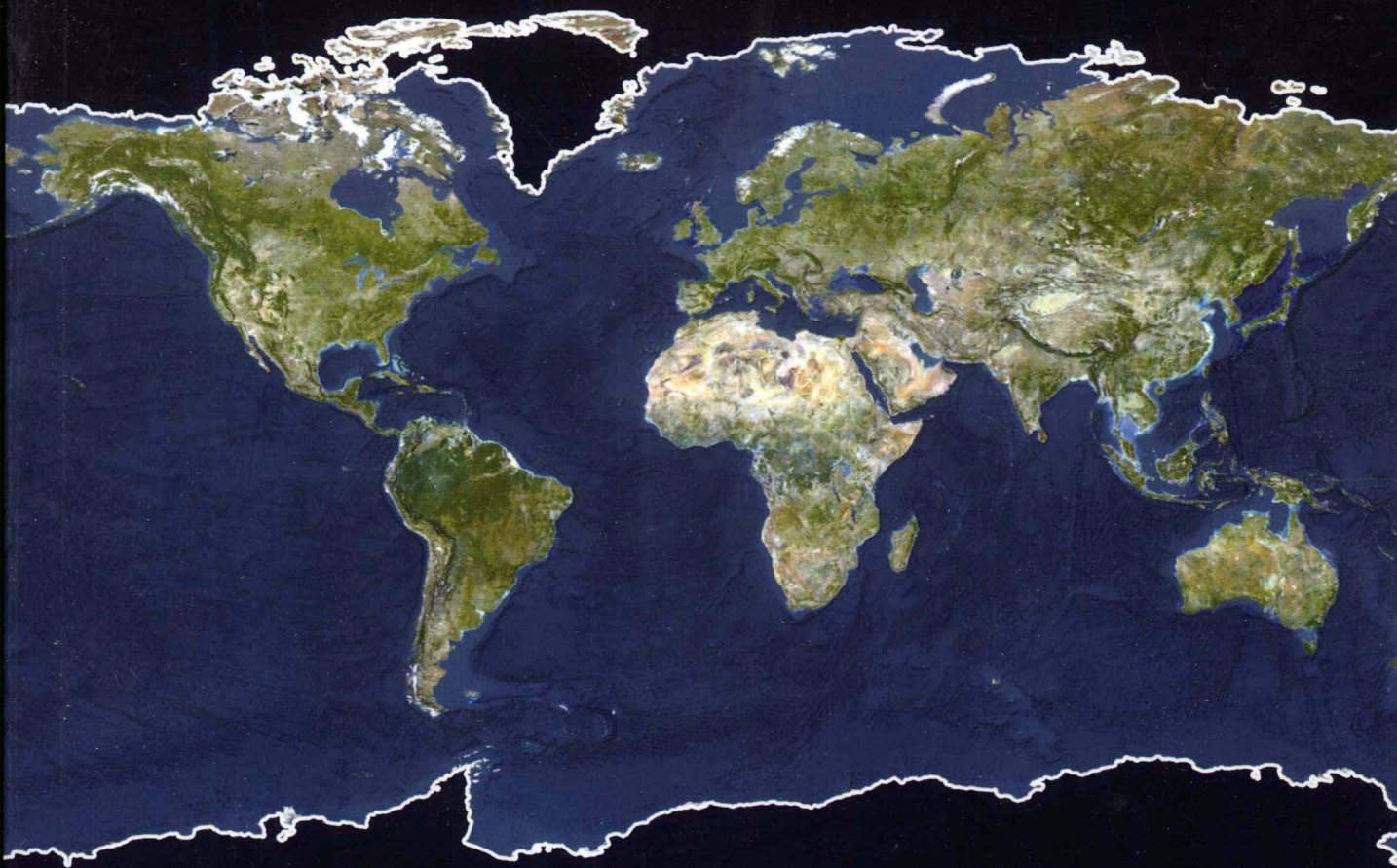




双(多)基地雷达系统

Fundamentals of Multisite Radar Systems: Multistatic Radars and Multiradar Systems

[俄] Victor S. Chernyak 著

吴鸣亚 胡明春 等译

RADAR

空间射频信息获取新技术丛书

原创

遥感目标特征提取和识别
合成孔径雷达新技术
端射天线
天基监视雷达新技术
空间信息获取相控阵雷达技术
雷达信号处理新技术
雷达数据处理新技术
雷达微波新技术
空间目标探测雷达技术
空间导弹目标的捕获和处理

引进

天线理论——分析与设计（第三版）
现代通信电子战（第二版）
双（多）基地雷达系统
合成孔径雷达成像
合成孔径雷达图像处理
机载与星载雷达系统导论
极化雷达成像基础与应用
探地雷达理论与应用
天基雷达理论与应用



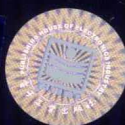
策划编辑：马 岚

责任编辑：周宏敏

封面设计：一克米工作室

本书贴有激光防伪标志，凡没有防伪标志者，属盗版图书。

CRC Press
Taylor & Francis Group



ISBN 978-7-121-13326-8



定价：69.00元

空间射频信息获取新技术丛书

双(多)基地雷达系统

Fundamentals of Multisite Radar Systems
Multistatic Radars and Multiradar Systems

