



新一代信息通信规划教材

# 多源信息融合理论与应用

DUOYUAN XINXI RONGHE LILUN YU YINGYONG

杨露菁 余华 主编



北京邮电大学出版社  
www.buptpress.com

新一代信息通信规划教材

# 多源信息融合理论与应用

主 编 杨露菁 余 华

北京邮电大学出版社  
·北京·

## 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。

本书从多源信息融合技术的基础理论出发,首先介绍了多源信息融合的基本概念、模型和算法;接着介绍了多传感器的分布式检测、跟踪、管理以及多源信息融合新技术,最后介绍了多源信息融合的军事应用及其他应用。

本书可作为电子科学与技术、通信与信息系统、模式识别与智能系统、控制科学与技术等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。

### 图书在版编目(CIP)数据

多源信息融合理论与应用/杨露菁,余华主编. —北京:北京邮电大学出版社,2005  
ISBN 7-5635-0695-0

I.多... II.①杨...②余... III.信息处理—研究 IV.G202

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第148259号

---

出 版 者:北京邮电大学出版社(北京市海淀区西土城路10号) 邮编:100876

发行部电话:(010)62282185 62283578(传真)

电子信箱:publish@bupt.edu.cn

经 销:各地新华书店

印 刷:北京通州皇家印刷厂

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:13.25

字 数:326千字

印 数:1—3 000册

版 次:2006年2月第1版 2006年2月第1次印刷

---

ISBN 7-5635-0695-0/TN·429

定价:24.00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。

目前已出版的信息融合方面的书籍很少,更缺乏适合于初学者学习使用的教材,因此本书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方法及其应用;同时兼顾到较高级研究者的需求,介绍了多源信息融合的新技术、新方法。

本书从多源信息融合技术的基础理论出发,介绍了以下内容: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。

本书可作为电子科学与技术、通信与信息系统、模式识别与智能系统、控制科学与技术等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。

全书大部分章节及统筹定稿由杨露菁完成,第4、第5和第9章部分内容由余华编写,此外郝威、李启元、段立、程远国、罗兵、李亚楠、宋胜锋等也参与了部分章节的编写工作和资料收集整理工作。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中不当之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

作 者

于武汉海军工程大学电子工程学院

2005年10月

# 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 多传感器系统的定义 .....	3
1.2 多源信息融合分类 .....	3
1.2.1 按融合技术分类 .....	3
1.2.2 按融合判决方式分类 .....	5
1.2.3 按传感器组合方式分类 .....	5
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 .....	6
1.2.6 按信息融合目的分类 .....	6
1.2.7 按融合的信息类型分类 .....	7
1.3 多源信息融合算法概述 .....	7
1.4 多源信息融合系统的基本模型 .....	9
1.4.1 多源信息融合的功能模型 .....	10
1.4.2 信息融合系统的结构模型 .....	11
1.4.3 信息融合模型 .....	16
1.5 多源信息融合技术的发展 .....	22

## 第 2 章 多源检测融合原理

2.1 分布式融合检测系统概述 .....	25
2.1.1 分布式融合检测系统 .....	25
2.1.2 二元假设检验问题 .....	27
2.2 分布式检测融合策略 .....	27
2.2.1 “与”融合检测准则 .....	28
2.2.2 “或”融合检测准则 .....	28
2.2.3 表决融合检测准则 .....	28
2.2.4 最大后验概率融合检测准则 .....	29
2.2.5 Neyman-Pearson 融合检测准则 .....	31
2.2.6 贝叶斯融合检测准则 .....	32

2.2.7 最小误差概率准则	33
2.3 自适应决策融合分布式检测系统	33
2.3.1 概述	33
2.3.2 求解参数的方程组及解析式	34
2.3.3 三传感器的自适应决策融合算法	36
2.3.4 N 传感器的自适应决策融合算法	38
2.3.5 计算机仿真结果	39

### 第3章 多源属性融合原理

3.1 属性融合算法概述	41
3.1.1 属性融合算法分类	41
3.1.2 属性融合算法概述	44
3.2 贝叶斯统计理论	46
3.2.1 贝叶斯统计理论概述	46
3.2.2 基于贝叶斯统计理论的信息融合	47
3.3 Dempster-Shafer 证据理论	49
3.3.1 Dempster-Shafer 证据理论概述	49
3.3.2 基于 Dempster-Shafer 证据理论的信息融合	51

