

常见信号处理算法的性能对比与评估

赵传智

四川九洲电器集团有限责任公司 四川 绵阳 621000

摘要：物联网、可穿戴设备与无线传感技术的广泛应用，让各行业信号数据量持续攀升，信号处理算法的综合性能，成为各类设备与系统落地运行的关键。本文以当下主流的传统、自适应及新型智能信号处理算法为研究对象，从实时性、降噪效果、算力消耗、环境适配性四个维度开展横向性能对比。结合当前算法轻量化、嵌入式部署、自适应迭代的行业发展趋势，梳理各类算法的优缺点与适用场景，分析复杂工况下的性能差异，为工程应用中的算法选型与技术优化提供实用参考。

关键词：常见信号；处理算法；性能对比；评估

引言

信号处理是通信检测、工业测控、生物监测等诸多领域的基础技术，设备采集的原始信号均需提纯处理、提取特征后才可投入实际应用。现如今各类应用场景的信号环境愈发复杂，动态干扰与杂散噪声大幅增加，同时便携、嵌入式设备的算力资源存在明显限制，传统固定参数算法的适配缺陷逐渐凸显。自适应滤波、模态分解、轻量化智能算法的迭代升级，有效突破了传统技术短板。通过横向对比各类主流算法性能，明确其适用边界，可精准适配当下高精度、实时化、轻量化的信号处理行业发展需求。

1 信号处理算法整体发展与评估体系概述

现代信号处理技术的发展，始终跟随硬件设备迭代与场景需求升级持续推进。早期信号处理以固定参数的基础滤波算法为主，核心作用是完成简单降噪与信号平滑，仅能适配稳态、低噪声的常规信号场景。随着物联网终端、可穿戴监测设备、高速通信系统的广泛落地，现实场景中的信号呈现出非稳态、弱幅值、强噪声干扰、动态变化的特征，传统算法的处理局限性逐步凸显，无法满足高精度、低延时、低功耗的处理要求。在此背景下，各类改进型传统算法与智能信号处理算法快速普及，行业整体从固定参数处理模式，转向自适应、轻量化、智能化的处理模式^[1]。当前信号处理算法的应用场景分化明显，工业嵌入式设备侧重低算力消耗与高实时性，精密检测场景侧重信号保真度与降噪精度，动态通信场景侧重环境自适应能力。对应的算法评估体系也不再单一聚焦降噪效果，而是形成多维度综合评估标准。现阶段通用的评估维度主要包含四个核心方向，分别是算法实时性、信号处理精度、算力资源消耗、复杂环境适配能力。实时性对应算法运行耗时，适配实时监

测、高速传输场景；处理精度对应信号有效信息保留度与噪声抑制水平；算力消耗适配嵌入式、便携终端的硬件限制；环境适配能力衡量算法在动态噪声、弱信号、突变信号场景下的稳定运行能力。

2 主流信号处理算法分类及核心原理

2.1 传统基础信号处理算法

传统基础信号处理算法发展成熟、应用范围广泛，核心类型包含基础滤波、傅里叶变换以及常规小波变换，整体采用固定参数与固定运算逻辑运行，无需迭代计算与人工反复调试参数，硬件适配门槛较低，可稳定运行在各类老旧设备、低端嵌入式终端与低功耗传感设备中，能够满足基础、低功耗、简易化的信号处理需求。其中均值滤波、中值滤波、维纳滤波主要通过邻域修正方式实现信号平滑降噪，傅里叶变换负责完成信号时域与频域的转换，常规小波变换弥补了傅里叶算法的短板，可同步完成时频特征提取，精准定位时域突变信号。整套算法体系运行稳定、计算量小，适配稳态、低噪声的简单信号场景。但这类算法整体灵活性较差，参数无法跟随现场环境动态更新，仅适配单一稳定工况，在存在杂散噪声、信号波动、非线性干扰的复杂工业场景中，容易出现降噪不彻底、信号失真、有效特征丢失等问题，难以适配当下高精度、动态化、复杂化的信号处理发展需求。

2.2 改进型自适应信号处理算法

改进型自适应信号处理算法是传统基础算法的迭代升级版本，核心突破点在于实现参数动态可调，摆脱了传统算法固定参数的运行局限，可根据实时信号状态与噪声环境变化自主修正核心运行参数，适配非平稳、动态变化的信号处理场景。现阶段工业监测、传感数据采集等常规场景常用算法主要包括最小均方算法、递归最

