

# 多传感器信息融合 理论技术及应用

孙力帆 著

DUOCHUANGANQI XINXI RONGHE  
LILUN JISHU JI YINGYONG

中国原子能出版社

# 多传感器信息融合

## 理论技术及应用

孙力帆 著

中国原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

多传感器信息融合理论技术及应用 / 孙力帆著. --  
北京: 中国原子能出版社, 2018. 5  
ISBN 978-7-5022-9071-9

I. ①多… II. ①孙… III. ①传感器—信息融合  
IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 114926 号

## 内 容 简 介

随着科学技术的发展,特别是微电子技术、集成电路及其设计技术、计算机技术、近代信号处理技术和传感器技术的发展,多传感器信息融合已经发展成为一个新的学科方向和研究领域。本书对多传感器信息融合理论技术及应用进行了研究,主要包括:状态估计与不确定性理论、模糊推理与神经网络、检测融合、估计融合、目标跟踪与航迹融合、数据关联、态势与威胁评估、多传感器系统中信息融合的应用等。本书结构合理,条理清晰,内容丰富新颖,是一本值得学习研究的著作。

多传感器信息融合理论技术及应用

---

出版发行 中国原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100048)

责任编辑 张琳

责任校对 冯莲凤

印刷 三河市铭浩彩色印装有限公司

经销 全国新华书店

开本 787mm×1092mm 1/16

印张 18

字数 233 千字

版次 2019 年 3 月第 1 版 2019 年 3 月第 1 次印刷

书号 ISBN 978-7-5022-9071-9 定价 72.00 元

---

网址: <http://www.aep.com.cn>

E-mail: [atomep123@126.com](mailto:atomep123@126.com)

发行电话: 010-68452845

版权所有 侵权必究

# 前 言

多传感器信息融合技术(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。随着科学技术的发展,特别是微电子技术、集成电路及其设计技术、计算机技术、近代信号处理技术和传感器技术的发展,多传感器信息融合已经发展成为一个新的学科方向和研究领域。伴随着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均有应用。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。因此多传感器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。

信息融合最早应用于军事领域,实际上,在第二次世界大战期间就已经在高炮火控雷达上加装了光学测距系统,这不仅大大地提高了系统的测距精度,同时也大大地提高了系统的抗干扰能力。从这种意义上说,多传感器信息融合在第二次世界大战期间就已经有了应用。信息融合在军事领域的应用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。

在民用领域,机器人多传感器信息处理系统、医学多传感器

图像融合系统、遥感多传感器融合系统,乃至现代移动通信系统等,这项技术均已得到普遍应用。

本书注重知识的系统性,循序渐进,由浅入深。全书共分为9章。第1章为绪论,第2章为状态估计与不确定性理论,第3章为模糊推理与神经网络,第4章为检测融合,第5章为估计融合,第6章为目标跟踪与航迹融合,第7章为数据关联,第8章为态势与威胁评估,第9章为多传感器系统中信息融合的应用。

多传感器信息融合技术涉及诸多学科,知识面宽泛,在撰写本书的过程中,以作者在多传感器信息融合方面的研究为基础,参考并引用了国内外专家学者的研究成果和论述,在此向相关内容的原作者表示诚挚的敬意和谢意。多传感器信息融合技术是一门高速发展的技术领域,新技术、新方法、新架构层出不穷,由于作者水平有限,加之时间仓促,错误和遗漏在所难免,恳请读者批评指正。

本专著出版受国家自然科学基金(U1504619)和河南省科技攻关计划项目(182102110397)资助。

作者

2018年3月

# 目 录

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 多传感器信息融合的基本概念 .....	1
1.2 多传感器信息融合的分类 .....	6
1.3 多传感器信息融合系统的基本模型 .....	9
1.4 多传感器信息融合技术的应用 .....	15
1.5 多传感器信息融合技术的历史、现状与发展趋势 .....	17
第 2 章 状态估计与不确定性理论 .....	20
2.1 卡尔曼滤波 .....	20
2.2 运动模型的稳态滤波器 .....	29
2.3 扩展卡尔曼滤波 .....	35
2.4 主观 Bayes 方法 .....	38
2.5 证据理论 .....	41
2.6 主观 Bayes 方法和证据理论的比较 .....	45
第 3 章 模糊推理与神经网络 .....	46
3.1 模糊集合与模糊关系 .....	46
3.2 模糊度与相似度 .....	49
3.3 模糊推理的基本思想 .....	51
3.4 Mamdani 模糊推理方法 .....	55
3.5 模糊逻辑 .....	59
3.6 人工神经网络 .....	60
第 4 章 检测融合 .....	62
4.1 假设检验 .....	62

