

用 Adaline网络实现电力线载波机的同频带全双工通信

范函

(许继昌南通信设备有限公司,河南 许昌 461000)

摘要: 分析了电力线载波机(PLC)的回波信号干扰问题,并指出了由此带来的电力线信道利用率低的问题。提出了一种利用 Adaline网络(自适应线性神经网络)抵消回波信号的方法。利用神经网络强大的自适应能力、学习能力进行回波抵消,可使电力线载波机在同频带内实现全双工通信。由此即可提高信道利用率,因而此方法具有相当高的实用价值。结合 ESB900系列数字式电力线载波机,探讨了在数字式电力线载波机上如何具体实现同频带内全双工通信,并利用 Matlab对其可行性进行了仿真。

关键词: 自适应线性神经网络; 电力线载波机; 回波抵消; 全双工通信; LMS算法

中图分类号: TM73 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2006)14-0050-03

0 引言

电力线载波(PLC)就是复用高压输电线路传输载波信号的通信方式,是电力系统特有的一种通信技术。由于电力线载波机 PLC(Power Line Carrier)的高频差接网络与传输线路的阻抗不能完全匹配,导致载波机发送信号不可避免地要漏入本机接收支路,产生所谓的回波信号^[2]。所以传统的 PLC通过频分法分隔信道(如收、发各 4 kHz)实现双频全双工传输,但这种设计导致对电力线信道的利用率低,只适合于传输速率比较低的情况。而且在收发频带间隔 2B(2 ×4 kHz)时,还要用高频差桥隔离收发频带,在调试时要用手调整高频差桥中的平衡网络使发送信号在发送方向对接收输入端的衰减最大。为进一步提高信道的利用率,增加载波通信系统的总容量,本文提出利用回波抵消技术 ECT(Echo Cancellation Technique)完成信道分隔。考虑到 PLC的接收信号与回波信号是相互独立的,可通过 Adaline网络(自适应线性神经网络),将回波信号作为噪声源,而把混有噪声的接收信号作为要求的响应,通过对消得到清晰的接收信号,从而解决回波干扰问题。这样高频差桥已无存在的必要,进而简化了载波机的结构,同时可减少调试工作量。最终在通信双方共用的载波频带内建立一条全双工信道。

1 Adaline网络^[1,3]

Adaline网络是 Stanford大学的 Widrow教授于 1962年首先提出的,其网络示意图如图 1所示。

原理如下:

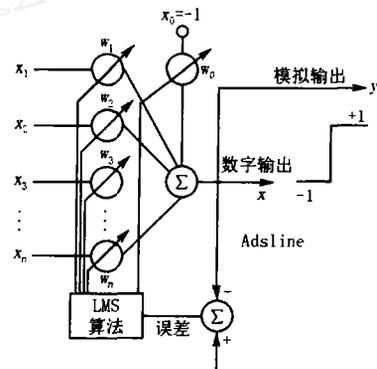


图 1 Adaline网络示意图

Fig 1 Adaline NN

设输入向量为 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$, 权系数向量为 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$, 输出分为两个部分:模拟输出部分 y 和数字输出部分 z 。输入与输出部分之间的关系为

$$y = \sum_{i=1}^n W_i X_i \quad (1)$$

$$z = \text{sgn}(y) \quad (2)$$

其中: θ 为阈值, $\text{sgn}(y)$ 为符号函数。

$$\text{Sgn}(y) = \begin{cases} 1, & y \geq 0 \\ -1, & y < 0 \end{cases}$$

令 $W_0 = \theta, X_0 = -1$, 则式(1)可改写为

$$y = \sum_{i=0}^n W_i X_i \quad (3)$$

如果已知 Adaline网络的要求响应为 t , 则我们的目的是调节权系数向量 w , 使得网络的模拟输出量 y 与要求响应 t 之间的误差达到最小。显然, Adaline网络也是一种有教师的学习算法。通常采

用下面的 LMS 算法,可保证 Adaline 网络学习过程是收敛的。

设当前迭代为 k 次迭代, $x^k = (x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k)$ 为当前输入样本, y^k 为当前模拟输出 y^k 与要求响应 t 之间的误差, $w^k = (w_1^k, \dots, w_n^k)$ 为当前的权系数向量, w^{k+1} 为下一次迭代的权系数向量,则

$$W^{k+1} = w^k + \frac{\mu}{2} \frac{t - y^k}{x^k} X^k \quad (4)$$

其中: μ 是控制因子。当前模拟输出与要求响应之间的误差为

$$e^k = t - y^k = t - \sum_{i=1}^n W_i^k X_i^k = t - (W^k)^T X^k \quad (5)$$

当网络的输入不变时,误差的变化为当前误差的 μ 倍。又由于

$$x^{k+1} = (1 - \mu) x^k$$

下一次迭代的误差为当前误差的 $(1 - \mu)$ 倍,因此,适当地选取 μ 因子可以控制收敛的速度和稳定性。显然当 $|1 - \mu| < 1$, 即 $0 < \mu < 2$ 时, LMS 算法是收敛的,通常取 $0.1 < \mu < 1.0$ 。

