



高新科技译丛

Fundamentals of Object Tracking

目标跟踪基本原理

【澳】Subhash Challa

【澳】Mark R. Morelande

著

【韩】Darko Mušicki

【澳】Robin J. Evans

周共健

译

CAMBRIDGE



国防工业出版社
National Defense Industry Press



装备科技译著出版基金

目标跟踪基本原理

Fundamentals of Object Tracking

【澳】Subhash Challa 【澳】Mark R. Morelande 著
【韩】Darko Mušicki 【澳】Robin J. Evans

周共健 译



国防工业出版社

· 北京 ·

著作权合同登记 图字:军-2015-022号

图书在版编目(CIP)数据

目标跟踪基本原理 / (澳) 卡拉 (Challa, S.) 等著; 周共健译. —北京: 国防工业出版社, 2015. 9

(高新科技译丛)

书名原文: Fundamentals of Object Tracking

ISBN 978-7-118-10092-1

I. ①目... II. ①卡... ②周... III. ①目标跟踪 IV. ①TN953

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 069425 号

This is a translation of the first title published by Cambridge University Press:

Fundamentals of Object Tracking by Subhash Challa... [et al]

ISBN 978-0-521-87628-5

Cambridge University Press 2011

This translation for the People's Republic of China (excluding Hong Kong, Macau and Taiwan) is

Published by arrangement with the Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom.

© Cambridge University Press and National Defense Industry Press 2015.

This translation is authorized for sale in the People's Republic of China (excluding Hong Kong, Macau and Taiwan) only. Unauthorized export of this translation is a violation of the Copyright Act. No part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of Cambridge University Press and National Defense Industry Press.

版权所有, 侵权必究。

※

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)

三河市众誉天成印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 印张 19 1/4 字数 378 千字

2015 年 9 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 86.00 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

目标跟踪在军事和民用领域都具有广泛的应用,如空中监视、卫星和飞船跟踪、潜艇和鲸鱼的跟踪以及智能视频监控等。过去 60 年来许多学者、科学家及工程技术人员提出了很多适用于不同应用背景的目标跟踪技术和方法,诸如卡尔曼滤波、粒子滤波、交互式多模型(IMM)、概率数据互联(PDA)、集成航迹分裂(ITS)算法,以及随机集方法等。本书不仅对这些经典和最新算法进行了收集和呈现,更是从目标跟踪的通用贝叶斯解出发,阐述了各类看似互不相关的算法之间的深刻联系,并分析它们在最优贝叶斯解近似方式和程度上的区别。将为从事目标跟踪实践及研究的工作人员快速理解和彻底掌握种类众多的复杂跟踪算法提供帮助,并给他们在各自特殊的应用背景下设计适应性的跟踪算法提供有力的理论支撑。

本书作者 Darko Mušicki、Mark R. Morelande 等人多年从事目标跟踪理论和方法的研究,是著名算法集成概率数据互联(IPDA)、集成航迹分裂(ITS)以及对应的多目标跟踪算法联合集成概率数据互联(JIPDA)、联合集成航迹分裂(JITS)等算法的主要创始人和实践者。这一系列算法不仅理论上自成体系,而且具有很强的工程实用价值,同时与联合概率数据互联(PDA)、多假设跟踪(MHT)以及随机有限集等算法又有着共同理论基础和直接对应关系。

翻译本书的目的是将原著作者提出的一系列跟踪算法,以及他们对现有目标跟踪理论和方法的深刻理解及系统性阐述介绍给国内从事该领域研究开发的科研技术人员。在翻译本书的过程中,哈尔滨工业大学学报编辑部徐诺女士,译者所在课题组的博士研究生赵孔瑞、郭正琨,硕士研究生马丁、程兴、刁亚娟、徐亮、谢青青做了大量的基础性工作,在此对他们的付出表示感谢。

