

# 语音模糊消噪算法

姜占才<sup>1</sup>, 孙 燕<sup>2</sup>

(1. 青海师范大学物理系, 西宁 810008; 2. 青海民族学院计算机科学与技术系, 西宁 810007)

**摘要:** 针对加性有色噪声, 提出了语音信号模糊消噪算法; 建立并训练了一个语音模糊消噪系统——自适应神经模糊推理系统(ANFIS); 用其对含噪语音中的有色噪声进行模糊估计, 从而提取出干净的语音。对算法进行了仿真实验, 结果表明, 对模拟有色噪声在-17dB 时能提取出清晰的语音。

**关键词:** 语音信号; 有色噪声; 白噪声; 模糊消噪; 自适应神经模糊推理系统;

中图分类号: TN912.35

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2009)-05-0682-04

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2009.05.025

## Algorithm for fuzzy denoising of speech signal

JIANG Zhan-cai<sup>1</sup>, SUN Yan<sup>2</sup>

(1. Physics Department of Qinghai Normal University, Xining 810008, China;

2. Computer Department of Qinghai University for Nationalities, Xining 810007, China)

**Abstract:** Aiming at additive colored noise, this paper presents a new fuzzy denoising algorithm of speech signal based on the principle of fuzzy inference in fuzzy mathematics. A fuzzy denoising system of speech signal—Auto Neural Fuzzy Inference System (ANFIS) is set up and trained with MATLAB. Colored noise can be successfully removed by using subtraction in the original speech signal, and a fuzzy estimation of colored noise in the speech signal which contains noises can be made for extracting clean speech signal. An emulation experiment on the algorithm for different signal to noise ratio has been done, and the results show that the system can extract clean speech signal from the simulated colored noise at -17 dB of signal to noise ratio. This proves that the algorithm is very effective.

**Key words:** speech signal; colored noise; white noise; fuzzy denoise; Auto Neural Fuzzy Inference System (ANFIS)

## 1 引言

实际环境中,语音总会受到环境噪声的干扰,导致语音质量下降,许多语音处理系统的性能恶化,因此消噪技术是语音通信和语音处理系统不可缺少的重要一环。环境噪声是加性噪声,除周期性噪声和脉冲噪声外,大都是宽带噪声。只有在平稳假设下,宽带噪声可以当作高斯白噪声处理<sup>[1]</sup>。但宽带噪声中由各种随机噪声源产生的噪声往往是非平稳的,而且叠加在语音上的这种噪声是随机噪声源产生的白噪声经过了一个非线性系统的输出,是有色噪声<sup>[2]</sup>,如工厂噪声。因此,滤除叠加在语音信号上的有色噪声,在特定环境下是很有必要的。消除或抑制环境噪声的主要方法有自适应滤波如卡尔曼滤波、维纳滤波<sup>[3,4]</sup>、谱减法和小波增强法及其改进<sup>[5-12]</sup>等。上述方法都取得了一定的成效,但当信噪比低于 7dB 时,其性能显著下降。模糊消噪是

一种新方法,本文依据模糊数学的模糊推理原理<sup>[13]</sup>,建立和训练自适应神经模糊推理系统(ANFIS),对含噪语音中的有色噪声作模糊逼近,起到了很好的消噪效果。

## 2 语音模糊消噪原理

假设环境噪声的噪声源是已知的,就可以得到噪声源分量和测量信号(含噪语音)。语音模糊消噪原理如图 1 所示。

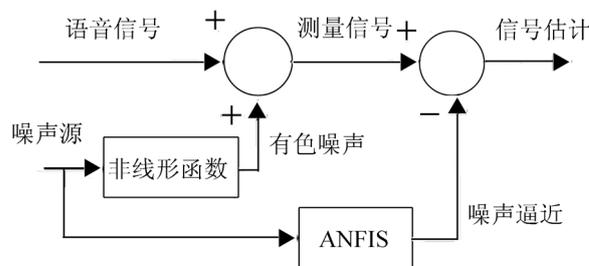


图1 语音模糊消噪算法原理

Fig.1 Principle diagram of fuzzy denoising algorithm of speech signal

设原始语音为  $s(n)$ , 噪声为  $u(n)$ , 含噪语音(测量信号)为  $x(n)$ , 噪声逼近(估计)为  $\hat{u}(n)$ , 信号估计

