

数据融合及其应用

杨国胜 窦丽华 编著

兵器工业出版社

PDG

数据融合及其应用

杨国胜 窦丽华 编著

兵器工业出版社

内 容 简 介

数据融合是传统学科和许多新兴工程领域相结合而产生的一个新的前沿技术领域。本书是关于多传感器数据融合理论的专著，主要汇集了作者多年来关于数据融合方面的研究成果。全书共分 14 章。第 1 章阐述了数据融合的理论基础和研究现状。第 2、第 3 和第 4 章介绍了数据融合所涉及到的理论方法，主要包括卡尔曼 (Kalman) 滤波、神经网络技术和不确定性推理等。第 5 章和第 6 章对匀加速运动目标的可观测性进行了分析论证。基于间歇式工作雷达的红外多目标跟踪系统是第 7 章的主要研究内容。针对基于 Hopfield 神经网络的 JPDA 方法在实际应用中的局限性，在第 8 章里提出了能量函数系数在线自适应整定方法。为降低数据关联的计算量，在第 9 章里提出了基于椭圆跟踪门和拟方向跟踪相结合的双门限数据关联跟踪算法。第 10 章研究了基于反馈的雷达和红外航迹综合融合系统的体系结构和相应算法。把强跟踪滤波引入数据融合领域，在第 11 章里提出了基于强跟踪滤波和反馈综合的多传感器分布式航迹融合算法。基于模糊规则和双模信息融合的目标识别策略及相应算法，以及基于模糊运算和层次分析法相结合的目标威胁估计，分别在第 12 章和第 13 章进行了分析研究。第 14 章给出了炮兵多传感器数据融合系统的一个实际例子。

本书可作为自动控制或信息科学专业的大学、研究生的教学参考书，同时对从事多传感器信息融合研究、开发的工程技术人员也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

数据融合及其应用 / 杨国胜, 窦丽华编著. —北京:
兵器工业出版社, 2004.2

ISBN 7-80172-174-8

I. 数... II. ①杨... ②窦... III. 传感器—数据融合—高等学校—教学参考资料 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 001431 号

出版发行: 兵器工业出版社

责任编辑: 闫嘉琪 林利红

责任技编: 莫丽珠

邮编社址: 100089 北京市海淀区车道沟 10 号

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京瑞达方舟印务有限公司

版 次: 2004 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

印 数: 1-1000

封面设计: 底晓娟

责任校对: 朴 喆

责任印制: 王京华

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 11

字 数: 272 千字

定 价: 40.00 元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

前 言

早在第二次世界大战末期，就出现了将雷达、光学和测距装置等获取的多种信息用于高炮火力控制系统的例子。由于这种系统在当时还不能对战争形势产生重大影响，因而并未引起人们的充分注意。20世纪70年代初期，美国的军事机构开始研究数据的自动化综合处理。1973年美国国防部资助开发了多个连续声纳信号处理系统，可以自动检测出敌方的位置，数据融合技术在该系统中得到了最早的体现。进入80年代以后，高技术兵器尤其是精确制导武器和远程打击武器的出现，已使战场范围扩大到陆、海、空、天和电磁五维空间。为了获得最佳的作战效果，在新一代作战系统中依靠单传感器提供信息已无法满足作战需要，必须运用包括微波、毫米波、电视、红外、激光、电子支援措施(Electronic Support Measure, ESM)以及电子情报技术(Electronic Intelligence Technology, ELINT)等覆盖宽广频段的各种有源和无源探测器在内的多传感器集成，来提供多种观测数据，通过优化综合处理，实时发现目标，获取目标状态估计，识别目标属性，分析行为意图并进行态势评估和威胁分析，提供火力控制、精确制导、电子对抗、作战模式和辅助决策等作战信息。在多传感器系统中，由于数据表现形式的多样性，数据数量的巨大性，数据关系的复杂性，以及要求数据处理的及时性，都已大大超出了人脑的信息综合处理能力，同时，随着各种面向复杂应用背景的多传感器系统的大量涌现，以及其他相关学科或学科方向（如：计算机科学、信号处理、模式识别、概率统计、图形图像处理、人工智能和神经网络等）的发展，一个新兴的学科——多传感器数据融合便应运而生。

数据融合是指利用计算机技术对按时序获得的若干传感器的观测信息在一定准则下加以自动分析、优化综合以完成所需的决策和估计任务而进行的信息处理过程。根据此定义，数据融合又被称作多元信息关联、多元信息合成、多传感器混合、多传感器融合和多传感器信息融合，即信息融合等。

近20多年来，多传感器数据融合技术越来越受到人们的关注，融合一词十分频繁地被众多应用领域所引用。这些应用领域主要有：海上监视、空一空防御、地一空防御、战场情报、机器人和智能仪器系统、目标检测和跟踪、自动目标识别、图像分析和理解、多源图像复合等。

