



# 雷达数据处理及应用

## (第三版)

Radar Data Processing With Applications  
(Third Edition)

何友 修建娟 关欣 等著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

# 雷达数据处理及应用 (第三版)

Radar Data Processing With Applications  
(Third Edition)

## 作者简介



何友 1956年10月生，吉林磐石人，1982年毕业于海军工程大学指控系统专业，获学士学位，1988年在该校火力控制系统专业获硕士学位，1991年10月至1992年11月在德国不伦瑞克工业大学作访问学者，1997年在清华大学通信与信息系统专业获博士学位。现任海军航空工程学院院长、教授、博士生导师，清华大学、国防科大兼职教授，IET Fellow，中国航空学会、指挥与控制学会常务理事，中国电子学会会士，中国航空学会信息融合分会主任委员，中国电子学会无线电定位技术分会副主任委员、信息处理分会委员，中国造船学会电子技术委员会委员，国家“863”

专家，总装备部科技委兼职委员、雷达探测专业组成员，山东省学位委员会委员，《雷达科学与技术》、《舰船电子工程》、《火力与指挥控制》编委会副主任委员，《航空学报》、《信号处理》、《雷达学报》、《数据采集与处理》、《Chinese Journal of Aeronautics》等杂志编委。主要研究领域为信息融合及其在军事信息系统中的应用。发表论文被SCI、EI收录200余篇，出版专著6部。科研成果包括获国家科技进步二等奖3项，军队、省部级科技进步一等奖8项，二等奖5项，三等奖20项，授权发明专利14项。获国家级教学成果二等奖1项，省部级教学成果一等奖2项、二等奖1项。荣立二等功4次、三等功2次。1999年入选国家“百千万人才工程”第一、二层次，2000年获“全国优秀博士学位论文奖”和中国科协“求是杰出青年实用工程奖”，2001年被教育部授予“全国优秀教师”称号，享受国务院政府特殊津贴。2003年被授予“全国留学回国人员先进个人”荣誉称号，并获“全国留学回国人员成就奖”。2006年获中国人民解放军专业技术重大贡献奖。任“十七大”党代表和十二届全国政协委员。被评为山东省优秀研究生指导教师，带领的信息融合团队获军队科技创新群体奖，被评为山东省优秀创新团队并荣立省级集体一等功。



责任编辑：曲昕  
封面设计：张昱

ISBN 978-7-121-20127-1



9 787121 201271 >

定价：78.00 元

# 雷达数据处理及应用

(第三版)

Radar Data Processing With Applications

(Third Edition)

何友 修建娟 关欣 等著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书是关于雷达数据处理理论及应用的一部专著，是作者对国内外近 30 年来该领域研究进展和自身研究成果的总结。全书由 20 章组成，主要内容有：概述（包括研究目的、意义、数据处理器的设计要求和主要技术指标、研究历史和现状等），参数估计，线性滤波方法，非线性滤波方法，量测数据预处理技术，多目标跟踪中的航迹起始，极大似然类多目标数据互联方法，贝叶斯类多目标数据互联方法，机动目标跟踪，群目标跟踪，多目标跟踪终结理论与航迹管理，无源雷达数据处理，脉冲多普勒雷达数据处理，相控阵雷达数据处理，雷达网误差配准算法，雷达组网数据处理，雷达数据处理性能评估，雷达数据处理仿真技术，雷达数据处理的实际应用，以及关于雷达数据处理理论的回顾、建议与展望。

本书可供从事信息工程、C<sup>3</sup>I 系统、雷达工程、电子对抗、红外、声呐、军事指挥等专业的科技人员阅读和参考，还可作为上述专业的高年级本科生或研究生教材，同时也可供从事激光、机器人、遥感、遥测等领域的工程技术人员参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有，侵权必究。

### 图书在版编目（CIP）数据

雷达数据处理及应用/何友等著. —3 版. —北京：电子工业出版社，2013.3  
ISBN 978-7-121-20127-1

I. ①雷… II. ①何… III. ①雷达信号—数据处理 IV. ①TN957.52

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 067998 号

责任编辑：曲 昕

印 刷：北京中新伟业印刷有限公司

装 订：北京中新伟业印刷有限公司

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：31.75 字数：812 千字

印 次：2013 年 3 月第 1 次印刷

印 数：4 000 册 定价：78.00 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](mailto:zlts@phei.com.cn)，盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线：（010）88258888。

