

● 杨露菁 余华 编著

DUOYUAN  
XINXI RONGHE  
LILUN YU YINGYONG

# 多源信息融合 理论与应用

(第2版)



北京邮电大学出版社  
[www.buptpress.com](http://www.buptpress.com)

本书得到海军工程大学研究生教材基金资助

# 多源信息融合理论与应用

(第2版)

杨露菁 余 华 编著



北京邮电大学出版社  
www.buptpress.com

## 内 容 提 要

多源信息融合技术是研究对多源不确定性信息进行综合处理及利用的理论和方法,即对来自多个信源的信息进行多级别、多方面、多层次的处理,产生新的有意义的信息。

本书首先介绍多源信息融合的基本概念、基本模型,之后介绍多源信息融合的基本算法,包括多源检测融合、多源属性融合、多源状态估计之数据关联和状态融合算法,然后介绍多传感器管理技术和多源信息融合新技术,最后介绍了多源信息融合技术在军事及民用领域的应用。

本书可作为电子科学与技术、通信与信息系统、控制科学与工程、系统工程等众多学科专业的研究生教材,同时对有关专业领域的研究人员和工程技术人员也有重要的参考价值。

### 图书在版编目(CIP)数据

多源信息融合理论与应用/杨露菁,余华编著.--2版.--北京:北京邮电大学出版社,2011.9

ISBN 978-7-5635-2740-3

I. ①多… II. ①杨…②余… III. ①信息融合—研究生—教材 IV. ①G202

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 187690 号

---

书 名:多源信息融合理论与应用(第2版)

著作责任者:杨露菁 余华 编著

责任编辑:李欣一

出版发行:北京邮电大学出版社

社 址:北京市海淀区西土城路10号(邮编:100876)

发 行 部:电话:010-62282185 传真:010-62283578

E-mail:publish@bupt.edu.cn

经 销:各地新华书店

印 刷:北京联兴华印刷厂

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:15.25

字 数:378千字

印 数:1—3 000册

版 次:2006年2月第1版 2011年9月第2版 2011年9月第1次印刷

---

ISBN 978-7-5635-2740-3

定 价:28.00元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

# 前 言

多源信息融合技术是研究对多源不确定性信息进行综合处理及利用的理论和方法,即对来自多个信息源的信息进行多级别、多方面、多层次的处理,产生新的有意义的信息。

信息融合最早应用于军事领域,是组合多源信息和数据完成目标检测、关联、状态评估的多层次、多方面的过程,这种信息融合的目的是获得准确的目标识别、完整而及时的战场态势和威胁评估。

随着传感器技术、计算机科学和信息技术的发展,各种面向复杂应用背景的多传感器系统大量涌现,使得多渠道的信息获取、处理和融合成为可能,并且在金融管理、心理评估和预测、医疗诊断、气象预报、组织管理决策、机器人视觉、交通管制、遥感遥测等诸多领域,人们都认识到把多个数据源中的信息综合起来能够提高工作的成绩。因此多源信息融合技术在军事领域和民用领域得到了广泛的重视和成功的应用,其理论和方法已成为智能信息处理及控制的一个重要研究方向。

本书首先从初学者的角度入手,系统地介绍了多源信息融合的基本理论及其应用,同时兼顾到高层次研究者的需求,介绍了多源信息融合的高新技术新方法。全书内容包括九章,第1章多源信息融合概述;第2章多源检测融合原理;第3章多源属性融合原理;第4章多源状态估计:数据关联;第5章多源状态估计:状态融合;第6章多传感器管理;第7章多源信息融合新技术;第8章多源信息融合的军事应用;第9章多源信息融合的其他应用。

由于信息融合技术具有多学科交叉性,因此本书可作为电子科学与技术、通信与信息系统、控制科学与工程、系统工程等众多学科专业研究生和高年级本科生的教材,同时对有关专业领域的研究人员和工程技术人员也有重要的参考价值。

本书第1版于2006年2月出版,2006年10月第2次印刷,得到了许多科研院所科研工作者及高校教师、学生的大力支持,此外全书是作者在多年教学科研实践中总结提炼而成的,参考了大量国内外学者的著作、论文,在此对他们表示衷心的感谢!