收稿日期: 2008-09-05; 修回日期: 2008-12-16

作者简介: 姜占才(1958-), 男, 青海西宁人, 教授, 硕士生导师, 研究方向为语音与图像信息处理、计算机应用。

通讯作者: 姜占才, E-mail: 243740714@qq.com

为  $\hat{x}(n)$ , 则有:

$$x(n) = s(n) + u(n) \quad (1)$$

$$\hat{x}(n) = x(n) - \hat{u}(n) \quad (2)$$

由式(2)可知, 只要得到噪声的逼近  $\hat{u}(n)$ , 则语音的估计  $\hat{x}(n)$  就可得到, 因此, 得到噪声的逼近  $\hat{u}(n)$  是模糊消噪的关键, 噪声估计  $\hat{u}(n)$  可由 ANFIS 完成。图 1 中 ANFIS 是自适应模糊推理系统, 通过训练和学习后, 可以逼近于紧致集上的任意非线性函数, 因此可以从噪声源和测量信号中模糊逼近噪声。模糊推理系统的工作原理是: 依据模糊规则, 采用模糊逻辑, 对给定的输入进行模糊推理、判断, 得出结论。它是一个由给定的输入到输出的映射过程, 其模糊推理包括五个方面: (1) 输入变量的模糊化, 把确定的输入转化为由隶属度描述的模糊集; (2) 在模糊规则的前件中应用模糊算子(与、或、非); (3) 根据模糊蕴含运算由前件推断结论; (4) 聚集每个规则的结论部分, 得出总的结论; (5) 去模糊化, 把输出的模糊量转化为确定的输出。

### 3 ANFIS 的建立和训练

首先建立训练数据集  $\text{trnData}$ , 它是一个大小为  $N \times 3$  的矩阵,  $N$  是数据长度。其第一、二列是噪声源序列  $x_1(n)$  和  $x_1(n-1)$ , 两者是已知的高斯白噪声及其单位延迟。最后一列是测量信号即被有色噪声污染的语音信号。有色噪声为噪声源序列经过一个非线性系统的输出。 $\text{trnData}$  的前两列和第三列分别是要建立的 ANFIS 的输入和输出。然后从  $\text{trnData}$  中产生初始的模糊推理系统(FIS); 最后用  $\text{trnData}$  对初始 FIS 进行训练便可得到实用的 ANFIS。

ANFIS 的训练(学习)是利用混合学习算法, 它结合最小二乘法与 BP 梯度下降法在给定的数据集上训练 FIS 隶属度函数的参数, 原理如下:

$$\hat{u}(n) = \bar{h}(n) + e(n) \quad (3)$$

$$\hat{u}(n+1) = \hat{u}(n) + \eta \left( -\frac{\partial E}{\partial \hat{u}(n)} \right) \quad (4)$$

式中  $\hat{u}(n)$  是对有色噪声的逼近;  $\bar{h}(n)$  是 ANFIS 的广义输入, 即  $\text{trnData}$ ;  $E = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N (d_i - y_i)^2$ , 是系统(网络)的目标函数, 是目标输出  $d$  与实际输出  $y$  的差的平方和的均值,  $N$  为训练集的数据长度;  $(-\frac{\partial E}{\partial \hat{u}(n)})$  是  $n$  时刻的负梯度;  $e(n)$  是广义误差噪声;  $\eta$  为训练过程的步长增量。混合学习算法的目标是使误差的平方和  $M$  达到最小, 即:  $M = \sum_{i=1}^N e_i^2 = (\hat{u}(n+1) - \hat{u}(n))^2$

为最小, 从而实现对有色噪声的模糊逼近。本文建立和训练的 ANFIS 以文件名  $\text{mhxt\_yyjc.m}$  存盘, 其结构如图 2 所示, 主要信息有: 名称-anfis; 类型-sugeno 型; 规则数-16; 与方法-直积; 或方法-逻辑并; 蕴含方法-直积; 聚集方法-逻辑并; 去模糊化-输出模糊集极大值平均; 网络节点数-53; 线性参数-48; 非线性参数-24; 训练数据对数-13000; 检测数据对数-0; 模糊规则数-16; 二输入单输出系统。

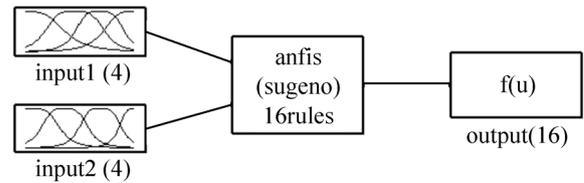


图 2 ANFIS 结构  
Fig.2 The structure of ANFIS

### 4 算法仿真结果

实验用语音信号是在室内安静环境下用普通麦克风在计算机上录制的女声“黄河入海流”的语音段, 采样频率为 8kHz, 8bit 量化, PCM 编码。对有色噪声污染的语音信号, 分别在信噪比为 0dB、-9dB、-17dB 时进行仿真实验, 仿真结果见图 3~6。

