

# 多传感器融合在水利工程安全监测中的关键技术

陆 伟<sup>1</sup> 张俊杰<sup>2</sup> 郭庆鑫<sup>2</sup>

1. 水利部南京水利水电自动化研究所 江苏 南京 210012

2. 江苏南水科技有限公司 江苏 南京 210012

**摘要:** 多传感器融合技术被越来越多地应用于水利工程安全监测中,它通过对不同传感器数据进行融合来显著提高监测系统精度与可靠性。文章旨在对水利工程安全监测这一技术的关键技术和应用进行探究。研究先对水利工程多传感器融合技术定义,原理及应用背景进行综述,然后对该项技术优势与挑战进行分析。本文对传感器的选型及优化配置,数据采集及预处理技术,传感器数据融合算法,监测系统实时性及可靠性分析等关键技术进行了深入探讨。以光纤光栅传感技术,动态河工模型试验泥沙浓度光电量测技术和闸门自动化监控系统应用实例论证多传感器融合技术对实际水利工程安全监测的作用。研究结果表明:多传感器融合技术能有效地提升水利工程安全监测水平,对水利工程安全管理提供有力技术支持。

**关键词:** 多传感器融合;水利工程安全监测;传感器优化配置;数据融合算法

## 引言

在目前水利工程安全监测中,多传感器融合技术逐渐成为了促进监测精度和效率提高的重点方法。这种技术将不同传感器数据进行融合,可以达到更全面、更精准的监测结果,对水利工程潜在风险的防范与处理效果显著。但是,虽然多传感器融合技术理论潜力很大,但在实践中仍然面临着传感器优化配置,数据高效处理以及融合算法选取等多方面的挑战。文章将对这几项关键技术进行深入探究,分析它们在水利工程安全监测方面的应用状况和潜在提升空间。

## 1 多传感器融合技术概述

### 1.1 多传感器融合技术的定义与原理

多传感器融合技术就是把从多个传感器获取的数据与信息进行融合,从而得到相对于单一传感器更为精确可靠的感知效果。该技术最核心的原理就是利用不同传感器各自的优点,采用数据融合算法对各类传感器所采集的数据加以处理与分析,从而提升整个系统的感知性能以及决策能力。<sup>[1]</sup>多传感器融合技术在实践中一般由如下步骤组成:数据预处理,特征提取,数据融合与决策。首先对从各传感器采集的原始数据分别进行去噪和归一化预处理来改善数据质量。然后,从经过处理的数据集中抽取出具有代表性的关键特性,这些特性能够准确地反映被感知对象的核心属性。其次利用融合算法融合多种传感器特征信息,对感知到的物体构成统一的描述。最后基于融合信息对目标识别,定位和跟踪做出决策。

多传感器融合技术原理是建立在统计学、信号处理、人工智能等学科领域理论基础之上。此技术可以增

强系统的稳健性,降低误判和遗漏的情况,并提高其在复杂环境中的适应性。多传感器融合技术广泛应用于自动驾驶,机器人导航和环境监测。随着传感器技术的不断进步和数据处理算法的不断完善,多传感器融合技术预计将在未来智能系统中扮演更为关键的角色。

### 1.2 多传感器融合在水利工程中的应用背景

水利工程多传感器融合技术的研究背景有以下几点:首先水利工程结构较为复杂,涉及水位,流速,压力和位移等诸多物理量变化。单一传感器很难完整地捕获这些变化,多传感器融合技术可以整合不同传感器的优点并提供更完整的监测数据。其次水利工程的环境变化多端,单一传感器在环境因素的作用下可能会出现故障。通过采用冗余设计的多传感器融合技术,监测系统的鲁棒性得到了显著提升,即便某些传感器出现故障,该系统依然可以利用其他传感器提供的数据进行精确的监控。再者物联网技术不断发展的背景下,水利工程监测系统也趋于智能化和自动化。多传感器融合技术可以结合物联网技术实现对实时数据的采集、处理以及分析,从而对水利工程智能管理起到辅助作用。最后指出多传感器融合技术可以提高监测数据精度与可靠性。采用数据融合算法有效地消除了单一传感器误差与噪声并提高了监测结果准确性。

### 1.3 多传感器融合技术的优势分析

多传感器融合技术应用于水利工程安全监测表现出显著优势,其主要表现如下:首先是多传感器融合技术增强监测数据全面性。通过将不同种类传感器整合在一起,实现了对水利工程中水位、流速、压力和位移等