多源信息融合技术涉及诸多学科,知识面宽泛,对作者的要求较高,书中如有不当之处,敬请广大读者批评指正。

本书得到海军工程大学研究生教材基金资助。

作 者  
于海军工程大学

# 目 录

## 第 1 章 多源信息融合概述

1.1 多源信息融合基本概念 .....	1
1.1.1 多源信息融合的来源 .....	1
1.1.2 多源信息融合的定义 .....	2
1.1.3 多源信息融合的优势 .....	3
1.2 多源信息融合分类 .....	4
1.2.1 按融合技术分类 .....	4
1.2.2 按融合判决方式分类 .....	6
1.2.3 按传感器组合方式分类 .....	6
1.2.4 按信息融合处理层次分类 .....	6
1.2.5 按信息融合结构模型分类 .....	7
1.2.6 按信息融合目的分类 .....	8
1.2.7 按融合的信息类型分类 .....	8
1.3 多源信息融合算法概述 .....	9
1.4 多源信息融合系统的基本模型 .....	11
1.4.1 多源信息融合的功能模型 .....	11
1.4.2 信息融合系统的结构模型 .....	13
1.4.3 信息融合模型 .....	18
1.5 多源信息融合的历史与现状 .....	22
本章小结 .....	25
习题一 .....	25
本章参考文献 .....	25

## 第 2 章 多源检测融合原理

2.1 分布式融合检测系统概述 .....	27
2.1.1 分布式融合检测系统 .....	27
2.1.2 二元假设检验问题 .....	29
2.2 分布式检测融合策略 .....	29
2.2.1 “与”融合检测准则 .....	30
2.2.2 “或”融合检测准则 .....	30
2.2.3 表决融合检测准则 .....	30

2.2.4	最大后验概率融合检测准则	31
2.2.5	Neyman-Pearson 融合检测准则	32
2.2.6	贝叶斯融合检测准则	33
2.2.7	最小误差概率准则	35
2.3	自适应决策融合分布式检测系统	35
2.3.1	概述	35
2.3.2	求解参数的方程组及解析式	36
2.3.3	三传感器的自适应决策融合算法	37
2.3.4	$N$ 传感器的自适应决策融合算法	40
2.3.5	计算机仿真结果	41
	本章小结	42
	习题二	42
	本章参考文献	43

### 第3章 多源属性融合原理

3.1	属性融合算法概述	44
3.1.1	属性融合算法分类	44
3.1.2	属性融合算法概述	47
3.2	贝叶斯统计理论	49
3.2.1	概述	49
3.2.2	基于贝叶斯统计理论的信息融合	50
3.3	Dempster-Shafer 证据理论	52
3.3.1	概述	52
3.3.2	基于 Dempster-Shafer 证据理论的信息融合	54
	本章小结	59
	习题三	59
	本章参考文献	60

### 第4章 多源状态估计:数据关联

4.1	状态估计中的数据关联理论	61
4.1.1	数据关联与状态估计的概念	61
4.1.2	数据关联的应用分类	63
4.1.3	静态数据关联的数学方法	65
4.1.4	动态数据关联和跟踪算法分类	69
4.1.5	航迹数据关联	69
4.2	各种数据关联算法	73
4.2.1	最邻近数据关联	74
4.2.2	概率数据关联	75
4.2.3	联合概率数据关联	77

4.2.4 全局最邻近数据关联·····	82
4.2.5 简易联合概率数据关联·····	83
4.2.6 统计关联方法·····	83
4.2.7 模糊关联方法·····	84
4.2.8 其他关联方法·····	87
4.2.9 各种关联方法的评价·····	88
本章小结·····	91
习题四·····	91
本章参考文献·····	92
<b>第5章 多源状态估计:状态融合</b>	
5.1 状态估计的数据融合理论·····	93
5.1.1 状态估计概述·····	93
5.1.2 融合状态估计器·····	96
5.2 各种航迹融合算法·····	97
5.2.1 卡尔曼加权融合算法·····	97
5.2.2 简单航迹融合·····	99
5.2.3 协方差加权航迹融合·····	101
5.2.4 自适应航迹融合·····	102
5.2.5 相关航迹的非同步融合·····	104
5.2.6 模糊航迹融合·····	105
5.2.7 利用伪点迹的航迹融合方法·····	107
5.2.8 信息去相关算法·····	109
本章小结·····	112
习题五·····	112
本章参考文献·····	112
<b>第6章 多传感器管理</b>	
6.1 多传感器管理的基本概念·····	114
6.1.1 多传感器管理的定义及功能·····	114
6.1.2 多传感器管理系统的体系结构·····	116
6.1.3 多传感器管理的原理及方法·····	117
6.2 指挥控制中的传感器管理·····	121
6.2.1 指挥控制中的传感器管理问题·····	121
6.2.2 指控系统中的多传感器管理实例·····	124
6.2.3 自适应传感器分配技术·····	127
6.3 基于效能函数的多传感器管理系统·····	132
6.3.1 多传感器管理系统的效能函数·····	132
6.3.2 多传感器管理系统仿真·····	133

