

神经网络在通信系统回音对消中的应用

余尤好

(莆田学院电子信息工程系,福建莆田 351100)

摘要:通信系统中的回音影响通话质量,造成通话困难.为控制通信系统回音的影响,利用自适应线性神经网络建立回音对消系统,求出话音经过传输过程发生非线性变化后的结果.对神经网络学习速率和训练次数进行调节,获得回音信号的最佳估计值,原始信号与之相减实现回音对消.实验时分别对通信系统直接回音和间接回音进行消除,并利用 MATLAB 软件绘出对应信号的频谱图和语谱图,以便观察分析.仿真结果表明,消除回音后有用的语音信号得到增强,回音被有效削弱,通话具有较高的信噪比,人耳感受基本没有回音.

关键词:回音对消;滤波器;神经网络;语音通话

中图分类号:TN912.3

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2012.09.016

0 前言

通信系统声学回音包括直接回音和间接回音.直接回音是指由说话者发出的声音经过不同路径一次或多次反射后进入麦克风所产生的回音,常见情况是受话方将听到一前一后两个声音.间接回音是指声音由远端受话方的扬声器播出后进入对方麦克风传递回来,说话方将听到对方声音和自己延时的声音.为控制回音的影响,人们先后提出网络衰减法和回音抑制器技术,但是它们都存在较大缺陷和局限性.网络衰减法在发送端和接收端都装有衰减器,但是随着传输距离变长,话音电平衰减太大.回音抑制器在发送端说话时,打开发送路径,而在接收端关闭发送路径,它采用非线性回音控制方法,容易引起扬声器声音断断续续,回声消除效果不好,具体实现时比较困难.回音对消的核心技术就是采用自适应算法的滤波器,自适应神经网络具有自学习能力,采用均方误差最小的学习规则自动调整网络权值和阈值,收敛速度快、稳定性高、易于实现,非常适合用于各类信号的分析处理,尤其是信号处理中的非线性问题.神经网络在通信系统、自适应滤波、弱信号检测等方面得以广泛应用.

1 自适应线性神经网络

自适应线性神经元(Adaptive Linear Neuron,以下简称:ADALINE)是线性神经网络最早的典型

代表,它采用最小均方误差(Least Mean Squares,以下简称:LMS)算法,由其训练的网络判决边界距离分类模式较远,网络抗干扰能力较强,可以实现高性能自适应滤波器的设计.

1.1 自适应线性神经网络模型

ADALINE 是一个自适应可调的网络,广泛应用于信号处理中的自适应滤波、预测和模型识别. ADALINE 模型如图 1 所示,它的传输函数为线性函数,线性神经网络的输出为:

$$a = \text{purelin}(\mathbf{W}p + b) = \mathbf{W}p + b \quad (1)$$

式(1)中: a 为模拟量,代表神经网络的实际输出; purelin 表示线性传输函数; \mathbf{W} 表示由权值 w_1, w_2, \dots, w_m 构成的矩阵; b 代表阈值向量; p 是系统的输入向量.有些情况下自适应线性神经网络的输出不是取自线性神经元的输出,而是将目标响应 t (即神经元输出的期望值)与模拟输出量 a 相减,得到误差信号 e 作为输出^[1].

对于线性神经网络可以直接求网络的 \mathbf{W} 和 b 而不需要训练,若网络不止一个零误差解,可以取误差最小一组的阈值和权值向量.如果网络零误差解不存在,那么可以取误差平方和最小那组的阈值和权值.由于线性系统有唯一误差最小值,所以根据给定的一组输入向量和目标向量,可以算出实际输出向量和目标向量的误差最小值.若无法直接求出 \mathbf{W} 和 b ,ADALINE 神经网络可以采用 LMS 算法来调整 \mathbf{W} 和 b ,这种方法是沿误差最陡下降方向对上一步得到的权值向量进行修正^[2].

收稿日期:2012-08-13

基金项目:福建省教育科学“十二五”规划 2012 年度常规课题(FJCGGJ12-034)

作者简介:余尤好(1977-),男,福建莆田人,讲师,硕士.研究方向:数字信号处理.

