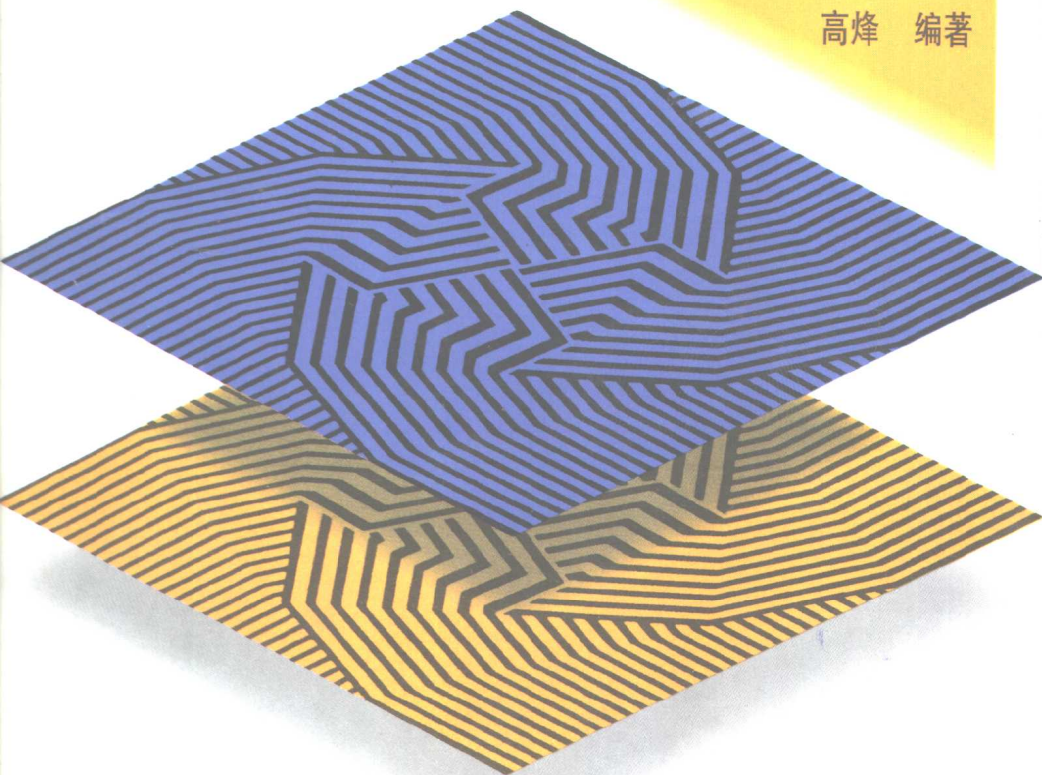


多普勒雷达导引头信号 处理技术

Signal Processing Technology for
Doppler Radar Seekers

高峰 编著



国防工业出版社

多普勒雷达导引头 信号处理技术

**Signal Processing Technology
for Doppler Radar Seekers**

高 烽 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

多普勒雷达导引头信号处理技术/高峰编著. —北京:
国防工业出版社. 2001.3

ISBN 7-118-02406-6

I. 多... II. 高... III. 多普勒雷达-导引头-信号
处理 IV. TN958

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 50595 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 100044)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 11¼ 297 千字

2001 年 3 月第 1 版 2001 年 3 月北京第 1 次印刷

印数:1-2000 册 定价:24.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

AST-91/04

IV

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

**国防科技图书出版基金
评审委员会**

国防科技图书出版基金 第三届评审委员会组成人员

名誉主任委员	怀国模			
主任委员	黄宁			
副主任委员	殷鹤龄	高景德	陈芳允	曾铎
秘书长	崔士义			
委员	于景元	王小谟	尤子平	冯允成
(以姓氏笔划为序)	刘仁	朱森元	朵英贤	宋家树
	杨星豪	吴有生	何庆芝	何国伟
	何新贵	张立同	张汝果	张均武
	张涵信	陈火旺	范学虹	柯有安
	侯正明	莫梧生	崔尔杰	

