

# 一种改进的推广自适应相干累积算法

王 蓬, 李志舜  
(西北工业大学 航海学院, 西安 710072)

摘要: 论文主要研究了 LMS 算法、ACI 算法、GACI 算法的原理和性能; 并对 GACI 算法加以改进, 以降低其参数对背景噪声变化的敏感性; 将算法用来提取高斯白噪声背景下的线性调频脉冲信号, 并用软件仿真器进行仿真。仿真结果表明了改进的 GACI 算法的优越性。参数对背景噪声功率变化的敏感性明显降低, 并证明了其可靠性、可行性以及工程可实现性。

关键词: 线性调频; 推广的自适应相干累积; 算法

中图分类号: TB559 文献标识码: A 文章编号: 1000-3630(2004) 02-0125-03

## An improved algorithm for generalized adaptive coherent integration

WANG Peng, LI Zhishun

(College of Marine Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

**Abstract:** The principle and performance of the least mean square (LMS), adaptive coherent integration (ACI) and generalized adaptive coherent integration (GACI) algorithms are discussed in this paper. The GACI algorithm is improved to reduce sensitivity of the parameters to noise variation. These algorithms are used to detect linear frequency modulation (LFM) signals with white Gaussian noise. Simulation results are given, showing that GACI algorithm is indeed better than the others. They also show that the algorithm is feasible.

**Key words:** linear frequency modulated (LFM); generalized adaptive coherent integration (GACI); algorithm

## 1 引言

人们提出了许多种自适应算法, 并把它们应用于信号与信息的处理, 促进了信息科学的飞速发展。自适应滤波已成为近 30 多年来发展起来的信息科学的一个重要分支, 它和信息论、优化理论、检测与估计理论等密切相关, 广泛应用于通讯、雷达、声纳、地震学、导航系统和生物医学电子学等领域。

## 2 几种算法

### 2.1 最小均方算法

最小均方算法简称 LMS 算法, 它是基于最小

均方误差准则的最简单的自适应算法, 应用十分广泛。LMS 算法的递推公式<sup>[1]</sup>:

$$w(n+1) = w(n) + 2e(n)x(n) \quad (1)$$

其中  $w(n)$  是权值,  $\mu$  是步长因子,  $e(n)$  是误差量,  $x(n)$  是输入信号。

### 2.2 自适应相干累积算法

自适应相干累积算法简称 ACI 算法, 它是在基于 LMS 算法的线谱增强器的基础上, 在权迭代公式中增加了一个简单预测项  $[w(n) - w(n-1)]$ , 这里为自适应相干累积系数。则权系数迭代式<sup>[2]</sup>变为:

$$w(n+1) = w(n) + \mu [w(n) - w(n-1)] + e(n)x(n) \quad (2)$$

ACI 算法的主要优点在于, 该算法的权更新方向由两个因素决定: 现在的梯度估值和以前更新方向的动态值。因此, 同 LMS 散发相比, 在收敛范围内取相同的  $\mu$  值时, ACI 算法的权向量收敛得更快、更平稳。

### 2.3 一种推广的自适应相干累积算法

对 ACI 算法加以推广就得到 GACI 算法, 它在其权系数迭代公式中引入更多的动量因子, 利用更多的权系数历史信息, 使其性能得到进一步的改进。

GACI 算法的权系数迭代公式<sup>[3]</sup>如下:

$$w_l(n+1) = \sum_{m=0}^{M-1} h_m w_l(n-m) + 2 e(n) x_l(n) \quad (3)$$

$l = 1, 2, \dots, L$

写成矩阵形式<sup>[3]</sup>为:

$$W(n+1) = W(n)H + 2 e(n)X(n) \quad (4)$$

显然, 当  $M=1, h_0=1$  时, GACI 算法就成为 LMS 算法<sup>[3]</sup>; 当  $M=2, h_0=1, h_1=-1$  时, 成为 ACI 算法。

### 2.4 一种改进的推广自适应相干累积算法

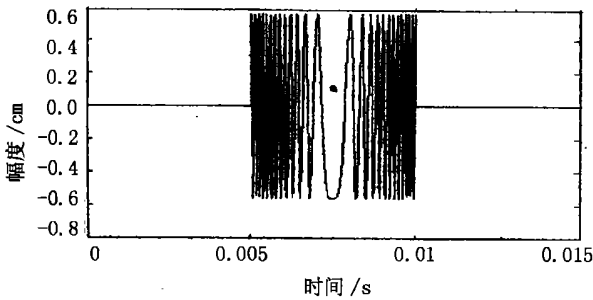
前面提到的 GACI 算法在信号提取时有一个缺陷, 即当噪声变化时选择的参数就不是最佳了, 使得提取效果变差。即在某个环境下选择的参数, 在环

