

信息技术丛书

文成林 周东华 著

多尺度估计 理论及其应用



清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



信息技术丛书

多尺度估计理论及其应用

文成林 周东华 著

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书是关于多尺度估计理论及其应用的一本专著,主要汇集了作者们近年来在小波滤波、多传感器数据融合、多尺度系统理论、多尺度随机建模及多尺度递归卡尔曼滤波理论、多尺度强跟踪滤波理论及其在故障诊断中的应用等方面的研究成果,同时也介绍了近年来在多尺度系统理论研究领域的一些基本原理和主要方法。本书涉及到的理论方法有:动态系统的多尺度变换、动态系统状态的多尺度估计、多尺度随机建模与多尺度自回归过程的参数化估计、多尺度线性逆问题求解、多尺度强跟踪滤波理论等。

本书可作为信息科学专业研究生的教学参考书,同时对从事多源信息融合技术研究、开发和应用的广大工程技术人员也具有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

多尺度估计理论及其应用/文成林,周东华著. —北京:清华大学出版社,2002
(信息技术丛书/李衍达,郑大钟主编)

ISBN 7-302-05667-6

I. 多… II. ①文… ②周… III. 估计—理论 IV. O211.67

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 056144 号

出 版 者: 清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

印 刷 者: 北京国马印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787×1092 1/16 印张: 19.5 字数: 448 千字

版 次: 2002 年 9 月第 1 版 2002 年 9 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-05667-6/TP·3342

印 数: 0001~3000

定 价: 35.00 元

《信息技术丛书》

出版说明

当今的时代为信息时代。信息科学技术的快速发展和广泛渗透已经成为现今社会的一个重要的时代特征。人类社会的生产活动和生活质量,比以往任何时代都更加得益于和依赖于信息技术的成就和发展。自动化是信息技术领域的主要组成部分之一,包括信号和信息处理、模式识别、知识工程、控制理论、自动化技术、传感技术、自动化仪表、系统工程、机器人控制、计算机控制与应用、网络技术等在內,都和信息科学与技术有着直接和密切的关系,几乎涉及到了信息的检测、分析、处理、控制和应用等所有方面。正是基于当今时代特点和科技发展态势这个大视野,结合自动化类专业人才培养模式及教学内容体系的改革,我们规划和组织了这套丛书的编写和出版。这套丛书的读者,定位为自动控制、过程自动化、计算机、电子工程、电气工程、动力工程、机械自动化系等科的高年级大学生和研究生,以及这些领域和部门的科学工作者和工程技术人员。

十年前,我们曾经组编和出版过一套《信息、控制与系统》系列教材,产生了比较大的社会影响,其中的许多著作至今仍然被国内很多高等学校用作教材,并被广大相关的科技人员作为进修和自学读物。现在组编和出版的这套《信息技术丛书》,从一定意义上可以说,就是先前的那套系列教材的发展和延伸,以反映新的进展和适应新的需求,匹配于变化了的时代和发展了的科技。列入这套丛书中的著作,大都是清华大学自动化等系所开设的课程中经过较长教学实践而形成的,既有在多年教学经验基础上新编而成的教材,也有属于原系列教材中的部分教材的修订版本。总体上,这套丛书仍将保持原系列教材的求新与求实的风格,力求反映所属学科的基本理论和新近进展,力求做到科学性和教学性的统一,力求体现清华大学近年来在相应学科和领域中科学研究与教学改革成果。

我们希望这套丛书,既能为在校大学生和研究生学习提供内容较新和论述较为系统的教材,也能为广大科技人员的继续学习与知识更新提供适合的和有价值的参考书。我们同时热忱欢迎,选用这套丛书的老师、学生和科技工作者提出批评和建议。

