

# 基于 LabVIEW 与 MATLAB 的自适应 滤波器设计研究

许国威, 马胜前, 危淑平

(西北师范大学 物理与电子工程学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:**针对 MATLAB 环境下设计自适应滤波器不便构建成一个虚拟仪器系统的问题,采用 LabVIEW 和 MATLAB 混合编程方法,通过 LabVIEW 中的 MATLAB Script 节点导入 MATLAB 脚本程序,设计了基于 LMS、RLS 两种算法的自适应滤波器,并在 LabVIEW 与 MATLAB 环境下进行了仿真对比。实验结果表明,所设计的虚拟滤波器性能良好,编程容易,人机接口界面良好,便于工程技术人员快速开发,在现代信号处理领域有很好的参考价值。

**关键词:**实验室虚拟仪器集成环境;自适应滤波器;LMS 算法;RLS 算法

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)01-0226-04

## Design and Research of Adaptive Filter Based on LabVIEW and MATLAB

XU Guo-wei, MA Sheng-qian, WEI Shu-ping

(College of Physics and Electronic Engineering, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:**In order to solve the problem that adaptive filters are inconvenient to design a virtual instrument system by MATLAB, this paper intended to develop two adaptive filters by the method of mixed program between LabVIEW and MATLAB, and which based on the LMS and RLS algorithms by MATLAB programme that was imported by MATLAB Script Node of LabVIEW. And the two algorithms simulation results is compared with the software of MATLAB. The simulation results shows the effectiveness, simple programming, and good man-machine interface of the adaptive filters. It can be convenient for engineers to develop efficiently, which has good application value in the field of modern digital signal processing.

**Key words:**laboratory virtual instrument engineering workbench; adaptive filter; LMS algorithm; RLS algorithm

## 0 引言

LabVIEW (laboratory virtual instrument engineering workbench, 实验室虚拟仪器工作平台)使用 G 语言 (Graphics Language, 图形化编程语言)编程,是一种图形化的软件开发集成环境。它可以高效地设计、构建和修改自己的虚拟仪器系统<sup>[1]</sup>。MATLAB 是一种直观高效的计算机语言,它提供了强大的矩阵运算和图形处理功能,编程效率高,几乎在所有的工程计算领域都提供了准确、高效的工具箱<sup>[2]</sup>。开发人员可以利用 LabVIEW 构建良好的人机接口界面,并结合 MATLAB 高效处理复杂的算法分析处理能力,使得搭建起来的

测试系统更加完美。

文献[3,4]采用 MATLAB 对自适应滤波算法进行了研究,但不便设计成一个虚拟仪器系统进行参数分析,缺少一个良好的人机交互界面。文中采用 LabVIEW 与 MATLAB 混合编程的方法,直接通过 MATLAB Script 节点调用 MATLAB 下的自适应滤波库函数,设计了基于 LMS、RLS 两种算法的自适应滤波器,并将仿真结果与 MATLAB 环境下进行了对比。实验结果表明,设计的滤波器滤波效果良好,较好的人机交互界面,参数调节容易,在工程应用中有较好的参考价值。

## 1 自适应滤波器的原理

自适应滤波器 (Adaptive filter) 实际上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,它能够在工作过程中逐步“了解”或估计出所需要的统计特

收稿日期:2010-05-31;修回日期:2010-08-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(20927004);西北师范大学科技创新工程资助项目(NWNU-KJXGCG-03-24)

作者简介:许国威(1983-),男,湖北仙桃人,硕士研究生,研究领域为计算机测量与控制 and 自适应信号处理;马胜前,教授,硕士研究生导师,主要研究领域为计算机测量与控制 and 自适应信号处理。

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<sup>[5]</sup>。

自适应滤波器原理图如图 1 所示,主要由参数可调的数字滤波器(也称为自适应处理器)和自适应算法两部分组成。

其中参数可调数字滤波器可以是 FIR 数字滤波器或 IIR 数字滤波器,也可以是格形数字滤波器。滤波输入信号  $x(n)$  通过参数可调数字滤波器后产生输出信号  $y(n)$ ,通过与参考输入信号  $d(n)$  进行比较形成误差输出信号  $e(n)$ ,并以此反馈通过某种自适应滤波算法对滤波器参数进行调整,达到误差信号  $e(n)$  的均方值最小。

