国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十二五”国家重点出版规划项目

雷达与探测前沿技术丛书

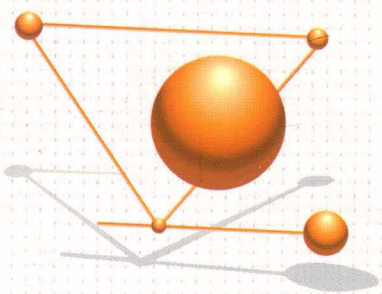
王小谟 左群声 主编

多传感器分布式信号检测理论与方法

Theory and Methods of Distributed Signal Detection with Multiple Sensors

刘向阳 许稼 彭应宁 著

- 剖析制约分布式检测系统性能的瓶颈
- 聚焦实际多传感器环境下的解决方案
- 构筑分布式信号检测理论与应用桥梁
- 系统反映分布式信号检测的最新进展



国防工业出版社
National Defense Industry Press

需要全本请访问 www.ertongbook.com

国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十二五”国家重点出版规划项目
雷达与探测前沿技术丛书

多传感器分布式信号检测理论与方法

Theory and Methods of Distributed Signal Detection with Multiple Sensors

刘向阳　许稼　彭应宁　著

中国科学技术大学 图书馆藏

国防工业出版社
·北京·

内容简介

多传感器分布式信号检测是多源信息融合理论研究和应用的重要组成部分。本书围绕基于雷达与无线传感器网络的分布式信号检测问题展开研究和讨论，内容侧重于介绍分布式检测的新理论、新进展和新方向。全书共11章，其中：第1～3章和第10章主要介绍分布式信号检测理论和应用的历史和现状、分布式最优检测理论、分布式CFAR检测、局部最优分布式信号检测、稳健分布式信号检测以及分布式序贯信号检测和分布式最快速检测等内容；第4～9章主要包括在非参数分布式信号检测、基于无线传感器网络的分布式信号检测、各个传感器信噪比未知且可能时变时的分布式信号检测，以及分布式孔径MIMO雷达检测等检测方法方面的研究成果，同时，介绍了基于探测和通信功率分配的分布式信号检测系统优化设计的研究，以及常规雷达网中应用分布式信号检测理论的方法；第11章是全书的总结。

本书可作为雷达、通信、导航等专业研究生和高年级本科生的参考书，也可供相关行业工程技术人员阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

多传感器分布式信号检测理论与方法 / 刘向阳，许稼，彭应宁著. —北京：国防工业出版社，2017.12
（雷达与探测前沿技术丛书）
ISBN 978-7-118-11377-8

Ⅰ. ①多… Ⅱ. ①刘… ②许… ③彭… Ⅲ. ①雷达信号处理-信号检测 Ⅳ. ①TN957.51

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第259677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）
天津嘉恒印务有限公司印刷
新华书店经售
*
开本 710×1000　1/16　**印张** 20　**字数** 368千字
2017年12月第1版第1次印刷　**印数** 1—3000册　**定价** 95.00元

（本书如有印装错误，我社负责调换）

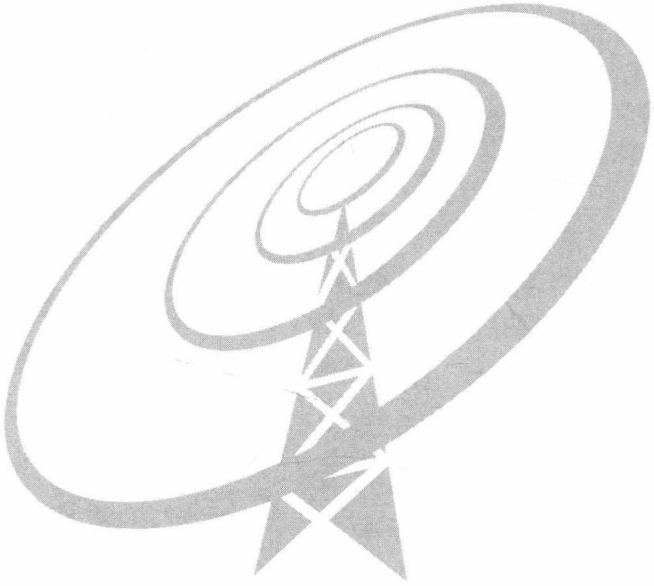
国防书店：(010)88540777　　发行邮购：(010)88540776
发行传真：(010)88540755　　发行业务：(010)88540717

