

doi:10.13756/j.gtxyj.2016.04.005

光通信系统与网络技术

光相移键控均衡算法改进

朱耀麟^{1,2}, 关浩¹, 柯熙政²

(1. 西安工程大学 电子信息学院, 西安 710048; 2. 西安理工大学 自动化与信息工程学院, 西安 710048)

摘要:针对光信号传输过程中产生的相位畸变及高误码率,提出了一种改进算法,通过设置误差容限,实现了LMS(最小均方)算法和CMA(恒模算法)在不同阈值条件下的切换应用。改进算法充分利用CMA收敛速度快及LMS算法稳态特性好的优点,使均衡后星座图中的星座点收敛速度快、相位点集中,信噪比高且稳定,其信号误码率为原来的五分之一。

关键词:相移键控;自适应滤波器;最小均方算法;恒模算法;相位均衡

中图分类号: TN929.12 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8788(2016)04-0016-03

Optical Phase-Shift Keying Equalization Algorithm Improvement

ZHU Yao-lin^{1,2}, GUAN Hao¹, KE Xi-zheng²

(1. College of Electronic Information, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China;

2. School of Automation and Information Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: In this paper, we propose an improved algorithm to solve the phase distortion and high bit error ratio problems during the signal transmission. Through setting the error threshold value, the algorithm can work between the CMA and LMS modes. The improved algorithm fully utilizes the faster convergence speed in CMA algorithm and LMS algorithm with good stability. The simulation results show that the proposed algorithm can increase the convergence speed of constellation points, concentrate the phase point, realize high and stable signal noise ratio high, and reduce the signal error rate to be 1/5 of the previous result.

Key words: PSK; adaptive filter; LMS algorithm; CMA; phase equalization

0 引言

在光通信系统中,结合调制方式、滤波器结构、优化算法以及均衡技术等方面进行改进,可以降低码间干扰影响,提高信号恢复的准确性^[1]。然而,自适应滤波算法在信号传输过程中存在滤波器阶数与误码率相互制约、收敛速度与失调量相矛盾的问题^[2]。高鹰等人提出了一种变步长自适应滤波算法,用变步长替代固定步长,获得了较快的收敛速度,但信号误差较大且不稳定^[3]。雷利华等人对LMS(最小均方)算法的步长因子进行了改进,改善了滤波器性能,恢复信号具有较好的稳态特性,但其自相关系数函数的估值运算量较大,且收敛速度并不理想^[4]。对于CMA(恒模算法),虽然可以自动调整抽头系数,提高信道效率和收敛速度^[5],但此类算法对噪声的敏感度不强,信号干扰较大。若将两种算法结合使用,充分利用LMS算法和CMA各自的优势,不仅可以获得较好的稳态特性,还可以提高星座点的收敛速度均衡器的性能,减少误差,降低误码率。

1 光通信系统模型

在光通信系统中,将电信号经过光QPSK(四相相移键控)调制到光载波上进行传输。光通信系统模型结构如图1所示。

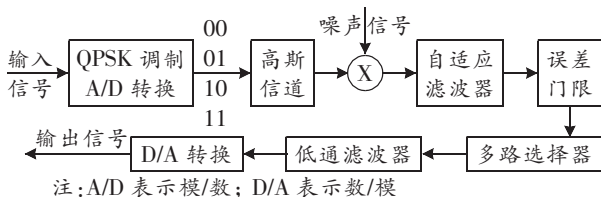


图1 光通信系统模型结构

在接收端,输出函数可以表示为

$$y(t) = x(t) \otimes h(t) + n(t) \quad (1)$$

式中, $x(t)$ 为输入函数; $n(t)$ 为高斯白噪声。高斯信道的传输函数为

$$H(z) = 0.005 + 0.009z^{-1} - 0.024z^{-2} + 0.854z^{-3} - 0.218z^{-4} + 0.049z^{-5} - 0.016z^{-6} \quad (2)$$

2 相位均衡改进算法的提出

改进算法的主要思想是在接收机接收信号前,

收稿日期:2016-02-21

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60977054);陕西省教育厅自然专项资助项目(14JK1318)