6.4 基于模糊逻辑和神经网络的多传感器管理 .....	135
本章小结 .....	137
习题六 .....	138
本章参考文献 .....	138
<b>第7章 多源信息融合新技术</b>	
7.1 神经网络信息融合技术 .....	140
7.1.1 信息融合模型的神经网络表示 .....	140
7.1.2 基于神经网络的信息融合技术 .....	141
7.1.3 基于神经网络的融合识别的基本原理 .....	144
7.2 模糊逻辑信息融合技术 .....	145
7.2.1 模糊逻辑概述 .....	145
7.2.2 多传感器模糊关系函数的融合 .....	148
7.2.3 基于可能性理论的信息融合应用 .....	148
7.3 信息融合中的有关熵理论 .....	149
7.3.1 有关熵的概念 .....	149
7.3.2 观测系统的信息融合问题 .....	150
7.3.3 观测决策融合系统的信息融合问题 .....	151
7.3.4 融合系统的熵的结构关系 .....	152
7.4 在信息融合系统中引入多智能体技术 .....	154
7.4.1 多智能体系统 .....	154
7.4.2 多智能体信息融合系统模型 .....	155
7.4.3 信息融合方法中的多智能体技术 .....	156
7.5 基于随机集理论的信息融合技术 .....	157
7.5.1 随机(有限)集的基本思想和理论框架 .....	157
7.5.2 随机有限集方法在信息融合中的应用 .....	161
7.5.3 发展方向和展望 .....	165
本章小结 .....	166
习题七 .....	166
本章参考文献 .....	167
<b>第8章 多源信息融合的军事应用</b>	
8.1 雷达组网分布式检测系统 .....	171
8.1.1 雷达组网技术及布站方式 .....	171
8.1.2 雷达组网检测系统结构模型及性能分析 .....	172
8.1.3 雷达网分布式检测数学模型 .....	174
8.1.4 组网雷达检测融合性能仿真计算结果及结果简析 .....	179
8.2 信息融合技术在C <sup>3</sup> I系统中的应用 .....	181
8.2.1 C <sup>3</sup> I系统的多信息源分析 .....	181
8.2.2 C <sup>3</sup> I系统中信息融合的结构模型和功能模型 .....	181



8.2.3	信息融合用于 C <sup>3</sup> I 系统的目标跟踪 .....	183
8.2.4	信息融合用于 C <sup>3</sup> I 系统的目标识别 .....	185
8.2.5	多站多目标航迹处理 .....	187
8.3	多传感器组合导航系统 .....	188
8.3.1	概述 .....	188
8.3.2	组合导航系统的结构与算法 .....	189
8.3.3	多传感器组合导航的融合模型 .....	190
8.3.4	组合导航系统未来发展趋势和关键技术 .....	192
8.4	多模复合制导信息融合技术 .....	193
8.4.1	概述 .....	193
8.4.2	被动/红外复合制导的分层融合结构 .....	195
	本章小结 .....	197
	习题八 .....	197
	本章参考文献 .....	197

## 第 9 章 多源信息融合的其他应用

9.1	信息融合技术在网络分布式入侵检测系统中的应用 .....	198
9.1.1	概述 .....	198
9.1.2	信息融合分布式入侵检测系统模型 .....	199
9.1.3	分布式入侵检测系统的融合方法 .....	201
9.2	信息融合技术在智能机器人中的应用 .....	204
9.2.1	概述 .....	204
9.2.2	全区域覆盖自主移动机器人信息融合系统体系结构 .....	205
9.2.3	基于信息融合的移动机器人环境感知技术 .....	207
9.3	信息融合技术在智能交通中的应用 .....	212
9.3.1	概述 .....	212
9.3.2	基于信息融合的车辆主动防碰撞控制系统 .....	213
9.3.3	汽车自动导航与驾驶 .....	215
9.4	信息融合技术在工业过程监控中的应用 .....	215
9.4.1	概述 .....	215
9.4.2	基于信息融合的故障诊断系统结构模型 .....	217
9.4.3	电力系统中的信息融合故障诊断 .....	218
9.5	多传感器图像融合技术与应用 .....	222
9.5.1	概述 .....	222
9.5.2	多传感器图像融合的处理层次与特点 .....	224
9.5.3	不同传感器组合的融合问题 .....	225
9.5.4	像素层图像融合方法 .....	229
	本章小结 .....	232
	习题九 .....	233
	本章参考文献 .....	233

# 多源信息融合概述

多源信息融合(MSIF: Multi-Source Information Fusion)技术是研究对多源不确定性信息进行综合处理及利用的理论和方法,即对来自多个信息源的信息进行多级别、多方面、多层次的处理,产生新的有意义的信息。

信息融合最早应用于军事领域,是组合多源信息和数据完成目标检测、关联、状态评估的多层次、多方面的过程。这种信息融合的目的是获得准确的目标识别、完整而及时的战场态势和威胁评估。