由于时间仓促,译者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,欢迎读者朋友批评指正。

译者

前言

跟踪运动目标的轨迹是一项有着悠久历史的活动,在古代社会,人们在狩猎的过程中就要对猎物进行跟踪,人们还发明了利用对恒星的跟踪进行导航和预测季节变化的技术。可以说,目标跟踪已经成为人类生存的基本技能,并在人类进化中做出了极其重要的贡献。

近年来,目标跟踪在民用领域中的应用得到了飞速的发展,跟踪算法已经成为人们日常生活不可或缺的一部分。举例来说,GPS 导航定位已经成为人们日常生活的工具,在 GPS 导航系统中,一群人造卫星对人们驾驶的交通工具进行连续的搜索,并通过 GPS 系统内部的目标跟踪算法最终实现自我定位,基于此,人们才能享受到一系列便捷的服务,如寻找目的地、路径规划等。实际上,目标跟踪技术有着非常广泛的应用领域,如空中监视、卫星及飞船跟踪、潜艇和鲸鱼的跟踪以及智能视频监控等。在许多其他领域也需要用到目标跟踪算法,如利用激光、立体摄像机及其他传感器的机器人自动导航,天气预报中对携有无线电探空仪的气球的跟踪。最近,在细胞生物学领域,为了研究细胞的消亡受不同化学和环境因素的影响情况,需要对多种细胞进行自动跟踪,包括经过几代繁衍和死亡的淋巴细胞和干细胞。

本书对目标跟踪这一迷人的研究领域进行系统的介绍,并为过去 60 年来许多学者、科学家及工程技术人员提出的一系列不同算法给出一个坚实的统一的原理阐述。由于历史的原因,现代目标跟踪算法均是严格理想条件下的方法在实际应用环境下的系统性的扩展。这些算法通常要么是改进的目标动态模型,要么是改进的观测模型与相关的统计学方法或近似方法结合的创新产物。因此,出现了一大批适用于不同具体应用背景的看似互不相关的目标跟踪技术和方法。相应地,现有目标跟踪专著中,大多是对各种不同算法的简单收集和呈现。

然而,所有这些技术有着坚实的递推贝叶斯逻辑学基础,它们均可在贝叶斯概率框架下进行描述和推导。本书的目的即是在展示实时处理应用中最新的有效算法的同时,给出这种统一的理论阐述方法。本书将帮助越来越多的正在或即将从事目标跟踪实践的技术人员和科研人员,以及高校工程学或统计学的学生彻底地理解目标跟踪问题。

第 1 章,简述通用的目标跟踪问题,并给出该问题的通用贝叶斯解。对于各种目标跟踪问题,本章给出一种通用的解法,并在后半部分简要地回顾了目前工程人

员使用的主要跟踪算法。所有这些算法均将估计或者滤波作为核心算法部件。卡尔曼滤波(KF)、扩展卡尔曼滤波(EKF)、不敏卡尔曼滤波(UKF)、点群滤波(PMF)和粒子滤波(PF)是解决估计或滤波问题的几种典型算法。这些算法均可看作是对递推贝叶斯公式的近似。第2章从这一角度,对它们进行了推导,这些算法构成了做近似匀速运动的单目标跟踪的基础。关于机动目标跟踪的滤波问题,已有大量文献对其进行研究,包括广义的伪贝叶斯(GPB)滤波、交互式多模型(IMM)滤波及许多其他滤波方法。第3章介绍这些机动目标跟踪滤波方法及其贝叶斯原理。

用来估计航迹的传感器观测中可能包含虚假观测,这是目标跟踪必须面对的一个特殊问题。过去的文献对这一问题提出了大量甚至过剩的算法。本书第4章对解决这一问题的最近邻(NN)滤波、概率数据互联(PDA)滤波及其他类似算法进行了推导。所有这些算法均假设目标已经存在,然而,在实际系统中,一个目标是否存在是不确定的。一类算法引入目标存在性概念,用随机跳跃马尔可夫过程建立目标存在性模型,并用目标观测对其概率进行估计。这类算法中的集成航迹分裂(ITS)法及其衍生方法,如集成概率数据互联(IPDA)算法,将在第5章中进行介绍。这些算法既适用于单目标跟踪又可解决多目标跟踪问题。

