6.2	“宝石台”的综合核心处理器系统级要求	46
2.6.3	共用多芯片处理器	49
2.6.4	公共控制单元	50
2.6.5	共用模块	51
2.6.6	共用处理单元	52
第 3 章	航空电子系统的综合传感器系统 (ISS)	54
3.1	概述	54
3.2	传感器射频综合频段划分	56
3.3	ISS 的功能和要求	56
3.4	ISS 的实现途径	60
3.4.1	传感器内部功能横向划分及综合	61
3.4.2	实现射频综合方法分析	61
3.4.3	ISS 的构成方案	63
3.5	综合传感器系统的论证结果	65
3.5.1	ISS 系统的工程流程	65
3.5.2	需求的下行分析流程	66
3.5.3	综合 RF 系统的定义	67
3.5.4	基线 ISS 的结构	67
3.5.5	ISS 的 RF 线程	67
3.5.6	开放式系统结构	68
3.5.7	ISS 的项目规划	68
3.5.8	两个小组的 ISS 验证计划	69
3.5.9	ISS 的验证结果	70
3.6	综合射频传感器的开放系统结构	72
3.6.1	概述	72

3.6.2	OSA 的若干定义	73
3.6.3	OSA 的特性	74
3.6.4	ISS 的构形原理和 OSA 的实现途径	75
3.7	开放式系统结构标准体系简介	82
3.7.1	软件标准	82
3.7.2	封装与接口标准	83
3.7.3	通信与网络标准	83
3.7.4	共用功能模块标准	83
3.7.5	综合传感器标准	84
3.7.6	系统级标准	84
3.8	“宝石台”的综合射频系统简介	84
第 4 章	舰用先进多功能射频概念 (AMRFC)	87
4.1	概述	87
4.2	演示验证方案中的 RF 功能	91
4.2.1	通信	91
4.2.2	电子战	92
4.2.3	雷达	93
4.2.4	校正	93
4.3	硬件结构	94
4.3.1	发射阵列设计	94
4.3.2	波形产生和分配	94
4.3.3	接收阵列设计	95
4.3.4	接收波束形成	96
4.4	软件体系结构	98
4.4.1	概述	98
4.4.2	核心系统软件	98
4.4.3	RF 功能软件	99
4.5	试验台结构	99
4.6	概念场景	100
4.7	结果和演示性能	101
第 5 章	航空 (或舰用) 电子系统的综合射频孔径	106
5.1	概述	106
5.2	航空电子系统中的综合射频孔径	107
5.3	F-22 和 F-35 战斗机中的射频孔径	109
5.3.1	联合式孔径配置	109
5.3.2	增强孔径配置	111

5.4	一种先进共享孔径计划 (ASAP) 的阵列设计概念	113
5.4.1	ASAP 系统概念	113
5.4.2	辐射孔径设计	114
5.4.3	T/R 模块	116
5.4.4	波束形成网络的设计	118
5.4.5	时间分割	119
5.5	一种宽带双波束接收阵列设计	120
5.5.1	共享孔径阵列概念	120
5.5.2	宽带双极化辐射单元	121
5.5.3	宽带双通道接收模块	123
5.5.4	宽带双波束接收阵列设计	125
5.6	几种超宽带多频段共用孔径相控阵天线简介	127
5.6.1	采用交替锥形单元和波导辐射器的舰载的多频段相控阵列天线	128
5.6.2	一种超宽带多频段天线	130
5.6.3	一种共用孔径多频段雷达天线	131
5.6.4	一种宽带多极化共用孔径天线简介	133
5.7	车载多功能射频应用的 Ka 频段电扫天线	134
5.7.1	概述	134
5.7.2	电扫天线的工作原理	135
5.7.3	波束开关网络	135
5.7.4	罗特曼透镜	136
5.7.5	放大器	138
5.7.6	贴片阵列	138
5.7.7	微波暗室测量法	139
第 6 章	航空(或舰用)电子系统的统一光电网络	142
6.1	概述	142
6.1.1	当前航空电子系统中互连的概念	142
6.1.2	光学互连概念	142
6.1.3	统一航空电子网络的要求	144
6.2	光纤通道技术	147
6.2.1	概述	147
6.2.2	光纤通道技术分析	147
6.2.3	光纤通道拓扑结构	149
6.2.4	光纤通道的特性	153
6.2.5	光纤通道通信系统	154
6.3	光纤通道将代替 MIL - STD - 1553 (GJB 28) 总线	159
6.3.1	概述	159

