

基于 MATLAB/Simulink 的回声和噪声控制算法开发

任治刚

(内蒙古工业大学信息工程学院, 呼和浩特 010062)



摘要: 利用 MATLAB/Simulink 实时仿真功能, 构建回声和噪声控制 (AENC) 算法研发平台。在对算法性能进行客观评价的同时, 还可以利用计算机声卡对处理前后的语音信号进行播放, 实现主观评价, 很好地满足了算法研发的要求。文中给出了算法研发的整体思路, 对提出的一种基于 DCT-LMS 的新算法进行了说明, 较详细地讨论了 Simulink 模块的设计过程, 并对新算法和传统减谱法的降噪性能进行了比较。

关键词: 回声和噪声控制; DCT-LMS 算法; 实时仿真; MATLAB/Simulink

文章编号: 1004-731X (2005) S0-0077-02

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

Acoustic Echo and Noise Control Algorithm Development Based on MATLAB/Simulink

REN Zhi-gang

(Information Engineering College of Inner Mongolia University of Technology, Huhhot 010062, China)

Abstract: A platform for AENC (Acoustic Echo and Noise Control) algorithm development is built with the use of MATLAB/Simulink. In addition to objective analysis, this platform provides subjective evaluation by comparison between original noisy signals and the purified results, both played through PC sound card. These features are suitable to real-time simulation for audio processing algorithms. The overall idea and a novel AENC algorithm based on DCT-LMS are described in this paper as well as discussions on the design of key Simulink modules. The proposed algorithm is also compared with spectral subtraction method in terms of the noise-reduction performance.

Key words: acoustic echo and noise control; DCT-LMS algorithm; real-time simulation; MATLAB/Simulink

引言¹

在信号处理领域, 噪声和回声控制 (Acoustic Echo and Noise Control) 算法开发是一个具有挑战性的研究方向。AENC 研究对象分为两类系统: 手持电话系统 (hand-held telephony system) 和非手持电话系统 (hand-free telephony system)。前者主要包括固定电话、移动电话等, 后者主要包括电话会议中的音响/通信系统、车载或机载音响/通信系统等。

目前, 常用的噪声控制方法有: 固定滤波器法、减谱法、自适应法和非线性变换法等。本文主要研究的是利用自适应的方法对强机械噪声背景中的语音通信噪声进行有效控制的问题。在该类问题中, 噪声源相对固定、噪声特性的变化比较缓慢。对于频率特性变化缓慢的加性噪声, 传统上可以采用减谱法 (spectral subtraction) 进行噪声控制。减谱法降噪的基本原理是从含噪语音信号的频谱中减去估计得到的噪声信号的平均幅度谱。这里, 我们将减谱法作为评价算法降噪性能的参照方法。

在认真研究 Widrow 所提出的自适应降噪方法的基础上, 构建了 MATLAB/Simulink 实时仿真平台, 通过对多种算法改进方案的研究对比, 确定了以 DCT-LMS 算法为核心的噪声控制方案。该方案利用正式通话前 5-60 秒的静音期,

录制一定数量的背景噪声数据; 在正式通话时, 循环利用这些数据作为算法的参考噪声输入, 通过 DCT 正交化分解后由 LMS 算法进行自适应噪声抵消。

针对几种典型的噪声源, 本文采用信噪比提高量 (辅之以波形相关度和语谱图对比) 对上述算法的性能进行了评价。仿真结果表明: 该算法的平均信噪比提高量比减谱法提高了 20% 左右, 短时 (16 毫秒) 信噪比提高量比减谱法更加平稳。此外, 利用 MATLAB/Simulink, 通过计算机声卡对处理前后的语音信号进行播放, 实现了主观评价。

1 算法仿真平台的构建

算法仿真思路如图 1 所示。其中, 信号源 S 是一段纯净语音信号, 噪声源 N 是背景噪声, 二者的持续时间均为 5 秒, 采样率为 8000Hz, 数据为 16-bit 归一化有符号数, 并保存为波形文件。噪声控制算法的输入 X 为 S、N 之和, 而输出 Y 可视为对 S 的估计。

