



国防科技著作精品译丛

Monopulse Principles and Techniques

(second edition)

单脉冲测向原理与技术

(第2版)

【美】 Samuel M. Sherman David K. Barton 著
周颖 陈远征 赵锋 等译



ARTECH HOUSE
BOSTON | LONDON



国防工业出版社
National Defense Industry Press



装备科技译著出版基金

单脉冲测向原理与技术 (第2版)

Monopulse Principles and Techniques Second Edition

[美]

Samuel M. Sherman

David K. Barton

著

周颖 陈远征 赵锋

王鹏 李鹏飞 闫州杰

译



国防工业出版社

National Defense Industry Press

著作权合同登记 图字: 军-2012-093 号

图书在版编目 (CIP) 数据

单脉冲测向原理与技术: 第2版/ (美) 谢尔曼 (Sherman, S. M.), 巴顿 (Barton, D. K.) 著; 周颖等译. -- 北京: 国防工业出版社, 2013.11
(国防科技著作精品译丛)
书名原文: Monopulse principles and techniques
ISBN 978-7-118-09317-9

I. ①单… II. ①谢… ②巴… ③周… III. ①单脉冲雷达—研究 IV. ①TN958.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 019354 号

Translation from the English Language edition:

Monopulse Principles and Techniques Second Edition by Samuel M. Sherman, David K. Barton

Copyright © 2011 Artech House

All rights reserved. Printed and bound in the United States of America. No part of this book may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or by any information storage and retrieval system, without permission in writing from the publisher. All terms mentioned in this book that are known to be trademarks or service marks have been appropriately capitalized. Artech House Cannot attest to the accuracy of this information. Use of a term in this book should not be regarded as affecting the validity of any trademark or Service mark.

本书简体中文版由 Artech House, Inc. 授权国防工业出版社独家出版发行。

版权所有, 侵权必究。

单脉冲测向原理与技术 (第2版)

[美] Samuel M. Sherman David K. Barton 著

周颖 陈远征 赵锋 王鹏 李鹏飞 闫州杰 译

出版发行 国防工业出版社

地址邮编 北京市海淀区紫竹院南路 23 号 100048

经 售 新华书店

印 刷 北京嘉恒彩色印刷有限公司

开 本 700 × 1000 1/16

印 张 22.5

字 数 376 千字

版 印 次 2013 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

印 数 1—2500 册

定 价 98.00 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

译者序

单脉冲技术是一项相对成熟的、但同时又在不断发展中的技术，其相关研究始自 20 世纪 30 年代，1947 年美国 R.M. 贝奇比较完整地提出单脉冲方案，1957 年美国研制成第一部单脉冲靶场精密跟踪雷达。自此，单脉冲的相关技术得到了迅速的发展，并大量应用于目标识别、导弹跟踪与测量、武器火力控制、炮位侦察、地形跟随、导航、地图测绘、空中交通管制等领域。

关于单脉冲相关技术的研究文章可谓汗牛充栋，对于相关概念介绍的书籍更是数不胜数，但鲜有书籍能够对其技术及应用进行系统而全面的介绍，而本书是此领域难得的专著。英文原著第一版出版于 1984 年，随着时间的推移，第一版中的内容略显滞后，第二版出版于 2011 年，增加了英文原著作者多年的研究工作经验和大量研究学者最新的开创性研究成果。

本书以单脉冲雷达为主介绍了单脉冲的技术及应用，书中大量引用了单脉冲雷达的实例、照片和性能指标，介绍的原理适用于任何单脉冲应用。本书从理论与工程并重的角度出发，避免了理论推导书籍的复杂和工程实现手册的枯燥，将单脉冲的相关原理、分类呈现给读者。本书适用于有一定理论基础的学者、研究生以及有经验的工程师、科学家、分析师和管理人员，特别是具有雷达、通信或相关领域知识的广大读者。

很荣幸能将本书的中文版带给大家，相信本书会给从事相关工作的读者带来益处。

全书由周颖、陈远征、赵锋、王鹏、李鹏飞、闫州杰、李晓、陈延仓、

康健和王立冬等人共同翻译,周颖、陈远征完成了全书的统稿和审校工作,对于缩略语、专业术语、人名和组织机构名称等进行了统一。翻译过程中,得到了电子信息系统复杂电磁环境效应国家重点实验室领导的大力支持和多位同志的热心帮助,得到了国防工业出版社编辑部同志的大力支持,在此一并表示衷心的感谢!

