

# Analysis of an Equalizer Performance with Preloading Coefficients

WANG Song<sup>1,4</sup>, MU Daosheng<sup>2</sup>, LIU LiMing<sup>3</sup>, LIU Haoran<sup>1</sup>

1. Company of Postgraduate Management, the Academy of Equipment Command & Technology, Beijing, China

2. Department of Information Equipment, Institute of Command and Technology of Equipment, Beijing, China

3. Unit 72556 of the Chinese PLA, Jinan, China

4. Unit 71155 of the Chinese PLA, Weifang, China

e-mail: wangsong1982108@163.com; mds19041@sina.com

**Abstract:** This article began at analyzing theory of equalizer, then imagined a preloading coefficients method, that warranty channel characteristic. Afterward, we took DFE as an example to analyze the performance of preset parameter equalizer. At last the results of simulation show that this method can ameliorate the performance of preset parameter equalizer. This article has definite reference value for engineering design.

**Keywords:** decision feedback equalizer; preloading coefficients; analysis of performance; simulation

## 一种预置抽头参数均衡器的性能分析

王松<sup>1,4</sup>, 穆道生<sup>2</sup>, 刘丽明<sup>3</sup>, 刘浩然<sup>1</sup>

1. 装备指挥技术学院, 研究生管理大队, 北京, 中国, 101416

2. 装备指挥技术学院, 信息装备系, 北京, 中国, 101416

3. 中国人民解放军 72556 部队, 济南, 中国, 250000

4. 中国人民解放军 71155 部队, 潍坊, 中国, 261000

e-mail: wangsong1982108@163.com; mds19041@sina.com

**【摘要】** 文章从分析均衡器的工作原理入手, 使用了一种根据信道特性预置抽头参数的方法, 并以DFE为例对预置抽头参数均衡器的性能进行仿真分析, 通过仿真结果验证了这种均衡器的性能得到了一定的改善, 论文对工程设计有一定的参考价值。

**【关键词】** 判决反馈均衡器; 预置参数; 性能分析; 仿真

在现代数字移动通信中, 多径效应和信道带宽的有限性以及信道特性的不完善性导致数据传输时不可避免的产生码间干扰 (Inter Symbol Interference, ISI), 成为影响通信质量的主要因素, 而可以消除码间干扰和噪声, 并减少误码率的信道均衡技术也自然成了人们关注的热点。目前时域均衡器中常见的是线性均衡器和判决反馈均衡器 (DFE), 其中后者对消除多径干扰比较有效且应用广泛。

### 1 判决反馈均衡器工作原理

判决反馈均衡器除了克服多径引起的码间干扰外, 还将每一多径分量中的信号能量进行相位校正和合并, 使信噪比得到改善。

#### 1.1 判决反馈均衡器的结构

判决反馈均衡器主要包括两个部分: 前馈滤波器和反馈滤波器 (如图 1 所示), 均衡器的输入  $x_i$  先进入由线性横向滤波器组成的前馈滤波器, 它的作用是根据信道状态, 采用自适应调整系数  $c_n$ , 使多径时延展宽的宽度减小, 从而消除码间干扰对检测的影响。

反馈滤波器同样是由自适应抽头延迟线滤波器来实现, 它的输入信号根据工作状态的不同分为两个部分。在信道捕获阶段其输入是收发端都已知的训练序列  $d_i$ , 在信道跟踪阶段其输入为判决器的输出值  $\hat{a}_i$ 。反馈滤波器的作用是将输出反馈回来用于消除过去判决的码间干扰。判决反馈滤波器的输出为系数调整的

运动轨迹图我们取DFE的前向和反馈滤波器的抽头都为2，在运算之前取前向抽

$$s_i = y_i - f_i = \sum_{k=0}^N c_k x_{i-k} - \sum_{l=0}^M b_l \hat{a}_{i-l} \quad (1)$$