由图 3 可知, 在有色噪声情况下, 当信噪比低到 0dB 时, 原始语音被有色噪声污染后(测量信号), 其时域波形与原始语音时域波形相比已面目全非, 从测量信号的时域波形中看不到原始语音的任何特征信息; 经模糊消噪后的信号(估计信号)的时域

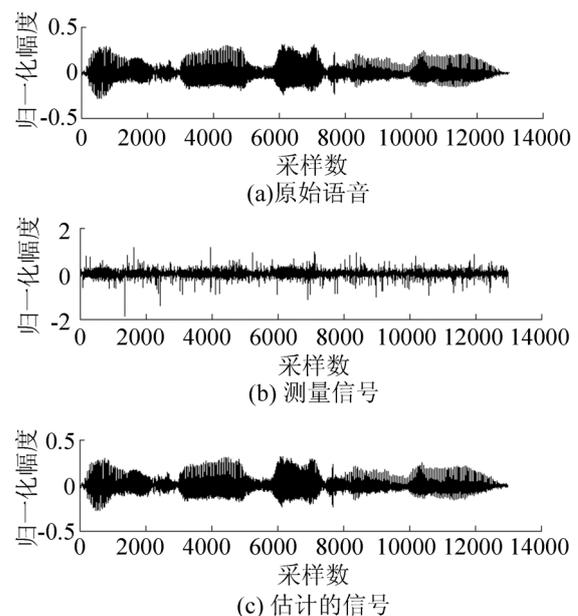


图 3 0dB 时语音消噪实验的时间波形图  
Fig.3 Signal waveforms from the denoising experiment of 0dB SNR

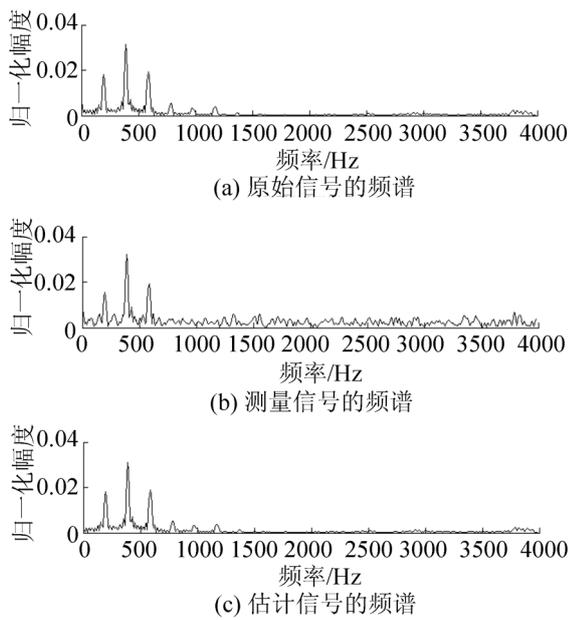


图 4 0dB 时语音消噪实验的频谱图

Fig.4 Signal spectrums from the denoising experiment of 0dB SNR

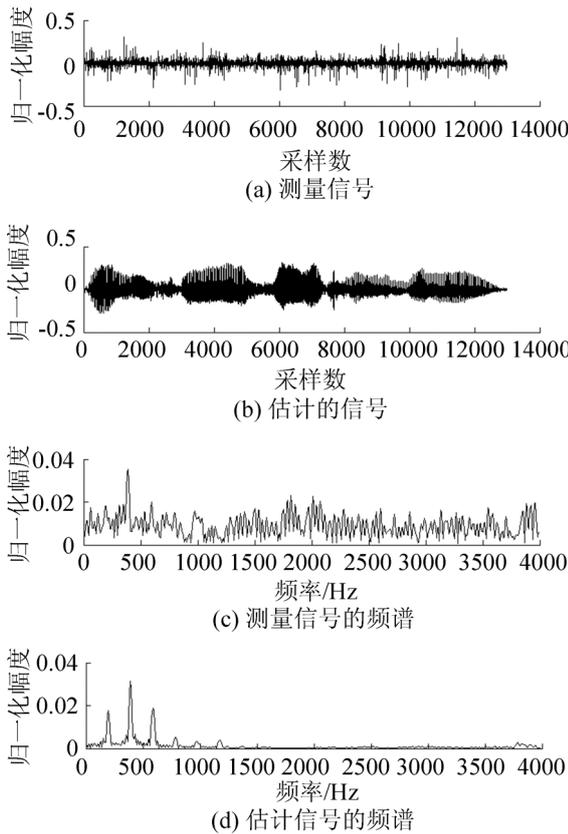


图 5 -9dB 时语音消噪实验波形和频谱图

Fig.5 Signal waveforms and spectrums from the denoising experiment of -9dB SNR

波形与原始语音的时域波形非常逼近，几乎看不出有所区别。图 4 是信噪比为 0dB 时实验语音信号中某一浊音帧的频谱图(线性幅度谱)，图 4(a)是原始语音帧的频谱，从中可以看到清晰的 7 条谱线，各

