

基于自适应均衡器的 LMS 和 RLS 算法仿真分析

李明, 黄华, 夏建刚

(四川大学 电气信息学院, 四川 成都 610065)

摘要:介绍了自适应均衡器下的 LMS 和 RLS 算法的基本原理,并分析了 2 种算法中的忘却因子 μ 对 LMS 和 RLS 算法收敛性能的影响。通过仿真可知,在相同忘却因子下,RLS 算法的收敛速度明显快于 LMS 算法,并且误差也比 LMS 算法小。

关键词:自适应均衡器;收敛;LMS;RLS;忘却因子

中图分类号:TN911

文献标识码:A

Simulation analysis of LMS and RLS algorithms based on adaptive equalizer

LI Ming, HUANG Hua, XIA Jian Gang

(School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: Basic principles of LMS and RLS algorithms based on adaptive equalizer are introduced firstly. Oblivion gene μ is the main factor affecting the convergence performance. The result of the simulation shows that the convergence speed of RLS algorithm is more faster obviously than LMS algorithm, and the errors are smaller than LMS algorithm too.

Key words: adaptive equalizer; convergence; LMS; RLS; oblivion gene

自适应均衡器属于自适应信号处理的应用范畴,在过去的几十年中,作为自适应信号处理的应用之一的自适应均衡器得到了深入的研究。各种各样的自适应均衡算法如迫零 (ZF) 算法、最小均方 (LMS) 算法、递归最小二乘 (RLS) 算法、变换域均衡算法、Busgang 算法、高阶或循环统计量算法、基于非线性滤波器或神经网络的均衡算法等应运而生。决定均衡器算法性能的因素有收敛速度、失调、计算复杂度和数值特性等。本文选择了两种典型的自适应算法:以 LMS 自适应均衡器和 RLS 自适应均衡器为基础,用 MATLAB 仿真软件对 LMS 和 RLS 两种算法进行仿真,比较并分析了两种算法的性能。

1 自适应均衡器

自适应均衡器的工作过程包含两个阶段,即训练过程和跟踪过程。典型的训练序列是伪随机二进制信号或一个固定的波形信号序列,紧跟在训练序列后面的是用户消息码元序列。接收机的自适应均衡器采用递归算法估计信道特性,调整滤波器参数,补偿信道特性失真,训练序列的选择应满足接收机均衡器在最恶劣的信道估计条件下也能实现滤波器参数调整。所以,训练序列结束后,均衡器参数基本上接近最佳值,以保证用户数据的接收,均衡器的

训练过程成功了,成为均衡器的收敛。用户数据序列需要被分割成数据分组或时隙分段传送。均衡器通常工作在接收机的基带或中频信号部分,基带信号的复包络含有信道带通信号的全部信息,所以,均衡器通常在基带信号完成估计信道冲激响应和解调输出信号实现自适应均衡算法等。无线通信均衡器原理简图如图 1 所示。

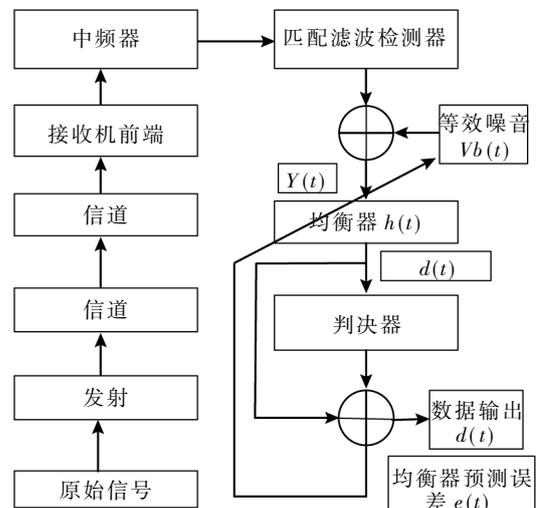


图 1 无线通信均衡器原理框图

《微型机与应用》2009 年第 20 期

技术与方法

Technique and Method

图1中,原始信号为 $x(t)$, $h(t)$ 是发射机、无线信道和接收机射频/中频级合在一起的系统等复合滤波器的冲激响应,所以均衡器的输入可表示为:

$$H(t)y(t)=x(t)\times H^*(t)+V_i(t) \quad (1)$$

式中 $H^*(t)$ 是 $H(t)$ 的复共轭,高均衡器机射频/中频级合在一起的系统等复合滤波器冲激响应。设均衡器的冲激响应是 $h_{eq}(t)$,均衡器输出码元波形可表示为:

$$\begin{aligned} d(t) &= x(t)\times h^*(t)+v_i(t)\times h_{eq}(t) \\ &= x(t)\times g(t)+v_b(t)\times h_{eq}(t) \end{aligned} \quad (2)$$

2 自适应均衡算法

利用自适应均衡器补偿未知时变信道的特性,需要采用有效的算法跟踪信道特性变化来更新均衡器的加权系数。而适合自适应均衡器的算法有多种,下面就LMS算法和RLS算法的原理加以介绍。

2.1 基于LMS的自适应均衡算法

LMS算法^[1]采用的是最小均方差准则,代价函数是:

$$J=E[|e(n)|^2]=E[|d(n)-\hat{x}(n)|^2] \quad (3)$$

式中 $d(n)$ 是在第 n 个信号传输间隔中发送的信息符号, $\hat{x}(n)$ 是均衡器输出端对该符号的估计值。

利用梯度下降法,可以得到权向量的迭代公式:

$$c(n+1)=c(n)+2\mu e^*(n)y(n) \quad (4)$$

式中, $c(n)$ 是均衡器抽头加权矢量, $y(n)$ 是均衡器的输入序列, μ 是收敛因子,且有 $0<\mu<1/\lambda_{\max}$, λ_{\max} 是均衡器输入矢量自相关矩阵统计平均所得矩阵的最大特征。

2.2 基于RLS的自适应均衡算法

RLS算法^[2]所采用的准则是最小二乘准则,其代价函数为:

$$J=\sum_{n=0}^i \lambda^{i-n}|e(n)|^2=\sum_{n=0}^i \lambda^{i-n}|\hat{x}(n)-c^H(n-1)y(n)|^2 \quad (5)$$

式中 λ 称为遗忘因子,且有 $0<\lambda<1$ 。

RLS算法的权向量的迭代公式为:

$$c(n)=c(n-1)+g(n)e(n) \quad (6)$$

式中, $g(n)$ 为:

$$g(n)=\frac{R^{-1}(n-1)y(n)}{\lambda+y^H(n)R^{-1}(n-1)y(n)} \quad (7)$$

其中, $R(n)$ 是均衡器输入矢量的自相关矩阵。

3 仿真结果分析

利用MATLAB仿真工具对基于LMS和RLS的自适应均衡算法进行相关仿真分析,进而对两类算法的性能作比较。

为了更直观地描述,考虑一个线性自适应均衡器。随机数据产生双极性的随机序列 $x[n]$,它随机地取+1和-1。随机信号通过一个信道传输,信道性质可由一个三系数FIR滤波器刻画,滤波器系数分别是0.3、0.9、0.3。在信道输出加入方差为 σ 平方的高斯白噪声,设计一个有11个权系数的FIR结构的自适应均衡器,令均衡器的期望响应为 $x[n-7]$,选择几个合理的白噪声方差 σ 平方(不同信

噪比)^[4]。

采用基于LMS和RLS的自适应均衡算法分别进行实验,画出一组实验的误差平方的收敛曲线,给出最后设计滤波器系数。一次实验的训练序列长度为500。进行20次独立实验,画出误差平方的收敛曲线。采用基于LMS的自适应均衡算法,在相同信噪比,忘却因子分别为 $\mu=1.5$ 、 $\mu=1$ 和 $\mu=0.4$ 的情况下,20次实验误差平方的值曲线分别如图2、图3和图4所示。采用RLS法,在相同信噪比,忘却因子分别为 $\mu=1$ 、 $\mu=0.8$ 和 $\mu=0.6$ 的情况下,20次实验误差平方的均值曲线分别如图5、图6和图7所示。