6.3.2	光纤通道中 MIL-STD-1553 的字格式映射	160
6.3.3	光纤通道中 MIL-STD-1553 信息传输格式	161
6.3.4	光纤通道中 MIL-STD-1553 总线结构的拓展	161
6.3.5	光纤通道在航空电子中的应用	162
6.4	可变规模一致性(互连)接口技术	166
6.4.1	概述	166
6.4.2	SCI 系统的工作特点	167
6.4.3	采用 SCI 技术的高等级下一代通用航空电子结构概述	168
6.4.4	SCI 在未来一代航空电子系统中的实施	169
6.4.5	应用 SCI 的关键技术	170
6.4.6	两种航空电子系统光纤统一网络的比较	175
6.5	AFDX 网络体系结构	178
6.5.1	以太网(Ethernet)概述	178
6.5.2	AFDX 网络配置模型	179
6.5.3	AFDX 网络结构	180
6.5.4	AFDX 以太网帧协议和协议栈	182
6.5.5	AFDX 网络设计	183
6.5.6	AFDX 在综合模块化航空电子中的应用简介	184
6.6	航空电子系统信号分配的光纤网络结构	186
6.6.1	概述	186
6.6.2	传统和现代的光纤系统	186
6.6.3	光纤信号分配系统	190
6.6.4	多发射机及多接收机系统	192
6.7	雷达、通信和电子战射频功能一体化系统中的光子纵横交换机	194
6.8	一种采用光电技术的有源 ESA 结构	195
第 7 章	航空(或舰用)电子软件架构设计技术	197
7.1	概述	197
7.2	综合模块化航空电子设备	198
7.2.1	模块化的解决方法	198
7.2.2	模块化系统的软件方法	202
7.3	航空电子应用软件接口标准	203
7.3.1	标准的演化	203
7.3.2	软件接口标准的主要研究内容	203
7.4	一种综合航空电子系统开放式软件设计技术——三层堆栈设计法	207
7.4.1	概述	207
7.4.2	开放式系统软件设计	208
7.4.3	3 层堆栈软件结构设计构思的先进性	215

7.5	基于 COTS 的航空电子软件开发	215
7.5.1	概述	215
7.5.2	COTS 产品应用于航空领域的优点	216
7.5.3	COTS 软件产品在航空领域面临的挑战	216
7.5.4	基于 COTS 的航空电子软件构架	217
7.5.5	COTS 的开发过程	218
7.6	若干可提供开放系统硬件结构的软件结构简介	219
7.6.1	ISS 的软件结构	219
7.6.2	PAVE PILLAR 的任务软件结构	221
7.6.3	综合 CNI 终端的软件结构	221
7.7	航空电子系统在信息共享技术中的突破	225
7.7.1	概述	225
7.7.2	实现方法	226
7.7.3	RTDM 的优点	228
7.8	控制系统结构和资源管理方法	228
7.8.1	传感器管理和传感器控制	228
7.8.2	控制系统结构和资源管理方法	229
7.8.3	传感器控制和传感器管理例子	231
7.9	JAST 的航空电子系统的软件设计和开发状况	233
7.9.1	Ada 编程语言	233
7.9.2	航空电子系统软件分类结构	234
7.9.3	任务软件结构	236
7.9.4	软件开发过程	236
7.9.5	软件开发环境	237
7.9.6	再利用和复用	237
7.9.7	“软件与硬件隔离”方法	238
7.10	未来航空电子软件的关键软件技术提要	238
	缩略语	239
	参考文献	247

第1章 绪 论

1.1 概 述

随着技术的发展,作战平台面临的威胁日益增多,其工作的电磁环境也日渐复杂。一方面为提高生存率,作战平台不得不配备越来越多的电子设备。尤其是机动平台,如战机、战舰甚至战车,都必须同时装备用于雷达、通信和电子战等的电子设备。而且,为提高其有效辐射功率,往往还需要增大发射机功率和发射天线增益,而这又导致了天线几何尺寸的增加。另一方面,用于雷达、电子战和通信等的电子设备的增加不但要消耗大量的能源,占据更多的空间,而且削弱了作战平台的机动能力,增加了雷达反射截面积,降低了其在现代电磁环境中的抗干扰能力和现代武器装备系统的整体作战效能。