2 基于 Adaline 网络进行 PLC 回波抵消的原理

2.1 数字式电力线载波机

ESB900 系列数字式电力线载波机是应用于中高压电力线上传输语音、远动、数据等信息的数字通信设备。其组成如图 2 所示。为避免回波信号, ESB900 系列载波机的信号接收和发送工作在不同的载波频段,如果采用回波抵消技术对载波机加以改进,就可以使通信双方在同一载波频段建立一条全双工信道,使载波机的信道利用率提高一倍。由于 ESB900 系列电力线载波机采用了先进的 DSP 数字信号处理技术,所以很容易取得 Adaline 网络所需要的离散数字信号。利用 Adaline 网络组成的自适应滤波器抵消回波信号,在数字式电力线载波机上可行的。

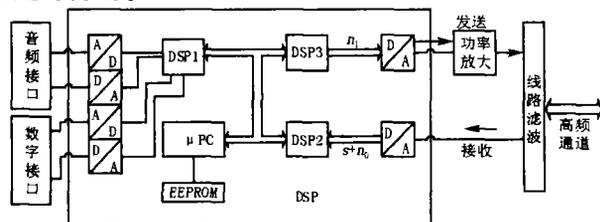


图 2 ESB900 数字式电力线载波机框图

Fig 2 ESB900 digital PLC

2.2 用 Adaline 网络进行 PLC 回波抵消的原理^[1,3]

考虑到 PLC 的接收信号与回波信号是相互独立

的,通过 Adaline 网络,将回波信号作为噪声源,而把混有噪声的接收信号作为要求的响应。其中 Adaline 网络进行回波抵消的原理示意图如图 3 所示。

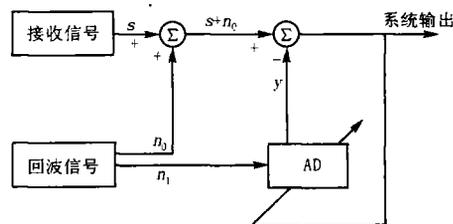


图 3 回波抵消示意图

Fig 3 Echo cancellation system

其中 AD 表示 Adaline 网络。载波机的接收信号 s 加上一个与 s 不相关的回波信号 n_0 作为 Adaline 网络的要求响应,这个要求响应可以取自载波机在接收方向接收到的高频信号经高速 A/D 转换出的数字信号,而将取自载波机在发送方向与回波信号相关的数字基带信号 n_1 输入 Adaline 网络线成的自适应滤波器,其输出为 y , y 与 n_1 相关。在载波机中取得 $s + n_0$ 和 n_1 的环节如图 2 所示。

于是 Adaline 网络的输出与要求响应之间的误差 (系统输出) 为

$$e = s + n_0 - y \quad (6)$$

如果 s 是均值为 0 的平稳随机信号,而 n_0 是一个独立于 s 的随机回波信号,那么可以得到

$$e^2 = s^2 + (n_0 - y)^2 + 2s(n_0 - y) \quad (7)$$

$$E(e^2) = E(s^2) + E(n_0 - y)^2 + 2E(s(n_0 - y)) = E(s^2) + E(n_0 - y)^2 \quad (8)$$

其中: $E(X)$ 表示随机变量 X 的均值。

通过调节 Adaline 网络的权系数,得到

$$E_{\min}(e^2) = E_{\min}(s^2) + E_{\min}(n_0 - y)^2 \quad (9)$$

当 $E_{\min}(n_0 - y)^2 \rightarrow 0$ 时, y 趋近于 n_0 。此时系统的输出即为 s , 其回波信号 n_0 被抵消了。

3 可行性仿真^[3]

电力线载波通信使用频带为 40 ~ 500 kHz, 如果把在此频带的 100 kHz 正弦波经过 300 kHz 采样作为仿真用的回波信号,则有:

$$n_1(k) = 1.2 \sin(2\pi k/3) \quad (10)$$

把 $n_1(k)$ 按 1/10 削减且相移 $\pi/2$ 后得到要被抵消掉的干扰接收信号的回波信号:

$$n_0(k) = 0.12 \sin(2\pi k/3 + \pi/2) \quad (11)$$

同时假定 s 均匀分布于 -0.2 与 $+0.2$ 之间。在这种情况下,一个有两个权值和没有偏置值的神经元就足以实现所需要的滤波器了,滤波器的输入

是回波信号的当前值和前一个值。这样有两输入的滤波器可以使回波信号 n_1 以所期望的方式变化。滤波器如图 4 所示。

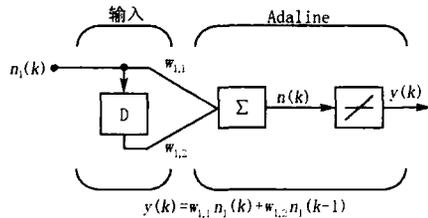


图 4 用于回波抵消的自适应滤波器

Fig 4 Adaptive filter for echo cancellation

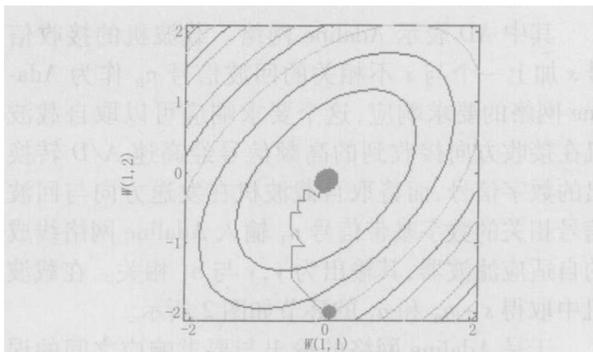


图 5 等于 0.27 时 LMS 的轨迹

Fig 5 LMS trajectory for $\mu = 0.27$

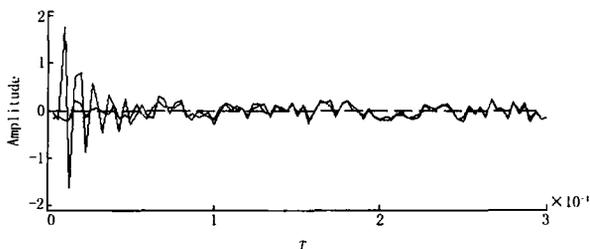


图 6 初始的和恢复后的接收信号

Fig 6 Original and estimated signals

用 Matlab 的神经网络工具箱对此回波抵消系统进行仿真,当学习速度 μ 等于 0.27 时,得到的仿真结果如图 5、图 6、图 7 所示。这个仿真结果表明,利用 Adaline 网络组成的自适应滤波器经过学习有效地抵消了回波信号,恢复了接收信号。

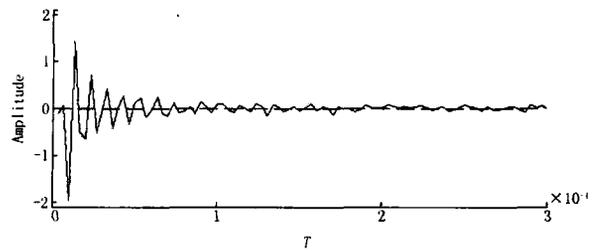


图 7 初始的与恢复后的接收信号之差

Fig 7 Difference between original and estimated signals

4 结论

由以上分析可知,利用神经网络强大的自适应能力、学习能力进行回波抵消,可使电力线载波机在同频带内实现全双工通信。由此,信道利用率就提高了一倍,即可有效地利用越来越拥挤的电力线载波频率资源,具有相当高的实用价值。但本文提出的方法还有待于进一步研究试验,在数字式电力线载波机中利用其先进的 DSP 数字信号处理技术具体实现。

参考文献:

- [1] 阮炯,顾凡及,蔡志杰. 神经动力学模型方法和应用 [M]. 北京:科学出版社,2002
RUAN Jiong, GU Fan-ji, CAI Zhi-jie Method of Neural Network Dynamics and Its Application [M]. Beijing: Science Press, 2002
- [2] 李志文,朱雪龙. 电力线载波通信的数字调制器 [J]. 电力系统通信,2000,(4):13-16,20
LI Zhi-wen, ZHU Xue-long Digital Modem for Power Line Carrier [J]. Telecommunication for Electric Power System, 2000, (4): 13-16, 20
- [3] Hagan M T,等. 神经网络设计 [M]. 戴葵,等译. 北京:机械工业出版社,2002
Hagan M T, et al Neural Network Design [M]. DA I Kui, et al Trans Beijing: China Machine Press, 2002

收稿日期: 2006-01-10; 修回日期: 2006-03-11

作者简介:

范函(1963-),男,本科,工程师,从事电力系统通信设备的调试工作。E-mail: han-21st@yahoo.com.cn

Full-duplex communication of PLC in same frequency band based on Adaline NN

FAN Han

(XJ Changnan Communication Co., Ltd, Xuchang 461000, China)

Abstract: This paper analyzed the echo signal disturbing problem of PLC which will result in lower channel use factor to solve this problem, an echo cancellation method based on Adaline NN (Auto-adapted linear nerve network) is advanced. Using formidable auto-adapted ability and learning ability of NN to Counterbalance echo, the full-duplex communication of PLC in same frequency can be realized, and the channel use factor can be raised. Combining with ESB900 digital PLC, it discusses how to practically realize full-duplex communication of PLC in same frequency. The feasibility of this method is studied with Matlab simulation.

Key words: Adaline NN; PLC; echo cancellation; full-duplex communication; LMS