## Abstract

This book is a monograph about radar data processing and its applications, and it is the summary of international and domestic advances in the research field and fruits of authors' research in recent 30 years. This book is composed twenty chapters. The main contents are: radar data processing introduction(including motivation, significance, design and main performance index, history and current state), parameter estimator, linear filtering approach, nonlinear filtering approach, pretreatment technique of measurement, track initiation in multi-target tracking, multi-target data association approach based on maximum likelihood, multi-target data association approach based on bayesian, maneuvering target tracking, group tracking, multi-target tracking ending theory and track management, passive radar data processing, pulse doppler radar data processing, phased array radar data processing, registration algorithm for radar network, radar net data processing, performance evaluation of radar data processing, simulation technique of radar data processing, practical application of radar data processing, the last is the review suggestion and prospect about the radar data processing theory.

This book could be used by the scientific and technical staffs engaged in information engineering, C<sup>3</sup>I system, radar engineering, electronic countermeasures, infrared technique, sonar technique, military command etc. to read and consult, and can also serve as textbook of upperclassman and graduate students of the above professions. This book also can be referenced by engineering staffs engaged in laser, robot, remote sensing and measure.

## 第三版前言

雷达技术的发展进步和应用需求持续推动着雷达信号处理和数据处理技术的飞速发展，近年来随着新型雷达的不断出现，相关的硬件、算法和计算机性能等都取得了巨大进步，信号处理能力上了一个又一个新台阶，这就要求与之配套的雷达数据处理设备必须采用新的算法，能够在杂波环境下同时对多个目标进行处理，具有解决复杂环境下多目标数据互联、跟踪和多部雷达信息融合的能力。这些都使我们迫切感到需要结合雷达数据处理技术发展的新要求、新思路以及自己的最新研究成果对《雷达数据处理及应用（第二版）》的相关内容进行了修订，以适应时代发展的需要。

本书从最基本的线性和非线性滤波方法入手，全面、系统地向读者介绍了雷达数据处理技术的发展情况与最新研究成果；在增强其逻辑性和可读性的基础上，对主要内容进行了补充和调整。具体为：（1）针对雷达数据处理的工程实现问题，对雷达数据处理器的工程设计要求、主要技术指标和数据处理器的评估等问题进行了分析和讨论；（2）将静态参数估计和动态参数估计这两部分既有相关性又有区别的内容分成两章分别进行讨论；（3）针对时变参数估计部分，详细讨论了描述系统输入输出关系的状态转移模型和输出观测模型的建立过程，充实了与稳态卡尔曼滤波相关的内容，包括滤波器稳定的数学定义和判断方法、随机线性系统的可控制性和可观测性等，同时结合弹道导弹目标跟踪问题充实了非线性滤波方面的内容；（4）增加了量测数据预处理中与时间配准相关的内容，讨论了三种典型的内插或外推时间配准方法，同时还增加了雷达误差标校技术等内容；（5）充实了航迹起始和极大似然类、贝叶斯类数据互联部分的内容，增加了针对编队目标进行航迹起始的算法、在杂波环境下对目标进行跟踪的综合概率数据互联（IPDA）算法和相应的仿真分析；（6）针对机动目标跟踪部分，增加了基于修正输入估计的机动目标自适应跟踪算法，并在同一仿真环境下对该算法和其他几种比较典型的机动目标跟踪算法进行了分析比较，得出了相关结论；（7）充实了杂波环境下群内目标的精细航迹起始和编队群目标跟踪算法，增加了基于灰色理论的群目标精细航迹起始算法；（8）充实了航迹管理部分的内容，增加了航迹数据的存储和信息融合系统中的航迹文件管理等内容；（9）在无源雷达数据处理部分，增加了定位模糊椭圆最小准则下的无源传感器最优布站、测时差无源定位等内容，充实了机载ESM定位的内容；（10）将脉冲多普勒雷达数据处理和相控阵雷达数据处理部分的内容作为专题分两章进行了专门讨论，其中脉冲多普勒雷达数据处理一章在对原有内容进行调整、修改的基础上增加了无偏序贯不敏卡尔曼滤波算法、带Doppler测量的不敏卡尔曼滤波算法和机动目标不敏卡尔曼滤波算法，并分别在两种不同的仿真环境下对上述算法的跟踪性能进行了对比和分析，得出了相关结论；而相控阵雷达数据处理一章在原有内容的基础上增加了对相控阵雷达系统结构和工作过程的讨论，给出了相应的系统结构框图和相控阵雷达工作流程图，充实了多目标相关处理、变采样间隔滤波和资源调度策略部分的内容，增加了基于交互多模型的自适应采样、基于预测误差协方差门限的自适应采样和预先定义采样间隔的自适