小二乘算法与自适应小波阈值算法。这类算法依托实时信号误差数据构建动态反馈机制,持续优化迭代步长、滤波阈值等关键参数,自适应小波算法可动态调节降噪力度,平衡降噪效果与信号保真度,递归类算法可有效跟踪缓慢变化的连续信号^[2]。整体算法运算逻辑简单、算力开销可控,实时性表现稳定,大幅降低了现场人工调参的运维成本,在常规复杂工况中可稳定输出处理效果。其综合性能介于传统算法与智能算法之间,性价比突出,适配绝大多数民用与普通工业场景。但算法参数调节存在固定上限,面对高强度突发噪声、强耦合干扰、微弱信号与大幅信号突变的极端工况,适配能力不足,处理精度与运行稳定性会明显下降,无法满足高精度复杂场景的使用要求。

2.3 新型模态分解与智能信号处理算法

随着智能传感与高精度检测技术的持续普及,模态分解算法与轻量化智能信号处理算法逐步成为行业主流研究与应用热点,核心包含变分模态分解、经验模态分解以及轻量化深度学习降噪算法,主要用于解决传统算法与自适应算法无法处理的非线性、强干扰、非平稳复杂信号问题。模态分解类算法可将混杂的复杂原始信号自主拆解为多个单一频率的模态分量,精准区分有效信号与噪声分量,有效解决信号耦合带来的处理难题,其中变分模态分解改善了传统经验模态分解的分量混叠缺陷,大幅提升信号分解精度。轻量化智能算法依托前期海量场景数据训练,自主学习信号与噪声的特征差异,无需人工干预即可完成精细化降噪与特征提取。这类新型算法的信号保真度、抗干扰能力与复杂场景适配性远超传统算法与自适应算法,可高效完成弱信号提取、强噪声抑制等高精度处理工作,适配各类极端复杂工况。但算法存在明显短板,模态分解迭代流程繁琐、计算量大、运行耗时长,算力资源消耗偏高;智能算法高度依赖训练数据集,在陌生场景中迁移稳定性不足,受限于轻量化短板,目前无法全面替代传统轻量化实时处理算法。

3 各类信号处理算法多维度性能对比与评估

3.1 实时性性能对比评估

算法实时性是衡量信号处理技术适配实时监测、高速传输场景的核心指标,核心取决于算法的运算流程复杂度、迭代次数、参数计算量,直接决定终端设备的信号处理延时。在三类主流算法中,传统基础信号处理算法的实时性表现最优,这类算法无迭代运算、无参数动态调整流程,运算步骤固定且简洁,单次信号处理的耗时最短,能够实现毫秒级的信号实时处理,完全适配各类高速实时响应场景,也是低算力嵌入式终端的首选

算法类型。改进型自适应算法的实时性略低于传统基础算法,这类算法需要增加误差计算、参数修正的反馈流程,存在少量迭代运算,整体运算量小幅提升,处理延时略高于传统算法。但自适应算法的迭代逻辑简单,运算增量有限,常规场景下的处理延时仍能满足实时应用需求,可适配绝大多数工业实时监测、可穿戴设备信号采集等常规实时场景,是实时性与适配性平衡最优的算法类型^[3]。新型模态分解与智能算法的实时性表现最差,模态分解类算法需要完成多层信号分解、分量筛选、重构等多步迭代运算,运算流程繁琐,计算量大幅提升,信号处理延时明显增加。轻量化智能算法需要完成模型推理运算,相较于传统数学运算,推理耗时更长。这类算法无法适配高实时性要求的场景,仅能应用于离线信号处理、高精度事后分析等对延时无严格要求的场景,实时应用场景的落地受限明显。

3.2 信号处理精度对比评估

信号处理精度主要通过有效信号保留程度、噪声抑制彻底度两个核心指标衡量,是精密检测、生物信号监测、高精度通信场景的核心评估标准。各类算法的精度表现与算法复杂度、特征提取能力直接相关,整体呈现新型智能与模态分解算法最优、自适应算法居中、传统基础算法最弱的梯度特征。传统基础算法的处理精度局限性最为明显,固定的运算规则无法适配动态噪声场景,在平稳低噪声场景中可以完成基础降噪,但会存在少量有效信号损耗或噪声残留。一旦遇到非平稳噪声、信号频率混杂的场景,传统算法无法精准区分有效信号与噪声,容易出现过度降噪导致信号特征丢失,或降噪不彻底导致杂散干扰残留的问题,无法满足高精度处理需求。改进型自适应算法的处理精度实现明显提升,动态参数调整机制可以适配噪声强度的实时变化,精准把控降噪力度,大幅降低有效信号损耗,同时提升常规噪声的抑制效果。对于常规非平稳信号、小幅动态噪声场景,自适应算法的精度表现稳定,能够满足大部分民用、工业常规精度需求。但面对高强度耦合噪声、弱幅值有效信号场景,自适应算法的特征区分能力不足,精度提升空间有限。新型模态分解与智能算法的处理精度处于行业最高水平,模态分解技术可以实现复杂混合信号的精细化拆分,精准剥离噪声分量,最大程度保留信号原始特征;轻量化智能算法依托海量数据学习,能够识别人工难以区分的细微噪声与有效信号差异,在弱信号提取、强噪声抑制场景下的精度优势突出。