随着传感器技术、计算机科学和信息技术的发展,各种面向复杂应用背景的多传感器系统大量涌现,使得多渠道的信息获取、处理和融合成为可能,并且在金融管理、心理评估和预测、医疗诊断、气象预报、组织管理决策、机器人视觉、交通管制、遥感遥测等诸多领域,人们都认识到把多个信息源中的信息综合起来能够提高工作的成绩。因此多源信息融合技术在军事领域和民用领域得到了广泛的重视和成功的应用,其理论和方法已成为智能信息处理及控制的一个重要研究方向。

## 1.1 多源信息融合基本概念

### 1.1.1 多源信息融合的来源

多源信息融合是人类和其他生物系统进行观察的一种基本功能,自然界中人和动物感知客观对象,不是单纯依靠一种感官,而是综合多个感官的感知结果。人类的视觉、听觉、触觉、嗅觉和味觉,实际上是通过不同感官获取客观对象不同质的信息,或通过同类传感器(如双目)获取同质不同量的信息,然后由大脑对这些信息进行交融,得到一种综合的感知信息。又如动物感知它们所处的环境、判断危险或者捕获猎物,可能是依靠单个高度发达的感官来实现的,如老鹰的视觉搜索和寻迹能力非常高,而狗的嗅觉很灵敏;也可能是依靠多个能力较差的感官来实现的,例如,在光线较暗的情况下,谷仓里的猫头鹰融合其视觉和听觉信息来帮助其精确定位老鼠的位置,而老鼠借助于视觉和听觉判断是否存在危险,并做出相应的反应以避免被猫头鹰捕获。在这里听觉系统主要为视觉系统提供一种信息,表示一件重要事件的发生和大概方位,而听觉获得的信息(即方向、速度和可能的物质分类)与视觉系统收集的信息融合起来,从而产生更完整、可信度更高或更高层次的情景感知。

上述例子说明,人类和动物本身就是一个高级的信息融合系统,大脑这个融合中心协同眼(视觉)、耳(听觉)、口(味觉)、鼻(嗅觉)、手(触觉)等多类“传感器”去感受事物各个侧面的信息,并根据人脑的经验与知识进行相关分析、去粗取精,从而综合判决,获得对周围事物性

质和本质的全面认识,这个过程如图 1.1 所示。

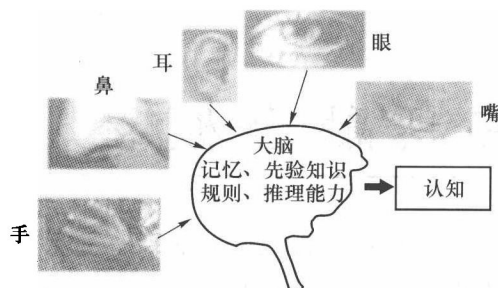


图 1.1 人类大脑的多感官信息融合

在著名的“盲人摸象”故事中,五个盲人从不同的角度分别把一头大象辨认成了墙、矛、扇子、树和绳子,这说明,尽管每个人的评估在他自己的有限感觉空间中是正确的,但是由于他们观察物体的角度和观点不同,可能会导致不全面甚至错误的判断结果。因此为了得到一个统一的综合观察结果就必须对他们的结果进行综合,才能得到关于大象的真实画面。

总之,利用单一信息源所获得的信息进行决策判断,往往导致模糊的、不确定的、不精确的和不完全的结论。上述例子中把多个感官或多个人获取的信息进行综合的过程就是信息融合(IF:Information Fusion)过程。信息融合就是试图通过对所有相关的和可利用的信息源协同组合来获得一致的、准确的、全面的情况感知,以克服这些局限性。这个处理过程看似简单,实则是很复杂和自适应的,因为对于不同空间范围内发生的不同物理现象是采用不同的测量特征来度量的。

近年来,人类的许多功能都已用自动化系统进行了模拟。同样,人工智能的研究,特别是知识表示的技术,推动了高级计算机技术的发展,也改善了人们执行自动信息融合的能力,这就使得人类信息融合功能也可以用自动信息融合系统来进行模拟,信息融合系统实际上就是对人脑综合处理复杂问题的一种功能模拟,其基本原理就像人脑综合处理信息的过程一样,通过合理支配与使用来自多种信息源的信息,将这些在空间和时间上互补与冗余的信息依据某种优化准则组合起来,从而产生对观测环境的一致性解释和描述。