由于时间以及译者经验和水平所限,尽管我们尽了最大努力,但书中难免还有不尽如人意的地方,敬请读者不吝指正!

译者

2013 年 11 月

第二版序

1984 年出版的《单脉冲测向原理与技术》受到了广泛的关注和一致的好评。然而,自 1984 年以后,随着科技发展和现实需求的日益增长,书中相关内容略显滞后。当出版商要求再版时,作者同意与以前的同事 David K.Barton 一起对本书进行完善。

在准备这一版时,我们把自己的经验和主要工作加入其中。简而言之,我们的目标是为在该领域工作和学习的人提供一本有价值的参考书,同时,也希望其他人能够从中受益。

由于单脉冲原理在首版时就已比较成熟,第二版保留了第一版中的理论部分。第 5 章增加了与 George Kirkpatrick 在其开创性工作中所描述最优单脉冲相关的单脉冲性能测量的新内容,并把那些测量应用到反射和阵列天线系统。第 6 章也援引了同样的测量,用于空间馈电比幅单脉冲天线的最优馈源。第 7 章增加了关于阵列天线单脉冲的新内容。

第 10 章中关于单脉冲角误差的讨论保留了对噪声一阶和二阶效应的分析,并进一步将其应用于杂波误差。增加了对其他许多单脉冲角误差源的讨论。在第 11 章中,同时研究了多径漫反射分量和镜面反射分量的影响。第 12 章是新章节,讨论单脉冲干扰和抗干扰。第 13、14 章也是新增的章节,分别讨论了单脉冲在跟踪和非跟踪雷达中的应用。

第一版序

单脉冲,也被称为同时波束比较测角法,是一种对辐射源或反射电磁能量的“目标”的角度定位方法。单脉冲应用于某些特定类型的雷达,同样或类似的技术也可应用于测向、通信、导弹制导和声纳。本书介绍的原理对于任何单脉冲应用都是有效的,而且实例、照片和设备描述都来自单脉冲雷达,自 20 世纪 40 年代和 50 年代概念的提出和发展以来,单脉冲已经成为一种非常成功的测量技术,广泛应用于高精度角度测量和跟踪。

新应用和设计的发展导致单脉冲形式的多样化,所有这些都基于这一基本原理,即对差天线方向图(或其他类型传感器方向图)同时接收的信号进行比较。基本概念很简单,但为了获得单脉冲的全部能力,必须考虑许多理论上和实际上的问题,同时也要认识到单脉冲能力的局限。大量研究人员致力于理论研究之中。现在,他们的部分研究结果引领着先进技术的应用,并产生了高性能。未来有望实现进一步的性能提高和崭新的应用。

本书试图呈现出一种理论和实践与运用的平衡。风格是辅导性的。本书阐述了单脉冲的原理、分类,描述了它的不同形式,分析了它们的能力和局限。尽管不想成为一本设计手册,在单脉冲电路、组成和设计特征,特别是单脉冲有别于其他角度测量和跟踪技术的特征,或者单脉冲不同形式之间的区别等方面,作者泼洒了大量的笔墨。在分析部分,重点讨论理论与物理概念和应用之间的关系,而不仅仅是理论。作者尽量避免数学上不必要的复杂化。说明、证据和出处包括所有必要的步骤;但希望绕开细节的人可以提取所需的论据、公式、描述和表格。

本书主要服务于学者或研究生以及有经验的工程师、科学家、分析师和管理人员,特别是具有雷达、通信或相关领域基础知识的广大读者。熟知单脉冲组成和电路的有经验的设计师能够更好地理解单脉冲理论,并从中受益。另一方面,通过了解模型所表述的物理过程和设备,系统分析师能够提高其理论模型的实用性和有效性。可以丰富项目经理的单脉冲知识,以便其更好地与项目专家相互沟通。

