

无线远传技术在 DCS 报警优化中的应用

任保同

兖矿国宏化工有限责任公司, 山东 邹城 273500

DOI:10.61369/ERA.2025110027

摘 要 : 随着无线传感器网络在工业领域的广泛应用, DCS 报警系统在面对高维数据和噪声环境时, 常常存在误报警率高、响应时间长等问题。研究提出基于无线远传技术的多传感器协同优化算法 (MS-Opt), 通过结合决策树和支持向量机技术, 优化 DCS 报警系统的性能。实验结果表明, MS-Opt 误报警率降至 1.32%, 分类准确率达到 98.7%, 响应时间为 45.3 毫秒。MS-Opt 在高负荷情况下仍能保持较低的计算资源消耗, 在实时报警优化中的应用潜力优异, MS-Opt 算法可以为 DCS 报警优化提供有效的解决方案。

关 键 词 : 无线传感器网络; DCS 报警优化; 实时监控; 数据融合

Application of Wireless Remote Transmission Technology in DCS Alarm Optimization

Ren Baotong

Yankuang Guohong Chemical Co., Ltd., Zoucheng, Shandong 273500

Abstract : With the widespread application of wireless sensor networks in the industrial sector, DCS alarm systems often encounter issues such as high false alarm rates and long response times when dealing with high-dimensional data and noisy environments. This study proposes a multi-sensor collaborative optimization algorithm (MS-Opt) based on wireless remote transmission technology, which optimizes the performance of DCS alarm systems by integrating decision tree and support vector machine techniques. Experimental results indicate that MS-Opt reduces the false alarm rate to 1.32%, achieves a classification accuracy of 98.7%, and has a response time of 45.3 milliseconds. MS-Opt maintains low computational resource consumption under high loads and demonstrates excellent potential for application in real-time alarm optimization. The MS-Opt algorithm can provide an effective solution for DCS alarm optimization.

Keywords : wireless sensor networks; DCS alarm optimization; real-time monitoring; data fusion

引言

随着工业自动化水平的不断提高, 分布式控制系统 (Distributed control system, DCS) 在多个行业中得到广泛应用^[1]。DCS 报警系统作为监控工具负责实时检测设备异常并发出报警, 确保生产过程的安全。然而随着设备种类和监测点的增加, 传统的报警系统在面对高维数据和复杂环境时, 常常表现出较高的误报警率、较长的响应时间以及较低的分类准确性等问题^[2]。当前随着无线传感器网络 (Wireless sensor network, WSN) 的发展, 基于无线传感器的 DCS 报警优化成为研究的热点^[3]。无线远传技术能够提供实时监控和数据传输, 在保障数据更新及时性的同时, 面临着数据波动、噪声干扰等问题。因此如何在保证系统实时响应的同时, 有效降低误报警率, 成为了急需解决的问题^[4]。目前常见解决方法如如决策树、支持向量机等, 虽然这些算法在特定条件下表现出较好的效果, 但在面对高维数据和复杂非线性特征时, 往往难以有效应对。因此研究结合无线远传技术与算法优化, 构建 DCS 报警系统以构建多传感器协同优化, 发挥无线传感器网络的优势。

一、基于无线远传技术的 DCS 报警系统构建

(一) 基于决策树的报警分类算法

在无线远传技术的应用中, 决策树算法可以在 DCS 报警系统中被用来对多种报警事件进行分类, 从而实现报警信息的准确识别与处理。传统的决策树算法通过递归划分数据集来构建决策

树, 每个节点都代表一个特征的判定, 而叶子节点则代表类别标签。然而在无线远传技术的报警优化中, 数据集中的噪声、缺失值以及高维特征会导致分类结果的不准确, 因此在经典决策树中融合基于信息增益率的特征选择方法来选择最优特征^[5]。传统的 ID3 算法使用信息增益作为特征选择的依据, 但当数据维度较高时, 信息增益偏向选择取值范围较大的特征, 从而影响分类效