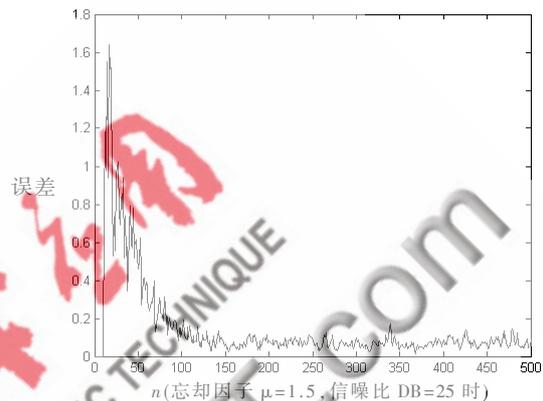


图2 LMS法20次实验误差平方的均值曲线

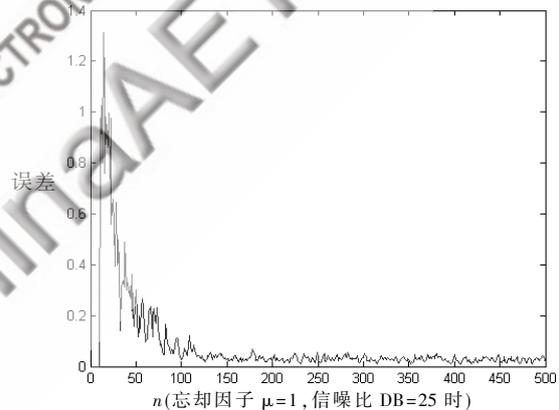


图3 LMS法20次实验误差平方的均值曲线

通过上述仿真结果可以看出,观察三个不同步长情况下的平均误差曲线,步长越小,平均误差越小,但收敛速度越慢,为了好的精度,必然牺牲收敛速度。RLS算法的收敛速度明显比LMS算法快,并且误差也比LMS算法小。当忘却因子趋于0时,RLS算法也就是LMS算法。

通过仿真可以看出相同忘却因子下,RLS算法的收敛速度明显比LMS算法快,并且误差也比LMS算法小。当忘却因子趋于0时,RLS算法也就是LMS算法。LMS和RLS都还有很多改进的算法,进一步的工作就是继续分析这些算法,并且不断完善系统模型。

参考文献

- [1] 何振亚.自适应信号处理[M].北京:科学出版社,2002:1-6.
- [2] 张贤达.现代信号处理[M].北京:清华大学出版社,2002:206-210.

