

文章编号: 1001-0920(2004)06-0667-04

基于自适应模糊神经网络的多传感器噪声抵消器

伦淑娴^{1,2}, 张化光¹

(1. 东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110004; 2. 渤海大学 信息科学与工程学院, 辽宁 锦州 121001)

摘要: 针对同一噪声源的多传感信号, 采用自适应模糊神经网络系统 (AFNNS) 设计自适应噪声抵消器. 采用 AFNNS 获取多路信息融合的权系数和自适应噪声抵消器的系数, 基于 AFNNS 的自适应噪声抵消器不仅能获取信号的最佳估计, 并且能克服模型和噪声存在的不确定性和不完备性. 仿真结果表明, 该自适应噪声抵消器的设计方法简单易行, 去噪声效果优于基于平均法的去噪效果.

关键词: 模糊神经网络; 信息融合; 噪声抵消; 自适应滤波

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A

Noise cancellation based on adaptive fuzzy neural networks algorithm for multi-sensory signals

LUN Shu-xian^{1,2}, ZHANG Hua-guang¹

(1. School of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China; 2. School of Information Science and Engineering, Bohai University, Jingzhou 121001, China. Correspondent: LUN Shu-xian, E-mail: jzlunzi@163.com)

Abstract: Adaptive fuzzy neural network system (AFNNS) is employed for adaptive noise cancellation using multi-sensory signal recordings of the same noise source. The method based on AFNNS not only achieves the H_2 optimal reconstruction but also possesses a desired robust against the effect of uncertainties and incomplete information in signal processing. Simulation result shows that the design method can not only obtain simplicity of implementation but also achieve better reconstruction performance than the method based on the averaging method.

Key words: fuzzy neural network; information fusion; noise cancellation; adaptive filter

1 引言

自适应噪声抵消器^[1]利用与噪声相关的信号来调整滤波器的参数, 实现对噪声的抑制. 标准的噪声抵消问题一般只针对一路原始信号进行去噪, 但在许多应用中, 需要选取原始信号的多路测量, 这有助于改进噪声抵消器的性能. 传统的方法是利用同一噪声源产生的多路噪声信号, 对真实信号进行估计. 一种方法是信息融合器 (LC) 从采集到的多通道输出信号中, 根据某种准则选取一个最好的输出作

为被估计信号^[2]; 另一种方法是 LC 将采集到的多通道输出信号进行平均.

本文选用 LC 输出的线性组合作为被估计信号的输出, 根据某种准则自适应调整权系数. 这种方法可将基于平均的方法作为它的一个特例, 既避免了基于最优法的算法陷入局部最优的可能性, 又克服了基于平均法可能失去更准确的信息, 造成信号的估计误差过大的缺陷. 自适应模糊神经网络 (AFNNS) 具有非线性映射和学习能力, 可用于噪声

收稿日期: 2003-02-25; 修回日期: 2003-06-25.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60274017); 沈阳市科技攻关项目 (1023090-2-00).

作者简介: 伦淑娴 (1972—), 女, 辽宁锦州人, 讲师, 博士生, 从事智能控制、信号处理的研究; 张化光 (1959—), 男, 吉林省吉林市人, 教授, 博士生导师, 从事模糊控制、智能控制等研究.

信号的非线性建模,达到消除噪声的目的。

2 AFNNS 噪声抵消器的设计原理

在实际中,对于同一原始信号通常有多路测量,如图 1 所示。假定传输通道不失真,观测 l 个噪声信号 $d_i(k)$ 可写成^[3]

