

文章编号:1007-2985(2012)02-0080-04

# 基于归一化 LMS 算法的自适应滤波器设计\*

张银行,杨辉媛,宋志国

(吉首大学物理与机电工程学院,湖南 吉首 416000)

**摘要:**归一化 LMS(NLMS)算法是一种变步长的 LMS 算法,比 LMS 算法具有更快的收敛速度.采用 Altera 公司的仿真软件 DSP Builder 和 QUARTUSII7.2,进行归一化 LMS 算法的自适应滤波器的现场可编程门阵列(FPGA)设计.

**关键词:**NLMS 算法;DSP Builder;自适应滤波器;FPGA

**中图分类号:**TN911.72

**文献标志码:**A

**DOI:**10.3969/j.issn.1007-2985.2012.02.019

自适应滤波器是一种能够自动调整本身参数的特殊维纳滤波器,在设计时不需要预先知道关于输入信号和噪声的统计特性,它能够在工作的过程中逐步“了解”或估计<sup>[1]</sup>出所需的统计特性,并以此为依据自动调整自身的参数,以达到最佳滤波效果.

自适应滤波器由参数可调的数字滤波器(或称为自适应处理器)和自适应算法两部分组成.自适应滤波器的一般形式如图 1 所示,图 1 中输入信号  $x(k)$  加权到数字滤波器产生输出信号  $y(k)$ ,自适应算法调节滤波器权系数使输出  $y(k)$  和滤波器期望的响应  $d(k)$  之间的误差信号  $e(k)$  为最小.自适应滤波器的系数受误差信号  $e(k)$  的控制,根据  $e(k)$  的值和自适应算法自动调整.一旦输入信号的统计规律发生了变化,滤波器能够自动跟踪输入信号的变化,自动调整滤波器的权系数,从而实现自适应过程,最终达到滤波效果<sup>[2-3]</sup>.

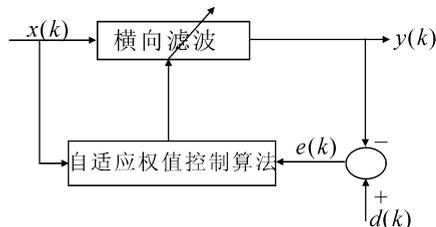


图 1 自适应滤波器原理框图

## 1 NLMS 算法

NLMS 的迭代公式为

$$y(k) = \sum_{i=0}^N w_i(k) x_i(k),$$
$$w(k+1) = w(k) + \frac{\mu}{\gamma + x^T(k)x(k)} e(k) x(k),$$
$$e(k) = d(k) - y(k).$$

其中:  $x(k)$  为输入信号;  $y(k)$  为输出信号;  $d(k)$  为期望信号;  $w(k)$  为滤波器的系数;  $e(k)$  为输出误差;  $\mu$  为控制失调的固定收敛因子,取值范围  $0 < \mu < 2$ ;  $N$  为滤波器的阶数;  $\gamma$  参数是为避免  $x^T(k)x(k)$  过小导

\* 收稿日期:2011-12-16

基金项目:吉首大学校级资助课题(11JD044)

作者简介:张银行(1982-),男,河南焦作人,吉首大学物理与机电工程学院讲师,硕士,主要从事射频集成电路设计研究.

致步长值太小而设置的,取值范围  $0 < \gamma < 1$ . 规一化 LMS 算法比 LMS 算法的计算量稍有增加,规一化 LMS 算法的收敛速度比 LMS 算法更快<sup>[4-5]</sup>,因为它在使瞬时输出误差最小化时,采用了可变收敛因子<sup>[6]</sup>.

## 2 系统建模与仿真

DSP Builder 是 Alltera 公司推出的一个面向 DSP 开发的系统级工具,作为 MATALB 的一个 Simulink 工具箱(ToolBox)出现的. DSP Builder 作为 Simulink 中的一个工具箱,使得用 FPGA 设计 DSP 系统完全可以通过 Simulink 的图形化界面进行,只要简单地进行 DSP Builder 工具箱中的模块调用即可.