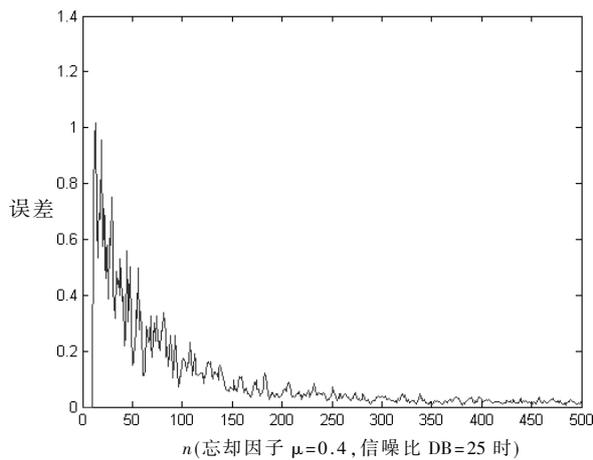


图4 LMS法20次实验误差平方的均值曲线

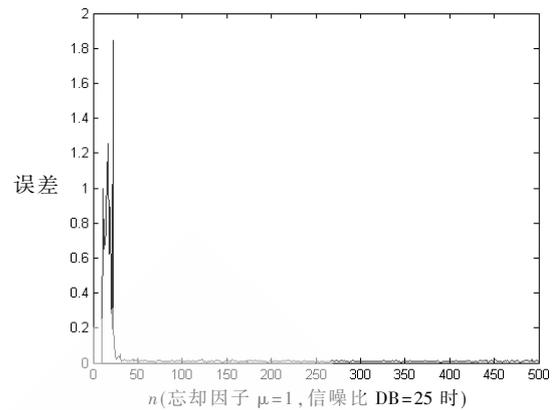


图5 RLS法20次实验误差平方的均值曲线

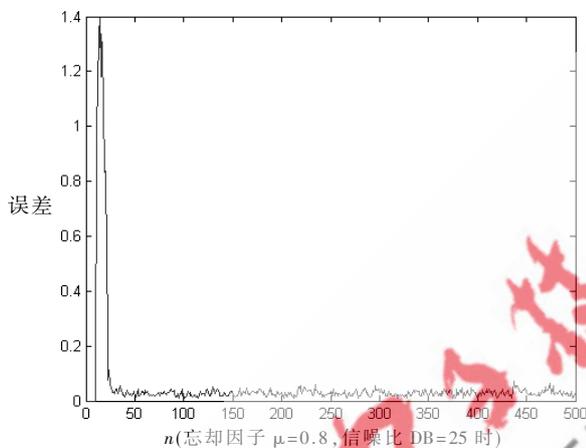


图6 RLS法20次实验误差平方的均值曲线

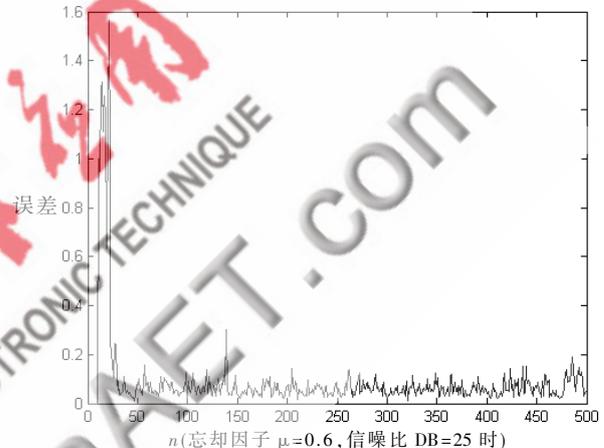


图7 RLS法20次实验误差平方的均值曲线

- [3] LI Jun Ping, MA Jie, LIU Shou Yin. RLS channel estimation with superimposed training sequence in OFDM systems[C]. 2008 11th IEEE International on Communication Technology Proceedings.
- [4] SOLIET E A. RLS solution for the adaptive recursive filter[C]. Radio Science Conference, 1996, Cairo, Egypt. Thirteenth -

Nationa 119-21 March 1996:451 - 458.

(收稿日期:2009-03-18)

(上接第 52 页)

- [3] OTSU N A. Threshold selection method from Gray-Level histograms[J]. IEEE Trans on System Man and Cybernetics, 1979, 9(1):62-66.
- [4] 付忠良. 图像阈值选取方法-Otsu 方法的推广[J]. 计算机应用, 2000, 20(5):37-39.
- [5] 王家文, 李仰军. Matlab7.0 图形图像处理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- [6] 章敏晋. 基于内容的视觉信息检索[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.

- [7] SMEULDERSAW M, WORRINGM, SANTINI S. Content-based image retrieval at the end of the early years [J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(12): 1349-1380.
- [8] ARDIZZONE E, CASCIA M. Automatic video database indexing and retrieval [J]. Multimedia Tools and Applications, 1997, 4(1): 29-56.

(收稿日期:2009-07-13)