

电子工程中的信号处理技术应用探索

朱晓磊

河北省秦皇岛市广播电视台 河北 秦皇岛 066000

摘要: 信号处理技术是电子工程的关键领域, 涵盖时频分析、数字滤波、自适应算法及深度学习等方法, 广泛应用于通信、音频、图像、生物医学及雷达系统。在通信中, 它通过调制解调与信道编码保障高速数据传输; 医学领域助力心电图监测与影像精准诊断; 智能系统依托目标检测与语音识别实现人机交互。当前, 技术发展聚焦实时性优化、多模态融合及AI驱动创新, 结合边缘计算与量子信号处理, 推动电子工程向智能化、低功耗方向演进, 赋能未来技术突破。

关键词: 电子工程; 信号处理技术; 应用

引言: 信号处理技术作为电子工程的核心驱动力, 是连接物理世界与数字信息的桥梁。从早期简单的滤波与频谱分析, 到如今基于人工智能与量子计算的智能化处理, 其发展深刻改变了通信、医疗、工业控制等领域的运行方式。在5G通信、自动驾驶、远程医疗等新兴场景中, 信号处理不仅需应对海量数据与复杂噪声的挑战, 更需实现低功耗、实时性的技术突破。本文旨在系统探讨信号处理技术在电子工程各领域的应用现状, 分析其面临的挑战与创新方向, 为推动技术融合与产业升级提供参考。

1 信号处理技术基础理论

1.1 信号分类与数学模型

(1) 连续与离散信号、确定性与随机信号: 连续信号在时间轴上连续取值, 如声波信号, 可用连续函数描述; 离散信号仅在离散时间点有定义, 多由连续信号采样得到, 如数字音频信号。确定性信号可通过明确数学表达式精确预测, 如正弦信号; 随机信号无法精确预测, 仅能通过统计特性分析, 如噪声信号, 常用概率密度函数、均值等参数表征。(2) 傅里叶变换、小波变换等时频分析方法: 傅里叶变换将信号从时域转换到频域, 揭示信号频率组成, 但无法同时体现时频信息, 适用于平稳信号分析。小波变换通过伸缩和平移小波基函数, 可同时获取时频信息, 对非平稳信号(如故障振动信号)分析更具优势, 能精准定位信号突变时刻与对应频率。

1.2 数字信号处理(DSP)核心算法

(1) 滤波器设计(FIR/IIR): FIR滤波器单位脉冲响应有限长, 易实现线性相位, 滤波过程无反馈, 稳定性高, 常用于对相位要求严格的场景, 如音频信号处理; IIR滤波器单位脉冲响应无限长, 有反馈环节, 滤波

效率高、阶数低, 但可能存在非线性相位, 适用于对相位要求不高的场合, 如通信信号滤波。(2) 快速傅里叶变换(FFT)及其优化: FFT是离散傅里叶变换(DFT)的快速算法, 通过分治策略减少计算量, 广泛用于频谱分析。优化方向包括采用基2、基4等高效算法, 结合硬件特性(如并行计算)提升运算速度, 降低数据存储需求。(3) 自适应信号处理(LMS、RLS算法): LMS(最小均方)算法结构简单、计算量小, 通过梯度下降调整滤波器系数, 适用于实时性要求高的场景, 如噪声抵消; RLS(递归最小二乘)算法收敛速度快, 能跟踪信号动态变化, 但计算复杂度较高, 常用于对收敛速度要求高的领域, 如自适应均衡^[1]。

1.3 现代信号处理技术进展

(1) 压缩感知理论: 突破奈奎斯特采样定理限制, 通过信号稀疏性, 以远低于采样定理要求的速率采样, 再通过重构算法恢复原始信号, 大幅降低数据采集与存储成本, 在图像压缩、雷达信号处理等领域应用广泛。(2) 稀疏表示与字典学习: 稀疏表示用少量原子线性组合表示信号, 字典学习通过训练数据构建适配信号的字典, 提升信号表示精度, 可用于信号去噪、特征提取, 如医学图像降噪处理, 能更好保留图像细节。(3) 深度学习在信号处理中的应用: CNN(卷积神经网络)擅长提取信号局部特征, 用于图像、语音信号分类; RNN(循环神经网络)能处理时序信号, 捕捉信号时间相关性, 适用于语音识别、雷达目标跟踪等, 大幅提升信号处理的智能化与精准度。

