

一种采用两个相干累加器提高自适应谱线增强器性能的方法

王彦, 马章勇, 黄建人

(东南大学无线电工程系, 南京 210018)

摘要: 水声信道通常是一种时变的强噪声信道, 频带狭窄且各种信号的频谱相互重叠, 采用传统的滤波器或自适应谱线增强器(ALE)检测 CW 信号的效果不佳。本文提出了一种采用两个相干累加器进行 IIR 跟踪滤波的 ALE, 具有较好的窄带滤波性能, 提高了在低信噪比的水声环境下对 CW 信号的检测能力; 该算法还具有运算简单、易于用硬件实现的优点。文中给出了计算机模拟结果。

关键词: 自适应谱线增强; 相干累加; 噪声抑制

中图分类号: O427 文献标识码: A

A method for improving the performance of ALE using two coherent accumulators

WANG Yan, MA Zhang-yong, HUANG Jian-ren

(Department of Radio Engineering, Southeast University, Nanjing 210018, China)

Abstract: Underwater acoustic channels are usually time-varying with strong noise, in which various signals with narrow bandwidth are superimposed. Using conventional filters or adaptive spectral-line enhancers to detect CW signals is not ideal in these channels. In this paper, a method based on ALE using two coherent accumulators is introduced, which attempts to adjust the IIR filter to treat CW signals. Its performance in low SNR channels is satisfactory. In addition, implementation of the technique is simple. Computer simulation results are also presented.

Key words: adaptive spectral-line enhancer; coherent accumulate; noise suppression

1 引言

自适应谱线增强器(ALE)是一种能有效抑制噪声而通过窄带信号的系统,其优点在于自适应能力、低输出噪声及低信号畸变。由于它在低信噪比的环境下能有效检测出 CW 脉冲信号,所以在采用 CW 脉冲的水声设备中有着重要的应用价值。

但是,由于 LMS 算法的叠代噪声,采用这种算法的谱线增强器在输入信噪比很低时检测性能不理想。而且因为叠代噪声是随滤波器权值个数的增加而增加的,这样,由于受权值个数的限制,ALE 的增益亦受到限制。

在某些水声系统中,其信号体制采用 CW 信号加调频信号。CW 信号为同步信号,这些系统通常要求首先检测出该同步信号,然后再作其它处理。对于这样的系统,除要求在低信噪比条件下检测出

CW 信号外,还必须有效地抑制调频信号。本文在文献[1]的基础上对 ALE 再作出改进,进一步提高了 ALE 的处理增益,实现了在低信噪比且频带被调频信号覆盖的环境下可靠的提取 CW 信号。

2 原理

自适应谱线增强器原理如图 1 所示, mT 为延迟线, T 为采样周期。为了使 $z(k)$ 中的噪声分量和 $x(k)$ 中的互不相关, mT 应该大于背景噪声的时间相关半径。同时,又应该小于目标信号 $s(k)$ 的时间相关半径,若 $s(k)$ 为 CW 脉冲,则 mT 应该小于脉冲宽度 T_0 。由于自适应抵消器能够抵消 $x(k)$ 和 $z(k)$ 中的相关分量,这样 $y(k)$ 中的目标信号将更加突出,也就是 $y(k)$ 的信噪比得到了提高。

这里采用复系数 LMS 运算的横向滤波器作为自适应滤波器。假定有用信号是正弦的,则 $x(k) = s(k) + n(k) = \alpha \cdot e^{j(\omega_k t + \varphi)} + n(k)$ 。其中, Φ 是在 $[0, 2\pi]$ 上均匀分布的随机变量, $n(k)$ 为零均值的白噪声,并假定 $s(k)$ 与 $n(k)$ 是相互独立的,由文献[1]知系统对信号分量的响应为:

收稿日期: 2001-05-30; 修回日期: 2001-08-20

作者简介: 王彦(1971),男,湖南长沙人,信号与信息处理专业研究生,研究方向:数字信号处理。

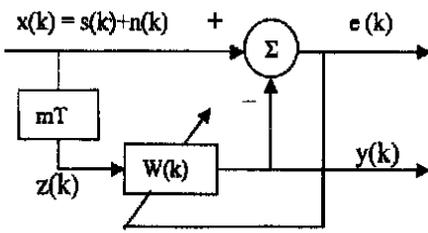


图 1 自适应谱线增强器 ALE

$$y(k)_s = \frac{(N+1)\alpha^2}{\sigma_n^2 + (N+1)\alpha^2} S(k)$$

由 $y(k)_s$ 的表达式可知, $x(k)$ 与 $y(k)$ 是同相的, 也就是说, 这种形式的 ALE 是 2π 的整数倍移相的延迟线。其输出功率为:

$$E[y(k) \cdot y^*(k)] = \left\{ \frac{(N+1)\alpha^2}{\sigma_n^2 + (N+1)\alpha^2} \right\}^2 \left(\alpha^2 + \frac{\sigma_n^2}{N+1} \right)$$

可以看出, 当 N 足够大时, 输出噪声功率降低为输入的 $1/(N+1)$, 而信号功率不变, 即 ALE 的信噪比提高了 N 倍。但是, N 的值由于受叠代噪声、运算速度等限制, 不能无限增大。