当前,单脉冲文献分散于数量众多的论文和报告中,而这些文献仅涉及比较窄的、专业的主题,有一些并不可用。作者深信此书能够满足单脉冲综述的需要。有一些优秀的雷达专业书籍,但它们在单脉冲方面的篇幅相对较少,专门论述单脉冲的书籍就更少了。最初由 McGraw-Hill 图书公司在 1959 年出版, Ronald R. Rhodes 所著的《单脉冲导论》曾经并依然是雷达界的重要贡献,但其覆盖面较窄,以理论分析为主,当然,并没有反映 1959 年以后的成果。另一本书,1974 年由 David K. Barton 编著、Artech House 出版的《单脉冲雷达》收集重印了精选的论文, Barton 就论文的重要性和创新点进行了补充注释。某些论文堪称单脉冲领域的经典,包括两篇之前未曾公开发表的论文。作为参考文献,该书非常有用,但它并不是单脉冲整个领域的系统综述。还有一本由俄罗斯学者 A. I. Leonov 和 K. L. Fomichev 所著的《单脉冲雷达》,该书已经翻译成英文。维吉尼亚斯普林菲尔特的国家技术信息服务仍保留着可用的图片版(AD 号为 742696)。这本书包含了大量的有用信息,被美国各界大量引用(包括几部美国单脉冲雷达)。其中的图形和公式是根据原版复制的,并附加了图形坐标的英文翻译。不幸的是,翻译并不太清晰,复制质量也较差,使得大部分公式难以辨认,部分图形难以识别,并且没有索引。

在收集资料的过程中,作者引用了大量的信息源,但组织和表述方法是作者自己完成的。作者增加了原始资料 and 许多新的或修订过的注释和图。大量篇幅用于描述作者认为对大多数读者有用的主题,或者是其他技术文献中涉及较少或描述不清的地方。对于在其他信息源中已完备描述的部分特殊的或辅助的主题,本书进行了简要总结,读者可参考那些信息源以获取更详细的信息。

作者对单脉冲的兴趣来源于其多年来在制导和地基雷达研究机构中所从事的管理和研究工作。在那里,作者有幸与理论、设计、操作和试验等方面的雷达专家合作,涉及的许多雷达都包括单脉冲。机构中系统工程的前经理, Josh T. Nessmith 博士,建议将作者的论文、报告和内部备忘录扩展成一本书,他提供了资金和管理支持,相关技术讨论有助于澄清某些

难点。非常感谢制导和地基雷达的首席工程师 Bernard J. Matulis, 出于个人爱好, 他参与了本书的编著, 并提供了大量有益的帮助和支持。机构中的许多同事分享了他们的知识和经验, 并在修订过程中给出了建设性的建议和意见。本书也得益于同美国海军研究实验室的 Dean D. Howard、雷声公司的 Warren D. White 和 David K. Barton 的讨论。

Samuel M. Sherman

1984

目录

第 1 章 绪论	1
1.1 雷达工作原理	1
1.2 跟踪雷达与单脉冲技术发展	2
1.3 单脉冲雷达“原型”	6
1.4 单脉冲技术的优点与缺点	12
1.5 单脉冲技术的其他用途	13
参考文献	14
第 2 章 术语、定义和符号	16
2.1 单脉冲技术	17
2.2 口径和照度函数	18
2.3 方向图、波瓣和波束	19
2.4 和差方向图	21
2.5 和信号与差信号的符号	22
2.6 误差信号	23
2.7 复信号表示和复包络	23
2.8 俯仰、方位和横向	27
参考文献	33

第 3 章 单脉冲的复比输出	34
3.1 一般原理	34
3.2 和差信号的相对相位	36
3.3 一些有用的关系和公式	36
参考文献	38
第 4 章 单脉冲元器件	40
4.1 天线底座	40
4.2 天线	42
4.2.1 透镜天线	43
4.2.2 单反射器天线	44
4.2.3 卡塞格伦 (双反射器) 天线	45
4.2.4 极化旋转反射系统	46
4.2.5 馈源	48
4.3 产生和差的器件	51
4.3.1 混合接头	52
4.3.2 定向耦合器	54
4.3.3 比较器	56
4.3.4 获得单脉冲和 (或者参考) 与差的其他方法	58
4.3.5 图解符号	59
4.4 接收机	62
参考文献	63
第 5 章 比幅与比相测角方法的分类	65
5.1 定义和例子	65
5.1.1 定义	65
5.1.2 说明	66
5.1.3 最优单脉冲	67
5.1.4 比幅单脉冲天线的例子	71
5.1.5 比相单脉冲天线的例子	73
5.2 相位波前、相位中心和相关概念	75
5.2.1 发射天线	76
5.2.2 接收天线	78

