

文章编号: 1672-8785(2021)01-0021-06

# 多传感器信息融合技术及其应用

赵 玲

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

**摘 要:** 随着科学技术的迅猛发展, 信息采集与融合趋于多元化和复杂化。单一的传感器已经无法满足需求。因此, 多传感器信息融合技术开始广泛应用于各行各业, 并提高了信息处理的准确性和完整性。从概念、结构与分类、关键算法的研究和实际应用等方面对多传感器信息融合技术进行了介绍, 并总结了该技术的发展趋势与未来前景。

**关键词:** 多传感器; 信息融合; 融合算法

**中图分类号:** TP212.9 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2021.01.005

## Multi-Sensor Information Fusion Technology and Its Application

ZHAO Ling

(North China Research Institute of Electro-Optics, Beijing 100015, China)

**Abstract:** With the rapid development of science and technology, information collection and fusion tend to be diversified and complicated. A single sensor can no longer meet the demand. Therefore, multi-sensor information fusion technology begins to be widely used in all walks of life, and improves the accuracy and integrity of information processing. The multi-sensor information fusion technology is introduced from the aspects of concept, structure and classification as well as the research and practical application of key algorithms in this paper, and the development trend and future prospect of this technology are summarized.

**Key words:** multi-sensor; information fusion; fusion algorithm

### 0 引言

20 世纪 70 年代, 概率数据互联 (Probabilistic Data Association, PDA) 概念被首次提出。它被认为是信息融合技术发展的起点, 此后进步迅速。信息融合的基本原则就是充分利用目标周围的复杂信息源, 并根据某些标准要求对这些信息进行分类组合, 以获得更好的目标性

能。随着科技的不断发展, 仅仅采用一种方式很难对目标的状况作出准确预判。因此, 多传感器信息融合技术应运而生。下面对此项技术及其应用进行研究。

### 1 多传感器信息融合技术

#### 1.1 定义

传感器是一种用于获取各类特定信息(如

收稿日期: 2020-09-12

作者简介: 赵玲(1996-), 女, 陕西杨凌人, 硕士, 主要研究方向为红外图像处理。

E-mail: zhaolbuct@163.com

温度、压强等)的检测装置,其作用过程是将其感受到的检测信息转换成人们需要的输出信息类型(如电信号)。它就像是人体的感官细胞,可以达到传递信息的目的。随着智能化的不断发展,单一的传感器信息显然无法满足产品的需要。人们期待产品能够更加“理解”人类的需求。这就需要为目标产品安装更多的“感官细胞”——传感器,即通过获取多个传感器的信息源来解决问题。多传感器信息融合技术就是借助特定准则的引导,利用现代计算机技术进行观测和分析多传感器数据,然后对冗余信息进行排序并整合互补信息,从而对目标作出准确预估。该技术模拟了人类大脑获取、理解、分析和处理感知信息的整套流程。它利用多个传感器的信息,从不同的角度弥补计算机感知完整性的不足,代表了一种高级的信息处理能力和预判水平。

## 1.2 层次

根据抽象程度的不同,可将多传感器信息融合技术划分为像素层融合、特征层融合以及决策层融合三个层次<sup>[1]</sup>。处理问题时,可以根据不同目标特性进行合理选择。

### 1.2.1 像素层融合

像素层融合又称为数据层融合,即原始数据的直接融合,属于最低层次的融合方式(见图1)。这种方式几乎不处理收集到的同类型数据,而直接对其进行整合研究,保留了更多的初始细节信息。但是过多的信息量会导致系统计算处理时占用更多内存且耗时。该方式的实时效果极差,并且由于数据本身具有很大的不稳定性,要求处理系统具备很好的容错能力。

### 1.2.2 特征层融合

特征层融合属于中间层次的融合方式(见图2),但却同时具备低层次和高层次的部分优势。它一般分为目标特征信息融合和目标状态信息融合两类。其中,状态信息融合适用于对目标的跟踪,主要是数据配准实现状态与参数的相互估计;而特征信息融合则适用于组合

