自卫对抗系统中多传感器融合技术的策略与研究

刘 涛 王泉翔 李冰涛
中航工业陕飞公司 陕西 汉中 723000

摘要: 本文聚焦于自卫对抗系统中多传感器融合技术,深入探讨了其重要性、面临挑战以及相应的策略与研究进展。首先剖析了多传感器融合技术在应用过程中遭遇的诸多挑战,如传感器异构性、数据关联与融合算法复杂度、实时性要求高等。在此基础上,从传感器选型与布局优化、数据预处理与特征提取、高效融合算法设计、系统架构与实时性保障等多个维度提出了针对性的策略。同时,回顾了国内外在该领域的研究现状,介绍了具有代表性的研究成果。最后,对自卫对抗系统中多传感器融合技术的未来发展趋势进行了展望,旨在为该技术的进一步发展提供理论参考与实践指导。

关键词: 自卫对抗系统; 多传感器融合技术; 策略研究; 数据融合算法

1 引言

在现代军事与安全领域,自卫对抗系统面临着日益复杂和严峻的威胁环境。无论是来自空中的导弹袭击、地面的武装渗透,还是海上的潜艇威胁,都要求自卫对抗系统具备高度的感知能力、快速的反应能力以及精准的决策能力。多传感器融合技术作为提升自卫对抗系统性能的关键手段,通过整合来自不同类型、不同位置传感器的信息,能够有效弥补单一传感器的局限性,提高目标检测、识别与跟踪的准确性和可靠性,从而为系统的自卫对抗决策提供更为全面、准确的信息支持。

2 自卫对抗系统中多传感器融合技术面临的挑战

2.1 传感器异构性

自卫对抗系统中使用的传感器种类繁多,不同类型的传感器在工作原理、信号形式、数据格式、采样频率等方面存在显著差异。例如,雷达传感器输出的是电磁波的反射信号,通常以距离、方位、多普勒频率等参数表示;红外传感器则输出目标的热辐射图像,数据格式为像素矩阵。这种异构性给多传感器信息的融合处理带来了很大困难,需要解决不同传感器数据之间的时空配准、数据转换和标准化等问题,以确保来自不同传感器的信息能够在统一的框架下进行融合处理。

2.2 数据关联与融合算法复杂度

在多传感器系统中,需要对来自不同传感器的测量数据进行关联,以确定这些数据是否来自同一目标。数据关联的准确性直接影响到融合结果的质量。然而,在实际应用中,由于目标数量可能较多、目标运动状态复杂、传感器测量误差等因素的影响,数据关联问题变得十分复杂。此外,为了实现高效、准确的信息融合,需要设计合适的融合算法^[1]。不同的融合算法在计算复杂

度、融合效果、适应性等方面存在差异,如何选择和设计适合自卫对抗系统特点的融合算法是一个具有挑战性的问题。随着传感器数量的增加和数据量的增大,融合算法的计算复杂度也会显著提高,这对系统的实时处理能力提出了更高的要求。

2.3 实时性要求高

自卫对抗系统需要在短时间内对威胁目标做出快速反应,因此对多传感器融合技术的实时性要求极高。从传感器采集数据到融合处理得出结果,再到系统做出决策并实施对抗行动,整个过程必须在极短的时间内完成。然而,多传感器融合过程中涉及数据采集、传输、预处理、关联、融合等多个环节,每个环节都需要消耗一定的时间。如何在保证融合结果准确性的前提下,尽可能缩短融合处理时间,满足系统的实时性要求,是多传感器融合技术在自卫对抗系统中应用的关键难题之一。

2.4 不确定性与动态性

在自卫对抗环境中,存在着大量的不确定性和动态因素。目标的运动状态可能随时发生变化,如突然加速、转向、机动等;传感器的性能也可能受到环境因素、自身故障等影响而发生变化;此外,还可能存在着未知的干扰和威胁。这些不确定性和动态性使得多传感器融合系统难以建立精确的模型,给融合算法的设计和实现带来了很大困难。如何设计具有鲁棒性和自适应性的融合算法,以应对各种不确定性和动态变化,是多传感器融合技术在自卫对抗系统中面临的重要挑战。