[俄] Victor S. Chernyak 著

周万幸 吴鸣亚 胡明春 等译

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书介绍了双(多)基地雷达系统的性能原理、优点和缺点及最重要特性的基本概念,给出了用高斯信号模拟噪声和干扰信号的情况下进行信号检测、参数估值统计方法,指出在多目标环境下,如何一体化设计检测和测量、数据关联、目标定位和跟踪问题,同时也详细介绍了双(多)基地雷达的电扫多通道天线、数字处理器和精密同步系统的技术分析和设计,是一本了解多目标环境中提高测量精度、增强抗不同类型干扰的有益参考书。

本书可作为高等院校电子工程等相关专业的高年级学生和研究生教材与参考书,同时也是相关领域科研人员的宝贵参考资料。

Title & Author: Fundamentals of Multisite Radar Systems: Multistatic Radars and Multiradar Systems & Victor S. Chernyak
ISBN: 9789056991654

Copyright © 1998 by Taylor & Francis Group, LLC Authorized translation from the English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC., All rights reserved.

本书英文版由 Taylor & Francis Group 出版集团旗下的 CRC 出版社出版,并经其授权翻译出版,版权所有,侵权必究。

Publishing House of Electronics Industry is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

本书中文简体版专有出版权由 Taylor & Francis Group, LLC 授予电子工业出版社,并限在中国大陆出版发行。专有出版权受法律保护。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal.

本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2010-4331

图书在版编目(CIP)数据

双(多)基地雷达系统/(俄)切尔尼亚克(Chernyak, V. S.)著;周万幸等译.

北京:电子工业出版社,2011.6

(空间射频信息获取新技术丛书)

书名原文: Fundamentals of Multisite Radar Systems: Multistatic Radars and Multiradar Systems

ISBN 978-7-121-13326-8

I. ①双… II. ①切… ②周… III. ①双基地雷达—雷达系统—高等学校—教材 ②多基地雷达—雷达系统—高等学校—教材 IV. ①TN959 ②TN953

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 067047 号

策划编辑: 马 岚

责任编辑: 周宏敏

印 刷: 北京市顺义兴华印刷厂

装 订: 三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 23.5 字数: 602 千字

印 次: 2011 年 6 月第 1 次印刷

定 价: 69.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

《双(多)基地雷达系统》翻译委员会

周万幸	吴鸣亚	胡明春	倪嘉骊	罗 敏
谢勇光	金 林	邢文革	杨正龙	周志鹏
李 明	贾中璐	程 钧	史国庆	吴 迺
尹德成	王宏哲	杨晓兵	林 晶	蔡晓睿
倪迎红	陈 荣	邓大松	朱宝明	邵余红
张 蕾	陈文英	张春雁	董士嘉	方能航

译者序

随着军用雷达面临的威胁不断增加,最近几十年,雷达工程取得了巨大进步,如作用距离和覆盖范围不断增加,测量精度大大提高,抗干扰能力不断增强,目标分类和识别能力逐步提升等。尽管雷达系统取得了巨大成就,但传统单基地雷达已不能满足现代战争的高要求,这对雷达系统的设计和构建提出了新的挑战。

双(多)基地雷达系统是解决该问题的一条可行途径,它利用两(多)个空间分开的测量站和对接收的目标信息进行融合处理,能够产生相对于单基地雷达的得益,包括功率上的优势、目标位置估值的高精度、分辨力的提高、抗干扰和杂波能力的改善、“信号信息”体的增强、生存能力和可靠性的提高等。相对于单基地雷达,双(多)基地雷达在改善探测性能的同时,也面临不少挑战,如空间分开的测量站的集中控制、对信号和数据处理器及计算机系统的要求增加、更高的复杂性和成本等。为此,迫切需要与双(多)基地雷达系统有关的资料和书籍以支撑该体制雷达的研究和生产,这对我国的国防和经济建设都有重要意义。

关于双(多)基地雷达的书籍早有出版,然而,专门研究双(多)基地雷达系统基本原理的中外文文献却为数不多。Victor S.Chernyak 是俄罗斯科学院院士,在双(多)基地雷达研究上造诣颇深,本书的原书是他所编著的一本双(多)基地雷达系统领域的俄文原版综合性专著,是其 20 年雷达研发设计经验的结晶。该书内容涵括目标探测、坐标/轨迹参数评估、最优/次优探测器、外部干扰等。同时,该书还介绍了雷达系统在实际应用中面临的许多问题,提供的大多数算法可以直接用于工程实践,且很多结论可以立即应用于不同类型传感器构成的信息系统,对从事双(多)基地雷达系统的科研、技术人员具有较大的参考价值。