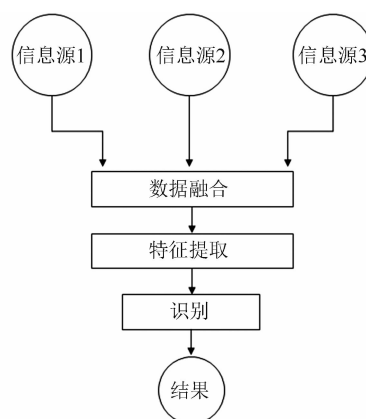


图1 像素层融合

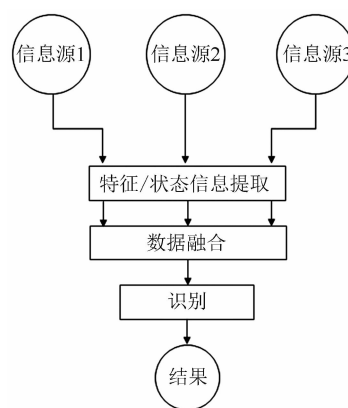


图2 特征层融合

分类,主要基于传统模式识别技术实现分类融合。特征层融合能够自动提取原始数据中具有代表性特征的信息源,并对其进行整合,保留重要信息,从而为后期的决策提供数据支持。该方式对通信宽带的要求很低。但是,丢失数据会导致相应的准确性降低。

### 1.2.3 决策层融合

决策层融合属于最高层次的融合方式(见图3)。该方式要求在每个传感器独立完成监测数据的特征提取和识别任务的同时,整合多个传感器的结果。它直接面对决策目标,并为最终产生决策结果奠定基础。决策层融合具有灵活性好、抗干扰能力强等特点,即使部分传感器出现故障或失效,仍能给出合理的决策结果。但是该方式会压缩数据,因此需要高成本地进行处理甚至损失大量的细节信息。

## 1.3 信息融合结构

信息融合技术的体系结构一般分为集中式

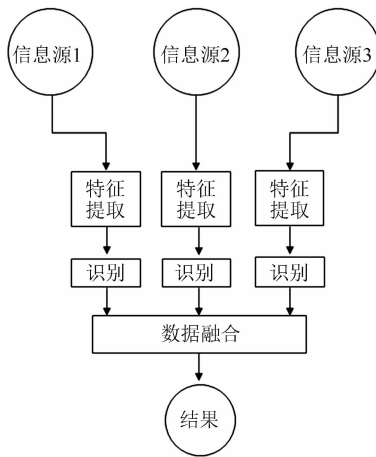


图 3 决策层融合

融合、分布式融合和混合式融合三种<sup>[2]</sup>。在具体设计时,应当依照具体情况进行合理的选择。表 1 列出了三种融合结构的性能对比情况<sup>[3]</sup>。

### 1.3.1 集中式融合结构

在集中式融合结构中,每个传感器都需要将观测数据直接发送至融合中心统一进行判断决策(见图 4)。该结构的信息损失率低且基本保留了原始数据,但是需要较大的通信带宽进行传输,并且要求融合中心具有较高的信息处理运算能力。

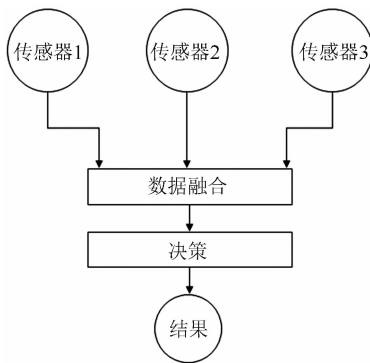


图 4 集中式融合结构

### 1.3.2 分布式融合结构

在分布式融合结构中,每个传感器都对自己观测的原始数据进行初步预判,然后分别将结果发送至融合中心进行最终的判定(见图 5)。该方式降低了融合中心的传输和运算压力,因此具有更好的系统可靠性。近年来,这种融合结构也更受研究人员的欢迎。

