

# 多传感器融合技术在自卫对抗系统中的应用研究

谢玉玲

中航工业陕飞 陕西 汉中 723000

**摘要:** 自卫对抗系统作为提升作战平台生存能力的关键技术,在复杂战场环境中面临多重威胁。多传感器融合技术通过整合多源异构数据,显著增强了系统的感知精度、决策效率和抗干扰能力。本文深入分析多传感器融合技术的原理与算法,结合自卫对抗系统的核心需求,探讨其在目标识别、威胁评估与对抗决策中的创新应用,并通过军事与民用案例展望未来发展方向。

**关键词:** 多传感器融合;自卫对抗系统;卡尔曼滤波;贝叶斯网络

## 引言

在现代化战争中,作战平台(如飞机、坦克、舰船)的生存能力直接决定任务成败。传统单一传感器系统易受环境干扰、探测盲区及信息局限性的影响,难以满足多维威胁下的防御需求。多传感器融合技术通过集成雷达、红外、光电、紫外等多种传感器,结合人工智能算法,实现了对战场态势的全维度感知与智能决策,成为自卫对抗系统的技术升级方向。

## 1 多传感器融合技术原理与算法

### 1.1 融合层次与算法

多传感器融合技术通常通过三个主要层次来实现信息处理:数据层融合、特征层融合和决策层融合。

(1) 数据层融合:这一层次直接整合来自不同传感器的原始数据,如将雷达点云与红外图像进行叠加。这种方法保留了数据的细节信息,但计算复杂度较高。为了实现有效的数据层融合,研究者们开发了多种方法,包括代数法(如加权平均)、小波变换(用于提取多尺度特征)以及深度学习方法(如使用卷积神经网络直接处理融合后的数据)。这些方法各有优劣,选择时需根据具体应用场景和需求进行权衡。

(2) 特征层融合:在这一层次,首先从各传感器的数据中提取出关键特征,如目标的速度、红外特征等,然后再将这些特征进行融合。这种方法降低了数据量,提高了处理的实时性。特征层融合的核心算法包括主成分分析(PCA)用于降维,以及卷积神经网络(CNN)用于特征提取和融合<sup>[1]</sup>。通过这些算法,可以更有效地提取和利用传感器数据中的有用信息。

(3) 决策层融合:在这一层次,各传感器独立进行决策,然后将这些决策结果进行综合。这种方法适用于异构传感器之间的协同工作。典型的决策层融合方法包括贝叶斯推理、D-S证据理论以及基于知识的专家系统。

这些方法能够综合考虑来自不同传感器的决策结果,提高系统的整体性能和可靠性。

### 1.2 核心算法分析

一是卡尔曼滤波:这是一种适用于线性系统状态估计的算法。通过预测和更新两个步骤,卡尔曼滤波能够不断地减小估计误差,因此在目标跟踪等领域得到了广泛应用。例如,F-35战斗机的AN/APG-81雷达就采用了卡尔曼滤波技术来提高目标跟踪的准确性。二是贝叶斯网络:这是一种基于概率推理的方法,通过先验知识和观测值来更新置信度。然而,贝叶斯网络在处理“不确定性”时存在一定的局限性。为了克服这一限制,D-S证据理论被引入。它通过引入“不确定”的分配,扩展了贝叶斯方法的适用范围,使得在更复杂、更不确定的环境中也能进行有效的信息融合。此外,时空对齐方法也是多传感器融合中的重要技术。这包括时间同步(如通过IMU时间戳校准来确保不同传感器数据的时间一致性)、空间校准(使用自适应距离函数来校正传感器之间的空间位置差异)、深度学习优化方法(如FreeAlign方法用于自动调整传感器之间的对齐参数)以及动态环境下的实时对齐技术。这些时空对齐方法确保了传感器数据的准确性和一致性,为多传感器融合提供了坚实的基础。

## 2 自卫对抗系统架构与需求

### 2.1 系统架构

典型的自卫对抗系统由多个紧密相连的模块组成,这些模块协同工作,共同构建起一道坚实的防御屏障。传感器层是系统的“眼睛”和“耳朵”,负责感知外界威胁。它包括了雷达告警接收机(RWR),能够实时捕捉并分析雷达信号,为系统提供早期的威胁预警;紫外导弹告警系统(MAWS),通过检测导弹发射时的紫外信号,为系统提供近距离的快速反应时间;以及红外

