第17卷 第6期 电子科学学刊 Vol. 17 No. 6
1995年11月 JOURNAL OF ELECTRONICS Nov. 1995

适用于MPSK调制的盲均衡技术*

何 平
(西安电子科技大学信息工程系 西安 710071)

摘要 本文提出了适用于MPSK调制的盲均衡算法及其改进形式——变步长盲均衡算法. 计算机模拟表明,这种均衡算法及其改进形式均具有良好的收敛特性,可保证通信系统连续工作而无需周期训练. 但其误码性能略差于传统的LMS均衡算法.

关键词 盲均衡技术,调制,代价函数,变步长

1 引言

盲均衡器由于不再需要训练序列维持正常工作和防止失锁现象发生,故而受到广泛的注意. 盲均衡算法最早由Sato[1]于1975年提出,随后由Godard等人[2,3]一般化后形成Godard类盲均衡算法,主要适用于多电平系统(如QAM系统). 近年来,虽然有关盲均衡技术的研究已取得显著进展[4~7],但均为Godard类盲均衡算法的改进形式,或对Godard盲均衡算法的进一步研究,其应用范围仍为QAM系统. MPSK调制系统是一种应用极为广泛的数字调制方式,理论分析和模拟研究表明,Godard类盲均衡算法对MPSK信号的均衡能力较差,已不能适用于采用MPSK调制的系统.

本文根据MPSK信号的特点,提出了适用于MPSK系统的盲均衡算法,理论分析和计算机模拟表明,该算法具有优良的收敛特性.

2 适用于MPSK信号的盲均衡算法

MPSK信号为恒包络信号,信息存在于相位中,其复包络可写为

$$I_K = a_K + jb_K = A\exp(j\varphi_K), \tag{1}$$

其中A为常数,不失一般性可令$A=1$; $j=\sqrt{-1}$为虚单位. 相位φ_K在M个值

$$\varphi_K = 2n\pi/M, \qquad n = 0,1,2,\cdots,M-1 \quad , \tag{2}$$

中随机等概选取.

在多径信道下,由于存在码间干扰,接收端需采用均衡器来消除码间干扰的影响. 在传统的均衡算法中,如LMS算法,其代价函数为均衡器输出与发送信息之差的均方值,是发送信息瞬时值的函数. 但对接收端来说,发送信息是未知的,故通常采用均衡器输出信号的判决信息来代替,故必然存在误码情况,尤其当信道发生深衰落或恶化时,代价函数

1994-04-16 收到, 1995-06-07 定稿
* 军事电子预研项目资助课题
何 平, 男,1962年生,博士,副教授,现从事数字通信方面(调解技术、自适应信号检测、编码、短波通信和卫星通信)的教学和研究工作.

将严重畸变,造成均衡器失锁或发散,使通信中断。传统均衡器则需定期训练或再启动,使系统复杂化,不利于信息的实时传输。

盲均衡技术则有效地克服了这种不利状况,这在于盲均衡算法中代价函数已不随发送信息的瞬时值变化,如 Godard 类算法[3]。基于 Godard 类盲均衡算法,并结合MPSK信号的特征,可构造适用于 MPSK 调制系统的新型盲均衡算法的代价函数为

$$J(K) \triangleq [1/(2M)]E[|I_K^M - Y_K^M|^2]. \tag{3}$$

其中 $E[\cdot]$ 表示求数学期望,

$$Y_K = \sum_{i=0}^{N} c_i X_{K+i} = C^t(K)X(K), \tag{4}$$

为均衡器输出,

$$C^t(K) = (c_0, c_1, \cdots, c_N)$$

为均衡器抽头系数矢量,

$$X^t(K) = (X_K, X_{K+1}, \cdots, X_{K+N})$$

为均衡器输入信号,"t"表示转置,除上下标外,均为复数。由于

$$I_K^M = A^M \exp(jM\varphi_K) = A^M = 1, \tag{5}$$

则(3)式可改写为

$$J(K) = [1/(2M)]E[|Y_K^M - 1|^2]. \tag{6}$$

可见代价函数已与发送信息的瞬时值无关。利用 LMS 算法,可推导出均衡器抽头系数 $C(K)$ 的递推公式为

$$C(K+1) = C(K) - \mu \frac{\partial J(K)}{\partial C(K)}, \tag{7}$$

$$\frac{\partial J(K)}{\partial C(K)} = E[Y_K^{M-1}(Y_K^{*M} - 1)X(K)]. \tag{8}$$