应采样等内容,最后通过仿真对相控阵雷达跟踪算法的性能进行了讨论和总结;(11)将雷达网误差配准问题从原来的雷达组网数据处理中分离出来用一章的篇幅做了专门讨论,其中原有的雷达组网数据处理部分的内容进行了充实,增加了雷达组网优化布站、航迹关联等部分的内容,补充了一些工程和实际上存在的雷达组网系统;而新增的雷达网误差配准算法一章在对原有的系统误差配准相关内容进行充实的基础上,增加了对系统误差所造成影响的分析,特别是大的测距系统误差对航迹的影响,并把机动雷达误差配准算法专门作为一节进行了讨论,并分别针对机动雷达系统建模方法、目标位置已知的机动雷达配准算法、机动雷达最大似然配准(MLRM)算法、联合扩维误差配准(ASR)算法进行了研究,同时还对上述算法的性能进行了仿真分析;(12)对雷达数据处理性能评估部分进行了充实和补充,增加了雷达网数据处理性能评估部分的内容;(13)丰富了雷达数据处理应用部分的内容,在对原有内容进行充实并结合具体系统进行分析的基础上增加了与相控阵雷达系统应用有关的内容。同时,结合雷达数据处理技术日新月异的发展本书增加了必要的参考文献,并对第二版中一些文字叙述不确切之处进行了修正。

本书部分内容得到了国家自然科学基金重点项目“多传感器系统误差稳健估计与数据抗差关联基础理论研究(项目批准号:61032001)”和电子信息科技专著出版资金委员会的支持。

在撰写本书过程中,烟台海军航空工程学院电子信息工程系王海鹏博士和博士研究生崔亚奇、董凯、刘瑜等也参加了本书部分内容的编写和修改工作。

我们希望本书的出版,不仅给广大从事信息工程、模式识别、军事指挥等专业的科技人员提供一本可读性较好的参考书,也为他们的工作和后续学习打下一定的理论基础。

恳请广大读者能一如既往地关心本书,并提出宝贵的意见和建议。

何友

2013年3月

于烟台海军航空工程学院

## 第二版前言

雷达技术的发展进步和应用需求推动雷达数据处理技术不断向前发展，雷达数据处理技术和优化理论、信息论、检测与估计、计算机科学等都有着紧密的联系，是未来各种智能化系统的重要基础之一。近年来，雷达数据处理技术无论在处理算法还是系统设计、硬件结构、实时处理软件编程等方面都有了长足的发展和进步，其在雷达、声呐、导航、通信、遥感、电子对抗、自动控制、生物医学、地球物理、经济学、社会学中都有良好的应用前景，受到了广泛的重视。

《雷达数据处理及应用》自 2006 年 1 月出版以来，受到广大读者的关注和厚爱，作者在此表示衷心的感谢。由于雷达数据处理理论、算法和应用的不断发展，使我们迫切感觉到要对本书进行修订并补充新的内容，以适应时代发展的需要。