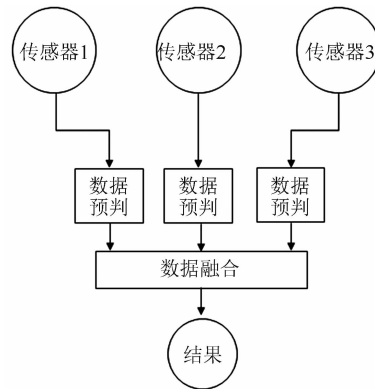


图 5 分布式融合结构

### 1.3.3 混合式融合结构

混合式融合结构(见图 6)保留了集中式与分布式结构的优点,能够在不同情况下灵活地完成任务要求。但是它对结构设计的要求高,而且系统稳定性一般。

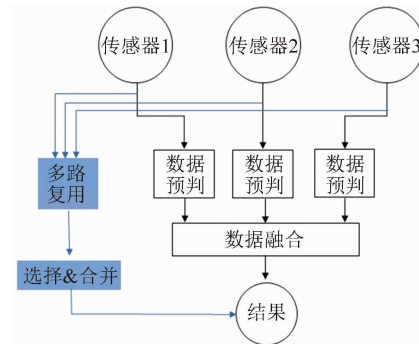


图 6 混合式融合结构

## 1.4 算法研究

多传感器信息融合算法是完成融合工作的重要基础,其主要作用是通过融合层并采用数学方法对观测数据进行处理或逻辑判断,从而实现最终的融合结果。目前,已有的融合算法十分多样化。下面基于多传感器信息融合的结构层次顺序,选取重要的部分算法进行介绍。

### 1.4.1 像素层算法

像素层常用的融合方法是加权平均法和卡尔曼滤波法等<sup>[4]</sup>。与像素层特点类似,加权平均法属于最为简单直接的信息融合方法。它主要是通过对不同传感器提供的数据进行加权平均来得到最后的融合结果。如何选择权值的配比以及具体的计算形式都将视情况而定。这也是该方法的主要难点。

表 1 不同多传感器信息融合结构的性能比较

融合结构	信息损失	精度	通信宽度	可靠性	计算速度	融合处理	融合控制
分布式	大	低	小	高	快	容易	复杂
集中式	小	高	大	低	慢	复杂	容易
混合式	中	中	中	高	中	中等	中等

卡尔曼滤波法是根据测量模型的统计特性进行递归计算的过程。它适用于平稳随机过程，并要求系统具有线性的动态模型，且系统噪声符合高斯分布的白噪声模型，另外还要对错误信息比较敏感。在像素层融合时，传感器接收到的数据一般存在较大误差。采用卡尔曼滤波法可以有效减小数据间的误差，从而改善融合效果。

#### 1.4.2 特征层算法

特征层常用的融合算法包括聚类分析法、熵法、基于神经网络的算法以及模糊理论等。

聚类分析的核心思想是根据一定的分类规则，将空间分布的目标划分成确定目标类别的子集。该方法能够对大量数据进行快速提取和分类，并可在特征层融合结构中提高数据特征提取与分类的速度，从而减小融合中心的计算负担和提高融合的整体性能。

熵在物理热力学中表示事物的不确定性程度。当熵最小时，系统的无序程度最低。在特征层融合中，利用该思想对数据进行特征提取有助于提高融合系统中数学建模的速度。

基于神经网络的算法是近些年基于神经网络技术不断发展和成熟而建立起来的方法。它利用神经网络的特性，能够较好地解决传感器系统的误差问题。神经网络的基本信息处理单元是神经元。利用不同神经元之间的连接形式并选择不同的函数，可以获得不同的学习规则和最终结果。这就丰富了融合算法的多样性。此外，选取的学习数据库的差异也导致融合结果存在不同效果。