5.2.3	目标	78
5.2.4	例子: 两阵元辐射源相位波前	79
5.2.5	大距离的简化	80
5.2.6	阵列天线的相位中心	82
5.2.7	反射天线的相位中心	85
5.3	比相单脉冲和比幅单脉冲的区别	85
5.3.1	反射天线举例	85
5.4	基于照度函数相对相位的辨别	89
5.5	基于和差方向图的辨别	90
5.6	一类到另一类的清晰变换	91
5.7	比幅和比相分类总结	93
	参考文献	94

第 6 章 空间馈电比幅单脉冲天线的最优馈源 96

6.1	最优化本质	96
6.2	f/D 比率	98
6.3	四喇叭馈源中斜视角的影响	98
6.4	斜视角的优化	101
6.5	与实测天线方向图的比较	103
6.6	信标跟踪优化	105
6.7	波束斜视角和馈源偏置角的比较	106
6.8	归一化差方向图斜视角的影响	106
6.9	其他馈源构造	107
6.10	馈源优化总结	111
	参考文献	112

第 7 章 阵列天线中的单脉冲 115

7.1	工作原理	115
7.2	阵列坐标系	117
7.3	空间馈电阵列	118
7.4	强迫馈电阵列	121
7.4.1	分解成象限或子阵的强迫馈电阵列	121
7.4.2	独立照度的强制馈电阵列	123

7.4.3 相控阵的有效照射锥度	125
7.5 按照比幅或比相的分类	127
7.6 阵列的特殊类型	129
参考文献	130

第 8 章 单脉冲处理器 131

8.1 单脉冲处理器的功能和属性	131
8.2 距离选通	134
8.3 单脉冲校准的角坐标	134
8.4 精确单脉冲处理器	135
8.5 利用 s 和 d 的相位与线性幅度的处理器	137
8.6 使用 I 和 Q 的处理器	139
8.7 利用 s 和 d 的相位与对数幅度的处理器	140
8.8 使用带 AGC 的点积检测器的处理器	141
8.9 一种近似的点积检测器	143
8.10 利用 $ v_1 $ 与 $ v_2 $ 和差的非相参处理器	147
8.11 利用 $s + d$ 与 $s - d$ 的处理器	150
8.12 利用对数 $ v_1 $ 与 $ v_2 $ 的处理器	151
8.13 利用 $s \pm jd$ 的处理器	154
8.14 利用 $s + d$ 与 $s - d$ 的双通道单脉冲	158
8.15 相位 - 幅度单脉冲	160
8.16 多路单脉冲接收机	161
8.17 圆锥脉冲	163
8.18 单脉冲处理器总结	165
参考文献	166

第 9 章 不可分辨目标响应 169

9.1 回顾点目标的单脉冲响应	171
9.2 不可分辨的概念	172
9.3 叠加近似	172
9.4 双目标问题	174
9.5 复指示角	176
9.6 物理解释	179

9.7	虚部 (正交相位) 分量的测量	180
9.8	本振频率的影响	182
9.9	不可分辨目标的存在性检测	182
9.10	指示角的均值和方差	183
9.11	指示角的加权平均值	185
9.12	确定不可分辨目标角度的可能性	186
9.13	由实部导出的信息	191
9.14	去除初始假设	192
9.15	单脉冲技术扩展和基本限制	193
9.16	闭环跟踪	194
9.17	多于两个目标	195
9.18	非独立目标	197
	参考文献	197
第 10 章	单脉冲测角误差	200
10.1	噪声导致的误差	201
10.1.1	分析模型	202
10.1.2	噪声统计	202
10.1.3	电压到功率的转换	203
10.1.4	d/s 误差到角误差的转换	204
10.1.5	单脉冲比率的偏差	205
10.1.6	d/s 概率密度函数的精确解	207
10.1.7	$S/N \gg 1$ 的一阶近似	208
10.1.8	$S/N > 1$ 时的高阶逼近	211
10.1.9	多脉冲估计	213
10.1.10	起伏目标	214
10.1.11	“不精确”单脉冲处理器	218
10.1.12	闭环与开环操作	218
10.2	杂波引起的误差	218
10.2.1	波束内的杂波分布引起的随机误差	218
10.2.2	独立杂波的样本数量	220
10.2.3	波束中特定角度下杂波带来的随机误差	221
10.2.4	杂波引起的偏移误差	222