为了进一步提高 ALE 的检测性能、抑制权系数噪声, 利用相干累加技术来作改进, 原理图如下

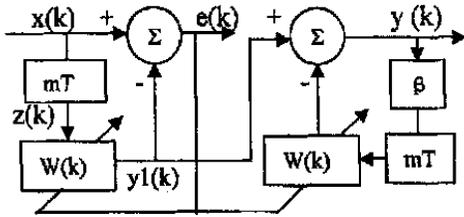


图 2 具有一个相干累加器的 ALE

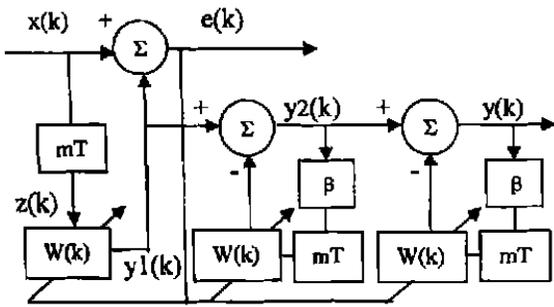


图 3 具有两个相干累加器的 ALE

图 2 的右半部分即为相干累加器, β 为小于 1 的正常数, mT 及 $W(k)$ 分别与 ALE 的相应参数相同。由前面的证明可知, 对有用信号来说, 相干累加器是 2π 整数倍的移相器, 在累加过程中是同相相加的, 干扰分量只是能量相加, 所以系统增益能显著提高。但是, 我们在计算机模拟中发现, 尽管对系统参数及滤波器权数作了反复优化, 系统对线性调频信

号和背景噪声的抑制仍不够理想。为了进一步改善性能, 提高对 CW 信号的检测能力, 在图 2 的基础上再增加一个相干累加器, 其相应参数与第一个相干累加器的完全一致, 如图 3 所示。

经简单的计算得到, 图 1 的系统传递函数为:

$$H(Z) = Y(Z)/X(Z) = W(Z)Z^{-m}$$

图 2 的系统传递函数为:

$$H(Z) = Y(Z)/X(Z) = \frac{Y1(Z)}{[1 - \beta W(Z)Z^{-m}]X(Z)} = \frac{W(Z)Z^{-m}}{1 - \beta W(Z)Z^{-m}}$$

图 3 的系统传递函数:

$$H(Z) = Y(Z)/X(Z) = \frac{Y2(Z)}{[1 - \beta W(Z)Z^{-m}]X(Z)} = \frac{W(Z)Z^{-m}}{(1 - \beta W(Z)Z^{-m})^2}$$

由上面的传递函数可知, 普通 ALE 为时变的 MA 结构, 而改进后的 ALE 既保留了自适应横向滤波器的好性能, 又具有时变的 ARMA 结构, 因而其通频带较普通 ALE 更窄, 能够更好地抑制噪声, 系统增益进一步提高。同时, 可以发现, 在滤波器权数相同的情况下, 图 3 中 ARMA 滤波器的阶数是图 2 中的两倍, 所以图 3 的 ALE 具有更陡峭的截止特性。当然, 考虑到系数精度、失调等的影响, ALE 的相移并非严格等于 2π 整数倍, 所以实际带宽、处理增益等性能比上面预计的要低一些。

在上面 3 种 ALE 的处理过程中, $W(k)$ 的迭代所占用的计算量是最大的。由于相干累加器的 $W(k)$ 已经求出, 所以在实际运用中, 改进后的系统对 CPU 速度的要求与普通 ALE 相比增加并不多。

3 计算机模拟结果

图 4.1 为输入信号(下列图形的纵坐标均经过归一化处理), 其中第 1 个脉冲为 CW 信号, 第 2 个脉冲为线性调频信号, 且 CW 信号的频率落在线性调频信号的频带内。背景噪声为覆盖该频段的海洋噪声, 信噪比为 6dB。要检测出 CW 信号, 必须抑制两类干扰: 1. 环境噪声, 2. 线性调频信号。下面用计算机模拟结果分别展示上述 3 种 ALE 的滤波能力及改变滤波器权值个数时的性能差别 (μ 取 0.03)。

图 4.2、图 4.3、图 4.4 分别为 $W(k)$ 权数 N 等于 16 时, 普通 ALE、带一个、两个相干累加器的 ALE 的输出信号。可以看出, 带相干累加器的 ALE 能明显提高输出信噪比; 带两个相干累加器的 ALE 由于有更高的频率选择性, 所以对具有一定带宽的

线性调频信号的抑制,比只用一个相干累加器的 ALE 更好。

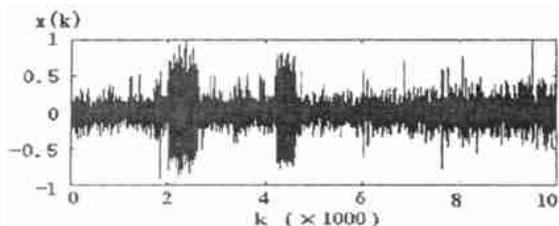


图 4.1 输入信号

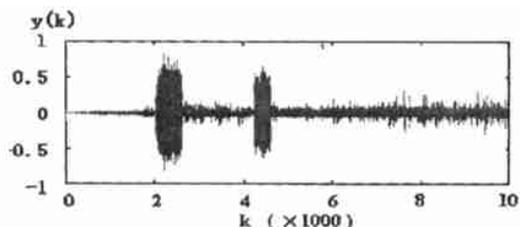


图 4.2 普通 ALE(N = 16)

