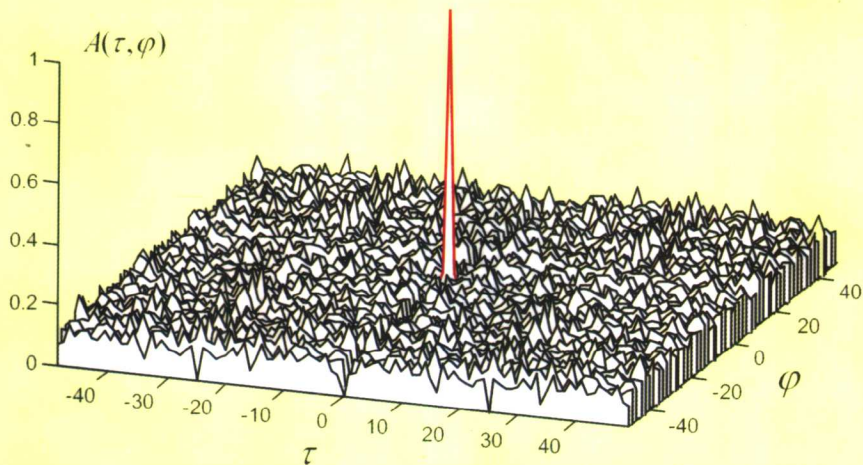


随机信号雷达

Random Signal Radar

刘国岁 顾红 苏卫民 编著



国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

随机信号雷达

Random Signal Radar

刘国岁 顾红 苏卫民 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

随机信号雷达/刘国岁等编著. —北京:国防工业出版社, 2005.4

ISBN 7-118-03667-6

I. 随... II. 刘... III. 随机信号 - 雷达
IV. TN958

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 117909 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)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 7.171 千字

2005 年 4 月第 1 版 2005 年 4 月北京第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:26.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

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。

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
第四届评审委员会组成人员

名誉主任委员	陈达植		
顾问	黄宁		
主任委员	刘成海		
副主任委员	王峰	张涵信	张又栋
秘书长	张又栋		
副秘书长	彭华良	蔡镛	
委员	于景元	王小谟	甘茂治
(按姓名笔画排序)	冯允成	刘世参	杨星豪
	李德毅	吴有生	何新贵
	佟玉民	宋家树	张立同
	张鸿元	陈火旺	侯正明
	常显奇	崔尔杰	韩祖南
	舒长胜		

前 言

“随机信号雷达”是指发射随机信号的雷达,该随机信号可以是直接在微波段产生的微波噪声信号或者经低频随机信号各种调制后的载波信号。信号的随机性使得雷达具有“图钉”形的模糊函数,从而具有一系列明显的优点,如低截获概率、强抗干扰、不存在距离和多普勒模糊的矛盾等。研究和使用的随机信号雷达,对于提高日益复杂电磁环境下现代高科技战争中武器装备的电磁兼容能力(EMC)具有十分重要的意义;同时对于在严重的交叉干扰或存在随机且复杂的遮挡物场合下,如何实现汽车防撞、探地和穿透树林等技术也有工程应用价值。

随机信号雷达的研究始于 20 世纪 60 年代末期。30 年来,美国的普渡大学、明尼苏达大学,还有法国、荷兰、英国、德国、乌克兰等国家先后对随机信号雷达作了许多系统研究,取得大量的研究成果,发表了许多研究论文,还有专利和实验系统的实验结果分析。但由于微波器件和信号处理芯片的技术水平,制约了随机信号雷达在实际中的应用,因而人们致力于伪随机码信号雷达研究,并取得了一些实际的应用。进入 90 年代后期,现代信号处理理论、微处理器和微波器件技术高速发展,使随机信号雷达的实现变得更加容易。近几年,美国和乌克兰超宽带随机信号雷达研究取得了重大进展,发表了大量有关文章,研制了超宽带雷达样机,预示着有关问题的不断解决,使随机信号雷达在现代国防和国民经济中得到广泛的应用已经为期不远。

南京理工大学研究随机信号雷达同样已有 30 多年的历史,取得了许多研究成果,先后研制了多种体制的随机信号雷达,并受到国际上的关注。虽然随机信号雷达的研究越来越受到人们的重