本书的作者多年来一直从事本领域的研究工作，深感有必要将自己的研究成果结合本领域的新方法、新进展、新趋势撰写一本学术专著，对数据融合理论与方法及应用系统作一详细介绍，这正是《数据融合及其应用》的由来。我们相信，本书的出版将对我国数据融合方面的研究起到一定的推动作用。

全书共分14章。第1章“绪论”概述了多传感器数据融合的发展与研究现状，详细论述了数据融合中可观测性与数据关联的特点和发展概况，并介绍了本书的主要研究内容，作为以后各章的研究基础。第2章总结了在理论研究与实际应用中所涉及的Kalman滤波理论与方法。第3章详细介绍了神经网络的基本概念、基本原理以及神经网络用于数据融合中状态估计的理论和方法。第4章先对不确定性推理中的概率方法、贝叶斯估计和D-S证据理论的基本概念、理论和方法作一简要回顾，然后对这几种方法进行了比较。第5章对在二维空

间作匀速运动目标的可观测性研究成果进行了简要回顾,在此基础上,针对作加速运动的目标,获得了二维系统可观测的必要条件,并对纯角度观测目标状态估计进行了研究。第6章对在三维空间作匀速运动的目标的可观测性研究成果进行了简要回顾,在此基础上,针对作加速运动的目标,获得了三位系统可观测的必要条件。第7章首先提出了基于间歇式工作雷达的红外多目标跟踪系统的总体结构,然后给出了有关算法,最后对所提出的算法进行了仿真研究。第8章先对JPDA算法作一简单回顾,然后对基于Hopfield神经网络的TSP研究方法和基于Hopfield神经网络的JPDA方法进行了讨论,在此基础上提出了改进的基于Hopfield神经网络的JPDA方法。第9章在拟方向门的基础上,把目标的位置特性和速度特性结合起来,提出了基于椭圆跟踪门和拟方向跟踪相结合的双门限数据关联跟踪算法。第10章首先在原有的基于反馈的雷达和红外航迹融合系统中引入控制反馈部件,然后给出了完整的基于反馈的雷达和红外航迹综合融合系统的体系结构和算法。第11章把强跟踪(SFEKF)思想引入多传感器分布式融合领域,以反馈前后形成的跟踪门的交集为系统的有效跟踪门,将SFEKF和PDF相结合,提出了一种基于强跟踪滤波和反馈综合的多传感器分布式航迹融合算法。第12章首先给出了一种红外/雷达双模融合算法的总体结构。在此基础上,提出了基于模糊规则和双模信息融合的目标识别策略,以及相应算法。第13章在数据融合的基础上,将模糊运算和层次分析法结合起来用于求解威胁估计问题。第14章把炮兵多传感器数据融合系统作为数据融合技术应用的一个实际例子,进行了系统分析、系统总体结构设计和算法研究、程序开发等。

本书第一作者杨国胜博士在1999~2002年间师从于北京理工大学侯朝桢教授攻读博士学位,为本书的写作打下了坚实的理论基础。在此期间,作者还在北京理工大学陈杰教授指导下从事有关研究工作,受益匪浅。在本书出版之际,谨向他们表示衷心的感谢。

博士研究生潘秀芹、硕士研究生朱峰等同学为本书的写作提供了部分算法和程序,参加了文字修改工作。本书第一作者的夫人杨莉萍女士为本书的文字录入和修改付出了辛勤的劳动。本书的责任编辑为本书的高质量出版花费了大量的心血,在此一并致谢。

书中引用了一些作者的论著及其研究成果,对于这本书的撰写是非常重要的,我们在此向他们表示深深的敬意和诚挚的感谢。

由于作者理论水平有限以及研究工作的局限性,特别是数据融合理论本身正处在不断发展之中,书中错误在所难免。对于书中的不当之处,敬请广大读者批评指正。

杨国胜 谨于2003年1月
窦丽华

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 数据融合的定义	(1)
1.2 数据融合的功能模型	(2)
1.2.1 检测级融合	(3)
1.2.2 位置级融合	(3)
1.2.3 目标识别级融合	(4)
1.2.4 态势评估和威胁估计	(5)
1.3 目标可观测性	(5)
1.4 数据融合的关联问题	(7)
1.5 数据融合方法	(8)
1.6 数据融合技术应用	(9)
1.7 数据融合技术研究历史与现状	(10)
1.8 小结	(11)
参考文献	(11)
第 2 章 状态估计理论基础	(14)
2.1 引言	(14)
2.2 状态估计的基本问题	(14)
2.2.1 Kalman 滤波问题的提法	(14)
2.2.2 连续系统离散化问题	(16)
2.3 数学预备知识	(18)
2.4 离散系统 Kalman 最优滤波基本方程	(19)
2.4.1 Kalman 最优滤波公式的证明	(20)
2.4.2 Kalman 最优滤波公式及框图	(22)
2.4.3 Kalman 最优滤波公式的几种变形	(22)
2.5 Kalman 最优滤波的几个性质讨论	(23)
2.5.1 滤波增益阵和误差协方差阵的选取	(23)
2.5.2 滤波发散问题讨论	(24)
2.6 简化的 Kalman 滤波	(24)
2.6.1 降低 Kalman 滤波计算量的途径	(24)
2.6.2 常增益滤波	(25)
2.6.3 状态约简	(25)
2.6.4 分段循环 Kalman 滤波	(25)
2.6.5 解耦 Kalman 滤波	(25)

