

# 基于 DCT- LMS 算法的自适应均衡系统的仿真研究

王庆平, 徐明远, 刘卫洪, 和丽芳

(昆明理工大学 应用技术学院, 云南 昆明 650093)

**摘要:** 首先简述了逆系统原理, 然后描述了用 MATLAB 软件仿真实验得出 DCT- LMS 自适应均衡滤波器的收敛性和稳态性与滤波器长度和信道失真参数之间的定量关系, 为此构建了有实际意义的系统仿真模型, 做出了仿真实验结果并分析了仿真实验结果的意义, 最后对 DCT- LMS 算法性能与传统 LMS 算法的性能进行了分析比较。

**关键词:** 逆系统; DCT- LMS 算法; 滤波器

**中图分类号:** TN 914.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007- 855X(2005)05- 0065- 03

## Simulation Research on Adaptive Equalization System Based on DCT- LMS Algorithm

WANG Qing-ping XU Ming-yuan LIU Wei-hong HE Li-fang

(Faculty of Applied Technology, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

**Abstract** First, the principle of the inverse system is introduced in this paper. Then, the quantificational correlation among the stability and astringency of the DCT- LMS adaptive equalization filter and two important parameters of filter length and channel distortion are given through simulation experiments done with MATLAB software. Based on these, a practical simulation model is set up, the simulation results are obtained and analyzed. At last, the performance of the DCT- LMS algorithm and the traditional LMS algorithm is compared.

**Key words** inverse system; DCT- LMS algorithm; filter

### 0 引言

无线数据通信过程中的多径效应 (到达接收端的信号是多径传输信号的矢量和, 同一时刻出现在接收端有经历了不同时延的码元) 造成了码间干扰 (ISI)。通信中, 由于信号的多径传播时延随接收台空间位置的变化而改变, 这样造成了传播的信道也随时间变化。也就是说多径效应造成的码间干扰也是随时间变化的。因此要用自适应均衡器来对信道进行均衡。自适应均衡器的目标就是为了补偿 ISI 失真, 尽可能的原样恢复接收到的信号。它的响应类似信道传输函数的逆系统。自适应均衡器的特性是能够根据信道传输特性的变化自动调整算法参数使均衡获得尽可能好的性能。在传统的 LMS 算法中, 当自适应滤波器的输入信号矢量之间不满足统计独立的条件时, LMS 算法的性能将下降, 尤其是收敛速度变慢。因此, 在这种情况下, 就需要解除各时刻输入向量之间的相关性 (这一操作称为“解相关”), 使它们尽可能的保持统计独立。下面就是讨论一种频域解相关自适应滤波方法—利用 DCT- LMS (离散余弦变换最小均方) 算法在几乎不增加算法计算的复杂度情况下, 来改善自适应均衡滤波器的性能。

### 1 原理简述

基本问题如图 1 所示。如果把多径传输环境的传输函数设为  $H(z)$ , 它的输出由下式给出:

收稿日期: 2004- 09- 15 基金项目: 云南省应用基础研究基金项目 (项目编号: 2000F00440M)。

第一作者简介: 王庆平 (1978~), 男, 硕士, 助教。主要研究方向: 第 3 代移动通信中的关键技术。

E-mail: wqpgsz2000@tom.com

$$x(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h(k)y(n-k) \quad (1) \quad \begin{array}{c} y(n) \rightarrow [H(z)] \rightarrow x(n) \rightarrow [C(z)] \rightarrow \hat{y}(n) \end{array}$$

其中,  $y(n)$  为信道输入信号. 假设观察到信道的输出信号为

图1 逆系统原理框图

$x(n)$ , 而且想用输出信号和关于输入的一些统计信息来重构输入信号  $y(n)$  和系统  $C(z)$ . 如果事先知道系统  $H(z)$ , 逆系统  $C(z)$  是可以得到的. 注意到, 如果下式成立:

$$h(n)*c(n)*y(n) = b_0y(n-n_0) \quad (2)$$

其中,  $b_0$  是常数,  $n_0$  是信道输入信号  $y(n)$  的延迟,  $*$  表示卷积,  $h(n)$  和  $c(n)$  分别是  $H(z)$  和  $C(z)$  的  $z$  反变换. 对输入精确恢复是可能的. 由 (2) 式可得出  $h(n)*c(n) = b_0\delta(n-n_0)$ , 或等同为:

$$C(z) = b_0 \frac{z^{-n_0}}{H(z)} \quad (3)$$

上式, 就是逆系统的系统函数. 这样通过把信道的输出和  $c(n)$  做卷积, 可恢复输入.