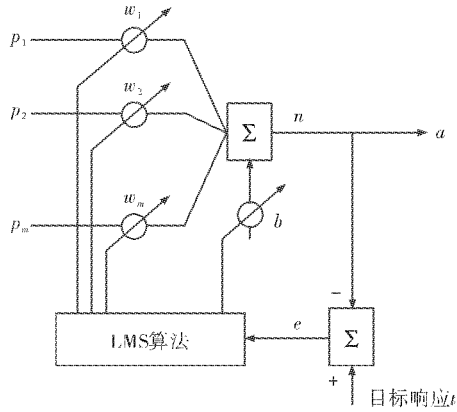


图1 自适应线性神经元模型

Fig.1 Model of adaptive linear neuron

对多组训练样本 $\{p_1, t_1\}, \{p_2, t_2\}, \dots, \{p_Q, t_Q\}$, LMS 算法的目的是寻找最佳的 \mathbf{W} 、 b , 使各神经元输出的均方误差最小. 神经元输出的均方误差为:

$$mse = \frac{\sum_{k=1}^Q (t_k - a_k)^2}{Q} = \frac{\sum_{k=1}^Q e_k^2}{Q}, \quad (2)$$

式(2)中: mse 为神经元的均方误差; Q 为训练样本个数; a 为神经元输出的实际值; t 为神经元输出的期望值.

为了寻找最佳的 \mathbf{W} 、 b 使每个神经元输出的均方误差最小, 将 mse 分别对 \mathbf{W} 和 b 求偏导数, 令其等于 0, 联立方程组即可求得 mse 的极值点. 由于 mse 只能是正值, 所以极值点必为极小值. 当输入向量的维数较高时, 计算很麻烦. 通常采用搜索优化法, 假设获得的第 k 次训练结果为 $\mathbf{W}(k)$ 和 $b(k)$, 找出曲面上该点最陡下降方向, 沿这个方向对它进行修正. 求解均方误差的梯度运算量较大, 可以用误差平方的梯度来近似表示:

$$\frac{\partial mse(k)}{\partial \mathbf{W}(k)} \approx \frac{\partial e^2(k)}{\partial \mathbf{W}(k)} = -2e(k)p, \quad (3)$$

$$\frac{\partial mse(k)}{\partial b(k)} \approx \frac{\partial e^2(k)}{\partial b(k)} = -2e(k). \quad (4)$$

由公式(3)和(4)得到自适应线性神经网络 \mathbf{W} 和 b 的调整公式为:

$$\mathbf{W}(k+1) = \mathbf{W}(k) + 2\beta e(k)p^T, \quad (5)$$

$$b(k+1) = b(k) + 2\beta e(k). \quad (6)$$

式(5)、(6)中: β 为学习速率, 是决定 \mathbf{W} 和 b 的收敛速度和稳定性的参数. β 取值越大, 学习速度就越快, 但是如果取太大将会造成修正过度, 系统变得不稳定, 产生更大的误差^[3].

1.2 自适应线性神经网络回音对消系统设计

应用 ADALINE 神经网络消除回音的原理框图如图 2 所示. 图 2 中: s 表示原始输入信号, 即通话时希望听到的对方语音信号; n_1 表示通信系统

的回音信号, 即需要消除的噪声信号; n_0 为与回音信号 n_1 相关的参考输入信号, 也就是 n_1 在传输过程发生非线性变换后得到的信号; $s + n_0$ 作为 ADALINE 神经元的期望输出信号; y 为回音信号经过 ADALINE 神经元自适应调节后得到的实际输出, 接近于 n_0 ; 期望输出信号与实际输出信号通过减法器后得到误差信号, 作为系统的输出以 ε 表示, 即 $\varepsilon = s + n_0 - y$. 则有

$$E(\varepsilon^2) = E[(s + n_0 - y)^2] = E(s^2) + 2E[s \cdot (n_0 - y)] + E[(n_0 - y)^2].$$

通过自适应线性神经网络学习步长和训练次数的调节, 使误差信号最小, 得到

$$E_{\min}(\varepsilon^2) = E_{\min}(s^2) + 2E_{\min}[s \cdot (n_0 - y)] + E_{\min}[(n_0 - y)^2], \quad (7)$$

式(7)中: 当 y 接近于 n_0 时, 其输出 ε 与信号源输入 s 差值约等于 0, 此时回音信号被消除^[4]. 特别是对于间接回音信号的消除, 此时信号源信号与回音信号线性无关, 从而 $E[s \cdot (n_0 - y)] = 0$, 运算过程较为简便.