2.7	适应于有色噪声的 Kalman 滤波	(26)
2.7.1	自回归滑动平均模型	(26)
2.7.2	系统噪声是有色噪声, 观测噪声是白噪声	(27)
2.7.3	系统噪声是白噪声, 观测噪声是有色噪声	(27)
2.8	非线性滤波	(28)
2.8.1	围绕标称状态的线性化滤波	(29)
2.8.2	推广的 Kalman 滤波	(31)
2.8.3	二阶滤波	(32)
2.9	小结	(32)
	参考文献	(33)
第 3 章	基于神经网络的状态估计	(34)
3.1	引言	(34)
3.2	人工神经元模型	(34)
3.3	基于神经网络的状态估计模型	(36)
3.4	神经网络的状态估计	(37)
3.4.1	问题的提出	(37)
3.4.2	基本的最小二乘状态估计	(39)
3.4.3	基于神经网络的状态估计	(40)
3.5	小结	(41)
	参考文献	(41)
第 4 章	不确定性推理	(42)
4.1	引言	(42)
4.2	概率推理原理	(42)
4.2.1	基本的数学概念	(42)
4.2.2	概率推理	(43)
4.3	主观 Bayes 不确定性推理方法	(44)
4.3.1	主观 Bayes 推理的基本方法	(44)
4.3.2	主观 Bayes 推理的有关问题讨论	(47)
4.4	证据理论的不确定性推理方法	(49)
4.4.1	证据理论的基本概念	(49)
4.4.2	证据理论的合成规则	(50)
4.4.3	基于证据理论的决策	(52)
4.4.4	证据理论的优缺点	(53)
4.5	主观 Bayes 方法和证据理论的比较	(53)
4.6	小结	(54)
	参考文献	(54)

第 5 章 二维 TMA 可观测性研究	(55)
5.1 匀速直线运动目标 TMA 可观测性研究.....	(55)
5.1.1 问题的提出.....	(55)
5.1.2 矩阵 $A(t)$ 满秩条件分析.....	(57)
5.2 基于纯角度观测的匀速运动目标状态估计.....	(58)
5.2.1 模型描述.....	(58)
5.2.2 准线性 Kalman 滤波状态估计.....	(58)
5.2.3 基于辅助变量的 Kalman 滤波状态估计.....	(59)
5.3 匀加速运动目标 TMA 可观测性研究.....	(60)
5.3.1 问题的提出.....	(60)
5.3.2 矩阵 $A(t)$ 可逆的条件分析.....	(61)
5.4 推论.....	(63)
5.5 小结.....	(64)
参考文献.....	(64)
第 6 章 三维 TMA 可观测性研究	(65)
6.1 匀速直线运动目标 TMA 可观测性研究.....	(65)
6.1.1 问题的描述.....	(65)
6.1.2 可观测性条件分析.....	(67)
6.2 匀加速运动目标 TMA 可观测性研究.....	(69)
6.2.1 问题的描述.....	(69)
6.2.2 可观测性条件分析.....	(70)
6.3 推论.....	(72)
6.4 小结.....	(72)
参考文献.....	(72)
第 7 章 基于主动雷达的红外被动观测系统研究	(74)
7.1 总体结构研究.....	(75)
7.1.1IRSTDFS 功能描述.....	(76)
7.1.2 RDFS 功能描述.....	(76)
7.1.3 SDS 功能描述.....	(76)
7.2 算法研究.....	(77)
7.2.1 目标初始航迹确认.....	(77)
7.2.2 状态估计.....	(79)
7.2.3 机动检测和协调决策.....	(82)
7.3 仿真研究.....	(83)
7.3.1 环境想定.....	(83)
7.3.2 传感器模型.....	(84)

