

改进的LMS算法在Simulink仿真平台实现

陈立伟, 谭志良, 崔立东
(军械工程学院, 石家庄 050003)

摘要: **目的** 将改进的变步长LMS算法在Simulink平台上实现。**方法** 对LMS算法进行基础研究, 详细地探究变步长算法在信号处理中的收敛速度和失调两个方面的内容, 改进变步长算法, 并验证算法的有效性。基于S-function, 对改进的LMS算法建模, 通过算法模块调用改进算法程序, 达到对信号滤波的目的。**结果** 仿真结果表明, 算法模块能够实现算法滤波功能, 能有效地抵消干扰。**结论** 算法应用于Simulink建模, 算法模块能够适应不同的Simulink平台, 提高了对算法的开发与应用的效率。

关键词: 变步长最小均方误差算法; 收敛速度; 稳态误差; Simulink建模

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2015.06.004

中图分类号: TJ99; TN924.6 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2015)06-0026-05

Realization of LMS Algorithm on Simulink Simulation Platform

CHEN Li-wei, TAN Zhi-liang, CUI Li-dong
(Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

ABSTRACT: **Objective** To realize the improved variable step size LMS algorithm on the Simulink platform. **Methods** Base on basic researches of LMS algorithm, the two aspects of convergence speed and imbalance in the signal processing by variable step size LMS algorithm were explored in details to improve the variable step algorithm and verify the effectiveness of the algorithm. Based on S-function, the model of the improved LMS algorithm was established and the algorithm program was improved by module calls to achieve the purpose of signal filtering. **Results** The simulation results showed that the algorithm module can achieve algorithm filtering function and effectively counteract interference. **Conclusion** In the algorithm adopted in Simulink modeling, the algorithm module can be adapted to different Simulink platforms, which improved the efficiency of the development and application of algorithms. **KEY WORDS:** variable step size LMS algorithm; convergence speed; steady-state error; Simulink modeling

1960年, Widrow和Hoff提出了最小均方算法。因其具有复杂度低和易于实时实现等优点, 在系统辨

收稿日期: 2015-07-22; 修订日期: 2015-08-25

Received: 2015-07-22; Revised: 2015-08-25

作者简介: 陈立伟(1990—), 男, 辽宁人, 硕士研究生, 主要电磁兼容与电磁防护方向的研究

Biography: CHEN Li-wei(1990—), Male, from Liaoning, Master graduate student, Research focus: electromagnetic compatibility and electromagnetic protection.

通讯作者: 谭志良(1964—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为电磁兼容及防护理论与技术。

Corresponding author: TAN Zhi-liang(1964—), Male, Ph.D., Professor, Ph.D. tutor, Research focus: electromagnetic compatibility and protection theory and technology.

识、干扰抵消、自适应控制等领域得到了较为广泛的发展。收敛速度与稳态误差是衡量算法好坏的重要指标。随着对LMS算法研究的加深,发现固定步长算法不能同时获得收敛速度和稳态误差的良好性能。在收敛时,希望有较快的收敛速度,便希望有较大的步长,若希望有较小的稳态失调则要求较小的步长。因此,收敛速度与稳态失调一直是对矛盾体,针对此矛盾,人们提出了许多变步长LMS算法。提出的Svslms算法在收敛速度增大的同时,稳态误差也增大了,而后提出的G-Svslms算法对其进行了改进。

文中在Svslms,G-Svslms两种算法的基础上提出新的变步长函数,新的算法相对旧算法收敛更快,稳态误差更小。首先对固定步长不能同时兼顾收敛速度和稳态失调性进行分析,其次针对两者的矛盾,结合旧算法提出了新算法,并验证了新算法的性能。最后,针对目前的算法都是基于Matlab实现,在许多Simulink平台不能很好地应用,对算法进行了建模。

1 两种算法性能分析

1.1 自适应算法

基于最速下降法,LMS算法对权向量沿着其梯度估计的负方向搜索,不断向最优权值靠近,实现干扰抵消功能。

基本LMS算法的迭代公式为:

$$e(n)=d(n)-x(n)\cdot w(n) \tag{1}$$

$$w(n+1)=w(n)+2\cdot u\cdot e(n)\cdot x(n) \tag{2}$$

式中: $e(n)$ 、 $d(n)$ 、 $x(n)$ 、 $w(n)$ 分别表示迭代次数为 n 时的误差信号、期望信号、输入信号和滤波器的权系数。式(2)为抽头权向量的更新公式,迭代后的收敛条件是 $0<\mu<\lambda_{\max}$ 。

