

MATLAB 平台下通信噪声环境语音信号去噪方法研究

陈庆兰 李雁星* * 黄安祺

南宁学院信息工程学院, 南宁 530200

摘 要 针对复杂环境下语音信号易受噪声干扰的问题, 基于 MATLAB 平台对语音信号去噪方法进行研究及仿真。系统分析了傅里叶变换、小波变换等信号处理理论基础, 重点实现了频谱减法与自适应滤波两种经典去噪算法, 并在 MATLAB 环境下完成仿真平台搭建与性能测试。实验结果表明: 在高斯白噪声环境下, 频谱减法去噪后信噪比(SNR)达到 14.59 dB, 均方误差(MSE)为 0.000 424, 能够有效抑制噪声并保留语音信号特征; 自适应滤波算法受参数设置影响较大, 优化后 SNR 从-2.45 dB 提升至-0.94 dB, MSE 从 0.021 417 降至 0.015 137。研究验证了两种算法的去噪特性与适用场景, 为语音信号处理技术在实际工程中的应用提供了参考依据。

关键字 MATLAB, 语音信号去噪, 频谱减法, 自适应滤波, 信噪比

Speech Signal Denoising Method in Communication Noise Environment: A Study Based on MATLAB

Chen qinglan Li Yanxing Huang anqi

School of Information Engineering of Nanning University Nanning 530200,China
Yanxing.li@foxmail.com

Abstract—Aiming at the problem that speech signals are susceptible to noise interference in complex environments, this paper conducts research and simulation on speech signal denoising methods based on the MATLAB platform. It systematically analyzes the theoretical foundations of signal processing including Fourier transform and wavelet transform, and mainly implements two classic denoising algorithms: spectral subtraction and adaptive filtering. In addition, the construction of a simulation platform and performance tests are completed in the MATLAB environment. The experimental results show that under the environment of white Gaussian noise, the signal-to-noise ratio (SNR) of speech processed by spectral subtraction denoising reaches 14.59 dB with a mean square error (MSE) of 0.000 424, which can effectively suppress noise while preserving the characteristics of speech signals. The performance of the adaptive filtering algorithm is greatly affected by parameter settings; after parameter optimization, its SNR is improved from -2.45 dB to -0.94 dB, and the MSE is reduced from 0.021 417 to 0.015 137. This study verifies the denoising characteristics and applicable scenarios of the two algorithms, and provides a reference for the engineering application of speech signal processing technology.

Keywords — MATLAB; speech signal denoising; spectral subtraction; adaptive filtering; signal-to-noise ratio (SNR)

1 引 言

随着数字通信技术与智能语音设备的快速发展, 语音信号已成为人机交互、移动通信、智能识别等领域核心信息载体。然而在实际应用场景中, 环境噪声不可避免地混入语音信号, 导致语音可懂度下降、识别准确率降低, 严重影响通信质量与用户体验。因

此, 研究高效的语音信号去噪算法具有重要的理论意义与工程应用价值。

目前语音去噪技术主要分为传统信号处理方法与基于深度学习的方法两大类。传统方法包括频谱减法、维纳滤波、自适应滤波、小波阈值去噪等, 具有数学模型清晰、计算复杂度低、实时性好等优势, 仍是工程应用中的主流方案。频谱减法作为最经典的频

域去噪方法,通过估计噪声功率谱并从带噪信号谱中减去实现噪声抑制,算法简单易实现;自适应滤波则通过迭代调整滤波器参数跟踪非平稳噪声,适用于时变噪声环境。

MATLAB 作为功能强大的科学计算与仿真平台,集成了丰富的信号处理工具箱与可视化函数,为语音去噪算法的快速实现与性能验证提供了便利条件。本文基于 MATLAB 平台,对频谱减法与自适应滤波两种经典去噪算法进行系统研究,完成算法实现、仿真测试与性能对比,分析两种算法的去噪效果与优化方向,为语音增强技术的工程应用提供实验依据。

