

基于注意力机制的故障诊断模型优化研究

李天硕 彭爱春

河北科技学院, 河北 唐山 063200

摘要: 故障诊断是在工业设备、电子系统等领域保障运行安全,降低停机损失的重要环节,故障诊断的精度与效率直接影响着设备的运维水平和生产质量。传统故障诊断模型存在特征提取精度低、故障识别鲁棒性差、复杂工况适配性差的问题,很难准确捕捉到故障特征中的关键信息,容易受噪声干扰而产生诊断错误。注意力机制聚焦重要特征、抑制冗余信息,可有效改善故障诊断模型的特征提取能力、诊断能力,这为优化故障诊断模型提供关键技术支撑。聚焦故障诊断实操场景,弱化理论推导,重点探索注意力机制在故障诊断模型中的优化路径、实操设计和验证方法,通过优化注意力机制的结构和参数,提升故障诊断模型的故障识别精度及抗干扰能力,适配复杂实操工况。实践表明,基于注意力机制优化的故障诊断模型可有效提高故障识别精度,提高模型抗噪声干扰能力和复杂工况适配性,为故障诊断模型的升级改造及实操应用提供有效参考。

关键词: 注意力机制; 故障诊断模型; 特征提取; 模型优化; 故障识别

0 引言

故障诊断模型可用于工业设备、电子设备、能源装备等运维,分析设备运行数据,判断故障类型、位置,为设备运维提供依据。目前大部分故障诊断模型沿用传统特征提取方式,很难找到重要的故障特征,容易受到设备运行噪声和环境干扰影响,特征提取失准,故障识别精度低。部分模型引入深度学习,但没有考虑注意力问题,不能辨识出故障特征,对微小故障特征不敏感,很难识别早期的轻微故障,出现漏诊、误诊等现象。传统模型对复杂工况的适应性差,设备运行工况发生变化、故障特征发生异常时,模型诊断性能下降,无法满足实际运维场景中不同、复杂的故障诊断需求;部分优化模型偏重于理论设计,缺乏实操性,训练困难、运维困难,很难落地开展故障诊断实际应用。

1 故障诊断模型优化需求与价值

1.1 故障诊断模型的核心优化需求

根据故障诊断的实际运维需求,基于注意力机制的故障诊断模型的优化需要从提高特征提取精度、故障识别鲁棒性、复杂工况适配性、模型实操性四个方面考虑。特征提取精度,通过注意力机制优化,使得模型能够聚焦故障关键特征,从而降低冗余信息和噪声干扰,提高故障特征的提取质量。故障识别鲁棒性,通过注意力机制优化,使得模型能够抗干扰,有效的克服设备运行噪声和环境干扰的影响,降低因干扰引起的漏诊、误诊等问题。复杂工况适配性,通过注意力机制优化使得模型能够适应不同的运行工况、不同的故障类型,精准的捕获不同工况下的故障特征差异。模型实操性,

通过注意力机制优化使得模型能够简化训练流程,降低训练难度,能够方便的参数调试和运维,快速适应实际故障诊断的实际运维要求,无需进行多的理论演算,提高模型落地可行性。

1.2 注意力机制优化的实操价值

注意力机制在故障诊断模型中的应用可以弥补传统模型中的痛点,具有极大的实用价值。通过注意力机制引导模型优先将关注点聚焦在故障关键特征,滤除冗余信息和噪声,提高特征提取精度,增强模型捕捉微弱故障特征的能力,减少漏诊误诊,提升故障诊断精度。注意力机制的自适应聚焦可以使模型根据故障关键特征的重要程度调整关注权重,针对不同的故障和运行工况适配模型。通过注意力机制优化可以降低模型特征提取过程中的无效特征的占用,降低模型的训练难度和计算成本,提高模型训练效率和运维效率。优化后的模型能够适应设备运行情况的变化,及时发现故障、找出故障位置,缩短故障处理时间,减少设备停机,提升设备运维效率,为实际故障诊断提供有力的技术支持。

2 注意力机制与故障诊断模型的应用基础

2.1 注意力机制的核心实操特性

使用于故障诊断模型的注意力机制主要实操特性包括精准聚焦、自适应调节、噪声抑制3类,它们分别为故障诊断实操特性,弱化复杂理论支撑。精准聚焦特性可以使模型关注故障的核心特征,不留空隙和相互干扰,提高故障特征的提取精度,让模型快速的识别更小的故障特征;自适应调节特性根据故障特征的分布和重要程度调整注意力权重,无需人工设置参数,可以满足各类故障、各种运行工况的需求,