多目标跟踪的任务不仅要估计每个目标的状态,还要提供目标个数的估计。第5章中介绍的基于ITS和IPDA的跟踪算法中虽可以获得目标个数的估计,然而目标个数的估计独立于跟踪算法之外。随机变化有限集提供了一个新的多目标跟踪模型,可以实现估计各目标状态的同时给出目标个数的估计。第6章介绍基于随机集的建模方法,以及相应的基于随机集的贝叶斯跟踪器及其近似算法,如概率假设密度(PHD)和势化的概率假设密度(CPHD),还阐述了如何从随机集形式转化为基于目标存在性的滤波方法,如第5章介绍的IPDA和JIPDA算法。

大多数基于滤波或预测技术的目标跟踪系统均是利用当前传感器观测获得目标状态当前或未来时刻的最佳估计。然而,利用当前时刻的观测可以改善对目标过去状态的估计,这项技术通常称为平滑。第7章介绍了平滑的贝叶斯基本原理以及几种近似方法。第8章将平滑的贝叶斯框架扩展至非顺序观测(OOSM)跟踪问题。最后,第9章介绍目标跟踪算法实现中的一些重要技巧和方法,如航迹起始、航迹合并和终结等,并阐述了在实际应用中目标跟踪的实现问题,给出实际目标跟踪方法的一个系统的设计框架。

在实际系统中评价算法性能的一个有效途径就是将其性能与可能获得的最佳性能进行比较。最佳性能的指标有克拉美罗限(CRB)、Barankin限(BB)、Weiss-Weinstein限(WWB)以及其他性能限。我们在相应的章节中给出了所有实际应用场景的性能限。

由于目标跟踪算法解决的实际工程背景的特殊性,本书中介绍的一些算法可

能具有比较复杂的数学表达式,因此,为了帮助读者更好地理解这些算法,对于每章提出的算法,均给出实例演示如何在实际的跟踪问题中使用这些算法。

感谢在准备本书材料过程中帮助过我们的所有同事和学生,特别感谢 Khalid Aboura 博士和 Rajib Chakravorty 博士,他们在本书成形过程中给予了大力帮助。我们还要感谢 Nozer Singpurwalla 教授,是他将我们介绍给剑桥大学出版社并且一直鼓励我们承担起撰写此书的艰巨任务。我们要对所有好心人表示最深切的感谢,还有我们的家人,他们为此书从构想变为现实做出了巨大的牺牲。

目 录

第 1 章	目标跟踪简介	1
1.1	目标跟踪问题综述	1
1.1.1	空域监视	2
1.1.2	视频监控	3
1.1.3	气象监控	4
1.1.4	细胞生物学	5
1.2	贝叶斯推理及其在目标跟踪中的应用	6
1.2.1	贝叶斯定理	6
1.2.2	贝叶斯定理在目标跟踪中的应用	9
1.3	目标跟踪的递推贝叶斯解	12
1.3.1	广义的目标运动方程	12
1.3.2	广义的传感器观测方程	12
1.3.3	广义的目标状态预测及其条件密度	13
1.3.4	广义的目标状态预测与更新	13
1.3.5	广义的目标状态滤波	14
1.3.6	广义的目标状态估计	15
1.4	小结	16
第 2 章	滤波理论与非机动目标跟踪	17
2.1	最优贝叶斯滤波	17
2.1.1	目标动态方程与传感器观测方程	17
2.1.2	最优非机动目标跟踪滤波	18
2.2	卡尔曼滤波	19
2.2.1	卡尔曼滤波推导	19
2.2.2	卡尔曼滤波方程	23
2.3	扩展卡尔曼滤波	24
2.3.1	线性滤波近似	25
2.3.2	扩展卡尔曼滤波方程	27