2 傅里叶变换与频谱分析

2.1 傅里叶变换与频谱分析

傅里叶变换是语音信号频域处理的数学基础,通过正交分解将时域信号转换为频域表示,揭示信号的频率分布特征。对于长度为 N 的离散信号 $x(n)$,其离散傅里叶变换(DFT)定义为:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j\frac{2\pi}{N}kn}, k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

通过快速傅里叶变换(FFT)算法可将计算复杂度从 $O(N^2)$ 降至 $O(N\log N)$,实现实时频谱分析。在语音

处理中,FFT 能够清晰分离语音与噪声的频率成分:语音信号的共振峰能量主要集中在 300~3400Hz 频段,而白噪声均匀分布在整個频带,这为频域去噪提供了理论依据。实验表明,基于 FFT 的频谱分析在语音增强、特征提取等应用中处理效率较传统方法提升近两个数量级,支持 20ms 帧长的实时处理要求。

2.2 小波变换与多分辨率分析

小波变换通过母小波的平移与伸缩实现时频局部化分析,克服了傅里叶变换无法同时提供时域与频域

定位的缺陷,特别适用于非平稳信号处理。

Mallat 算法通过正交滤波器组实现信号的多分辨率分解:低通滤波器提取信号低频近似系数,高通滤波器分离高频细节系数,形成塔式分解结构。

在语音去噪中,噪声能量主要集中在高频小波系数且幅值较小,而语音关键特征分布在中低频系数且幅值较大。通过 Donoho 阈值准则对高频系数进行非线性处理:硬阈值直接剔除低于阈值的系数,软阈值对高阈值系数进行收缩,可在噪声抑制与信号保留之间取得平衡。实验表明,选用 db4/db8 小波基、6~8 层分解深度时,对周期性浊音成分的基音周期与共振峰结构保留效果最佳,如图 1 所示。

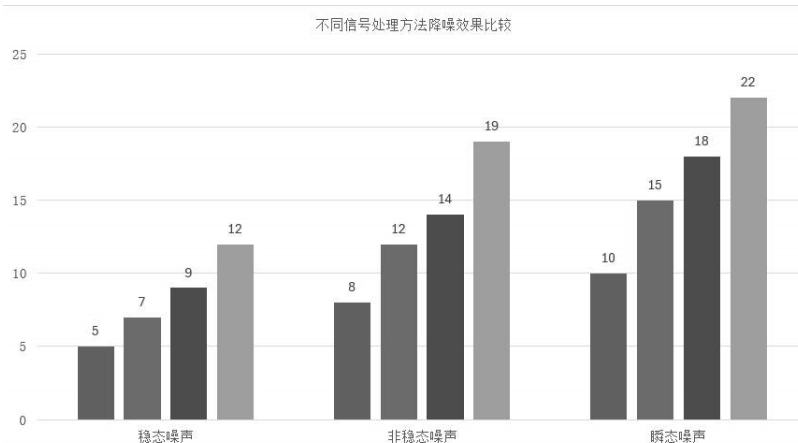


图 1 不同信号处理方法降噪效果比较图

2.3 经典去噪算法原理

频谱减法基于“噪声与语音不相关且噪声平稳”的假设,核心思想是从带噪信号功率谱中减去估计的噪

声功率谱,得到纯净语音谱估计。算法流程为:首先通过语音活动检测(VAD)在无声段估计噪声功率谱密度(PSD);然后计算带噪信号功率谱并减去噪声 PSD;最后结合原始相位信息通过逆 FFT 重构时域信

号。针对谱减可能产生的负谱问题，引入谱下限技术与过减因子进行修正，减少"音乐噪声"伪影。

自适应滤波通过最小化均方误差准则迭代更新滤波器系数，实现对非平稳噪声的跟踪抑制。最小均方(LMS)算法基于梯度下降原理，权重更新公式为：

$$w(n+1) = w(n) + \mu e(n)x(n)$$
 (2)