视,可是国内外尚无这方面的专著。我们编写《随机信号雷达》一书旨在推动随机信号雷达的研究,普及随机信号雷达的知识,使随机信号雷达早日在国防和国民经济建设中得到广泛的应用。

本书共分三部分。第一部分为随机信号雷达的基本原理,包括第一章至第四章,主要介绍随机信号雷达的概念、平均模糊函数、频谱法和相关法随机信号雷达。第二部分包括第五章至第八章,介绍了几种典型的随机信号雷达系统,主要有随机调频连续波雷达系统、随机二相码连续波雷达系统、双随机码准连续波雷达系统以及美国近期研制的相干的超宽带随机信号雷达系统。这里除了介绍随机信号雷达的距离和多普勒探测、脉压系统、动目标显示和恒虚警处理,还对随机信号雷达的许多关键问题作了详细和深入的分析,如距离旁瓣抑制、连续波雷达的收发隔离,多普勒敏感等;同时给出了多个雷达实验系统的实验结果。第三部分为随机信号雷达的应用与发展趋势,包括第九章和第十章,主要介绍各国近期研究的热点,以此说明随机信号雷达的应用与发展趋势。现代交通中的防撞雷达首先要具备抗交叉干扰的能力,由于随机信号雷达的码字系列不断更新,所以在防撞雷达中使用随机信号将大大提高雷达的性能。超宽带随机信号雷达在多普勒估计、综合孔径和逆综合孔径(SAR和ISAR)的成像、探地和穿透树林(FOPEN)的成像等方面均有应用。

本书的第一章、第二章、第三章、第八章、第九章和第十章由刘国岁执笔,第四章和第五章由苏卫民执笔,第六章和第七章由顾红执笔。

作者特别感谢中国科学院院士、西安电子科技大学保铮教授和中国工程院院士、中国电子科技集团公司第十四研究所张光义院士,他们指导了本书的写作和出版。本书不仅是对国内30多年随机信号雷达研究成果的总结,同时也反映了国内、外许多学者的研究成果。由于随机信号雷达尚处于迅速发展的时期,许多理论和实际问题还在研究之中,因而在内容的选取、安排、问题的分析和论述等方面存在不少缺点和不足,敬请读者指正。

编著者
2004.7

目 录

第一章 绪论	1
1.1 随机信号雷达的基本概念	1
1.1.1 随机信号雷达的特点	1
1.1.2 随机信号雷达的基本工作方式	2
1.2 随机信号雷达的历史与现状	5
参考文献.....	6
第二章 频谱法随机信号雷达	9
2.1 基本的频谱法(波依尔随机信号雷达)	9
2.2 活动目标的频谱法(辛德勒活动目标随机 信号雷达)	16
2.3 改进型频谱法(皮尔斯—霍尔特随机信号雷达).....	19
2.3.1 概述.....	19
2.3.2 系统介绍.....	20
2.3.3 优缺点.....	23
2.4 几种频谱法随机信号雷达的比较.....	24
参考文献	24
第三章 相关法随机信号雷达的平均模糊函数	26
3.1 引言.....	26
3.2 相关法随机调频连续波雷达的平均模糊函数.....	27
3.2.1 理论推导.....	27
3.2.2 计算机模拟结果.....	30
3.3 随机脉位调制序列的平均模糊函数.....	31
3.3.1 理论推导.....	31
3.3.2 脉冲参数的优化.....	34

3.3.3 结论	35
3.4 随机二相码连续波雷达信号的平均模糊函数	35
3.4.1 理论推导	35
3.4.2 计算机模拟结果	37
3.4.3 结论	38
3.5 混沌相位编码随机信号雷达的平均模糊函数	38
3.5.1 混沌相位编码信号分析	38
3.5.2 混沌雷达信号的平均模糊函数	41
3.5.3 结论	42
参考文献	43
第四章 极型相关法随机信号雷达系统	45
4.1 引言	45
4.2 工作原理	45
4.3 实验的雷达系统	47
4.4 实验结果	49
4.5 结论	52
参考文献	52
第五章 随机信号调频连续波雷达系统	53
5.1 引言	53
5.2 随机信号和复合随机信号调频连续波雷达系统 工作原理	53
5.3 平均模糊函数	55
5.4 频谱分析	56
5.4.1 随机调频连续波雷达信号的频谱	56
5.4.2 复合随机调频连续波雷达信号的频谱	58
5.5 雷达的输出特性	59
5.5.1 随机调频连续波雷达系统	59
5.5.2 复合随机调频连续波雷达系统	60
5.6 实验结果	61
5.6.1 随机调频连续波雷达系统	61