“雷达与探测前沿技术丛书”
编审委员会

主　　任	左群声				
常务副主任	王小谟				
副 主 任	吴曼青	陆　军	包养浩	赵伯桥	许西安
顾　　问	贲　德	郝　跃	何　友	黄培康	毛二可
（按姓氏拼音排序）	王　越	吴一戎	张光义	张履谦	
委　　员	安　红	曹　晨	陈新亮	代大海	丁建江
（按姓氏拼音排序）	高梅国	高昭昭	葛建军	何子述	洪　一
	胡卫东	江　涛	焦李成	金　林	李　明
	李清亮	李相如	廖桂生	林幼权	刘　华
	刘宏伟	刘泉华	柳晓明	龙　腾	龙伟军
	鲁耀兵	马　林	马林潘	马鹏阁	皮亦鸣
	史　林	孙　俊	万　群	王　伟	王京涛
	王盛利	王文钦	王晓光	卫　军	位寅生
	吴洪江	吴晓芳	邢海鹰	徐忠新	许　稼
	许荣庆	许小剑	杨建宇	尹志盈	郁　涛
	张晓玲	张玉石	张召悦	张中升	赵正平
	郑　恒	周成义	周树道	周智敏	朱秀芹

编辑委员会

主　　编	王小谟	左群声			
副 主 编	刘　劲	王京涛	王晓光		
委　　员	崔　云	冯　晨	牛旭东	田秀岩	熊思华
（按姓氏拼音排序）	张冬晔				



需要全本请访问 www.ertongbook.com

总　序

雷达在第二次世界大战中初露头角。战后，美国麻省理工学院辐射实验室集合各方面的专家，总结战争期间的经验，于1950年前后出版了一套雷达丛书，共28个分册，对雷达技术做了全面总结，几乎成为当时雷达设计者的必备读物。我国的雷达研制也从那时开始，经过几十年的发展，到21世纪初，我国雷达技术在很多方面已进入国际先进行列。为总结这一时期的经验，中国电子科技集团公司曾经组织老一代专家撰著了“雷达技术丛书”，全面总结他们的工作经验，给雷达领域的工程技术人员留下了宝贵的知识财富。

电子技术的迅猛发展，促使雷达在内涵、技术和形态上快速更新，应用不断扩展。为了探索雷达领域前沿技术，我们又组织编写了本套“雷达与探测前沿技术丛书”。与以往雷达相关丛书显著不同的是，本套丛书并不完全是作者成熟的经验总结，大部分是专家根据国内外技术发展，对雷达前沿技术的探索性研究。内容主要依托雷达与探测一线专业技术人员的最新研究成果、发明专利、学术论文等，对现代雷达与探测技术的国内外进展、相关理论、工程应用等进行了广泛深入研究和总结，展示近十年来我国在雷达前沿技术方面的研制成果。本套丛书的出版力求能促进从事雷达与探测相关领域研究的科研人员及相关产品的使用人员更好地进行学术探索和创新实践。

本套丛书保持了每一个分册的相对独立性和完整性，重点是对前沿技术的介绍，读者可选择感兴趣的分册阅读。丛书共41个分册，内容包括频率扩展、协同探测、新技术体制、合成孔径雷达、新雷达应用、目标与环境、数字技术、微电子技术八个方面。

（一）雷达频率迅速扩展是近年来表现出的明显趋势，新频段的开发、带宽的剧增使雷达的应用更加广泛。本套丛书遴选的频率扩展内容的著作共4个分册：

（1）《毫米波辐射无源探测技术》分册中没有讨论传统的毫米波雷达技术，而是着重介绍毫米波热辐射效应的无源成像技术。该书特别采用了平方千米阵的技术概念，这一概念在用干涉式阵列基线的测量结果来获得等效大

口径阵列效果的孔径综合技术方面具有重要的意义。

(2)《太赫兹雷达》分册是一本较全面介绍太赫兹雷达的著作,主要包括太赫兹雷达系统的基本组成和技术特点、太赫兹雷达目标检测以及微动目标检测技术,同时也讨论了太赫兹雷达成像处理。