果。为此，C4.5算法引入信息增益率作为改进，公式如下。

$$GainRatio(D, A) = \frac{Gain(D, A)}{SplitInfo(D, A)} \quad (1)$$

其中， $Gain(D, A)$ 表示特征 A 在数据集 D 上的信息增益， $SplitInfo(D, A)$ 表示数据集 D 在特征 A 上分裂的程度。通过引入信息增益率，C4.5 能够更好地克服特征选择中的偏向问题，从而提高分类的准确性。为应对报警数据中的噪声与缺失值问题，优化决策树算法在构建过程中引入剪枝策略，决策树在构建过程中可能会出现过拟合现象，特别是在无线传感器网络中，由于传感器的波动性，数据往往存在一定的噪声。过拟合的决策树虽然在训练数据上表现良好，但在实际应用中则会导致较差的泛化能力。为避免过拟合，算法采用后剪枝 (Post-pruning) 策略，通过最小化树的复杂度来提高泛化能力。在决策树构建完成后，对其进行修剪，移除那些对分类性能贡献不大的分支。剪枝过程通过计算每个节点的误差率来判断是否需要剪除，如公式 (2)。

$$E(T) = E(T) - \Delta E \quad (2)$$

其中， $E(T)$ 是修剪后的树的误差率， $E(T)$ 是原树的误差率， ΔE 是剪枝后误差率的变化。通过控制误差变化，能够实现最优剪枝，从而有效减少过拟合现象。并且为优化 DCS 报警系统中的实时响应能力，结合数据流的处理机制使得报警分类更加适应无线传感器网络中的动态数据变化。采用在线学习策略，能够实时更新决策树的模型，使其能够在数据不断变化的环境中保持较高的分类准确率。

(二) 基于支持向量机 (SVM) 的误报警识别算法

在无线远传技术的 DCS 报警系统中，研究选择支持向量机提高误报警的识别情况和消除情况，提高系统准确性和减少误操作环境。虽然传统 SVM 在很多情况下表现出色，但面对高维、噪声较大的报警数据时，可能会出现分类性能下降的问题。为此在传统的 SVM 模型中为提高对非线性数据的分类能力，引入基于径向基函数的核函数，并通过自适应优化策略调整核函数参数。RBF 核函数形式如公式 (3)。

$$K(x, y) = \exp\left(-\frac{\|x - y\|^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3)$$

其中， $\|x - y\|$ 是样本向量 x 和 y 之间的欧式距离， σ 是核函数的参数， σ 是预设的常数值，通过交叉验证进行动态调整。通过自适应调整核函数参数，能够更好地拟合报警数据中的非线性特征，从而提高误报警的识别精度。为解决误报警识别过程中的不平衡问题，引入加权惩罚函数。由于在实际 DCS 报警系统中，正常报警和误报警的比例通常存在较大差异，传统 SVM 在面对这种类别不平衡的数据时，容易倾向于识别出多数类别的样本，从而忽视少数类别的误报警。为此在目标函数中引入类别权重调整项，使得误报警样本的分类权重得到有效增加。改进后的目标函数形式为公式 (4)。

$$\min_{w, b, \xi} \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^n w_i \xi_i \quad (4)$$

其中， w_i 为第 i 个样本的权重， C 为惩罚参数， ξ_i 为松弛变量。通过调整 w_i 的值，能够对误报警样本施加更大的权重，提升其在分类中的重要性，从而有效改善类别不平衡带来的影响。为提高分类精度并减少训练过程中的计算负担，采用序列最小优化 (Sequence minimum optimization, SMO) 算法进行优化。在 SVM 训练过程中，SMO 算法通过将大规模的二次优化问题分解为一系列小规模二次问题，减少计算复杂度。SMO 算法在每次迭代中，可以选择性地更新支持向量提高算法的效率和实时性。