作者简介:朱耀麟(1977—),男,江西抚州人。副教授,博士(后),主要研究方向为无线通信。

先对多路选择器进行门限值设置,在不同门限值条件下,分别调用 LMS 算法和 CMA。

当均衡器工作时, CMA 会初始化均衡器的加权系数,由输入信号自身的统计特性完成对加权系数的调整,其代价函数^[6]为

$$J(n) = E(|y(n)|^2 - R_2)^2, \quad (3)$$

式中, R_2 为误差常数; $y(n)$ 为输出序列; $E(\cdot)$ 是对误差函数求均方误差。再对代价函数关于 $w(n)$ 求偏导,可得

$$\frac{\partial J}{\partial w(n)} = 4E[x(n)y(n)(|y(n)|^2 - R_2)]^2. \quad (4)$$

由最陡梯度下降法得到均衡器抽头系数 $w(n)$ 的权值迭代公式^[7]为

$$w(n+1) = w(n) + \mu x(n)y(n)(|y(n)|^2 - R_2), \quad (5)$$

式中, μ 为步长因子。当式(5)=0 时,可得

$$R_2 = \frac{E|x(n)|^4}{E|x(n)|^2}. \quad (6)$$

由上述公式可知,虽然代价函数无法准确得到数据符号序列,但 CMA 仍然能正确地调整抽头系数。

当均衡器达到稳定状态时,调用 LMS 算法实现,自适应滤波器的权系数迭代公式为

$$W(n+1) = W(n) + 2\mu e(n) \cdot X(n), \quad (7)$$

式中, $W(n)$ 为滤波器的权矢量; $X(n)$ 为滤波器的参考输入矢量; $e(n)$ 为滤波器的输出误差调整值; μ 为步长因子,且满足 $0 < \mu < 1/\lambda_{\max}$, $\lambda_{\max}$ 为输入信号自相关矩阵的最大特征值,可以控制自适应速度与稳定性的关系^[8]。

最后接收端的输出信号为

$$y(t) = \exp[j(\omega_c + \varphi_n)t]x(t) \otimes h(t) + n'(t), \quad (8)$$

式中, $n'(t)$ 为经过滤波器后的噪声,相位角满足

$$\varphi_n(n) = W(n) \cdot X(n), \quad (9)$$

相位差满足

$$e(n) = X(n) - \varphi_n(n). \quad (10)$$

两种算法的相互转换由 MSE (均方误差) 来决定,其 MSE 应满足

$$MSE(n) = E\{e^2(n)\} = E\{[\hat{x}(n) - \hat{x}(n)]^2\}, \quad (11)$$

式中, $\hat{x}(n)$ 为均衡器恢复的信号; $\hat{x}(n)$ 为判决输出信号。

当 MSE 大于门限值 u 时,均衡器选用 CMA 更新加权系数;当 MSE 小于门限值 v 时,选用 LMS 算法;当 MSE 在两门限值之间时,直接使用上一次的算法即可。而门限容限值 u, v 满足

$$u = R_2 \leq 1$$

$$v = \lambda_{\max} = \sum_{i=0}^L E[x^2(i)], \quad (12)$$

式中, L 为滤波器阶数。对于 u, v 的取值需要多次调试。图 2 为改进算法结构的流程图。

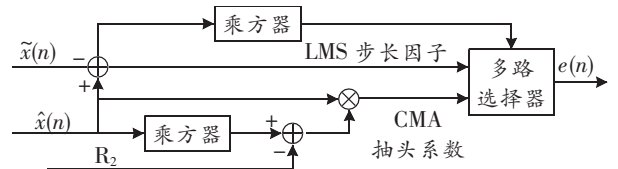


图 2 改进算法的结构流程图

3 仿真结果及分析

图 3 所示为 LMS、CMA 和改进算法的 4 相星座图。图 3(a)、(b)采用的滤波器阶数为 9,信道为高斯信道,步长因子 $\mu = 0.001$,星座点 $n = 5000$,信噪比 $SNR = 15$ dB。不难看出,图 3(a)中的星座点重叠严重,收敛速度慢;图 3(b)矫正了相位偏差,但外围星座点较离散。图 3(c)在原有算法的运行环境基础上,令 $SNR = 20$ dB,可以看出,改进算法不仅矫正了相位旋转,而且星座点收敛速度快,集中于理想相位值周围。