众多关键参数的同步监测,进而得到了更全面的监测数据。其次是多传感器融合技术提高监测系统稳定性。<sup>[2]</sup>在复杂多样的水利工程环境下,由于环境因素或者自身故障等原因,单一传感器都会出现故障。通过采用冗余设计的多传感器融合技术,即便某些传感器出现故障,系统依然可以利用其他传感器提供的数据进行精确的监控,从而显著提升了系统的稳定性和可靠性。再者是多传感器融合技术增强监测数据精度。单一传感器数据可能会受误差及噪声等因素影响,多传感器融合技术利用数据融合算法有效地消除了这些误差及噪声,从而使监测结果更加准确。最后指出多传感器融合技术对监测系统经济性的改善是有帮助的。通过对传感器配置及融合算法进行优化,在确保监测精度前提下减少了传感器数量及费用,使监测系统更加经济。

## 2 多传感器融合在水利工程安全监测中的关键技术

### 2.1 传感器选择与优化配置

传感器作为监测系统中的眼、耳,它的性能好坏直接影响监测数据的好坏及监测结果是否准确。所以选择恰当的传感器和优化配置,是多传感器融合技术运用中的第一步。水利工程安全监测时,需依据监测目标及环境条件选用高灵敏度,高稳定性及高可靠性传感器。如对水位的监测可选用压力式水位计或者超声波水位计;对流速监测可选用电磁或声波流速计。同时还要兼顾传感器安装地点,安装方式以及维护方便性,保证监测数据连续完整。

优化配置时,需根据监测目标及监测范围对传感器进行合理布局,以免传感器间相互干扰及数据冗余。<sup>[3]</sup>如针对大坝安全监测而言,可在坝体不同位置设置若干传感器对坝体变形,渗流和应力状态进行监测。同时还要考虑传感器冗余配置问题,提高监测系统可靠性及容错能力。作为一个例子,关键位置上可以安装多个相似的传感器,当其中一个传感器出现问题时,其余的传感器仍能提供所需的监测数据。

### 2.2 数据采集与预处理技术

数据采集作为多传感器融合技术的应用基础,要求对传感器数据进行实时和精确的获取。对水利工程进行安全监测时,需根据监测目标及监测范围选择适当的数据采集设备及采集频率。如对水位监测可选用高精度水位计、高频率数据采集器等;对流速监测可选用高灵敏度流速计。还要兼顾数据采集设备稳定性与抗干扰能力,保证数据准确可靠。

在数据预处理中,需将采集的原始数据经过去噪,滤波和归一化处理后才能改善其质量与可用性。如对含

噪声水位数据可采用低通滤波器消除高频噪声;对含异常值流速数据可采用统计方法去除异常值。还要兼顾数据时效性、同步性、保证数据一致性、可比性等。

### 2.3 传感器数据融合算法

传感器数据融合算法在多传感器融合技术中处于核心地位,负责有效地融合不同传感器采集到的数据,从而得到更加精确和综合的监测信息。<sup>[4]</sup>在水利工程安全监测中,数据融合算法需要能够处理各种类型的传感器数据,如温度、湿度、压力、流速等,并将这些数据融合成统一的、有意义的信息。在算法设计中需综合考虑数据时效性,准确性与可靠性及传感器间可能出现的数据冗余与不一致等问题。

在数据融合算法的设计中,可使用的方法有很多,主要有但不仅仅局限于卡尔曼滤波,神经网络,模糊逻辑以及决策树。卡尔曼滤波作为一种广泛应用的线性系统状态评估手段,具有处理含有噪声的数据并给出最佳估计结果的能力。神经网络有能力通过研究数据间的错综复杂的联系,实现数据的非线性融合。模糊逻辑适合处理具有高度不确定性与模糊性的数据,决策树可以按照一系列的规则将数据归类并做出决策。

### 2.4 监测系统的实时性和可靠性分析

在水利工程安全监测系统中,实时性与可靠性是其关键性能指标。实时性要求该系统能迅速地对监测数据变化作出反应,并能及时地给出精确的监测结果以采取所需安全措施。而可靠性要求该系统能够在多种环境情况下稳定工作并降低误报、漏报概率。<sup>[5]</sup>

为增强监测系统实时性,可利用高速数据采集设备及高效数据处理算法。同时在设计系统时要充分考虑网络延迟、数据传输稳定等因素,保证数据能迅速、准确地传送至监控中心。从可靠性角度来看,可采用冗余设计及故障检测机制提高系统鲁棒性。冗余设计意味着在关键的监测环节部署多个传感器或设备,即使其中一个出现故障,其他设备也能持续提供准确的监测数据。当系统出现不正常状况时,故障检测机制能迅速发出警报,以提醒维修团队进行必要的维修工作。