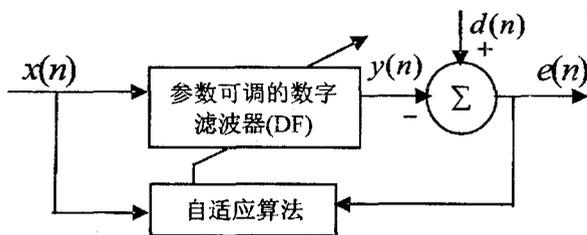


图 1 自适应滤波器原理

当前对自适应滤波算法的研究仍是自适应信号处理中最为活跃的研究课题之一。自适应滤波器主要有线性自适应滤波器和非线性自适应滤波器两种,其中非线性自适应滤波器具有更强的信号处理能力,但有较高的计算复杂度,使得在实际应用中受到限制,所以在实际应用中应用较多的还是线性自适应滤波器。线性自适应滤波器和相应的算法具有结构简单、计算复杂性低的优点。

基于自适应算法准则的不同,自适应算法最常见的为基于最小均方误差准则(MMSE)的最小均方(LMS)算法、基于最小误差平方和为优化目标的递推最小二乘(RLS)算法。其中 LMS 算法具有算法简单、运算量小、易于实现等优点,但其收敛速度较慢,而且与输入信号的统计特性有关。RLS 算法初始收敛速度比 LMS 算法快一个数量级,且执行稳定性好,但所需的存储量极大<sup>[6]</sup>,不利于实时实现。

自适应滤波 LMS、RLS 算法的设计流程,在相关文献[7]有具体的说明,这里不再过多介绍。在文献[8~10]中对 LMS 算法自适应滤波器的不同步长因子、滤波器长度,以及信噪比参数都有研究;也有文献[11,12]对 RLS 算法的自适应滤波器的遗忘因子及其改进 RLS 算法进行了研究;文中主要研究了在 MATLAB 环境下设计 LMS、RLS 自适应滤波器程序,并与 LabVIEW 环境相结合,构建两种算法的自适应滤波器虚拟仪器系统,通过加噪信号的滤波仿真,来验证滤波器有效性能。

## 2 LMS、RLS 自适应滤波器 MATLAB 程序设计

MATLAB 提供有强大的数学函数库,文中就是利用专门的 ADAPTLMS 库函数来实现 LMS 自适应滤波的。ADAPTLMS 函数的用法为:  $[y, e, s] = \text{ADAPTLMS}(x, d, s)$ ,其中  $x$  为滤波输入信号,  $d$  为参考输入信号,  $y$  为滤波输出信号,  $e$  为误差输出信号,  $s$  为包含自适应滤波器信息的结构体,可通过库函数 INITLMS 进行初始化。函数 INITLMS 的用法为:  $s = \text{INITLMS}(h0, mu)$ ,其中  $h0$  为滤波器系数的初始值,是一个长度为滤波器阶数的向量可为 0,  $mu$  为步长参数。

### ● LMS 算法的主要程序代码:

```
delayX=[0 xn]; % 输入信号延时,xn为滤波输入信号
SIGNAL=[ dn 0]; % dn为参考输入信号
h0=zeros(1,M); % 滤波器系数的初始值,M为滤波器的长度
```

```
initial=initlms(h0,mu);% 滤波器初始化,mu为步长参数
```

```
[yn,e,initial]=adaptlms(delayX,SIGNAL,initial);
```

MATLAB 同样提供了专门的函数 ADAPTRLMS 来实现 RLS 自适应滤波,ADAPTRLMS 函数的用法为:

```
[y,e,s]=ADAPTRLMS(x,d,s)
```

其中  $y$  为滤波器的输出信号,  $e$  为误差信号,  $d$  为参考信号,  $s$  为包含自适应滤波器信息的结构体,可使用函数 INITRLS 初始化。

函数 INITRLS 的用法为:

```
s=INITRLS(w0,P0,LAMBDA),
```

其中  $w0$  为滤波器系数的初始值,  $P0$  为初始输入相关矩阵的逆,  $LAMBDA$  为 RLS 算法的遗忘因子,稳定条件范围:

$0 < LAMBDA \leq 1$ ,也有的文献要求  $0.95 \leq \lambda \leq 0.995$ <sup>[12]</sup>。

### ● RLS 算法的主要程序代码:

```
w0=zeros(1,M); % 滤波器系数的初始化,M为滤波器的长度
```

```
P0=5*eye(M); % 初始化相关矩阵的逆
```

```
S=initrls(w0,P0,lam);% 自适应滤波器信息的结构体
```

```
[yn,e,S]=adaptrlms(xn,dn,S);% 滤波输出函数
```