### 第4章 多源状态估计:数据关联

4.1 状态估计的数据融合理论	57
4.1.1 数据关联与状态估计的概念	57
4.1.2 数据关联的应用分类	59
4.1.3 静态数据关联的数学方法	61
4.1.4 动态数据关联和跟踪算法分类	65
4.1.5 航迹数据关联	65
4.2 各种数据关联算法	69
4.2.1 最邻近数据关联	70
4.2.2 概率数据关联	71
4.2.3 联合概率数据关联	74
4.2.4 全局最邻近数据关联	78
4.2.5 简易联合概率数据关联	79
4.2.6 统计关联方法	80
4.2.7 模糊关联方法	80
4.2.8 其他关联方法	84
4.2.9 各种关联方法的评价	85

### 第5章 多源状态估计:状态融合

5.1 关联和跟踪的状态估计器	88
-----------------	----

5.2 各种航迹融合算法	89
5.2.1 卡尔曼加权融合算法	89
5.2.2 简单航迹融合	91
5.2.3 协方差加权航迹融合	92
5.2.4 自适应航迹融合	94
5.2.5 相关航迹的非同步融合	95
5.2.6 模糊航迹融合	97
5.2.7 利用伪点迹的航迹融合方法	98
5.2.8 信息去相关算法	101

## 第 6 章 多传感器管理

6.1 多传感器管理的基本概念	104
6.1.1 多传感器管理的基本概念	104
6.1.2 MSMS 的体系结构	106
6.1.3 传感器管理的方法	107
6.2 指挥控制中的传感器管理	110
6.2.1 指挥控制中的传感器管理问题	110
6.2.2 自适应传感器分配技术	113
6.3 基于效能函数的传感器管理系统	119
6.3.1 多传感器管理系统的效能函数	119
6.3.2 多传感器管理系统仿真	120
6.4 基于模糊逻辑和神经网络的多传感器管理	122
6.5 基于费歇信息增量的多传感器对多目标的分配方法	124

## 第 7 章 多源信息融合新技术

7.1 神经网络信息融合技术	127
7.1.1 信息融合模型的神经网络表示	127
7.1.2 基于神经网络的信息融合技术	128
7.1.3 基于神经网络的融合识别的基本原理	131
7.2 模糊逻辑信息融合技术	132
7.2.1 模糊逻辑概述	132
7.2.2 多传感器模糊关系函数的融合	135
7.2.3 基于可能性理论的信息融合应用	136
7.3 信息融合中的有关熵理论	136
7.3.1 有关熵的概念	136
7.3.2 观测系统的信息融合问题	137
7.3.3 观测决策融合系统的信息融合问题	138
7.3.4 融合系统的熵的结构关系	139
7.4 在信息融合系统中引入多智能体技术	141

7.4.1 多智能体系统 .....	141
7.4.2 多智能体信息融合系统模型 .....	142
7.4.3 信息融合方法中的多智能体技术 .....	143

## 第8章 多源信息融合的军事应用

8.1 雷达组网分布式检测系统 .....	147
8.1.1 雷达组网技术及布站方式 .....	147
8.1.2 雷达组网检测系统结构模型及性能分析 .....	148
8.1.3 雷达网分布式检测数学模型 .....	150
8.1.4 组网雷达检测融合性能仿真计算结果及结果简析 .....	155
8.2 信息融合技术在C <sup>3</sup> I系统中的应用 .....	158
8.2.1 C <sup>3</sup> I系统的多信息源分析 .....	158
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 .....	158
8.2.3 信息融合用于C <sup>3</sup> I系统的目标跟踪 .....	159
8.2.4 信息融合用于C <sup>3</sup> I系统的目标识别 .....	161
8.2.5 多站多目标航迹处理 .....	163
8.3 多传感器组合导航系统 .....	165
8.3.1 概述 .....	165
8.3.2 组合导航系统的结构与算法 .....	166
8.3.3 多传感器组合导航的融合模型 .....	167
8.3.4 组合导航系统未来发展趋势和关键技术 .....	168

## 第9章 多源信息融合的其他应用

9.1 分布式入侵检测系统中的多源信息融合 .....	171
9.1.1 概述 .....	171
9.1.2 基于信息融合的分布式入侵检测模型 .....	172
9.1.3 分布式入侵检测的融合方法 .....	175
9.1.4 基于信息融合的分布式入侵检测系统的设计与实现 .....	178
9.1.5 入侵检测系统的融合判断 .....	181
9.1.6 新型入侵检测模型的优点 .....	182
9.2 信息融合技术在电力系统中的应用 .....	183
9.2.1 概述 .....	183
9.2.2 信息融合技术在电力系统中的应用前景 .....	183
9.2.3 输电网故障诊断的信息融合方法 .....	185
9.2.4 目前存在的主要技术问题 .....	188
9.3 信息融合技术在交通运输领域中的应用 .....	189
9.3.1 概述 .....	189
9.3.2 交通数据融合处理的过程 .....	189
9.3.4 数据融合在车辆跟踪中的应用实例 .....	190