2.4	不敏卡尔曼滤波	28
2.4.1	不敏变换	28
2.4.2	不敏卡尔曼滤波算法	30
2.5	点群滤波	33
2.5.1	转移和预测密度	33
2.5.2	似然函数和归一化因数	34
2.5.3	条件概率密度	34
2.5.4	点群滤波方程	35
2.6	粒子滤波	36
2.6.1	单目标粒子滤波跟踪	36
2.6.2	最优重要性密度粒子滤波(OID - PF)	37
2.6.3	单目标跟踪的辅助自举滤波	39
2.6.4	单目标跟踪的扩展卡尔曼辅助粒子滤波	40
2.7	性能界限	41
2.8	演示实例	44
2.9	本章小结	47
第3章	机动目标跟踪	48
3.1	机动目标跟踪模型	48
3.1.1	单模型状态增广	49
3.1.2	多模型算法	50
3.2	最优贝叶斯滤波	51
3.2.1	过程、观测和噪声模型	51
3.2.2	条件概率密度和模型概率	52
3.2.3	最优估计	52
3.3	广义伪贝叶斯滤波	55
3.3.1	一阶广义伪贝叶斯滤波	55
3.3.2	二阶广义伪贝叶斯滤波	60
3.4	交互作用多模型	65
3.4.1	IMM 滤波方程	65
3.5	基于粒子滤波的机动目标跟踪	71
3.5.1	基于自举滤波的机动目标跟踪	71
3.5.2	基于辅助自举滤波的机动目标跟踪	72
3.5.3	基于扩展卡尔曼辅助粒子滤波的机动目标跟踪	73
3.6	性能界限	75

3.7	演示实例	76
3.8	小结	78
第4章	杂波环境下的单目标跟踪	79
4.1	最优贝叶斯滤波	80
4.1.1	目标运动模型、传感器观测模型和噪声模型	80
4.1.2	条件概率密度	80
4.1.3	最优化估计	80
4.2	最近邻滤波法	82
4.2.1	最近邻滤波方程	84
4.3	概率数据关联滤波	85
4.3.1	概率数据关联方程	90
4.4	杂波环境下的机动目标跟踪	91
4.4.1	目标运动方程和传感器观测方程	91
4.4.2	杂波环境机动目标跟踪的贝叶斯最优解	91
4.4.3	杂波背景下机动目标跟踪的最优贝叶斯估计	93
4.5	杂波背景下目标跟踪的粒子滤波	93
4.5.1	杂波背景下目标跟踪的自举滤波	93
4.5.2	杂波背景下目标跟踪的扩展卡尔曼辅助粒子滤波	95
4.6	性能界限	97
4.7	演示实例	100
4.8	本章小结	101
第5章	杂波环境下的单/多目标跟踪:基于目标存在性的方法	102
5.1	引言	102
5.2	问题的描述	106
5.2.1	传感器	106
5.2.2	目标	106
5.2.3	目标观测	107
5.2.4	杂波观测	107
5.3	航迹状态	108
5.3.1	目标存在性	109
5.3.2	目标航迹状态	110
5.4	最优贝叶斯递归	112
5.4.1	航迹预测	112

5.4.2	目标观测似然函数	113
5.4.3	最优航迹更新	115
5.4.4	单目标更新	116
5.4.5	多目标更新	120
5.4.6	航迹状态更新	128
5.5	最优航迹更新过程	131
5.5.1	航迹状态预测	133
5.5.2	观测选择(波门)技术	134
5.5.3	单目标跟踪数据关联	136
5.5.4	多目标跟踪数据关联	137
5.5.5	航迹的轨迹更新	139
5.5.6	跟踪输出	141
5.6	航迹分量控制	141
5.6.1	航迹分量合并	142
5.6.2	航迹分量树叶和子树的裁剪	144
5.7	基于目标存在性的单目标跟踪	147
5.7.1	概率数据互联	147
5.7.2	交互式多模型-概率数据关联(IMM-PDA)	149
5.7.3	集成概率数据关联(IPDA)	151
5.7.4	交互式多模型-集成概率数据关联(IMM-IPDA)	153
5.7.5	集成航迹分裂(ITS)	155
5.7.6	交互式多模型-集成航迹分裂(IMM-ITS)	157
5.8	基于目标存在性的多目标跟踪	159
5.8.1	联合概率数据关联(JPDA)	160
5.8.2	交互式多模型-联合概率数据关联(IMM-JPDA)	162
5.8.3	联合集成概率数据关联(JIPDA)	163
5.8.4	交互式多模型-联合集成概率数据关联(IMM-JIPDA)	165
5.8.5	联合集成航迹分裂(JITS)	167
5.8.6	交互式多模型-联合集成航迹分裂(IMM-JITS)	169
5.9	小结	171
第6章	基于随机集的杂波环境目标跟踪方法	172
6.1	最优贝叶斯多目标跟踪滤波	173
6.1.1	基于RFS的目标动态模型和传感器观测模型	173
6.1.2	基于RFS的马尔可夫转移概率密度和似然函数	174