1.2 固定步长算法

在Matlab环境下编写M文件,验证了收敛速度正比于步长,稳态失调反比于步长。利用修改步长参数,观察收敛后的效果。

关键程序如下:

```
for i=(k+1):N
    XN=noise((i-k+1):(i));           %LMS算法
    y(i)=w*XN';
    e(i)=x(i)-y(i);
    w=w+u*e(i)*XN;
end
```

其中:noise为输入噪声信号;x为期望信号;e为误差信号;w为权值。 $s=\sin(0.01\cdot\pi\cdot t)$;noise=randn(1,number); $x=s+noise$;步长参数为0.001,0.005,0.01;滤波器阶数 $N=4$;对LMS程序进行200次独立运算,仿真结果如图1所示。

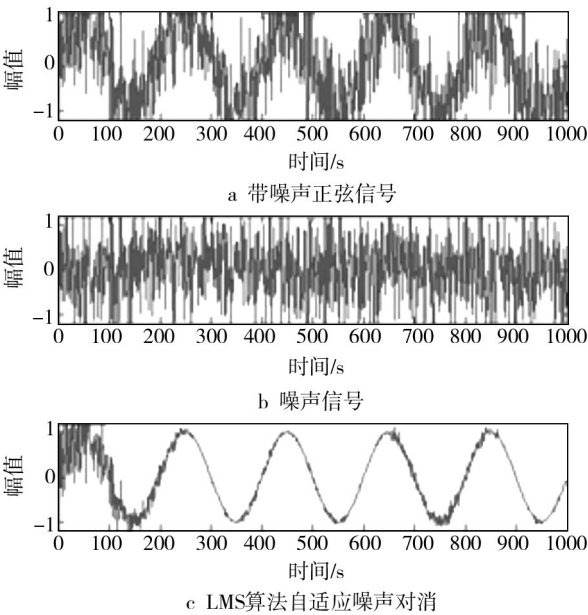


图1 自适应噪声对消结果

Fig.1 Adaptive noise cancellation results

由图1可以看出,经过LMS算法处理的信号很快接近原始正弦信号,一定程度上达到了干扰抵消的效果。

从图2中可以看出,步长为0.005的时候收敛速度慢,收敛之后误差波动很小;步长为0.01的时候收敛速度较快,收敛之后误差波动较小;步长为0.05的时候收敛速度快,收敛之后误差波动大。最终得出固定步长算法的收敛规律是:收敛速度与步长成正

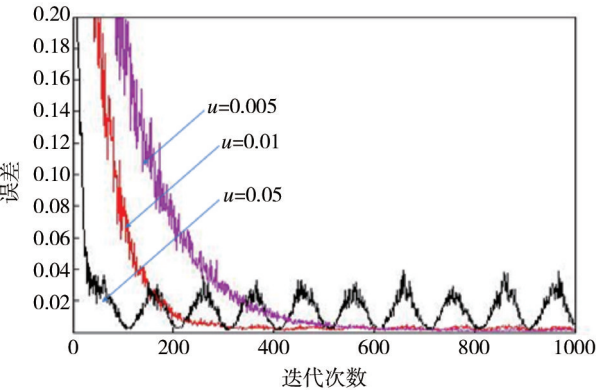


图2 固定步长LMS算法收敛曲线

Fig.2 Convergence curve of fixed step LMS algorithm

比,稳态失调性与步长成反比。为了同时获得较快的收敛速度和较小的稳态误差,提出了变步长LMS算法。

2 不同变步长算法性能比较

利用1.2中原有的程序和各项参数,改变步长为函数形式,对比固定步长、旧步长函数、新步长函数在干扰抵消中的效果。

目前性能较好的变步长算法的步长函数为:

$$u(n)=a \cdot (1-\exp(-b \cdot e^2(n))) \quad (3)$$

在此步长函数的基础上,提出相应的分段步长函数:

$$u = \begin{cases} u_0; n < n_0 \\ ca(1 - \exp(-b |e(n) \cdot e(n-1)|)) \\ c = \sin(b_1 \cdot e^2(n)) \end{cases} \quad (4)$$

提出此步长函数的原则是在收敛开始时输入较大的步长提高收敛速度,在收敛稳定后,相对比前者用更小的步长减小稳态误差。利用误差相关性提高算法抗干扰能力,提出的C函数是在误差较大的时候接近1,它的消噪能力与原步长函数的算法相当。随着收敛稳定,误差变小,C函数也随之减小,逐渐接近0,进一步减小误差。