4.2	检测融合结构模型 .....	71
4.3	基于并行结构的分布式检测融合 .....	73
4.4	基于串行结构的分布式检测融合 .....	77
4.5	树状分布式检测融合 .....	81
4.6	反馈网络中的分布式检测融合 .....	83
4.7	分布式恒虚警概率检测 .....	88
<b>第 5 章</b>	<b>估计融合 .....</b>	<b>94</b>
5.1	估计融合系统结构 .....	94
5.2	多传感器系统数学模型 .....	97
5.3	集中式融合系统 .....	99
5.4	分布式估计融合 .....	106
5.5	基于协方差交集的分布式信息融合 .....	113
5.6	混合式估计融合 .....	119
5.7	异步估计融合 .....	122
<b>第 6 章</b>	<b>目标跟踪与航迹融合 .....</b>	<b>127</b>
6.1	目标跟踪的基本概念和原理 .....	127
6.2	跟踪门 .....	128
6.3	目标跟踪模型 .....	130
6.4	目标跟踪算法 .....	145
6.5	航迹初始与终止 .....	162
6.6	航迹管理 .....	168
6.7	航迹融合及其算法 .....	173
<b>第 7 章</b>	<b>数据关联 .....</b>	<b>176</b>
7.1	概率数据关联 .....	176
7.2	联合概率数据关联 .....	180
7.3	多假设跟踪、分布多目标跟踪 .....	189
7.4	多维分配数据关联算法 .....	196
7.5	基于统计的分布式航迹关联 .....	204
7.6	基于模糊综合函数的航迹关联算法 .....	205

7.7	多传感器多目标航迹的静态关联方法 .....	210
7.8	基于 LMMSE 的多传感器航迹融合 .....	216
<b>第 8 章</b>	<b>态势与威胁评估 .....</b>	<b>222</b>
8.1	态势评估的概念 .....	222
8.2	态势评估的实现 .....	226
8.3	态势评估的方法 .....	231
8.4	威胁评估及其知识库 .....	233
8.5	基于多因子综合加权的威胁评估 .....	242
<b>第 9 章</b>	<b>多传感器系统中信息融合的应用 .....</b>	<b>246</b>
9.1	雷达组网分布式检测系统 .....	246
9.2	信息融合技术在 C <sup>3</sup> I 系统中的应用 .....	253
9.3	被动/红外复合制导信息融合 .....	261
9.4	信息融合技术在分布式入侵检测系统中的应用 .....	263
9.5	信息融合技术在智能交通中的应用 .....	266
9.6	信息融合技术的其他应用 .....	268
<b>参考文献</b>	.....	<b>272</b>



# 第 1 章 绪 论

多源信息融合(Multi-Source Information Fusion, MSIF)技术,又称多传感器信息融合技术,主要研究如何对多源不确定性信息综合处理及利用,是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,从而产生新的有具体意义的信息。

随着传感器技术、计算机科学以及信息技术的迅速发展,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,并应用于不同领域,以便提高工作效率。

## 1.1 多传感器信息融合的基本概念

### 1.1.1 多源信息融合的来源

多源信息融合是一种基本功能,在感知客观对象时,并不仅仅依靠一种感官,更多的是需要综合多个感官的感知结果。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,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。此时,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。

综上,人类和动物本身就是一个高级的信息融合系统,大脑协同多类感官去感知一事物各个侧面的信息,并根据相关经验与知识进行分析与综合判决,从而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。