6.1.3	RFS 最优估计	174
6.2	概率假设密度 (PHD) 滤波近似	175
6.2.1	RFS 的一阶矩: PHD	175
6.2.2	PHD 预测	175
6.2.3	PHD 更新	177
6.2.4	CPHD 近似	179
6.2.5	PHD 小结	180
6.2.6	CPHD 迭代小结	181
6.3	近似滤波	182
6.3.1	高斯混合 PHD 滤波	182
6.3.2	粒子 PHD 滤波	184
6.3.3	高斯混合 CPHD 滤波 (GMCPHD)	186
6.3.4	航迹标签法	187
6.3.5	状态估计	188
6.4	基于目标存在性的跟踪滤波	188
6.4.1	基于随机集的目标动态描述	189
6.4.2	传感器观测随机集模型	189
6.4.3	贝叶斯更新	192
6.4.4	集成概率数据关联滤波	193
6.4.5	从 GMPHD 滤波推导 JIPDA	196
6.5	性能界限	200
6.6	演示实例	201
6.7	小结	203
第 7 章	目标跟踪的贝叶斯平滑算法	204
7.1	平滑简介	204
7.2	最优贝叶斯平滑	205
7.2.1	平滑的增广模型	206
7.3	增广状态卡尔曼平滑	206
7.3.1	目标运动模型	206
7.3.2	传感器观测模型	207
7.3.3	状态估计	208
7.3.4	增广状态卡尔曼平滑方程	208
7.4	机动目标跟踪平滑	208
7.4.1	基于 AS-IMM 的最优贝叶斯估计	208

7.4.2	AS - IMM 的模型概率	209
7.4.3	AS - IMM 状态估计	210
7.4.4	AS - IMM 方程	210
7.5	杂波环境下的目标跟踪平滑	211
7.5.1	增广状态 PDA 平滑的贝叶斯模型	212
7.5.2	AS - PDAS 的跟踪波门	212
7.5.3	增广状态 PDA 平滑方程	213
7.6	目标存在性不确定的平滑	214
7.6.1	目标存在性增广递推	214
7.6.2	增广状态 AS - IPDA 平滑递推	216
7.6.3	AS - IPDA 平滑方程	217
7.7	演示实例	218
7.7.1	仿真场景	218
7.7.2	增广状态卡尔曼平滑器	219
7.7.3	增广状态 PDA 平滑器	220
7.7.4	增广状态 IPDA 平滑器	221
7.8	小结	222
第 8 章	基于延时、乱序观测的目标跟踪	223
8.1	OOSM 问题的最优贝叶斯解	223
8.1.1	目标运动模型及传感器观测方程	223
8.1.2	最优贝叶斯滤波	224
8.2	单步和多步乱序观测算法	226
8.2.1	Y - 算法	226
8.2.2	M - 算法	227
8.3	多步延迟 OOSM 增广状态卡尔曼滤波	227
8.3.1	迭代 AS - KF	229
8.3.2	变维增广状态卡尔曼滤波	229
8.4	杂波环境多步 OOSM 增广状态 PDA 滤波	230
8.4.1	OOSM 增广状态 PDA 滤波的杂波模型	230
8.4.2	增广状态 PDA 滤波	231
8.4.3	迭代 AS - PDA 算法	231
8.4.4	AS - PDA 方程	233
8.5	仿真结果	234
8.5.1	例 8.1	235