当今,任何单一的电子装备或多种电子装备的简单叠加都难以对付敌方综合性高科技电子兵器,难以确保实施有效和可靠的通信、探测和压制。因此,必须把不同种类、不同用途的电子设备与当代先进的光子和电子信息技术有机结合,构成综合性的光子和电子信息技术体系,使其具有光电子探测、通信和对抗三大功能。随着信息技术和武器攻防系统的迅速发展,为适应现代战争环境的需要,应运而生一种特殊光电子装备——一体化的雷达—电子战—通信系统,这是一个全新的综合性课题。

未来不但要考虑同一平台内光电子系统的综合化问题,还要考虑不同平台间构成的一个大系统的综合化问题。有了这样的一体化系统,不但可以随时收集、分析任何地区的动态信息,而且可以方便、安全地传递命令和瞄准目标,以便从任何有利的地点对目标实施攻击。

这类系统在设计上采用了模块化、综合化和智能化结构,把应用光电子信息技术等多种系统功能集于一体,通过软件重新编程使系统具备不同的功能,从而实现具有资源冗余共享、动态重构、高作战可利用率和简易的可维修性等许多全新概念的综合系统。先进的综合电子系统代表了目前运动作战平台装备的发展方向,其典型代表是美军 F-22 战斗机和 F-35 联合攻击机上的综合航空电子系统。俄罗斯刚试飞的第五代战机 T-50 也具有先进的航空电子系统。同样,舰载或车载也有先进的综合电子装备系统。这类系统首先以有源相控阵实现了雷达、电子战和通信多种射频功能的综合。目前,世界各国都在积极探讨对策,并发展自己的综合电子系统。

本书重点讨论航空电子系统一体化,附带也涉及舰载电子系统一体化的实现。所论述的部分内容对两类电子系统均可互用。应该说明,英文“Integration”可译为“集成”、“综合”或“一体化”,本书对此译词未作严格界定,有时互用之。

雷达—电子战—通信一体化是从雷达—通信一体化和雷达—电子战一体化发展过来的,因此,首先以雷达为核心分别讨论雷达—通信一体化和雷达—电子战一体化概念后,再引入雷达—电子战—通信一体化概念。然后讨论航空电子系统一体化的若干重要技术及技术特征。最后讨论一体化系统中综合化与模块化之间的关系。

1.2 雷达—通信一体化概念

雷达的主要功能是探测、目标定位和目标引导。其信息数据经人工或自动设备录取后以有线或无线电方式传递到后方情报中心,存在信息传递速度慢、保密性差和误报概率高等缺点。雷达—通信一体化后,可克服上述缺陷,大大提高系统的作战能力。雷达和通信系统的构成原理相同,均包含电磁波的发射和接收过程。两者的子系统都有诸如天线、发射机、接收机、信号处理器等类似设备。因此,实现雷达—通信一体化的优点有:

(1) 可最大限度地利用雷达设备,并使雷达的优良性能为通信服务。例如,利用雷达的大发射功率和接收机的高灵敏度,可大大增加通信距离;同时,雷达天线的强方向性可为通信的保密性提供强有力的保证,增强通信的抗干扰能力。

(2) 实现雷达和通信系统的自动化、网络化。一体化后,系统借助计算机形成雷达计算机通信网,可避免人工误差,使雷达搜索到的目标信息能通过计算机实现数据录取、处理、传递的自动化和网络化,从而降低通信网络的复杂性,提高设备的利用率。

1.2.1 雷达信号与通信信号的特点

一般认为,雷达信号与通信信号的频段应明显不同。而实际上,雷达信号和通信信号变得越来越趋于相同:它们的频率范围互有重叠,通信系统已经在以前只属于雷达范畴的频率上工作,而远程雷达也在甚高频(VHF)中原属于通信范畴的频段上工作;此外,信号特征也不再明显不同了。

为了更好地理解雷达信号、通信信号,下面从电磁频段、功能、功率、信号波形及信号带宽等角度进行分析。

1. 电磁频段

常见的通信信号电磁频段为高频(HF)、甚高频(VHF)和特高频(UHF),而常用的雷达信号电磁频段为L、S、C、X和Ku。目前两类信号已超越上述范围,有些频段互相覆盖。