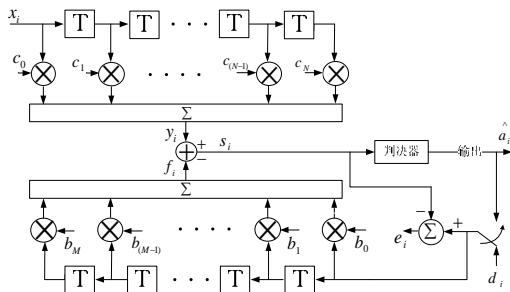


Figure 1. Structure diagram of DFE  
图1. 判决反馈均衡器结构图

其中  $\hat{a}_i$  为均衡器的输出  $s_i$  的判决结果。由于接收端通常会使用匹配滤波器，则判决器的输出具有很高的信噪比，因此  $\hat{a}_i$  将在很大的概率上被正确的判为发送端的比特  $a_i$ 。然后此判决输出反馈给式(1)所用。这是判决反馈均衡器性能优良的直接原因。其前向滤波器系数更新公式为：

$$c_k^{n+1} = c_k^n = \begin{cases} c_k^n - \mu_1 (d_i - s_i) x_{i-k} & \text{(捕获阶段)} \\ c_k^n - \mu_1 (\hat{a}_i - s_i) x_{i-k} & \text{(跟踪阶段)} \end{cases} \quad k = 0, 1, \dots, N; \quad \mu_1 \text{为步长} \quad (2)$$

反馈滤波器的系数更新公式为：

$$b_l^{n+1} = \begin{cases} b_l^n - \mu_2 (d_i - s_i) \hat{a}_{i-l} & \text{(捕获阶段)} \\ b_l^n - \mu_2 (\hat{a}_i - s_i) \hat{a}_{i-l} & \text{(跟踪阶段)} \end{cases} \quad l = 0, 1, \dots, M; \quad \mu_2 \text{为步长} \quad (3)$$

判决反馈滤波器系统包含非线性功能的门限判决器，因此是一种非线性均衡器。

### 1.2 系数调整的基本原理

20世纪60年代初 B.Windrow和Hoff提出最小均方算法(LMS), 由于其实现简单, 计算复杂度低, 目前已广泛应用于自适应信号处理系统中。本文我们就以LMS算法为例, 对均衡器及预加载系数后的性能进行分析。

均衡算法运算过程中, 最佳权向量  $W^*$  可以看作是参数空间中一固定目标点。LMS算法使用的最陡下

降法控制均衡器的权系数, 使其权向量沿最陡的轨迹趋近于目标点, 即参考文献<sup>[2]</sup>中所说的误差性能曲面的“碗底”那一点, 只不过这里我们把系数在曲面上的运动轨迹映射到平面上。下面我们就在Matlab中对LMS算法的系数调整过程进行仿真。为了得到头系数的初始权向量为[0.62,-0.18]反向为[0,0], 调整步长为0.01.由于DFE的所有抽头系数调整原理类似, 所以这里我们只对前向抽头的系数调整曲线进行分析(如图2所示)。

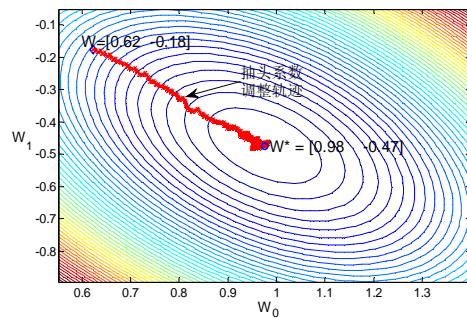


Figure 2. The trace of forward coefficients  
图2. 前向抽头系数调整轨迹

从图中我们可以看到抽头系数在不断沿着梯度线调整到最佳权向量, 这也验证了我们前面的分析。为了加快收敛速度, 经过许多学者的研究, 出现了大量对LMS改进的算法。在实际应用中为了取得收敛性和稳定性的统一, 作者在文献<sup>[3]</sup>中提出了一种折中的变步长均衡算法。文章下面的试验一律使用该算法。

