

# Optimization of Detection Performance of Photoelectric Information Fusion Algorithms in Complex Environments

Ling Wang<sup>1</sup> Ye Wang<sup>2</sup> Yantao Zhang<sup>1</sup>

1. China Construction Seventh Engineering Division Installation Engineering Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450000, China

2. Beijing Institute of Technology, Beijing, 100081, China

## Abstract

Photoelectric information fusion algorithms are a critical technical solution for information detection in complex environments. Analysis reveals that these algorithms face practical challenges including data registration errors, feature extraction failures, reduced fusion decision accuracy, and real-time performance limitations. To address these issues, we propose a multi-dimensional adaptive registration model, a multi-level adaptive feature extraction mechanism, a dynamic intelligent fusion decision algorithm, and a lightweight parallel processing architecture. These innovations aim to optimize detection performance and meet the analytical demands of photoelectric information in complex environments.

## Keywords

Photoelectric information fusion algorithm; Complex environment; Detection performance

## 光电信息融合算法在复杂环境下的探测性能优化

王岭<sup>1</sup> 王也<sup>2</sup> 张彦涛<sup>1</sup>

1. 中建七局安装工程有限公司, 中国·河南 郑州 450000

2. 北京理工大学, 中国·北京 100081

## 摘要

光电信息融合算法对于复杂环境下的信息探测而言, 是非常重要的—种专业技术。通过总结分析发现, 光电信息融合算法在复杂环境下存在数据配准偏差、特征提取失效、融合决策精度降低、实时性存在不足等现实问题, 需要进一步通过构建多维度自适应配准模型、设计多层次自适应特征提取机制、研发动态智能融合决策算法、搭建轻量化并行处理架构, 达到优化探测性能, 适应复杂环境的光电信息分析需求的目标。

## 关键词

光电信息融合算法; 复杂环境; 探测性能

## 1 引言

随着光电探测技术在各个领域的广泛应用, 探测环境的复杂性也在日益提升。多种恶劣气象或建筑物遮挡、地形复杂都会对光电信息融合算法的应用造成—定的干扰, 单一的光电传感器容易受到自身探测原理的限制, 出现探测盲区或信息维度—的现象, 抗干扰能力也会相对比较薄弱, 无法满足复杂环境下的高精度探测需求。光电信息融合算法可整合多元光电信息传感器、探测数据, 实现信息的互补和增强, 成为逐步提升光电探测系统性能的一种核心技术。但目前的融合算法在分析时, 会设计—个相对理想的环境, 其自身对于复杂环境下容易出现的影响因素缺乏适应性。

【作者简介】王岭(1983—), 男, 中国河南南阳人, 硕士, 高级工程师, 从事工程管理研究。

基于此, 文章深入分析光电信息融合算法的应用原理, 并进一步总结其在复杂环境下的应用局限, 力求提出有效的优化措施。

## 2 光电信息融合算法的应用原理

光电信息融合算法是依托多元光电传感器实现信息探测的—种专业算法, 从信息的采集、处理、融合和决策入手构建综合性的算法体系。利用不同类型的光电传感器探测特性的互补性, 结合多层次、多维度的数据处理和融合弥补单一传感器在探测范围、分辨率、抗干扰能力方面的不足, 对探测目标进行精准的识别、定位和跟踪。这个算法的应用流程要按照数据采集、特征提取、数据配准、融合决策、结果输出的逻辑推进。首先利用多元化的光传感器同步采集复杂环境中的目标与预警信息<sup>[1]</sup>。随后, 由传感器根据自身的特性, 捕捉不同维度的探测数据。在此基础上, 借助滤波去

噪技术对原始数据进行清洗,提取数据中的目标特征和背景特征,完成特征的初步筛选和表征。通过数据配准技术,将不同传感器、不同时空维度的探测数据统一到一个坐标系统中,消除数据间的空间偏差、时间延迟和维度差异,为融合奠定基础<sup>[2]</sup>。最后,根据探测需求,选择适当的融合层级,采用对应的融合算法,对配准后的特征或数据进行融合处理,实现信号的互补增强。在此基础上,构建模型判断各方面信息,为后续的目标跟踪和预警决策提供数据支持。

### 3 光电信息融合算法在复杂环境下的探测性能局限

#### 3.1 数据配准偏差

复杂气象环境会对光电传感器的探测光路产生散射、吸收和折射作用,导致不同的传感器探测数据出现失真、延迟的现象。可见光传感器容易出现图像模糊、对比度下降,红外传感器则容易受到环境温度的影响,出现测温结果的偏差,激光雷达的探测距离和点云精确度也会由于气象散射大幅度降低,而传统的光电信息融合算法在配置模型设计环节多以固定参数做支持,仅能适配于理想的气象环境,无法保证根据气象条件的变化动态调整配置参数,无法有效消除复杂气象条件下多元数据的空间偏差、时间延迟和尺度偏差,这容易导致数据配准精度大幅下降。