提升模型的泛化能力;噪声抑制特性过滤设备运行过程中的噪声干扰,降低噪声干扰对特征提取和故障识别的影响,增强模型的抗干扰能力,在一定的干扰下,模型能够较好的诊断出复杂的故障问题,可以为故障诊断模型提供核心支撑。

2.2 模型优化的适配要求

基于注意力机制的故障诊断模型优化需满足模型适配、数据适配、实操适配三方面的要求,实现优化后的模型可落地应用。模型适配方面,注意力机制要与故障诊断模型结构、特征提取模块、分类模块相匹配,无需重新集成至现有模型,不需要过大的改造模型结构,保证注意力机制的正常运行,提高模型的性能。数据适配方面,模型优化需要基于高质量的故障数据,数据要包含不同类型、不同工况、不同干扰的样本数据,保证模型能够充分学习故障特征,提高泛化能力,避免单个数据过多导致模型过拟合。实操适配方面,优化后模型需具有较小的训练难度、运维难度,快速完成模型训练、参数调试,适配实际故障诊断场景下设备运行数据特点,方便操作人员快速上手。

2.3 模型优化的前期准备工作

基于注意力机制的故障诊断模型优化前需要做好前期的准备工作,为模型的优化与落地做好准备。前期准备主要包括需求梳理、数据整理、模型选型,对故障诊断场景、故障类型、诊断精度等做好梳理,并明确模型优化需要达到的目标,如特征精度提高、抗干扰能力增强、复杂工况适配等。收集故障诊断数据,采集正常数据和各类故障数据,将数据进行筛选、清洗和归一化,删除无效数据、异常数据和冗余数据,标注故障类型及特征信息,提高数据准确性、完整性和多样性,为模型训练和优化提供优质数据支持。根据故障诊断场景和目标选用适配的注意力机制及故障诊断模型,选择实用性强、训练效率高、易于优化的模型,避免使用理论模型、理论模型的复杂度和落地性,并在前期做好模型调试。

3 基于注意力机制的故障诊断模型核心优化设计

3.1 注意力机制结构优化

注意力机制结构改进是提升故障诊断模型性能的重要手段,通过改善注意力机制结构,提升模型对故障关键特征的聚焦能力以及自适应调节能力。改进注意力机制权重分配方式,改变固定权重方式,采用动态权重方式,将故障特征依据重要程度,切换到权重更大的范围

内,让模型重点聚焦故障关键特征,尽可能少的收集冗余信息和噪声。简化注意力机制的计算步骤,减少不必要的运算步骤,减少模型的计算代价,提高模型的训练效率与推理效率,使模型能快速响应实际故障诊断。引入特征融合机制,将注意力机制提取的重要特征与模型原有的特征提取模块输出相融合,互补特征信息,提升特征提取的完整性与准确性,提高模型对微弱故障特征的捕捉能力,减少漏诊、误诊等问题,让模型更加准确识别故障。

3.2 特征提取模块优化

特征提取模块是故障诊断模型的重要组成部分,结合注意力机制优化特征提取模块重点提取特征,对特征提取的精度和抗干扰性能进行考虑,将注意力机制引入特征提取模块,引导模块注重提取故障主要特征,过滤噪声和冗余信息,解决传统特征提取模块特征提取不准确、抗干扰性能差等问题。优化特征提取的卷积核参数和网络结构,改变卷积层数和卷积核尺寸,使特征提取模块更好地与故障特征的尺度结合,提升故障特征的类型、程度等提取能力;加入特征正则化,抑制模型的过拟合,增加模型的泛化能力,使模型可以在不同工况、不同故障类型中运行,提取性能可以稳定。通过特征提取模块和注意力机制优化,可以提取到更准确、更完整的故障特征,为故障识别提供支持。

3.3 故障识别模块优化

故障识别模块的优化主要从注意力机制和识别逻辑结合、故障识别准确率、故障识别稳定性和实际场景等方面来实现。将注意力机制提取的特征给予故障识别模块,优化识别模块的分类逻辑,优化分类器参数,增强对故障特征的识别能力,避免由于特征冗余、噪声干扰带来的识别失误。引入自适应识别模式,根据注意力权重,动态调整识别阈值,使得模型能够根据故障特征的强弱和清晰程度来判断故障类型,提高模型对于小故障识别能力;优化识别模块的推理速度,减少推理延迟,使模型快速输出故障诊断结果,实现实际故障诊断中的快速判断能力。通过优化,使得故障识别模块与注意力机制、特征提取模块融合构成故障诊断链路,进而提高模型诊断的性能。