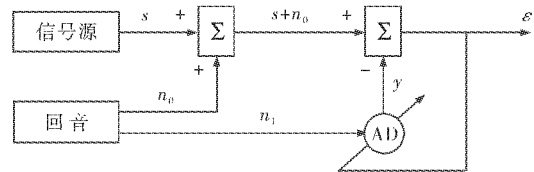


图2 回音对消原理图

Fig.2 Principle diagram of echo cancellation

2 仿真结果及分析

2.1 语音通话时直接回音的消除

根据国际电报电话咨询委员会 (International Telegraph and Telephone Consultative Committee, 简称: CCITT) 的长途通信协议标准, 目前各国一般采用的语音采样频率为 8 kHz. 当声音延迟达到 50 ms 而且衰减较小时, 人耳可以感觉到清晰的回音. 仿真时录制一段语音作为原始语音信号, 采样频率为 8 kHz, 延时 1 s 并把幅度降低到原来的 60% 作为回音信号. 将回音信号作为自适应线性神经元的输入向量 n_1 , 原始语音信号与回音之和作为神经元的目标向量, 通过回音对消后, 系统可以得到较为清晰的自身语音信号, 通过话筒传递到对方, 受话人不会感觉到回音.

MATLAB 软件是面对科学计算、可视化以及交互式程序设计的计算环境, 利用它可以构建仿真系统, 并绘制出语音信号的频谱图、语谱图. 图 3 为直接回音消除时域、频域波形图, 叠加回音信号后, 时域中语音信号时间长度增加了, 频域中各频

率分量幅度变为原先的 1.6 倍. 利用自适应线性神经网络实现回音抵消后, 时域、频域波形基本与原语音信号一致. 把回音视为噪声, 经过计算得出

滤波前带回音信号信噪比约为 4.437 0 分贝, 滤波后信噪比达到 20.717 7 分贝^[5].