### 2.5 监测系统的智能化发展趋势

在人工智能与机器学习技术不断发展的今天,监测系统智能化已成为重要趋势。该智能化监测系统可以自主学习并适应环境变化,从而提高了监测精度与效率。在水利工程安全监测方面,智能化系统能够通过历史数据与实时数据进行分析,对可能存在的安全风险进行预测,自动地对监测策略进行调整。智能化监测系统关键技术主要有数据挖掘,模式识别以及自适应控制。数

据挖掘技术能够在海量监测数据中找出潜在规律与联系,并为风险评估奠定基础。模式识别技术具有识别数据中异常模式的能力,并能迅速发出预警。自适应控制技术能够依据监测数据来自动调节监测参数,从而优化整个监测流程。未来研究的方向是探讨如何更有效地将这些先进的智能技术融入到水利工程的安全监控系统中。

### 3 多传感器融合技术在水利工程安全监测中的应用案例

#### 3.1 光纤光栅传感技术在水利监测中的应用

光纤光栅传感技术具有高灵敏度,较强的抗电磁干扰能力以及远程监测能力等优点而被广泛地应用于水利监测领域。这种技术是将周期性折射率变化写到光纤上形成光栅,光栅受温度,应力和其他外界因素作用时会使光线传播特性发生变化,达到监控环境参数目的。水利工程中光纤光栅传感器可应用于大坝、水库、水闸等建筑物的形变,应力及温度等重要参数的监测。实时采集这些数据可评价工程结构健康状态,并能及时发现异常并采取预防措施以避免意外。另外,由于光纤光栅传感器具有分布式特性,使得它可以在空间上提供持续监测信息,对大面积复杂水利工程来说显得尤为重要。

#### 3.2 动床河工模型试验中的泥沙浓度光电量测技术

动床河工模型试验对于研究河流动力学及泥沙运动具有十分重要的意义。这些实验中泥沙浓度的精确测量对了解河流侵蚀,沉积过程非常关键。常规泥沙浓度测量方法通常测量精度不高,实时性较差。光电量测技术是利用光对泥沙悬浮液的散射与吸收特性来实现泥沙浓度实时精确测量。采用特定波长光源对泥沙悬浮液进行照射,通过探测光线散射与吸收强度并结合预设标定模型计算泥沙浓度。水利工程中利用光电量测技术可对河流,水库及其他水体泥沙含量进行监测,从而为水文分析、河道治理以及防洪减灾等工作提供科学依据。

#### 3.3 闸门自动化监控系统在水利工程中的应用

闸门是水利工程调节水流所使用的关键设施。闸门的自动化监测系统整合了多种传感器,例如水位传感

器、压力传感器和位移传感器等,以实现闸门运行状况的实时监控和控制。这些传感器能够提供闸门开度、水位和水压等重要参数,利用数据融合算法对这些数据进行处理,能够更加精确地对闸门工作状态进行判断,对异常情况进行及时检测和处理。比如在水位高于警戒线的情况下,该系统能自动开启闸门来避免洪水的泛滥;该系统能在水位过高时自动关闸,确保下游供水需要。另外自动化监控系统能够通过远程通信技术将监测数据传输至控制中心中,方便管理人员远程监控与决策,极大提高水利工程运行效率与安全性。

### 4 结束语

本研究深度分析了多传感器融合技术在水利工程安全监控方面的实际应用,并对其核心技术进行了详细的剖析。在对国内外学者研究进行比较分析后发现,多传感器融合技术可以有效地增强监测数据准确性以及监测系统运行可靠性。研究结论提出:多传感器融合技术是通过融合不同种类传感器优点来实现水利工程环境与结构状态综合监测,它在防止和减轻水利工程灾害方面起着举足轻重的作用。另外,随着物联网、人工智能等技术的不断发展,水利工程安全监测中多传感器融合技术会被越来越多地采用,智能化、自动化程度会明显提高。

### 参考文献

- [1]李长武,周晓宇,高苇,等.视觉及多传感器数据融合的关键技术研究[J].自动化技术与应用,2024(4):103-107.
- [2]沈俊峰,吴玲丽,陈勃生,等.水利工程白蚁危害综合治理中自动监测关键技术研究与应用[J].中国水利,2023(15):60-64.
- [3]李兆锋,陈江平,陈敏,等.水利工程运行安全检测关键技术及其应用[J].水利水电快报,2022(6):66-72.
- [4]赵东生,黄缙华,尚观远,等.并联电容器母线电流在线监测传感器关键技术研究[J].电工技术,2022(16):33-36.
- [5]郑文,林文忠,韩晓东,等.基于多传感器融合的工程建设远程监管关键技术及应用[J].中国建设信息化,2021(14):29-31.