3.3 算力消耗与硬件适配性对比评估

算力消耗直接决定算法的硬件适配范围,是当下嵌

入式终端、便携可穿戴设备、物联网低功耗终端选型的核心考量因素,算力消耗越低,算法的硬件适配门槛越低,低功耗运行能力越强。不同类型信号处理算法的算力消耗差异极大,直接决定了各自的落地应用场景。传统基础算法的算力消耗最低,全程为基础数学运算,无迭代、无模型推理、无复杂参数计算,对设备的处理器性能、内存空间要求极低,可在各类低端嵌入式设备、老旧工业终端、低功耗传感节点上稳定运行,硬件适配范围最广,也是大规模量产终端设备的首选算法。但其低算力的优势仅能适配简单信号处理场景,复杂场景下的性能短板无法规避。改进型自适应算法的算力消耗处于中等水平,相较于传统算法,增加了误差反馈、参数迭代修正的运算量,但整体运算逻辑简单,算力增幅可控,不会对硬件设备造成过大负载。主流的中低端嵌入式终端、常规物联网设备均可稳定搭载这类算法,能够在不提升硬件成本的基础上,实现性能升级,性价比优势突出,是目前工业落地适配性最强的算法类型^[4]。新型模态分解与智能算法的算力消耗最高,模态分解的多层迭代运算、智能算法的模型推理运算,均需要占用大量的设备算力与内存资源,对硬件处理器的运算性能、运行内存有较高要求,无法适配低端嵌入式、低功耗便携设备。

3.4 复杂场景适配稳定性对比评估

复杂场景适配稳定性衡量算法在非平稳信号、突发噪声、弱信号、动态环境干扰等复杂工况下的持续运行能力,是现阶段复杂工业、户外监测、生物信号采集等场景的核心评估指标,决定算法的场景通用性。随着应用场景的户外化、动态化发展,场景适配稳定性的评估权重持续提升。传统基础算法的场景稳定性最差,固定参数的运行模式不具备环境适配能力,仅能在实验室稳态、室内低干扰、信号稳定的简单场景中保持稳定运行。在户外复杂环境、工业现场强干扰、信号动态变化的场景中,传统算法的处理效果会出现大幅波动,稳定性无法保障,极易出现处理失效、信号失真的问题,场景通用性极低^[5]。改进型自适应算法的场景稳定性大幅提

升,动态参数调整机制可以应对常规的环境波动、小幅噪声变化、信号幅值变动,在绝大多数户外常规场景、工业普通干扰场景、可穿戴设备日常监测场景中,能够保持稳定的处理效果,不会出现性能大幅波动。但在极端复杂场景,比如高强度突发噪声、信号瞬时中断、强耦合杂散干扰场景,自适应算法的调整能力达到上限,稳定性会明显下降,无法持续有效处理信号。新型模态分解与智能算法的复杂场景稳定性最优,模态分解技术可以适配非线性、非平稳的复杂信号,抗干扰能力极强;智能算法经过多场景数据训练,对突发噪声、弱信号、异常信号的适配能力突出,在极端复杂工业现场、户外强干扰监测、微弱生物信号采集等场景中,能够持续稳定输出高精度处理结果。

结语

通过对三类主流信号处理算法的多维度性能分析,可明确各类算法的特性短板与适用场景。传统基础算法适配低算力、高实时性的简单信号处理场景,落地成本更低。自适应算法兼顾性能与成本,适配多数常规工业传感监测场景。模态分解与智能算法抗干扰与精度表现更好,适合复杂极端工况。当前信号处理技术重点朝着高精度、轻量化与高实时性协同发展,通过新旧算法优化升级,可有效提升算法工程适配性与场景通用性。

参考文献

- [1]王沿皓,宇峰.高精度锁相技术在雷达信号处理中的应用与性能评估[J].中国宽带,2026,22(2):88-90.
- [2]徐培玲.基于深度学习算法的无线信道优化与信号处理[J].信息记录材料,2026,27(11):51-53.
- [3]卢锐敏.汽车雷达信号处理算法的抗干扰性能研究[J].计算机应用文摘,2025,41(10):77-79.
- [4]吴洋,王旭东,关伟,等.路面结构内部力学传感器响应信号特征及处理方法[J].公路交通科技,2026,43(4):77-89.
- [5]王庆林,裴向东,廖林玉,等.多核数字信号处理器矩阵乘卷积算法性能评测[J].国防科技大学学报,2023,45(1):86-94.