

一种新的适用于水声信道的常模类 盲均衡算法*

朱婷婷[†] 王英民 林欢欢

(西北工业大学航海学院 西安 710072)

摘要 为了缓解常数模盲均衡算法收敛速度缓慢、稳态误差大的问题,考虑到初始化权值对CMA算法的重要影响,本文利用遗传算法对CMA算法进行了有效改进,引入了小样本重用的思想,给出了一种新的适用于水声信道的常模类盲均衡算法。计算机仿真研究证明,该算法不仅大大加快了收敛速度,而且有效地降低了稳态误差。

关键词 盲均衡, 常数模算法, 遗传算法, 初始化

A new constant modulus type blind equalization algorithms for underwater acoustic channel

ZHU Ting-Ting WANG Ying-Min LIN Huan-Huan

(College of Marine Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

Abstract Considering the importance of initialization in CMA, this paper presents a new algorithm to improve CMA by the introduce of the genetic algorithm which bring in the idea of stylebook iteration. It is shown by computer simulation the new algorithm result fast convergence and minimum remnant error.

Key words Blind Equalization, CMA, Genetic algorithm, Initialization

1 引言

在现代通信系统中,信道多途及畸变引起的码间干扰是影响通信质量的主要因素。尤其是对于水声信道来说,复杂的水声环境,过大的背景噪声,都使接收到的信号稳态误差特别大,不适合于高效率的水下通信。克服水声信道中码间干扰的一种重要方法就是盲均衡,

盲均衡无须发送训练序列,节省了带宽,提高了通信速率,已经成为水声通信的一个研究热点。在众多的盲均衡算法中,Godard和Triecc-hiar等人分别提出的常数模算法(CMA)^[1,2]由于具有更加简单实用与稳健的优点,已经成为应用较为广泛的盲均衡方法。

很多人^[3,4]都对CMA算法进行了研究,致力于改进它的收敛特性、收敛速度以及稳态误

2007-05-11 收稿; 2007-08-14 定稿

* 国家自然科学基金资助项目(10474080)

作者简介:朱婷婷(1982-),女,西安市人,博士研究生,研究方向:水下信号处理。

王英民(1963-),男,教授,博士生导师。林欢欢(1982-),男,硕士。

[†] 通信联系人 E-mail: zhu. ting. t@gmail. com

差等等,但是大部分的方法都集中于权系数的更换,较少有人关注抽头模型的初始化,而是直接采用中心抽头初始化这一常见的初始化方法。在本文中,引入了小样本重用的思想,利用遗传算法对 CMA 算法的初始化权值优化,使得 CMA 算法在保持良好的星座图特性的前提下大大提高了收敛速度并降低了稳态误差。

2 CMA 算法的初始化及其影响

常数模算法是 Godard 和 Treichler 等人^[1]

在上个世纪 80 年代初提出的,由于其具有非常好的抗干扰特性,使用广泛。其相关的改进型算法也非常多,很多人都参与了 CMA 算法的研究。下面先给出一个 CMA 算法的模型。图 1 是一个简单的离散信道和均衡器的基带等效模型^[7]。 $x(k)$ 表示独立同分布的发射信号序列, $h(k)$ 是长度为 N_b 的基带通道的冲激响应, $n(k)$ 为噪声序列, $dec(\cdot)$ 表示量化判决装置, $\hat{x}(k)$ 是量化判决后对源符号的估计, $e(k)$ 为误差项。

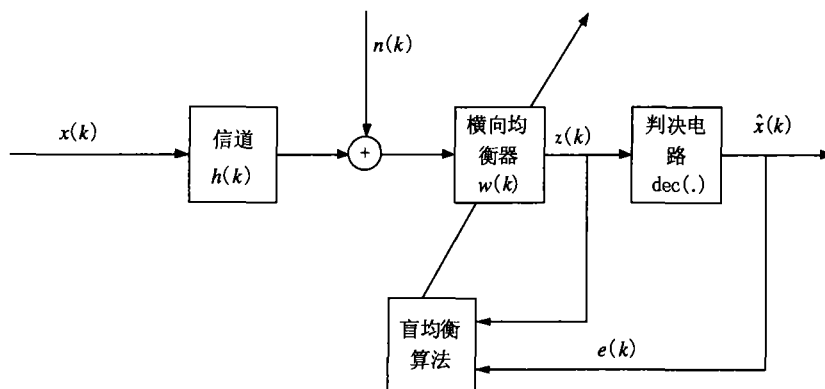


图 1 盲均衡器原理图

在相干水声通信中,发射信号波形常常具有恒定包络,如 PSK(相移键控)信号,常数模算法非常适合这类信号的均衡。该算法的代价函数为:

$$J_{CMA}(k) = \frac{1}{4} E[(|z(k)|^2 - R_2)^2] \quad (1)$$

式中 R_2 是该算法的模,

$$R_2 = \frac{E[|x(k)|^4]}{E[|x(k)|^2]} \quad (2)$$

式中 $|\cdot|$ 表示取模值。均衡器抽头更新方程为

$$\begin{aligned} \mathbf{w}(k+1) &= \mathbf{w}(k) + \mu \hat{\nabla} J_{CMA}(k) \\ &= \mathbf{w}(k) + \mu e(k) \mathbf{y}^*(k) \end{aligned} \quad (3)$$

其中 μ 是步长参数,CMA 算法的误差信号为:

$$e_R(k) = z(k) (R_2 - |z(k)|^2) \quad (4)$$

现在来看看不同的初始化对 CMA 算法的影响。首先用的是最常用的中心抽头初

始化方法,信道为均匀介质信道,抽头数为 11 个,初始化加权系数为 $[00000100000]$,来看看结果。图 2 是误差曲线图,从图中可以看出,均衡的效果并不是很理想,收敛速度比较慢,而且稳态误差比较大,扰动也比较大。

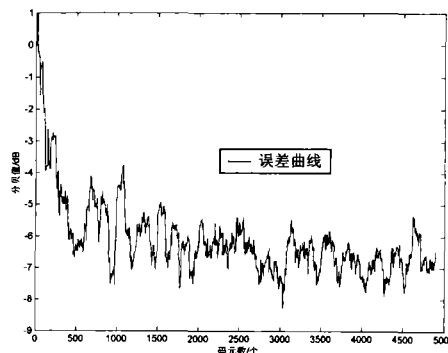


图 2 中心抽头初始化收敛性能图

这是因为中心抽头初始化方法并不适用于所有的水声信道,它对某些水声信道好,但对某些水声信道也许就适应性比较差,下面来看看不同的抽头初始化取值的结果:

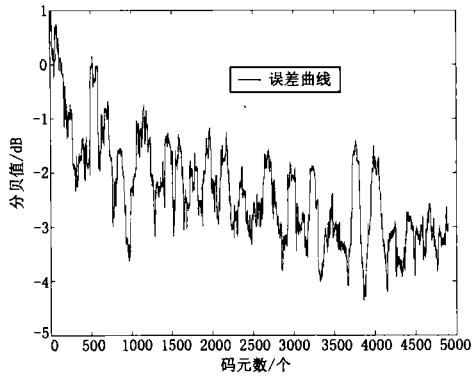


图 3 收敛性能图

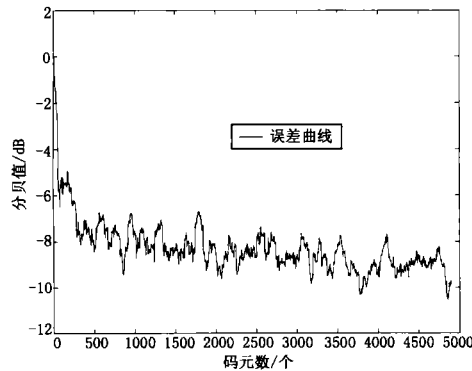


图 4 收敛性能图

图 3 与图 4 均为中心抽头初始化,但是中心初始化值并不是 1,图 3 中心初始化值是 $0 + 0.4j$,图 4 中心初始化值是 $1 + 0.4j$,可以看出,不同的初始化权值对 CMA 算法的收敛效果会有很大的影响,比较而言,图 3 的收敛效果十分不好,收敛速度特别慢,在 4000 步的时候仍有较大震荡。而图 4 所采用的初始化加权系数就比较好,在 700 步左右的时候就开始收敛了,而且收敛后扰动较小。综合比较可知,CMA 算法的初始化加权系数对于不同的水声信道有着不同的适应值,一个初始化加权系数并不是适用于所有的水声信道,为了降低