经过大量仿真实验,分别将噪声抵消效果最为理想的参数找出来,固定步长、旧函数、新函数收敛曲线如图3所示。新函数中的参数 a, b 与旧函数相同。

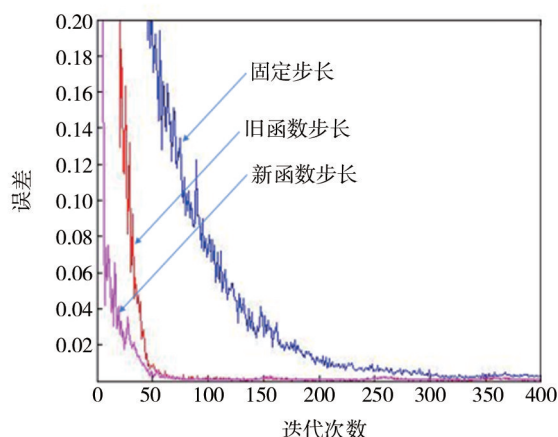


图3 不同算法的收敛曲线

Fig.3 Convergence curves of different algorithms

仿真结果表明,新的算法有相比旧算法有较快的收敛速度,同时利用信噪比公式

$$SNR = 10 \lg \frac{\sum_{n=1}^N [s^2(n)]}{\sum_{n=1}^N [(d(n) - s(n))^2]} \quad \text{计算信号在处理}$$

前后信噪比的对比情况。处理前信噪比为2.3143,处理后的信噪比:旧函数为48.8427、新函数为60.9615。较高的信噪比也验证了新函数有良好的噪声抵消效能。

3 Simulink建模

3.1 M文件的编写

为了将新的算法在不同的Simulink平台上实现其相应的干扰抵消效能,通过S函数对算法建模。通过Matlab编写M文件形式的S函数,其关键的程序为:

```
case 3
xe(n,1)=u(1);
yf=h'*xe;
err=u(2)-yf;
delta=a*(1-exp(-b*((err)^4)))+c;
h=h+delta*err*xe;
sys=err;
```

程序中的步长是固定步长与变步长函数相加,在初始验证时,要求参数 a 为0,编写固定步长LMS算法模块。利用Simulink中固定步长的模块与自定义模块对比,初始验证成功之后,要求参数 c 为0,验证变步长算法的有效性。