通过上面的分析, 我们可以假设: 若我们要能根据信道环境, 给均衡器的抽头预设置相应的系数, 这样就能使权向量与目标点之间的距离减小, 则均衡器还未训练已经几乎进入了收敛状态。下面我们就对这一假设进行验证。

### 2 预置参数均衡器的性能仿真

从上一节的算法研究中我们了解到了均衡器系数的调整轨迹是如何变化的, 从中可知在信道环境确定的情况下当均衡器输出误差收敛时各个抽头的系数趋于一个固定的值。

下面为了验证上一节的假设, 我们设计一个试验。我们取DFE的前向和反馈滤波器的抽头都为2, 信号源使用800个随机产生的双极性码(+1和-1), 在高斯白噪声的环境下, 信噪比分别为30db, lms算法的步长取0.01, 如图3所示。

图3(a)显示的是前馈滤波器为两抽头的情况下，

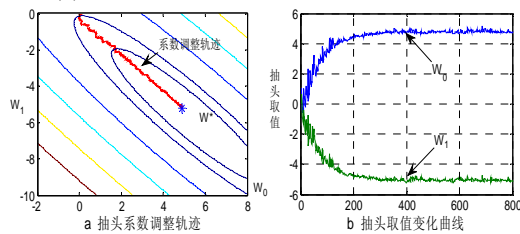


Figure 3. The trance of coefficients

图3. 系数调整曲线

系数向量在性能曲面投影上的调整路径，而图4.5 (b)显示的是两个抽头系数值的变化过程。可见，抽头向量值经过一个较长的调整轨迹后，逐渐稳定在(5,-5)，那么我们若将抽头系数的初始值分别设定成(5,-5)和(4,-4)，其余的条件同上，可得下图

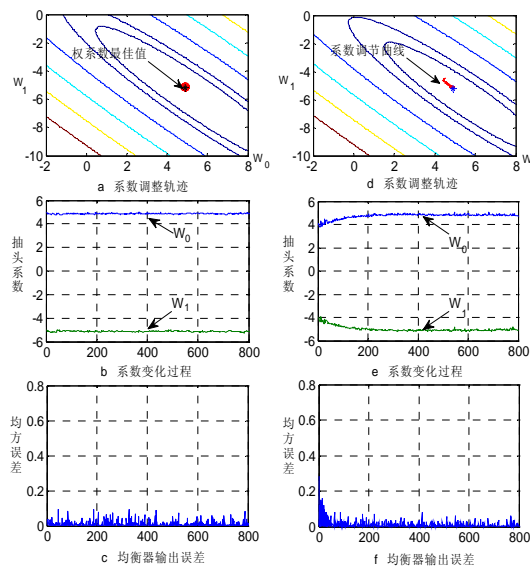


Figure 4. The equalizer's performance comparison with preloading coefficients

图4. 预置系数均衡器性能对比

从图a, b, c中我们可以看到，如果我们的预置的抽头系数值能和信道准确匹配，则接收信号不经训练就能收敛；若像图d, e, f抽头系数取值接近最佳值，则仅需很少的训练序列就能进入收敛状态。

下面我们就用这种根据使用环境预置系数的方法，对判决反馈均衡器的性能进行仿真。仿真条件如下：

信道模型是斯坦福过渡 (Stanford University Interim, SUI)模型<sup>[4]</sup>中的SUI-3信道模型。信息速率为64Kbps，调制方式为QPSK，数据帧的前导码为128bit，

数据段为1024bit，保护间隔为64bit，实验过程总共传输1000帧。DFE的设计参考文献<sup>[5,6]</sup>，根据信道长度选取最佳反馈均衡器为9个抽头，前馈均衡器取18个抽头。系数调整算法我们用文献<sup>[3]</sup>改进的LMS算法。试验方法如下：