《信息技术丛书》编委会

1999年10月

《信息技术丛书》编委会

主 编 李衍达 郑大钟

编 委 金以慧 边肇祺
 陈禹六 杨家本
 周东华 蔡鸿程

责任编辑 蔡鸿程 王一玲

10.7.07/05

前 言

在自然界和工程实践中,许多现象或过程都具有多尺度特征或多尺度效应,同时,人们对现象或过程的观察及测量往往也是在不同尺度(分辨率)上进行的,因此,用多尺度系统理论来描述、分析这些现象或过程是十分自然的,它能够很好地表现这些现象或过程的本质特征。此外,在解决许多实际问题时,多尺度方法具有思路清晰、简洁、计算复杂性低等优点。所以,近年来它受到许多学科领域内众多科学工作者的高度重视,在学术界掀起了多尺度系统理论及应用研究的高潮。

多尺度系统理论迄今已得到了迅速的发展,并在线性逆问题求解、地球物理学探测、医学诊断、图像处理、目标识别、目标跟踪、系统辨识、地下水文地理学和全球海洋模型、多传感器信息融合等研究领域取得了一系列研究成果。它已经成为近年来国内外研究的一个十分活跃的领域之一,国际上每年发表有关这方面的论文越来越多,所涉及的领域也越来越广泛。

作者近年来一直从事本领域的研究工作,深感有必要结合本领域的新成果、新进展和新趋势撰写一本学术专著,对各种多尺度估计理论与方法及其应用作系统性介绍。这也正是本书《多尺度估计理论及其应用》名称的由来。我们相信,本书的出版对我国这方面的研究和应用将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,详细叙述了多尺度系统理论及其应用技术的发展概况,介绍了多尺度估计理论研究的特点。第 2 章详细地介绍了在一般理论研究与工程技术应用中所涉及的小波分析中的基本概念、基本理论与方法。第 3 章总结在理论研究与实际应用中所涉及的卡尔曼滤波理论与方法。第 4 章和第 5 章是以后各章研究的基础。在第 4 章中扼要介绍了多尺度系统理论的基本框架;在第 5 章中,我们提出了动态系统多尺度分解的新概念。第 6 章对本书用到的各种分布式系统融合估计算法进行总结与推证。第 7、8、9 章分别就单传感器单模型、多传感器单模型、单传感器多模型和多传感器多模型等 4 种动态系统的多尺度估计算法进行了详细的推证。第 10 章和第 11 章分别对两种多尺度随机建模的过程进行了详细的推导,并将其应用于不同采样速率的多传感器数据融合估计中。第 12 章介绍一种基于多速率传感器的多尺度递归卡尔曼滤波新方法。第 13 章推证了基于多速率传感器的求解线性逆问题的多尺度算法。第 14 章首先讲述作者建立的强跟踪滤波理论,然后介绍将其与多尺度估计理论相结合,开展基于(同采样速率和不同采样速率)多传感器的非线性系统状态融合估计以及状态与参数联合估计、非线性系统故障诊断等应用方面的研究。

本书的许多研究内容得到了国家自然科学基金、国家 863 计划、国家教育部项目、中国博士后基金、河南省高校杰出科研人才创新工程项目、中国科学院自动化研究所模式识别国家重点实验室开放基金、清华大学智能技术与系统国家重点实验室开放基金、河南高

校世界银行贷款项目研究基金、河南省科委自然科学基金、河南省教委自然科学基金等大力支持,作者在此表示衷心的感谢。硕士生闫莉萍、孙大飞、杨晓艺和同福娜等同学参加了本书的部分章节文字录入和修改工作。第一作者的妻子杨宏梅女士为本书的校对付出了辛勤的劳动。本书的责任编辑为本书的高质量出版也付出了辛勤的劳动,在此一并致谢。

本书作者之一文成林博士在 1996—1999 年间师从于西北工业大学教授张洪才先生攻读博士学位,为本书的写作打下了坚实的理论基础,在此期间,文成林还在潘泉教授指导下从事有关研究工作,受益匪浅。河南大学田继善教授对文成林博士的成长也付出了辛勤的劳动。在本书正式出版之际,谨向他们表示衷心的感谢。

由于作者理论水平有限以及研究工作的局限性,特别是多尺度系统理论以及发展起来的多尺度估计理论本身正处在不断的发展之中,书中难免存在一些不足和错误,恳请广大读者批评指正。