模糊理论基于人类的思维模式，根据对客观事物认知的统一特点进行总结、提取、抽象以及概括，最后演变为模糊规则来帮助相应函

数进行结果判决。模糊理论可根据具体情况与不同的算法合作，共同解决不确定性的问题。在特征层中，需要根据实际情况选用合适的算法与模糊理论相结合，使其共同地有效提高融合效果。但是模糊理论的难点在于如何构造合理的指标判断规则和隶属函数。

#### 1.4.3 决策层算法

决策层常用的融合算法包括贝叶斯估计、D-S 证据理论法等。

贝叶斯估计的基本思路是将每个传感器都看作是一个贝叶斯估计器，并将每个目标的相关概率分布组合成联合分布函数。然后根据不同的新观测值来更新联合分布似然函数，并利用似然函数的极值完成融合。

D-S 证据理论法<sup>[5]</sup>实际上是广义的贝叶斯推理法。它将事物的不确定性描述并转换成可用概率分布函数表示的不确定性描述集，然后获得似然函数以描述不同数据对命题结果的支持率，并通过推理获得目标融合结果。该方法的优点是能够根据不确定信息的情况，通过信任函数和不信任函数将证据区间分为支持、信任和拒绝三类并进行快速分类，且在最终的决策层可以很好地进行分类决策以推动最后的结果。

## 2 多传感器信息融合技术的应用

### 2.1 军事防御

信息融合技术最早是由美国开始研究并引入军事领域的。目前，多传感器信息融合技术已经应用于情报收集和作战系统，比如战场海军战争状态分析显示系统、军用情报分析系统、海洋监视系统等。美国、俄罗斯、英国和法国等国家已经研制出各种各样的军事数据融合系统，并将其用于战术指挥控制、主战飞机



F22 以及陆军直升机等。该技术在国内外起步相对较晚,目前的系统大多采用集中式数据结构。但是集中式信息融合系统的缺点在于系统的重要节点如果被破坏可能会造成系统瘫痪。而分布式系统则由各自的节点负责,单独某一节点受到攻击并不影响整个系统的运行。目前,系统设计也在不断向分布式和自动化的方向发展。在雷达数据处理系统、目标捕获识别系统等重要作战平台中,该技术已经开始应用并发挥重要作用。充分利用雷达、红外探测器以及声呐探测器等多个传感器的信息,可以使单兵装备信息协同工作。这项技术将会在未来智慧化网络战场系统的建立中起到重要作用。

## 2.2 智能化工业

目前工业已经向着更加自动化的智能处理方向发展。而多传感器信息融合技术也多次用于不断改进和更新工业设备的使用与识别方法。例如,在基于多传感器数据融合的袋式除尘器滤袋破损监测方法<sup>[6]</sup>中,采用 D-S 证据理论并通过融合各传感器的信号数据来判断滤袋破损问题;在基于 D-S 证据理论的道砟清筛机作业工况识别中,采集清筛机各工作装置的压力传感器信号并建立特征库,再采用分布式结构进行信息融合,从而判断作业工况。

如今,工业领域的环境监测更加规范化、严格化。将多传感器信息融合技术用于监测工业环境状态变化也是新的趋势。例如,对机房温度进行态势感知及预警,即在搭建好的机房温度与外部环境参数实时监控采集的基础上,将机器学习算法和信息融合技术相结合,从而实现温度实时感知与异常判断;在火灾监测系统设计中<sup>[7]</sup>,把评估火灾相关因素(如烟雾、温度等)的传感器装在需要检测的部位,并结合基于神经网络的数据融合技术来完成设计。它可以对易发生危险的厂房或者工作场地进行实时检测并完成异常报告。