境变化以后就有可能不是最佳, 甚至有可能使得结果发散, 因此, 为了克服此缺点需要对 GACI 算法加以改进, 以减少噪声变化的影响。

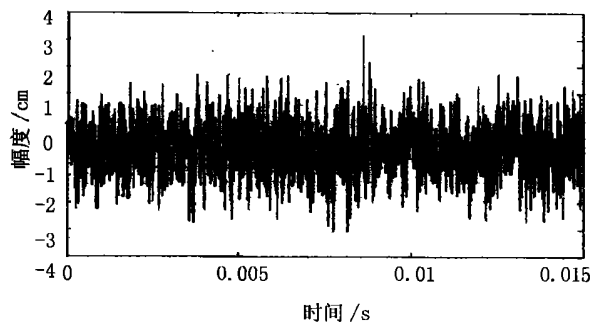
假设噪声为  $n(k) (k=1, 2, \dots, N)$ 、是均值为 0 方差为  $\sigma^2$  的高斯白噪声过程; 信号为  $s(k), k=1, 2, \dots, N, N$  代表采样点个数。考虑把噪声做归一化处理, 则可以使滤波器的输入为:

$$n(k) + s(k) / \sigma, \quad k=1, 2, \dots, N \quad (5)$$

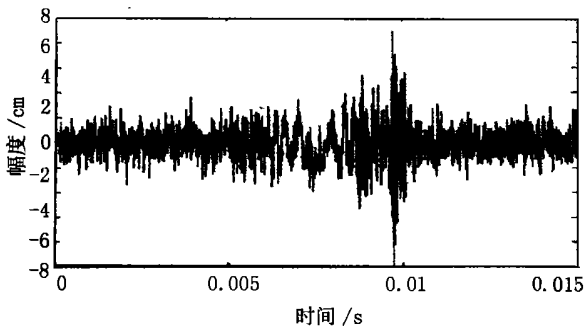
这样不管噪声功率怎样变化, 相当于滤波器的输入是不变的, 既然输入噪声是不变的, 那么参数当然无需再调整。这就是使得算法性能得到改进的物理机制。这样就达到了我们事先所期望的目的。以后的各项工作与 GACI 算法相同。可以推测此算法的性能要优于以上各种算法, 后面的仿真结果证明了我们的推测。