文成林
周东华 谨于 2001 年 9 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 信息融合估计概述	1
1.1.1 信息融合的目的和定义	1
1.1.2 多传感器数据融合技术的特点	2
1.1.3 多传感器数据融合技术的应用	3
1.1.4 数据融合模型框架	5
1.1.5 多传感器系统体系结构	6
1.1.6 多传感器信号融合技术研究的历史与现状	7
1.2 多尺度估计理论概述	9
1.3 多尺度估计理论的特点	13
参考文献	13
第 2 章 小波分析理论基础	21
2.1 短时傅里叶变换	21
2.2 小波变换	22
2.2.1 连续小波变换	23
2.2.2 离散栅格下的小波变换	24
2.2.3 几种母小波	25
2.3 小波框架	26
2.3.1 框架	26
2.3.2 Riesz 基与正交基	27
2.3.3 小波框架	29
2.4 多尺度分析	31
2.4.1 多尺度分析的定义及基本性质	31
2.4.2 正交小波的构造条件	33
2.4.3 Daubechies 小波的构造	38
2.4.4 Mallat 算法	43
2.5 小波包	45
2.5.1 小波包分解的思想	45
2.5.2 小波包定义与性质	47
2.6 推广的小波	49

2.6.1	M 带正交小波	49
2.6.2	有理小波	51
2.7	小结	56
	参考文献	56
第 3 章	状态估计理论基础	58
3.1	引言	58
3.2	滤波问题的提出	58
3.2.1	卡尔曼滤波问题的提法	58
3.2.2	连续系统的离散化过程	60
3.2.3	离散系统卡尔曼滤波问题的分类	62
3.3	预备知识	62
3.3.1	矩阵求逆引理	62
3.3.2	正交定理	63
3.4	离散系统卡尔曼最优预测基本方程	64
3.4.1	状态的预测估计	65
3.4.2	状态预测估计的修正	65
3.4.3	最优增益阵	66
3.4.4	误差的无偏性及误差协方差阵	67
3.4.5	离散系统卡尔曼最优预测方程及方框图	68
3.5	离散系统卡尔曼最优滤波基本方程	70
3.5.1	卡尔曼最优滤波	70
3.5.2	最优增益阵	71
3.5.3	滤波估计误差及误差协方差阵	71
3.5.4	卡尔曼最优滤波公式及方框图	73
3.5.5	误差协方差阵及最优增益阵计算公式的几种变形	74
3.6	离散系统卡尔曼最优平滑基本方程	75
3.6.1	固定区间最优平滑	75
3.6.2	固定点最优平滑	81
3.6.3	固定滞后最优平滑	85
3.7	系统噪声或观测噪声为有色噪声的卡尔曼滤波	87
3.7.1	系统噪声为有色噪声, 观测噪声为白噪声	88
3.7.2	系统噪声为白噪声, 观测噪声为有色噪声	89
3.8	推广的卡尔曼滤波方程	90
3.8.1	围绕标称轨迹线性化滤波方法	91
3.8.2	围绕滤波值线性化滤波方法	93
3.9	小结	94

参考文献	94
第 4 章 多尺度系统理论	97
4.1 引言	97
4.2 多尺度表示和系统	98
4.3 系统理论及实现	101
4.3.1 定义在树上的系统	101
4.3.2 实现理论	103
4.4 因果、非因果系统的平稳性和随机过程	105
4.4.1 同态树及其几何性质	105
4.4.2 移位	107
4.4.3 平稳系统的特征	109
4.4.4 平稳系统的实现	110
4.4.5 平稳随机过程	111
4.4.6 谱计算	111
4.5 小结	112
参考文献	113
第 5 章 动态系统的多尺度变换	115
5.1 引言	115
5.2 系统描述	115
5.3 信号的多尺度表示	116
5.4 动态系统的多尺度分解	118
5.5 小结	122
附录	122
参考文献	125
第 6 章 分布式系统状态融合估计	127
6.1 引言	127
6.2 多传感器分布式状态融合估计	128
6.2.1 系统描述	128
6.2.2 多传感器分布式状态融合	129
6.3 单传感器多模型融合算法	134
6.3.1 系统描述	134
6.3.2 单传感器多模型融合估计算法	134
6.4 多传感器多模型融合估计算法	136
6.4.1 系统描述	136
6.4.2 多传感器多模型融合估计算法	137