(3)《机载远程红外预警雷达系统》分册考虑到红外成像和告警是红外探测的传统应用,但是能否作为全空域远距离的搜索监视雷达,尚有诸多争议。该书主要讨论用监视雷达的概念如何解决红外极窄波束、全空域、远距离和数据率的矛盾,并介绍组成红外监视雷达的工程问题。

(4)《多脉冲激光雷达》分册从实际工程应用角度出发,较详细地阐述了多脉冲激光测距及单光子测距两种体制下的系统组成、工作原理、测距方程、激光目标信号模型、回波信号处理技术及目标探测算法等关键技术,通过对两种远程激光目标探测体制的探讨,力争让读者对基于脉冲测距的激光雷达探测有直观的认识和理解。

(二) 传输带宽的急剧提高,赋予雷达协同探测新的使命。协同探测会导致雷达形态和应用发生巨大的变化,是当前雷达研究的热点。本套丛书遴选出协同探测内容的著作共10个分册:

(1)《雷达组网技术》分册从雷达组网使用的效能出发,重点讨论点迹融合、资源管控、预案设计、闭环控制、参数调整、建模仿真、试验评估等雷达组网新技术的工程化,是把多传感器统一为系统的开始。

(2)《多传感器分布式信号检测理论与方法》分册主要介绍检测级、位置级(点迹和航迹)、属性级、态势评估与威胁估计五个层次中的检测级融合技术,是雷达组网的基础。该书主要给出各类分布式信号检测的最优化理论和算法,介绍考虑到网络和通信质量时的联合分布式信号检测准则和方法,并研究多输入多输出雷达目标检测的若干优化问题。

(3)《分布孔径雷达》分册所描述的雷达实现了多个单元孔径的射频相参合成,获得等效于大孔径天线雷达的探测性能。该书在概述分布孔径雷达基本原理的基础上,分别从系统设计、波形设计与处理、合成参数估计与控制、稀疏孔径布阵与测角、时频相同步等方面做了较为系统和全面的论述。

(4)《MIMO雷达》分册所介绍的雷达相对于相控阵雷达,可以同时获得波形分集和空域分集,有更加灵活的信号形式,单元间距不受$\lambda/2$的限制,间距拉开后,可组成各类分布式雷达。该书比较系统地描述多输入多输出(MIMO)雷达。详细分析了波形设计、积累补偿、目标检测、参数估计等关键

技术。

(5)《MIMO 雷达参数估计技术》分册更加侧重讨论各类 MIMO 雷达的算法。从 MIMO 雷达的基本知识出发,介绍均匀线阵,非圆信号,快速估计,相干目标,分布式目标,基于高阶累计量的、基于张量的、基于阵列误差的、特殊阵列结构的 MIMO 雷达目标参数估计的算法。

(6)《机载分布式相参射频探测系统》分册介绍的是 MIMO 技术的一种工程应用。该书针对分布式孔径采用正交信号接收相参的体制,分析和描述系统处理架构及性能、运动目标回波信号建模技术,并更加深入地分析和描述实现分布式相参雷达杂波抑制、能量积累、布阵等关键技术的解决方法。

(7)《机会阵雷达》分册介绍的是分布式雷达体制在移动平台上的典型应用。机会阵雷达强调根据平台的外形,天线单元共形随遇而布。该书详尽地描述系统设计、天线波束形成方法和算法、传输同步与单元定位等关键技术,分析了美国海军提出的用于弹道导弹防御和反隐身的机会阵雷达的工程应用问题。

(8)《无源探测定位技术》分册探讨的技术是基于现代雷达对抗的需求应运而生,并在实战应用需求越来越大的背景下快速拓展。随着知识层面上认知能力的提升以及技术层面上带宽和传输能力的增加,无源侦察已从单一的测向技术逐步转向多维定位。该书通过充分利用时间、空间、频移、相移等多维度信息,寻求无源定位的解,对雷达向无源发展有着重要的参考价值。

(9)《多波束凝视雷达》分册介绍的是通过多波束技术提高雷达发射信号能量利用效率以及在空、时、频域中减小处理损失,提高雷达探测性能;同时,运用相位中心凝视方法改进杂波中目标检测概率。分册还涉及短基线雷达如何利用多阵面提高发射信号能量利用效率的方法;针对长基线,阐述了多站雷达发射信号可形成凝视探测网格,提高雷达发射信号能量的使用效率;而合成孔径雷达(SAR)系统应用多波束凝视可降低发射功率,缓解宽幅成像与高分辨之间的矛盾。