首先，我们上面设定的仿真条件，对所选的均衡器进行仿真。记录下收敛后的系数。

然后，将我们记录下的抽头系数预置到均衡器的抽头中。

最后，我们用SUI-4信道模型进行仿真（因为实际中我们不可能真正检测出设备工作环境的信道环境，只能进行大体估计，所以此处我们使用另一个信道模型），其他条件均一致。

经过上面的两次仿真，我们得到图5。

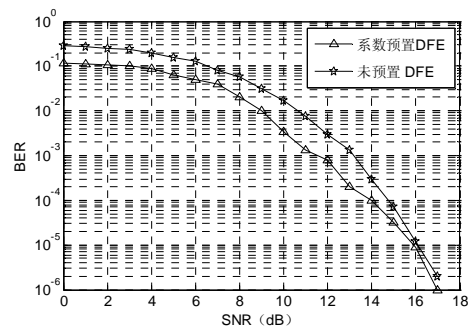


Figure 5. The comparison of BER performances

图5. 误码率曲线对比图

从仿真结果可以看到文中的根据信道预置抽头参数的方法相对原均衡器的性能得到了一定的改善，尤其是信噪比较低的时候，改善效果相对更加明显，这就更加说明了这种方法有一定的实际应用价值。同时通过仿真结果也验证了本节开始的假设是正确的。

### 3 结束语

文章首先对均衡器的工作原理进行分析，从中找出了改进的方向，并通过试验验证了这种方法的有效性。通过本文的工作，我们可以在均衡器的设计中，根据应用环境（一般均衡器在多径信道下才应用），将均衡器的系数预置分为三种模式：城市楼群模式、山地丛林模式及特殊模式（在这种模式下工作时如果能提前检测到所要工作地区的信道特征可根据仿真结果提前将抽头系数写入到抽头预置模块中，若没有信道信息则与普通均衡器一样将各个系数预置为零）。这中预置抽头参数的方法对均衡器的工程设计有一定的参

考价值。

## 致谢

在论文的撰写过程中，穆道生教授做了全程指导并提出了建设性的修改意见，刘丽明和刘浩然对论文的修改和完善做除了大量的工作，在此对他们的帮助和做出的工作致以诚挚的谢意。最后，我要把最诚挚的谢意献给为培养我长大成人而辛劳的父母和在背后支持我鼓励我的爱人。

## References (参考文献)

- [1] Proakis, J.G. Digital Communications (Fourth Edition) [M], Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003.1: 460-468.  
[美] Proakis, J.G. 著; 张力军等译. 数字通信 (第四版) [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.1: 460-468.
- [2] B. Widrow and S.D. Stearns, Adaptive Signal Processing [M],

Chengdu: Publishing House of Si Chuan University, 1989.11, pp. 9-14, 75-77.

B. 维德罗, S.D. 史蒂恩斯 (著), 王永德, 龙宪惠 (译). 自适应信号处理 [M]. 成都: 四川大学出版社, 1989 年 11 月, pp. 9-14, 75-77.

- [3] Wang song MU Dao-sheng. Research on an Improved LMS Algorithm for Equalizer [J]. Measurement & Control Technology, MAY 2009 : 7-9.  
王松. 穆道生. 一种改进的 LMS 均衡算法研究 [J]. 测控技术. 2009 年 5 月: 7-9.
- [4] Erceg V, Hari K V S, Smith M S, et al. Channel Models for Fixed Wireless Applications [S]. Contribution IEEE 802.16a-03/01, [S.1.]: IEEE, 2003.
- [5] Gong Yu, Cowan C F N. Optimum decision delay of the finite length DFE [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2004. 11(11): 858-861.
- [6] Gong Yu, Cowan C F N. A self structured adaptive decision feedback equalizer [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2006, 13(3): 169-172.
- [7] Z. Yonghong and N. Tung Sang. Pilot cyclic prefixed single carrier communication: channel estimation and equalization [J]. Signal Processing Letters, IEEE. Vol. 12, 2005, Page(s): 56-59.