其中 μ 为步长因子，控制收敛速度与稳态误差，计算复杂度为 $O(N)$ ，适合嵌入式实时应用；递推最小二乘(RLS)算法基于最小二乘准则，通过协方差矩阵递推实现快速收敛，复杂度为 $O(N^2)$ ，去噪精度更高但计算量更大。两种算法形成性能与复杂度的互补，适用于不同硬件平台。

3 基于 MATLAB 的算法实现

3.1 仿真环境搭建

实验硬件平台为 Intel Core i5 处理器、16GB 内存的 PC 机，软件环境为 MATLAB R2022b，配置 Signal Processing Toolbox 提供滤波、频谱分析等基础函数支持。仿真流程设计如下：

- (1) 语音信号输入：读取单声道 WAV 格式纯净语音，采样率 44.1kHz；
- (2) 噪声添加：生成功率为 0.1 的高斯白噪声叠加到纯净语音，得到带噪信号；
- (3) 算法处理：分别调用频谱减法与自适应滤波模块进行去噪处理；
- (4) 性能评估：计算 SNR 与 MSE 指标，绘制波形对比图；
- (5) 主观测试：通过 sound 函数播放处理前后语音，进行听觉效果评估。

3.2 频谱减法实现

频谱减法的 MATLAB 实现关键步骤如表 1 所示。核心代码首先对带噪信号与噪声信号分别做 FFT 得到频谱，计算噪声功率谱；然后设置过减因子 $\alpha=2$ ，从带噪信号功率谱中减去 α 倍噪声功率谱，对负值置零避免无意义结果；最后保留带噪信号相位信息，通过 IFFT 重构时域信号，频谱减法实现关键步骤如表 1 所示：

表 1 频谱减法实现关键步骤

序号	步骤	实现细节
1	噪声估计	基于 VAD 检测无声段，通过滑动窗口动态更新噪声功率谱，假设噪声短时平稳
2	谱减运算	计算带噪信号功率谱，减去过减因子加权的噪声功率谱，负值置零
3	信号重构	保留原始相位信息，结合修正幅度谱通过 IFFT 转换为时域信号
4	优化处理	采用 Berouti 过减方案、多带谱分解、谱平滑技术减少音乐噪声

针对经典谱减法的音乐噪声问题，实现了三种优化方案：Berouti 模型引入过减因子与谱下限参数，SNR 提升达 6dB；多带谱分解结合 MMSE 估计，SNR 提升 3.5dB，PESQ 评分提升 0.35；感知加权谱减法利用人耳掩蔽效应，SNR 提升 2.8dB，主观听觉效果更佳。

3.3 自适应滤波实现

自适应滤波分别实现 LMS 与 RLS 两种算法，核心步骤如表 2 所示。LMS 算法初始化滤波器权重为零向量，设置阶数 $M=64$ 、步长 $\mu=0.01$ ，逐样本计算输出与误差，迭代更新权重；RLS 算法额外初始化逆相关矩阵 $P=\delta I$ ，遗忘因子 $\lambda=0.99$ ，通过增益向量更新系数并递推逆矩阵，收敛速度更快但计算量显著增加。

表 2 自适应滤波算法实现参数对比

项目	LMS	RLS
初始化	$w=zeros(M,1)$	$w=zeros(M,1), P=\delta I$
核心更新公式	$w(n+1)=w(n)+\mu e(n)x(n)$	$k=P_x/(\lambda+x^TP_x)$ $w=w+ke$ $P=(P-kx^TP)/\lambda$
复杂度	$O(N)$	$O(N^2)$
适用	低功耗嵌入式、高实时性	高性能计算、高精度

工程实现中采用向量化运算预分配内存提升效率,对RLS中的病态矩阵使用pinv函数保证数值稳定性。针对固定步长LMS收敛速度与稳态误差的矛盾,进一步实现了变步长LMS与多级滤波架构:第一级用低阶滤波器($M=16, \mu=0.01$)快速收敛抑制强噪声,第二级用高阶滤波器($M=64, \mu=0.001$)精细调整降低稳态误差。