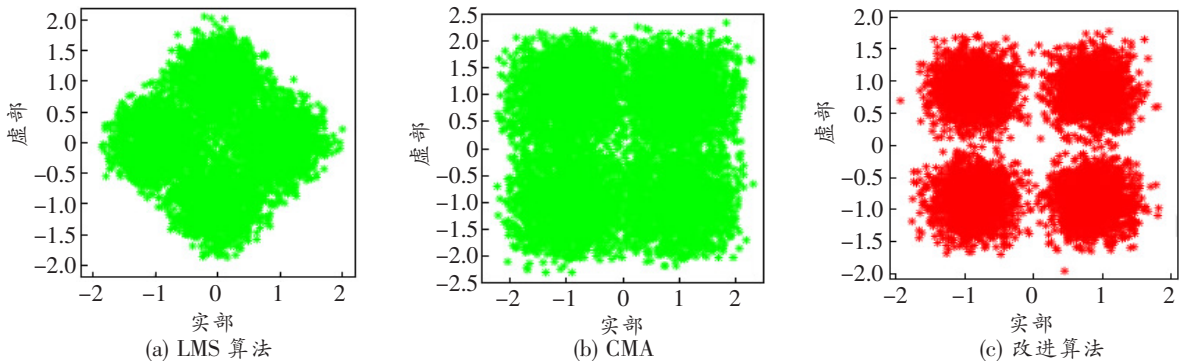


图 3 LMS、CMA 和改进算法的 4 相星座图

图 4 所示为 3 种算法的误码率曲线比较,其中改进算法的误码率最低,仅为原算法误码率的 1/5。图 5 所示为改进均衡算法的 16 相位星座图及均衡误差曲线,采用相同的运行环境,星座点在 1 000 点以后趋于稳定,均衡误差为 -10 dB,说明星座点收敛速度快,误差较小。

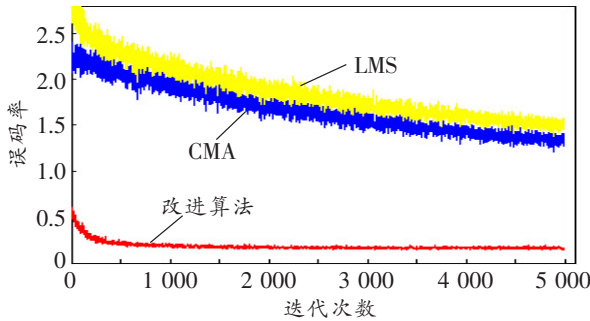


图 4 3 种算法的误码率曲线图

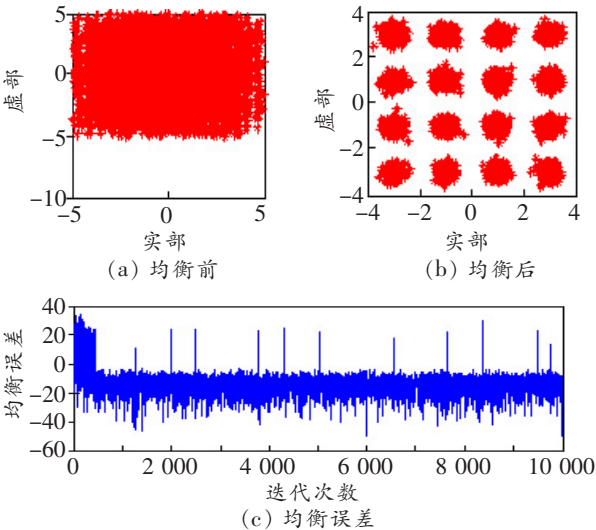


图 5 改进算法的 16 相位星座图

4 结束语

通过仿真图可以看出,改进后的算法在误差门限限制条件下可充分发挥 CMA 和 LMS 算法的优点,均衡后的相位点集中于理想相位值周围,星座点收敛速度快,信号的信噪比高且稳定。同时,对 4 相相位和 16 相位的星座点误码率进行研究得出,改进算法的误码率为原算法的 1/5,大大提高了信号恢复的准确性,能够达到预期目标。仿真结果表明,结合使用两种算法的优点,可以快速捕获主要信息,减少信道干扰,在数字通信系统中具有很高的研究价值,也将是信息传输与恢复过程中的重要研究方向。

参考文献:

[1] 邱天爽,魏东兴,唐洪,等. 通信中的自适应信号处理 [M]. 北京:电子工业出版社,2005:32-78.

[2] 柯熙政,席晓莉. 无线激光通信概论 [M]. 北京:北京邮电大学出版社,2004:50-62.

[3] 高鹰,谢胜利. 一种变步长 LMS 自适应滤波算法及分析 [J]. 电子学报,2001,29(8):1094-1097.

[4] 雷利华,施浒立,马冠一. 基于 LMS 与 RLS 算法的自适应均衡器性能研究 [J]. 微计算机信息,2009,25(5):25-26.

[5] 蔡理金. CMA 算法盲均衡性能分析 [J]. 通信技术,2011,44(12):19-21.

[6] 曾军,黄华,李东. 恒模类盲均衡算法研究 [J]. 通信技术,2009,42(10):60-62.

[7] Zheng X K, He H, Wu C l. A new ant colony-based routing algorithm with unidirectional link in UV mesh communication wireless network [J]. Optoelectronics Letters,2011,42(2):139-142.

[8] 乔耀军,杜晓,纪越峰. 光四相相移键控传输系统中相位估计算法研究 [J]. 光学学报,2010,5(10):1229-1233.

欢迎来稿 刊登广告