本书是在 2006 年由我们所编著《雷达数据处理及应用》的基础上加以修改和增订而成的，在力求具有较高科学性的前提下，从基本概念和基本滤波方法入手，全面、系统地向读者介绍了雷达数据处理技术的发展情况与最新研究成果；在增强其逻辑性和可读性的基础上，对主要内容进行了补充和调整，增加了“群目标跟踪”和“雷达数据处理性能评估”两章，同时还对第一版中原有的各章节内容进行了不同程度的修改，加强了在同一仿真环境下对不同算法的仿真比较，以增强说服力。具体为：（1）综合近几年雷达数据处理技术的发展，对雷达数据处理的研究现状给予了更全面的阐述；将雷达数据处理中所包含的相关概念和主要内容之间的关系给予了更深刻的分析；（2）充实了雷达数据处理所需的基础理论，对时常参数估计部分的内容进行了完善，并在同一仿真环境下对线性和非线性滤波算法、高斯和非高斯噪声情况下的非线性滤波方法进行了比较分析；（3）充实了雷达数据处理中有关多目标跟踪部分的内容，增加了简化联合概率数据互联算法，同时压缩了一些重复的内容，如删减了修正的当前统计模型部分内容；增加了群目标跟踪一章，并在分析群的分割、群的互联和群速度估算三方面问题的基础上，从群的起始算法入手，围绕群的航迹更新、群的合并、群的分裂等多个方面研究了中心群目标跟踪算法和编队群目标跟踪算法；（4）补充了无源雷达数据处理一章的内容，增加了属性信息数据互联、机载 ESM 定位等内容，并将原来第 3 章的基于修正极坐标的无源跟踪调整到该部分；（5）对雷达组网数据处理技术一章进行了补充，增加了双基地雷达数据压缩可行性分析等内容；（6）增加了雷达数据处理性能评估一章，并从平均航迹起始时间、航迹累积中断次数、航迹模糊度、航迹累积交换次数、航迹精度、跟踪机动目标能力、虚假航迹比例、发散度、有效度等几个方面研究了雷达数据处理性能评估指标，同时分析了 Monte Carlo 方法、解析法、半实物仿真评估法、试验法等雷达数据处理性能评估方法；（7）进一步充实了雷达数据处理应用部分的内容，增加了带 Doppler 测量的雷达目标跟踪等内容。此外，根据近年来国内外最新的研究成果，本书增加了必要的参考文献并对第一版中一些文字叙述不确切之处进行了修正。

在撰写本书过程中，烟台海军航空工程学院电子信息工程系王国宏教授与作者进行



了一些有益的讨论，提出了一些宝贵的修改意见；宋强博士生、王海鹏博士生、王本才博士生、张政超硕士生、刘小华硕士生等参加了本书部分内容的修改和校对工作，作者在此一并向他们表示谢意。作者还要感谢电子工业出版社，特别是王春宁编辑对本书按期高质量出版的大力支持。

我们希望本书的出版，不仅给广大从事信息工程、模式识别、军事指挥等专业的科技人员提供一本可读性较好的参考书，也为他们的工作和后续学习打下一定的理论基础。

恳请广大读者能一如既往地关心本书，并提出宝贵的意见和建议。联系人：宋强；E-mail: [songqiang8@sina.com](mailto:songqiang8@sina.com)；联系地址：山东烟台海军航空工程学院信息融合技术研究所（264001）。

何友

2009年7月

于烟台海军航空工程学院

# 第一版前言

雷达数据处理器和雷达信号处理器是现代雷达系统中的两大重要组成部分，雷达接收到的信号先要在信号处理器中进行处理，达到抑制杂波、干扰信号和检测目标信号的目的；然后还要在数据处理器中进行处理，达到最大限度地提取目标坐标信息，以便对控制区域内目标的运动轨迹进行估计，并给出它们在下一时刻的位置推移，实现对目标高精度实时跟踪的目的。近年来，随着硬件、算法和计算机性能等方面的巨大进步，信号处理能力上了一个又一个台阶。这就使量测数据可被用于同时跟踪大量复杂目标，而且这些目标的机动性、目标平台的多样性、密集性和低可观测性也在不断加强，平台间对抗措施的先进性还在不断提高，从而也刺激了雷达数据处理的发展。本书是作者在多年来对雷达数据处理技术研究的基础上总结而成的，较全面、系统地向读者介绍了雷达数据处理技术的发展情况与最新研究成果，以期为国内同行提供一个进一步从事这一领域理论研究和实际应用的基础。