### 2.1 系统建模设计

NLMS 算法自适应滤波器主要由延迟器、加法器、减法器、乘法器、系数更新等模块组成,图 2 是 7 阶 NLMS 算法自适应滤波器的系统方框图,期望信号由 sine wave1 模块提供,输入信号由 sine wave2 和 Random Bitstream 叠加在一起的信号组成. 系统所需的模块都是直接调用 DSP builder 中的模块,其中系数更新模块是一个封装的子系统,内部结构见图 3. 如果需要提高收敛速度,则可增加滤波器的阶数,可增加延迟模块和子系统模块. 阶数的增加必定消耗更多的硬件资源,笔者给出 NLMS 算法的自适应滤波器的 FPGA 实现方法,滤波器的阶数,步长控制参数  $\mu$  必须依据所应用的实际情况确定.

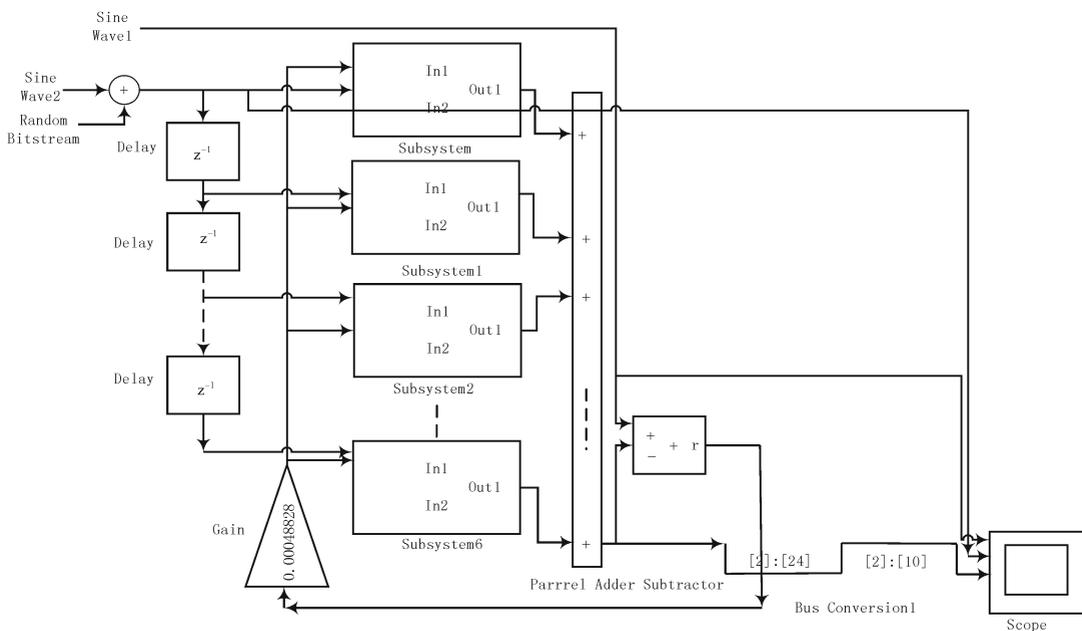


图 2 NLMS 算法自适应滤波器的系统方框图

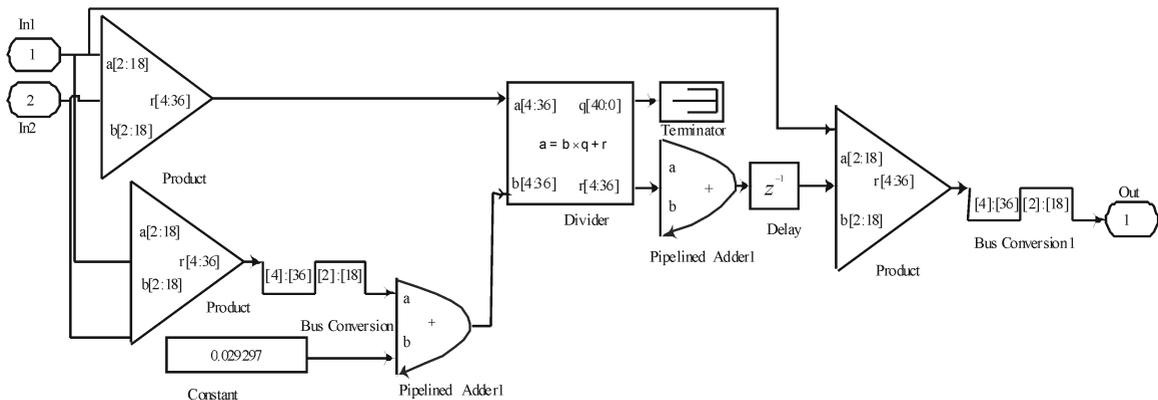


图 3 NLMS 算法子系统内部框图

### 2.2 子系统内部模块

子系统内部模块主要由乘法器、除法器、加法器、延迟单元、总线类型转换等模块组成,主要完成滤波

器的权值的更新,即  $w(k+1) = w(k) + \frac{\mu}{\gamma + x^T(k)x(k)} e(k)x(k)$  和  $w_i(k)x_i(k)$  运算。

### 2.3 波形仿真

Matlab 的 Simulink 环境具有强大的图形化仿真验证功能,用 DSP Builder 模块设计好一个新的模型后,可以直接在 Simulink 中进行算法级、系统级仿真验证.本设计的 Simulink 仿真如图 4 所示,输出信号含有毛刺,这说明输出信号与期望信号还有一定的稳态误差.可以通过增加滤波器的阶数或修改步长控制参数  $\mu$ ,以达到更好的效果.