$$d_i(k) = g_i s(k) + v_i(k), i = 1, 2, \dots, l. \quad (1)$$

其中: g_i 为传输通道的传输函数, $v_i(k)$ 为每一个传输通道的加性干扰或噪声, l 为观测通道的总数。

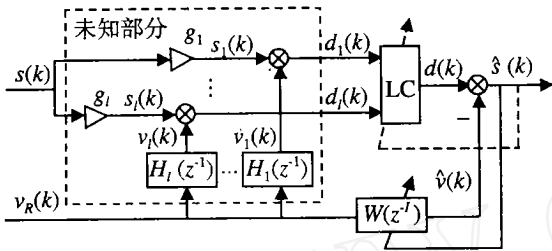


图 1 多传感信号的自适应噪声抵消器

不失一般性,假定采用同一噪声参考信号 $v_R(k)$, $v_R(k)$ 与 $s(k)$ 不相关但与 $v_i(k)$ 相关。 $v_i(k)$ ($i = 1, 2, \dots, l$) 可看作是由 $v_R(k)$ 分别激励成型滤波器 $H_1(z^{-1}), H_2(z^{-1}), \dots, H_l(z^{-1})$ 而形成的。假定 $H_i(z^{-1})$ ($i = 1, 2, \dots, l$) 是无限冲激响应(IIR)型滤波器,其阶次分别为 n_1, n_2, \dots, n_l ; $W(z^{-1})$ 是 FIR 型滤波器,其参数是自适应调整的。由图 1 可知, $s(k)$ 的估计信号 $\hat{s}(k)$ 可写成

$$\hat{s}(k) = \sum_{i=1}^l c_i d_i(k) - \hat{v}(k) = c^T d(k) - \hat{v}(k). \quad (2)$$

其中: $\hat{v}(k)$ 为噪声的估计信号, c_i ($i = 1, 2, \dots, l$) 为线性组合器(LC)的权值。为保证 $\hat{s}(k)$ 是 $s(k)$ 的

无偏估计, c_i 须满足 $\sum_{i=1}^l c_i = 1$ 。设计噪声抵消器的目的是要估计出 c_i 和 $W(z^{-1})$ 的参数。

3 基于 AFNNS 的自适应噪声抵消器的设计

首先介绍单传感器信号的 AFNNS 系统去噪原理,其结构如图 2 所示。

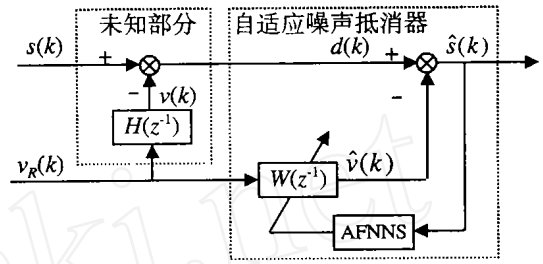


图 2 AFNNS 噪声消除器结构

为了获得噪声 $v(k)$, 须辨识出 $H(z^{-1})$, 其本质是获取滤波器 $W(z^{-1})$ 。在获得噪声源 $v_R(k)$ 的条件下,对噪声非线性特性建模是消除噪声影响的一种有效方法。基于 AFNNS^[4] 的非线性映射和学习能力,可用于噪声信号的非线性建模^[5,6]。

在进行 AFNNS 训练之前,必须获得噪声非线性特性的输入输出数据对 $(v_R(k), v(k))$, 但期望输出 $v(k)$ 一般无法获得,为此,需采用测量输出 $d(k)$ 作为期望输出对 AFNNS 进行训练, $d(k)$ 是在 $v(k)$ 的基础上迭加了 $s(k)$ 而获得的输出。令 $s(k)$ 为零均值信号且与噪声信号不相关,利用 $d(k)$ 代替 $v(k)$ 可完成对噪声非线性特性的建模。在利用 AFNNS 建模时,假设噪声非线性特性的阶次已知。虽然有时实际的噪声是多阶的,但更高阶次的噪声对系统的影响很小,因此只需考虑其中某些重要的阶次。