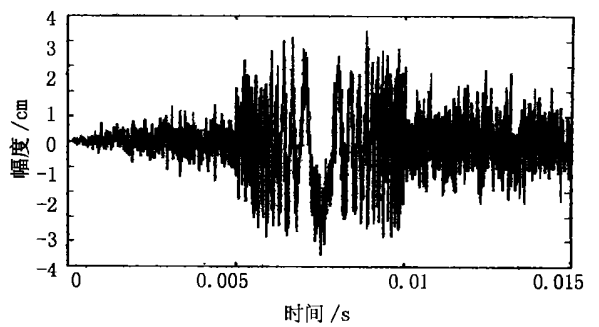
(a) 线性调频信号波形



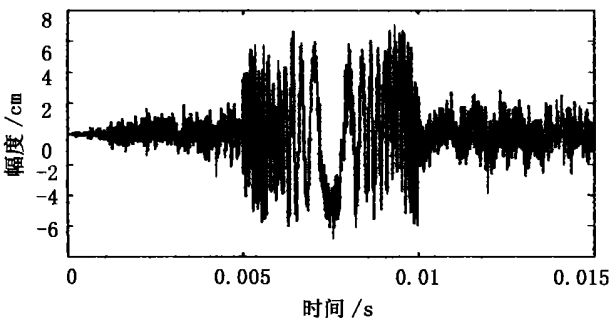
(b) 信号和噪声波形



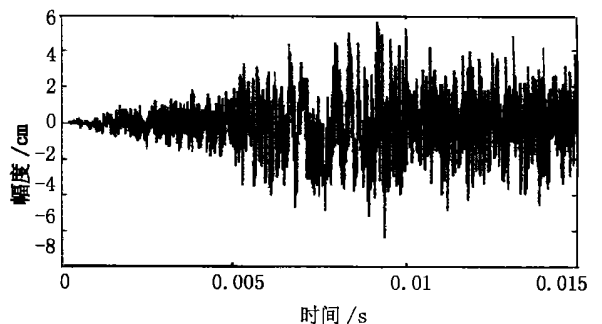
(c) LMS 算法输出波形



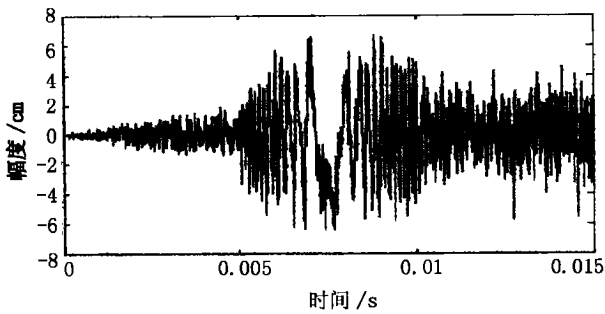
(d) ACI 算法输出波形



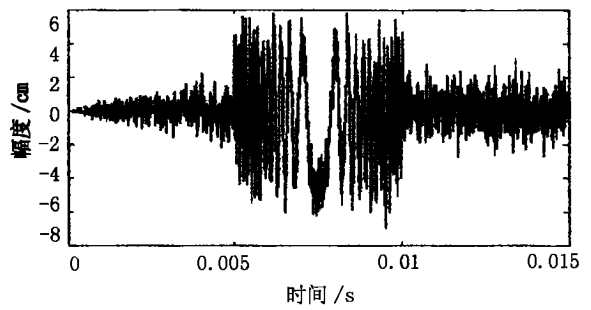
(e) GACI 算法输出波形



(f) 噪声功率改变后的 ACI 算法输出波形



(g) 噪声功率改变后的 GACI 算法输出波形



(h) 噪声功率改变后的改进的 GACI 算法输出波形

图 1 MATLAB 仿真结果( $SNR = -5\text{dB}$ )

### 3 仿真结果及其分析

本文中主要利用前述的四种算法, 采用线谱增强器的形式, 提取高斯白噪声背景下的线性调频脉冲信号。不同输入信噪比下, 高斯白噪声、频宽 2kHz 脉冲宽度 50ms 的线性调频信号以及输出信号的波形如图 1 所示(图 1 为 MATLAB 仿真结果)。

图 1 中的(c)、(d)、(e)分别是在相同的信噪比( $SNR = -5\text{dB}$ )下 LMS 算法、ACI 算法、GACI 算法的仿真结果。显然 GACI 算法的性能优于 ACI 算法和 LMS 算法。图 1 中的(f)、(g)、(h)分别是在噪声功率增加, 而  $SNR$  不变时 ACI 算法、GACI 算法和改进的 GACI 算法的仿真结果。可以看出在  $SNR$  不变而噪声功率变化时, 改进的 GACI 算法的滤波器参数仍然最佳, 因而性能远远高于其他算法。

### 4 结束语

本文研究了 LMS 算法、ACI 算法、GACI 算法

的原理, 在比较了各算法性能的基础上对 GACI 算法加以改进, 以降低其参数对背景噪声变化的敏感性; 用软件仿真器进行仿真, 并对结果加以分析。从而发现改进后的 GACI 算法的参数对背景噪声功率变化的敏感性明显降低, 并证明了其可靠性以及工程上的可实现性, 预计将有广泛的实际应用前景。

### 参 考 文 献

- [1] Tugay M A, Tanik Y. Properties of the momentum LMS Algorithm[J]. Signal Processing, 1989, 18: 117-127.
- [2] Bershad N J, CHANG Y H. Time correlation statistics of the LMS adaptive algorithm weights[J]. IEEE Trans Acoustics, Speech, Signal Processing, 1985, 33(1): 309-312.
- [3] 林山, 李志舜, 马远良. 一种推广的自适应相干累积算法 基本原理与应用[J]. 西北工业大学学报, 1992, 10(2): 147-151.
- [4] 马远良. 检测单频或调频脉冲信号的自适应相干累积 [A]. 第一届全国信号处理学术会议论文集 [C]. 1984. 971-974.
- [5] 沈福民. 自适应信号处理[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001.
- [6] 苏涛, 吴顺君, 李真芳, 宋万杰. 高性能 DSP 与高速实时信号处理(第二版)[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002.
- [7] Hsu Chioa-Ting, Wu Ja-ling. Hidden digital watermarks in images [J]. IEEE Trans on Image Processing, 1999, 8(1): 58-68.
- [8] 归绍升. 纠错编码技术与应用[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1988.
- [9] Information technology-coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1.5 m bits/s part 3: audio. British standard, BSI, London, 1993.
- [10] Martin Kutter, Fabien A P Petitcolas. A fair benchmark for image watermarking system[A]. In: Proceedings of Security and Watermarking of Multimedia Contents [C]. San Jose, CA, USA, 1999. 226-239.

(上接第 120 页)

- [4] Michael Arnold, Sebastian Kanda. MP3 robust audio watermarking [A]. IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME) [C]. 2000, (1, 2), New York, NY, USA, 2000. 1013-1016.
- [5] 王秋生, 孙圣和. 一种在数字音频信号中嵌入水印的新算法[J]. 声学学报, 2001, 26(5): 465-467.
- [6] Emilia Gomez, Pedro Cano, et al. Mixed watermarking-fingerprinting approach for integrity verification of audio recordings [A]. International Telecommunications Symposium- ITS2002 [C]. Natal, Brazil, 2002.