序

多普勒雷达导引头是雷达导引头的一种基本形式,它是防空导弹的关键装置。

正如作者所说,“广义地讲,多普勒雷达导引头是一个时空信号的相参处理系统。”作为时空信号处理器,多普勒雷达导引头在检测目标信号和提取制导信息的基础上,形成控制导弹飞行的制导指令。显然,多普勒雷达导引头信号处理技术是多普勒雷达导引头总体和分系统设计的基础。多普勒雷达导引头信号处理系统的分析和设计,已成为研制多普勒雷达导引头的基本内容。

防空导弹武器系统的发展,丰富了多普勒雷达导引头信号处理技术。《多普勒雷达导引头信号处理技术》一书是作者在长期从事这一领域研制工作的基础上编写的专著。本书系统地阐述了多普勒雷达导引头信号处理技术的基础知识,使多普勒雷达导引头的设计理论和设计方法更加科学化、系统化和实用化。

值得一提的是,本书从相参信号处理的角度论述多普勒雷达导引头,视角新颖,内容具体,是一本有助于多普勒雷达导引头研制工作的国防科技专著。

本书叙述简练,层次清楚,可读性强,读者可通过本书了解多普勒雷达导引头信号处理的基本概念和设计方法,作为深入研究该领域问题的基础。

对于研制多普勒雷达导引头的工程技术人员和高等院校相应专业的师生而言,此书是非常有益的。

梁 晋 才

1999年4月16日

前 言

这是一本以信号处理技术为主线,阐述多普勒雷达导引头的基础理论和设计方法的专著。书稿以作者编写的研究生教材为基础,融入了作者 30 多年来的工作经验和科研成果,它将为多普勒雷达导引头总体和分系统的研制提供分析和设计依据。

全书共 14 章,内容可归结为四个方面:总体技术;分系统技术;抗泄漏、抗杂波和抗干扰技术;常用电路技术。

第 1 章论述总体技术。该章在介绍制导系统基本概念的基础上,给出各种制导系统多普勒效应的计算方法,归纳了多普勒雷达导引头的相参处理组态。相参处理组态是制定多普勒雷达导引头总体方案的基本框架。

第 2 章~第 9 章论述多普勒雷达导引头分系统工作原理和设计方法,内容涉及载体信号分析、波形参数设计、最佳检测系统、锁频式或锁相式相参基准系统、倒置型接收信道、单谱线速度跟踪环路、窄带系统距离信息提取方法、测角与角跟踪系统等。

第 10 章~第 12 章分别讨论泄漏、杂波和干扰对多普勒雷达导引头工作性能的影响,介绍抗泄漏、抗杂波、抗干扰技术及其设计方法。

第 13 章介绍制导指令形成和导引头逻辑控制技术。

第 14 章介绍多普勒雷达导引头信号处理系统中的常用电子线路技术。

为了避免篇幅过长,本书未涉及多普勒雷达导引头的具体方案和实用电路,这些内容已编入内部读物《雷达导引头信号处理技术 100 例》之中,供有关人员参阅。

本书定稿过程中,得到了梁晋才院士、张清泰教授、黄公弼研

究员和蔡昆研究员的指导与帮助,在此谨向他们致以谢意。

作者

1999年2月8日

内 容 简 介

本书介绍多普勒雷达导引头信号处理技术,全书包括 14 章,包括:概论;信号与系统;噪声分析;目标检测;相参基准;回波信道;速度信息处理;距离信息处理;角信息处理;抗泄漏;抗杂波;抗干扰;指令形成和逻辑管理;以及多普勒雷达导引头信号处理系统常用电路技术。

本书可供从事多普勒雷达导引头研制工作的工程技术人员和高等院校相应专业的师生参考。

This book presents signal processing technology for Doppler radar seekers. It contains fourteen chapters, which includes introduction, signal and system, noise analysis, target detection, coherence-reference system, echo-wave channel, velocity information processing, range information processing, angle information processing, leaking suppression, clutter reduction, anti-interference, command generation and logic management, general technology of signal processing circuit in Doppler radar seeker.

It is hoped that this book will serve to aid technicians who are involved in design of Doppler radar seeker, and also to aid university students and instructors in the same profession.