2 电子工程中的信号处理技术应用

2.1 通信系统中的信号处理

(1) 调制解调技术: QAM(正交振幅调制)通过同时调整载波的振幅与相位, 在有限带宽内提升数据传输

速率,广泛用于4G/5G移动通信及有线电视网络,如5G中采用256QAM实现高速数据传输。OFDM(正交频分复用)将信道划分为多个正交子载波,有效对抗频率选择性衰落,降低符号间干扰,是5G、WiFi等无线通信的核心技术,能适配复杂的无线传输环境。(2)信道编码与均衡技术:信道编码通过添加冗余信息(如Turbo码、LDPC码),实现信号在噪声、干扰信道中的可靠传输,纠正传输错误,保障通信质量,在卫星通信、深空探测等远距离通信场景中不可或缺。均衡技术则通过补偿信道失真,消除符号间干扰,常见的自适应均衡器可实时调整参数,适配信道动态变化,提升高速数据传输的稳定性^[2]。(3)毫米波通信与MIMO技术中的信号处理:毫米波通信因频段高、带宽大,易受路径损耗影响,需通过波束赋形技术聚焦信号能量,增强传输距离与抗干扰能力;MIMO(多输入多输出)技术利用多天线阵列,结合空间分集、空间复用信号处理算法,大幅提升信道容量与传输速率,是5G高频段通信的关键支撑技术。

2.2 音频与语音信号处理

(1)噪声抑制与回声消除:噪声抑制通过谱减法、维纳滤波等算法,分离语音与背景噪声(如环境噪音、设备噪声),提升语音清晰度,广泛用于手机通话、会议系统。回声消除则针对语音通信中的声学回声(如扬声器声音回传至麦克风),采用自适应滤波算法抵消回声信号,保障双向通话质量,是视频会议、VoIP系统的核心功能。(2)语音识别与合成技术:语音识别通过特征提取(如MFCC)、声学模型与语言模型建模,将语音信号转换为文本,结合深度学习算法(如CNN+RNN)提升识别准确率,应用于智能音箱、语音助手(如Siri、小爱同学)。语音合成(TTS)则将文本转化为自然语音,通过语音库与参数合成技术,实现个性化语音输出,用于导航系统、有声读物等场景。(3)音频信号的空间增强:波束成形技术通过麦克风阵列,对特定方向的音频信号进行增强,抑制其他方向的干扰信号,实现定向拾音,提升语音采集质量,常用于会议麦克风、智能监控设备^[3]。

2.3 图像与视频信号处理

(1)图像增强与复原:图像增强通过对对比度调整、边缘锐化等算法,提升图像视觉效果,适用于监控图像、医学影像预处理。图像复原则针对图像退化(如噪声、模糊),采用维纳滤波、盲复原算法恢复原始图像,其中基于深度学习的超分辨率重建技术,可将低分辨率图像提升至高清效果,应用于视频监控、图像修复。(2)目标检测与跟踪:基于深度学习的目标检测

算法(如YOLO、FasterR-CNN),通过卷积神经网络提取图像特征,实现实时目标识别与定位,广泛用于自动驾驶、智能安防。目标跟踪技术则结合卡尔曼滤波、粒子滤波,对动态目标进行连续追踪,保障监控、自动驾驶中目标轨迹的稳定性。(3)视频压缩编码:H.264(AVC)通过帧内预测、帧间预测与熵编码,实现高效视频压缩,是主流的视频编码标准,应用于流媒体、视频会议。H.265(HEVC)在H.264基础上提升压缩效率,相同画质下码率降低50%,满足4K/8K超高清视频传输需求,广泛用于超高清电视、视频监控存储。

2.4 生物医学信号处理

(1)心电(ECG)、脑电(EEG)信号分析:ECG信号处理通过滤波(去除肌电、工频噪声)、特征提取(如QRS波检测),实现心率监测、心律失常诊断,用于心电图机、心脏监护仪。EEG信号处理则通过信号分解、频谱分析,提取脑电活动特征,辅助癫痫诊断、脑机接口(BCI)研发,如通过EEG信号控制假肢运动。(2)医学影像处理:CT影像处理通过滤波反投影、迭代重建算法,将投影数据重建为断层图像,提升图像分辨率与对比度,辅助肿瘤检测、器官结构分析。MRI影像处理则通过信号降噪、序列优化,增强软组织成像效果,结合图像分割技术,实现器官定位与病变区域识别,为临床诊断提供精准支持。(3)可穿戴设备中的实时信号处理:可穿戴设备(如智能手环、动态心电监测仪)通过低功耗信号处理算法,实时采集、分析生理信号(如心率、血氧),快速反馈健康数据,同时通过数据压缩技术减少传输与存储压力,保障设备续航与数据实时性^[4]。

2.5 雷达与声纳信号处理

(1)脉冲压缩与匹配滤波:雷达脉冲压缩技术通过发射宽脉冲信号,接收时经匹配滤波压缩为窄脉冲,在提升雷达探测距离的同时,保证距离分辨率,有效对抗杂波干扰,广泛用于军用雷达、气象雷达。(2)阵列信号处理与波达方向估计(DOA):阵列信号处理通过多天线阵列接收信号,结合波束成形、空间谱估计算法,增强目标信号、抑制干扰,提升雷达探测性能。DOA估计技术则通过MUSIC、ESPRIT等算法,精准计算目标信号的入射方向,实现多目标定位与跟踪,应用于雷达预警系统、声纳探测设备。