## 2.3 机器人设计

作为现代科技产品,人工智能机器人的市场普及率越来越高。在路线导航、指令识别、

人机互动等方面,都需要机器人通过不断学习训练网络数据来实现。未来的机器人需要在情绪、指令理解、物品识别、导航<sup>[8]</sup>等方面做得更好,用户也将更加注重与机器人的互动交流。如何充分调动各类传感器并通过分析传感器数据信息和利用神经网络、机器学习等算法使机器人运行流畅,是机器人能否进一步实现智能化的关键。而多传感器信息融合技术则是解决这个问题的重要途径。该技术能够为更好地进行数据采集和融合分析判断提供可能性。它既可以使机器人在检测、搬运、导航定位等方面做得更加精准并得到量化应用,进而完全实现“机器人工厂”;也可以充分调动机器人的各个传感器数据信息,让机器学习更加流畅自如,进而使得机器人的人机交互效果更加理想。由此可见,多传感器信息融合技术将会在未来机器人设计领域拥有十分广阔的应用前景。

## 2.4 其他应用

通过资料了解到,多传感器信息融合技术在安全预警、故障检测、医疗诊断等方面也具有很高的应用价值。比如,在预警系统中,收集所有可能会造成风险的危险因子数据并对其进行信息融合,然后根据危险等级构造预警响应阶梯,以避免由单一的风险因素导致预警系统判断失误而造成的安全事故,同时还能够更加准确地判断事故危险程度并及时对其进行处理;车辆等设备在长期使用过程中必然存在安全隐患,因此通过收集多点的传感器数据来合理分析关键部位是否存在故障,对于准确判断运输业及交通业等领域的故障具有重要意义;在检测器官病变时,通过对超声波图像、X 射线图谱、血管造影等多种不同类型的图像数据进行融合,可以更加快速地确定病变位置,从而帮助医生推断病情。

## 3 结论

作为信息革命的一个新方向,多传感器信息融合技术不但提高了数据的利用率,而且增强了数据系统的稳定性和可靠性,还充分排除了冗余信息量,从而实现了最终决策的快速性

和准确性。该技术对系统的软硬件提出了较高的要求。它需要更敏感的多种类传感器硬件设备, 还需要不断优化的融合算法, 从而使数据融合的效果更理想。未来, 该技术必将结合人工智能的新出口, 对传统的数据融合方法进行优化和创新, 以提高多传感器融合性能。此外, 数据收集之后的数据库管理和特征提取问题也是提高最终判决速度的重要因素。如何更好地发掘大数据背后的意义值得进一步研究。为了建立一个稳定、快速的多传感器融合系统, 并做好模型结构、系统设计实时响应以及数据库之间的关系衔接, 相应技术还需要进一步完善。国内关于目标特征融合问题的研究相对较少, 而该研究对于更加充分地利用多传感器信息融合技术具有重要价值, 因此这项技术未来的应用与发展值得期待。

#### 参考文献

- [1] 杨春娣. 多传感器信息融合及其运用 [J]. 科技风, 2019, 13(8): 86.
- [2] 李洋, 赵鸣, 徐梦瑶, 等. 多源信息融合技术研究综述 [J]. 智能计算机与应用, 2019, 9(5): 186-189.
- [3] 崔硕, 姜洪亮, 戎辉, 等. 多传感器信息融合技术综述 [J]. 汽车电器, 2018, 59(9): 41-43.
- [4] Zhen H C. Multi-Sensor Information Fusion Technology and Its Application in Target Recognition [J]. *International Journal of New Developments in Engineering and Society*, 2019, 3(5): 120-125.
- [5] Zhu S S. Multi-Source Information Fusion Technology and Its Engineering Application [J]. *Research in Health Science*, 2020, 4(4): 408-422.
- [6] 杨宏伟, 熊桂龙, 张松, 等. 多传感器信息融合滤袋破损检测方法 [J]. 河北工业大学学报, 2019, 48(6): 6-11.
- [7] 曾思通, 童晓薇, 沈培辉. 无线多传感器信息融合的火灾检测系统设计 [J]. 湖北理工学院学报, 2019, 35(6): 23-27.
- [8] 王晶晶. 多传感器信息融合技术在机器人导航中的应用研究 [J]. 电声技术, 2019, 43(11): 23-24.