(10)《外辐射源雷达》分册重点讨论以电视和广播信号为辐射源的无源雷达。详细描述调频广播模拟电视和各种数字电视的信号,减弱直达波的对消和滤波的技术;同时介绍了利用 GPS(全球定位系统)卫星信号和 GSM/CDMA(两种手机制式)移动电话作为辐射源的探测方法。各种外辐射源雷达,要得到定位参数和形成所需的空域,必须多站协同。

（三） 以新技术为牵引，产生出新的雷达系统概念，这对雷达的发展具有里程碑的意义。本套丛书遴选了涉及新技术体制雷达内容的6个分册：

（1）《宽带雷达》分册介绍的雷达打破了经典雷达5MHz带宽的极限，同时雷达分辨力的提高带来了高识别率和低杂波的优点。该书详尽地讨论宽带信号的设计、产生和检测方法。特别是对极窄脉冲检测进行有益的探索，为雷达的进一步发展提供了良好的开端。

（2）《数字阵列雷达》分册介绍的雷达是用数字处理的方法来控制空间波束，并能形成同时多波束，比用移相器灵活多变，已得到了广泛应用。该书全面系统地描述数字阵列雷达的系统和各分系统的组成。对总体设计、波束校准和补偿、收/发模块、信号处理等关键技术都进行了详细描述，是一本工程性较强的著作。

（3）《雷达数字波束形成技术》分册更加深入地描述数字阵列雷达中的波束形成技术，给出数字波束形成的理论基础、方法和实现技术。对灵巧干扰抑制、非均匀杂波抑制、波束保形等进行了深入的讨论，是一本理论性较强的专著。

（4）《电磁矢量传感器阵列信号处理》分册讨论在同一空间位置具有三个磁场和三个电场分量的电磁矢量传感器，比传统只用一个分量的标量阵列处理能获得更多的信息，六分量可完备地表征电磁波的极化特性。该书从几何代数、张量等数学基础到阵列分析、综合、参数估计、波束形成、布阵和校正等问题进行详细讨论，为进一步应用奠定了基础。

（5）《认知雷达导论》分册介绍的雷达可根据环境、目标和任务的感知，选择最优化的参数和处理方法。它使得雷达数据处理及反馈从粗犷到精细，彰显了新体制雷达的智能化。

（6）《量子雷达》分册的作者团队搜集了大量的国外资料，经探索和研究，介绍从基本理论到传输、散射、检测、发射、接收的完整内容。量子雷达探测具有极高的灵敏度，更高的信息维度，在反隐身和抗干扰方面优势明显。经典和非经典的量子雷达，很可能走在各种量子技术应用的前列。

（四） 合成孔径雷达（SAR）技术发展较快，已有大量的著作。本套丛书遴选了有一定特点和前景的5个分册：

（1）《数字阵列合成孔径雷达》分册系统阐述数字阵列技术在SAR中的应用，由于数字阵列天线具有灵活性并能在空间产生同时多波束，雷达采集的同一组回波数据，可处理出不同模式的成像结果，比常规SAR具备更多的新能力。该书着重研究基于数字阵列SAR的高分辨力宽测绘带SAR成像、

极化层析SAR三维成像和前视SAR成像技术三种新能力。

(2)《双基合成孔径雷达》分册介绍的雷达配置灵活,具有隐蔽性好、抗干扰能力强、能够实现前视成像等优点,是SAR技术的热点之一。该书较为系统地描述了双基SAR理论方法、回波模型、成像算法、运动补偿、同步技术、试验验证等诸多方面,形成了实现技术和试验验证的研究成果。

(3)《三维合成孔径雷达》分册描述曲线合成孔径雷达、层析合成孔径雷达和线阵合成孔径雷达等三维成像技术。重点讨论各种三维成像处理算法,包括距离多普勒、变尺度、后向投影成像、线阵成像、自聚焦成像等算法。最后介绍三维MIMO-SAR系统。