(三) 数据融合与多传感器协同优化

在无线远传技术的 DCS 报警系统中，通过将来自多个传感器的数据进行融合，能够减少单一传感器可能带来的误差，提高报警系统的响应速度和准确性。但由于无线传感器网络中的数据具有较强的时变性和非线性特征，传统加权平均法的融合效果并不总是理想。因此，结合前文的支持向量机与决策树算法的特征，采用基于多传感器信号协同优化的数据融合方法，考虑每个传感器数据的重要性同时结合传感器之间的相关性，提升数据融合的效果。数据融合算法通过构建一个多维决策模型，将多个传感器的输出信号进行综合处理。设定每个传感器的输出为 x_1, x_2, \dots, x_n ，其中 n 是传感器的数量。假设各传感器输出的权重分别为 w_n ，通过加权融合得到一个融合结果 y 如公式 (5)。

$$y = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i \quad (5)$$

为优化融合结果，改进算法根据每个传感器的精度和可靠性动态调整权重。传感器的权重通过其误差率与信噪比进行关联计算。假设传感器的误差率为 e_i ，信噪比为 SNR_i ，传感器的权重如公式 (6)。

$$w_i = \frac{SNR_i}{e_i + \sum_{i=1}^n SNR_i} \quad (6)$$

通过这种加权策略，能够根据传感器的实时性能动态调整各个传感器的权重，从而在数据融合时优先使用那些准确性较高的传感器数据。为增强数据融合算法的鲁棒性，构建基于决策树和 SVM 的多层次分类模型。在传感器数据融合后，通过决策树算法进行初步的分类判断，再使用支持向量机对初步分类结果进行精细化优化。该过程中 SVM 负责对各个传感器的误报警进行识别与抑制，避免由于单一算法的不足而导致的误识别。

二、实验分析与验证

(一) 实验环境与数据集构建

为验证本文构建的无线远传技术系统的误报警识别在无线远传场景下的协同效能，搭建并开展系统级现场实验。本研究在某电力公司控制室的无线远传技术环境下进行实验，所使用的设备包括浙大中控、无线传感器节点、数据采集器、计算服务器和监控终端。实验所用的数据集来自现场设备的实际运行数据。表 1 为数据集描述。

表1 数据集描述							
传感器 编号	传感器 类型	采集时间	温度 (°C)	湿度 (%)	压力 (Pa)	振动 (m/s²)	报警 状态
1	温度传 感器	2025/9/1 10:00	72.5	60.3	1020	0.15	无报警
2	湿度传 感器	2025/9/1 10:05	73	59.8	1018	0.18	报警
3	压力传 感器	2025/9/1 10:10	73.5	58.7	1015	0.2	无报警
4	振动传 感器	2025/9/1 10:15	74	57.2	1012	0.22	报警
5	温度传 感器	2025/9/1 10:20	71	55	1022	0.1	无报警
6	湿度传 感器	2025/9/1 10:25	70.5	56.5	1025	0.17	无报警
7	压力传 感器	2025/9/1 10:30	72	58	1019	0.19	报警
8	振动传 感器	2025/9/1 10:35	73.5	60	1013	0.21	无报警

在实验过程中，数据按5分钟为单位进行采集和记录，引入故障模拟机制，通过人为控制某些参数的波动，产生模拟故障数据，以测试系统对不同类型故障的识别和响应能力。

（二）算法对比与实验结果分析

实验对比本文改进多传感器数据融合算法（MS-Opt）与其他三种算法进行性能对比。算法性能通过四个指标进行评估：（1）误报警率 (False Alarm Rate, FAR)：表示误报警的比例。（2）响应时间 (Response Time, RT)：表示从报警发生到系统响应所需的时间。（3）分类准确率 (Classification Accuracy, CA)：表示算法正确分类的比例。（4）处理能力 (Processing Time, PT)：算法在单个数据集上运行所需的时间，衡量算法的实时性和计算效率。表2为不同算法在这些指标上的性能对比结果。可以看出 MS-Opt 在误报警率上低至1.32%，明显优于其他算法，MS-Opt 的响应时间为45.3毫秒，虽然略高于决策树算法，但在所有算法中仍然处于较低水平，且在实时性要求较高的场景中，能够满足系统需求。MS-Opt 的分类准确率达98.7%，加权平均法由于其简单性，准确率相对较低，仅为88.9%。MS-Opt 在处理时间上表现略低于加权平均法，但具有优秀的分类能力和低误报警率。其他算法在处理时间上表现相对较好，但无法达到 MS-Opt 在准确率和误报警率上的优势。MS-Opt 算法能够有效融合来自多传感器的数据，并通过协同优化策略动态调整每个传感器的权重减少误报警的发生，并提高系统的响应速度。相比于传统算法，MS-Opt 在多传感器信号融合时引入决策树与支持向量机的联合优化策略，使得算法在处理高维数据和复杂环境下的分类精度和实时性得到了显著提升。MS-Opt 在实际应用中能够有效优化报警系统，提升系统的可靠性和实时性。

参考文献

[1] 白丹丹, 刘宜成, 周树桥, 等. 去中心化分布式控制系统设计研究 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2024(3): 87-91.