3.2 Simulink函数调用

编写M源文件,通过S函数创建自适应算法模块。同时为了测试模块,建立如图4所示的系统,与相应的原有模块对比,进行初步验证。

打开自适应算法中的S-Function模块,将Simulink里面固有的参数和自定义模块的参数设为一致,具体参数如图5所示。

对两个模块建立相同的参数,仿真结果如图6所示。

两种模块的输出相同,初步验证模块的可行性(横坐标为时间,纵坐标为幅值),修改参数验证变步长算法模型的有效性,仿真结果如图7所示。

图6和图7的输出结果验证了自适应算法模型的建立有效(横坐标为时间,纵坐标为幅值),为以后Simulink环境下算法的应用打下了良好的基础。

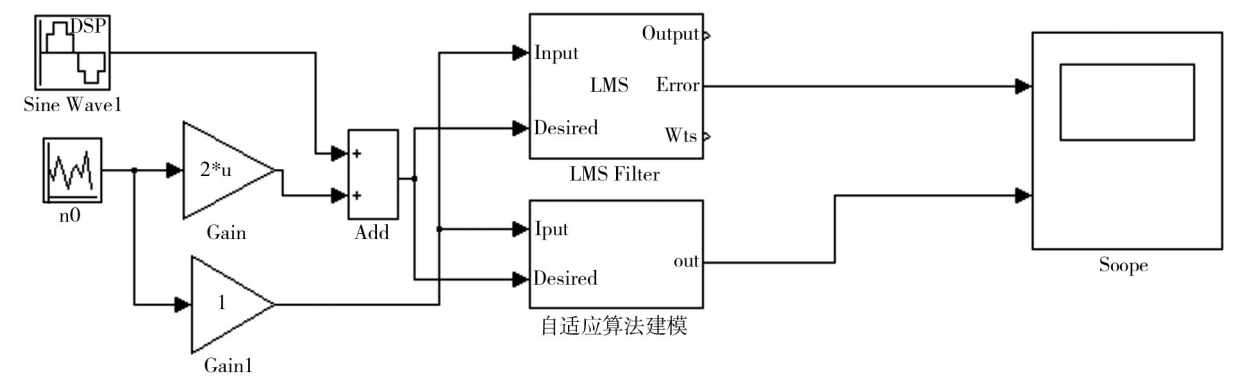


图4 LMS算法建模
Fig.4 Modeling by LMS algorithm

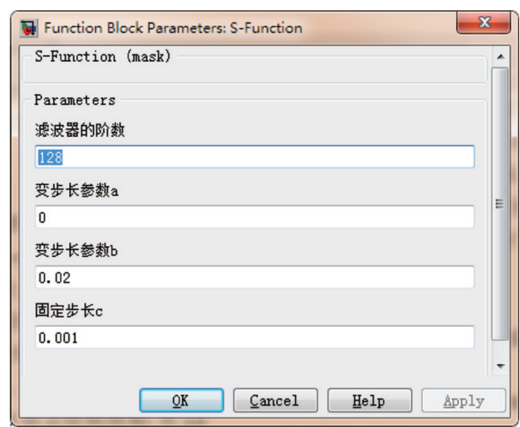


图5 自定义模块参数
Fig.5 Custom module parameters

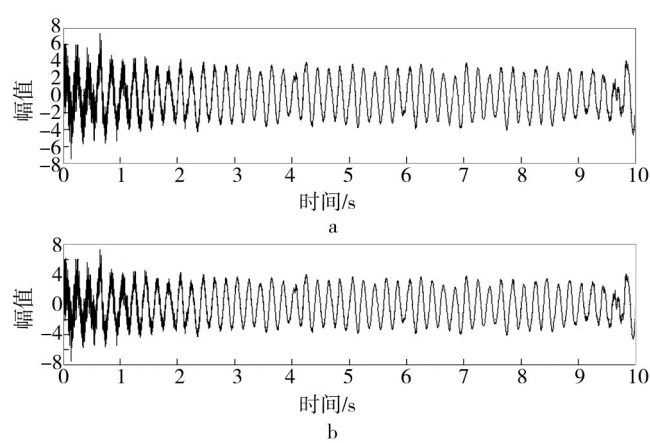


图6 系统与自定义算法模型输出对比
Fig.6 Comparison of output in system and custom algorithm models

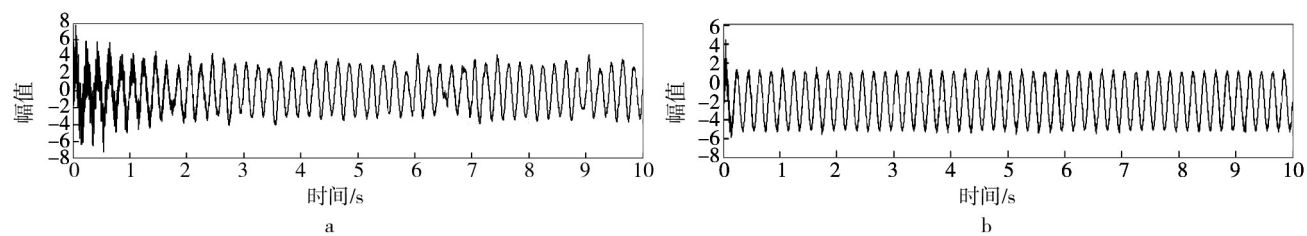


图7 系统固定步长与自定义变步长算法模型输出对比
Fig.7 Comparison of output in system fixed step and custom variable step algorithm models

4 结语

文中在自适应滤波原理的基础上对不同步长参数LMS算法的滤波性能做了分析,提出了收敛速度与稳态失调之间的矛盾,针对两者之间的矛盾阐述了原有变步长提出的原则,并提出和验证了新算法的良好性能。利用Simulink平台,对算法进行建模,为以后自适应算法的应用与开发打下了良好的基础。

参考文献:

[1] 贺洪江,王春霞. 一种新的LMS自适应滤波算法分析仿真研究[J]. 传感器与微系统,2012,31(3):15—17.
HE Hong-jiang, WANG Chun-xia. A New LMS Adaptive Filtering Algorithm Analysis And Simulation[J]. Sensors and Micro Systems,2012,31 (3):15—17.
[2] 任自钊,徐建城,闫永鹏. 一种改进的变步长LMS自适应滤波算法及性能分析[J]. 计算机应用与研究,2011,28(3):