为使我国的技术人员能够利用该书中的资料,促进我国双(多)基地雷达技术的发展,我所组织翻译了该书的英文版修订本,并请国内雷达专家对内容和文字做了审校,以确保译文的正确性和完美性。经过数月的辛苦工作,该书终于完成并即将出版。在此,谨向各位同志的辛勤劳动表示衷心的感谢。但由于水平有限,加之时间仓促,译文中难免有差错和不足之处,恳请读者批评指正。

中国电子科技集团公司第十四研究所所长

前言

最近几十年来雷达基本特性的快速增长推动了雷达工程的进步。这些增长体现在作用距离和覆盖范围(同时降低了目标雷达的“能见度”)、测量精度大大提高、多目标环境中的处理能力、抗不同类型的干扰等。还体现在用于目标鉴别和识别的“信号信息”。而对辐射源(例如干扰机)的坐标估计和跟踪就要求无源定位技术的发展。

尽管雷达分机技术(天线、发射机、接收机和处理器)获得了给人印象深刻的成就,但许多现代的高要求已不能用传统雷达满足,这就对雷达系统设计和构建提出了新的需求。

一种有希望的办法是从具有单个发射站和单个接收站(通常共处一地)的个别雷达转到双(多)基地雷达系统(MSRS)。这种系统包括几个空间上分开的发射站和接收站(或单基地雷达),联合起来进行协同目标观察。

MSRS 的基本思想是更有效地利用电磁场中包含的空间特性信息。众所周知,受照射目标散射的电磁场传播过整个空间(除了一些屏蔽的区域外)。单基地雷达从对应的接收天线口径接收单个小的场区信息,而 MSRS 则是从几个空间上分离的散射(或由小源辐射的)场区收集信息的。这就可以改进信息收集、防止干扰,并具有一些其他重要特性。

MSRS 的发展和现代工程的发展趋势是一致的:将个别技术手段集成进系统,这样由于系统分机之间的合作性能和相互作用而增强了基本特性。

最近几年,人们一直在积极地对 MSRS 进行研究。已经发表了许多技术文章、会议和专题讨论会的报告,这些文献发展了 MSRS 的理论并给出了一些设计和实验结果。

在分析雷达的未来时,许多作者认为双(多)基地雷达和多雷达(组网)系统^[68]会是今后几年现代雷达发展的主要领域之一,这样的见解不仅是对雷达信息的愈来愈增加的要求为基础的,而且还是以使 MSRS 可实现的有关工程领域的重大进步为基础的。对 MSRS 最重要的是具有电扫的多通道天线、高速数字处理器和计算机、大容量的传输线和精密同步系统方面的进展。

目前已经出版了几本该领域的书,研究了重要的空间-时间处理问题,这些问题在一定程度上与 MSRS 有关[18, 23, 24, 42, 52, 72, 191, 192]。在参考文献[1, 46]特别是在参考文献[173, 174, 208, 244, 257]中发表了一些有价值的 MSRS 信息。然而,没有一本书专门研究双(多)基地雷达系统的基本原理[包括双(多)基地雷达和多部雷达,组网雷达系统],以及有源和无源的 MSRS。

本书试图填补这个空白,以统一的方法对 MSRS 的理论基础给出系统性说明。作者是在前苏联和俄罗斯在这个领域内工作有 20 年以上经验的基础上写出本书的。作者力求使本书能被多领域内的专家看懂并对他们的实际活动有用,所以,很多的注意力放在所得结果的物理意义上,主要的算法和性能分析以可以直接使用的形式给出。

本书是这样安排的:读者首先获得对 MSRS 的性能原理、优点和缺点及最重要的特性的一般概念。第一部分为这个目的服务,特别是第 1 章在“初等”水平上给出,不涉及复杂的方程。

这种对 MSRS 的一般设备和特色的初步熟悉允许读者(特别是工程师读者)确定他对 MSRS 的态度并更加慎重地研究第二部分和第三部分推导的 MSRS 信号检测和参数估值统计理论。

正如单基地雷达那样, MSRS 的最终目标是测量目标坐标和航迹或弹道(对于运动目标)。因此, 信号检测和参数估值应该看成一个一体的统计问题(见参考文献[126, 127])。对于单基地雷达, 多目标环境引起数据关联问题, 即在不同时间间隔得到的目标和测量之间的关联。此外, 在 MSRS 中还必须将空间分开的站得到的数据进行关联, 即确定一个特定的站的测量来自于哪个目标(如果有目标的话, 是站间数据关联)。因此, 对于多目标环境中的 MSRS, 这将被认为是一个一体的统计问题——“检测和测量-数据关联-目标定位和跟踪”。

然而, 单基地雷达方面的经验表明, 分开的信号检测和参数估值最佳化并不会导致显著的损失。众所周知, 最佳和接近最佳的信号检测器和估值器都有共同部分和可用的类似设备和算法实现。因此大多数雷达理论教科书和手册中(例如, 参考文献[47, 48, 72])简单地考虑检测和估值问题; 从方法上到实用上都是有理由的。这对于数据关联问题亦成立。根据这一点, 对于 MSRS 的目标检测理论在第二部分考虑, 而目标位置估值和跟踪理论则在第三部分考虑。MSRS 的数据关联的原理也在第三部分讨论。