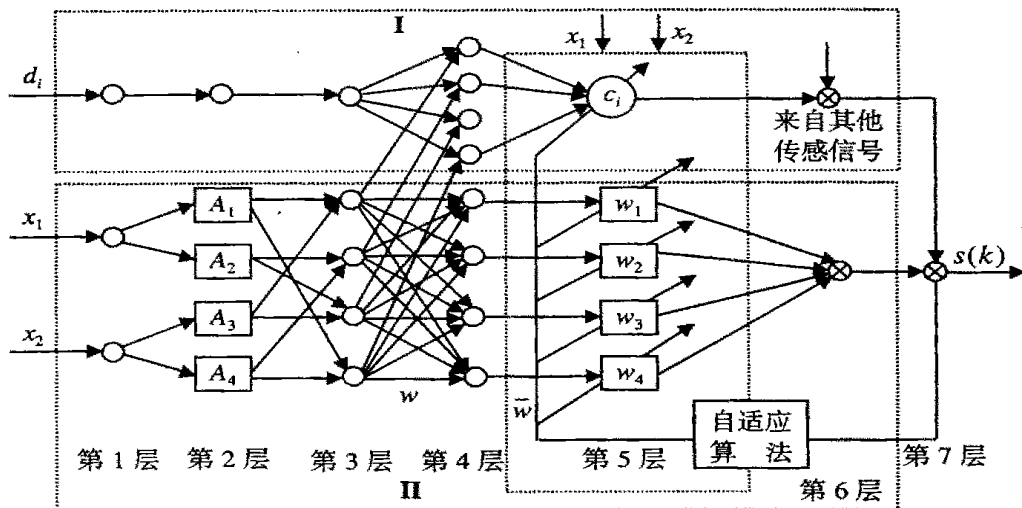


图 3 基于自适应模糊神经网络的滤波原理

用于多传感信号的 AFNNS 去噪系统的结构如图 3 所示. 其中：方形节点表示模糊神经网络的模糊子集部分, 圆形节点表示普通神经网络的节点.

第 1 层: AFNNS 的输入层节点 x_i 表示参考噪声信号, 这里仅以二阶为例, x_i 为 $v_R(k)$ 和 $v_R(k - 1)$; $d_i (i = 1, 2, \dots, l)$ 表示多传感信号, 在此仅画出一个信号.

第 2 层: 以方形表示的节点, 其输出函数为

$$O_{1,i} = \begin{cases} \mu_{A_i}(x_1), & i = 1, 2; \\ \mu_{B_{i-2}}(x_2), & i = 3, 4. \end{cases} \quad (3)$$

其中: A_i 或 B_{i-2} 是与该节点函数值相关的语言变量, 如大或小等; $O_{1,i}$ 是模糊集 $A (A = A_1, A_2, A_3(B_1), A_4(B_2))$ 的隶属函数; 圆形节点的输出 $O_{d,i} = d_i, i = 1, 2, \dots, l$.

第 3 层: 虚框 的节点是将输入信号相乘, 而将乘积作为节点输出, 即

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x_1) \mu_{B_i}(x_2), i = 1, 2. \quad (4)$$

虚框 的节点输出等于输入, 仍为 d_i .

第 4 层: 虚框 中第 i 个节点计算第 i 条规则 w_i 与全部规则 w 之和的比值, 即

$$O_{4,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, i = 1, 2. \quad (5)$$

虚框 I 中每个节点输入为各阶次参考噪声的各模糊子集的组合 d_i , 输出为

$$O_{4,(i,j)}^1 = d_i + w_i, \quad j = 1, 2, \dots, 4, i = 1, 2, \dots, l. \quad (6)$$

第 5 层: 每个节点 i 为自适应节点, x_1 和 x_2 为输入, 虚框 的输出为^[4]

$$O_{5,i} = \bar{w}f_i = \bar{w}_i(p_i x_1 + q_i x_2 + r_i), \quad i = 1, 2. \quad (7)$$

其中: p_i 和 q_i 为加权系数, r_i 为神经元的阈值. 虚框 的节点输出为

$$O_{5,i} = c_i(m_i x_1 + n_i x_2 + d_i), \quad i = 1, 2, \dots, l. \quad (8)$$

其中: m_i 和 n_i 为加权系数, d_i 为相应节点的阈值.