采用 MATLAB 进行 LMS、RLS 滤波器仿真,程序设计中参数取初值为:滤波器长度( $M=64$ )、步长因子( $mu=0.04$ )、遗忘因子( $lam=0.9$ )、迭代次数( $n=512$ );参考输入信号为:  $dn = \sin(0.05 * \pi * t)$ ;滤波输入信号为均值为零的高斯白噪声:  $xn = \text{awgn}(dn, SNR)$ ,  $SNR=10$  为信噪比;LMS、RLS 滤波器仿真结果,分别如图 2、图 3 所示。

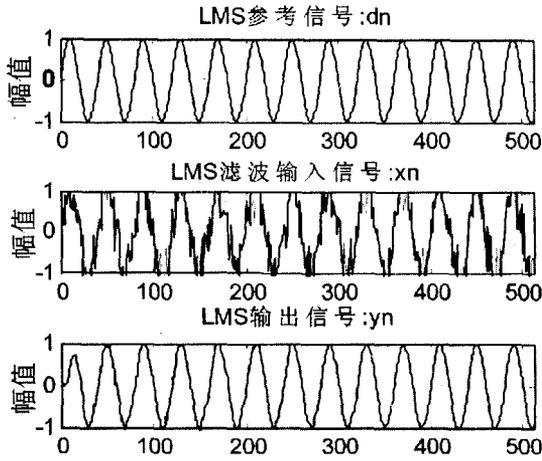


图 2 LMS 自适应滤波器仿真

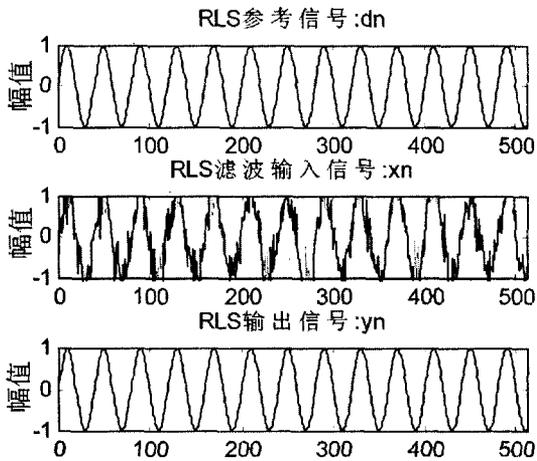


图 3 RLS 自适应滤波器仿真

### 3 基于 LabVIEW 和 MATLAB 的自适应滤波器的设计

采用 MATLAB Script 节点来实现 LabVIEW 和 MATLAB 混合编程时, LabVIEW 为设计者提供良好的用户图形界面, 负责数据采集与显示; MATLAB 则在后台提供编写的滤波算法程序供 LabVIEW 调用。

#### 3.1 前面板的设计

利用 LabVIEW 8.6 虚拟仪器开发平台设计的 LMS、RLS 自适应滤波器前面板, 如图 4 所示。仿真输入信号设置为正弦波信号和高斯白噪声叠加组成:  $x(n) = A\sin(2\pi f_0 n) + v(n)$ , 其中:  $A$  为幅度,  $f_0$  为频率,  $v(n)$  为高斯白噪声, 设初值为  $A = 1, f_0 = 10\text{Hz}, \sigma = 0.20$ ; 参考输入信号为正弦波信号:  $x(n) = A\sin(2\pi f_0 n)$ , 设初值为  $A = 1, f_0 = 10\text{Hz}$ ; LMS 算法的权向量的初值为  $w(0) = 0$ , 采样数、滤波器的长度、迭代步长可以在前面板上调节设定。RLS 算法的权向量的初值为  $w(0) = 0, x(0) = 0$ , 遗忘因子、滤波器的长度可以根据实际情况在前面板上设定。两种算法对比仿真的效果如前面板波形图显示, 从图 4 中可以看出 RLS 算法输出误差较小, 且 RLS 算法的收敛速度明显比 LMS 算法要快。

#### 3.2 程序框图设计

通过 LabVIEW 调用 MATLAB Script 节点的方法, 将 LabVIEW 采集到的数据送到后台 MATLAB 中进行复杂的运算处理, 最后将处理结果送 LabVIEW 进行输