设  $c(n)$  是一个长  $M$ 、系数可变的 FIR 滤波器, 它的系数由 DCT-LMS 算法决定. 根据自适应均衡的理论可以得到<sup>[3]</sup>:

$$c(n+1) = c(n) + \mu(n)u(n)e(n) \quad (4)$$

其中,  $\mu(u)$  是迭代步长. 那么可以用上述迭代算法: 以接收端输入信号  $x(n)$  经 DCT 变换为一个互不相关的信号  $e(n)$  与误差函数  $e(n)$  和当前的滤波器的系数  $c(n)$  求得下一时刻的系数  $c(n+1)$ . 这就是离散余弦变换最小均方 (DCT-LMS) 算法.

## 2 仿真思路和内容

### 2.1 仿真思路

用于研究自适应均衡器的 DCT-LMS 算法性能的系统仿真模型如图 2 显示. 数据发生器用于产生信道输入序列  $y(n)$ . 仿真时取  $y(n)$  为双极性信号.  $y(n)$  一方面经信道传输后 (信号为  $x(n)$ ), 经由 DCT (离散余弦变换) 后 (信号为  $u(n)$ ), 再由自适应均衡器进行均衡, 均衡器的输出信号经逆 DCT 为  $\hat{y}(n)$ .  $y(n)$  同时经延迟电路延迟后作为参考信号  $y_d(n)$ . 自适应滤波器采用 DCT-LMS 算法力图使信道传输信号  $x(n)$  经 DCT 变换为一个由互不相关变量组成的对应向量  $u(n)$ , 然后分别作为自适应均衡器和 LMS 算法的输入向量, LMS 使  $y_d(n)$  与  $\hat{y}(n)$  的均方误差取最小.

仿真时, 信道采用升余弦脉冲响应来模拟<sup>[5]</sup>:

$$h(n) = \begin{cases} 0.5 \left\{ 1 + \cos \left[ \frac{2\pi}{W}(n-2) \right] \right\} & n = 1, 2, 3 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

该脉冲响应关于  $n = 2$  对称, 参数  $W$  用来控制信道失真的大小. 信道失真的大小随着  $W$  的增加而增加. 均衡器采用 FIR 线性滤波器, 信号  $y(n)$  的延迟与信道和均衡器对期望信号造成的总延迟相等. 信道噪声的模型是高斯白噪声 (WGN).

### 2.2 仿真内容

- 1) 实验不同的  $M$  值 (横向自适应滤波器的抽头数) 对系统的收敛性和稳态性的影响见图 3
- 2) 实验不同的值 (信道失真控制参数) 对系统的收敛性和稳态性的影响见图 4
- 3) 实验 DCT-LMS 算法与传统 LMS 算法的性能比较见图 5-7

## 3 仿真结果分析

图 3 显示的是  $W = 3.1$  不同  $M$  值的性能曲线, 从上到下依次是 25, 21, 15, 11 抽头.  $M$  为 11 抽头时表现了最好的收敛性和稳态性, 表明对上述传输环境  $M$  为 11 抽头时可得到最好的均衡效果. 经过多次实验结果基本相同.

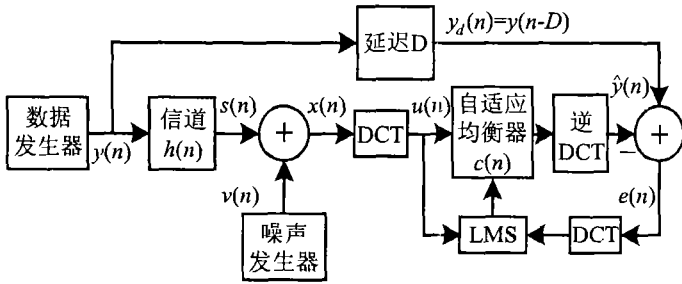


图2 研究自适应均衡器性能的系统仿真框图  
 Fig.2 Block diagram of the simulation research performance of adaptive equalizer system