运行 signal compiler 可将通过 Simulink 的模块文件(.mdl)转换成硬件描述语言 VHDL 文件,运行 Testbench(测试平台)可将 sine wave1、sine wave2+noise、clock 转换成针对 HDL 仿真器 ModelSim 的测试文件. ModelSim 是使用最广泛的基于单内核的 Verilog/ VHDL 混合仿真器,可方便地将信号波形显示为类似模拟信号的格式,特别适合显示复杂信号的波形.

由图 4 可知输出信号 sine out 逐渐趋于稳定,且逼近于期望信号 sine wave1 因此设计结果满足要求,能够实现自适应过程.图 4 Simulink 仿真图和图 5 ModelSim 功能仿真图基本一致,说明模块文件(.mdl)和 VHDL 文件一致.

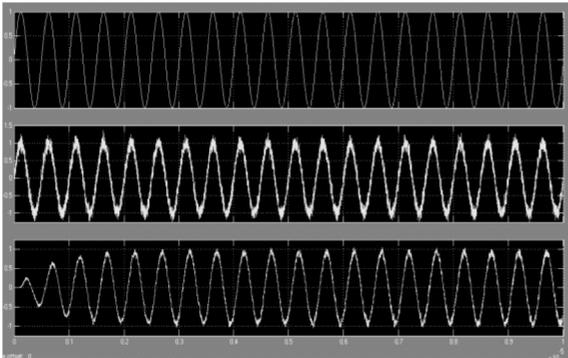


图 4 Simulink 仿真

RTL 仿真通过以后再调用 QuartusII 进行综合、编译与适配,最终生成编程文件即 pof 文件和 sof 文件.7 阶 NLMS 算法自适应滤波器共消耗 EP2S30F484C3 芯片 Combinational ALUTs 12692 个,pins 38 个,logic registrator 405 个,DSP block 9-bit elements 128 个,整体模型对应的模块如图 6 所示.