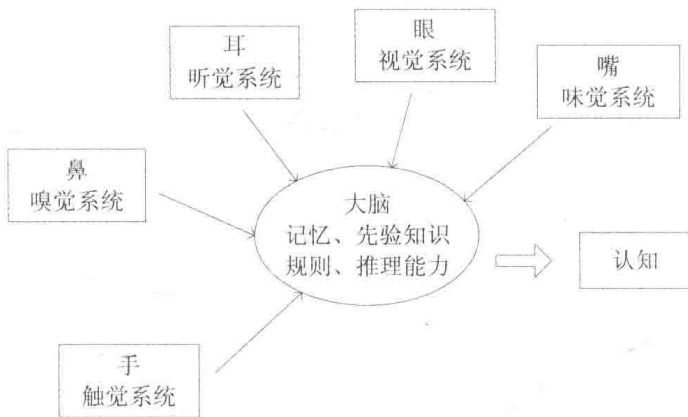


图 1-1 人类大脑的多感官信息融合

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。也就是说,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,只有对各个组成侧面的信息进行综合统一,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。将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。

### 1.1.2 多源信息融合的定义

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,认为信息融合是一个多层次、多方面的处理过程,包括对多源数据的检测、关联、估计等处理,以便得到精确的状态估计及完整的战场态势和威胁估计。

该定义强调信息融合的三个主要方面。

①多层次性。不同层次代表不同级别,一般包括数据级、特征级、决策级。

②多过程性。信息融合包括对数据的检测、关联、估计以及综合等过程。

③结果的层次性。信息融合的结果包括低层次的状态估计以及高层次的态势、威胁估计。

广义的信息融合是指对多源不确定性信息的综合处理及利用,以便获得单个或单类信息源无法提供的有价值的综合信息,并最终完成其决策和估计任务。

此外,也有专家认为,信息融合是由多种信息源获取有关信息,并进行相关处理,形成一个适合于获得有关决策的架构,如对信息的解释决策,最终达到系统目标识别、跟踪、态势评估以及系统控制等目的。

如果信息源是对环境进行观测或探测的传感器实体,如雷达、声呐、红外、光学设备等,此时的信息融合称为多传感器数据融合。而当信息融合扩大到多类信息源,如数据库、知识库和人工情报时,称为多源信息融合(Multi-Source Information Fusion, MSIF)。

综合几个定义,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,从而得出更为准确、可靠的结论。

### 1.1.3 多源信息融合的优势

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

由于各传感器分布在不同的空间,所以一种传感器可以通过交叉覆盖的传感器作用区域,探测到其他传感器探测不到的地方、目标或事件,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。此外,多传感器可以分时工作,如可见光-红外传感器系统,可以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,它们在空间上重叠,无法可靠地分离。但是如果增加距离测量,如图 1-2(b)所示,就很容易分类。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。

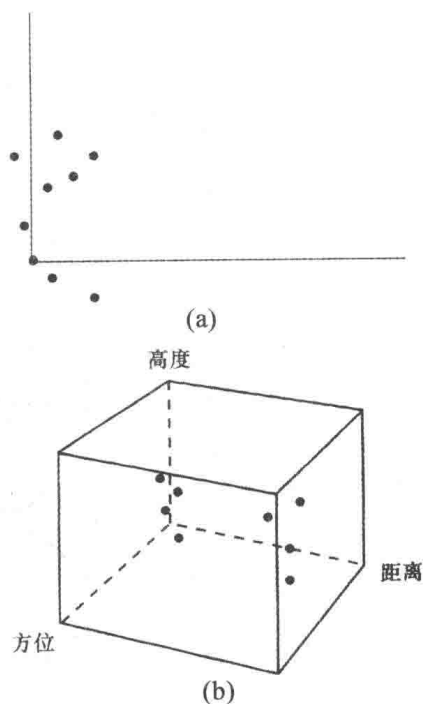


图 1-2 增加测量空间维数的优势

(a)两个空中目标的方位和高度测量;(b)增加距离测量

### 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,当一个雷达工作在 1 GHz 频率,另一个雷达工作在 3 GHz 频率时,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或事件进行确认时,可以降低不确定性,减少信息的模糊性,提高信息的可信度,从而提高检测、识别、跟踪等决策的可信度。例如,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。

对于多传感器目标识别而言,现代战场上,由于目标种类的日益增多、行为的日趋复杂,加之战场环境的复杂性及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、敌我识别器以及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。此时,可以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,最大限度地提高识别的准确性。