(4)《雷达图像解译技术》分册介绍的技术是指从大量的SAR图像中提取与挖掘有用的目标信息,实现图像的自动解译。该书描述高分辨SAR和极化SAR的成像机理及相应的相干斑抑制、噪声抑制、地物分割与分类等技术,并介绍舰船、飞机等目标的SAR图像检测方法。

(5)《极化合成孔径雷达图像解译技术》分册对极化合成孔径雷达图像统计建模和参数估计方法及其在目标检测中的应用进行了深入研究。该书研究内容为统计建模和参数估计及其国防科技应用三大部分。

(五) 雷达的应用也在扩展和变化,不同的领域对雷达有不同的要求,本套丛书在雷达前沿应用方面遴选了6个分册:

(1)《天基预警雷达》分册介绍的雷达不同于星载SAR,它主要观测陆海空天中的各种运动目标,获取这些目标的位置信息和运动趋势,是难度更大、更为复杂的天基雷达。该书介绍天基预警雷达的星星、星空、MIMO、卫星编队等双/多基地体制。重点描述了轨道覆盖、杂波与目标特性、系统设计、天线设计、接收处理、信号处理技术。

(2)《战略预警雷达信号处理新技术》分册系统地阐述相关信号处理技术的理论和算法,并有仿真和试验数据验证。主要包括反导和飞机目标的分类识别、低截获波形、高速高机动和低速慢机动小目标检测、检测识别一体化、机动目标成像、反投影成像、分布式和多波段雷达的联合检测等新技术。

(3)《空间目标监视和测量雷达技术》分册论述雷达探测空间轨道目标的特色技术。首先涉及空间编目批量目标监视探测技术,包括空间目标监视相控阵雷达技术及空间目标监视伪码连续波雷达信号处理技术。其次涉及空间目标精密测量、增程信号处理和成像技术,包括空间目标雷达精密测量技术、中高轨目标雷达探测技术、空间目标雷达成像技术等。

(4)《平流层预警探测飞艇》分册讲述在海拔约20km的平流层,由于相对风速低、风向稳定,从而适合大型飞艇的长期驻空,定点飞行,并进行空中预警探测,可对半径500km区域内的地面目标进行长时间凝视观察。该书主要介绍预警飞艇的空间环境、总体设计、空气动力、飞行载荷、载荷强度、动力推进、能源与配电以及飞艇雷达等技术,特别介绍了几种飞艇结构载荷一体化的形式。

(5)《现代气象雷达》分册分析了非均匀大气对电磁波的折射、散射、吸收和衰减等气象雷达的基础,重点介绍了常规天气雷达、多普勒天气雷达、双偏振全相参多普勒天气雷达、高空气象探测雷达、风廓线雷达等现代气象雷达,同时还介绍了气象雷达新技术、相控阵天气雷达、双/多基地天气雷达、声波雷达、中频探测雷达、毫米波测云雷达、激光测风雷达。

(6)《空管监视技术》分册阐述了一次雷达、二次雷达、应答机编码分配、S模式、多雷达监视的原理。重点讨论广播式自动相关监视(ADS-B)数据链技术、飞机通信寻址报告系统(ACARS)、多点定位技术(MLAT)、先进场面监视设备(A-SMGCS)、空管多源协同监视技术、低空空域监视技术、空管技术。介绍空管监视技术的发展趋势和民航大国的前瞻性规划。

(六) 目标和环境特性,是雷达设计的基础。该方向的研究对雷达匹配目标和环境的智能设计有重要的参考价值。本套丛书对此专题遴选了4个分册:

(1)《雷达目标散射特性测量与处理新技术》分册全面介绍有关雷达散射截面积(RCS)测量的各个方面,包括RCS的基本概念、测试场地与雷达、低散射目标支架、目标RCS定标、背景提取与抵消、高分辨力RCS诊断成像与图像理解、极化测量与校准、RCS数据的处理等技术,对其他微波测量也具有参考价值。

(2)《雷达地海杂波测量与建模》分册首先介绍国内外地海面环境的分类和特征,给出地海杂波的基本理论,然后介绍测量、定标和建库的方法。该书用较大的篇幅,重点阐述地海杂波特性与建模。杂波是雷达的重要环境,随着地形、地貌、海况、风力等条件而不同。雷达的杂波抑制,正根据实时的变化,从粗犷走向精细的匹配,该书是现代雷达设计师的重要参考文献。