当均衡器收敛后,$J(K)$ 变化缓慢,且很小,故可用其瞬时值代替,此时递推公式(7),(8)式可改写为

$$C(K+1) = C(K) - \mu[Y_K^{M-1}(Y_K^{*M} - 1)X(K)]. \tag{9}$$

式中,"$*$"表示取复共轭,μ 为步长,决定了均衡器的收敛速度和稳态特性。

3 变步长盲均衡算法

众所周知,自适应均衡算法的目的就是通过不断地调整均衡器抽头系数 $C(K)$,而使代价函数 $J(K)$ 达到最小值,以消除输出信号中的码间干扰。当系统处于理想状态时,应有

$$E[Y_K^M - 1] = 0. \tag{10}$$

然而在实际系统中,由于系统中各种不理想因素的影响,均衡器并非始终处于理想收敛状态,故(10)式不成立。另外在初始状态,均衡器处于跟踪状态,自然希望收敛速度快,这要求算法调整步长 μ 大;而在稳定状态,则希望调整步长 μ 小,以减少稳态误差。所以步长 μ 应为可调的。由于(10)式在跟踪状态时,Y_K 中存在大量干扰,故其值较大,而在稳定状态,则接近理想收敛状态,其值较小,为此定义

$$\mu(K) = \alpha|E[Y_K^M - 1]|. \tag{11}$$

实际计算中，(11)式中的求均值用算术平均值代替，即

$$\mu(K) = \alpha\lambda(K), \tag{12}$$

$$\lambda(K) = \frac{1}{N+1}\left|\sum_{i=0}^{N}\epsilon(K-i)\right|, \tag{13}$$

$$\epsilon(K) = Y_K^M - 1. \tag{14}$$

将(12)～(14)式代入盲均衡算法(9)式中，即得变步长盲均衡算法为

$$C(K+1) = C(K) - \alpha\lambda(K)[Y_K^{M-1}(Y_K^{*M} - 1)X(K)]. \tag{15}$$

α 为比例因子，在(0,1)内取值.

4　计算机模拟和结论

对上述盲均衡算法进行了计算机模拟，信道假设为具有三抽头的时不变多径模型，传输函数为

$$H(Z) = 0.3 + 0.9Z^{-1} + 0.3Z^{-2}. \tag{16}$$

均衡器为 11 抽头 ($N = 10$) 横向滤波器，初值选取为

$$C(0) = 0. \tag{17}$$

图 1 和图 2 分别给出了 4 PSK 和 8 PSK 信号在信道信噪比为 10 dB 和 20 dB 时的

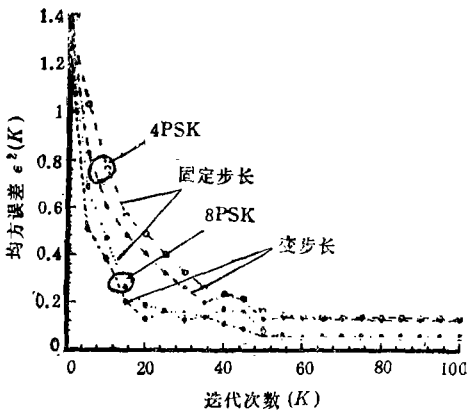

图 1　收敛性能 (S/N = 20 dB)

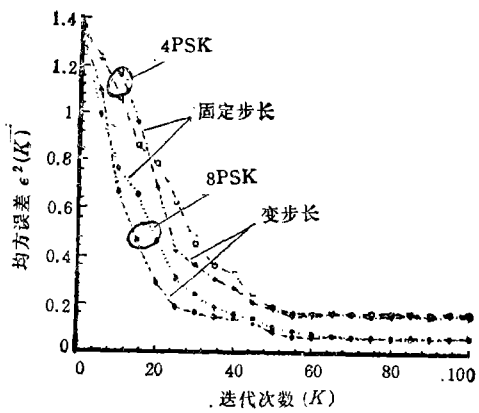

图 2　收敛性能 (S/N = 10 dB)