7.3.3 仿真结果	(84)
7.4 小结	(86)
参考文献	(86)
第 8 章 多目标数据关联的神经网络方法研究	(88)
8.1 JPDA 算法及其计算组合爆炸	(88)
8.1.1 JPDA 算法的基本思想	(89)
8.1.2 JPDA 算法计算组合爆炸描述	(93)
8.2 基于 Hopfield 网络的 TSP 研究	(94)
8.2.1 Hopfield 网络描述	(94)
8.2.2 TSP 的 Hopfield 网络方法	(95)
8.3 基于 Hopfield 网络的 JPDA (JPDAN)研究	(96)
8.4 改进的基于 Hopfield 网络的 JPDA(MJPDAN)研究	(97)
8.5 仿真研究	(98)
8.6 小结	(100)
参考文献	(101)
第 9 章 联合概率数据关联双门限跟踪算法研究	(102)
9.1 跟踪门 1(椭球跟踪门)的确认	(103)
9.1.1 矩形跟踪门	(103)
9.1.2 椭球跟踪门	(104)
9.1.3 矩形与椭球跟踪门的比较	(105)
9.2 跟踪门 2(方向跟踪门)的确认	(105)
9.2.1 方向跟踪门的引入	(105)
9.2.2 σ_θ 和 σ_β 的确定	(106)
9.3 仿真研究	(107)
9.3.1 仿真模型与结果	(107)
9.3.2 降低 JPDA 计算量的仿真结果分析	(111)
9.4 小结	(112)
参考文献	(112)
第 10 章 基于反馈综合的雷达和红外航迹融合算法研究	(114)
10.1 基于反馈的雷达和红外航迹融合系统总体结构	(115)
10.1.1 系统总体结构	(115)
10.1.2 功能描述	(115)
10.2 基于雷达或红外单个传感器的状态估计	(116)
10.3 带有反馈的雷达和红外航迹融合算法	(118)
10.3.1 融合算法	(118)
10.3.2 反馈算法	(120)

10.4	仿真研究	(121)
10.5	小结	(122)
	参考文献	(123)
第 11 章	基于强跟踪和反馈综合的多传感器分布式航迹融合	(124)
11.1	强跟踪滤波器	(125)
11.1.1	系统描述	(125)
11.1.2	强跟踪滤波的思想	(125)
11.1.3	强跟踪滤波器	(126)
11.2	基于强跟踪和反馈的航迹融合算法	(127)
11.2.1	基于强跟踪滤波的融合算法	(127)
11.2.2	有效跟踪门的确定	(128)
11.3	遗忘因子的确定	(129)
11.4	仿真研究	(129)
11.5	小结	(131)
	参考文献	(132)
第 12 章	基于神经—模糊技术的目标图像双模融合识别研究	(133)
12.1	模糊集理论	(133)
12.1.1	基本概念	(133)
12.1.2	基本运算	(134)
12.1.3	模糊推理基本规则	(135)
12.2	模糊神经网络	(135)
12.3	基于神经模糊的红外/雷达双模融合的目标识别	(136)
12.3.1	红外/雷达双模融合的目标识别总体结构	(136)
12.3.2	融合识别算法研究	(136)
12.4	融合识别算法	(139)
12.4.1	设计基本概率赋值函数	(139)
12.4.2	融合识别算法	(140)
12.5	仿真研究	(141)
12.6	小结	(142)
	参考文献	(142)
第 13 章	威胁估计算法研究	(144)
13.1	威胁估计的基本问题	(144)
13.1.1	威胁估计的基本功能	(144)
13.1.2	威胁估计的研究方法	(144)
13.2	模糊运算方法和层次分析法	(146)
13.2.1	模糊运算方法	(146)

13.2.2	层次分析法	(147)
13.3	威胁权函数的确定	(151)
13.3.1	确定威胁程度的算法	(151)
13.3.2	算法的应用举例	(153)
13.3.3	确定威胁权函数的表达式	(154)
13.4	仿真	(154)
13.4.1	仿真条件	(154)
13.4.2	仿真结果及评估方法	(154)
13.5	小结	(156)
	参考文献	(156)
第 14 章	数据融合在炮兵作战指挥系统中的应用	(157)
14.1	系统分析	(157)
14.1.1	炮兵打击的目标	(157)
14.1.2	炮兵侦察设施	(157)
14.1.3	融合系统的功能	(158)
14.2	炮兵多传感器数据融合系统总体结构和算法研究	(158)
14.2.1	系统总体结构	(158)
14.2.2	融合算法研究	(159)
14.3	计算机仿真	(161)
14.3.1	仿真环境	(161)
14.3.2	仿真结果	(162)
14.4	应用程序开发	(163)
14.5	小结	(164)
	参考文献	(164)

第 1 章 绪 论

1.1 数据融合的定义

人类通过各种感觉器官(如:眼、耳、鼻、舌、身)从外界获取各种信息来识别环境和物体状况。即使这些信息总含有一定的不确定的、矛盾的或错误的成分,人类也可以将各种传感器信息综合起来,并使这些感觉信息相互补充、印证,完整地处理具有不同功能的多传感器所获取的信息,实现由单个传感器不能实现的识别功能。与此同时,人类还可以根据需要不断调整自己的感官,使得人的感官对于不同时空范围内发生的物理现象能采取不同的测量特征来度量、获取和提炼。将这种方法用于工程实践中,就称为数据融合^[1,2](Data Fusion)或多传感器数据融合(Multi-sensor Data Fusion)。