稳态误差,提高收敛速度,有必要对 CMA 算法的初始化进行改进。

3 遗传算法

为了解决 CMA 算法初始化严重受初始值影响的问题,这里我们引入了遗传算法。基本的思想是利用遗传算法的优化特性,找出最适合于实时水声信道的初始化加权系数,以求在不影响运算量的前提下,大大加快收敛速度并降低稳态误差。

3.1 遗传算法的流程

遗传算法根据选择方式、交叉方式以及变异方式的不同有很多种不同的版本,这里只介绍中最常用的也可以说最简单的遗传算法 LGA 算法(Little Genetic Algorithm)^[5],算法流程如下:

- (1) 根据所得解决的优化问题,设定目标代价函数;
- (2) 产生一组随机二进制码链,总长度为 $A = \sum_{k=1}^M l_k$, M 是总的优化参数个数, l_k 是对应于第 k 个未知参数的二进制编码长度;
- (3) 计算码元所对应的未知参数值;
- (4) 计算每一个码链对应的代价函数值,利用概率选择公式选择进入交叉操作的码链;
- (5) 按照交叉概率对选定的码链组进行交叉操作,形成新的码链回到(4)重新选择码链,再进行交叉,直到产生新的 N 个码链;
- (6) 对已形成的码元集合进行异化操作;
- (7) 将迭代次数加 1,将(6)形成的码元从(3)开始循环,直到满足最大代数要求,选取其中适应度最好的码元即为最优参数。

3.2 小样本重用技术

为了提高 CMA 算法的收敛速度,我们在下面引用小样本重用技术^[6]。小样本重用技术的思想是:在均衡初始接收一段数据样本,均衡器初始化仍然采用中心抽头初始化方法,利用接收数据样本采用遗传算法对均衡器加

权系数进行调整,以调整后的加权系数作为 CMA 算法的初始化权值。

利用小样本重用技术后产生的新算法我们称之为遗传常数模算法 GCMA。举个例子来说,它与普通的 CMA 算法的区别在于,在进行 CMA 算法的运算的同时,它将从均衡器所接收到的前 50 个数据重用,做为遗传算法的输入信号,这时的遗传算法选取稳态误差作为代价函数,对随机产生的 30 个权值进行选择、交叉、变异,以此得到最优的 CMA 初始化权值,再利用这个最优初始化权值来进行 CMA 算法。

这种算法综合利用了 CMA 算法、遗传算法以及小样本重用的思想,因为使用的是小样本,其结果是,在没有增加过多的运算负担的基础上,大大加快了 GCMA 算法的收敛速度,降低了该算法的稳态误差,下面来看计算机仿真结果。

4 计算机仿真

4.1 仿真模型

假设信道为引入了加性高斯白噪声的信道,信源采用 4 - QAM^[1] 信号,信噪比取 25dB,载频取 10kHz,信号传输速率取 2kbit/s,采样频率取 100kHz。采用文献^[7]的信道,该信道为负声速梯度信道,其本征声线参数如表 1,信道的脉冲响应由式(5)计算

$$h(t) = \sum_i \alpha_i p(t - \tau_i) \quad (5)$$

式中, α_i 是对应于不同本征声线的声压幅值, τ_i 是相对时延, $p(t)$ 是滚降系数为 50% 的升余弦脉冲。

表 1 信道本征参数

声线数	幅度	相对时延
1	1.000000	0.00000
2	0.263112	0.00070
3	0.151214	0.00392
4	0.391599	0.00671