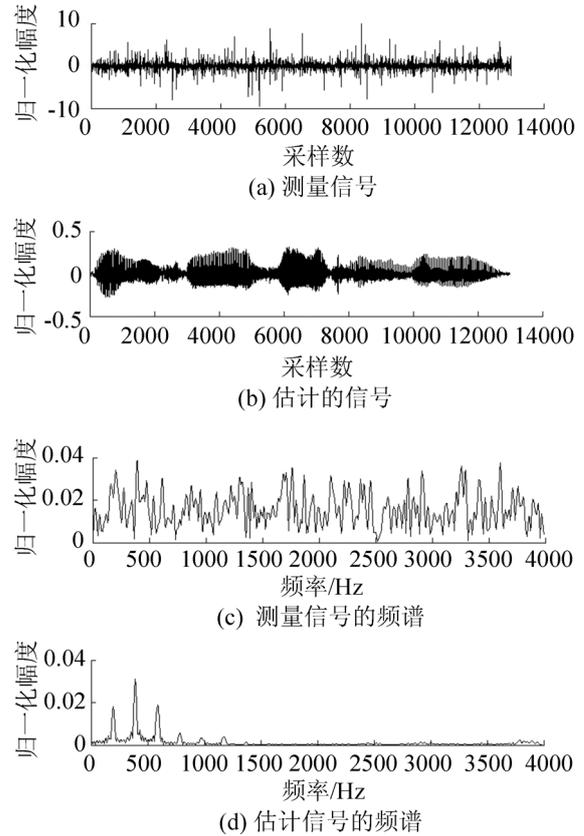


图 6 -17dB 时语音消噪实验波形和频谱图

Fig.6 Signal waveforms and spectrums from the denoising experiment of -17dB SNR

谱线间等间距，其距离就是浊音的基音周期；图 4(b)是被有色噪声污染的同一帧(测量信号帧)的频谱，与图 4(a)相比，相差极为悬殊，不仅影响了原始语音频谱中 1300Hz 以前的 7 条主要的谱线，而且填充了之后的空白区，测量信号帧的频谱遍布整个频段 0~4000Hz，这是有色噪声频谱叠加到语音帧频谱之上的结果；图 4(c)是模糊消噪后(估计信号)的频谱，可见将原始语音帧的频谱清晰地恢复，与原始语音帧的频谱相比，看不出差别。图 5 和图 6 分别是 -9dB、-17dB 时的仿真实验结果，分别显示了测量信号和估计信号、测量信号的频谱和估计信号的频谱，与图 3、图 4 中的原始信号及其频谱相比，差别非常小。图 7 是实验用有色噪声(SNR=-17dB)和有色噪声的模糊逼近，虽然看不出差别(放大后)，但可计算两者的误差，其均方误差和平均绝对误差分别为 0.2699 和 0.2268，当信噪比增大时，两者迅速减小，信噪比小于 -17dB 时，上述两个误差迅速增大。声音回放听辨，当信噪比为 -17dB 时，由测量信号(含噪语音)已听不出语音，语音被噪声完全淹没；模糊消噪后的语音与原始语音几乎听不出区别；当信噪比低于 -20dB 时，模糊消噪后的语音中仍含有明显的噪声。

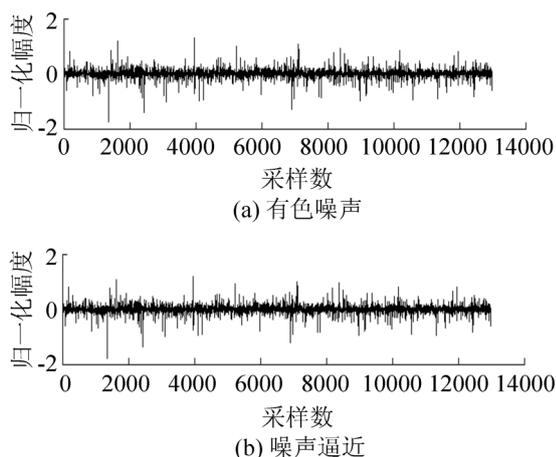


图7 有色噪声和有色噪声的模糊逼近  
Fig.7 Colored noise and its fuzzy approximation

## 5 结论

语音信号中常常混有色噪声,在噪声源已知的假设下,自适应模糊推理系统对有色噪声污染的语音信号的消噪效果非常显著,在计算机模拟有色噪声环境下,当信噪比大于 $-20\text{dB}$ 时,仿真结果表明用ANFIS仍能提取出较清晰的语音,消噪效果明显优于其他方法。本文的模糊消噪系统虽暂不能用于语音通信等语音实时处理场合,但在允许事后处理的场合不失为可选方案。