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 寻的制导原理和雷达导引头分类	1
1.1.1 寻的制导原理	1
1.1.2 雷达导引头分类	4
1.2 无线电寻的制导系统的多普勒效应	5
1.2.1 信标系统多普勒效应	5
1.2.2 主动寻的系统多普勒效应	7
1.2.3 空—空半主动寻的系统多普勒效应	9
1.2.4 地—空半主动寻的系统多普勒效应	13
1.2.5 遭遇段导弹—目标多普勒频率	14
1.2.6 镜像目标多普勒频率	16
1.2.7 杂波多普勒频率值域	19
1.3 多普勒雷达导引头相参处理组态	20
1.3.1 连续波半主动雷达导引头相参处理组态	21
1.3.2 脉冲多普勒主动雷达导引头相参处理组态	24
1.4 多普勒雷达导引头典型框图	26
1.4.1 连续波半主动雷达导引头	26
1.4.2 脉冲多普勒主动雷达导引头	29
1.5 多普勒雷达导引头信号处理	29
第 2 章 信号和系统	32
2.1 信号的基本表达方式	32
2.2 雷达信号的特点	38
2.3 多普勒雷达导引头常用信号分析和设计	42
2.3.1 连续波信号	42
2.3.2 相参脉冲串信号	50

2.3.3 间断连续波信号	57
2.4 线性系统分析	59
2.4.1 线性系统	59
2.4.2 线性系统的时域分析法	60
2.4.3 线性系统的频域分析法	64
2.4.4 窄带系统分析法	68
2.5 非线性系统分析	69
第3章 噪声分析	71
3.1 随机过程的统计特性	71
3.2 噪声的数值表征	74
3.3 平稳随机过程通过线性系统	80
3.3.1 平稳随机过程通过线性网络	80
3.3.2 平稳随机过程通过乘法器	80
3.3.3 平稳随机过程通过和差器	81
3.3.4 信号和噪声通过窄带系统	85
3.4 平稳随机过程通过非线性系统	92
3.4.1 平稳随机过程通过全波平方律器件	92
3.4.2 平稳随机过程通过半波线性律器件	96
3.4.3 平稳随机过程通过限幅中频放大器	97
3.5 振荡器噪声分析	99
第4章 信号检测	105
4.1 最佳检测系统模型	105
4.2 多普勒信号的最佳滤波	110
4.3 低信噪比截获技术	113
4.4 检测性能评估	115
第5章 相参基准	117
5.1 雷达导引头的相参基准	117
5.1.1 相参基准的基本形式	117
5.1.2 微波源的技术要求	119
5.1.3 微波源设计	122
5.2 锁频式直波相参基准	126

5.2.1	锁频式相参基准的基本形式	126
5.2.2	锁频环的环路模型	127
5.2.3	直波锁频环设计	133
5.3	锁相式直波相参基准	142
5.3.1	锁相式相参基准的基本形式	142
5.3.2	锁相环的环路模型	142
5.3.3	直波锁相环设计	150
第6章	回波信道	159
6.1	最佳滤波	159
6.1.1	最佳滤波特征	159
6.1.2	时域选通	161
6.1.3	频域选通	163
6.2	灵敏度	166
6.3	增益和倒置度	166
6.3.1	通道增益	166
6.3.2	倒置度	167
6.4	动态范围和自动增益控制	168
6.4.1	动态范围定义	168
6.4.2	前端电路动态范围	170
6.4.3	主放大器 and 自动增益控制	181
6.4.4	电路固有动态范围	186
第7章	速度信息处理	187
7.1	速度跟踪环路的基本模式	187
7.2	模拟式速度跟踪环路	190
7.3	数字式速度跟踪环路	193
7.4	模数结合式速度跟踪环路	196
7.5	具有弹速补偿的速度跟踪环路	198
7.6	速度跟踪环路的预定和搜索	200
7.7	遭遇段速度跟踪环路的动态响应	204
第8章	距离信息处理	207
8.1	多普勒雷达导引头作用距离	207