全书共分 15 章，第 1 章介绍了雷达数据处理的研究目的、意义、应用领域、历史和现状，以便使读者对雷达数据处理技术有一个全面的、基本的了解。第 2 章介绍状态估计与线性滤波方法，目的是为读者提供本书以后各章需要的理论基础。第 3 章研究非线性滤波方法。第 4 章讨论量测数据预处理技术，有效的量测数据预处理方法可以降低雷达数据处理的计算量和提高目标的跟踪精度。第 5 章研究了多目标跟踪中的航迹起始理论，具体包括两大类：一类是面向目标的顺序处理技术；另一类是面向量测的批处理方法。第 6 章讨论极大似然类多目标数据互联方法。作为第 6 章的继续，第 7 章研究贝叶斯类多目标数据互联方法。第 8 章研究机动目标跟踪方法，并分为具有机动检测的跟踪算法和自适应跟踪算法两大类进行论述。第 9 章讨论多目标跟踪终结技术与航迹管理技术。第 10 章研究无源雷达数据处理技术，同时还对无源雷达目标跟踪的优点和特点进行了阐述。第 11 章介绍相控阵技术在现代雷达系统中的应用情况、相控阵雷达数据处理的功能和特点；同时还介绍了脉冲多普勒 (PD) 雷达的一些相关知识和数据处理方法。第 12 章讨论雷达组网数据处理技术。第 13 章讨论雷达数据处理仿真技术，包括系统仿真的基础知识和进行 Monte Carlo 仿真实验时随机数的产生方法，同时还给出了雷达数据处理算法的仿真实例，以帮助读者能更好地理解系统仿真技术在雷达数据处理技术研究中的应用。第 14 章介绍雷达数据处理的实际应用。第 15 章回顾和总结本书的研究成果，并对某些问题提出进一步的研究建议。

本书由烟台海军航空工程学院何友、修建娟、张晶炜、关欣、熊伟、苏峰、董云龙、衣晓编著。我们知道，雷达数据处理技术是随着武器系统和设备、信号处理技术等的发展而不断发展的，由于篇幅的限制，本书不可能对这些发展做出统览无余的介绍。为此，我们在每章的最后都进行了归纳和总结，指出一些重要的新发展供读者进一步研究参考。同时，由于编著者水平有限，书中难免还存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

## 致 谢

本书在撰写和出版过程中，得到了国内著名电子学专家郭桂蓉院士、毛二可院士的推荐和帮助，作者在此向他们表示感谢。

海军航空工程学院王国宏教授与作者进行了很多有益的学术交流和讨论，并在百忙之中审阅本书的手稿，提出了非常宝贵的意见。在此，对王国宏教授表示深深的谢意。

书中引用了一些作者的论著及研究成果，在此向他们表示深深的谢意。作者同样要感谢海军航空工程学院的领导、同仁和电子工业出版社，特别是电子工业出版社的王春宁编辑，正是由于他们的大力支持才保证了本书按期高质量出版。