(3)《雷达目标识别理论》分册是一本理论性较强的专著。以特征、规律及知识的识别认知为指引,奠定该书的知识体系。首先介绍雷达目标识别的物理与数学基础,较为详细地阐述雷达目标特征提取与分类识别、知识辅助的雷达目标识别、基于压缩感知的目标识别等技术。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

(4)《雷达目标识别原理与实验技术》分册是一本工程性较强的专著。该书主要针对目标特征提取与分类识别的模式,从工程上阐述了目标识别的方法。重点讨论特征提取技术、空中目标识别技术、地面目标识别技术、舰船目标识别及弹道导弹识别技术。

(七) 数字技术的发展,使雷达的设计和评估更加方便,该技术涉及雷达系统设计和使用等。本套丛书遴选了3个分册:

(1)《雷达系统建模与仿真》分册所介绍的是现代雷达设计不可缺少的工具和方法。随着雷达的复杂度增加,用数字仿真的方法来检验设计的效果,可收到事半功倍的效果。该书首先介绍最基本的随机数的产生、统计实验、抽样技术等与雷达仿真有关的基本概念和方法,然后给出雷达目标与杂波模型、雷达系统仿真模型和仿真对系统的性能评价。

(2)《雷达标校技术》分册所介绍的内容是实现雷达精度指标的基础。该书重点介绍常规标校、微光电视角度标校、球载BD/GPS(BD为北斗导航简称)标校、射电星角度标校、基于民航机的雷达精度标校、卫星标校、三角交会标校、雷达自动化标校等技术。

(3)《雷达电子战系统建模与仿真》分册以工程实践为取材背景,介绍雷达电子战系统建模的主要方法、仿真模型设计、仿真系统设计和典型仿真应用实例。该书从雷达电子战系统数学建模和仿真系统设计的实用性出发,着重论述雷达电子战系统基于信号/数据流处理的细粒度建模仿真的核心思想和技术实现途径。

(八) 微电子的发展使得现代雷达的接收、发射和处理都发生了巨大的变化。本套丛书遴选出涉及微电子技术与雷达关联最紧密的3个分册:

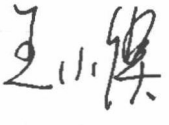
(1)《雷达信号处理芯片技术》分册主要讲述一款自主架构的数字信号处理(DSP)器件,详细介绍该款雷达信号处理器的架构、存储器、寄存器、指令系统、I/O资源以及相应的开发工具、硬件设计,给雷达设计师使用该处理器提供有益的参考。

(2)《雷达收发组件芯片技术》分册以雷达收发组件用芯片套片的形式,系统介绍发射芯片、接收芯片、幅相控制芯片、波速控制驱动器芯片、电源管理芯片的设计和测试技术及与之相关的平台技术、实验技术和应用技术。

(3)《宽禁带半导体高频及微波功率器件与电路》分册的背景是,宽禁带材料可使微波毫米波功率器件的功率密度比Si和GaAs等同类产品高10倍,可产生开关频率更高、关断电压更高的新一代电力电子器件,将对雷达产生更新换代的影响。分册首先介绍第三代半导体的应用和基本知识,然后详

细介绍两大类各种器件的原理、类别特征、进展和应用：SiC 器件有功率二极管、MOSFET、JFET、BJT、IBJT、GTO 等；GaN 器件有 HEMT、MMIC、E 模 HEMT、N 极化 HEMT、功率开关器件与微功率变换等。最后展望固态太赫兹、金刚石等新兴材料器件。

本套丛书是国内众多相关研究领域的大专院校、科研院所专家集体智慧的结晶。具体参与单位包括中国电子科技集团公司、中国航天科工集团公司、中国电子科学研究院、南京电子技术研究所、华东电子工程研究所、北京无线电测量研究所、电子科技大学、西安电子科技大学、国防科技大学、北京理工大学、北京航空航天大学、哈尔滨工业大学、西北工业大学等近 30 家。在此对参与编写及审校工作的各单位专家和领导的大力支持表示衷心感谢。