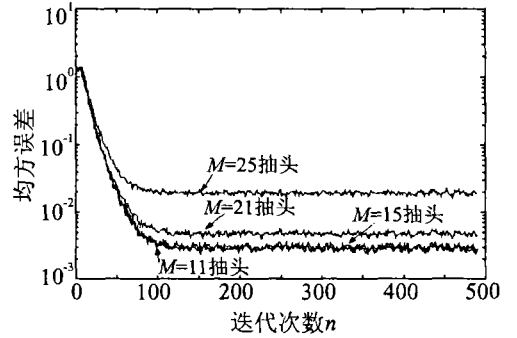


图3 不同抽头数的均方误差性能曲线  
 Fig.3 Performance curves of the DCT-LMS varying filter length

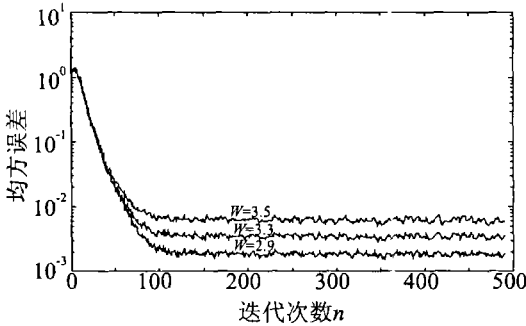


图4 不同信道失真参数的均方误差性能曲线  
 Fig.4 Performance curves of the DCT-LMS algorithm varying parameters of channel distortion

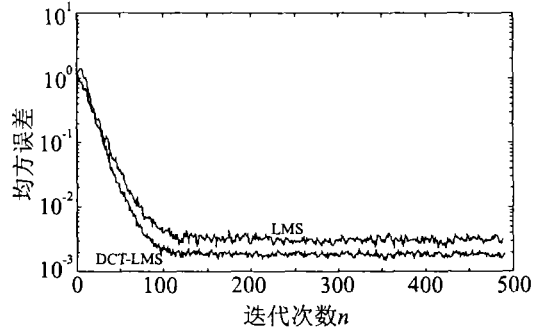


图5 W=2.9 DCT-LMS算法与LMS算法的比较曲线  
 Fig.5 Comparison of the curves of the conventional LMS and DCT-LMS algorithms: W=2.9

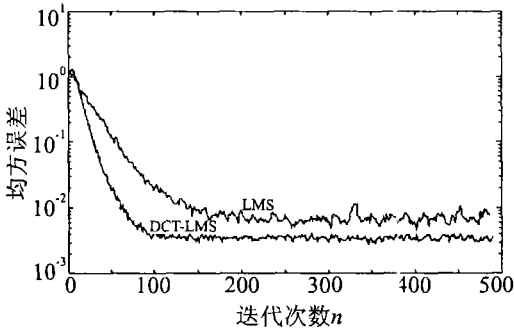


图6 W=3.3 DCT-LMS算法与LMS算法的比较曲线  
 Fig.6 Comparison of the curves of the conventional LMS and DCT-LMS algorithms: W=3.3

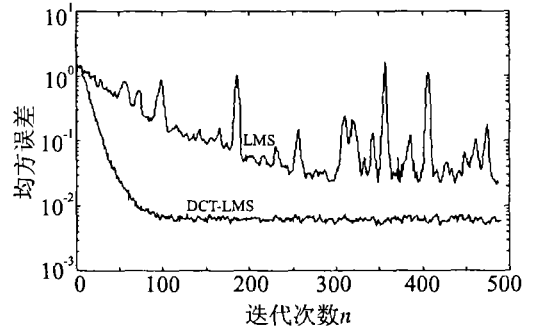


图7 W=3.5 DCT-LMS算法与LMS算法的比较曲线  
 Fig.6 Comparison of the curves of the conventional LMS and DCT-LMS algorithms: W=3.5

图 4显示的是  $M = 11$ , 不同信道情况 ( $W = 2.9$ ,  $W = 3.3$ 和  $W = 3.5$ ) 下自适应均衡器的 DCT - LMS 算法的均方误差 (MSE) 性能曲线. 由图可知性能曲线的收敛速度随着  $W$  的增加而减小, 而稳态误差随  $W$  的增加而增加.