早在第二次世界大战末期,就出现了将雷达、光学和测距装置等多种信息用于高炮火力控制系统的例子。由于这种系统在当时还不能对战争形势产生重大影响,因而并未引起人们的充分注意。20世纪70年代初期,美国的军事机构开始研究数据的自动化综合处理。1973年美国国防部资助开发了多个连续声纳信号处理系统,可以自动检测出敌方的位置,数据融合技术在该系统中得到了最早的体现^[3]。进入80年代以后,高技术兵器尤其是精确制导武器和远程打击武器的出现,已使战场范围扩大到陆、海、空、天和电磁五维空间。为了获得最佳的作战效果,在新一代作战系统中依靠单传感器提供信息已无法满足作战需要,必须运用包括微波、毫米波、电视、红外、激光、电子支援措施(Electronic Support Measure, ESM)以及电子情报技术(Electronic Intelligence Technology, ELINT)等覆盖宽广频段的各种有源和无源探测器在内的多传感器集成,来提供多种观测数据,通过优化综合处理,实时发现目标,获取目标状态估计,识别目标属性,分析行为意图并进行态势评估和威胁分析,提供火力控制、精确制导、电子对抗、作战模式和辅助决策等作战信息。在多传感器系统中,由于数据表现形式的多样性,数据数量的巨大性,数据关系的复杂性,以及要求数据处理的及时性,都已大大超出了人脑的信息综合处理能力,同时,随着各种面向复杂应用背景的多传感器系统的大量涌现,以及其他相关学科或学科方向(如:计算机科学、信号处理、模式识别、概率统计、图形图像处理、人工智能和神经网络等)的发展,一个新兴的学科——多传感器数据融合便应运而生^[4]。

近20多年来,多传感器数据融合技术越来越受到人们的关注,融合一词十分频繁地被众多应用领域所引用^[3-7]。这些应用领域主要有:海上监视、空-空防御、地-空防御、战场情报、机器人和智能仪器系统、目标检测和跟踪、自动目标识别、图像分析和理解、多源图像复合等。而通常我们所说的数据融合是针对使用多个和/或多类传感器的一个系统这一特定

问题而开展的一种信息处理的新方法,因此数据融合又被称作多元信息关联、多元信息合成、多传感器混合和多传感器融合等,更广泛的说法是多传感器信息融合,即信息融合。

在军事领域,数据融合定义为检测、关联(相关)、状态估计、目标识别、态势描述、威胁估计、传感器管理和数据库管理的多级别多层次的信息处理过程,以便获得准确的状态估计和身份识别,完整的战场态势描述和威胁估计。这一定义强调数据融合的核心是指对来自多个传感器的数据进行多级别、多方面、多层次的处理,从而产生新的有意义的信息,而这种新信息是任何单一传感器所无法获得的。

多传感器信息融合的另一普遍说法是多传感器数据融合,但就信息和数据的内涵而论,信息不仅包括了数据,而且包括了信号和知识,所以用多传感器信息融合一词更具有概括性。

由此可以看出,由于信息融合所研究内容的广泛性和多样性,目前要给出数据融合一个统一的定义是非常困难的。综合文献[1~7],数据融合的一般定义可大致概括为:利用计算机技术对按时序获得的若干传感器的观测信息在一定准则下加以自动分析、优化综合以完成所需的决策和估计任务而进行的信息处理过程。按照这一定义,各种传感器是信息融合的基础,〔多源信息是信息融合的加工对象,协调优化和综合处理是信息融合的核心。〕

1.2 数据融合的功能模型

由于研究内容的广泛性和多样性,信息融合已被应用到很多领域的研究开发中。为了统一起见,Waltz 和 Linas 努力为信息融合的研究者提供一个公共参考框架,其要点是开发一个信息融合的一般处理模型,为进一步给出信息融合的一些论点和文体提供了一个公共参考〔5,6〕。在此基础上,White 给出了一个著名的一般处理模型。尽管该模型有其局限性而且是在军事应用背景下建立的,但是后来不断作了扩展,同样适用于其他各个领域。其基本思想如图 1-1 所示。