3 信号处理技术的挑战与创新方向

3.1 实时性与低功耗需求

(1)边缘计算中的轻量化信号处理:随着可穿戴设备、工业传感器等边缘终端普及,传统复杂信号处理算法因算力需求高、能耗大,难以满足实时响应需求。创

新方向聚焦算法轻量化,通过模型剪枝、量化(如将32位浮点精度压缩至8位整数)、知识蒸馏等技术,在保留核心性能的同时缩减计算量,例如将语音识别模型部署于智能手环,实现本地实时语音指令响应,避免数据上传云端的延迟与能耗。(2)硬件加速:通用处理器(CPU)处理信号时存在并行性不足的瓶颈,难以满足高频信号(如雷达、5G)的实时处理需求。FPGA(现场可编程门阵列)凭借灵活的并行架构,可定制信号处理流水线,适配FFT、滤波等算法的高速运算;ASIC(专用集成电路)则为特定信号处理场景(如基站信号解调)设计专用电路,大幅降低功耗与延迟,成为5G基站、自动驾驶感知系统的核心加速硬件。

3.2 大数据与复杂场景下的信号处理

(1)非线性、非平稳信号建模:工业振动、脑电等复杂信号常呈现非线性、时变特性,传统线性建模方法(如傅里叶变换)难以精准刻画。创新方向采用非线性动力学模型(如混沌理论)、自适应时频分析(如希尔伯特-黄变换),结合深度学习(如LSTM、Transformer)捕捉信号动态变化规律,例如通过非线性模型分析电机振动信号,提前预警设备故障。(2)多模态信号融合处理:智能监控、自动驾驶等场景需融合图像、语音、传感器等多模态信号,但不同模态信号格式、维度差异大,易出现信息冗余或冲突。通过注意力机制、跨模态特征映射等技术,实现多源信号互补融合,例如自动驾驶系统融合摄像头图像、激光雷达点云与毫米波雷达数据,提升复杂路况下的目标识别精度。

3.3 人工智能驱动的信号处理革新

(1)深度学习替代传统算法:传统通信系统需分模块设计调制、编码、均衡等环节,存在适配复杂信道的局限性。端到端深度学习系统通过神经网络直接学习“输入信号-输出信号”映射关系,简化系统设计,例如基于Transformer的端到端通信模型,可自适应对抗信道噪声与干扰,提升通信可靠性。(2)生成模型在信号合成中的应用:传统信号合成(如语音、图像)依赖人工设计特征,自然度不足。GAN(生成对抗网络)通过生

成器与判别器对抗训练,生成高逼真度信号,例如合成个性化语音用于语音助手;DiffusionModel则通过逐步去噪生成信号,在医学影像合成(如生成病理切片图像辅助诊断)中展现出优异性能。

3.4 量子信号处理前沿探索

(1)量子傅里叶变换:传统FFT算法复杂度随信号长度呈对数增长,处理大规模信号时效率受限。量子傅里叶变换利用量子叠加与纠缠特性,将复杂度降至多项式级别,为大规模频谱分析、量子通信加密等场景提供可能,例如加速雷达信号的超宽带频谱处理。(2)量子噪声抑制与纠错:量子信号易受环境干扰产生噪声,导致量子计算与通信出错。创新方向包括物理层噪声抑制(如低温量子比特环境控制)与算法层纠错(如表面码、稳定子码),通过冗余量子比特构建纠错编码,保障量子信号传输与计算的准确性,推动量子雷达、量子通信的实用化。

结束语

信号处理技术作为电子工程发展的核心引擎,正随着人工智能、量子计算等前沿科技的融合不断突破边界。从传统通信的信号调制到生物医学的精准诊断,从智能系统的实时感知到复杂场景的多模态处理,其应用深度与广度持续拓展。未来,随着技术对实时性、低功耗及智能化的更高要求,信号处理将面临更多挑战,但也孕育着巨大创新机遇。唯有持续探索跨学科融合路径,才能推动电子工程迈向更高效、智能的新阶段。

参考文献

- [1]祝钰翔.数字信号处理技术在电子信息工程中的应用研究[J].信息与电脑,2022,34(13):19-21.
- [2]滕强.数字信号处理技术在电子信息工程中的应用[J].长江信息通信,2021,34(10):96-98.
- [3]黄皓.数字信号在电子信息工程中的应用探究[J].无线互联科技,2021,18(07):104-105.
- [4]马黎明.数字信号处理技术在电子信息工程的应用研究[J].中国信息界,2025,16(01):209-211.