4.2 仿真结果

在这里,先给出普通 CMA 算法的收敛性能图见图 5。

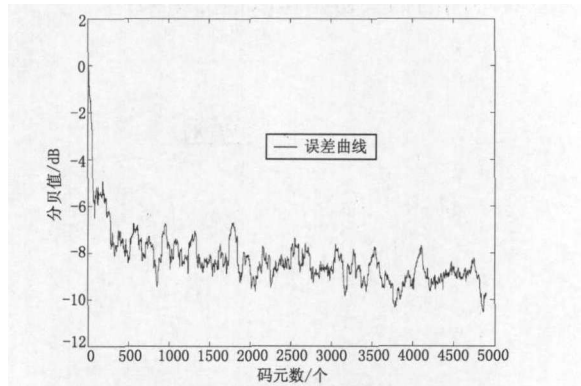


图 5 CMA 算法收敛性能图

从图 5 中可以看出,CMA 算法大约在 700 步左右的时候收敛,而稳态误差一般在 -9dB 左右。下面来看看 GCMA 算法的收敛性能图见图 6。

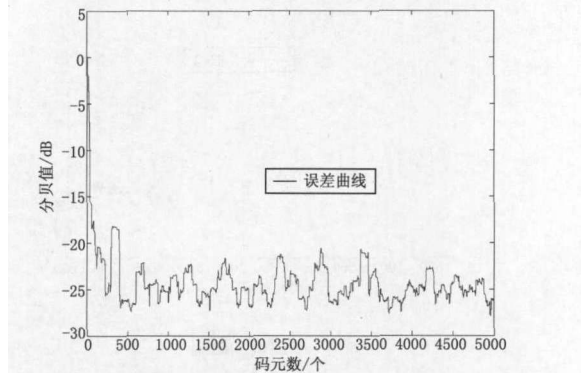


图 6(a) GCMA 收敛性能图

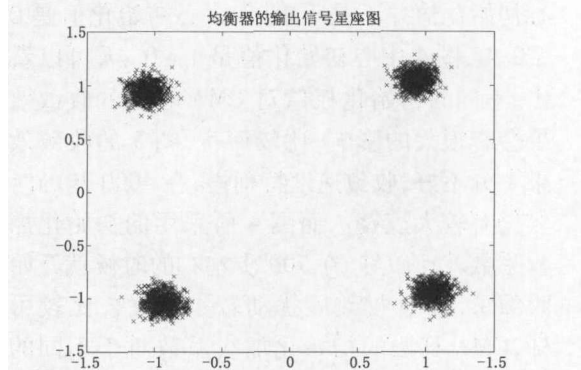


图 6(b) GCMA 星座图

可以看出,GCMA算法所得出的星座图比较好,但是最重要的还是它的收敛性能图,从图6(a)中可以看出,GCMA算法收敛到稳态的速度几乎是CMA算法的两倍,大约在500步的时候GACMA算法就已经收敛了,而且它的稳态误差相较于CMA算法而言,下降了大约有20dB,这主要是归功于遗传算法选取的代价函数就是稳态误差。遗传算法选择出稳态误差最小的一组最优初始化权系数,用这组系数来初始化,稳态误差很低。通过仿真可知,GCMA算法的时间仅比CMA算法多2%,对于水声通信来说,是可以满足实时需要的。可以说,GCMA算法有效地克服了CMA算法收敛速度慢,稳态误差大的缺点,它适用性强,是特别适合水声信道的一种常模类改进型盲均衡算法。

5 结论

本文在对CMA算法的优缺点进行介绍后,重点对CMA算法的初始化权值进行了分析,通过仿真对比,说明了不同的初始化权值对CMA算法的收敛性能所造成的影响。在此

基础上,在运算量增加不大的前提下,引入了遗传算法,借助于小样本重用的技术,提出了一种全新的GCMA算法。该算法收敛速度快,稳态误差小,而且适用于大部分的水声信道,具有重要的工程应用价值。

参 考 文 献

- [1] D. Godard, Self Recovering Equalization and Carrier Tracking in Two-Dimensional Data Communication Systems. *IEEE Trans Commun*, 1980, 28(11):1867-1875.
- [2] O Shalvi, E. Weinstein. New Criteria for Blind Deconvolution of Nonminimum Phase Systems (channels). *IEEE Trans*, 1990, 36(2):312-321.
- [3] Y. Sato, A Method of Self-Recovering Equalization for Multi-level Amplitude-Modulation Systems, *IEEE Trans. Commun.*, 1975. 23:679-682.
- [4] C. R. Johnson, P. Schniter, T. J. Endres, Blind Equalization Using the Constant Modulus Criterion A Review, *Proceedings of the IEEE*, 1998. 86(10):1927-1950.
- [5] Holland J H. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, MIT Press. 1975.
- [6] 许华, 郑辉. 一种对 Bussgang 类盲均衡算法的简单初始化方法, *系统仿真学报*. 2005. 17(1):217-219.
- [7] 王峰. 基于高阶统计量的水声信道盲均衡理论与算法. 西北工业大学博士学位论文, 2003. 5:44-45.