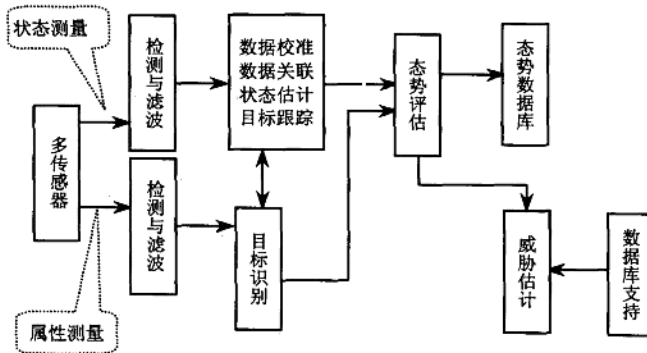


图 1-1 信息融合功能模型图

在图 1-1 的模型中,信息融合系统的功能主要有检测、校准、关联、估计、跟踪、识别、态势评估和威胁估计。数据校准的作用是为了统一各传感器的时间和空间参考点〔若各传感器在时间和空间上是独立异步工作的,则必须先进行时间和空间校准,即进行时间搬移和坐标变换,以形成融合所需的统一的时间和空间参考点。〕下面简要介绍其他功能单元的作用。

1.2.1 检测级融合

检测级融合是直接¹在多传感器检测系统中检测判决或在信号层上直接进行的融合。它具有两种处理形式：即集中式和分布式。对于集中式，所有的局部传感器将检测到的原始观测信号全部直接送给中心处理器，然后利用由经典的统计推断理论设计的算法完成最优目标检测任务。而在多传感器分布检测系统中，每个传感器对所获得的观测先进行一定的预处理，然后将压缩的信息传送给其他传感器，最后在某一中心汇总和融合这些信息产生全局检测判决。这种融合通常有两种处理形式：一种是硬判决融合，即融合中心处理 0、1 形式的局部判决；另一种是软判决融合，中心除了处理硬判决信息外，还处理来自局部节点的统计量，经过融合获得全局决策。分布式系统由于减轻了系统内部的通信压力和提高了系统的可行性的缘故而倍受人们的推崇。正因如此，对于多传感器目标检测理论的研究主要集中于分布式。Tenney 和 Sandle 首次将 Bayes(Bayes)决策理论推广到分布式传感器检测情形。Ekchian 和 Tenney 给出了各种分布式传感器网络拓扑问题的公式解，Kushner 和 Pacut 针对一种特别的分布式检测问题作了类似的研究。Thomopoulos 等考虑了 N-P 方法和最大后验概率方法在分布式传感器目标检测问题的应用，并取得了较为深入的研究结果。Varshney、Sadjadi 和 Alibrahim 探讨了分布式环境中的各种假设检验问题。朱允民从无穷维优化和不动点理论的观点出发，阐述了分布式统计决策的基本理论和方法，主要包括 Bayes、N-P 和序贯等同级决策的各传感器最优处理律的不动点类必要条件以及由此导出的迭代算法、收敛性分析和中心站最优融合律等。

1.2.2 位置级融合

位置级融合是直接²在传感器的观测报告或测量点迹以及传感器的状态估计上进行的融合，包括时间和空间上的融合，主要实现参数相关和状态向量估计，是跟踪级融合。跟踪系统包括单传感器跟踪系统和多传感器跟踪系统。对单传感器跟踪系统来说，主要是按时间先后对目标在不同时间的观测值，即检测报告的融合，如边扫描边跟踪(Tracking while scanning, TWS)雷达系统，红外和声纳等传感器的多目标跟踪与估计都属于这类性质的融合。对多传感器跟踪，融合系统无论是采用集中方式、分布式还是混合方式，都必须进行数据关联。数据关联的作用是判别不同时间、空间的数据是否来自同一目标，即使用关联门限对校准后的传感器数据进行比较，把落入门限之内的观测数据分配给对应的目标。但在实际的多目标跟踪环境中，经常会出现要么多个观测落入同一跟踪门内，要么单个观测落入多个跟踪门的交集内的情况。解决这类问题有两种方法：其一是“最近邻”方法^[8]，即选择使统计距离最小或残差概率最大的回波作为目标回波；其二是“全邻”方法，即首先根据相关情况计算目标与观测的各概率加权系数，并把跟踪门各回波的加权和作为等效回波，然后用各等效回波更新多个目标的状态。这种方法的典型代表有：多模型一概率数据关联方法^[9]、联合概率数据互联方法、多假设方法和神经网络方法^[10]。

集中式位置级融合是将各传感器的结点数据都送到融合中心，首先按对目标观测的时间先后对测量点迹进行时间融合，然后对各个传感器在同一时刻对同一目标的观测进行空间融合，它包括了多传感器综合跟踪与状态估计的全过程。这种方法可实现实时融合，其数据处理的精度高，算法灵活，缺点是数据量大，对处理器要求高，系统的鲁棒性差，难

于实现。

在分布式多传感器跟踪系统中，各传感器首先完成单传感器的多目标跟踪与状态估计，然后各传感器把获得的目标航迹信息送入融合节点，并在融合节点完成坐标变换、时间校正或对准，然后基于这些传感器的目标状态估计进行航迹关联(相关)处理，最后对来自同一目标的估计航迹进行航迹融合，即实现目标估计航迹之间的空间融合。分布式对通信带宽要求低，计算速度快，可靠性和延续性好，但融合精度没有集中式高。