3 自卫对抗系统中多传感器融合技术的策略

3.1 传感器选型与布局优化

3.1.1 传感器选型

根据自卫对抗系统的具体任务需求和作战环境特

点,选择合适的传感器类型和性能指标。在选择传感器时,需要综合考虑传感器的探测范围、分辨率、精度、可靠性、抗干扰能力、成本等因素。例如,在远距离目标探测任务中,优先选择具有较长探测距离和高分辨率的雷达传感器;在近距离目标识别任务中,则可选择红外传感器或激光雷达传感器。同时,为了实现信息互补,应尽量选择不同类型的传感器进行组合。

3.1.2 传感器布局优化

合理的传感器布局能够提高多传感器系统的覆盖范围和探测性能。在布局传感器时,需要考虑传感器之间的视角覆盖、重叠区域、盲区等因素,以确保对目标区域的无缝监测。此外,还应考虑传感器的安装位置和姿态对探测性能的影响,避免传感器之间相互遮挡或受到平台自身结构的干扰^[2]。通过优化传感器布局,可以提高多传感器系统的信息获取能力,为后续的融合处理提供更丰富的数据。

3.2 数据预处理与特征提取

3.2.1 数据预处理

由于不同传感器的数据存在异构性,在融合处理之前需要对原始数据进行预处理。数据预处理的主要内容包数据滤波、降噪、归一化、时空配准等。数据滤波和降噪可以去除传感器测量数据中的噪声和干扰,提高数据的质量;数据归一化则将不同量纲的数据转换为统一的量纲,便于后续的融合处理;时空配准是将来自不同传感器、不同时间的数据在时间和空间上进行对齐,确保数据的一致性和可比性。

3.2.2 特征提取

从预处理后的传感器数据中提取有效的特征是提融合效率和准确性的关键。特征提取的目的是将原始数据转换为更具代表性和区分度的特征向量,以便于后续的融合算法进行处理。针对不同类型的传感器数据,可以采用不同的特征提取方法。例如,对于雷达数据,可以提取目标的距离、方位、速度、多普勒频率等特征;对于红外图像数据,则可以提取目标的形状、纹理、温度分布等特征。通过合理的特征提取,可以减少数据量,降低融合算法的复杂度,同时提高融合结果对目标特性的表达能力。

3.3 高效融合算法设计

3.3.1 数据级融合算法

数据级融合是在原始数据层面上对多个传感器的数据进行融合处理。常用的数据级融合算法有加权平均法、卡尔曼滤波法等。加权平均法根据不同传感器数据的可靠性赋予不同的权重,然后对数据进行加权平均,

得到融合结果。该方法简单易行,但对传感器数据的依赖性较大,当传感器数据存在较大误差时,融合结果的准确性会受到影响。卡尔曼滤波法是一种基于状态空间模型的递推滤波算法,能够有效地估计目标的状态,并利用不同传感器的测量信息对状态估计进行更新。该方法适用于线性高斯系统,对于非线性系统,可以采用扩展卡尔曼滤波(EKF)、无迹卡尔曼滤波(UKF)等改进算法。

3.3.2 特征级融合算法

特征级融合是在特征层面上对多个传感器的特征向量进行融合处理。常用的特征级融合算法有神经网络算法、支持向量机算法、D-S证据理论等。神经网络算法具有强大的非线性映射能力和自适应学习能力,能够对复杂的特征关系进行建模。通过训练神经网络,可以将不同传感器的特征向量映射到统一的特征空间,实现特征的融合和分类。支持向量机算法是一种基于统计学习理论的分类型算法,能够在高维特征空间中找到最优分类超平面,具有较好的泛化能力^[3]。D-S证据理论则是一种处理不确定信息的有效方法,通过构建证据体和基本概率分配函数,对不同传感器的证据进行组合,得到目标的综合信任度。

3.3.3 决策级融合算法

决策级融合是在各个传感器分别做出决策的基础上,对多个决策结果进行融合处理,得到最终的决策。常用的决策级融合算法有贝叶斯推理法、模糊综合评判法、投票法等。贝叶斯推理法基于贝叶斯定理,利用先验概率和似然函数计算后验概率,从而对不同传感器的决策结果进行融合。模糊综合评判法将模糊数学理论应用于决策融合,通过建立模糊评价矩阵和权重向量,对各个传感器的决策结果进行综合评判。投票法是一种简单直观的决策级融合方法,根据各个传感器决策结果的票数多少来确定最终决策。