2. 功能

从功能实现上讲,雷达与通信差异较大,主要有以下几方面:

(1) 通信的目的是通过电磁波实现信息的传输;雷达的目的是通过发射电磁波信号,并接收目标的反射波来确定目标的属性(空间位置、速度、类型等)。

(2) 通信一般不需要对信号接收者进行定位,其信号传输一般通过全向天线完成;雷达为了完成目标定位和提高作用距离,往往选择窄波束天线,即方向性很强。

(3) 通信主要考虑的是传输信道的容量、速率、保密性和如何确保信号在传输过程中不失真;雷达主要考虑的是在有限的发射功率条件下,如何更远、更快地发现目标,以及如何从目标回波中提取更多、更准确的目标信息。

(4) 通信接收机接收的都是发射天线的一次散射信号;对于主动雷达而言,接收机接收的是目标对雷达发射信号的二次散射信号。

(5) 通信信号处理主要是为了获取调制方式及所携带的信息,因而必须考虑波形失真问题;雷达信号处理的主要任务是提高检测前的信噪比,一般不关心波形是否失真。

3. 功率

由于功能不同,一般而言,雷达辐射功率变化范围很大,辐射功率从几瓦到几兆瓦;相比之下,通信信号功率较小,一般不会大于百瓦量级。

由于雷达天线波束窄、方向性强,在高功率雷达信号与低功率通信信号存在的电磁环境下,要求雷达与通信一体化系统的瞬时动态范围必须提高。

4. 信号波形

从信号波形来看,通信信号一般为连续波形,个别采用间断连续波形,如猝发通信信号;雷达信号常用两种基本的射频波形,即连续波和脉冲调制波。

5. 信号带宽

一般而言,通信信号的瞬时带宽比较窄,常规 VHF/UHF 战术通信电台信号带宽为 50kHz、25kHz、12.5kHz 等,而短波电台的信号带宽更窄。对于扩频通信信号,带宽一般为几兆赫,而第 3 代(W - CDMA)移动通信系统的最大信号带宽可能达到 20MHz。

雷达信号的带宽比较宽,脉冲调制波是最为常见的雷达辐射波形。脉冲持续时间在几十纳秒到几百微秒,脉冲重复频率是雷达最重要的参数,在几百赫到 1MHz 之间变化,少数雷达采用连续波信号。

1.2.2 雷达增加通信功能的可行性

雷达系统和通信系统在原理上都是通过电磁波的发射和接收过程实现其功能的,在系统的结构上表现为两者子系统。例如,天线、发射机、接收机、信号处理器等有相当大的重叠。所不同的只是在信号的频率和信号的形式上,只要增加某些频率转换系统和信号变换电路等就可使雷达资源为通信所共用,使雷达和通信合为一体。通信共享雷达资源的几种可能方式如下:

- (1) 共享雷达发射机、接收机、天线系统。
- (2) 共享雷达发射系统、接收系统。
- (3) 共享雷达发射系统、天线系统。
- (4) 共享雷达接收系统、天线系统。
- (5) 共享雷达天线系统。
- (6) 共享雷达接收系统。
- (7) 共享雷达发射系统。

其中,从理论上讲,共享雷达接收机较易实现,通信信号只要经过处理后满足雷达接收机工作的技术指标就可实现共享。由于雷达接收机为通信所共用,为避免信号传送上的混乱,雷达和通信必须采取时分制。

此外,共享雷达天线也是一种可取的方案。雷达天线的强方向性为通信的保密性提供了有力的保证。雷达天线的水平波瓣相对较宽,这个波瓣宽度可以为雷达完成数据通信提供良好的条件。在这种共享方式下,通信频率必须受天线的带宽限制,若超过天线带宽,天线的方向图就会变差,性能就会下降,对通信质量造成不利的影响。因此,通信共用雷达天线必须要正确地选择通信的上行和下行频率^[1,2]。