混合式位置信息融合是集中式和分布式多传感器系统相组合的混合结构。传感器的检测报告和目标状态估计的航迹信息都被送入融合中心，在那里既进行时间融合，也进行空间融合。由于这种结构要同时处理检测报告和航迹估计，并进行优化组合，它需要复杂的处理逻辑。

1.2.3 目标识别级融合

目标识别是对基于不同传感器获得的目标属性数据形成的一个组合进行目标身份说明，其基本过程如图 1-2 所示。图中，从各传感器提供的目标属性中提取目标特征，先进行目标局部身份识别，然后根据目标已知特征数据库，利用基于特征和基于知识的推理技术进行目标局部身份关联和融合，获得目标的全局融合识别。在军事上，信息融合的目的是对观测实体进行定位、表征和识别。身份估计的非军事运用包括复杂系统设备故障的识别和隔离，使用传感器数据监视生产过程等。用于目标识别的技术主要有模板法、聚类分类、自适应神经网络，或识别实体身份的基于知识的技术。目标识别(属性)层的信息融合有三种方法：即决策级融合、特征级融合和数据级融合。

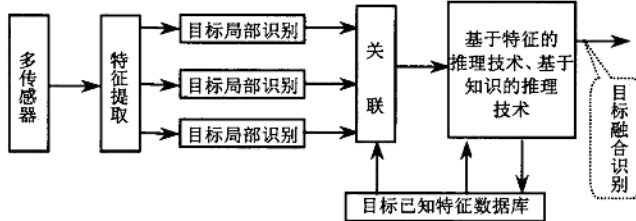


图 1-2 目标识别结构图

(1) 决策级融合

在决策级融合方法中，每个传感器都完成变换以便获得独立的身份估计，然后再对来自每个传感器的属性分类进行融合。用于融合身份估计的技术包括表决法、Bayes 推理、D-S 证据理论、模糊集法等。

(2) 特征级融合

在特征级融合方法中，每个传感器观测一个目标并完成特征提取以获得来自每个传感器的特征向量。然后融合这些特征向量并基于获得的联合特征向量来产生身份估计。在这种方法中，必须使用关联处理，把特征向量分成有意义的群组。

(3) 数据级融合

在数据级融合方法中，对来自同等量级的传感器原始数据直接进行融合，然后基于融合

的传感器数据进行特征提取和身份估计。为了实现这种数据级的信息融合,所有传感器必须是同类型的(例如若干个红外传感器)或是相同量级的(如红外和可见光图像传感器)。通过对原始数据进行关联,来确定待融合的数据是否与同一目标或实体有关。有了融合的传感器数据之后就可以完成类似于单传感器的识别处理过程。对于图像传感器,数据级融合一般涉及到图像画面元素级的融合,因而数据级融合也常称为像素级融合。像素级融合主要用于多源图像复合、图像分析和理解、同类雷达波形的直接合成等。

1.2.4 态势评估和威胁估计

态势评估是建立关于作战活动、事件、机动、位置和兵力要素组织形式的一张视图,并由此估计出正在发生和已经发生的事情;而威胁估计的任务则是估计出作战事件出现的程度和严重性。它们的区别在于,前者仅指出了敌军的行为模式,而后者对其威胁能力给出了定量估计,并指出了敌军的意图。态势评估除了通过各种传感器获得的信息外,还需要考虑地理环境、兵力结构、社会政治等因素;威胁估计需要考虑敌方兵力的摧毁能力、弱点、意图等因素。因此,要全面获取这些知识,建立一个可信度很高的模型,并使其满足系统快速处理的要求,是相当困难的。到目前为止,这一领域的发展相当缓慢,对这类复杂的问题只能部分解决,其算法主要有:多样本假设检验、经典推理、模糊集理论、模板技术、品质因数法、条件事实代数法^[11]和基于知识及专家系统技术的方法^[12]等。

1.3 目标可观测性

构成信息融合系统的传感器有主动传感器和被动传感器两大类。常用的被动传感器有红外、声纳、电子支援 ESM 等。这些被动传感器最大的特点是隐蔽性好、抗干扰能力强。但是,被动传感器只能提供目标的属性信息和方位信息,而没有距离信息,从而使信息融合系统面临很大的不确定性。如何利用这些被动传感器的观测信息来拟合目标的运动轨迹,从而估算出运动的状态参数,这是目标运动分析(Target motion analysis, TMA)要解决的问题,即可观测性问题,这也是跟踪级融合研究的热点之一。