[2] 林实宇, 万舒, 梁鑫, 等. OM690系统数字化报警卡转换工具研制 [J]. 电子技术应用, 2023, 49(S01): 169-172.

[3] 陶伟, 顾靖, 赵丽莉, 等. DCS 软件故障诊断的自动化测试技术的研究与应用 [J]. 自动化与仪器仪表, 2023(8): 224-227.

[4] 郑立松, 成贝贝, 桑大宁. 工业领域信号采集传输应用研究 [J]. 科学技术创新, 2024(15): 55-58.

[5] 王伟, 汪坤, 杨帆, 等. 基于 GBDT 和新型 P-GBDT 算法的催化裂化装置汽油收率寻优模型的构建与应用 [J]. 石油学报 (石油加工), 2020, 36(1): 179-187.

表2 性能对比分析				
算法	误报警率 (FAR, %)	响应时间 (RT, ms)	分类准确率 (CA, %)	处理时间 (PT, s)
MS-Opt	1.32	45.3	98.7	0.084
DT	6.75	59.8	90.5	0.022
SVM	4.12	52.4	94.8	0.076
WAM	10.28	60.6	88.9	0.018

为评估不同算法对 DCS 报警系统的性能影响，实验采用性能指标分别为误报警率波动 (False Alarm Rate Fluctuation, FARF)：表示误报警率的波动幅度，反映算法的稳定性。响应稳定性 (Response Stability, RS)：衡量系统响应的稳定性，基于多次实验计算响应时间的标准差。算法适应性 (Algorithm Adaptability, AA)：表示算法在面对不同工作条件下的适应能力，基于系统对突发事件的反应情况评估。计算资源消耗 (Computational Resource Consumption, CRC)：反映算法在运行时对计算资源的需求。表3为具体实验结果。

表3 DCS 报警系统性能影响分析				
算法	误报警率波动 (FARF, %)	响应稳定性 (RS, ms)	算法适应性 (AA, %)	计算资源消耗 (CRC, %)
MS-Opt	0.74	5.2	96.5	32.5
DT	2.31	9.5	85.2	28.1
SVM	1.88	7.3	89.6	45.2
WAM	3.92	12.4	78.3	20.3

可以看出 MS-Opt 具有最低的误报警率波动 (0.74%)，在长期运行中能够保持较为稳定的误报警率，避免频繁的误报警波动。MS-Opt 的响应时间稳定性为5.2毫秒，在面对复杂场景时响应稳定。MS-Opt 的适应性达到96.5%，其在多变的工作环境下，能够快速适应不同的报警情况，做出准确反应。在计算资源的消耗方面，MS-Opt 需要的计算资源略高。可以看出，MS-Opt 在多个指标中表现出色，在误报警率波动、响应稳定性和算法适应性方面显著优于其他对比算法，不仅能减少误报警，还能提高系统在不同工况下的适应性与稳定性，在高负荷和复杂环境下，仍能保持较低的计算资源消耗。

三、结论

随着无线传感器网络技术的发展，DCS 报警优化的需求愈发迫切。本研究提出基于无线远传技术的 DCS 报警优化方案，通过多传感器数据融合与算法优化，提高报警系统的实时性和准确性。实验结果表明，MS-Opt 在多个性能指标上表现出色。误报警率低至1.32%，分类准确率达到98.7%，在响应时间和处理能力方面也具有显著优势。尽管改进算法在性能上表现优异，但由于其计算资源消耗相对较高，仍需进一步优化，以实现更广泛的应用场景。