1.3 雷达—电子战一体化概念

电子战和雷达结合,可充分发挥各自的优势,相互弥补不足之处,大大提高整体作战威力。电子对抗设备的目标探测距离比雷达远得多,目标识别能力比雷达强,能先于对方发现目标,并进行跟踪识别和威胁告警以及引导雷达的探测方向,使雷达以最短时间工作,并能在雷达受干扰的情况下对目标探测和跟踪。雷达能够主动探测目标,准确地测定目标距离和位置及跟踪目标。但只要雷达开机就会被敌方探测到,容易暴露自己,易受到强烈的电子对抗干扰和被敌方无源定

位,遭受反辐射导弹的攻击。雷达和电子侦察系统一体化,电子支援措施(ESM)可以弥补雷达的不足,可提供关于目标的详细识别信息,ESM 测向精度不高的缺点也可以由雷达弥补。例如,美国战斗机 F-22 上的综合电子战系统(INEWS)一体化电子战系统计划具有这样的功能。系统中 ALR-94 无源系统,可引导 APG-77 雷达的探测方向,使雷达以 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 的方位和仰角精度探测目标,根据目标的威胁等级,雷达可以调整脉冲功率和数量,最有效地跟踪目标。而且还可以通过战斗机的数据链,利用另一架战斗机平台的 ALR-94 获得的信息自动引导雷达工作。

电子战与雷达的一体化除上述电子对抗无源传感器与雷达有源传感器的综合外,电子对抗干扰与雷达一体化或雷达与干扰一体化也是当前电子战领域的重要课题。其一是实现干扰与雷达在硬件上共享,例如,F-22 战斗机上没有专用干扰机设备,其 APG-77 雷达同时具有搜索、干扰、通信等功能。F-22 利用雷达等传感器和计算机存储器识别敌方的雷达信号,确定敌方雷达锁定目标所需的时间,并在适当时间进行干扰,APG-77 雷达将分出若干发射/接收(T/R)组件在某个频率范围内产生大功率干扰窄波束。其二是实现干扰与雷达不仅在硬件上共享,还在信号上共享,即干扰发射机又可作为雷达发射机,并且设想一种干扰信号,发射出去进入敌方雷达接收机进行干扰,而又接收敌方雷达平台反射回来的干扰信号来对敌雷达平台进行定位,也就是用干扰信号进行干扰的同时,还将其作为雷达探测信号使用,在硬件共享基础上实现信号共享的干扰与雷达一体化。已有文献提出采用随机多元码脉位调制(PPM)和脉间二相码调制混合波形来实现干扰/雷达信号共享,并进行了分析研究^[3]。

1.4 雷达—电子战—通信一体化概念

雷达—电子战—通信一体化是现代复杂电子战环境下提出的新要求,雷达—电子战—通信的一体化系统组成如图 1.1 所示。一体化不仅能保证系统功能的完整性,而且可加强系统中的各种功能,从而提高系统的作战效能。但是一体化还面临着许多技术难题,为此,应加强对有关关键技术的研究。下面,对这类一体化做概念性介绍。

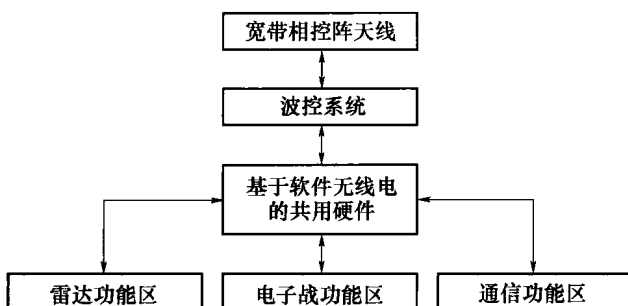


图 1.1 雷达—电子战—通信一体化系统组成

关于软件控制、资源共享的射频设计的基本可行性在“综合化通信、导航、识别航空电子系统”和“综合电子战系统”等计划已在美国获得了成功的验证。图 1.2 绘出了综合化的通信、导航、识别(CNI)、雷达和电子战传感器子系统的通用功能结构示意图,图中虚线框标示了各个系统间潜在的高度通用区域。可以看出,贯穿所有系统的共同线索还是很明显的,所有传感器功能可以划分为 7 类基本的构建功能模块。