本书从头至尾都以“经典”统计研究方法进行信号检测、参数估值, 并用高斯形式进行噪声和干扰的滤波。根据作者的经验, 这种方法适用于大多数实际雷达工程问题。

本书的有限篇幅不允许我们考虑某些重要和实际的 MSRS 问题, 包括无线电成像(例如参考文献[62, 63, 114~116])、对于空间分布目标的几何特性和运动参数的测量、在有限资源条件下 MSRS 性能控制的最佳化及各种其他问题。MSRS 实现的特殊问题和 MSRS 设计与性能的例子在参考文献[67]中进行了介绍。

目 录

第一部分 一般特性, 目标的雷达截面积, MSRS 覆盖范围

第 1 章 一般特性	2
1.1 定义和分类	2
1.2 MSRS 的主要优点	7
1.3 MSRS 的主要缺点	16
1.4 简要的历史概述	18
第 2 章 目标的雷达截面积(RCS)	25
2.1 目标的双基地 RCS	25
2.2 前向散射的目标双基地 RCS	32
2.3 箔条云的双基地 RCS	36
第 3 章 最大作用距离和覆盖范围	49
3.1 双基地雷达的最大作用距离和覆盖范围	49
3.2 有源 MSRS 的最大作用距离和覆盖范围	54
3.3 噪声干扰条件下的最大作用距离和覆盖范围	59
3.4 无源 MSRS 的最大作用距离和覆盖范围	62

第二部分 MSRS 的目标检测

第 4 章 信号和干扰模型的最优化准则	70
4.1 MSRS 信号检测的独特性能信号和干扰模型公式	70
4.2 MSRS 散射信号起伏的空间-时间相关函数	74
4.3 MSRS 中信号最优检测的准则初步的关系式	83
第 5 章 空间不相关干扰背景下有源 MSRS 的目标最优检测	88
5.1 确定信号的检测	88
5.2 单一发射站照射目标, 起伏信号的最优检测算法	93
5.3 一个目标被几个发射站照射时, 起伏信号的最优检测算法	101
5.4 起伏信号最优检波器的性能分析, 相干求和算法	105
5.5 起伏信号最优检测器的性能分析, 非相干求和算法	108
5.6 由目标位置未知引起的额外能量损失, “分辨成本”	119
第 6 章 空间非相干干扰背景下分散目标检测	123
6.1 分散目标检测的最优化	123

6.2	分散检测算法的性能分析	132
6.3	由忽略目标位置引起的分散检测的额外功率损失分散检测的“分辨成本” ...	139
第 7 章	空间非相关干扰背景下无源 MSRS 随机信号的检测	145
7.1	已知相关矩阵随机信号的检测	145
7.2	相关矩阵含有随机参数随机信号的检测	150
7.3	随机信号的次最优检测器	159
7.4	随机信号的分散次最优检测器	163
第 8 章	外部空间类似噪声相关干扰背景中有源 MSRS 的目标检测	168
8.1	确定性信号最优检测器的综合	168
8.2	确定性信号最优检测器的性能分析和外部干扰对消	172
8.3	起伏信号检测器	177
8.4	起伏信号检测算法的性能分析空时处理的效率	185
8.5	起伏信号检测算法的性能分析——总效率	190
第 9 章	有源 MSRS 类噪声外部干扰自适应对消及类噪声外部干扰背景中无源 MSRS 的目标检测	200
9.1	利用正交滤波系统的自适应对消	200
9.2	借助少量非正交滤波器进行外部干扰自适应对消	203
9.3	有已知相关矩阵的随机信号检测	210
9.4	具有随机参数相关矩阵的随机信号检测	214
第 10 章	利用 MSRS 进行杂波中目标的检测	223
10.1	杂波背景中空域处理的效率	223
10.2	稀疏天线阵对杂波空域处理的效率	229
10.3	来自运动目标的信号和 MSRS 杂波的 PSD	233
10.4	杂波中运动目标的检测	242
10.5	恒虚警率(CFAR)检测	248

第三部分 MSRS 目标坐标测定和跟踪

第 11 章	由点迹估计目标的位置和速度使用信号时域参数测量的坐标确定	258
11.1	目标位置和速度测量方法：一步和二步算法	258
11.2	利用信号时间参数实现有源和无源 MSRS 一步最优坐标测量	262
11.3	有源 MSRS 中用于二步目标位置估计的最优信号 TOA 测量对消空间相干干扰后的信号放大	269
11.4	用无源双(多)基地雷达的信号 TDOA 测量进行二步辐射源定位	272
第 12 章	包含杂散参数信号的时间参数测量可达的最高精度	279
12.1	信息参数最大似然估计的最高可达精度	279