5.6.2 复合随机调频连续波雷达系统·····	61
参考文献·····	62
第六章 随机二相码连续波雷达系统 ·····	64
6.1 引言·····	64
6.2 随机二相码的产生·····	64
6.2.1 白噪声源产生法·····	64
6.2.2 Monte Carlo 法·····	68
6.3 随机二相码的统计特性·····	68
6.3.1 随机二相码的概率分布·····	68
6.3.2 随机二相码的游程分布·····	69
6.3.3 随机二相码的相关函数·····	70
6.4 随机二相码脉压后距离旁瓣的统计特性·····	70
6.5 随机二相码连续波雷达系统实现·····	73
6.6 随机二相码连续波雷达的检测性能·····	75
6.7 随机二相码连续波雷达的抗干扰性能·····	77
6.7.1 抗反辐射导弹的能力·····	77
6.7.2 抗各类干扰的能力·····	77
6.7.3 抗低空突防的能力·····	78
6.7.4 抗隐身能力·····	78
6.8 随机二相码连续波雷达的脉冲压缩·····	81
6.9 随机二相码连续波雷达的动目标显示·····	82
6.10 随机二相码距离旁瓣的抑制·····	85
6.11 随机二相码连续波雷达的恒虚警处理·····	95
6.12 随机二相码连续波雷达的应用·····	96
参考文献·····	97
第七章 双随机码准连续波雷达系统 ·····	98
7.1 引言·····	98
7.2 连续波雷达泄漏和传统的解决方法·····	98
7.3 周期方波断续法解决连续波雷达的泄漏问题·····	99
7.3.1 周期方波断续法的基本原理·····	100

7.3.2	周期方波断续的连续波雷达方程	101
7.3.3	周期方波断续的连续波雷达的模糊函数	103
7.3.4	周期方波断续信号的参数设计	107
7.4	随机码调幅断续法解决连续波雷达的泄漏问题	108
7.4.1	随机码调幅断续法雷达的基本原理	108
7.4.2	随机码调幅断续法雷达的雷达方程	109
7.4.3	随机码调幅断续法雷达的模糊函数	112
7.5	双随机码准连续波雷达	113
7.5.1	双随机码准连续波雷达的提出	113
7.5.2	双随机码准连续波雷达的实现	115
7.5.3	双随机码准连续波雷达的模糊函数	117
7.5.4	连续波泄漏的抑制和近距离目标的检测	117
7.5.5	远距离和高速目标的测定及多普勒敏感 困难的解决	118
7.5.6	大占空比信号的固定距离遮挡的解决	119
7.6	双随机码准连续波雷达的脉压系统	119
7.7	双随机码准连续波雷达的动目标显示	122
7.8	双随机码准连续波雷达距离旁瓣的抑制	122
7.9	双随机码准连续波雷达的恒虚警处理	123
7.10	双随机码准连续波雷达的显示	124
7.11	双随机码准连续波雷达的应用	124
7.12	连续波雷达系统的收发隔离	125
	参考文献	134
第八章	相干的超宽带随机信号雷达系统	135
8.1	引言	135
8.2	相干的超宽带随机信号雷达系统	135
8.3	相干的超宽带随机信号雷达系统接收机输出信号 的统计特性	138
8.3.1	引言	138
8.3.2	接收机输入变量和互相关系数的关系	139