(1) 综合天线孔径模块:接收和发射信号。

(2) 孔径接口设备模块:对天线接收到的信号进行预处理并对通过天线发射的信号进行最终处理。

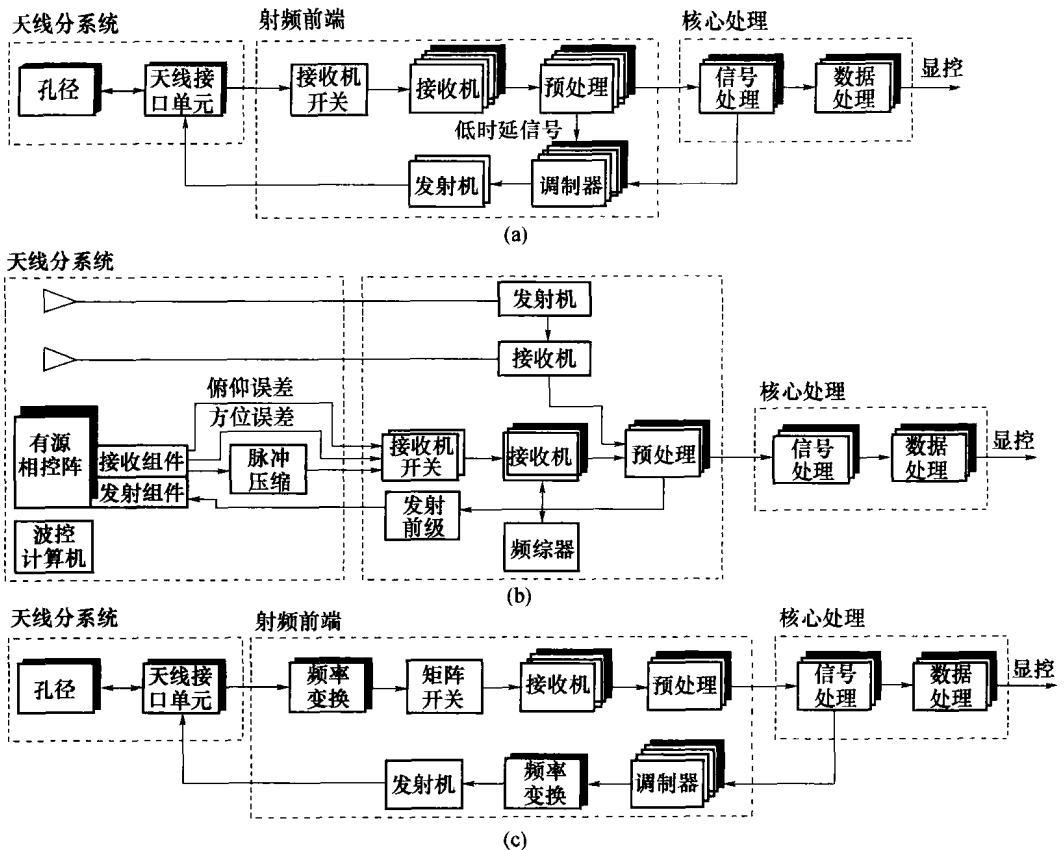


图 1.2 综合射频传感器潜在的高度通用区域示意图

(a) CNI 传感器通用功能结构图；(b) 雷达传感器通用功能结构图；(c) 电子战传感器通用功能结构图。

- (3) 接收/下变频模块:对输入信号进行滤波、放大、下变频、解跳,输出标准中频信号。
- (4) 发射/上变频模块:对输入信号进行滤波、放大、增频、跳频,输出激励/发射信号。
- (5) 数字预处理模块:中频数字化处理,输出基带数字信号和中频调制信号。
- (6) 核心处理模块:传感器信号、数据处理和任务处理。
- (7) 基准时钟和频率源模块:集中时钟与频率资源的产生和输出。

理想情况下,只需要这 7 类基本功能模块的实现就能完成综合射频传感器的任一功能,条件是每类模块都具有满足频率范围要求和波形要求的能力与灵活性。当模块不能满足多个并发功能的限时性要求时,还必须增加类似模拟功能模块的数量。如何用现实的技术以最小的覆盖分别实现这 7 类基本构建模块是实际系统构形设计要论证的主要问题^[4,5]。