12.2	有源 MSRS 信号 TOA 最高可达精度估计	283
12.3	无源 MSRS 信号 TDOA 最高可达精度估计	287
第 13 章	用于目标速度矢量估计的起伏信号多普勒频率测量	292
13.1	点目标最优多普勒频率测量算法和最高可达精度	292
13.2	已知空时信号相关性的最优多普勒频率测量算法	297
13.3	空时目标回波相关性未知时最优多普勒频率测量算法	302
13.4	多普勒频率估计最高可达精度	304
13.5	多普勒频率估计算法的精度	307
第 14 章	用二步算法的最终目标坐标测定	316
14.1	坐标最终测定的形成	316
14.2	一步和二步估计算法最高可达精度的比较	322
14.3	二步算法应用到目标坐标估计中的例子	325
第 15 章	MSRS 目标跟踪站间点迹和轨迹相关性原理	335
15.1	MSRS 目标跟踪原理及目标运动模型	335
15.2	通过局部坐标估计融合进行跟踪	337
15.3	局部航迹融合	342
15.4	站间测量和航迹相关原理	346
缩写词表		354
参考文献		355

第一部分

一般特性，目标的雷达截面积，

MSRS 覆盖范围

第 1 章 一般特性

第 2 章 目标的雷达截面积 (RCS)

第 3 章 最大作用距离和覆盖范围

第1章 一般特性

1.1 定义和分类

双(多)基地雷达系统(MSRS)已开发了许多年。然而,没有一般为人们接受的 MSRS 的定义,在有些著作中^[42, 102]MSRS 在“窄义”上考虑: MSRS 定义为一部单一的雷达,通常有一个发射站和几个空间上分开的接收站。这样的 MSRS 通常称为“双(多)基地雷达”^[86, 92, 102],许多文章考虑空间分开的雷达的任意系统,对系统中有关观察的物体(目标)的所有接收信息进行融合和联合处理。这样的系统通常称为“多雷达(或组网雷达)系统”(例如,参考文献[77, 85, 103])。

我们引进“广义”的 MSRS 定义,它包括双(多)基地雷达和多雷达(组网雷达)系统。我们将 MSRS 定义为:包括几个空间上分开的发射、接收和(或)发射-接收设备的一个雷达系统,每个目标的来自所有传感器的信息在那里进行融合和联合处理。因此,MSRS 具有两个主要的突出特性:几个空间分开的测量站和接收的目标信息的融合(联合处理)。正是这两个独特的特性的组合,产生了 MSRS 的主要益处。

从上面的定义可推断,空间上分开的单个发射站和单个接收站的所谓“双基地雷达”(例如,参考文献[171, 178, 190, 192])不属于 MSRS。MSRS 雷达系统至少包括两个接收站和一个发射站(此发射站可以和一个接收站在一起)或至少有两个发射站和一个接收站(此接收站亦可和一个发射站在一起)。然而,双基地雷达可以考虑为利用它们的性质和特性的一类 MSRS 的分机(“单元”),进行辐射源(例如,干扰机)观察的 MSRS 至少包含两个接收站。

已经存在许多不同类型的 MSRS,它们在目的、包括测量站的数目和种类及主要特性上有所区别,从讨论 MSRS 的定义中非常清楚,不存在一般接受的 MSRS 分类。参考文献[1, 23, 24]中不考虑对 MSRS 的性能特性有很大影响的许多重要性质。

很难合理地构建一张 MSRS 分类的统一的“树状图”。显然,通过参考文献[65, 67]提取几个基本特征进行分类比较好(见图1.1)。

1. 根据感兴趣目标的类型,MSRS 可以分成3类:有源、无源和有源-无源 MSRS。非辐射目标采用至少包括一个发射站的有源 MSRS “对付”。目标信息从反射信号(回波)提取。辐射的目标(辐射源,如干扰机)由仅有接收站组成的无源 MSRS “对付”。目标信息从接收的辐射提取。有源-无源 MSRS 既“对付”非辐射目标也对付辐射目标(分别在有源或无源模型中)。例如,如果一部干扰机能隐蔽其自己的回波和从其他非辐射目标来的回波,那么这种 MSRS 可以估计干扰机的坐标和轨迹参数(这是有源和无源模式的“互补原理”。有源-无源 MSRS 必须至少包括一个发射站。

确定 MSRS 能力的两个最重要的特性是空间相干程度和信息集成(融合)级别。这两个特性是有联系的。MSRS 的空间相干指的是在分开的站内的信号射频相位之间保持很强的关系和由此可利用包含在那些相位关系中的有用信息的能力。我们应该区分 MSRS 的空间

相干和 MSRS 接收站输入端的信号的空间相干(见 4.1 节)。后者取决于站间的基线长度、信号强度和目标尺寸(见 4.2 节)以及传播介质特性的起伏。MSRS 的空间相干实际上表示其设备的相位稳定性。MSRS 的空间相干和接收站的输入信号的空间相干可以考虑为两种独立的特性。