8.5.2 例 8.2	237
8.5.3 例 8.3	239
8.6 小结	241
第 9 章 实用目标跟踪算法	242
9.1 简介	242
9.2 线性多目标跟踪	243
9.3 杂波观测密度估计	246
9.4 航迹初始化	249
9.4.1 单点航迹初始化	251
9.4.2 两点差分法	251
9.4.3 $P_{k k,i}^0$ 的计算	253
9.4.4 新航迹初始化的观测选择	254
9.5 航迹合并	255
9.5.1 航迹合并检验	256
9.5.2 航迹合并实施	257
9.6 演示实例	257
9.6.1 单目标跟踪仿真研究	259
9.6.2 多目标跟踪仿真研究	263
9.7 小结	266
附录 A 数学和统计学预备知识	267
A.1 概率法则和分布	267
A.1.1 样本空间及事件	267
A.1.2 概率、条件概率和独立	268
A.1.3 乘法定理	270
A.1.4 全概率公式	270
A.1.5 随机变量	270
A.1.6 离散随机变量	271
A.1.7 连续随机变量	271
A.1.8 期望值	271
A.1.9 联合、边缘以及条件分布	272
A.1.10 贝叶斯公式和查普曼-科尔莫戈罗夫等式	272
A.2 马尔可夫链	274
A.3 δ 函数	274

A.4	高斯分布定理	275
附录 B	有限集统计学 (FISST)	276
B.1	引言	276
B.2	目标动态和传感器的随机集模型	276
B.3	传感器模型的信度质量函数	276
B.4	目标运动模型的信度质量函数	276
B.5	有限集统计数学的基础	277
B.6	集积分	277
B.7	集微分	278
B.8	似然函数及马尔可夫密度计算	278
B.9	有限集统计学微积分基本准则	278
B.9.1	加法准则	279
B.9.2	乘法准则	279
B.9.3	常数准则	279
B.9.4	链式准则	279
B.9.5	幂准则	279
附录 C	目标跟踪中的伪函数	280
C.1	卡尔曼滤波预测	280
C.2	测量预测	280
C.3	卡尔曼滤波估计	280
C.4	高斯混合	280
C.5	单目标跟踪的数据关联	281
C.6	多目标跟踪的数据关联	281
C.7	交互式多模型混合步骤	282
参考文献		283

第 1 章 目标跟踪简介

目标跟踪是指利用传感器观测确定目标位置、轨迹和特性的问题。传感器可以是任何观测设备,如雷达、声纳、激光雷达、摄像机、红外传感器、麦克风、超声波或者其他可以用来收集目标信息的传感器。目标跟踪的典型目标是确定目标的数目、身份以及目标的状态,如位置、速度以及特征等。利用雷达对飞机进行跟踪是一个典型的应用实例,目标跟踪利用从雷达获取的观测信息,试图确定雷达监视区域中飞机的数量、类型(如军用、商用或娱乐用飞机)、身份,以及速度和位置。

由于面临着一系列不确定性问题,目标跟踪成为一个十分艰巨的任务。例如:目标运动经常伴随随机干扰,传感器可能出现目标漏检,传感器观测区域中的目标数目随机变化,传感器观测受随机噪声干扰,传感器观测数目随时间变化且不可预测,目标可能相距较近而传感器无法分辨,有时即使观测区域没有目标传感器仍会提供观测数据等问题。本书后续章节将对目标跟踪中面临的这些问题分为几种不同类型的不确定性问题的。

本章介绍贝叶斯法则这一看似简单却超级强大的统计分析工具,它促成了不确定性问题中的递归推理和估计,与 Chapman - Kolmogorov 原理一起,构成本书推导目标跟踪算法的理论基础。