第 6 层: 单节点是两个固定节点, 虚框 的节点输出为

$$O_6 = \bar{w}f_i = \frac{w f_i}{w_i}, \quad (9)$$

虚框 的节点输出为

$$O_6^1 = \bar{c}d_i = \frac{c_i d_i}{c_i}. \quad (10)$$

4 实例仿真

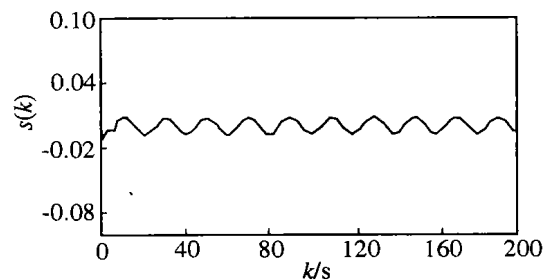
例 1 实际信号 $s(k) = \sin(0.1 k)$, 参考噪声

信号为零均值、方差为 1 的白噪声. 实际噪声为

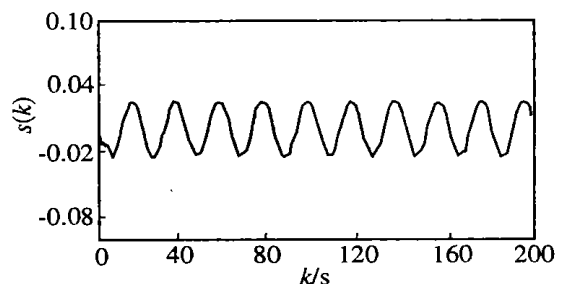
$$v_1(k) = 4 \sin \frac{v_R(k) v_R(k - 1)}{1 + v_R^2(k - 1)},$$

$v_2(k)$ 为白噪声. 假定噪声的阶次为 2, 即 $v(k) = f(v_R(k), v_R(k - 1))$. 对欲去噪的信号采用多传感器信息融合, 传感器个数为 2. 自适应神经网络模糊推理系统 (ANFIS) 的输入节点取为 4 个, 分别为 $v_R(k), v_R(k - 1)$ 和 $d_i (i = 1, 2)$. $v_R(k)$ 和 $v_R(k - 1)$ 所对应的输入节点的模糊子集取为 3, 分别为大、中、小, 隶属度函数取为高斯函数. 于是, 第 2 层节点数为 8 个; 第 3 层节点数为 11 个; 第 4 层节点数为 27 个; 第 5 层节点数为 11 个, 分别表示各条规则真值的归一化值和 LC 的权系数; 第 6 层节点数为 2 个, 分别表示 LC 的输出和估计的噪声信号 $\hat{v}(k)$; 第 7 层节点数为 1 个, 即 $s(k)$ 的估计值. 采用反向传播算法来训练网络, 对一组给定的输入输出数据集进行学习, 以调整模糊推理系统中变量的隶属度函数的参数.

用 Matlab 6.1 进行仿真, 去噪后的误差信号 (原始信号与恢复信号之差) 如图 4 所示. 图 4(a) 为本文设计的 LC 加权时 ($c_1 = 0.33, c_2 = 0.67$) ANFIS 的误差信号, 图 4(b) 为 LC 采用加权平均法时 ($c_1 = 0.5, c_2 = 0.5$) 的误差信号.



(a) 本文方法的误差信号



(b) 加权平均法的误差信号

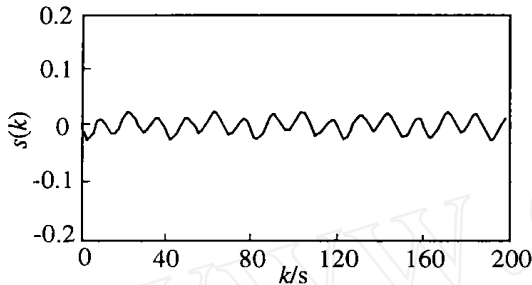
图 4 ANFNS 噪声抵消器的误差信号(1)

例 2 实际信号 $s(k) = \sin(0.1 k) \times \cos(0.15 k)$, 仍利用上述 AFNNS 系统, 假定噪声的阶次为 2, 其余各项与例 1 相同. 实际噪声为有色噪声, 即