10.3 动态延迟误差	222
10.3.1 跟踪环路误差系数	222
10.3.2 过交叉点问题	224
10.4 由雷达决定的误差	225
10.4.1 单脉冲网络对视轴的影响	225
10.4.2 随雷达频率的视轴漂移	228
10.4.3 偏振效应	230
10.5 由目标决定的噪声误差	232
10.5.1 角闪烁误差	232
10.5.2 起伏误差	234
参考文献	237

第 11 章 多径 239

11.1 平面地球镜面反射模型	240
11.2 对检测的影响	243
11.3 闭环仰角跟踪的影响	244
11.4 多径的补偿措施	247
11.5 波束方向图设计	248
11.6 距离和多普勒的分辨率	248
11.7 平滑和平均	251
11.8 Low-E 模式	252
11.9 偏 - 零跟踪	254
11.10 具有对称比率的俯仰方向图	255
11.11 双零跟踪器	258
11.12 复指示角的利用	259
11.13 独立目标方法	265
11.14 漫多径对单脉冲的影响	266
11.14.1 镜面和漫多径反射的能量	267
11.14.2 仰角下的多径分布	268
11.14.3 闭环跟踪的多径误差	269
11.14.4 距离或多普勒分辨率和平滑的作用	270
11.14.5 Low-E 模式	271
11.14.6 偏零跟踪	272
11.14.7 对称比率方向图下的漫多径	272

11.14.8 漫多径下的复指示角	273
11.14.9 漫多径对独立目标方法的影响	274
11.14.10 多径消减方法的总结	275
参考文献	276

第 12 章 单脉冲干扰与抗干扰 280

12.1 距离和多普勒压制与欺骗	281
12.1.1 距离和多普勒压制	281
12.1.2 距离和多普勒欺骗	282
12.1.3 箔条欺骗	283
12.2 通用单脉冲 ECM	283
12.2.1 编队干扰	284
12.2.2 对抗编队干扰的 ECCM	285
12.2.3 交叉眼干扰	285
12.2.4 镜面反射干扰	288
12.2.5 收发分置干扰	289
12.3 利用雷达缺陷	290
12.3.1 交叉极化干扰	291
12.3.2 利用相位和增益的不一致性	293
12.3.3 利用 AGC 响应	294
12.3.4 利用镜频响应	295
12.3.5 双频干扰	296
12.3.6 转接频率干扰	296
参考文献	296

第 13 章 单脉冲在跟踪雷达中的应用 298

13.1 地基单脉冲跟踪雷达	298
13.1.1 AN/FPS-49 和 TRADEX 雷达	298
13.1.2 “爱国者” AN/MPQ-53 多功能雷达	300
13.1.3 俄罗斯地空导弹 (萨姆) 制导雷达	301
13.1.4 “宙斯盾” AN/SPY-1 雷达	302
13.2 机载单脉冲雷达	304
13.2.1 多模战机雷达	304
13.2.2 电扫战机雷达	305

13.3 单脉冲寻的导引头	306
13.3.1 半主动寻的	306
13.3.2 主动寻的	308
参考文献	309
第 14 章 单脉冲在非跟踪雷达中的应用	310
14.1 单脉冲 3D 监视雷达	310
14.1.1 扫描波束 3D 雷达: AN/TPS-59 和 AN/FPS-117. . .	310
14.1.2 叠层波束 3D 雷达: Martello S-723	313
14.2 单脉冲二次监视雷达	314
14.3 其他雷达的应用	315
14.3.1 地形规避雷达	315
14.3.2 飞机低空进场雷达	316
14.3.3 目标识别	316
14.3.4 移位相位中心天线的应用	317
参考文献	318
第 15 章 专题	319
15.1 跟角度成比例的和差方向图	319
15.1.1 一般属性	319
15.1.2 应用和实现	320
15.1.3 方程式的推导	320
15.1.4 方向图特性和照度函数	321
15.1.5 不确定点的方向图计算	323
15.1.6 具有恒定单脉冲斜率的其他方向图对	324
15.1.7 扩展至电控阵列	326
15.2 对角差信号	327
15.3 角度和正弦空间的单位	330
15.4 与 RHODES 术语和分类的比较	331
参考文献	334
符号表	335
关于作者	343