1.1 目标跟踪问题综述

典型目标跟踪中的基本问题是目标状态估计问题,利用受噪声干扰并有虚假观测的测量数据,估计目标的运动学参数,如位置、速度和加速度。跟踪系统通常包括一个或多个待跟踪的目标、一个测量目标的某些参数的传感器、一个信号处理器和一个信息处理器,如图 1.1 所示。

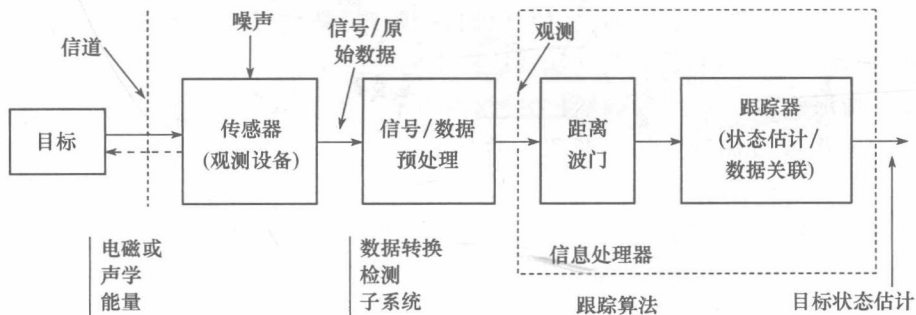


图 1.1 典型的跟踪系统

目标跟踪有着广泛的应用,下面介绍其中一些典型的应用实例。

1.1.1 空域监视

利用雷达跟踪飞机(Krause,1995^[82])是一个重要的目标跟踪问题,如空中交通控制系统。雷达目标跟踪在军事监视系统中也获得了广泛的应用,其中涉及飞机的类型、身份、速度、位置以及目标意图的确定,以对监视态势进行判决,如目标是否具有威胁等。雷达能够提供相当广泛的观测能力,从纯距离测量到高分辨成像,它利用反射波测量目标的方向、距离以及径向速度。雷达发射机向外辐射电磁波,目标反射后被接收机接收并进行目标检测(图 1.2)。航迹从雷达接收的数据中提取,并常与目标发射信号一起在显示屏中显示。

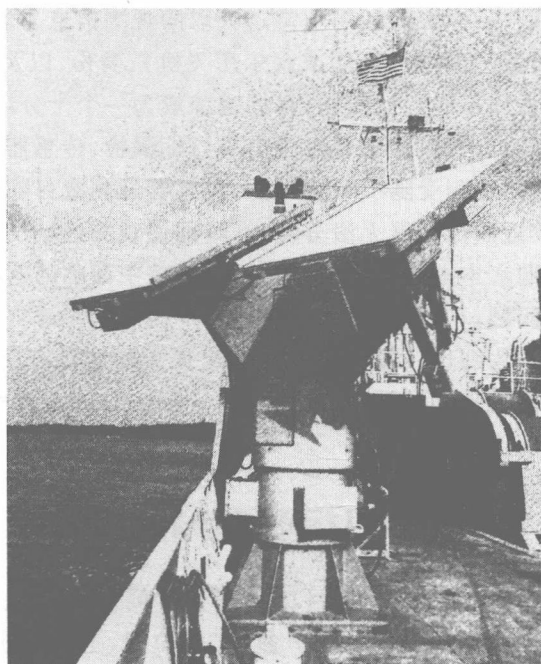


图 1.2 雷达传感器

雷达观测数据源的不确定性使飞机目标跟踪问题变得尤其困难,飞鸟、走兽、植物、地物、云、海、雨、雪以及其他雷达产生的信号均可能产生信号噪声,即杂波。杂波是指那些不是来自感兴趣目标的检测结果。确定哪些检测结果属于感兴趣目标并用来提取目标航迹的问题称为数据关联问题,将在第 4 章以及后续章节中讨论。

飞机目标经常机动飞行,跟踪这类目标需要设计精细的处理方法,自适应地切换目标动态模型以适应目标动作的变化。第 3 章将介绍几种机动目标跟踪方法,讨论解决此类问题的有效算法。

在空中目标监视任务中,经常出现数量十分巨大并且空间密集分布的飞机目