---

9.4 多传感器图像融合技术与应用 .....	191
9.4.1 概述 .....	191
9.4.2 多传感器图像融合的处理层次与特点 .....	192
9.4.3 不同传感器组合的融合问题 .....	194
9.4.4 图像融合的应用实例 .....	197
9.4.5 图像融合技术的发展 .....	197
<b>参考文献</b> .....	199

# 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,而是多个感官的综合。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)获取同质而又不同量的信息,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。也就是说人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。

这种把多个感官信息进行交融的过程就是多传感器信息融合(Multisensor Information Fusion)或称多源信息融合(Multi-Source Information Fusion),如图 1.1 所示。最初,人们把信息融合也称为数据融合(Data Fusion)。

由于人类的感官对于在不同的空间范围内发生的不同物理现象采用不同的测量特征来

度量,所以这个处理过程是很复杂和自适应的。例如,当不同观察者观察同一个对象时,由于他们观察物体的角度和观点不同,因此获得的观察结果是有歧义性和不完整性的。一个古代的寓言讲到:三个盲人把一头象分别辨认成了一根柱子、一面墙和一把扇子,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,这个过程也是一个融合过程,是相当复杂的。

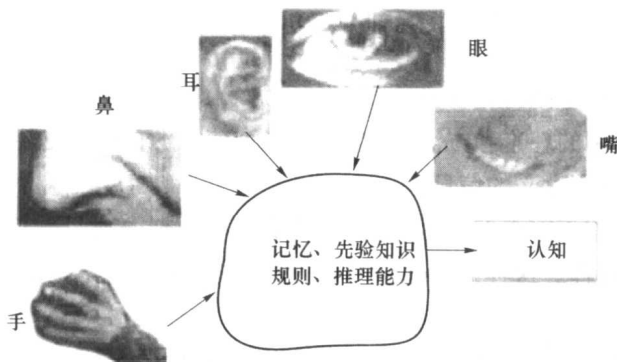


图 1.1 人类大脑的多传感信息融合

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。

### 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。目前普遍接受的有关信息融合的定义,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,1994 年由澳大利亚防御科学技术委员会(DSTO:Defense Science and Technology Organization)加以扩展的。它将信息融合定义为一种多层次、多方面的处理过程,包括对多源数据进行检测、相关、组合和估计,从而提高状态和特性估计的精度,以及对战场态势和威胁及其重要程度进行适时的完整评价。

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,从而形成一个表示构架,这种构架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。

一般意义上的多源信息融合技术是一种利用计算机技术,对来自多种信息源的多个传感器观测的信息,在一定准则下进行自动分析、综合,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,并最终完成其最终任务的信息处理技术。这一处理过程称为融合,表示把多源信息“综合或混合成一个整体”的处理过程。在商业、民用和军事 C<sup>3</sup>I 系统中,许多重要的任务都需要多源信息的智能组合。这种信息综合处理过程有多种名称,诸如多传感器数据融合、多传感器或多源相关、多传感器信息融合等。

### 1.1.3 多传感器系统的定义

在多传感器数据融合中,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。例如在C<sup>3</sup>I系统中,多传感器系统是指由有源和无源两类传感器(如单基地和双-多基地雷达、激光探测器、声学探测器、电子侦察信息、电子情报等)组成的网络。它们覆盖了整个频谱(从微波经毫米波、红外直到电光)。

由于在C<sup>3</sup>I系统中,多传感器系统中的传感器类型有好多种,采用不同的度量方法及度量单位,因此所获得的目标信息类型也有好多种,要把这些不同测量特征的信息进行融合显然是一件十分困难的事情。

最简单的融合是合并多个相同传感器的数据,这种合并可以获得较为满意的解决。例如,空中交通管制系统和网状雷达防空系统需要组合多个雷达的飞机跟踪数据(位置、速度、方向)。由于每部雷达提供的数据相类似(包括位置、方向、速度),数据融合就建立在相同类型数据的基础上,很直截了当。需要注意的是,一部传感器同时处理的目标数一般为几百个。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,系统需要将目标跟踪从一个传感器正确地切换到另一个传感器。

当传感器或其他数据源的性质、精度和细节程度不同时,融合是相当复杂的。例如,先有某个探测源报告某地机场有架飞机已经起飞,而一段时间后异地的雷达探测器检测到的一架飞机是否就是那架飞机,这个判断过程并不那么容易。在融合中,不同探测源或传感器数据的有效性能改善估算质量,但是,从分布广泛的信息源中自动收集数据不仅逻辑上困难,而且多余的(甚至是欺骗性的)信息增加了融合的难度,降低了估算结果的可信度。因此首先需要对大量的数据进行检测,将冗余数据丢掉。除此之外,如果收集和处理数据的时间太长,估算结果得到的太迟也毫无价值。