2017 年 9 月

序

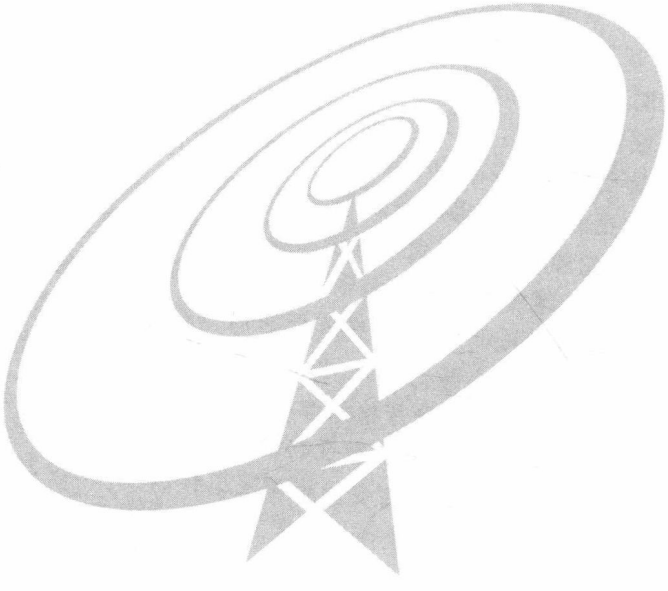
自20世纪80年代初R. R. Tenney和N. R. Sandell提出分布式信号检测的概念以来，分布式信号检测一直受到国内外众多研究者的关注，国际上也涌现出许多研究分布式信号检测的优秀科研团队。究其原因，作为多传感器信息融合领域中一个非常重要和活跃的研究方向，分布式信号检测能够最大程度地保留各传感器信号的原始信息，从根本上为提高传感器系统的检测能力提供保障。同时，由于融合了多传感器的原始回波信息，分布式信号检测能够获取比单个传感器更低的检测虚警，能检测到单个传感器所不能检测到的目标。这是其他层级的信息融合难以具备的。但是，国内外在时空配准、稳健融合、系统验证等方面也面临远较其他层级信息融合困难得多的挑战。

鉴于分布式信号检测巨大的应用潜力和技术挑战，自从20世纪90年代以来，国内多家单位竞相开展分布式信号检测理论和算法的研究工作，推动了分布式信号检测研究的持续深入。清华大学电子工程系彭应宁教授很早就开展了分布式信号检测方面的相关研究工作，拥有很深的学术造诣。彭教授和我联合指导的博士研究生关键教授的博士论文，在2001年荣获全国百篇优秀博士论文，论文研究方向就是关于分布式信号检测的基础理论和方法。刘向阳副教授是彭教授的博士研究生，2004年开始在彭教授的指导下开展分布式信号检测理论和方法研究。2007年博士毕业后回到西安通信学院工作，2015年和2016年在美国雪城大学做访问学者。其博士毕业至今的研究工作，一直围绕分布式信号检测理论和方法展开，研究成果颇丰。他在稳健的分布式信号检测算法设计、基于无线传感器网络的分布式信号检测方法、基于探测和通信功率分配优化的分布式检测系统设计等方面均做出了有意义的工作。许稼教授曾是彭应宁教授团队的重要成员，他从分布式信号检测角度研究MIMO雷达信号检测问题，获得了有意义的成果。

本书作为彭应宁教授课题组在分布式信号检测理论和应用研究工作的一个阶段性总结，较为系统地反映了该领域的研究进展和未来发展方向。因此，郑重推荐本书出版，并相信本书的出版对于推动我国分布式信号检测方面理论研究和工程化应用将起到很好的推动作用。

何友

2017年10月



前　言

信息技术已广泛渗透到现代社会生活的各个方面，而信息技术的核心则是信息的获取、传输和处理。传感器作为信息获取的源头，逐步成为人类认识世界和改造世界的有力工具。当前，在军用和民用的许多应用中，单传感器在时空覆盖、探测性能、可靠性和安全性等诸多方面已不能满足实际需求，需要多传感器成体系化、分布式、网络化的应用才能奏效。相对于单传感器，多传感器系统可带来许多显而易见的性能改善。例如，在部分传感器受干扰不能正常利用时，具有不同时、空、频分布的其他传感器仍可能有效发挥作用，从而提高了系统的生存能力和可靠性。同时，当部分传感器性能受限，难以探测某些特殊区域或目标时，其他同类或异类传感器仍可能提供有效的探测信息，从而有效扩展了系统的时、空覆盖范围。因此，综合并提高多传感器信息利用程度的多传感器信息融合作为一门新兴的热门学科应运而生。成功的信息融合必须解决“融什么”“如何融”和“怎么评”等核心问题，上述问题的探索和求解贯穿于多传感器信息融合研究的各个方面。