3.4 系统架构与实时性保障

3.4.1 系统架构设计

为了满足自卫对抗系统对多传感器融合技术的实时性要求,需要设计合理的系统架构。常见的系统架构有集中式架构、分布式架构和混合式架构。集中式架构将所有传感器的数据传输到中心处理单元进行融合处理,具有数据处理能力强、融合算法易于实现的优点,但数据传输量大,对中心处理单元的计算能力和通信带宽要求较高。分布式架构则将融合处理任务分配到各个传感器节点,每个节点只处理自身传感器的数据,并将处理结果与其他节点进行交互和融合。该架构具有数据传输量小、系统可靠性

高的优点,但融合算法的设计和实现较为复杂^[4]。混合式架构结合了集中式和分布式架构的优点,将部分简单的融合任务在传感器节点完成,将复杂的融合任务在中心处理单元完成,以实现系统性能的优化。

3.4.2 实时性保障措施

为了确保多传感器融合系统能够在规定的时间内完成数据处理和融合任务,需要采取一系列实时性保障措施。例如,采用高速数据传输总线,提高传感器数据到处理单元的传输速度;优化融合算法,减少算法的计算复杂度,提高算法的执行效率;采用并行处理技术,将融合任务分配到多个处理器上同时执行,缩短处理时间;建立实时操作系统,对系统的任务进行合理调度和管理,确保关键任务能够及时得到处理。

4 自卫对抗系统中多传感器融合技术的研究现状

4.1 国外研究现状

国外在自卫对抗系统中多传感器融合技术的研究起步较早,取得了许多重要的研究成果。美国作为军事科技强国,在该领域处于领先地位。美国国防高级研究计划局(DARPA)资助了多个关于多传感器融合技术的研究项目,旨在提高军事系统的感知能力和决策能力。例如,在导弹防御系统中,通过融合雷达、红外、光学等多种传感器的信息,实现了对来袭导弹的高精度探测、跟踪和识别。欧洲国家也在多传感器融合技术方面开展了广泛的研究,如英国的“未来航空系统”项目,将多传感器融合技术应用于新型战斗机的作战系统中,提高了战斗机的态势感知和作战效能。此外,一些国际知名高校和科研机构,如麻省理工学院、斯坦福大学等,也在多传感器融合算法、传感器网络等方面进行了深入研究,取得了一系列理论成果。

4.2 国内研究现状

近年来,我国在自卫对抗系统中多传感器融合技术的研究也取得了显著进展。国内众多高校、科研院所和企业纷纷投入到该领域的研究工作中。在理论研究方面,国内学者在多传感器数据关联、融合算法设计、不确定性处理等方面开展了大量研究工作,提出了一些具有创新性的理

论和方法。例如,在数据关联方面,提出了基于随机有限集理论的数据关联算法,有效解决了多目标数据关联中的复杂问题;在融合算法设计方面,将深度学习等人工智能技术引入到多传感器融合中,提高了融合算法的性能和适应性。在应用研究方面,我国在导弹防御、舰艇自卫、无人机作战等领域的自卫对抗系统中,逐步应用了多传感器融合技术,取得了良好的应用效果。例如,在某些新型导弹防御系统中,通过融合多种传感器的信息,显著提高了对来袭目标的拦截概率。

结语

自卫对抗系统中多传感器融合技术对于提升系统的感知能力、决策能力和作战效能具有至关重要的作用。尽管该技术在应用过程中面临着传感器异构性、数据关联与融合算法复杂度、实时性要求高、不确定性与动态性等诸多挑战,但通过采取合理的传感器选型与布局优化、数据预处理与特征提取、高效融合算法设计、系统架构与实时性保障等策略,能够有效克服这些困难。目前,国内外在自卫对抗系统中多传感器融合技术的研究方面已经取得了一定的成果,但未来仍有许多工作需要进一步开展。随着智能化融合技术、多模态传感器融合、传感器网络融合以及与新兴技术融合等发展趋势的不断推进,多传感器融合技术将在自卫对抗系统中发挥更加重要的作用,为保障国家安全和军事利益提供更有力的技术支持。

参考文献

- [1]凌伟,吕一鸣.直升机电子自卫系统简介以及发展应用[J].产业创新研究,2022,(18):70-72.
- [2]胡宝洁,刘广建,毋晓鹤,等.机载自卫干扰对抗跟踪制导雷达策略研究[J].现代防御技术,2017,45(05):131-135.
- [3]陈津津,付孝龙.机载自卫式电子干扰对抗技术研究[J].飞航导弹,2016,(06):50-54.
- [4]周秋红,夏爱军,郑景嵩,等.基于多源数据分析的机载自卫电子对抗效能评估方法[J].电子信息对抗技术,2018,33(03):59-63.