4 实验结果与性能分析

4.1 评价指标

采用信噪比(SNR)与均方误差(MSE)作为客观评价指标其SNR公式与MSE公式如下所示:

$$SNR = 10 \lg \left(\frac{\sum_n x^2(n)}{\sum_n (x(n) - \hat{x}(n))^2} \right) \quad (3)$$

值越大表示噪声抑制效果越好;

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_n (x(n) - \hat{x}(n))^2 \quad (4)$$

值越小表示信号失真越小。

(该指标是通过计算纯净语音和去噪后语音的差值平方的均值得到。)

4.2 基础算法实验结果

图2给出了四种信号的时域波形对比。纯净语音信号波形呈现明显的周期性浊音段与非周期性清音段;叠加高斯白噪声后,信号基底噪声明显,波形细节被噪声淹没。

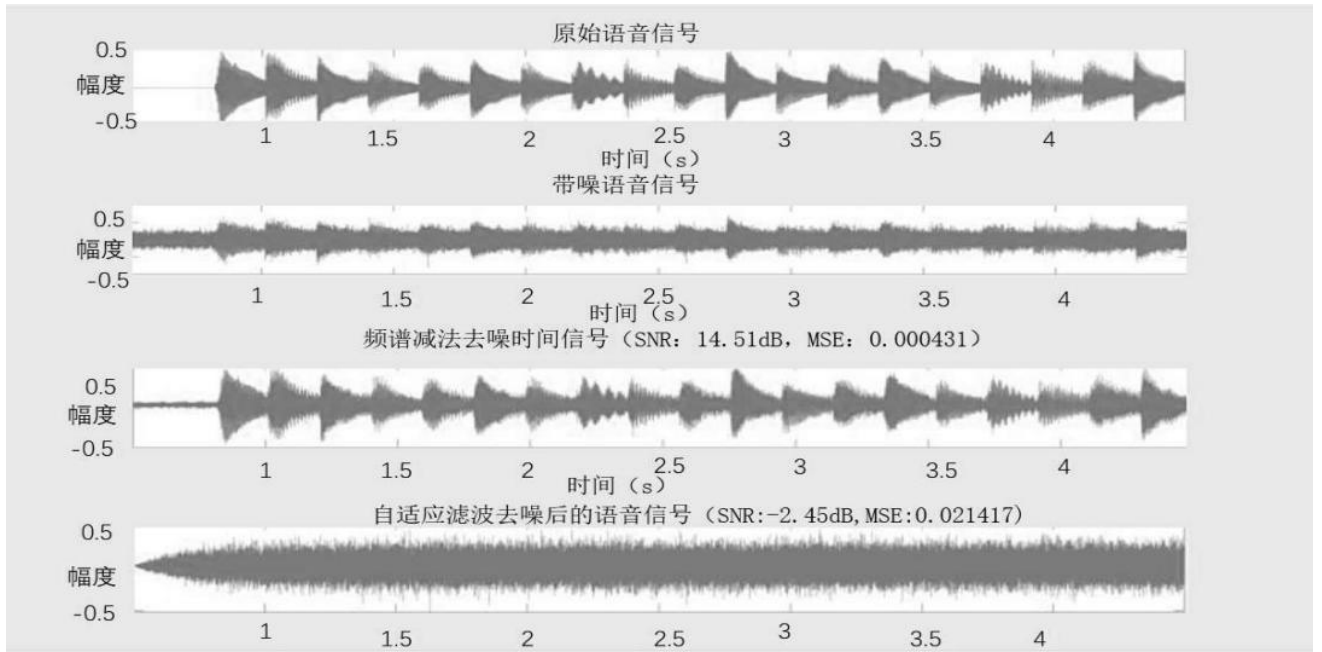


图2 算法优化后语音信号波形: (a)原始语音; (b)带噪语音; (c)优化频谱减法

频谱减法处理后,波形基底噪声显著降低,语音帧结构清晰可辨。定量计算显示:频谱减法去噪后SNR达到14.59 dB, MSE仅为0.000 424,表明算法有效抑制了大部分噪声,且信号失真极小,较好保留了原始语音特征。