这部分将讨论以下三个 Simulink 模块的设计和应用: (1) 用于减谱法性能仿真的 Simulink 模块 (见图 2)。 (2) 用于

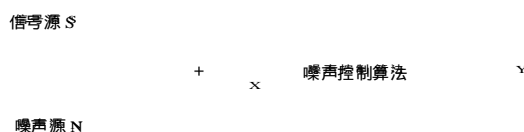


图 1 算法仿真思路

收稿日期: 2005-08-10

修回日期: 2005-10-21

作者简介: 任治刚 (1974-), 男, 呼和浩特市人, 硕士, 研究方向为信号处理及其应用。

DCT-LMS 噪声控制算法性能仿真的 Simulink 模块(见图 3)。

(3) 用于降噪性能对比的 Simulink 模块(见图 4)。

图 2 是用于减谱法性能仿真的 Simulink 模块。在设计过程中,充分利用了 MATLAB/Simulink 提供的 FFT、IFFT、buffer、unbuffer、magnitude、angle、mean、sign、constant 等功能。在仿真过程中,着重研究了以下三方面问题:

(1) 考察短时傅里叶变换的重建误差。仿真结果表明:重建误差很小,听觉上没有可觉察的畸变。

(2) 考察相位谱在减谱法中的影响。根据 BOOL 准则,减谱法是从含噪语音幅度谱中减去噪声的实时幅度谱(估计),并利用含噪语音相位谱进行反变换。仿真结果表明:

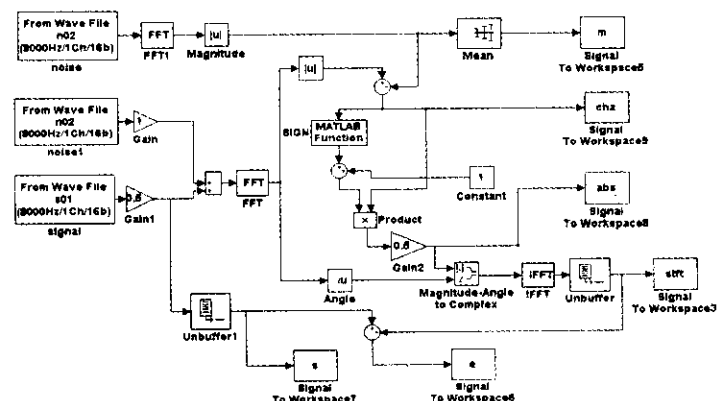


图 2 用于减谱法性能仿真的 Simulink 模块

听觉上有少量的“咝”声,但对于可懂度没有明显的影响。

(3) 考察幅度谱估计对减谱法的影响。仿真结果表明:信噪比有所提高(4dB 左右),听觉上效果不明显。

图 3 是 DCT-LMS 噪声控制算法的 Simulink 模块。在设计过程中,主要利用了 MATLAB/Simulink 提供的 nLMS 功能,并在其基础上添加了 DCT,构成了 DCT-LMS 功能。通过设置波形文件的来源,可以更换语音源和噪声源;通过设置 Gain 的大小,可以改变输入含噪信号的信噪比,综合以上两点,就能够比较全面地考察算法性能的鲁棒性。可以看出: DCT-LMS 噪声控制算法的结构相对简单。