图 5 ~ 7显示的是  $M = 11$ , 不同信道失真参数下 DCT - LMS算法和 LMS算法的均方误差性能比较曲线. 图 5是  $W = 2.9$ 的性能曲线, 图 6是  $W = 3.3$ 的性能曲线, 图 7是  $W = 3.5$ 的性能曲线. 图中结果清楚的表明, 与传统的 LMS算法不同, DCT - LMS算法的性能对信道的失真特性不太敏感, 在所用的 3种  $W$  情况下均可保证在  $n \leq 100$ 左右收敛. 而传统 LMS算法的性能始终最差, 因为它表现出最慢的收敛性, 对参数  $W$  的变化敏感, 在  $W = 2.9$ 时的  $n$ 为 120,  $W = 3.3$ 时的  $n$ 为 200, 在  $W = 3.5$ 时的  $n$ 超过 300. 从图 5 ~

7还可以得出,就收敛后的稳态误差而言,DCT-LMS算法要比LMS算法好得多.特别是当 $W = 3.5$ 时,在LMS算法收敛后其均方误差起伏很大,均衡性能已经很差.

#### 参考文献:

- [1] Manolakis Dimitris G, Ingle V inay K, Kogon Stephen M. Statistical and Adaptive Signal Processing[M]. The McGraw-Hill Companies, Inc. 2000 476~ 591.
- [2] 徐明远,林华芳,邱恭安.基于LMS算法的自适应均衡系统的仿真研究[J].北京:系统仿真学报,2003,(2):176~178.
- [3] 张贤达,保铮.通信信号处理[M].长沙:国防工业出版社.2000 261~265.
- [4] Proakis John G.数字通信[M].张力军,张宗橙,郑玉宝,译.北京:电子工业出版社.2002 443~461.
- [5] 龚耀寰.自适应滤波-时域自适应滤波和智能天线[M].北京:电子工业出版社.2003 58~66.
- [6] 张贤达.现代信号处理(第2版)[M].北京:清华大学出版社,2002 237~245.
- [7] 王庆平,徐明远.基于RLS算法的自适应均衡系统的计算机仿真研究[J].计算机科学,2004,31(9):337~338.

(上接第53页)

小车甲的视觉传感器将下一障碍物的右面摄成障碍物.由二叉树和四叉树分析,小车甲以K点为第一避障点.当小车甲按照 $A^*$ 算法移动到K点,同时,小车乙移动到Q点.如两车同时前进,有相撞的可能.此时,按“交通规则”级别低的小车乙只有等待.当小车甲到K点后,能“看到”下一标志点,故以K点为为起点以标志点为终点进行局部智能避障,完成避障后轨迹线中的后续标志点继续前进.

#### 5 结束语

自动导引小车局部智能避障的 $A^*$ 算法是在启发搜索的前提下,进一步对其估价函数进行某些限制,能在有限步内终止,并且能找到最优解,提高了搜索的效率.用二叉树和四叉树描述环境能快速地建立空间路径图.将两者结合,能实时感知障碍物,及时避障.从仿真结果来看,该算法较为优良.但该算法因视觉传感器存在摄影角度,造成自动导引小车前方左右各有一小部分死区,要解决该问题,可将死区视为小车的一部分.

#### 参考文献:

- [1] 王伟,储林波,马玉林.一种改进的机器人路径规划算法[J].哈尔滨工业大学学报,1998,30(2):97~98.
- [2] 席志红,原新,许辉.基于视觉的移动机器人实时避障和导航[J].哈尔滨工业大学学报,2002,23(5):107~109,106.
- [3] 邵宜斌,席裕庚,李秀明.一种机器人路径规划的新方法[J].上海交通大学学报,1996,30(4):94~100.
- [4] Fan Li Shun gang Study on algorithm  $A^*$  of intelligent path planning based on method of representation environment with both quad tree and binary tree[J]. Control Theory & Application, 2003, 20(5): 770~773.
- [5] 朱森良,杨建刚.自主式智能系统[M].杭州:浙江大学出版社,1999 237~243.
- [6] 樊莉,孙继银.人工智能中的 $A^*$ 算法应用及编程[J].微机发展,2003,3(5):33~35.