## 1.2 多传感器信息融合的分类

多源信息融合有多种分类方法,如按照其融合技术、融合判决方式、信息融合处理层次、信息融合结构模型、信息融合目的分类等。

### 1.2.1 按融合技术分类

多源信息融合按照融合技术可以分为 5 类,如图 1-3 所示。

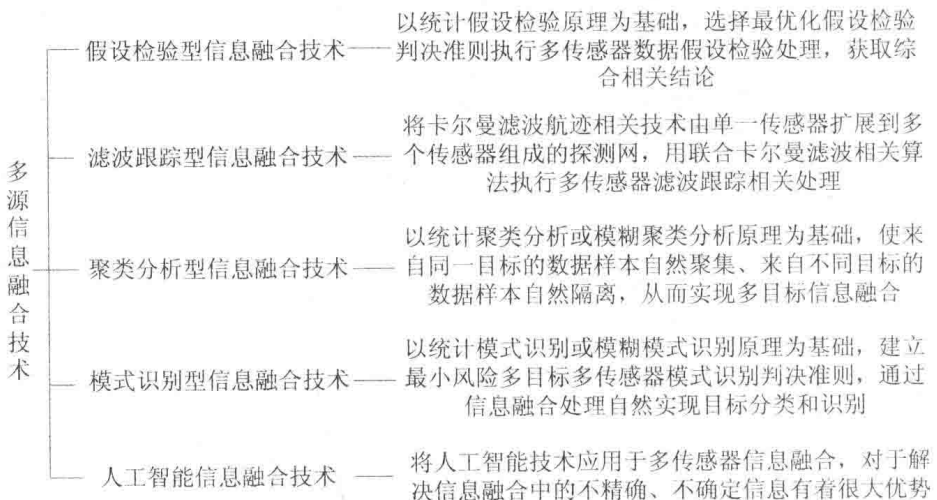


图 1-3 多源信息融合技术

### 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。

#### 1. 硬判决方式

硬判决方式以经典的数理逻辑为基础,设确定的预置判决门限。只有当数据达到或超过预置门限时,系统才做出判决;断言确定时,系统才会向高层次传送结论。

#### 2. 软判决方式

软判决方式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。系统对所收到的观测数据都执行相应分析,做出适当评价,并向高层次传送结论意见及有关信息。

### 1.2.3 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,可分为数据级融合、特征级融合、决策级融合。

#### 1. 数据级融合

数据级融合是对原始信息的融合,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。

数据级融合保留尽可能多的信息,融合性能最好。但由于处理信息量大,所需时间长,其实时性较差;此外,数据级融合要求数据在时间、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;抗干扰性能、容错性差;且算法难度高。

## 2. 特征级融合

特征级融合利用原始信息中提取的特征信息进行综合分析和处理。既保持足够数量的重要信息,又经过数据压缩稀释数据量,提高处理过程的实时性;此外,模式识别、图像分析、计算机视觉等现代高技术以特征提取为基础,因此在特征级上进行融合较为方便。

## 3. 决策级融合

决策级融合以各传感器低层信息的融合中心完成各自决策为基础,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,最终给出统一决策。

决策级融合处理的信息量最少、最简单、最实用;其中的传感器可以是异类的,融合中心处理代价低。但是信息损失量大,性能相对较差。

### 1.2.4 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

集中式信息融合将传感器获得的观测数据直接传送给上级信息融合中心,借助一定的准则和算法对数据进行处理,一次性地提供信息融合结论输出。

#### 2. 分布式信息融合结构

分布式信息融合模型中,传感器先对原始观测数据进行初步分析处理,做出初步判决结论后传送给信息融合中心,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处理,获取最终判决结论。

### 1.2.5 按信息融合目的分类

多源信息融合的目的可分为检测、估计和属性 3 种。

#### 1. 检测融合

检测融合(Detection Fusion)利用多传感器进行信息融合处理,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。

#### 2. 估计融合

估计融合(Estimation Fusion)利用多个传感器的检测信息对目标运动轨迹进行估计,并对多个估计信息融合,以确定目标最终运动轨迹。

#### 3. 属性融合

属性融合(Recognition Fusion)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。

## 1.3 多传感器信息融合系统的基本模型

多源信息融合系统的模型设计直接决定融合算法的结构、性能以及系统的规模,是多源信息融合的关键,主要包括功能、结构和信息融合模型的设计。