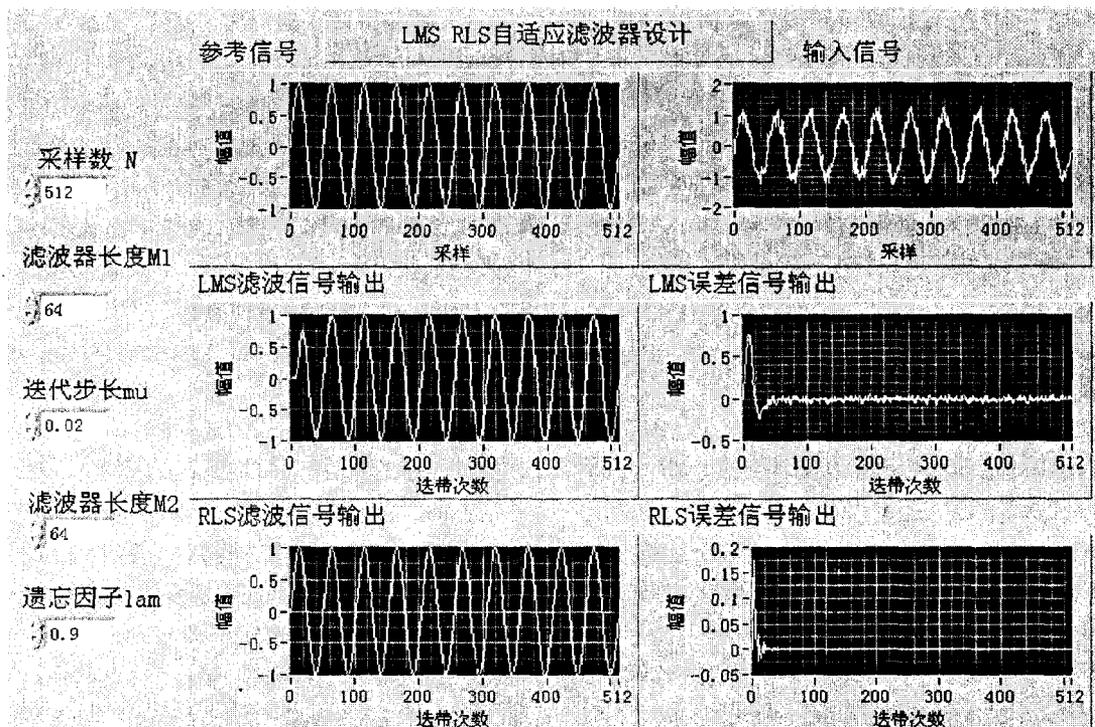


图 4 LMS、RLS 自适应滤波器前面板

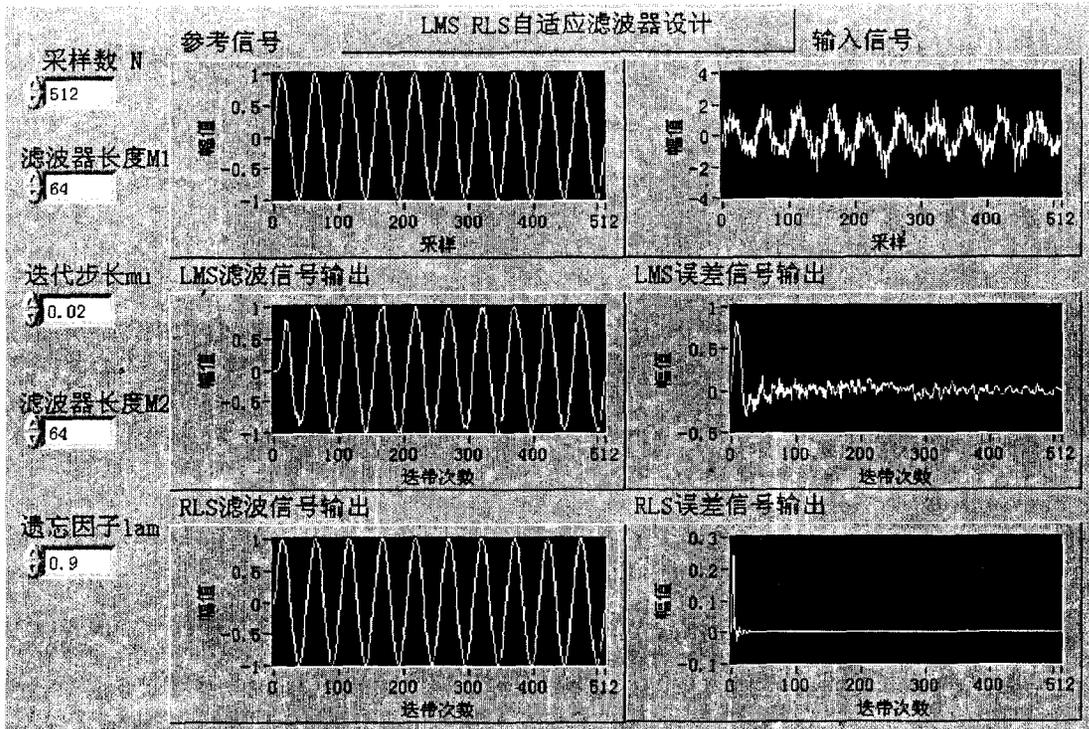


图5 随机噪声的滤波仿真

出或显示。文中通过选取 Labview8.6 的 Functions >> Mathematics >> Formula Palette >> Matlab Script 节点调用文中编写的 MATLAB 程序,设计了 LMS 自适应滤波器子 VI 和 RLS 自适应滤波器子 VI。滤波输入信号选用 Functions >> Express >> Input >> Simulate signal 产生的正弦与高斯噪声叠加信号,参考输入信号为 Simulate signal 产生的正弦信号。在工程应用时也可以将采集卡采集到的信号作为滤波输入信号,经过自适应滤波器后实现自适应滤波。通过调节前面板的输入参数:采样数(N)、滤波器长度(M)、步长因子( $\mu$ )、遗忘因子( $\lambda$ ),使得滤波器输出效果达到最佳效果。本次实验参数: $N=512$ 、 $M=64$ 、 $\mu=0.02$ 、 $\lambda=0.9$ 。从仿真图4可以看出,滤波器滤波输出效果良好,系统误差较小。

文中采用的是直接调用 MATLAB 的自适应滤波库函数实现的自适应滤波器,这样给工程技术人员带来了设计上的方便,但研究人员也可根据实际需要,编写自己的自适应滤波 MATLAB 程序,实现理想的虚拟滤波器系统。