6.5 小结	138
参考文献	138
第 7 章 单传感器单模型动态系统多尺度估计	141
7.1 引言	141
7.2 系统描述	141
7.3 多尺度系统模型	142
7.4 多尺度分布式估计算法	142
7.5 例子与仿真	152
7.6 小结	154
参考文献	154
第 8 章 多传感器单模型动态系统多尺度融合估计	155
8.1 引言	155
8.2 系统描述	155
8.3 多尺度融合估计算法	156
8.4 多尺度分布式融合估计算法	158
8.5 例子与仿真	165
8.6 小结	168
参考文献	169
第 9 章 多模型动态系统多尺度融合估计	172
9.1 引言	172
9.2 多尺度动态模型单传感器动态系统描述	172
9.3 多尺度动态模型多传感器动态系统描述	173
9.4 多尺度融合估计	173
9.5 多尺度分布式融合估计	175
9.6 例子	179
9.7 小结	182
参考文献	182
第 10 章 多尺度随机建模与多尺度数据融合估计	184
10.1 引言	184
10.2 问题描述	185
10.3 动态系统的多尺度随机建模	185
10.4 多尺度递归数据平滑融合估计算法	191
10.5 多尺度随机模型数据综合算法的实现	193
10.5.1 状态向量 $x(i)$ 预测估计与滤波估计	194

10.5.2	状态向量 $x(i)$ 的平滑估计	196
10.6	基于有限长度数据的多尺度建模与多尺度数据融合估计	197
10.7	例子与仿真	198
10.8	小结	200
	附录	200
	参考文献	203
第 11 章	多尺度自回归模型与小波	206
11.1	引言	206
11.2	多尺度自回归框架	206
11.3	基于小波变换的多尺度自回归建模	208
11.4	基于小波变换的内部 MAR 模型	210
11.4.1	树结构	210
11.4.2	内部 MAR-小波过程	213
11.5	小结	218
	参考文献	219
第 12 章	多速率传感器多尺度递归融合估计	221
12.1	引言	221
12.2	系统描述	221
12.3	多尺度状态空间模型	222
12.4	多尺度误差模型	226
12.5	多速率传感器多尺度递归融合估计算法	229
12.6	仿真结果	231
12.7	小结	232
	参考文献	233
第 13 章	传感器融合和线性逆问题的多尺度算法	234
13.1	引言	234
13.2	问题陈述	235
13.2.1	观测过程	235
13.2.2	求解信号 $x(t)$ 的多尺度表示	236
13.2.3	积分方程的小波变换	238
13.3	多尺度随机逆算法	241
13.3.1	最大后验逆算法	241
13.3.2	多尺度先验模型	242
13.4	相对误差协方差矩阵	244
	参考文献	247

第 14 章 多尺度强跟踪滤波器理论及其在非线性系统故障诊断中的应用	251
14.1 引言	251
14.2 强跟踪滤波器的引入	251
14.3 一种带次优渐消因子的扩展卡尔曼滤波器(SFEKF)	254
14.3.1 一个有用的定理	254
14.3.2 次优渐消因子的确定	256
14.4 一种带多重次优渐消因子的扩展卡尔曼滤波器(SMFEKF)	260
14.4.1 SMFEKF 的导出	260
14.4.2 STF 与 EKF 的性能比较分析	264
14.5 相关噪声干扰下的 SMFEKF 算法	268
14.6 有色噪声干扰下的 SMFEKF 算法	272
14.6.1 一种非线性平滑器	273
14.6.2 SMFEKF 算法	274
14.7 基于强跟踪滤波器的多传感器状态融合估计	275
14.7.1 相同采样速率下的多传感器状态融合	276
14.7.2 基于不同采样速率的多传感器状态融合估计	279
14.7.3 计算机仿真	284
14.8 基于多传感器的非线性系统状态与参数的联合估计方法	286
14.8.1 基于相同采样速率的多传感器状态与参数联合估计	286
14.8.2 基于不同采样速率的多传感器多尺度状态与参数联合估计 ...	287
14.8.3 计算机仿真实验	288
14.9 基于多尺度 STF 的非线性系统的故障诊断	290
14.9.1 一种非线性系统“参数偏差”型故障的检测与诊断方法	290
14.9.2 FDDPB 算法的典型应用	293
14.10 小结	295
参考文献	295