### 1.1.2 多源信息融合的定义

由于信息融合研究内容的广泛性和多样性,很难对信息融合给出一个统一的定义。实际上,作为信息科学的一个新兴领域,信息融合技术起源于军事应用,因此首先给出在军事应用中普遍接受的信息融合的定义,它是 1991 年由美国三军组织——实验室理事联合会(JDL:Joint Directors of Laboratories)提出的,1994 年由澳大利亚防御科学技术委员会(DSTO:Defense Science and Technology Organization)加以扩展。JDL 定义为:信息融合是一种多层次、多方面的处理过程,包括对多源数据的检测、关联、相关、估计和综合,以得到精确的状态和身份估计以及完整、及时的战场态势和威胁估计。

这个定义强调信息融合的三个主要方面:(1)信息融合是一种多层次、多方面的处理过程,不同层次代表信息处理的不同级别,一般包括数据级、特征级、决策级;(2)信息融合的过程包括数据的检测、关联、相关、估计和综合;(3)信息融合的结果包括低层次上的状态和身份估计,以及高层次上的战场态势评估和威胁估计。

上述定义只适用于军事领域,一般意义上的信息融合技术是一种对多源不确定性信息进行综合处理及利用的信息处理技术。它是利用计算机技术,对由多种信息源获取或多个传感器观测到的信息进行多级别、多方面、多层次的处理,以获得单个或单类信息源所无法获得的有价值的综合信息,并最终完成其决策和估计任务。

也有专家认为,信息融合就是由多种信息源如传感器、数据库、知识库和人类本身获取有关信息,并进行滤波、相关和集成,从而形成一个表示架构,这种架构适合于获得有关决策,如对信息的解释,达到系统目标(例如识别、跟踪或态势评估)、传感器管理和系统控制等。

这里的信息源可能是传感器(指的是对环境进行观测或探测的设备,是一种实体),如雷达、声呐、红外、光学设备等,其信息形式主要是传感器获取的数据、图像等,此时的信息融合称为多传感器数据融合(MSDF: Multi-Sensor Data Fusion)。目前信息融合已扩大到多类信息源,如数据库、知识库和人工情报,故一般称为多源信息融合(MSIF: Multi-Source Information Fusion)。多传感器是数据融合技术的硬件基础,多信息源是数据融合的对象,识别优化是数据融合技术的核心。

### 1.1.3 多源信息融合的优势

本小节从军事上来分析多传感器数据融合的优势,其意义也可推广至其他领域。与单传感器系统相比,多传感器系统主要具有如下优势。

#### 1. 扩展了时间/空间覆盖范围

由于各传感器可能分布在不同的空间上,通过多个交叉覆盖的传感器作用区域,一种传感器可以探测到其他传感器探测不到的地方,如当目标从一个传感器探测区域转移到另一个传感器探测区域时,系统可以将目标跟踪从一个传感器正确地切换到另一个传感器。而在时间上,一种传感器可以探测其他传感器不能顾及到的目标/事件,还可分时工作,如可见光传感器与红外传感器构成的多传感器系统,可在白天和夜晚分时工作。

#### 2. 增加了测量空间的维数

多传感器收集的信息中不相关的信息在测量空间中是正交的。在一定范围内增加测量向量的维数,可显著提高系统的性能,使多传感器系统不易受到敌方有意的干扰和迷惑。图 1.2(a)所示为两个空中目标的方位和高度测量,因为它们在空间上重叠,所以无法可靠分离开来。但是如果增加距离测量[如图 1.2(b)所示],就很容易分开两类了。因为最初的二维数据集的信息内容是不充分的,即使采用复杂的聚类算法也不能区分这两组目标。而增加第三个测量维数,就能够轻易地利用一个简单的聚类算法完成这个任务。

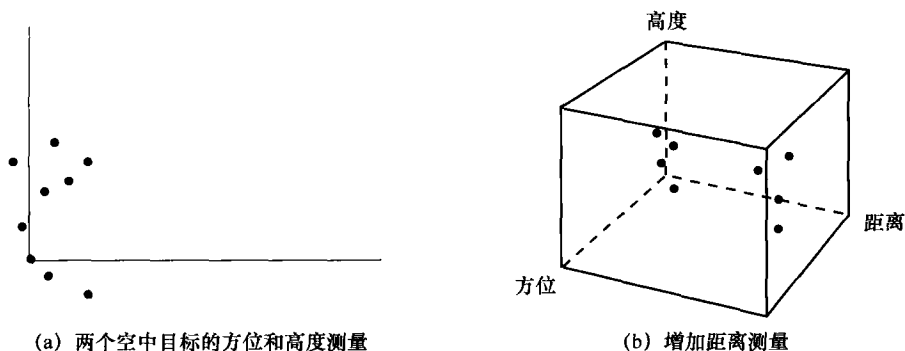


图 1.2 增加测量空间维数的优势

### 3. 增强了系统的生存能力与容错能力

系统中布设多个传感器,当某些传感器不能利用或受到干扰毁坏时,可能会有其他传感器提供信息,即个别传感器的毁伤不影响整个系统的能力。例如,一个雷达工作在 1 GHz 频率,另一个雷达工作在 3 GHz 频率,在这种情况下,敌人必须采用对抗措施来对付这两种波段,才能使这个综合系统无法给出目标航迹。