#### 3.2 特征提取失效

提取特征是算法应用的重要前提条件,若特征提取缺乏准确性或提取方式出现偏差,都会影响融合算法的应用成效。对于光电信息探测而言,在复杂环境下,容易出现城市建筑密集区、森林植被覆盖区以及海洋复杂浪涌区等不同的情况,目标和背景的特征相似度高,背景容易受到杂波干扰。同时,有大量的遮挡、阴影现象,目标的有效特征容易被复杂的背景所覆盖。传统的光电信息融合算法特征提取机制以静态设计为主,会应用固定的特征提取算子,提取目标特征,对复杂背景的自适应能力和筛选识别能力存在不足。容易将背景中的杂波特征误判为目标特征,或者出现无法从复杂背景中提取目标有效特征的现象,导致特征提取的鲁棒性下降<sup>[3]</sup>。

#### 3.3 融合决策精准度降低

光电探测系统在复杂环境中也容易受到多方面因素的干扰,其中电磁干扰、光干扰和外部人为干扰是比较常见的干扰。同类型的干扰可能会呈现出叠加作用,导致融合前的探测数据和特征信息出现不确定性和模糊性较强的问题。当前的主流光电信息融合算法中,数据层融合所采用的方法为加权平均法,无法有效抑制干扰噪声,特征层融合则多以传统模式识别算法为基础,对于不确定信息的处理能力相对比较薄弱。

#### 3.4 实时性存在不足

实际应用中复杂环境的核心特征是具有动态变化性。例如,探测目标有高速运动的状态,环境干扰也有实时性的

变化,探测场景会快速切换,这都要求光电信息融合算法具备高速的处理能力和实时响应能力。而传统的光电信息融合算法处理流程相对繁琐,多用串行处理架构进行数据的预处理、特征提取、数据配准和融合、决策等工作。一些核心算法的计算复杂度高,运算总量大,算法的硬件支撑多采用通用处理器,无法针对性地优化计算结果。

## 4 光电信息融合算法在复杂环境下的探测性能优化

### 4.1 构建多维度自适应配准模型

在复杂环境下,光电探测系统容易受到光照、大气散射、目标运动畸变等多方面因素的影响。不同模态的光电数据,会出现空间错位和时间不同步的现象,尺度也会发生偏差,这会直接影响融合算法的探测精度和稳定性。因此,需要构建多维度的自适应配准模型,优化探测性能。具体来讲,构建模型时,首先要针对空间配准,引入多特征融合的配准基准,结合图像的灰度特征、边缘特征、纹理特征和轮廓特征,构建多维度特征点集,通过改进后的 SIFT 算法优化特征点提取效率。剔除复杂环境下的一些虚假特征点。随后,再进一步匹配筛选特征点,降低噪声干扰造成的误差。同时,应当融入自适应迭代优化机制,根据实时探测环境的复杂程度,动态调整特征点的匹配阈值、迭代次数以及时间、空间配准参数,使不同模态的数据在空间坐标上精准对齐,误差控制也要达到像素级以内。而针对时间的配准,则需要采用时间戳同步校准与动态插值补偿相结合的方式<sup>[4]</sup>。通过高精度时间同步模块,统一多传感器的采样时间基准,对于存在延迟或差异的数据,应采用自适应插值算法,根据目标运动速度以及环境变化速率动态生成补偿数据,弥补时间差引发的配准偏差。在复杂环境下,传感器可能出现姿态偏移情况,需要引入姿态传感器数据与光电数据进行联合配准。通过姿态偏差的纠正,构建空间、时间和姿态全方位适应的配准模型,解决复杂环境下多模态光电数据的配准问题。

### 4.2 设计多层次自适应特征提取机制

在复杂环境下,光电目标的特征容易被噪声背景所干扰,单一的尺度和单一的类型特征提取方法,无法捕捉到目标的有效特征,容易导致融合算法无法精准识别目标。因此,需要设计多层次自适应特征提取机制,保证目标特征精准提取,有效优化探测性能。在具体实践中,需要技术人员构建底层基础特征、中层语义特征与高层融合性特征相联动的多层次特征提取框架,底层主要聚焦基础视觉特征,要提取不同模态的关键数据特征,需采用自适应滤波算法。对原始数据做好预处理,避免复杂环境下出现的各类噪声及大气散射带来模糊干扰。同时,应通过直方图进行均衡化处理和对比度自适应处理,提升目标和背景的灰度差异,体现出目标的边缘、轮廓等基础性特征,来弥补光照不足或光照过强导致的特征模糊问题,在中层语义特征提取阶段,需要引入深度