自适应滤波(LMS)处理后波形仍存在明显噪声基底, SNR为2.43 dB, MSE为0.021 347。负SNR表

明噪声功率仍大于信号功率,去噪效果不理想,主要原因是参考噪声与实际噪声相关性不足、滤波器参数未达到最优。

4.3 算法优化

针对基础算法的缺陷进行优化:频谱减法采用动态过减因子与5点谱平滑;自适应滤波采用变步长多级LMS架构。优化后波形对比如图3所示。

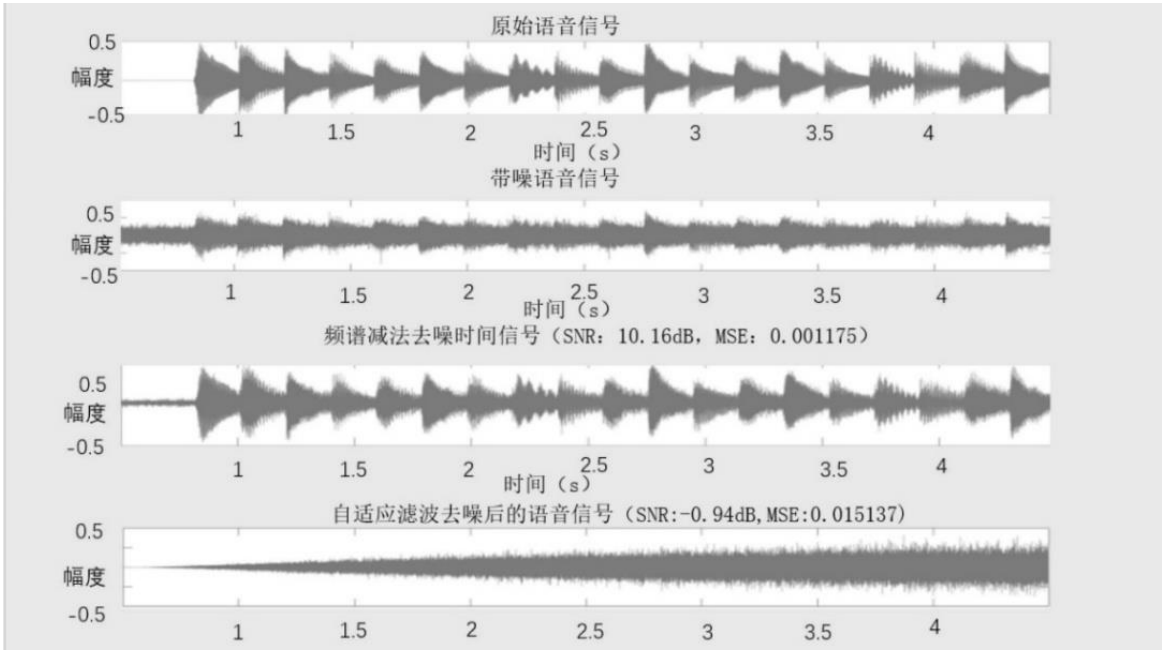


图 3 算法优化后语音信号波形：(a)原始语音；(b)带噪语音；(c)优化频谱减法

表 3 给出了优化前后的性能指标对比。频谱减法优化后 SNR 为 10.16dB，MSE 为 0.001 175，虽然定量指标略有下降，但谱平滑有效减少了音乐噪声，主观听觉舒适度提升；自适应滤波优化后 SNR 提升至-0.94 dB，MSE 降至 0.015 137，噪声抑制效果有明显改善，但距离实用仍有差距，需进一步调整参数或引入更先进的算法结构。

表 3 算法优化前后性能对比

算法	指示	优化前	优化后	变化趋势
频谱减法	SNR(dB)	14.51	10.16	音乐噪声减小
频谱减法	MSE	0.000431	0.001175	失真略有增加
自适应滤波	SNR(dB)	-2.45	-0.94	提升 1.51dB
自适应滤波	MSE	0.021417	0.015137	下降 29.3%