在此，我还要感谢我的妻子潘丽娜女士，感谢她数十年来对我事业的理解和支持，感谢她在生活中给予了我无微不至的关心和照顾，这些都是我完成本书的基础。

何友

于烟台海军航空工程学院

## 反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

# 目 录

第 1 章 概述 .....	1
1.1 雷达数据处理的目的和意义 .....	1
1.2 雷达数据处理中的基本概念 .....	2
1.3 雷达数据处理器的设计要求和主要技术指标 .....	9
1.4 雷达数据处理技术研究的历史与现状 .....	11
1.5 本书的研究范围和概貌 .....	13
第 2 章 参数估计 .....	18
2.1 引言 .....	18
2.2 参数估计的概念 .....	18
2.3 四种基本参数估计方法 .....	20
2.4 估计性质 .....	28
2.5 静态向量情况下的参数估计 .....	31
2.6 小结 .....	35
第 3 章 线性滤波方法 .....	36
3.1 引言 .....	36
3.2 卡尔曼滤波器 .....	36
3.2.1 系统模型 .....	36
3.2.2 滤波模型 .....	42
3.2.3 卡尔曼滤波器的初始化 .....	44
3.2.4 卡尔曼滤波算法应用举例 .....	47
3.2.5 卡尔曼滤波器应用中应注意的一些问题 .....	49
3.3 稳态卡尔曼滤波器 .....	50
3.3.1 滤波器稳定的数学定义和判断方法 .....	50
3.3.2 随机线性系统的可控制性和可观测性 .....	51
3.3.3 稳态卡尔曼滤波 .....	52
3.4 常增益滤波器 .....	53
3.4.1 $\alpha$ - $\beta$ 滤波器 .....	54
3.4.2 自适应 $\alpha$ - $\beta$ 滤波器 .....	55
3.4.3 $\alpha$ - $\beta$ 滤波算法应用举例 .....	56
3.4.4 $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$ 滤波器 .....	57
3.4.5 自适应 $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$ 滤波器 .....	58
3.4.6 常增益滤波器与卡尔曼滤波等线性滤波器的性能比较 .....	58

3.5	状态估计的一致性检验	59
3.5.1	状态估计误差的一致性检验	60
3.5.2	新息的一致性检验	60
3.5.3	新息的白度检验	61
3.5.4	滤波器一致性检验的应用举例	61
3.6	小结	62
<b>第4章</b>	<b>非线性滤波方法</b>	<b>63</b>
4.1	引言	63
4.2	扩展卡尔曼滤波器	63
4.2.1	滤波模型	63
4.2.2	线性化 EKF 滤波的误差补偿	66
4.2.3	扩展卡尔曼滤波器应用举例	67
4.2.4	扩展卡尔曼滤波器应用中应注意的一些问题	70
4.3	不敏卡尔曼滤波器	71
4.3.1	不敏变换	71
4.3.2	滤波模型	72
4.3.3	仿真分析	73
4.4	粒子滤波器	76
4.4.1	滤波模型	76
4.4.2	EKF、UKF、PF 三种非线性滤波算法应用举例	78
4.5	小结	80
<b>第5章</b>	<b>量测数据预处理技术</b>	<b>82</b>
5.1	引言	82
5.2	时间配准	82
5.3	空间配准	84
5.3.1	坐标系	84
5.3.2	坐标变换	87
5.3.3	几种常用坐标系的变换关系	89
5.3.4	几种常用坐标系中的跟踪问题	92
5.3.5	跟踪坐标系与滤波状态变量选择	99
5.4	野值剔除技术	100
5.4.1	野值的定义、成因及分类	100
5.4.2	野值的判别方法	101
5.5	雷达误差标校技术	102
5.6	数据压缩技术	103
5.6.1	单雷达的数据压缩	103
5.6.2	多雷达系统中的数据压缩	105
5.7	小结	107

<b>第 6 章 多目标跟踪中的航迹起始</b> .....	108
6.1 引言 .....	108
6.2 航迹起始波门的形状和尺寸 .....	108
6.2.1 环形波门 .....	109
6.2.2 椭圆(球)波门 .....	109
6.2.3 矩形波门 .....	110
6.2.4 扇形波门 .....	111
6.3 航迹起始算法 .....	112
6.3.1 直观法 .....	112
6.3.2 逻辑法 .....	113
6.3.3 修正的逻辑法 .....	114
6.3.4 Hough 变换法 .....	115
6.3.5 修正的 Hough 变换法 .....	117
6.3.6 基于 Hough 变换和逻辑的航迹起始算法 .....	118
6.3.7 基于聚类和 Hough 变换的编队目标航迹起始算法 .....	118
6.3.8 被动雷达航迹起始算法 .....	119
6.4 航迹起始算法的比较与分析 .....	121
6.5 航迹起始中的有关问题讨论 .....	124
6.6 小结 .....	125
<b>第 7 章 极大似然类多目标数据互联方法</b> .....	126
7.1 引言 .....	126
7.2 航迹分叉法 .....	126
7.2.1 似然函数的计算 .....	127
7.2.2 门限设置 .....	128
7.2.3 改进的似然函数 .....	128
7.2.4 航迹分叉法的特点 .....	129
7.3 联合极大似然算法 .....	129
7.3.1 可行划分的建立 .....	130
7.3.2 递推的联合极大似然算法 .....	131
7.3.3 联合极大似然算法应用举例 .....	132
7.4 0-1 整数规划法 .....	134
7.4.1 对数似然比的计算 .....	134
7.4.2 0-1 线性整数规划 .....	135
7.4.3 递推的 0-1 整数规划法 .....	136
7.4.4 0-1 整数规划法的用途 .....	137
7.5 广义相关法 .....	137
7.5.1 得分函数的建立 .....	137
7.5.2 广义相关法的应用 .....	139
7.6 几种极大似然类算法性能分析 .....	142