图 4 是用于降噪性能对比的 Simulink 模块。

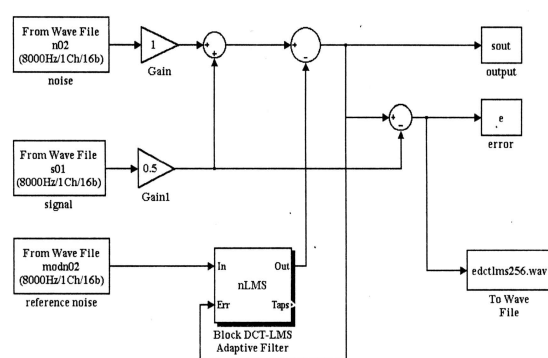


图 3 用于 DCT-LMS 噪声控制算法性能仿真的 Simulink 模块

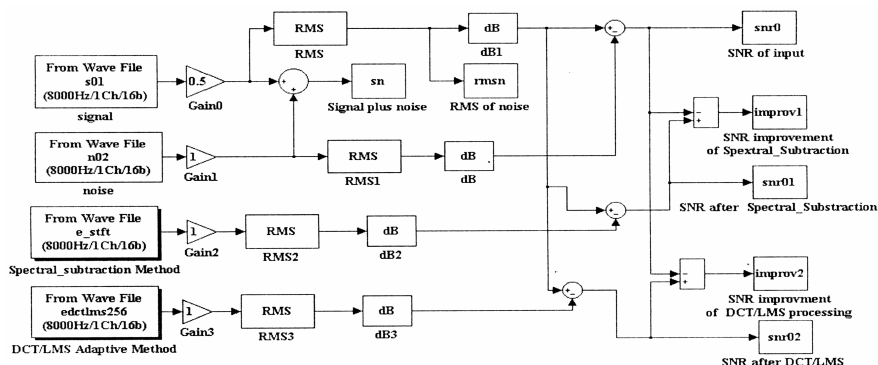


图 4 用于降噪性能对比的 Simulink 模块

2 算法仿真结果和评价

如下式所示,本文主要采用平均信噪比提高量进行算法性能评估和对比。

$$SNR = SNR_Y - SNR_X = 20 \log \frac{rms(S)}{rms(Y - S)} - 20 \log \frac{rms(S)}{rms(N)}$$

由于平均信噪比是在整个处理期间(5 秒)得到的,所以对于算法性能反映得不够充分。因此,引入了短时平均信噪比和累积平均信噪比。短时平均信噪比对于 128 个(对应 16 毫秒)采样值的数据帧进行计算;而累积平均信噪比是累积地计算数据帧的信噪比,累积平均信噪比的最终值就是平均信噪比。图 4 中测量的累积平均信噪比。而用于测量短时平均信噪比的模块 Simulink 和图 4 的不同之处在于用"Running RMS"替代了"RMS"。

选择归一化收敛因子为 1、阶数为 512 的 DCT-LMS 噪声控制算法与帧长 128 点的减谱法进行对比,可以得到图 5

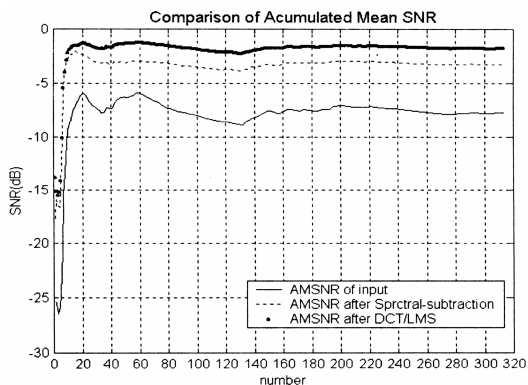


图 5 累积平均信噪比

(下转第 90 页)

附录 A:

```

%两相静止坐标系下的电机模型(IM)
%状态变量为: x(1)=
Wr,x(2)=phi_a,x(3)=phi_b,x(4)=i_a,x(5)=i_b
%输入变量为: u(1:3)..Ua,Ub,Uc 三相输入电压, u(4)...T_L 负载转矩
%输出变量: sys(1)..Wr; sys(2)..i_a; sys(3)..i_b; sys(4)..i_c; sys(5)..Te
function [sys,x0,str,ts]=Motor_ab(t,x,u,flag, Rs, Rr, Ls, Lr, Lm, J, np)
switch flag,
case 0,
[sys,x0,str,ts]=mdlInitializeSizes;
case 1,
sys=mdlDerivatives(t,x,u, Rs, Ls, Rr, Lr, Lm, J, np);
case 3,
sys=mdlOutputs(t,x,u,Lm,Rr,Lr,J,np);
case {2,4,9},
sys=[];
otherwise
error(['Unhandled flag = ',num2str(flag)]);
end
% 初始化
function [sys,x0,str,ts]=mdlInitializeSizes
sizes= simsizes;
sizes.NumContStates = 5;
sizes.NumDiscStates = 0;
sizes.NumOutputs = 5;
sizes.NumInputs = 4;
sizes.DirFeedthrough = 1;
sizes.NumSampleTimes = 1;
sys= simsizes(sizes);
x0= 0;
str= [ ];
ts= [0 0];
% 微分
function sys=mdlDerivatives(t,x,u, Rs, Ls, Rr, Lr, Lm, J, np)
u_a=sqrt(2/3)*(u(1)-0.5*u(2)-0.5*u(3));
u_b=sqrt(2/3)*(sqrt(3)/2*u(2)-sqrt(3)/2*u(3));
delta=1-Lm*Lm/(Ls*Lr);

