

doi: 10.7690/bgzd.2013.11.019

一种改进的双极性训练序列时域均衡 LMS 算法

刘昌锦, 韦哲

(解放军陆军军官学院防空兵系, 合肥 230031)

摘要: 为解决双极性训练序列无线信道中码间干扰的抑制问题, 针对最小均方 (least mean square, LMS) 类算法在误差预测范围、步长选择和功率自适应方面的不足, 提出一种前向预测—判决算法。建立了 ARMA(p, q)模型, 由梯度预测公式推导出本算法的具体形式, 设置误码率和输出信号功率作为算法性能的衡量标准, Matlab 仿真结果表明: 该算法能较好地适应双极性序列, 跟踪多径信道, 大大减小误码率, 使检出的信号功率不会因噪声的湮没而明显减小。

关键词: 时域均衡; LMS 算法; 前向预测—判决算法

中图分类号: TJ03 **文献标志码:** A

An Improved Time Domain Equalization LMS Algorithm for Bipolar Training Sequence

Liu Changjin, Wei Zhe

(Department of Air Defense Force, Army Officer Academy of PLA, Hefei 230031, China)

Abstract: In order to solve the problem about mitigation ISI, according to the disadvantage of least mean square (LMS) Algorithm in range of error prediction, choice of step size and power adaptation, a new forward prediction-decision algorithm is proposed. ARMA(p, q) model is built. The form of algorithm is derived from gradient prediction formula. Bit error rate (BER) and output signal power are set as standards of algorithm performance. Matlab simulation shows that the algorithm is suitable for bipolar sequence and tracking multipath channel, reduces BER and makes signal power will not decrease by noise annihilation.

Key words: time domain equalization; LMS Algorithm; forward prediction-decision algorithm

0 引言

无线通信中, 多径效应引起的信号混叠以及抽样时刻不能完全对准产生码间干扰的主要原因, 如何均衡码间干扰具有重要意义。为了使包括发送滤波器、传输信道、接收滤波器和均衡器在内的整个信道的冲击响应达到理想的单位冲击响应, 必须在估计信道的前提下加入适当阶数的均衡器, 并计算均衡器的权向量。在信道变化情况下, 需要发送训练序列, 其形式应与信息序列一致, 通过自适应均衡算法调整均衡器抽头权向量, 使误差收敛。

基本最小均方 (least mean square, LMS) 算法^[1-5]依据均方误差最小原则, 将 wiener 滤波器的真实梯度向量用瞬时梯度向量代替, 通过迭代反馈运算逐步逼近最优滤波器权向量。LMS 算法在不同的应用中存在以下问题: 1) 下一次迭代的权向量的计算仅由本次的输入及误差决定, 预测范围有限; 2) 步长为常数, 可能产生发散或稳态误差较大; 3) 没有功率自适应, 待检测信号与期望信号相比很小或湮没在噪声中时, 算法会发散。LMS 算法的不足会导致在跟踪信道阶段和稳态阶段都会出现较高的误码

率, 在时变信道中需要跟踪信道变化; 因此, 笔者引进快速收敛的思想, 提出一种改进的双极性训练序列时域均衡 LMS 算法。

1 前向预测—判决算法的提出与改进

1.1 双极性训练序列

训练序列是收发双方已知的确定信号, 但为了与已知信号比较, 在接收端相当于随机信号。对于双极性序列, 其状态空间为有限取值, 但对于不同信号源其后效性未知, 即当前取值是否与之前时刻输出有关, 且影响的阶数。在时不变系统下, 可用 ARMA(p, q)模型^[6]描述

$$x(n) + \sum_{i=1}^p a_i x(n-i) = e(n) + \sum_{j=1}^q b_j e(n-j) \quad (1)$$

其中 $x(n) = \pm 1$ 为随机双极性序列; $e(n)$ 为离散白噪声。在具有唯一平稳解的条件下, 满足 Yule-Walker 方程

$$R_x(l) + \sum_{i=1}^p a_i R_x(l-i) = 0, \quad \forall l > q \quad (2)$$

即在 MA 阶数之外的自相关可用阶数之内的自相关线性表示; 因此, 可以通过加入有限项之前时

收稿日期: 2013-06-14; 修回日期: 2013-07-25

作者简介: 刘昌锦(1958—), 男, 安徽人, 教授, 硕士生导师, 从事通信与信息系统研究。

刻输入向量的线性组合, 来修正 LMS 算法梯度向量中的输入向量。

1.2 前向预测—判决算法及其改进

MMSE 类算法的梯度向量为

$$\nabla J(n) = -2E\{u(n)[d^*(n) - u^H(n)\omega(n)]\} \quad (3)$$

在 LMS 算法中, 以瞬时梯度向量作为 $\nabla J(n)$ 的估计

$$\hat{\nabla} J(n) = -2[u(n)d^*(n) - u(n)u^H(n)\omega(n)] \quad (4)$$

引入前向预测 $u'(n) = u(n) + \sum_{i=1}^M a_i(n)u(n-i)$, 带

入式 (3) 建立 $\nabla J(n)$ 的估计

$$\hat{\nabla} J(n) = -2u'(n)[d^*(n) - u^H(n)\omega(n)] \quad (5)$$

文献[3]提出了一种预测系数的解相关确定方法, 即 $a_i(n) = \frac{u^H(n-i)u(n)}{u^H(n-i)u(n-i)}$ 。为了限制混在输入