有关雷达—电子战—通信一体化的具有实现将在随后几章中再做讨论。下面先简要介绍一下雷达—电子战—通信一体化的若干重要技术。

1.5 航空电子系统一体化的若干重要技术简介

雷达—电子战—通信一体化具有很多优点,如资源共享、资源冗余、动态重构及提高系统应变能力和灵活性、提高系统生存能力和整体效能等,对于它们的研究涉及硬件和软件等方面的重要技术。从美国在航空电子系统一体化方面的工作看,航空电子一体化要解决的主要问题有:共用孔径的问题、信息综合处理的问题、数据融合技术问题、综合多功能组件的有源相控阵系统问

题、信号一体化传输问题及综合显示问题等。从“宝石柱”和“宝石台”计划及 F-22 和 F-35 这两种飞机的航空电子系统看,航空电子一体化需要的若干重要技术归纳如下:

1.5.1 航空电子系统综合设计技术

航空电子系统综合设计技术是实现航空电子系统综合,充分发挥各种机载电子设备效能,确保战斗机综合作战能力的根本保证。航空电子系统综合设计是指对航空电子系统综合结构的选择,在典型使命任务中,一个完整的飞行架次中系统操作流程的分析,软、硬件系统的功能分工,软件系统结构设计,系统性能指标的分配,子系统、设备的选用,关键技术及试验方法的全面考虑和研究等多个有序环节的完成。必须从系统的观点出发,对其组成、构造、功能、互连方法等进行综合研究,以达到航空电子综合系统的最佳化。

1.5.2 综合处理系统技术

这是一项用于解决信号综合处理问题的技术。现代作战飞机要传输和处理的信号种类繁多,要实现一体化,建立综合处理系统对这些信号进行一体化综合处理是必要的。综合处理系统完成雷达、电子战、通信等传感器的信号处理和数据处理,并完成数据融合、导航计算、火控计算、显示控制管理等任务处理功能。在技术上,它充分利用共用模块、并行多处理机系统和分布实时操作系统的结构特性,以共享核心处理资源,改善性能和可靠性,满足机载处理能力和计算机能力飞速发展的要求。在信息密集条件下,满足驾驶员对战场态势了解、任务管理等操作以及控制简便的要求。其中包含的关键技术有:软、硬件的模块化技术,并行处理机技术,总线接口技术以及实时操作系统及通用应用程序接口技术,从而大幅度增强信号与数据的高速实时处理能力,任务数据计算能力,实现传感器信号及数据的综合处理、数据融合,完成航空电子系统的大多数应用计算的“任务综合”,并改进安装形式及冷却方式,逐步向开放型、统一网络型接口过渡。

1.5.3 共享孔径技术和有源相控阵技术

由于作战飞机搭载的电子设备越来越多,对天线的数量要求也越来越高。按传统的天线使用方法,会引起天线拥挤、电磁兼容及雷达截面积增大等问题。因此,多种电子设备天线孔径的综合与共享,就成为航空电子系统实现完全一体化的关键之一。

雷达—电子战—通信一体化系统可采用多个波束共享一个射频口径的方式(即共享孔径)实现雷达、电子战和通信三种功能,完成目标跟踪、导弹制导和控制、干扰、欺骗、敌我识别,或满足其他作战要求。

共享孔径技术是一种新的相控阵天线技术,它利用宽带多波束技术将多个天线的功能综合到一个孔径中,是把雷达、电子战和通信的系统功能集成到一个硬件设备上的重要技术基础。目前已存在几种可共享系统间孔径的方法:一种是减少孔径的时间多重使用,现代多功能雷达系统中已经采用了这种方法,它用一个通用的孔径来实现几种功能;另一种方法是将一个大的孔径分成多个孔径,每个孔径执行一项特定的功能。在共享孔径技术研究中,使用单个孔径同时完成多个功能的方法最具吸引力,也最理想,但技术难度最大,如功能间的协调、隔离和控制等问题。当然,随着共享孔径的一些关键技术问题的突破,共享孔径技术将得到广泛应用。比较典型的有美国先进共享孔径计划(ASAP)、美国应用物理实验室(APL)的共享孔径技术及休斯公司的共享天线技术。目前,这项技术已经开始在一些新型战机上应用,并取得了明显的效果。例如,美国现代战斗机中 F-22 需要 60 多根天线,使用共享孔径技术后,最新的联合攻击机 F-35 已经合成 13 根天线,这对于确保 F-35 的隐身性能起到重要的作用。在第 5 章中,将对共享孔径技术