### 4. 改善了系统的处理性能

多种传感器对同一目标/事件加以确认,降低了目标/事件的不确定性,减少了信息的模糊性,提高了信息的可信度,从而提高了检测、识别、跟踪等决策的可信度。如多个传感器优化协同作用,提高了目标的探测概率,降低了多测量数据的模糊性和不确定性;多传感器目标数据综合处理,提高了系统跟踪和识别精度。

例如,红外成像和雷达是目标探测和跟踪的两种主要传感器。它们各有优缺点:红外成像可以测得目标的成像信息,而且测角精度高,测量连续,但是不能测距;雷达则具有全天候、可测角、测距等优点,但是测角精度低,容易受干扰,且在某些测量周期内会产生漏检现象。因此,如果将二者的信息有效融合,可以改善目标的跟踪精度,增强对目标跟踪的鲁棒性和抗干扰能力,提高武器系统的综合作战效能。

对于多传感器目标识别来说,现代战场上,由于目标的种类日益增多、行为日趋复杂,加之战场环境的复杂性和单一传感器探测的片面性,传统的基于雷达、声呐、电子支援措施、敌我识别器、光电等单传感器的目标识别方法已难以取得令人满意的效果。利用多个传感器从时间、空间等不同的角度刻画目标特征,提供多种观测数据,进行优化综合处理,能够去伪存真,最大程度地提高识别的准确性。

## 1.2 多源信息融合分类

多源信息融合有多种分类方法,如按照其融合技术、融合算法、融合结构分类等,以下给出多源信息融合的各种分类。

### 1.2.1 按融合技术分类

多源信息融合技术分为假设检验型信息融合技术、滤波跟踪型信息融合技术、聚类分析型信息融合技术、模式识别型信息融合技术、人工智能型信息融合技术等。

#### 1. 假设检验型信息融合技术

假设检验型信息融合技术是以统计假设检验原理为基础,信息融合中心选择某种最优假设检验判决准则执行多传感器数据假设检验处理,获取综合相关结论。

#### 2. 滤波跟踪型信息融合技术

滤波跟踪型信息融合技术是将卡尔曼滤波(或其他滤波)航迹相关技术由单一传感器扩展到多个传感器组成的探测网,用联合卡尔曼滤波相关算法执行多传感器滤波跟踪相关处理。

#### 3. 聚类分析型信息融合技术

聚类分析型信息融合技术是以统计聚类分析或模糊聚类分析原理为基础,在多目标、多传感器大量观测数据样本的情况下,使来自同一目标的数据样本自然聚集、来自不同目标的

数据样本自然隔离,从而实现多目标信息融合。

#### 4. 模式识别型信息融合技术

模式识别型信息融合技术是以统计模式识别或模糊模式识别原理为基础,在通常的单一传感器模式识别准则基础上建立最小风险多目标多传感器模式识别判决准则,通过信息融合处理自然实现目标分类和识别。

#### 5. 人工智能信息融合技术

人工智能信息融合技术将人工智能技术应用于多传感器信息融合,对于解决信息融合中的不精确、不确定信息有着很大优势,因此成为信息融合的发展方向。智能融合方法可分为:

##### (1) 基于专家系统的融合方法

基于专家系统的融合方法是以规则为基础的传统物理及符号表示方法,它以规则表示形式并构成知识库,运用适当的解决问题的推理方法,在计算机上得到解决问题的推论。舰艇和舰艇编队常常采用黑板模型和黑板模型知识库来构成舰用专家系统。这种技术比较成熟,适用性强,操作方便。

基于知识的专家系统用于多传感器信息融合可以优化跟踪和识别功能。但是,专家系统基本基于演绎逻辑推理,如果没有适当的、充分的控制方法,推理技术可能导致数据和子目标的组合爆炸,使之在使用范围上受到限制。此外,应用专家系统进行目标识别时需要经过特征提取、数据压缩和匹配判定等过程,使得运行时间延长,难以满足军事应用的实时性要求。

##### (2) 基于人工神经网络的融合方法

人工神经网络是模拟人脑的神经元结构,完成记忆、形象思维和抽象思维的整个过程。人工神经网络有以下几个主要特点:

① 具有高度并行性和非线性处理功能,以非线性并行处理单元来模拟人脑神经元,以各处理单元复杂而灵活的连接关系来模拟人脑中的突触功能,它具有高速协调和运算能力。

② 具有自学习、自组织能力,这种能力来自于人工神经网络的训练过程。在学习过程中,可随机改变权值,适应复杂多变的环境,并且对环境做出不同的反应。

③ 具有分布存储方式和容错能力。系统善于联想、概括、类比与推广,具有语言、图像识别能力。

由于具有以上优点,人工神经网络在快速计算、不精确信息处理、非线性数据处理等方面优于专家系统,可满足大数据流的实时处理要求,在军事领域,人工神经网络能支持 C<sup>3</sup>I (指挥、控制、通信和情报)系统各方面和各层次的需求,在传感器融合、信号处理、目标识别等方面有着广阔的应用前景,是未来高技术的重要研究领域之一。近年来,许多国家在研究和开发用于 C<sup>3</sup>I 系统的神经网络硬件和软件,美国精密自动化公司已研制出第一台用于海军信息融合的神经网络计算机。

在多传感器信息融合方面,神经网络的多信息融合系统首先通过预处理器把原始传感器的信号转换为神经网络的输入,然后由反馈部分将预处理器的处理结果调整到最佳可信度,得到所需的精度,最后由神经网络完成信息融合。人工神经网络在多传感器信息融合方面的应用有战术目标识别和自动跟踪。

神经网络硬件和软件的实现过程远比专家系统复杂,现在这项技术还处于概念开发、样

机研制和实验阶段,要真正推广应用到 C<sup>3</sup>I 系统中还需要解决一些技术难题。目前提出神经网络与专家系统的结合技术,这种混合型智能系统可以克服各自系统的局限性,发挥各自的长处,实现高效率处理机制和优势互补,不失为一条理想的军事智能化途径,值得重视和研究。

### (3) 以生物为基础的融合方法

生物技术是 21 世纪的高新技术之一,其原理已被用于军用传感器信息融合硬件、软件的开发,以提高传感器对微弱目标的探测能力和反应能力。近年来,美国的传感器融合技术专家与神经网络专家一起开发了一种独特的传感器融合电路芯片,并将其推广应用到海军的信号探测和信息融合等关键领域。

智能传感器融合技术是今后有待开发的关键技术,涉及许多学科领域。预计今后会在扩大运用基于知识的专家系统的基础上,使传感器信息融合技术研究向人工神经网络、生物技术和综合智能技术方面发展,使未来的指挥作战系统、决策支持系统能顺应复杂多变的战场环境要求。

## 1.2.2 按融合判决方式分类

多源信息融合的融合判决方式分为硬判决方式和软判决方式。所谓硬判决或软判决指的是数据处理活动中用于信号检测、目标识别的判决方式。每个传感器内部或信息融合中心都既可选用硬判决方式,也可选用软判决方式。

### 1. 硬判决方式

硬判决方式设置有确定的预置判决门限。只有当数据样本特征量达到或超过预置门限时,系统才做出判决断言;只有当系统做出了确定的断言时,系统才向更高层次系统传送“确定无疑”的判决结论。这种判决方式以经典的数理逻辑为基础,是确定性的。

### 2. 软判决方式

软判决方式不设置确定不变的判决门限。无论系统何时收到观测数据都要执行相应分析,都要做出适当评价,也都向更高层次系统传送评判结论意见及其有关信息,包括评判结果的置信度。这些评判不一定是确定无疑的,但它可以更充分地发挥所有有用信息的效用,使信息融合结论更可靠更合理。

## 1.2.3 按传感器组合方式分类

在多传感器网络中多种传感器可以按同类传感器或异类传感器进行组合。

### 1. 同类传感器组合

同类传感器组合只处理来自同一类传感器的环境信息,其数据格式、信息内容都完全相同,因而处理方法相对比较简便。

### 2. 异类传感器组合

异类传感器组合同时处理来自各种不同类型传感器采集的数据。优点是信息内容广泛,可以互相取长补短,实现全源信息相关,因而分析结论更准确、更全面、更可靠,但处理难度则高得多。

## 1.2.4 按信息融合处理层次分类

按信息融合处理层次分类是一种最常用的分类方法。前面信息融合的定义提到,信息

融合是一个多级别、多层次的处理过程。按融合层次分类,可分为数据级融合、特征级融合、决策级融合,其中数据级融合是最低层次,决策级融合是最高层次。

### 1. 数据级融合

数据级融合是在采集到的原始信息层次上进行融合,即直接对未经预处理的传感器原始观测数据或图像进行综合和分析。它只适合于同类传感器的数据融合,如同类(或同质)的雷达数据直接合成或多源图像融合(也称为像素级融合)。