信息融合中的可观测性问题按目标特性可分成两大类:固定目标定位和运动目标跟踪。固定目标定位问题的研究包括固定观测器和机动观测器两种情况。对于固定观测器这一种情况,通过对分布在相距距离已知的不同位置上的多被动传感器对同一目标而获得的观测值的融合基本上得到了解决。而对于机动观测器这一种情况,文献[13-17]都给出了大量的研究成果。Hammel 等在文献[16]中提出了基于直接最大化费歇尔信息矩阵行列式纯方位目标定位机动观测器最优轨迹的近似数值解法。根据文献[16],Oshman^[17]在数学上用公式描述了纯方位观测者最优轨迹问题,给出了限制性和非限制性两个公式系,提出了解决最优控制问题的数值方法。至此,机动观测器纯方位目标定位也获得了基本解决。

对于用被动传感器组成的目标跟踪系统的研究,主要集中在对跟踪滤波算法的研究。跟踪滤波器的设计很大程度上受下述数学模型的影响:

- (1) 传感器提供的量测(观测方程);
- (2) 被跟踪目标的运动形式。

这两种模型都依赖于所采用的坐标系体制。一般说来,有两种坐标系可供选择:一种是直

角坐标系,另一种是球面坐标系。通常被动传感器的量测是在球面坐标系中进行的,而目标的状态方程在直角坐标系中则可以线性表示。如果仅在一种坐标系中建立目标的动态方程,要么动态方程线性,量测方程非线性;要么状态方程非线性,量测方程线性。由于目标的动态方程往往是在直角坐标系下根据牛顿运动学原理获得的一个线性状态方程,如果直接将观测向量转换到直角坐标系下,观测噪声是互相关的,不符合 Kalman(Kalman)滤波基本方程对观测噪声的统计假设。在这种情况下,Aidela、Weiss 和 Moore 已经证明对于仅有方位数据的单传感器跟踪目标的运动分析来说,采用直角坐标系是不稳定的。

为克服这种不足,在实际的跟踪系统中,采用混合坐标系,运用扩展的 Kalman 滤波器来完成。其基本思想为:在直角坐标系下建立目标的运动状态方程,在球坐标系下建立量测方程。运用线性化手段,将测量方程线性化,获得线性测量矩阵。在直角坐标系下完成滤波后,再变换到球面坐标系中去完成测量残差计算。这种算法稳定,计算简单,且易于实现,但遗憾的是,它存在着有偏估计特性。

Aidela 和 Hammel 对被动传感器跟踪问题进行了详细研究。采用在修正的球坐标系下描述目标的状态方程和量测方程,运用扩展的 Kalman 滤波器进行滤波,获得了纯角度量测目标状态的无偏估计。

目标状态可观测是进行目标状态滤波和估计的前提条件。上面所论述的关于被动传感器组成的跟踪系统目标状态估计的研究都是在目标状态可观测的前提下进行的。由于被动传感器组成的跟踪系统大都是仅有角度量测的跟踪问题,因而对目标跟踪时所面临的一个重要而困难的问题就是系统对目标距离状态所存在的不可观测性问题^[18,19],这一可观测性问题除了和传感器有关外,还和目标与观测站之间的相对运动状态有关。因此,在对被动传感器组成的跟踪系统进行目标状态估计研究之前,必须先对纯角度量测目标状态可观测性问题作一研究。

针对在二维空间作匀速运动的目标,文献[18]对其可观测性进行了研究,获得了目标状态可观测的充分必要条件。文献[19]对这一问题进行了更深入的研究,将文献[18]的结果推广到在三维空间作匀速运动的目标,对目标状态可观测的条件进行了严格的数学证明,并将二维空间的情况作为三维空间的一个特例。

在文献[18,19]的基础上,针对较复杂的运动目标(如:目标在二维或三维空间作匀加速运动),文献[20]进行了可观测性的进一步研究,取得了比较有意义的研究成果。

对于纯方位目标跟踪系统,文献[13]针对在二维和三维空间作匀速直线运动的目标,给出了系统状态可观测的最小约束输入公式系。在这一公式系中,利用纯方位以及纯方位的各阶变化率,分成瞬时、一个时间间隔、两个时间间隔和三个时间间隔四种情况,证明了量测次数与约束输入个数、方程个数、未知量个数的关系对系统可观测的制约条件,同时指出对于被动观测器无机动(或固定不动),要实现可观测,必须增加观测信息。这为分析系统的可观测性,以实现系统状态的最佳估计提供了可靠的理论基础。从另外一个角度出发,把被动传感器和主动传感器(如:红外传感器和雷达组合)结合起来,利用传感器之间的互补特性,一方面可以解决目标可观测性问题,另一方面,可以对目标进行精确的位置估计。根据这一观点,文献[21]对目标可观测性以及状态估计进行了研究,获得了红外和间歇式雷达信息融合的协调决策方法。