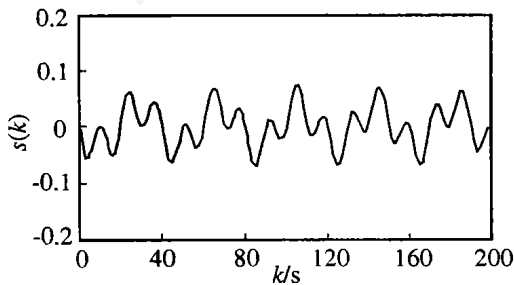
$$v_1(k) = 4 \sin \frac{v_R(k) v_R(k-1)}{1 + v_R^2(k-1)},$$

$$v_2(k) = 4 \sin \frac{v_R(k) v_R(k-1) v_R(k-2)}{1 + v_R^2(k-1) + v_R^2(k-2)}.$$

本文方法的滤波效果如图5(a)所示;基于平均法的ANFIS滤波效果如图5(b)所示.仿真结果表明,当 $v_1(k)$ 和 $v_2(k)$ 为各类噪声时,基于加权系数的LC的AFNNS系统去噪效果良好.



(a) 本文方法的误差信号



(b) 加权平均法的误差信号

图5 AFNNS噪声抵消器的误差信号(2)

5 结论

本文针对同一信号源的多传感信号,通过自适应模糊神经网络获取信息融合LC的加权系数和横向滤波器的系数,以此设计噪声抵消器. AFNNS具有非线性映射和学习能力,可用于噪声信号的非线性建模,达到消除噪声的目的.使用ANFIS不需反复实验建立隶属度函数,能使去噪的滤波器结构更加简单.仿真结果表明,该自适应噪声抵消器的设计方法简单易行,去噪效果良好,是自适应滤波器的一种有效的方法.

参考文献(References):

- [1] Simon Haykin. *Adaptive Filter Theory*[M]. Fourth edition. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002. 320-331.
- [2] Kuo S M, Chen J. Multiple-microphone acoustic echo cancellation system with the partial adaptive process[J]. *Digital Signal Processing*, 1993, 3(1): 54-63.
- [3] Vorobyov S A, Cichocki A. Adaptive noise cancellation for multi-sensory signals [J]. *Fluctuation and Noise Letters*, 2001, 1(1): 13-24.
- [4] 张化光,何希勤. 模糊自适应控制理论及应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2002. 115-121.
- [5] Er M J, Sia A M. Adaptive noise cancellation using dynamic fuzzy neural networks algorithm[A]. *Proc 15th of IFAC World Congress*[C]. Barcelona, 2002.
- [6] Cichocki A, Vorobyov S A, Rutkowski T. Nonlinear interference cancellation using neural networks[A]. *Proc Int Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications* [C]. Hawaii, 1999. 875-878.

(上接第666页)

- [7] Savkin A V, Skafidas E, Evans R J. Robust output feedback stabilizability via controller switching [J]. *Automatica*, 1999, 35(1): 69-74.
- [8] 张霄力,刘玉忠,赵军. 一类切换系统的鲁棒控制[J]. 东北大学学报, 2000, 21(5): 498-500.
(Zhang X L, Liu Y Z, Zhao J. Robust control of a class of switched systems[J]. *J of Northeastern University*, 2000, 21(5): 498-500.)
- [9] 翟长连,何苇,吴智铭. 切换系统的稳定性及镇定控制器设计[J]. 信息与控制, 2000, 29(1): 21-26.
(Zhai C L, He W, Wu Z M. Stability and stabilizing design of m -switched systems[J]. *Information and Control*, 2000, 29(1): 21-26.)
- [10] 史忠科. 离散系统鲁棒稳定的简化条件及其反馈控制方法[J]. 控制与决策, 2003, 18(2): 254-256.
(Shi Z K. Simplified condition and feedback control method for robust stability of discrete-time linear systems [J]. *Control and Decision*, 2003, 18(2): 254-256.)
- [11] Peleties P, Decarlo R. Asymptotical stability of m -switched systems using Lyapunov-like functions[A]. *Proc American Control Conf*[C]. Boston, 1991. 1679-1684.
- [12] Branicky M S. Multiple Lyapunov functions and other analysis tools for switched and hybrid systems[J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 1998, 43(4): 475-482.