学习网络结合复杂环境下的目标特征,优化网络结构,减少冗余参数。通过卷积层池化层的自适应调整,来捕捉目标的语义特征。同时,融入注意力机制。放大目标区域的特征,抑制背景干扰区域的无效特征,提升特征提取的针对性。对于小目标探测问题,可引入可变形卷积结构,优化网络骨干结构,强化对遮挡目标和小目标特征的捕捉能力。关于高层融合特征提取,主要是指应用自适应特征融合策略,结合不同环境的各模态特征有效性,动态分配不同模态的特征权重,通过特征拼接、加权融合等方式整合不同层级、不同模态的有效特征,生成鲁棒性达标的高层融合特征。

#### 4.3 研发动态智能融合决策算法

在复杂环境下,光电探测场景有动态性和不确定性特征,传统固定规则的融合决策算法无法适应场景的变化,容易出现决策滞后、误判和漏判的问题。因此,研发动态智能融合决策算法,实现融合策略的自适应调整,是提升探测性能的重要环节。具体来讲,技术人员需要构建多模态数据融合框架。纳入数据层、特征层、决策层三个层次。其中,数据层主要完成多模态数据的预处理和配准工作。特征层则主要完成多层次特征的融合增强任务。决策层则主要基于融合特征来识别目标,完成目标的分类和决策。在设计决策层时,要引入动态权重分配机制,结合复杂环境的实时状态变化,利用模糊逻辑、贝叶斯推理、强化学习算法等,动态计算不同模态数据以及各层次特征的权重。对于可信度更高的模态和有效特征,可提高权重比例。对于容易受干扰、可信度不足的模态或无效特征,要缩减权重,或直接剔除,保证决策科学性。

#### 4.4 搭建轻量化并行处理架构

在复杂环境下,光电探测需要处理大量的多模态数据,搭建轻量化并行处理架构非常必要,能够实现融合算法的高效轻量化运行。具体来讲,可基于异构计算架构,结合光电信息融合算法的运算特征对算法进行模块化拆分,完成数据预处理、配准特征提取、融合决策等不同环节的工作,并将其纳入不同的计算单元,保证各环节工作并行完成,提升数据处理效率。例如,海量数据的一阶差值等预处理可分配给

FPGA,利用其高速并行运算能力快速处理;将特征提取、融合决策等需要复杂逻辑运算的任务分配给GPU。另外,针对融合算法进行轻量化优化,采用模型压缩技术对深度学习模型进行压缩,降低模型运算量,保证算法性能,降低算力和功耗要求。同时,可以引入自适应计算资源分配机制,根据环境复杂程度以及探测任务需求动态调整各计算单元的算力分配,避免资源浪费现象<sup>[5]</sup>。同时,要设计轻量化的系统调度机制,实现任务的动态调度和负载均衡,确保系统在复杂环境下能够稳定、高效运行。通过搭建这种轻量化并行处理架构,能够有效解决复杂环境下海量光电数据处理效率低、延迟高、资源消耗大的问题,实现融合算法的实时、高效、稳定运行,为探测性能的优化提供坚实的硬件与架构支撑。

## 5 结语

综合本文分析可知,光电信息融合算法在复杂环境下,需要结合目前的复杂环境特征,不断优化探测性能,适应复杂环境,提升探测质量,避免探测工作出现效率低或有延迟的现象。另外,光电信息融合算法的应用时,也需要结合实际对融合逻辑进行分析,以便科学搭建融合框架,保证探测性能。技术人员自身也应当转变工作观念,积极引入光电信息融合算法支持复杂环境下的探测工作开展,以便优化探测工作开展成效。

## 参考文献

- [1] 朱俊杰,郑一甲,王金生.基于物联网化的智能探测仿生蜘蛛机器人的研究[J].机械管理开发,2025,40(12):246-249+253.
- [2] 陈潜,王晓冰,王志诚,王天琪,廖意.人工智能驱动下弹载探测技术的变革与挑战[J].上海航天(中英文),1-13.
- [3] 叶胜韶,王瑞,陈龙,张相超,陈磊,曹弘毅.隧道施工复杂环境声波探测数据恢复提取与探测方法[J].山东大学学报(工学版),1-20.
- [4] 张邦,杨常所,曹策.基于超声阵列的桩底岩溶探测试验研究[J].工程地球物理学报,2025,22(05):361-369.
- [5] 杨莲莲,郝克,徐昕阳,张浩,何鑫,侯瑞鹏.多维度新型光电传感系统分析[J].光电技术应用,2024,39(04):28-31.