## 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的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 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,涉及到许多学科领域。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,多源信息融合可分为数据级信息融合、特征级信息融合、决策级信息融合等。

#### 1. 数据级信息融合

数据级信息融合直接对未经预处理的传感器原始观测数据进行综合和分析。其优点是保持了尽可能多的客体信息,基本不发生信息丢失或遗漏;缺点是处理数据太多,耗费时间太长,实时性差。

#### 2. 特征级信息融合

特征级信息融合亦称文件级信息融合,是对已经过传感器初步预处理之后,在传感器实现基本特征提取、提供文件报告的基础上执行的综合分析处理。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,实际都以特征提取为基础,都已在这方面开展大量工作。特征级信息融合的缺点是,不可避免地会有某些信息损失,因而需对传感器预处理提出较严格的要求。

#### 3. 决策级信息融合

决策级信息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,给出统一的一个最终决策。

### 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,只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

按融合的信息格式区分,多源信息融合可分为数据融合和图像融合。

数据融合(Data Fusion)的信息格式为数据形式。

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。

## 1.3 多源信息融合算法概述

自20世纪80年代中期以来,多传感器信息融合技术(MSDF)成为处理大量数据和决策支持的有力方法。信息融合集成了传统的学科和新的技术,实现了信息融合的应用。这些学科和技术包括计算机科学、专家系统、决策论、认识论、概率论、数字信号处理、模糊逻辑和神经网络等。

(1) 信息融合理论分为基于概率论的方法和非概率的融合方法。

基于概率论的方法有

- 经典概率推理;
- 经典贝叶斯推理;
- 贝叶斯凸集理论(Convex Set Bayesian);
- 信息论(Shannon 理论)等等。

非概率的融合方法有

- D-S 证据推理;
- 模糊逻辑;



- 人工神经网络;
- 条件事件代数;
- 随机集理论(Random Set Theory);
- 粗集(Rough Set);
- 鞅论;
- 小波变换。

(2) 信息融合的支撑学科有如下几种:

- 计算机科学与工程;
- 信息论:Shannon 理论;
- 数学:概率论、泛函分析、随机集与鞅论、最优化理论等;
- 模式识别:目标基本的分类方法;
- 理解与推理:不确定性推理;
- 传感器技术:雷达(普通雷达、成像 SAR)、红外 IR 传感器(非成像、亚成像和成像)和声呐等;
- 信号处理技术:经典信号处理理论和现代的数字滤波器、FFT、自适应信号处理、多抽样信号处理等;
- 统计学:随机过程、统计信号检测与估计理论;
- 系统与控制;
- 人工智能和专家系统。

信息融合中数学工具的功能是最基本和多重的,它将所有的输入数据在一个公共空间内加以有效描述,同时对这些数据进行适当综合,最后以适当的形式输出和表现这些数据。在信息融合领域使用的主要数学工具或方法有概率论、推理网络、模糊理论和神经网络等,其中使用较多的是概率论、模糊理论、推理网络。当然,除了这几种常用的方法之外,还有其他很多解决途径。

### 1. 概率论

在融合技术中最早应用的就是概率论,在一个公共空间根据概率或似然函数对输入数据建模,在一定的先验概率情况下,根据贝叶斯规则合并这些概率以获得每个输出假设的概率,这样可以处理不确定性问题。贝叶斯方法的主要难点在于对概率分布的描述,特别是当数据是由低档传感器给出时就显得更为困难,另外,在进行计算的时候,常常简单地假定信息源是独立的,这个假设在大多数情况下非常受限制;卡尔曼滤波方法则根据预先估计和最新观测,递推地提供对观测特性的估计。概率论和模糊集理论的综合应用给解决多源数据的融合问题提供了工具。

### 2. 推理网络

推理网络的构建和应用有着很长的历史,可以追溯到 1913 年由一位名叫 John H. Wigmore 的美国学者所做的研究工作。近年来,许多对于分析复杂推理网络的理论往往基于贝叶斯规则的推论,并且都被归类于贝叶斯网络。贝叶斯网络在许多 AI 任务里都已作为对于不确定推理的标准化有效方法。贝叶斯网络的优点是简洁、易于处理相关事件;缺点是不能区分不知道和不确定事件,并且要求处理的对象具有相关性。在实际运用中一般不知道先验概率,当假定的先验概率与实际相矛盾时,推理结果很差,特别是在处理多假设和多条