搜索与跟踪（IRST）系统，利用红外技术搜索并跟踪目标，为系统提供全方位的威胁感知。信息处理层是系统的“大脑”，负责对传感器层收集到的多源数据进行关联、滤波与模式识别。这一层可以采用集中式、分布式或混合式架构。集中式架构将原始数据直接传输至中央处理器进行处理，虽然精度高，但容错性差，一旦中央处理器出现故障，整个系统将受到影响。分布式架构则先在各个局部节点进行数据处理，然后再将处理结果进行融合，提高了系统的可靠性，但增加了模块的复杂度<sup>[2]</sup>。混合式架构则结合了前两者的优点，既保证了精度，又提高了可靠性。对抗执行层是系统的“手脚”，负责根据信息处理层的指令，自动投放箔条/红外干扰弹，或者控制电子战设备实施干扰，以迷惑或破坏敌方的攻击手段。

## 2.2 人机界面设计

人机界面是飞行员与系统交互的桥梁，其设计直接影响到飞行员的作战效率和舒适度。现代自卫对抗系统通常采用先进的头盔显示器，如F-35战斗机上的AN/AAQ-37系统。AN/AAQ-37系统利用6个高分辨率红外摄像机实时采集周围环境的图像，并通过无缝拼接技术将这些图像投影至飞行员头盔的显示器上，为飞行员提供360°的全景视图。这种设计极大地提升了飞行员的态势感知能力，使他能够迅速准确地掌握战场情况。同时，系统还结合了AI算法，为飞行员提供决策支持，帮助他做出更快速、更准确的反应。

## 3 多传感器融合在自卫对抗中的创新应用

### 3.1 目标识别与分类

多传感器融合技术在目标识别与分类方面展现出了巨大的潜力。通过综合不同传感器的数据，系统能够更准确地识别目标的类型、特性和威胁等级，从而为自卫对抗提供有力的支持。在多模态数据融合方面，雷达、红外和光电传感器的结合使用成为了一种常见的做法。雷达传感器能够提供目标的距离、速度和方位等信息，而红外传感器则能够捕捉目标的红外辐射特征，光电传感器则能够获取目标的外形轮廓和纹理等视觉信息。将这些不同模态的数据进行融合，可以大大提高导弹类型识别的准确率。以运输机的自卫系统为例，当遭遇红外制导导弹时，紫外告警传感器能够首先检测到导弹尾焰的紫外辐射，为系统提供早期的威胁预警。随后，AI算法会结合红外图像对导弹的型号进行判断，这主要基于导弹的红外辐射特征、飞行轨迹和速度等参数。一旦确定了导弹的型号，系统就能自动选择最合适的干扰策略，如投放箔条或红外干扰弹，以迷惑导弹的制导系统。这种多模态数据融合的方法不仅提高了目标识别的

准确率，还大大缩短了系统的反应时间，为自卫对抗赢得了宝贵的先机。

### 3.2 抗干扰与生存能力提升

在复杂的战场环境中，自卫对抗系统必须具备强大的抗干扰和生存能力，才能确保在敌方的攻击下保持正常工作。多传感器融合技术通过冗余与互补设计，有效提高了系统的抗干扰和生存能力。冗余设计是多传感器融合系统中的一种重要手段。通过配置多台相同或不同类型的传感器，系统能够在单一传感器故障时，依然保持正常的功能。例如，机载自卫系统可能会配置4台雷达告警传感器，这样即使其中一台或两台传感器出现故障，系统依然能够准确地检测到敌方的雷达信号。互补设计则是利用不同传感器的特点和优势，相互弥补彼此的不足。例如，卫星传感器能够提供大范围的战场态势信息，但可能受到天气和地形的影响；无人机传感器则能够灵活机动地获取局部区域的详细信息；地面传感器则能够提供近距离的实时数据。将这些不同传感器的数据进行融合，可以构建一个更加全面、准确的战场态势图，从而提高系统的抗干扰和生存能力<sup>[3]</sup>。美国陆军的一个融合项目就是这方面的典型案例。该项目通过融合卫星、无人机及地面传感器的数据，在复杂的电磁环境下依然能够维持对目标的跟踪。该项目的算法性能指标非常出色，能够在10秒内探测到23个目标，并且探测距离提升了3倍。