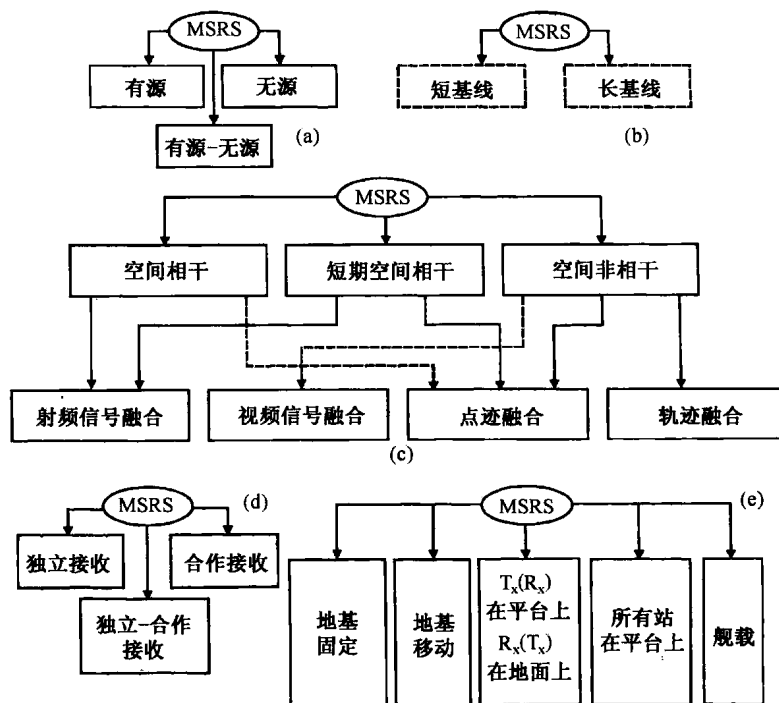


图 1.1 MSRS 分类。分类特性：(a) 对付的目标类型——辐射或非辐射目标；(b) 站间基线长度；(c) 空间相干程度和信息融合级别；(d) 信号接收自主程度；(e) 站的位置和可移动性

2. 根据空间相干程度，所有 MSRS 可以归入 3 类。空间相干 MSRS 设备内信号和干扰的相移是已知的，且在比所用的信号持续期大得多的时间间隔(通常在几小时甚至几天)内维持。如果一部 MSRS 设计成工作在某一时间间隔内，设备相位稳定度在那些间隔内将维持。借助某些参考信号(例如，射电器^[104]或点反射器^[115])，设备相移可以周期性地测量(例如，在工作时间间隔之间的间隙内)。这些测量的结果可以用于相位调整或简单地在信号处理中考虑。因此，空间相干的 MSRS 不仅要求精确的时间同步和频率控制，还要求相位控制(相位同步)。空间相干 MSRS 可以看做空间稀疏分布的相控天线阵列。原则上，这样的 MSRS 可以最充分地利用包含在电磁场空间结构内的信息。然而，为了得到空间鉴别图——SDP(天线方向图(ADP)的三维类似)的可接受的形式，要求有许多基地(几十个或更多^[95, 104, 114])。由于这个原因和站间定相的困难，空间相干 MSRS 是最复杂和最贵的。非常清楚，如果分开的各基地输入端上预期的回波是非相干的，建造和部署这样的 MSRS 是无用的。因此，空间相干有源 MSRS 站之间的基线长度通常短到足以确保散射信号的空间相干。基线长度愈短，实际上 MSRS 愈简单，但缩短基线会导致 MSRS 的信息损失，这就减小了 MSRS 空间相干的优点。

在具有短期空间相干的 MSRS 中，设备相位稳定性在短的时间间隔但不小于采用的信

号时宽内保持。通常这些时间间隔不超过一秒的几分之一,慢的不受控制的相移是允许的。可以假设,在信号接收和处理的每一个时间间隔的开始处,站间相移是随机的和相互独立的,所以它们不包含有用信息,在具有短期空间相干的 MSRS 中的联合信号处理可以利用信号复包络内的和,当然是从不同站来的点迹和轨迹中的所有信息。例如,这允许采用信号持续期间的站间相移变化,通过差分多普勒方法进行切向速度估值。然而,不可能像干涉仪那样通过相位的定向方法取得目标方向。丢掉分开的测量站的输入端上可能包含射频的信号初始相位关系的信息使这样的 MSRS 中站间相位控制不需要。具有时间同步和频率控制可能是必需的。具有短期空间相干的 MSRS 可以仅由少数几个测量站组成。SDP 由复包络关系确定(特别是由 DTOA——到达时间差确定),因此和空间相关 MSRS(那里 SDP 由相位关系形成)不同是不模糊的。具有短期空间相干的 MSRS 的所有这些特性,和空间相干 MSRS 相比,大大降低了复杂性和成本。确实,分辨力和精度特性不再取决于载频,而是取决于频带宽度。然而,在许多情况下,由于有可能加长基线,这些损失可以进行补偿。

在不利用站间相位及其随时间变化的空间非相干 MSRS 中,所有那种信息都被丢掉,例如,在信号或数据融合之前,在包络检波器中被丢掉。这样的 MSRS 可以采用仅包含在信号实包络关系中和从分开的测量站得到的点迹和轨迹中的信息。由于这一点,通常对分开的测量站仅需进行时间同步^①。