按照信息抽象的五个层次，信息融合可分为五级，即检测级融合、位置（点迹和航迹）级融合、属性（目标识别）级融合、态势评估与威胁估计。作为检测级的信息融合技术，多传感器分布式信号检测基于各传感器原始的观测信息进行信息融合，可最大限度地综合和利用各传感器探测信息，从而得到广泛重视。然而，人们对其在时空配准、融合准则、系统验证等各个环节也提出了更高要求，显著超越了已广泛研究的位置级和属性级的多传感器信息融合技术。为此，美国、俄罗斯和日本等均投入巨资展开深入研究。例如，美国的海军实验室（NRL）、空军实验室（AFRL）、雪城大学等对此开展了不懈的研究，提出分布式信号检测领域诸多原创性的理论和技术成果，P. K. Varshney 教授的著作 *Distributed Detection and Data Fusion* 就是这方面的典型著作。从20世纪90年代开始，我国也开展了对分布式信号检测的广泛研究。清华大学、北京理工大学、国防科学技术大学、西安电子科技大学、西北工业大学、西安交通大学、电子科技大学等一些高校和研究机构竞相展开研究。近年来，国家自然科学基金以及其他部委基金和项目也资助了许多分布式信号检测方面的研究课题。

由于传感器类型千差万别，传感器应用形式多样，不同领域均提出了既相互联系又富有特色的分布式信号检测理论和方法。本书作者围绕自身相对熟悉的

雷达和无线传感器网络的分布式目标检测问题展开讨论，内容侧重于介绍分布式检测的新发展。为此，本书对 P. K. Varshney 著作已有内容只简单介绍，不作为重点。此外，随着新体制雷达、无线传感器网络、人工智能、自动控制与决策等领域新理论、新方法的不断涌现，在多传感器分布式信号检测领域也出现了一些值得关注的新领域。首先，现代雷达中基于多发射波形的多输入－多输出(MIMO)雷达得到了普遍的关注和研究，每一个雷达接收机既可接收自身发射信号的回波，也可接收其他雷达发射信号的回波。因此，基于多波形的收发，雷达系统的自由度可得到极大提高。MIMO 雷达利用系统大自由度改善雷达整体的探测性能必然存在巨大的潜力。其次，多传感器分布式信号检测理论最初是以雷达、声纳等大型传感器为信息探测单元进行研究的，通常不考虑通信环节引入的误差或干扰。随着无线传感器网络的兴起，基于无线传感器网络的分布式信号检测理论和算法得到了广泛关注，通信和探测的一体化设计方法纷纷涌现。基于信道感知的分布式检测理论，必须提出探测和通信环节均受干扰条件下的多传感器检测算法。此外，人作为信息感知的单元时，具有智能化以及能够在传感器无法做出判断时做出更明智的判决。但是，人的判决结果的一致性与物理传感器相比具有天然劣势。为此，基于人和传感器的混合网络的分布式信号检测理论及方法也得到广泛关注，有了一些典型的研究成果。总之，多传感器分布式信号检测仍然是一个日新月异、不断发展的学科领域。

对于本书的出版，笔者是惶恐不安的，自忖能力学识有限，担心误导读者。但回顾我们在分布式信号检测方面的研究，确实有一些需要总结的地方。也希望我们的学习和研究工作能够对从事分布式信号检测研究的同行们有一些参考。在国家出版基金、国家自然科学基金、武器装备预研基金、西安通信学院专著建设计划等项目的支持下，笔者挑选了自己最熟悉的内容，撰写了本书。

全书共有 11 章，其中第 1～4 章由刘向阳副教授、彭应宁教授共同撰写，第 5～8 章由刘向阳副教授撰写，第 9 章由许稼教授撰写，第 10、11 章由刘向阳副教授、许稼教授共同撰写。全书由彭应宁教授审阅。尽管我们进行了反复修改，但是由于学识和能力所限，不妥之处在所难免，希望广大读者不吝赐教，我们深表感谢。

刘向阳　许稼　彭应宁

2017 年 5 月

需要全本请访问 www.ertongbook.com