信号中期望信号的幅度, 应取归一化功率步长

$$\mu(n) = \frac{\alpha}{\sigma_{uu}^2(n)}$$

$$\omega(n) = \omega(n-1) + \mu(n)u'(n)e^*(n) \quad (6)$$

对于双极性序列, 接收端恢复只需对极性判决即可恢复, 而幅度的影响不大^[7]。为了减小稳态误差, 对每一次均衡器的输出判决后再计算误差, 带入下一次更新。用公式表示为

$$\omega(n) = \omega(n-1) + \mu(n)u'(n)\{d^*(n) - \text{sign}[u^H(n)\omega(n-1)]\} \quad (7)$$

文献[2]指出, 任何横向 FIR 波特间隔均衡器不可能完全均衡非平凡 FIR 信道。而分数间隔均衡器可以提供足够的自由度, 并可消除因抽样延迟而产生的信道畸变; 因此, 通过均衡器之前应对模拟信号过采样, 均衡的结果再降采样。整个流程如图 1。

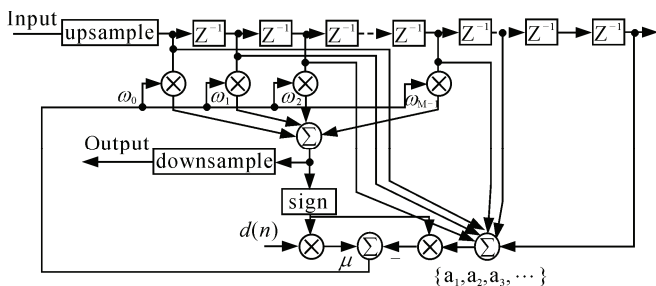


图 1 前向预测—判决滤波器框图

如图 1, 输入为混叠的模拟信号, 经过波特分数间隔的过采样后通过 FIR 横向滤波器, 并将一段时间内的输出向量保持、加权、求和, 与输出的判决结果相乘后, 同期望响应 $d(n)$ 作差, 再调整下一时刻滤波器系数, 滤波器的输出端经过降采样后作

为整个系统的输出。

2 Matlab 仿真实验

为验证本改进算法的优越性, 通过 2 个指标评价: 一是噪声污染下多径信道下在一定时间内的误码率; 二是检出信号的平均功率。通过图 2 所示流程进行仿真。

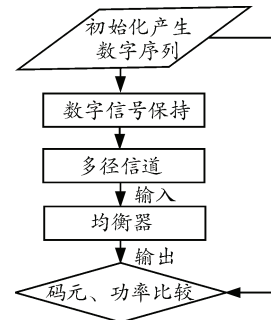


图 2 仿真流程

对指标 1, 用 Matlab 在基带下模拟二元离散信源发生双极性序列, 经过多径信道后, 接收端按照图 1 进行采样和数字处理, 再比较输出双极性序列和输入, 时间从均衡器的第 1 个输出起算。取前向预测阶数 $M=1$ 计算信噪比在一定范围内的误码率。作为对比, 用基本 LMS 算法、LMS 判决均衡算法、分数间隔均衡方法和波特间隔解相关判决均衡算法对相同信号均衡, 得到结果如图 3。

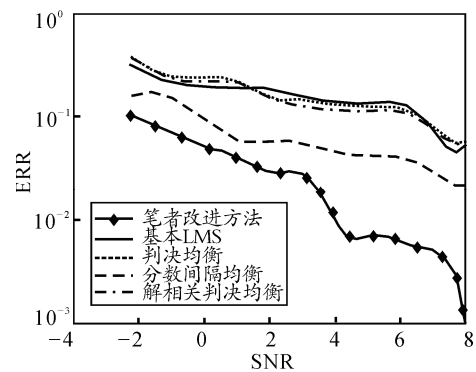


图 3 几种均衡算法的误码率比较

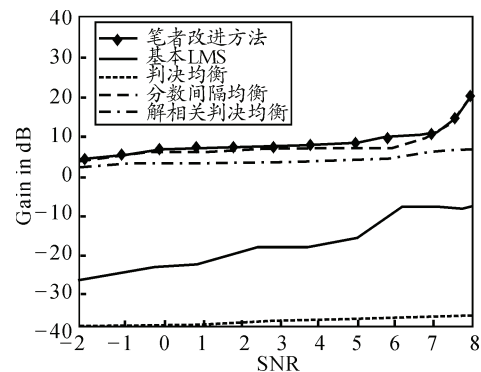


图 4 几种均衡算法的输出功率增益比较