### 参 考 文 献

[1] 张雄伟,陈亮,杨吉斌.现代语音处理技术及应用[M].北京:机械工业出版社,2003.248-265.  
ZHANG Xiongwei, CHEN Liang, YANG Jibin. Modern processing technology and application of voice[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2003, 248-265.

[2] 楼顺天,胡昌华,张伟.基于MATLAB的系统分析与设计——模糊系统[M].西安:西安电子科技大学出版社,2001,110-112.  
LOU Shuntian, HU Changhua, ZHANG wei. The analysis and design based on MATLAB——fuzzy system[M]. Xi'an: Xidian University Press, 2001, 110-112.

[3] Gabrea M. Speech signal recovery in colored noise using an adaptive Kalman filtering[A]. Electrical and Computer Engineer-

ing, 2002. IEEE CCECE 2002. Canadian Conference[C]. 2002, 2: 974-949.

[4] Lin L, Holmes W H, Ambikairajah E. Subband noise wiefilter[C]. Acoustics, Speech and Signal Processing, 2003. Proceedings. (ICASSP 03)[A]. 2003 IEEE International Conference[C]. 2003, 1: 180-183.

[5] KANG Shaoli, QIU Zhengding, XIAO Yang. Design and simulation of adaptive noise cancels with master-slave stmcture in strong noise environment[J]. IEEE Transom Signal Processing, 2001, (5): 533-537.

[6] 王振力,张雄伟,白志强.语音增强新方法的研究[J].南京邮电大学学报(自然科学版),2007,27(2): 10-14.  
WANG Zhenli, ZHANG Xiongwei, BAI Zhiqiang. A study on new speech enhancement methods[J]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications(Natural Science), 2007, 27(2): 10-14.

[7] 徐义芳,张京杰,姚开盛,等.语音增强用于抗噪声语音识别[J].清华大学学报,2001,41(1): 41-44.  
XU Yifang, ZHANG Jingjie, YAO Kaisheng, et al. Speech enhancement for the anti-noise speech recognition[J]. Journal of Tsinghua University(Science and Tichnology), 2001, 41(1): 41-44.

[8] 张鑫琪,冯海泓,徐海东.改进的最小均方误差语音增强算法的研究[J].声学技术,2008,27(2): 230-234.  
ZHANG Xinqi, FENG Haihong, XU Haidong. A study of an improved minimum mean-square error speech enhancement algorithm[J]. Technical Acoustics, 2008, 27(2): 230-234.

[9] Bahoura M, Rouat J. Waveleat speech enhancement based on the teagerenergy operator[J]. IEEE Signal Process, 2001, 8(1): 10-12.

[10] 李冲泥,胡光锐.一种改进的小波域语音增强方法[J].通信学报,1999,20(4): 88-91.  
LI Chongni, HU Guangrui. A modified wavelet domain speech enhancement method[J]. Journal of Chain Institute of Communications, 1999, 20(4): 88-91.

[11] 郑成诗,陈佳路,楼厦厦等. MVDR与自适应零限波束形成语音增强算法性能对比[J].声学技术,2007,26(5): 1030-1031.  
ZHENG Chengshi, CHEN Jialu, LOU Shasha, et al. Comparison of MVDR and a daptive null-forming scheme for speech enhancement[J]. Technical Acoustics, 2007, 26(5): 1030-1031.

[12] 苗浩,李晓东,田静.一种用于语音增强的频域盲信号分离算法[J].声学技术,2007,26(3): 431-434.  
MIAO Hao, LI Xiaodong, TIAN Jing. A frequency domain blind source separation algorithm for speech enhancement[J]. Technical Acoustics, 2007, 26(3): 431-434.

[13] 杨纶标,高英仪.模糊数学原理与应用(第三版)[M].广州:华南理工大学出版社,2004,233-267.  
YANG Lunbiao, GAO Yingyi. Theory of fuzzy math and application (third edition)[M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2004, 233-267.