7.7	小结	144
<b>第 8 章</b>	<b>贝叶斯类多目标数据互联方法</b>	<b>145</b>
8.1	引言	145
8.2	最近邻域法	145
8.2.1	最近邻域标准滤波器	145
8.2.2	概率最近邻域法	146
8.3	概率数据互联算法 (PDA)	147
8.3.1	状态更新与协方差更新	147
8.3.2	互联概率计算	149
8.3.3	修正的 PDAF 算法	151
8.3.4	性能分析	152
8.4	综合概率数据互联算法 (IPDA)	155
8.4.1	航迹存在性判断	155
8.4.2	数据互联	157
8.5	联合概率数据互联算法 (JPDA)	157
8.5.1	JPDA 算法的基本模型	158
8.5.2	联合事件概率的计算	162
8.5.3	状态估计协方差的计算	163
8.5.4	简化的 JPDA 算法模型	165
8.5.5	性能分析	167
8.6	最优贝叶斯算法	169
8.6.1	最优贝叶斯算法模型	169
8.6.2	算法的次优实现	170
8.7	多假设跟踪算法	171
8.7.1	假设的产生	171
8.7.2	概率计算	172
8.7.3	假设的简化技巧	172
8.8	性能分析	173
8.9	小结	174
<b>第 9 章</b>	<b>机动目标跟踪</b>	<b>176</b>
9.1	引言	176
9.2	具有机动检测的跟踪算法	177
9.2.1	可调白噪声模型	177
9.2.2	变维滤波算法	178
9.2.3	输入估计算法	180
9.3	自适应跟踪算法	182
9.3.1	修正的输入估计算法	182
9.3.2	Singer 模型跟踪算法	184



9.3.3	当前统计模型算法	187
9.3.4	Jerk 模型跟踪算法	188
9.3.5	多模型算法	190
9.3.6	交互式多模型算法	191
9.4	机动目标跟踪算法性能比较	193
9.4.1	仿真环境与参数设置	194
9.4.2	仿真结果与分析	195
9.5	小结	201
<b>第 10 章</b>	<b>群目标跟踪</b>	<b>202</b>
10.1	引言	202
10.2	群航迹起始的基本方法	202
10.2.1	群的定义	202
10.2.2	群的分割	203
10.2.3	群的互联	205
10.2.4	群速度的估计	206
10.3	群目标灰色精细航迹起始算法	209
10.3.1	群的预分割和预互联	210
10.3.2	基于量测相对位置矢量的群内目标灰色精细互联	210
10.3.3	群内航迹的确认	213
10.3.4	群目标状态矩阵的建立	214
10.3.5	算法仿真验证与分析	214
10.3.6	讨论	221
10.4	中心群目标跟踪算法	221
10.4.1	群航迹起始、确认和撤销	223
10.4.2	航迹更新	223
10.4.3	其他问题的实现	225
10.5	编队群目标跟踪算法	226
10.5.1	编队群目标跟踪算法概述	226
10.5.2	编队群目标跟踪算法的逻辑描述	229
10.6	群目标跟踪算法性能分析	230
10.6.1	仿真环境	230
10.6.2	仿真结果	231
10.6.3	仿真分析	232
10.7	小结	233
附录 10A		234
<b>第 11 章</b>	<b>多目标跟踪终结理论与航迹管理</b>	<b>237</b>
11.1	引言	237
11.2	多目标跟踪终结理论	237