其优点是保留了尽可能多的信息,基本不发生信息丢失或遗漏(信息损失量最少),因此融合性能最好。缺点是:①处理信息量大,所需处理时间长,实时性差;②要求数据在时间、空间上严格配准,图像融合则要求严格配准到每个像素的配准精度;③抗干扰性能差、容错性差;④算法难度高。

### 2. 特征级融合

特征级融合兼顾了数据级和决策级的优点,利用从传感器的原始信息中提取到的特征信息进行综合分析和处理。其优点是既保持足够数量的重要信息,又已经过可容许的数据压缩,大大稀释了数据量,可以提高处理过程的实时性;而且特别有价值的是,在模式识别、图像分析、计算机视觉等现代高技术应用中,实际上都是以特征提取为基础的,并已在在这方面开展了大量工作,因此在特征级上进行融合较为方便。特征级信息融合的缺点是,不可避免地会有某些信息损失,因此需对传感器预处理提出较严格的要求。

### 3. 决策级融合

决策级融合是在各传感器和各低层信息融合中心已经完成各自决策的基础上,根据一定准则和每个传感器的决策与决策可信度执行综合评判,给出一个统一的最终决策。

其优点是:①处理的信息量最少,最简单、实用;②容错性强:即当某个或某些传感器出现错误时,系统经过适当融合处理,仍有可能得到正确结果;③传感器可以是异类的,融合中心处理代价低。缺点是信息损失量大,性能相对较差。

上述三个信息融合处理层次的优缺点对比见表 1.1。

表 1.1 信息融合各处理层次的优缺点

	数据级融合	特征级融合	决策级融合
传感器类型	同类	同类/异类	异类
处理信息量	最大	中等	最小
信息量损失	最小	中等	最大
抗干扰性能	最差	中等	最好
容错性能	最差	中等	最好
算法难度	最难	中等	最易
融合性能	最好	中等	最差

## 1.2.5 按信息融合结构模型分类

多源信息融合结构模型可分为集中式和分布式。

### 1. 集中式信息融合结构

每个传感器获得的观测数据都被不加分析地传送给上级信息融合中心。信息融合中心



借助一定的准则和算法对全部初始数据执行联合、筛选、相关和合成处理,一次性地提供信息融合结论输出。

## 2. 分布式信息融合结构

每个传感器都先对原始观测数据进行初步分析处理,做出本地判决结论,先把这种本地判决结论及其有关信息,或经初步分析认定可能存在某种结论但又不完全可靠的结论及其有关信息,向信息融合中心呈报,然后再由信息融合中心在更高层次上集中多方面数据做进一步的相关合成处理,获取最终判决结论。

集中式信息融合方案的优点是数据全面、无信息丢失、最终判决结论置信度高,但数据量大、对传输网络要求苛刻、信息处理时间较长、影响系统响应能力。相比之下分布式信息融合方案需传送的数据量要少得多,对传输网络的要求可以放松,信息融合中心处理时间可以缩短,响应速度可以提高。在当前战场环境日趋复杂,数据容量日益增大的情况下,分布式信息融合方案越来越得到重视。

### 1.2.6 按信息融合目的分类

多源信息融合的目的大体可分为检测、状态估计和属性识别。

#### 1. 检测融合(Detection Fusion)

检测融合的主要目的是利用多传感器进行信息融合处理,可以消除单个或单类传感器检测的不确定性,提高检测系统的可靠性,获得对检测对象更准确的认识,例如利用多个传感器检测目标以判断其是否存在。

利用单个传感器的检测缺乏对多源多维信息的协同利用、综合处理,也未能充分考虑检测对象的系统性和整体性,因而在可靠性、准确性和实用性方面都存在着不同程度的缺陷,需要多个传感器共同检测,并利用多个检测信息进行融合。

#### 2. 估计融合(Estimation Fusion)

估计融合的主要目的是利用多传感器检测信息对目标运动轨迹进行估计。利用单个传感器的估计可能难以得到比较准确的估计结果,需要多个传感器共同估计,并利用多个估计信息进行融合,以最终确定目标运动轨迹。

#### 3. 属性融合(Recognition Fusion)

属性融合的主要目的是利用多传感器检测信息对目标属性、类型进行判断。

### 1.2.7 按融合的信息类型分类

按融合的信息类型区分,多源信息融合可分为数据融合和图像融合。

数据融合(Data Fusion)的信息类型为数据形式。

图像融合(Image Fusion)的信息来源包括可见光、合成孔径雷达、红外等成像设备,主要目的是由原始图像得到更多的图像信息,例如由几个二维图像经融合后得到三维图像或者利用不同信息源得到的图像经融合后产生新的图像。图像融合是战场可视化、预警系统、医学图像处理、机器人视觉、遥感遥测等领域重要的处理技术。图像融合又分为像素级融合、特征级融合及决策级融合等,使融合图像达到理想的技术要求。