第 1 章 绪 论

1.1 信息融合估计概述

1.1.1 信息融合的目的和定义

随着科学技术的发展,传感器性能获得了很大的提高,各种面向复杂应用背景的多传感器系统大量涌现。特别是进入 20 世纪 70 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、电磁五维空间中。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(ESM)以及电子情报技术(ELINT)等覆盖宽广频段的各种有源和无源探测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,分析行为意图和态势评估,威胁分析,从而提供火力控制、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,由于信息表现形式的多样性,信息数量的巨大性,信息关系的复杂性,以及要求信息处理的及时性,都已大大超出人脑的信息综合处理能力,因此,从 20 世纪 70 年代起,一门新兴的学科——多传感器数据融合(multisensor data fusion,MSDF)便迅速地发展起来,并在现代 C³I(指挥、控制、通信与情报)系统中和各种武器平台上以及许多民事领域得到了广泛的应用^[119]。

信息融合是针对使用多个和/或多类传感器的系统这一特定问题而开展的一种信息处理的新方法,它又被称为多源关联、多源合成、传感器混合或多传感器数据融合,但更广泛的说法是多传感器信息融合,即信息融合。

目前,要对信息融合给出一个统一的定义是非常困难的,这是由所研究的内容的广泛性和多样性带来的。由文献[1~9,119],信息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。

在军事领域,信息融合主要包括检测、互联、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等。它是一个在多个级别上对传感器数据进行综合处理的过程,每个处理级别都反映了对原始数据不同程度的抽象,它包括从检测到威胁判断、武器分配和通道组织的完整过程,其结果表现为在较低级别对状态和属性的评估,以及在较高层次上对整个态势、威胁的估计。这一定义强调信息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^[9~11,119]。

综上所述,所谓信息融合就是将来自多个传感器或多源的信息进行综合处理,从而得到更为准确、可靠的结论,以达到更好地了解对象的目的。信息融合的另一普遍说法是数据融合,但就信息和数据的内涵而论,用“信息融合”一词更广泛、更确切、更合理、更具有概括性^[119]。

1.1.2 多传感器数据融合技术的特点

多传感器数据融合是指多信息源或传感器的信息获取、处理、综合过程,通过融合可以更好地了解所观测的现象。这是一个正在迅速发展具有诱人前景的领域,目前已经取得了许多令人兴奋的研究成果。这些成果已经开始应用到诸如军事指挥和控制、机器人技术、图像处理、航空控制、医疗诊断、模式识别和环境监控等广泛领域。

多传感器数据融合技术的研究是近年来十分活跃的领域之一。这个概念被应用到越来越多的领域中,不断发现其新的应用。近年来,不但多传感器数据融合技术在实际中成功应用的实例层出不穷,而且数据融合的思想也是无处不在的。实际上,日常生活中我们都在不自觉地运用数据融合规则。人脑本身就是一个极度出色的融合系统。它综合感官信息,即视觉、听觉、嗅觉、味觉以及触觉信息,对周围事物做出判断。例如,将某种食物的视觉、嗅觉、味觉及触觉信息结合起来可以判断食物是否腐坏变质等。而在一个未知环境中,视觉和听觉信息结合起来可以帮助你做出安全性的判断。仿效人脑的这种信息融合能力来处理实际问题,已成为科学和工程学科研究人员普遍的愿望。一般的想法是,在信息处理中从不同传感器可能获取的那些互为补充的信息经融合后将得到更精确的观测结果。这个重要领域目前已经取得了重大进展,但是对人脑的完美模仿还只是一个令人捉摸不透的美好愿望。