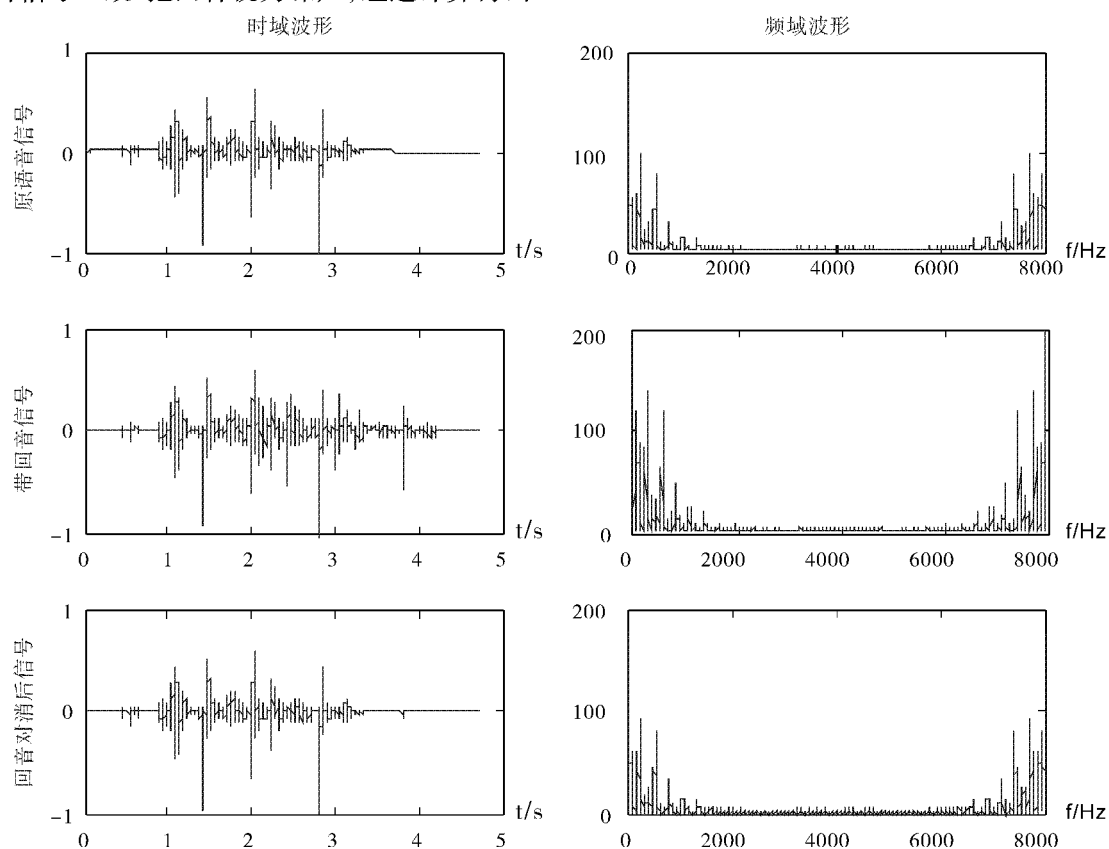


图 3 直接回音消除时域、频域波形

Fig. 3 Waveform of direct echo cancellation in time and frequency domain

图 4 为直接回音消除语音信号的语谱图, 原语音信号大约 3.7 s, 后面黑色部分为静音. 叠加回音信号后, 条纹变长了, 而且信号持续时间变长. 经过神经网络回音抵消后, 声纹重新变短, 有用信号末尾的回音基本消失.

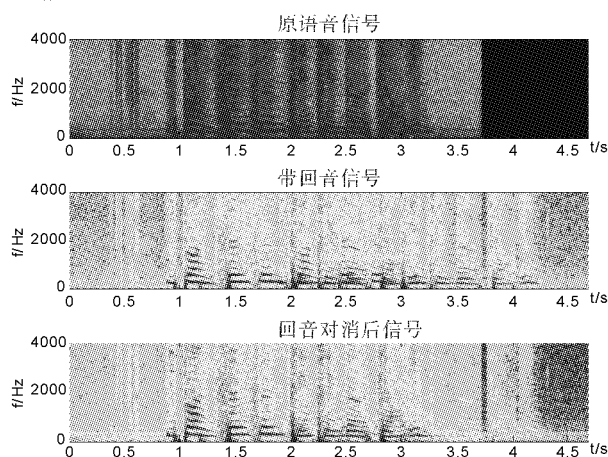


图 4 直接回音消除语谱图

Fig. 4 Spectrogram of direct echo cancellation

2.2 语音通话时间接回音的消除

以采样频率 8 kHz 录制两段语音, 其中一个为男性声音, 另一个为女性声音. 为了实验方便, 假设女性声音为电话远端即受话人发出的声音. 将男性声音作为回音信号 n_1 输入到 ADALINE 系统中, 叠加对方声音的信号作为目标响应, 通过回音抵消系统可以获得清晰的来自对方的语音信号.

图 5 为间接回音消除时域、频域波形图. 两个声音相加, 频谱混叠在一起, 通过经典滤波器、谱减法或小波变换等很难把有用的信号提取出来^[6]. 经过自适应线性神经网络回音抵消后, 可以较好地还原出所需要的话音信号, 滤波前信号信噪比约为 3.659 2 分贝, 滤波后信噪比达到 20.479 3 分贝.