8.1.1	半主动寻的系统作用距离	207
8.1.2	脉冲多普勒主动雷达导引头作用距离	208
8.2	连续波半主动雷达导引头距离测量	213
8.3	脉冲多普勒主动雷达导引头距离测量	215
8.3.1	采用相关滤波体制的主动头的距离跟踪	215
8.3.2	采用匹配滤波体制的主动头的距离跟踪	217
8.3.3	HPRF-PD 主动雷达导引头的遮挡效应	218
8.3.4	HPRF-PD 主动雷达导引头距离模糊解算	221
8.4	主动雷达导引头距离速度两维检测	223
第9章	角信息处理	227
9.1	定向测角系统	227
9.1.1	圆锥扫描测角	227
9.1.2	单脉冲测角	230
9.2	视线角速度测量	238
9.2.1	模拟式角信息处理系统	238
9.2.2	数字式角信息处理系统	243
9.3	角度(方位和俯仰)、速度、距离四维处理系统	258
第10章	抗泄漏	260
10.1	泄漏	260
10.1.1	连续波半主动寻的系统的泄漏	260
10.1.2	脉冲多普勒主动雷达导引头发射机泄漏	262
10.2	泄漏对初始截获的影响	263
10.2.1	初始截获性能的制约因素	263
10.2.2	连续波半主动雷达导引头泄漏下能见度(SFV)	264
10.2.3	脉冲多普勒主动雷达导引头收发隔离度	266
10.3	多普勒雷达导引头信号处理系统抗泄漏设计	268
10.3.1	连续波半主动雷达导引头信号处理系统抗泄漏设计	268
10.3.2	脉冲多普勒主动雷达导引头收发隔离设计	270
第11章	抗杂波	273
11.1	杂波	273
11.1.1	杂波谱分布	273
11.1.2	杂波功率计算	275

11.2	杂波对检测性能的影响	279
11.2.1	杂波下可见度(SCV)	279
11.2.2	SCV的制约因素	281
11.2.3	SCV的工程计算	281
11.3	多普勒雷达导引头信号处理系统抗杂波设计	282
第 12 章	抗干扰	290
12.1	多普勒雷达导引头信号处理系统中的常规抗干扰 措施	290
12.1.1	回避干扰	290
12.1.2	跟踪干扰	291
12.1.3	信道保护	294
12.2	抗速度干扰	295
12.3	单脉冲雷达导引头跟踪干扰源	299
12.4	导引头抗干扰性能评估	300
第 13 章	指令形成和逻辑管理	307
13.1	制导指令	307
13.2	制导引信控制指令	311
13.3	导引头逻辑管理	313
第 14 章	多普勒雷达导引头信号处理系统常用电路技术	316
14.1	调制与解调技术	316
14.1.1	标准调幅(AM)	316
14.1.2	双边带调制(DSB)	322
14.1.3	单边带调制(SSB)	325
14.1.4	调频(FM)	328
14.1.5	调相(PM)	332
14.2	压控变参技术	334
14.2.1	压控振荡器	335
14.2.2	压控移相器	338
14.2.3	压控衰减器	341
14.3	正交信号处理技术	345
14.3.1	正交技术在检测信道中的应用	345

XV

14.3.2 正交技术在测角通道中的应用	346
14.3.3 正交双通道镜频抑制混频器	347
14.3.4 采用正交自校信号实现并行通道脉间相位校正	348
参考文献	350

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Homing Guidance Principle and Classification of Radar Seeker	1
1.1.1 Homing Guidance Principle	1
1.1.2 Classification of Radar Seeker	4
1.2 Doppler Effects of Radio Homing Guidance System	5
1.2.1 Doppler Effects of Beacon System	5
1.2.2 Doppler Effects of Active Homing System	7
1.2.3 Doppler Effects of Air-to-air Semi-active Homing System	9
1.2.4 Doppler Effects of Surface-to-air Semi-active Homing System	13
1.2.5 Missile-target Doppler Frequency in Interception Phase	14
1.2.6 Doppler Frequency of Image Target	16
1.2.7 The Value-range of Clutter Doppler Frequency	19
1.3 Coherent Processing Configuration of Doppler Radar Seeker	20
1.3.1 Coherent Processing Configuration of Continuous-wave Semi-active Radar Seeker	21
1.3.2 Coherent Processing Configuration of Pulse Doppler Active Radar Seeker	24
1.4 Typical Diagram of Doppler Radar Seeker	26
1.4.1 Continuous-wave Semi-active Radar Seeker	26
1.4.2 Pulse Doppler Active Radar Seeker	29
1.5 Signal Processing of Doppler Radar Seeker	29
Chapter 2 Signal and System	32