从面上看,融合的概念是简单易懂的,但是融合系统的设计和实验却是一个异常复杂的过程。建模、处理、融合以及对不同传感器数据进行变换以达到信息同化和做出推理等,都是很具挑战性的问题。当数据不完整、不协调或不精确时,上述问题将变得更加困难。尽管如此,由于在改善系统性能方面拥有巨大潜力,融合技术的研究开发从没停止过。随着传感器技术、信号处理算法、VLSI 技术以及高性能计算、通信技术的进步,实时融合系统已经越来越接近实用化。

多传感数据融合系统的最终目标是对被观测对象的形势状态给出精确的评估以便采取适当的应对措施。多传感器系统较之单传感器系统在可量化的状态估计性能上有很大优越性,其中包括^[119,120]:

(1) 提高系统可靠性和稳定性。多传感器系统有其内在的冗余性,即该系统可能获取更多观测信息,从而达到这种改善效果。在有若干个传感器不能利用或受到干扰,或某个目标不在覆盖范围时,总会有一部分传感器可以提供信息,使系统能够不受干扰连续运行、弱化故障,并增大检测概率。

(2) 扩大了空间覆盖范围。通过多个交叠覆盖的传感器作用区域,扩大空间覆盖范

围,一些传感器可以探测其他传感器无法探测的地方,进而增加了系统的监视能力和检测概率。

(3) 扩展了时间覆盖范围。当某些传感器不能探测时,另一些传感器可以检测、测量目标或事件,即多个传感器的协同作用可提高系统的时间监视范围和检测概率。

(4) 增加了可信度。一部或多部传感器能确认同一目标或事件。各个传感器的判断结果相互补充确认,从而增强融合系统所作最终推断的可信度。同时,一部分传感器判断值可以用来组成一套可行性评价指标,从而减少寻找最优方案的工作量。

(5) 缩短反应时间。因为单位时间内采集了更多数据,所以多传感器系统可以在较短采样时间内达到规定的性能水平。

(6) 减少了信息的模糊性。多传感器联合信息降低了目标或事件的不确定性。

(7) 改善了探测性能。对目标的多种测量的有效融合,提高了探测的有效性。

(8) 提高了空间分辨力。多传感器孔径可以获得比任何单一传感器更高的分辨力,并用改善的目标位置数据支持防御反应能力和攻击方向的选择。

(9) 增加了测量空间的维数。使用不同的传感器来测量电磁频谱的各个频段的系统,不易受到敌方行动或自然现象的破坏。

(10) 改善尺度。在这个方面,通过引入具有不同观测尺度的传感器显然将得到较之单传感器更好的效果。

与单传感器系统相比,多传感器的复杂性大大增加,由此会产生一些不利因素,如成本提高了,设备的尺寸、重量、功耗等物理因素增大了,以及因辐射增多而使系统被敌方探测的概率增加了。在执行每项具体任务时,必须将多传感器的性能裨益与由此带来的不利因素加以权衡。

1.1.3 多传感器数据融合技术的应用

近20年来,多传感器信息融合技术越来越受到人们的普遍关注,并被广泛地应用于不同领域。在大部分融合应用中,基本系统目标是:探测对象或环境状态,对象的识别、鉴别/分类、跟踪、监控并且实现实时观测。应用领域从广义上可以分为军用和民用两类。