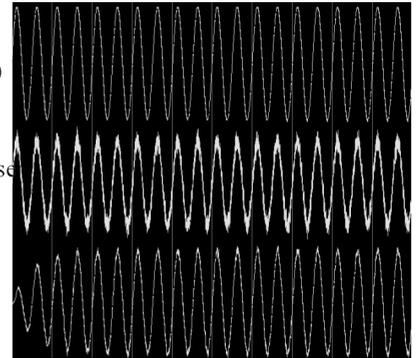


图 5 ModelSim 功能仿真图

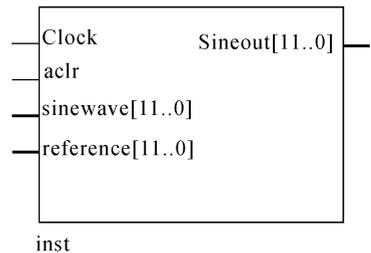


图 6 NLMS 算法自适应滤波器顶层模块图

## 3 结语

笔者给出了基于 NLMS 算法的自适应滤波器的 FPGA 实现方法,如果想达到更快的收敛速度,更小的稳态误差,只需增加子系统,延迟单元即可,笔者直接调用 DSP Builder 里面的模块进行设计,而不必采用硬件描述语言进行底层模块的编写,使更多的精力放在算法级的研究上.

### 参考文献:

- [1] 田 耘,徐纹波,张延伟.无线通信 FPGA 设计 [M].北京:电子工业出版社,2008.
- [2] 赫 金.自适应滤波器原理 [M].郑宝玉,译,第 4 版.北京:电子工业出版社,2003.
- [3] 迪尼,著.自适应滤波算法与实现 [M].刘郁林,译,第 2 版.北京:电子工业出版社,2004.
- [4] BERSHAD N. Analysis of the Normalized LMS Algorithm with Gaussian Inputs [M]. IEEE Trans. Acoust, Speech, Signal Processing,1986, ASSP-34:793 - 806.
- [5] SLOCK D T M. On the Convergence Behavior of the LMS and the Normalized LMS Algorithms [M]. IEEE Trans. Signal Processing,1993,41:2 811 - 2 825.

- [6] TARRAB M,FEUER A. Convergence and Performance Analysis of the Normalized LMS Algorithm with Uncorrelated Gaussian Data [M]. IEEE Trans. Inform. Theory,1988,IT-34:680 - 691.

## Design of Adaptive Filter Based on the Normalized Least-Mean-Square Algorithm

ZHANG Yin-hang, YANG Hui-yuan, SONG Zhi-guo

(College of Physical Science and Mechatronic Engineering, Jishou University, Jishou 416000, Hunan China)

**Abstract:** The convergence rate of the Normalized Least-Mean-Square (NLMS) algorithm with variable step length is higher than that of the Least-Mean-Square algorithm, and the Field Programmable Gate Array (FPGA) design of the adaptive filter using Altera DSP Builder and QUARTUS II 7. 2 is accomplished.

**Key words:** NLMS algorithm; DSP Builder; adaptive filter; FPGA

(责任编辑 陈炳权)

---

(上接第 79 页)

### 参考文献:

- [1] 李旭超,朱善安.小波域图像降噪概述 [J].中国图像图形学报,2006,11(9):1 201 - 1 209.  
[2] 李玉峰.小波分析在图像去噪与压缩中的应用研究 [D].长春:中科院长春光学精密机械与物理研究所,2006.  
[3] 龚昌来.基于小波变换和均值滤波的图像去噪方法 [J].光电工程,2007,34(1):72 - 75.  
[4] 姜三平.基于小波变换的图像降噪 [M].北京:国防工业出版社,2009:35.  
[5] 原志雷,杜劲松,毕 欣.基于均值的小波阈值去噪方法 [J].控制工程,2011(S1):21 - 22.

## Image De-Noise Based on Wavelet Threshold Shrinkage

SONG Zhi-guo, ZHANG Ying-hang, DENG Xiao-fei

(College of Physics and Electromechanic Engineering, Jishou University, Jishou 416000, Hunan China)

**Abstract:** The image denoising experiment, using biorthogonal wavelet and applying VisuShrink thresholds and BayesShrink thresholds, is conducted to images mixed with Gaussian white noise through the hard threshold function and the soft threshold function respectively. The results show that denoising effect of the hard VisuShrink threshold is better than that of soft VisuShrink threshold; the denoising effect of the soft BayesShrink threshold is better than that of hard BayesShrink; and BayesShrink can have a better denoising effect only in the soft threshold function.

**Key words:** wavelet transform; image de-noise; threshold; threshold function

(责任编辑 陈炳权)