8.3.3 接收机输出的概率密度函数	141
8.3.4 结论	147
8.4 随机信号雷达的极化特性和 stokes 矩阵	147
8.4.1 随机信号雷达的极化特性	147
8.4.2 Stokes 矩阵	151
8.5 探地与成像	152
8.5.1 实验	152
8.5.2 结论	156
参考文献	156
第九章 随机信号雷达的应用	158
9.1 引言	158
9.2 随机信号雷达在汽车防撞系统中的应用	158
9.2.1 汽车防撞雷达简介	158
9.2.2 随机信号雷达作为汽车防撞雷达的应用	164
9.3 随机信号雷达在多普勒估计和 SAR/ISAR 成像中的应用	166
9.3.1 随机信号雷达在多普勒估计中的应用	167
9.3.2 随机信号雷达在 SAR 成像中的应用	172
9.3.3 随机信号雷达在 ISAR 成像中的应用	179
9.4 结论	190
参考文献	190
第十章 随机信号雷达的发展趋势	192
10.1 引言	192
10.2 随机信号雷达的发展	192
10.3 随机信号雷达的低截获概率(LPI)	193
10.3.1 低截获概率的基本原理	193
10.3.2 随机信号雷达低截获概率性能分析	194
10.4 随机信号雷达在民用领域的应用及其电磁兼容 能力(EMC)	195
10.4.1 随机信号雷达在民用领域的应用	195

10.4.2 随机信号雷达的电磁兼容能力·····	195
10.5 结论·····	200
参考文献·····	200

Contents

Chapter 1 introduction	1
1.1 The basic concept of random signal radar.	1
1.1.1 The characteristic of random signal radar	1
1.1.2 The principle of random signal radar	2
1.2 History and current situation for random signal radars	5
Reference	6
Chapter 2 Spectrum analysis for random signal radar	9
2.1 Basic spectrum analysis (Poirier random signal radar)	9
2.2 Spectrum analysis of the moving target case (Schindler random signal radar of the moving target)	16
2.3 Improved spectrum analysis (Pierce-Holt random Signal radar)	19
2.3.1 Introduction	19
2.3.2 General description	20
2.3.3 Advantage and disadvantage	23
2.4 Comparison for several spectrum analysis of random signal radars	24
Reference	24
Chapter 3 Average ambiguity function for correlation methodic random signal radar	26
3.1 Introduction	26

3.2	The average ambiguity function for correlation methodic random FMCW signals radar	27
3.2.1	Theoretical derivation	27
3.2.2	The result of compute simulation	30
3.3	The average ambiguity function for random position modulated series radar	31
3.3.1	Theoretical derivation	31
3.3.2	Superiority of pulse parameter	34
3.3.3	Conclusions	35
3.4	The average ambiguity function for random binary phase coded CW signals radar	35
3.4.1	Theoretical derivation	35
3.4.2	The result of computer simulation	37
3.4.3	Conclusions	38
3.5	The average ambiguity function for chaotic phase modulated signals radar	38
3.5.1	Analysis of chaotic phase modulated signals	38
3.5.2	The average ambiguity function for chaotic signals radar	41
3.5.3	Conclusions	42
	Reference	43
Chapter 4 polar correlation for random signal CW radar		45
4.1	Introduction	45
4.2	Principle	45
4.3	Experimental radar system	47
4.4	Experimental result	49
4.5	Conclusions	52
	Reference	52
Chapter 5 Random FMCW radar system		53
5.1	Introduction	53

5.2	The principle of random signals and complex random signals radar system	53
5.3	The average ambiguity function	55
5.4	Spectrum analysis	56
5.4.1	The spectrum of random FMCW radar signals	56
5.4.2	The spectrum of complex random FMCW radar signals	58
5.5	The output characteristic of radar	59
5.5.1	Random FMCW radar system	59
5.5.2	Complex random FMCW radar system	60
5.6	Experimental result	61
5.6.1	Random FMCW radar system	61
5.6.2	Complex random FMCW radar system	61
	Reference	62
Chapter 6 Random binary phased coded CW radar system		
	system	64
6.1	Introduction	64
6.2	Generation of random binary phased code	64
6.2.1	Method of white noise source	64
6.2.2	Method of Monte Carlo	68
6.3	Statistical characteristic of random binary phased code	68
6.3.1	Probabilistic distribution of random binary phased code	68
6.3.2	Wandering length distribution of random binary phased code	69
6.3.3	Correlation function of random binary phased code	70
6.4	Statistical characteristic of range sidelobe for random binary phase coded compression	70
6.5	System implementation of random binary phase coded CW radar	73