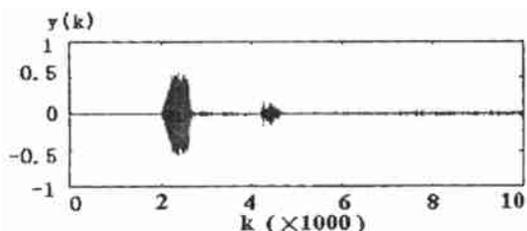


图 4.3 带一个相干累加器的 ALE(N = 16)

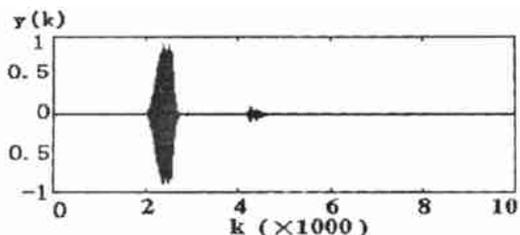


图 4.4 带两个相干累加器的 ALE(N = 16)

图 5.1、图 5.2、图 5.3 分别为 $W(k)$ 权数 N 等于 32 时,普通 ALE、带一个、两个相干累加器的 ALE 的输出信号。与上面对应的 ALE 相比,信噪比进一步提高,带两个相干累加器的 ALE 对线性调频信号的抑制更加明显。

如果使用同样的信号与噪声,仅改变信噪比,则上述 3 种 ALE 的检测极限分别为 0dB、-6dB、-11dB。

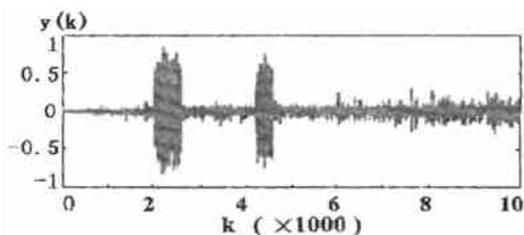


图 5.1 普通 ALE(N = 32)

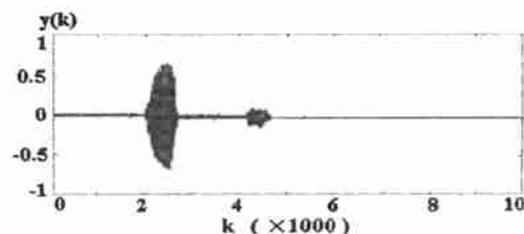


图 5.2 带一个相干累加器的 ALE(N = 32)

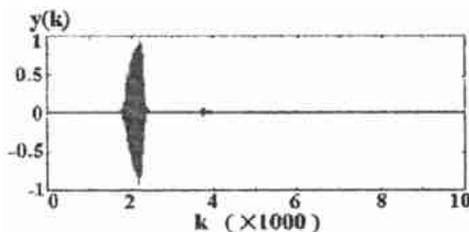


图 5.3 带两个相干累加器的 ALE(N = 32)

5 结束语

当同步信号与线性调频信号的频带存在重叠时,常规的高通、低通或带通滤波器已经无法区分这两个信号。尤其当多普勒频偏比较大时,更增加了难度。从上面的模拟结果可以看出,普通 ALE 对带外信号的抑制是不太理想的;而采用带相干累加器的自适应谱线增强器时,因为其通带频率始终对准同步信号的频率,既简化了系统设计,又对噪声和线性调频信号具有相当好的抑制能力;带两个相干累加器的自适应谱线增强器在数据处理的复杂程度、硬件的性能等增加不多的情况下,滤波性能得到更加明显的改善,检测结果令人满意。计算机模拟和对系统的实际测量都证明了这一点。

参考文献

- [1] 侯宝春,惠俊英,蔡平.用相干累加算法改进 ALE 的性能[J].声学学报,1991,10(1):25-29.
- [2] B. Widrow, S. D. Stearns. 自适应信号处理[J].成都:四川大学出版社,1989,11:75-82.
- [3] 陈明.随机过程[M].南京:东南大学,1999.41-56.

·简讯·

研制压电陶瓷的汉宁(苏州)有限公司近日开业

汉宁电子(苏州)有限公司是台商投资企业,也是台湾先宁科技股份有限公司的子公司。公司位于苏州工业园区唯亭科技园。于 2002 年 12 月 2 日进行了开业典礼,国内多名超声专家及海内外有关客商和地方政府领导到会祝贺。该公司目前主要从事压电陶瓷系列元件、各类超声用换能器、陶瓷变压器、超声电机、超声美容、超声雾化器等产品的研制,并与海内外多所知名大学作为合作伙伴,公司的超声产品提供给海内外广大用户。

陈思忠