```

```

% 状态方程(x(1)=
Wr,x(2)=phi_a,x(3)=phi_b,x(4)=i_a,x(5)=i_b)
sys(1)=(np*Lm/(J*Lr))*(x(2)*x(5)-x(3)*x(4))-u(4)/J;
sys(2)=(Rr/Lr)*x(2)-np*x(1)*x(3)+(Rr/Lr)*Lm*x(4);
sys(3)=(Rr/Lr)*x(3)+np*x(1)*x(2)+(Rr/Lr)*Lm*x(5);
sys(4)=Lm*Rr/(delta*Ls*Lr)*x(2)+np*Lm/(delta*Ls*Lr)*x(1)*x(
3)-(Lm*Lm*Rr+Lr*Lr*Rs)/(delta*Ls*Lr)*x(4)+u_a/(delta*Ls);
sys(5)=Lm*Rr/(delta*Ls*Lr)*x(3)-np*Lm/(delta*Ls*Lr)*x(1)*x(
2)-(Lm*Lm*Rr+Lr*Lr*Rs)/(delta*Ls*Lr)*x(5)+u_b/(delta*Ls);
% 微分结束
% 输出
function sys=mdlOutputs(t,x,u,Lm,Rr,Lr,J,np)
sys(1)=x(1); % Wr
sys(2)=sqrt(2/3)*x(4); % i_a
sys(3)=sqrt(1/6)*x(4)+sqrt(1/2)*x(5); % i_b
sys(4)=sqrt(1/6)*x(4)-sqrt(1/2)*x(5); % i_c
sys(5)=np*(Lm/Lr)*(x(2)*x(5)-x(3)*x(4)); % speed
% 输出结束
% 终止
function sys=mdlTerminate(t,x,u)
sys = [ ];

```

附录 B

感应电机参数:

本文中采用三相、4 极星型连接感应电机, 具体参数如下:

额定功率: $P_e = 1.7\text{ kW}$ 额定电压: $U_e = 380\text{ V}$ 额定电流: $I_e = 4\text{ A}$ 极对数: $n_p = 4$ 额定转矩: $T_e = 11.35\text{ N}\cdot\text{m}$ 定子电阻 $R_s = 4.2$ 转子电阻 $R_r = 2.5$ 定子自感 $L_s = 0.545\text{ H}$ 转子自感 $L_r = 0.542\text{ H}$ 互感 $L_m = 0.510$ 转动惯量 $J = 0.02\text{ kg}\cdot\text{m}^2$

(上接第 78 页)

和图 6。从图中可以看出: (1)从平均信噪比的改善情况来看, DCT-LMS 算法噪声控制效果有所提高(2)DCT-LMS 处理后的短时平均信噪比的提高量比减谱法更加平稳。此外, DCT-LMS 处理在参数选取、结构优化方面还可以作进一步的研究。

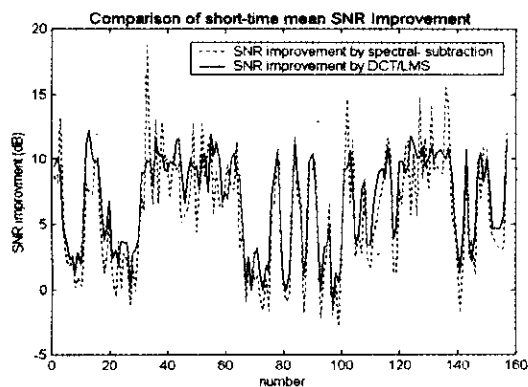


图 6 短时平均信噪比

3 结论

功能强大、配置灵活的 MATLAB/Simulink 实时仿真功能为复杂的 AENC 算法开发提供了诸多便利, 大大缩短了用于算法性能对比、评测的时间, 提高了工程研究的效率。

参考文献:

- [1] Simon Haykin. Adaptive Filter Theory (Fourth Edition) [M]. Prentice Hall Inc, 2002.
- [2] Department of Applied Electronic. Separation of real-world signals, Signal Processing [J]. 1998, 64: 104-1131.
- [3] T. Gulzow. Comparison of a discrete wavelet transformation and a non-uniform poly phase filter bank applied to spectral subtraction speech enhancement, Signal Processing [J]. 1998, 64: 5-19.
- [4] 任治刚, 张泽. 一种基于 DCT/LMS 算法的自适应降噪方法 [J]. 仪器仪表学报, 2002, 23 (3): 52-53.