和具有短期空间相干的 MSRS 相比,当然,更是和空间相干 MSRS 相比,空间非相干 MSRS 要简单得多。然而,丢掉相位信息会导致某些功率损失,特别是信息丢失。尤其是(由分开的测量站接收的,见第 8 章)主瓣干扰的联合相干处理中主瓣干扰对消就不可能了。在空间分开的测量站中,直接测量信号的差分多普勒频移来进行目标和干扰机的切向速度估值也不可能了。应该指出,MSRS 的空间非相干性并不排除在信息融合之前每个测量站的时间相干的可能性。例如,如果空间非相干 MSRS 由几部雷达组成,就可能在每一部雷达中测量多普勒频移且随后测出目标径向速度。

3. 按照信息集成(融合)级别,MSRS 可以分为 4 类。在每一类中可以采用模拟和数字数据传输线(DTL)。当采用射频信号集成级时,从空间分开的测量站来的所有信号、噪声和干扰都经受联合处理。这些混合物通过 DTL 传送可从诸测量站的输入端立刻传送去融合或在每个测量站内先进行初步线性滤波之后再传送去融合。通常,要求宽带 DTL(具有大的处理容量)。如果采用视频信号集成级,所有信号、噪声和干扰亦受联合处理,但在每个测量站消除相位之后,和射频信号融合相比,视频信号融合并不大大地减小要求的 DTL 容量,但会导致一定的能力损失,特别是信息损失。这些损失同样是丢掉甚至是短期的空间相干性的结果。这就是为什么视频信号融合很少采用的原因。

当采用点迹集成级时,要求的 DTL 处理容量就大大降低^②。“初级”的信息处理在每个测量站内全部实现,包括检测信号的门限比较和参数估值。在“初步”处理之后只有认为“有用的”信息才通过 DTL 传送去融合。同时,在这种情况下获得 MSRS 的部分处理和控制分散化。特别是每个站可以进行有关目标存在还是不存在的初步判断。而最终判断在融合

① 为在每一部接收机中进行相干信号处理(即采用接收信号的多普勒频移的信号处理),用所谓合作信号接收的 MSRS 中站间频率控制是必须的。

② 当不考虑前面的测量结果而估计“瞬时”目标状态时,一个点迹(一次接触、一份报告)是个别的目标检测和参数测量或者目标坐标及其系数的测量结果。

中心(FC)作为将来自所有测量站的初步判断合并后的结果做出。这就是所谓的分散(或分布式)检测(见第6章和10.5节)。

当采用轨迹(或弹道)集成级时,不仅“初级”的而且“第二级”的信息处理也在最终得到目标轨迹形成的每一站中完成。从空间分开的测量站来的轨迹参数估计被融合。“假”的轨迹进一步被去除,而“真”的轨迹参数在融合过程中进行更精确的估计。共同的轨迹通过从局部轨迹来的信息合并而建立。DTL 处理容量要求和点迹融合要求的为同一量级,也得到了信息处理和控制的分散化。

一般来说,所用的信息集成级别越高(即在融合之前每个测量站中信息丢失越少),MSRS 的能力越大且信息性能越好,但系统更加复杂,且要求更高的 DTL 处理容量,正如上文所述,MSRS 的空间相干程度和信息集成级别是相互联系的,这些联系示于图 1.1。在空间相干 MSRS 中,通常采用射频信号融合,在某些情况下可应用点迹融合(利用保持的相位信息)。在短期空间相干的 MSRS 中,可以采用相同的信息集成级别。在非相干 MSRS 视频信号融合中,点迹融合或轨迹融合是可能的。通常采用点迹融合或轨迹融合。实际的 MSRS 可以是混合型的,在那里信息可以在几个不同的级别上融合。例如,如果不存在外部干扰,点迹融合就可以用于 MSRS。在有人为干扰情况下,在同样的 MSRS 中可以采用射频信号融合。这允许借助站间人为干扰相干处理,通过双曲线无源定位方法,确定干扰机位置和轨迹。

4. MSRS 的一个更重要的属性可以称为信号接收的自主程度。如果一部 MSRS 由几个单基地或双基地雷达组成,则每部雷达可以设计成仅接收由同一部雷达的发射机(专用的发射机)照射的目标来的散射信号。这是具有独立(自主)信号接收的 MSRS。独立的信号接收通常用于在点迹或轨迹级别上的具有信息融合的空间非相干 MSRS 中。这样的 MSRS 通常算做组网雷达或雷达网。不同的雷达可以工作在不同的频率范围内。

具有合作信号接收的 MSRS 演示了相当好的功能和信息特性,其中每一部雷达或接收设备可以接收和处理从 MSRS 的任何雷达或发射设备照射的目标来的回波。一种特殊情况是具有一个发射(或发射-接收)站和几个接收站的 MSRS。具有合作信号接收的 MSRS 的空间相干对具有合适的信息集成级别的 MSRS 来说可以是任意的。