收敛特性，即代价函数 $J(K)$ 与迭代次数 K 的关系. 由图示不难看出，盲均衡器的收敛特性与进制数 M 无关，即无论 M 为 4 或 8，其均在 50～60 个码之内收敛；收敛速度与信道信噪比 S/N 有关，S/N 越大，收敛速度越快. 对不同的进制数 M，代价函数 $J(K)$ 的稳态值不同，进制数 M 越大，稳态值越小. 信道信噪比对稳态值影响不大，信噪比较小时，稳态值波动略大一些. 从图中还可以看出，变步长盲均衡算法与固定步长盲均衡算法相比，二者非常接近，这是因为所选信道为时不变的，从而造成均衡器收敛后，代价函数基本上为一常数的缘故. 而当信道为时变多经模型时，经模拟表明，变步长盲均衡算法明显优于固定步长盲均衡算法.

图 3 给出了上述信道参数下 8 PSK 信号的误码性能. 为了便于比较，还给出了传统 LMS 均衡算法的模拟结果. 由图示可以看出，盲均衡算法的误码性能差于传统的 LMS 均衡算法的性能. 当信道信噪比 S/N = 5dB 时，二者误码性能基本相同；而当 S/N =

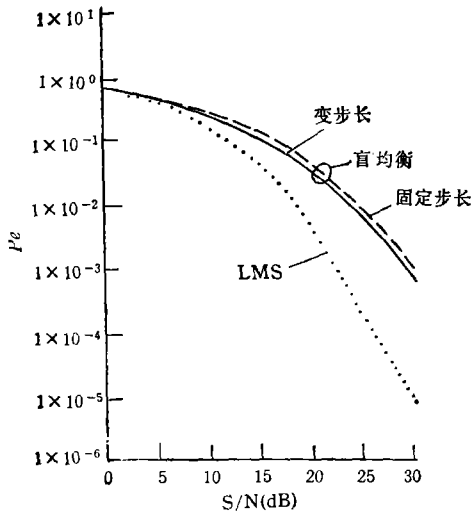

图 3 误码性能（8PSK 信号）

10dB 时，LMS 均衡算法优于盲均衡算法 1 倍(即误码率 P_e 约为盲均衡算法的 0.5 倍)；而当 S/N=20 dB 时，LMS 算法的误码性能约优于盲均衡算法 8 倍左右；S/N = 30dB 时，优于一个数量级以上。

综上所述，本文提出的适用于 MPSK 信号的盲均衡算法具有优良的收敛特性，即使信道信噪比很小，如 S/N ≤ 5 dB 时，盲均衡算法仍可收敛。然而，其误码性能则差于传统的 LMS 均衡算法，主要原因是盲均衡算法中的代价函数已不再含有信号的瞬时特性。

参 考 文 献

[1] Sato Y. IEEE Trans. on COM, 1975, COM-23 (6): 679—682.
[2] Benveniste A, Goursat M. IEEE Trans. on COM, 1984, COM-32 (8): 871—883.
[3] Godard D N. IEEE Trans. on COM, 1980, COM-28(11): 1867—1875.
[4] Ross F J, Taylor D P. IEEE Trans. on COM, 1991, COM-39(5): 636—639.
[5] Hatzinakos D, Nikias C L. IEEE Trans. on COM, 1991, COM-39(5): 669—681.
[6] 庄建东，等. 电子学报，1992，20(7): 28—35.
[7] Weerackody V, Kassam S A. IEEE Trans. on COM, 1994, COM-42(1): 22—28.

THE BLIND EQUALIZATION TECHNIQUE FOR MPSK MODULATION

He Ping
(Information Engineering Department, Xidian University, Xi'an 710071)

Abstract The blind equalization technique for MPSK signals is analysed and studied. A new blind equalization algorithm and the variable step-size blind equalization algorithm are presented. Computer simulations indicate that the new blind equalization algorithm and its improved form have a good convergence performance, so the communication systems can work continuously and do not require to be trained periodically.

Key words Blind equalization technique, MPSK modulation, Cost function, Variable step-size