### 3.3 多目标威胁评估与决策

在多目标威胁评估与决策方面，多传感器融合技术也发挥了重要作用。通过消除多传感器数据的延迟和差异，构建统一的战场态势图，系统能够更准确地评估各个目标的威胁等级，并制定出最优的决策方案。时空融合算法是多目标威胁评估中的关键技术。该算法能够消除不同传感器之间的数据延迟和差异，将各个传感器的数据融合到一个统一的时间和空间框架中。这样，系统就能够更准确地掌握各个目标的位置、速度和轨迹等信息，从而为威胁评估提供准确的数据支持。FIRESTORM算法是一种典型的时空融合算法。该算法能够整合天气、地形及友军等数据，优化火力分配和战术决策。例如，在复杂的战场环境中，FIRESTORM算法能够根据实时的天气情况和地形特征，调整火力打击的方向和力度；同时，还能够根据友军的位置和状态，协调作战行动和资源分配。F-35战斗机就是多目标威胁评估与决策方面的典型案例。该战斗机配备了AN/APG-81雷达和AN/AAQ-37分布式孔径系统，能够实现多目标跟踪和火控支持。通过融合雷达和光电传感器的数据，F-35战斗机能够

更准确地评估各个目标的威胁等级，并制定出最优的作战方案。同时，该战斗机的探测距离也提升了3倍，为自卫对抗提供了更远的预警时间和更大的作战空间。

#### 4 未来研究方向与挑战

##### 4.1 技术趋势

在未来的自卫对抗系统中，跨域协同和迁移学习将成为两大重要的技术趋势。（1）跨域协同：在现代化的战争环境中，各种自卫对抗系统往往需要协同工作，以形成强大的防御网络。然而，不同系统之间的数据格式、通信协议和接口标准往往存在差异，这导致了数据互通成为了一个棘手的问题。为了解决这一问题，跨域协同服务标准应运而生。其核心在于“翻译器”功能，即能够将一种系统的数据格式转换为另一种系统所能理解的数据格式，从而实现全球数据平台的无缝对接。这将极大地提高自卫对抗系统的整体效能，使得各种系统能够更加紧密地协同工作，共同应对复杂的威胁环境。

（2）迁移学习：在自卫对抗领域，经常面临着小样本的问题<sup>[4]</sup>。例如，对于某些新型的通信辐射源，可能只有少量的数据样本可供训练。在这种情况下，传统的机器学习方法往往难以取得令人满意的效果。而迁移学习则为提供了一种新的思路。它通过将在一个领域（如通信辐射源识别）中学到的知识迁移到另一个相关领域（如新型通信辐射源识别）中，从而提升小样本条件下的识别准确率。同时，迁移学习还能够加快模型的收敛速度，增强模型的泛化能力，使得自卫对抗系统能够更加快速地适应新的威胁环境。

##### 4.2 核心挑战与解决方案

在追求技术进步的同时，也必须正视自卫对抗系统所面临的核心挑战，并寻求有效的解决方案。（1）数据同步问题：在自卫对抗系统中，数据的实时性和准确性至关重要。然而，由于各种传感器和数据源的工作频

率和响应时间可能存在差异，这就导致了数据同步成为了一个难题。为了解决这一问题，可以采用硬件时间戳与软件补偿算法相结合的方法。硬件时间戳能够为每个数据样本打上精确的时间标签，而软件补偿算法（如插值法）则能够根据时间标签对数据进行微秒级的同步处理。这样，就能够确保自卫对抗系统中的数据能够实时、准确地反映战场态势。（2）算法泛化性：自卫对抗系统必须能够应对各种未知的威胁，这就要求算法具备良好的泛化能力。然而，传统的机器学习方法往往在新威胁面前表现不佳。为了解决这个问题，可以引入迁移学习与持续学习框架。迁移学习能够利用历史数据中的相关知识来提升对新威胁的识别能力，而持续学习则能够使算法在不断接收新数据的过程中不断学习和进化。这样，就能够确保自卫对抗系统的算法能够始终保持前沿水平，有效应对各种未知的威胁。

#### 结语

多传感器融合技术通过多维度数据整合与智能算法，显著提升了自卫对抗系统的目标识别精度、抗干扰能力和决策效率。未来随着AI技术的发展与传感器工艺的进步，该技术将进一步向智能化、跨域化方向演进，成为构建多维度防御体系的核心支撑。

#### 参考文献

- [1]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.
- [2]田苗苗,彭进先,赵超,等.雷达对抗装备电磁环境适应性试验研究[J/OL].现代防御技术,1-7[2025-03-20].
- [3]廖桂生.“对抗环境下雷达系统与处理技术”专栏序言[J].数据采集与处理,2024,39(06):1309.
- [4]王天云,王成,姜嘉元,等.新型雷达对抗装备自动测试系统设计[J].舰船电子工程,2024,44(10):61-65.