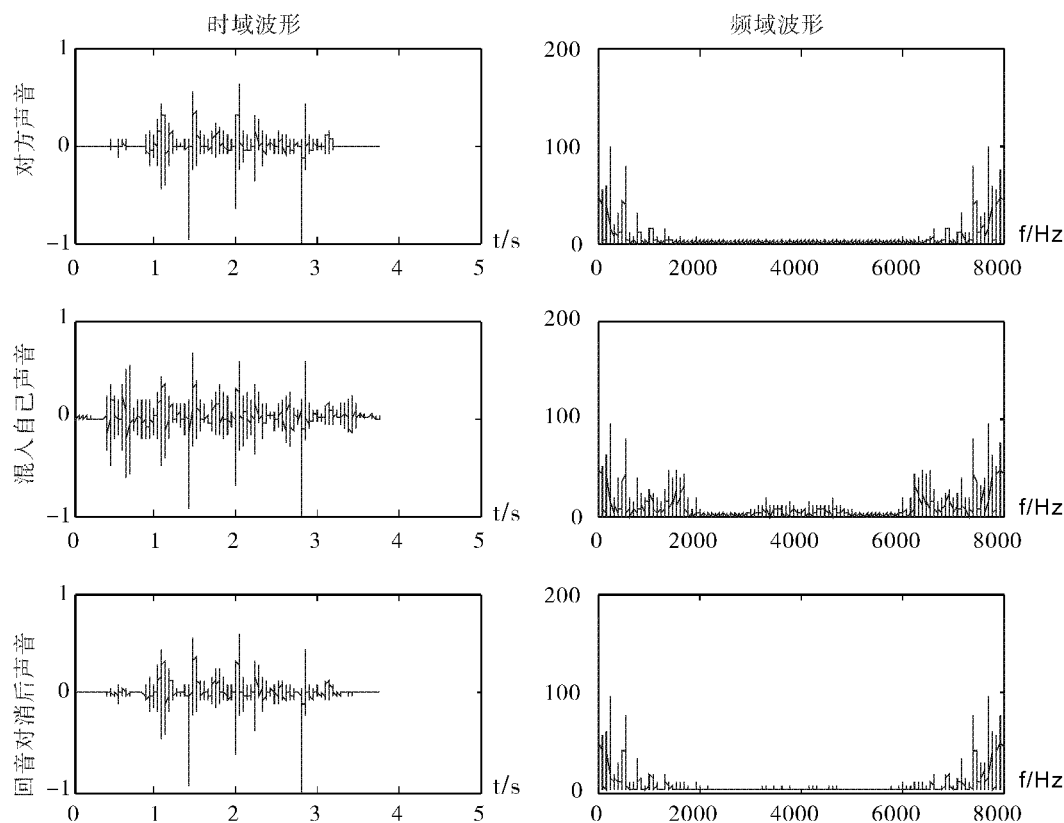


图5 间接回音消除时域、频域波形

Fig. 5 Waveform of indirect echo cancellation in time and frequency domain

图6为间接回音消除语谱图,两者声音叠加后,声纹较为紊乱.经过自适应线性神经网络回音对消后,语谱图特征与受话端发出的语音信号特征基本一致,回音信号基本消除.这样就可以清楚地听到对方说话,而不会受到自己说话回音的干扰.

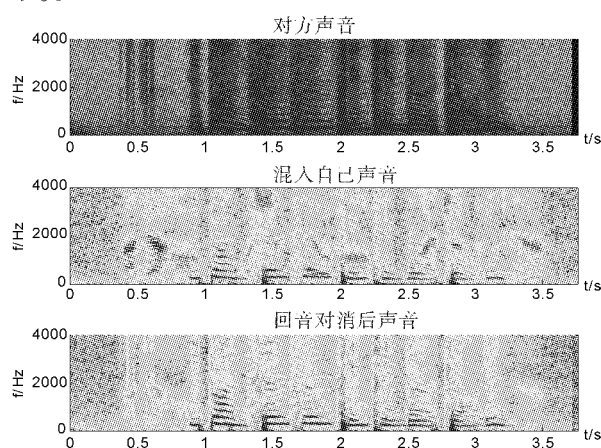


图6 间接回音消除语谱图

Fig. 6 Spectrogram of indirect echo cancellation

通过实验发现,应当多次调整学习速率,太大不行,太小也不行.太小了学习过程变得漫长,而且回音信号并没有被削弱,效果不理想.太大了学习过程将不稳定,虽然程序运行时间较短,但是存在很大的误差,得到错误结果.特别在直接回音信

号消除过程中,回音信号不同于其它噪声,它与信号源存在相关性,容易把自身信号当作噪声一并消除而使系统输出结果趋于零.仿真过程神经网络训练值重复次数要设置得比较大,否则无法有效消除回音,即使这样人耳还是可以感受到微弱的回音.不过在实验过程中电话回音幅度设置较大,实际情况下回音经过反射物后能量受到较大削弱,经过自适应线性神经网络对消后基本可以忽略,通话者感觉不到回音存在.