- 954—956.
- REN Zi-zhao, XU Jian-cheng, YAN Yong-peng. A Adaptive Filtering Algorithm and Performance for an Improved Variable Step Size LMS Analysis[J]. Computer Applications and Research, 2011, 28 (3): 954—956.
- [3] 周胜增, 选民. 快速收敛最小方差无畸变响应算法研究及应用[J]. 声学学报, 2009, 34(6): 515—520.
- ZHOU Sheng-zeng, XUAN Min. Increase Voter Rapid Convergence Minimum Variance Distortion Response Algorithm Research and Application[J]. Acoustics Sinica, 2009, 34 (6): 515—520.
- [4] ARENAS-Garcia J, RFIGUEIRAS-Vidal A, SAYED A H. Steady Stateperformance of Convex Combinations of Adaptive Filters[C]// Proceedings of IEEE International Conference Acoustics, Speech, and Signal Processing. The Fleming Singapore: IEEE Press, 2005.
- [5] PAPOULIS E V, STATHAKI T. A Normalized Robustmixed Norm Adaptive Algorithm for System Identifi-cation[J]. IEEE Signal Processing, 2004, 1(11): 56—59.
- [6] 田文科, 王剑, 山秀明. PCMA自适应自干扰对消算法与仿真[J]. 电讯技术, 2011, 51(9): 778—82
- TIAN Wen-ke, WANG Jian, SHAN Xiu-ming. PCMA Adaptive Interference Cancellation Algorithm and Simulation[J]. Electric Fast Technology, 2011, 51(9): 778—782
- [7] 李梅, 李文杰, 姚善化. 改进的变步长LMS自适应滤波算法及仿真[J]. 电测与仪表, 2010, 47(554): 15—17.
- LI Mei, LI Wen-jie, YAO Shan-hua. Improved Variable Step Size LMS Adaptive Filter Algorithm and Simulation[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2010, 47(554): 15—17.
- [8] 虞晓, 胡光锐. 自适应噪声对消中的ELMS算法及其变步长算法[J]. 上海交通大学学报, 1998, 32(4): 92—95.
- YU Xiao, HU Guang-rui. Adaptive Noise Cancellation in ELMS Algorithm and Variable Step Algorithm[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 1998, 32 (4): 92—95.
- [9] 吕春英, 敖伟. 一种新的变步长LMS算法[J]. 通信技术, 2011, 44(3): 11—14.
- LYU Chun-ying, AO Wei. A New Variable Step Size LMS Algorithm[J]. Communications Technology, 2011, 44(3): 11—14.
- [10] 曾召华, 刘贵忠, 赵建平. LMS和归一化LMS算法收敛门限与步长的确定[J]. 电子与信息学报, 2003, 25(11): 1469—1474.
- ZENG Zhao-hua, LIU Gui-zhong, ZHAO Jian-ping. LMS and Normalized LMS Algorithm Convergence Threshold and the Step of Determining[J]. Electronics & Information Technology, 2003, 25(11): 1469—1474.
- [11] 赵慧霞, 许从方. 短波自适应跳频技术的研究[J]. 通信技术, 2011, 44(6): 1—3.
- ZHAO Hui-xia, XU Cong-fang. Research from Shortwave Adaptive Frequency Hopping Technique[J]. Communications Technology, 2011, 44(6): 1—3.
- [12] 刘艳. 基于FPGA和LMS算法的系统建模[J]. 现代电子技术, 2010(2): 76—79.
- LIU Yan. Modeling and FPGA Based Systems LMS Algorithm [J]. Modern Electronic Technology, 2010(2): 76—79.
- [13] 胡琳静, 孙政顺. SIMULINK中自定义模块的创建与封装[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(3): 488—451.
- HU Lin-jing, SUN Zheng-shun. SIMULINK Created and Package Custom Module[J]. System Simulation, 2004, 16 (3): 488—451.

(上接第25页)

- (10): 2422—2426.
- [21] 吴汉基, 蒋远大, 张志远, 等. 航天器表面电位的主动控制[J]. 中国航天, 2008(6): 36—40.
- WU Han-ji, JIANG Yuan-da, ZHANG Zhi-yuan, et al. Active Control of Spacecraft Surface Potential[J]. Aerospace China, 2008 (6): 36—40.
- [22] STEVENS N J. Environmentally-induced Voltage Limitations in Large Space Power System[J]. IEEE Transactions on Nuclear Science, 1984, 31: 1381—1386.
- [23] FERGUSON D C, GARDNER B. Modeling International Space Station (ISS) Floating Potentials, 2002. 03: 03736[R]. NASA STI / Recon Technical Report N, 2002.
- [24] CHRISTOPHOROUS L G. Electron-molecule Interactions and Their Applications[M]. New York: Academic, 1984.
- [25] 黄建国, 韩建伟. 航天器内部充电效应及典型事例分析[J]. 物理学报, 2010, 59(4): 2907—2913.
- HUANG Jian-guo, HAN Jian-wei. Analysis of a Typical Charging Included Spacecraft Anomaly[J]. Acta Phys Sin, 2010, 59(4): 2907—2913.