实验中滤波信号采用的是正弦信号加高斯白噪声,也可以选择其他噪声类型,如图5所示,采用正弦信号和随机噪声叠加进行的仿真,也具有较好滤波效果。实验参数设置为: $M=64$ 、 $\mu=0.02$ 、 $\lambda=0.9$ 、频谱幅值为0.05。但在实际的工程应用中,随着测试环境的不同,滤波的实际信号千差万别,所以工程技术人员需要根据实际情况来设置滤波器的参数达到应用要

求。

#### 4 结束语

由于采用 MATLAB 开发工具设计自适应滤波器时,难以构建良好的操作界面,文中利用 LabVIEW 与 MATLAB 混合编程方法,通过 MATLAB Script 节点来调用 MATLAB 提供的专门自适应滤波函数,设计出界面良好的虚拟仪器系统,仿真结果良好,验证了滤波器的有效性。文中采用直接调用 MATLAB 自适应滤波函数的方法简单实用,可以很好地调节参数进行滤波器性能分析,研究人员也可以结合实际开发自己的滤波程序。文中设计的自适应虚拟仪器系统,通过选配合适的虚拟仪器采集硬件,例如配合 NI 公司的采集卡,可构建成一个具有工程应用价值的虚拟仪器系统,以解决工程应用中的实际问题。

#### 参考文献:

- [1] 杨乐平,李海涛,赵勇,等. LabVIEW 高级程序设计[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [2] 初秀琴,何蕾,李玉山. MATLAB 外部接口的研究与实现[J]. 计算机仿真,2002(1):107-109.
- [3] 陈黎霞,李亚萍,姚淑霞. 基于 LMS 算法和 Matlab 的自适应滤波器的设计[J]. 华北水利水电学院学报,2008,29(4):51-53.
- [4] 程玉柱,华晋,李赵春. 自适应滤波器的算法比较研究[J]. 大庆师范学院学报,2008,28(2):23-26.