3 结 语

把自适应线性神经网络应用于通信系统回音消除,成功实现了电话回音的对消,获得较高的信噪比.在回音对消过程中,根据实际情况,还可以从一些地方加以改善,比如参数的合理选择、如何更好地解决收敛速度和稳态残留误差之间的矛盾.实现理想稳定的回音对消效果还存在一些难点,需要在实践过程中不断地完善算法.

参考文献:

- [1] 周开利,康耀红. 神经网络模型及其 MATLAB 仿真程序设计[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [2] 郭峰,任兴民,刘婷婷. 基于神经网络消噪的独立成分分析方法研究[J]. 机械科学与技术,2010,29

- (12):1678-1682.
- [3] 张帆. Adaline 神经网络随机逼近 LMS 算法的仿真研究[J]. 电子设计工程, 2009, 17(9):88-90.
- [4] 董翠英, 周长英. 基于 RBF 神经网络的语音信号的噪声消除[J]. 制造业自动化, 2010, 32(5): 228-230.
- [5] 高宁, 郑恩让, 马令坤, 等. 基于神经网络的自适应噪声抵消系统研究与实现[J]. 计算机测量与控制, 2010, 18(1):133-135.
- [6] 李政洋. 基于 AD 神经网络的语音增强[D]. 苏州: 苏州大学, 2008.

Application of neural network in echo cancellation of communication system

YU You-hao

(Department of Electronics and Information Engineering, Putian University, Putian 351100, China)

Abstract: Echo of the system affects the speech quality seriously and makes it difficult to communicate. Adaptive linear neural network was used to control echo effects of communication system. The echo cancellation system was established by adaptive linear neural network, and nonlinear variation results of voice was obtained. Adjusting the learning rate and the number of training, the best estimate of the echo signal was obtained by adaptive linear neural network, subtracting it from the original signal, and then echo cancellation was realized. Direct echo and indirect echo were eliminated from communication system in the experiments. In order to observe and analyze the results, MATLAB software was used to draw the corresponding signal spectrum and spectrogram. The simulation results show that the signal is enhanced after echo cancellation and echo is effectively reduced; the call has a high signal-to-noise ratio and people feel no echo.

Key words: echo cancellation; filter; neural network; speech conversation

本文编辑: 苗 变



(上接第 12 页)

Thermodynamics and kinetics of ion exchange resin adsorption iron ions of dilute sulfuric acid

ZHOU Yu-xin^{1,2}, LEI Pan^{1,2}, FEI Yue-qiu^{1,2}, PAN Qin^{1,2}, LIU Yi^{1,2}

(1. School of Chemical Engineering and Pharmacy, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China;

2. Key Laboratory for Green Chemical Process of Ministry of Education, Wuhan 430074, China)

Abstract: The reaction mechanism on adsorption of D001 resin to iron ion was studied with static experimental method. Langmuir and Freundlich adsorption isotherm equation was studied in the experimental condition to analyze the adsorption thermodynamic processes of the D001 resin to iron ion. The results show that langmuir equation has a higher correlation to better fit the resin adsorption process of iron ion. Thermodynamic function $\Delta G < 0$ shows that process of D001 resin adsorption iron ion can occur spontaneously, $\Delta H > 0$ shows that the ion exchange process is an endothermic process, and $\Delta S > 0$ indicates that the entropy change of the adsorption process is increasing. Quasi-second order kinetic model can be well fitting D001 resin adsorption process of the iron ion, and the correlation coefficient is greater than 0.99. The main rate control process of resin adsorption process of the iron ion is particle diffusion.

Key words: dilute sulfuric acid; adsorption; thermodynamics; dynamics

本文编辑: 张 瑞