军事领域的应用主要是探测、搜索、跟踪,以及鉴别诸如舰艇、飞机、武器、导弹等军事目标,它们可能是静止的或运动的。代表性的应用如海事监控,空对空、地对空防御系统。海事监控系统能可靠地监管海洋活动,它包括探测、跟踪和鉴别潜艇、鱼雷、水下导弹,以及舰船通信等。该系统通常相当庞大,往往由众多船只、潜艇、飞机组成。所使用的典型传感器包括雷达、声呐、红外探测器和集中式综合雷达。显然,传感器和潜在目标的多样性,以及监控系统本身庞大的组成和信号传播的困难,将使整个问题变得非常复杂。空对空、地对空防御系统的基本目标是探测、跟踪及鉴别敌方飞机、导弹和防空武器。在该系统中同时使用各种主动或被动传感器,包括雷达电子支援措施(ESM)接受器、红外探测器、敌我识别传感器、电子成像传感器。该系统的复杂性主要来自于潜在目标传感器对组合爆炸、监控设备容量和实时操作的要求。

随着现代战争出现的新情况,许多因素推动着高度自动化信息融合系统的研究开

发^[119,120]：

(1) 目标机动性的提高和武器杀伤力的增强,要求在时间上及早地检测和识别出目标,要求较短的系统反应时间。

(2) 更加复杂的威胁,即目标平台的多样性和密集性、低可观测性、对抗措施的先进性,要求进一步提高探测和识别能力,从而使传感器数量和种类急剧增加。

(3) 人工成本的增加以及某些任务中对操作人员的危险性加大,要求采用信息融合的远程控制或自主式武器系统。

信息融合在军事上的应用体现在战术和战略上指挥、控制、通信和情报(简称 C³I)任务的广阔领域。具体应用范围可概括为以下几个方面:

(1) 采用多传感器的自主式武器系统和自备式运载器。

(2) 采用单一武器平台,如舰艇、机载空中警戒、地面站、航天目标监视或分布式多传感器网络的广域监视系统。

(3) 采用多个传感器进行截获、跟踪和指令制导的火控系统。

(4) 情报收集系统。

(5) 敌情指示和预警系统。其任务是对威胁和敌方企图进行估计。

(6) 军事力量的指挥和控制站。

目前世界各主要军事大国都竞相投入大量人力、物力和财力进行信息融合技术的研究,安排了大批研究项目,并已取得大量研究成果。到目前为止,美、英、德、法、意、日、俄等国家已研制出上百种军用信息融合系统,比较典型的有:TCAC——战术指挥控制,BETA——战场利用和目标截获系统,ASAS——全源分析系统,DAGR——辅助空中作战命令分析专家系统,PART——军用双工无线电/雷达瞄准系统,AMSVI——自动多传感器部队识别系统,TRWDS——目标获取和武器输送系统,AIDD——炮兵情报数据融合以及 ANALYST——地面部队战斗态势评定系统等。

非军用融合技术的应用十分广泛^[120]。其中包括工业过程监控、交通管制、气象预报、金融管理、病人监护、司法侦察、机器人研制、工业制造、医疗诊断以及遥感等。

军用监控技术可以很方便地移植到航空管制中。实际上,航空管制中监控的飞机是合作的,而不像军事领域中敌方目标是不合作的、未知的,因此此类系统相对而言更为简单。同样,一些技术可以应用到司法侦察领域,如检查飞机是否运送了毒品或其他禁运物品等。目前,一些司法侦察领域的研究集中在各种不同的探测技术,如使用毫米波雷达和红外传感器探测携带进入人群稠密公共场所的武器等。

机器人技术从融合理论中也受益匪浅。这些机器人使用电视图像、声波、电磁波、X射线采集信息并进行融合推理。它们的主要功能是搬运或操作对象并自动避开障碍。它们在工业、制造业的监控系统中得到日益广泛的应用。诸如原子能设施、废品处理设备等危险恶劣工作环境中特别适合让它们去进行操作。机器人的其他一些工业用途还包括工件控制、载重卡车装载和卸载、焊接、检查、故障诊断和装配线操作等。

在医疗诊断中,医师通常融合诸如视觉观测器、温度计、听诊器信息等。更先进的传感技术,如 X 射线照片、核磁共振(NMR)和声学成像等也越来越多地应用到基于所有可能获得信息融合的精确诊断中。在诸如癌症等复杂病例中,不同专业的医师,如肿瘤医