4 模型优化的实操验证与落地调试

4.1 模型训练与参数调试

模型训练和参数调试是保证优化效果的重要手段,通过实操规范结合故障诊断数据和场景需求,适当调整模型参数,改善模型性能。根据故障数据进行整理,将数据分为训练集、

验证集和测试集，并划分数据占比，保证训练集包含不同故障、不同工况和不同干扰，让模型学习不同的故障特征。在训练过程中，实时监测模型的训练精度、损失值等数据，动态改变注意力机制参数、特征提取模块参数、故障识别模块参数，优化训练策略，避免过拟合、欠拟合模型；调试过程中，重点检验模型的特征提取精度、故障识别精度和抗干扰能力，对于模型中存在的不足，如识别准确率低、抗干扰能力差等问题，针对性的调整参数，保证模型训练效果达标，满足故障诊断需求。

4.2 模型实操验证与性能评估

模型实操验证的基本方式是模拟真实故障诊断场景，通过测试集数据和真实故障诊断场景，全面测试优化后的模型，对比优化效果，测试模型的故障识别准确率、漏诊率、误诊率、推理速度，通过对比优化前后模型，检验注意力机制优化效果。模拟真实故障诊断场景，加入不同强度的噪声，测试模型的抗干扰能力，验证模型在复杂干扰环境下的稳定性和诊断精度，测试模型对于不同故障、不同运行工况的适应性，使模型能够有效识别不同类型的故障，适应不同实操场景。通过实操验证，有效寻找模型优化不足，为下一步参数调整 and 性能提升，使模型满足真实故障诊断的需要。

4.3 实操落地与运维要点

日常实操运维能够保障优化完成的故障诊断模型正常运行，维持模型优化效果，保证模型落地实用性。日常运维过程中，对模型进行定期检测，检测模型推理速度、识别准确率等性能指标，及时发现模型出现异常，如识别准确率降低、推理延迟等问题。定期更新故障数据样本，增加新的故障类型和工况数据，重新训练模型及参数，使模型随着设备运行状态的不同而改变，提升模型的泛化能力。规范操作人员的操作流程，指导操作人员正确使用模型，合理设置模型参数，防止操作人员违规操作造

成模型出现异常情况。实操中及时处理常见问题，如模型过拟合、噪声干扰导致的模型识别失败等，发现问题根源，及时调整参数、补充数据等方式，保障模型持续正常运行。

4.4 模型适配性优化

模型适配性优化是为了提升模型对不同实操场景的适配性，使模型可应用于各种类型设备故障诊断场景，根据不同的设备与故障诊断场景，合理的调整模型的注意力机制参数及特征提取参数，优化模型的特征识别逻辑，保证模型能够识别出不同设备故障的特征差异；简化模型的部署流程，优化模型的运行环境，使模型可以部署在不同的设备运维平台，不需要复杂的硬件配置，减少模型的落地成本；同时，优化模型的人机交互界面，操作人员可以快速的查看诊断结果、调整模型参数，更新故障数据，提升模型运维便捷性，使模型能更好的满足不同实操场景的需求。

5 结论

注意力机制是故障诊断模型优化升级的关键，解决了传统故障诊断模型特征提取不准确、抗干扰能力差、工况适配性差、漏诊误诊率高的问题，有效提升了故障诊断模型实操性能。通过注意力机制结构、特征提取模块、故障识别模块、抗干扰性能的优化，使模型聚焦故障关键特征，增强模型抗干扰能力、泛化能力，提高故障识别准确率和诊断效率。科学的模型训练、参数调试、实操验证及运维能够保证优化后的模型稳定高效地应用于实际故障诊断场景，更好地适配设备、工况、设备的故障诊断需求，降低设备停机损失、提升设备运维效率。聚焦故障诊断实操落地，以理论求实际，优化路径与验证方法更贴近实际，为故障诊断模型优化升级、注意力机制实操应用提供参考依据，促进故障诊断技术更加精准、更加高效、更加智能。

参考文献：

- [1] 韦强宇,吐松江·卡日,张紫薇,等.小样本条件下基于改进原型网络的电力变压器故障诊断方法[J/OL].电子测量技术,1-11[2026-03-21].
- [2] 王鹤宇,汪锋,刘志宏,等.基于注意力机制的风机齿轮箱故障识别方法[J/OL].北华大学学报(自然科学版),1-11[2026-03-21].
- [3] 汤家辉,孙宁,王松雷.基于注意力机制和轻量级自适应CNN模型的滚动轴承故障诊断[J].兵工自动化,2026,45(02):32-36.

作者简介:李天硕(2003.01—),男,汉,河北省石家庄市,本科,研究方向:机械制造及自动化。