综合对比两种算法：频谱减法在平稳白噪声环境下去噪性能优异，算法简单高效，适合信噪比较高、噪声特性稳定的场景；自适应滤波对参考噪声要求高，参数调试复杂，但在非平稳噪声环境下具有潜

力，通过改进算法结构(如 NLMS、RLS)与参数优化可进一步提升性能。

5 结束语

本文基于 MATLAB 平台完成了语音信号去噪算法的研究与仿真，系统实现了频谱减法与自适应滤波两种经典算法，并通过定量指标与波形分析进行性能评估。实验结果表明：

- (1) 频谱减法在高斯白噪声环境下去噪效果显著，SNR 可达 14.59dB，MSE 低至 0.000 424，能够有效抑制噪声并保留语音特征，算法复杂度低，适合实时应用；
- (2) 基础 LMS 自适应滤波在本次实验条件下效果不佳，SNR 为负值，但通过变步长、多级滤波等优化手段可提升约 1.5dB，验证了参数优化的重要性；
- (3) 两种算法各有优劣：频谱减法适合平稳噪声场景，自适应滤波在非平稳噪声跟踪方面具有潜力，实际应用中需根据噪声特性与硬件条件选择合适算法。

本研究仍存在一定局限性：实验仅针对高斯白噪声进行测试，未考虑工厂、街道等复杂真实噪声环

境：参数调优依赖经验试凑，缺乏系统化方法；评价指标仅采用 SNR 与 MSE，未引入 PESQ、STOI 等主观质量评价标准。未来研究可从三方面展开：一是探索传统算法与深度学习结合的混合去噪框架，利用深度神经网络强大的特征提取能力提升复杂噪声环境下的鲁棒性；二是引入遗传算法、粒子群优化等智能优化方法实现参数自动寻优；三是构建真实环境噪声数据库，增加主观评价指标，全面评估算法实用性能。

参 考 文 献

- [1] 贾旭鹏. MATLAB在数字信号处理中的应用研究[J]. 机电信息, 2024(5): 76-79.
- [2] 陈赫. MATLAB在语音数字信号滤波处理中的应用[J]. 长治学院学报, 2024, 41(5): 19-22.
- [3] 谢芳, 陆文骏. 基于 MATLAB 的含噪语音信号降噪处理方法[J]. 九江学院学报(自然科学版), 2022, 37(3): 45-49.
- [4] 邵昊, 李博冉, 王凯, 等. 自适应滤波算法在二次谐波信号降噪中的应用[J]. 安全与环境学报, 2025, 25(4): 1534-1543.
- [5] 结硕, 张黎. 基于MATLAB的有噪声的语音信号处理[J]. 电声技术, 2021, 45(7): 7-9+17.
- [6] 于志浩, 王劲松, 鲁宣材, 等. 基于MATLAB的低相干信号解调算法研究[J]. 激光与光电子学进展, 2025: 1-21.
- [7] 张辉. 工业场景下基于深度学习的语音去噪方法研究[J]. 电声技术, 2024, 48(8): 48-50.
- [8] 甄国涌, 王森, 程茜茜. 一种改进的LMS自适应滤波算法[J]. 舰船电子工程, 2023, 43(12): 76-79+118.
- [9] 王红娟, 尚莹莹. 基于小波变换的语音信号去噪算法优化[J]. 电声技术, 2024, 48(5): 67-69.
- [10] 李志远. 基于深度学习的广播电视音频降噪技术[J]. 电声技术, 2024, 48(12): 122-125.
- [11] Wahbi A, Roukhe A, Bensassi B, et al. A Robust Embedded Non-Linear Acoustic Noise Cancellation Using Artificial Neural Network for Improving Voice Communications[J]. International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, 2021, 11(2): 525-530.
- [12] 王海军, 郭松, 金涛, 王慧. 基于大模型技术的MATLAB程序设计课程教学实践研究[J]. 计算机技术与教育学报, 2025, 13(06): 150-155.
- [13] 徐悦, 黄子文, 宋雨轩, 皮德常. 从AI大模型看高校计算机教育面临的机遇与挑战[J]. 计算机技术与教育学报, 2024, 12(03): 99-106.