具有独立-合作信号接收的 MSRS 包含利用它们自己的雷达发射的接收站,也可利用 MSRS 其他雷达发射的接收站。

5. 按照测量过程的测量站位置和机动性,可以考虑 5 种类别。具有固定站的地面 MSRS 并不仅由有源固定 MSRS 组成,而且还有分机可以从一个位置转移到另一个位置的 MSRS。重要的是,测量站的位置仅在工作(测量)过程中不改变。有时这样的 MSRS 称为“具有固定基线”的系统。必须指出(见图 1.1),具有在空中或空间平台上的发射设备(T_x)和地面接收设备(R_x)的 MSRS 归入具有在空中或空间平台上接收和地面发射的 MSRS 同一类中。舰载 MSRS 可以安置在一条舰艇或几条舰艇上。

非常清楚,地面、机载、星载或舰载 MSRS 不仅在结构上有区别,而且在技术特性、能力和所受限制上也并不相同。显然,具有固定基线的地面 MSRS 比其他的更早提出、研究和建造。然而最近几年,更多的注意力已放在具有移动基线的不同 MSRS 上,这是和精密无线电导航技术及系统、数据传输和远处装备的精确同步的显著成果有联系的。

在所描述的分类中,我们并未将 MSRS 按照基线长度(站间距离)分成不同的类别,虽

然在一些著作中^[1, 24], 基线长度被认为是 MSRS 的主要区别特征之一。当然, 基线长度强烈地影响 MSRS 的特性。然而, 和上面讨论的不同, 基线长度是一个连续值, 确立明显的边界使经过它们的过渡导致 MSRS 的特征和特性的急剧变化是困难的。必须指出, 发射站和接收站之间的基线长度(它们在参考文献[1]中用做 MSRS 分类的最重要的属性之一), 以及接收站之间的基线长度对 MSRS 技术特性有不同的影响。一些重要的特性, 诸如测量精度, 不取决于基线长度本身, 而取决于所谓的有效基线长度。有效基线长度是在垂直于从一个目标到感兴趣的测量站的方向之间的角度的角平分线的平面上基线投影的长度。除此之外, 基线长度对 MSRS 特性的影响取决于包括的分机和信号接收的自主性程度。例如, 如果一部 MSRS 包含一个发射站和几个接收站, 技术特性(检测特性、覆盖范围)的一部分主要取决于发射站和接收站之间的基线长度, 而其他部分(测量精度、分辨力)则由诸接收站之间的有效基线长度确定。按照基线距离而定的其他 MSRS 分类则以信号起伏的站间相关为基础^[24]。在许多情况下, 这太不方便。众所周知(见 4.2 节), 相关不仅取决于 MSRS 的基线长度(或有效基线长度), 而且取决于目标尺寸、信号波长和离 MSRS 的目标的距离。从远距离上的目标来的信号可以是空间相干的, 而幅度起伏可以在分开的测量站的输入端上是完全相关的。但是随着目标接近 MSRS, 信号可以变成不相干的, 而幅度起伏变成完全不相干。所以, 起伏相关的程度不能认为是 MSRS 本身的一种特性。除此之外, 如果一个目标被处在不同频段上的几部不同雷达照射, 或(和)如果一个运动目标在不同的时间瞬间上照射, 那么这个准则就不适用于由具有独立信号接收的几部雷达组成的 MSRS。在这些情况下, 空间分开的测量站的输入端上的信号起伏, 不管基线长度如何, 可以是不相关的。这个准则不包括无源 MSRS 或有源-无源 MSRS 的无源模式的重要情况。

因此, 由于建立定量准则和严格定义分类之间的边界的困难, 利用上面讨论的特性作为主要分类属性之一是不合理的。但是, 有时在实际工作中将 MSRS 粗略地分成两类是方便的: 具有“短”基线距离的和具有“长”基线距离的。第一类包括有效长度比在覆盖范围之内的主要部分比预期的目标距离小得多的 MSRS。与此相反, 如果有效长度和预期的目标距离(在覆盖范围内的主要部分内)成同一量级或大于此距离, 这样的 MSRS 可以认为是具有长基线距离的 MSRS。它关系到非辐射目标和辐射目标。具有短基线距离的 MSRS 的“硬件”和“软件”比较简单, 且通常不很贵。信号参数和目标坐标之间的几何关系以及大多数处理算法比较简单, 然而, 具有长基线距离的 MSRS 可以得到目标坐标和轨迹参数估值的较高精度。

由于上面讨论的理由, 在主要分类属性表中没有包括基线距离。所以, 按照这个特性将 MSRS 分成的两类的虚线示于图 1.1。

我们介绍的分类仅仅涉及 MSRS 的一些主要区别特征, 作为分类方法来说是很常规的。同时, 它允许对许多不同的 MSRS 有一个系统的图像, 且允许考虑和研究整个 MSRS 类的特征和特性。

在这一节中已经介绍了双(多)基地雷达系统(MSRS)的很广泛的定义, 它包括双(多)基地雷达和多雷达(组网雷达)系统。我们提出了一种 MSRS 的分类方案, 方案中考虑了确定它们最重要的特征和性能特征的主要属性。这种分类允许考虑整个 MSRS 类型而不是个别考虑每一种 MSRS, 这在本书中将被采用。