(下转第 233 页)

队列的优先级,即队列号小的优先级高。在 WRR 和 WFQ 算法中,各个队列 source0 到 source3 的权值设置为 4/3/2/1。

从仿真结果表 2 来看,WFQ 算法在不同权值下都表现出了较优的性能,而且权值越大的延迟越小,所以在同样的情况下,可以优先考虑选择使用 WFQ 算法来调度,并且可以赋予较大的权值,使其延迟较小。

表 2 调度算法的平均延迟(单位 s, 平均队列长度 20)

调度算法 队列	FIFO	PQ	RR	WRR	WFQ
队列 0	0.0172	0.0167	0.0169	0.0174	0.0082
队列 1	0.0174	0.0172	0.0179	0.0177	0.0087
队列 2	0.0177	0.0169	0.0171	0.0170	0.0085
队列 3	0.0176	0.0174	0.0181	0.0179	0.0089

### 3 结束语

文中概述了航班调度算法的原理、功能和分类等相关知识,然后在 OPNET 仿真软件上设计实现这几类调度算法,研究分析出 WFQ 性能优于其它几种算法,在没有突发事件的情况下,可以优先考虑使用公平类调度。航班调度算法的研究,为协调日益增多的空中交通流量有次序地流动,设计和规划可用空间和机场容量最有效率的利用提供参考。

#### 参考文献:

[1] 华克强. 基于极大代数的离港航班优化调度[J]. 中国民航

(上接第 225 页)

北京:北京邮电大学,2007.

[11] 魏先民. 手机支付的安全性分析[J]. 商场现代化,2005 (36):120-121.  
[12] Manvi S S, Bhajantri L B, Vijayakumar M A. Secure Mobile

(上接第 229 页)

[5] 龚耀寰. 自适应滤波(第 2 版)——时域自适应滤波和智能天线[M]. 北京:电子工业出版社,2003.  
[6] Haykin S. Adaptive Filter Theory[M]. [s. l.]: Publishing House of Electronics Industry,2002.  
[7] 西蒙·赫金. 自适应滤波器原理[M]. 第 4 版. 北京:电子工业出版社,2003.  
[8] 贺宽,黄涛. 基于 Matlab 的自适应滤波器设计[J]. 武汉理工大学学报,2008,30(1):70-73.  
[9] 王鲁彬,翟景春,熊华. 自适应滤波算法研究及其 Matlab

学院学报,2005,23(3):1-5.

[2] 郭创,余凉. 网络任务调度算法的研究[J]. 计算机技术与发展,2009,19(6):5-12.  
[3] 徐慧慧,石磊,陈信. 网络资源调度算法研究[J]. 计算机技术与发展,2009,19(9):76-82.  
[4] 刘飞. 基于静态优先级的调度[J]. 航空电子技术,2007,38(3):15-19.  
[5] 伍微. 一种静态优先级保序饱和分配算法[J]. 计算机科学,2009,36(12):41-45.  
[6] 宾雪莲. 一种有限优先级的静态优先级分配算法[J]. 软件学报,2004,15(6):815-822.  
[7] McKeown N. iSLIP: a Scheduling Algorithm for Input-Queued Switches[J]. IEEE Trans. on Networking, 1998, 7(2):188-201.  
[8] Katevenis M. Weighted Round-Robin Cell Multiplexing in a General-Purpose ATM Switch Chip[J]. IEEE Journal on Selected areas in Communications,1991,9(8):1265-1279.  
[9] 扈红超. 一种公平服务的动态轮询调度算法[J]. 软件学报,2008,19(7):1856-1864.  
[10] 王荣,陈越,邬江兴,等. 在 CICO 交换结构下实现分布式的 WFQ 类加权公平调度算法[J]. 电子与信息学报,2006,28(5):805-809.  
[11] Bennett J C R, Zhang H. WF<sup>2</sup>Q: Worst-case Fair Weighted Fair Queueing//in Proc IEEE INFOCOM. San Francisco, CA: [s. n.], 1996:120-128.  
[12] Bennett J, Zhang Hui. Hierarchical packet fair queueing algorithms[C]//In: Proc ACM SIGCOMM'96. Stanford, CA: [s. n.], 1996:143-156.

Payment System in Wireless Environment[C]// 2009 International Conference on Future Computer and Communication. North Carolina, USA, Piscataway, NJ, USA: [s. n.], 2009: 31-35.

实现[J]. 电子技术应用,2008(3):174-178.

[10] Luo xiaodong, Jia zhenhong, Wang qiang. Variable step size LMS adaptive Filtering algorithm[J]. Acta Electronica Sinica,2006,34(6):1123-1126.  
[11] 高鹰. 一种基于最小二乘准则的自适应滤波算法[J]. 广州大学学报,2001,15(2):32-34.  
[12] Han Jianguo. A Model-Free Method Based Kalman Filtering Process for Time-Interval-Variable Sequences with Application to Astronomic Surveying[J]. Engineering and Electronics,2003,14(2):29-33.