

相关噪声背景下加权高阶累积量的时延估计方法

吴玉静, 马 艳

(西北工业大学航海学院, 西安 710072)

摘要: 时延估计是双基阵被动定位中的重要问题。在非相关噪声干扰下,应用广义互相关法进行时延估计可以取得良好的估计效果,但在相关噪声干扰情况下其估计性能严重下降。使用高阶累积量进行时延估计,可以有效地去除相关高斯噪声的干扰。采用类似广义互相关加权的方法对高阶累积量进行 PHAT 加权,进一步抑制噪声的影响,提高了高阶累积量法的估计性能。结果表明,在相关噪声背景下加权高阶累积量时延估计效果优于广义互相关法和高阶累积量法。

关键词: 时延估计;相关噪声;高阶累积量

中图分类号: TN911

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2008)-05-0732-04

Estimation of time delay by using weighted high-order cumulant on correlated noise

WU Yu-jing, MA Yan

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

Abstract: Time delay estimation is an important problem in passive localization with dual arrays. For uncorrelated noise, time delay estimation performs well with correlation method. However, the performance will decline severely when the signal is corrupted by correlated noise. Time delay estimation using High-order cumulant can eliminate the effect of interference of correlated Gaussian noise. A windowed method called weighted High-order cumulant, is proposed for restraining noise to improve the performance. Simulations indicate that the estimation performance via the proposed method is better than that of the generalized correlation method and the high-order cumulant method.

Key words: time delay estimation; correlated noise; high-order cumulant

1 引 言

时延估计是双基阵方位估计和被动定位中的重要问题。用两个传感器 A 和 B 记录接收到的信号, A 和 B 对应的接收信号分别为 $x_1(t)$ 和 $x_2(t)$, 设其均为零均值平稳随机过程,

$$x_1(t) = s(t) + v_1(t) \quad (1)$$

$$x_2(t) = \lambda s(t-D) + v_2(t) \quad (2)$$

式中, $s(t)$ 为非高斯过程的目标信号, D 为传感器 B 接收的信号相对于传感器 A 接收信号的时间延迟, λ 是相对的幅度增益, $v_1(t)$ 和 $v_2(t)$ 分别为传感器 A

和传感器 B 接收到的服从零均值高斯分布的背景噪声,均统计独立于 $s(t)$ 。假定接收到的噪声不相关,即 $v_1(t)$ 和 $v_2(t)$ 不相关,那么采用互相关方法检测峰值可以获得很好的时延估计结果。但若噪声是相关的,则可能无法检测到峰值。

随着计算机技术和数字信号处理技术的发展,高阶统计量得到广泛的应用。如果信号是非高斯过程,而噪声是高斯过程,由于高斯过程的高阶累积量为零,因此采用高阶统计量的方法进行时延估计即可去除相关高斯噪声的干扰^[1]。Nikina^[2], Tugnait^[3,4], Hinich^[5]提出了高阶累积量和双谱时延估计方法,取得了一定的效果。但在实际应用中考虑计算量的原因,所取的数据长度有限,导致噪声不完全服从高斯分布,从而降低了估计性能。为了进一步抑制噪声的影响,本文在高阶累积量时延估计的基础上采

收稿日期:2007-11-16;修回日期:2008-02-26

作者简介:吴玉静(1982-),男,天津市人,硕士研究生,研究方向为水下信号处理。

通讯作者:吴玉静, E-mail: wu_npu@163.com

用与广义互相关类似的方法对高阶累积量进行 PHAT 加权, 进一步提高了时间延迟估计的性能。

2 估计方法

2.1 广义互相关法

相关分析是比较两个信号在时域相似程度的基本方法。设 $x_1(n)$ 和 $x_2(n)$ 为 $x_1(t)$ 和 $x_2(t)$ 的离散表示, 其互相关表示为

$$R_{x_1x_2}(\tau) = E[x_1(n)x_2(n+\tau)] = E\{[s(n)+v_1(n)] \cdot [ls(n-D)+v_2(n)]\} = \lambda R_{ss}(\tau-D) + \lambda R_{sv_1}(\tau-D) + R_{sv_2}(\tau) + R_{v_1v_2}(\tau) \quad (3)$$

由于信号 $s(n)$ 和噪声 $v_1(n)$ 、 $v_2(n)$ 不相关, 这样式 (3) 变为

$$R_{x_1x_2}(\tau) = \lambda R_{ss}(\tau-D) + R_{v_1v_2}(\tau) \quad (4)$$

如果噪声互不相关, 则 $R_{v_1v_2}(\tau)$ 为零, $R_{x_1x_2}(\tau)$ 将在延迟 $\tau=D$ 处得到一个峰值, 表明此时两个信号 $x_1(t)$ 和 $x_2(t)$ 具有最大的相关性。因此, 选择 $R_{x_1x_2}(\tau)$ 取得最大值的 τ 值作为两信号的时间延迟估计, 即

$$\hat{D} = \arg\{\max[R_{ss}(\tau-D)]\} \quad (5)$$

式中, $\arg[\cdot]$ 表示取函数的自变量, $\max[\cdot]$ 表示求函数的最大值。

相关法计算简单, 但在信号噪声的谱特性不理想时, 结果不够理想。为了减小噪声的影响, 一般采用对两个接收信号的互功率谱密度函数进行加权滤波的方法, 即广义互相关法。

2.2 高阶累积量法

如果噪声随机过程是相关的, 则 $R_{v_1v_2}(\tau)$ 不为零, 因此在时延 $\tau=D$ 就可能得不到峰值。这时, 可以使用三阶累积量进行时延估计。

设 P 是期望的最大时延, 且假定时延 D 为整数, 则有

$$x_2(n) = \sum_{i=-P}^P a(i)x_1(n-i) + v(n) \quad (6)$$

式中, $a(n)=0, n \neq D; a(D)=1$ 。由于接收信号 $x_1(n)$ 和 $x_2(n)$ 均为零均值平稳随机过程, 所以 $x_1(n)$ 的三阶累积量和 $x_1(n)$ 和 $x_2(n)$ 的三阶互累积量分别为

$$C_{x_1x_1x_1}(\tau, \rho) = E[x_1^*(n)x_1(n+\tau)x_1(n+\rho)] \quad (7)$$

$$C_{x_1x_2x_1}(\tau, \rho) = E[x_1^*(n)x_2(n+\tau)x_1(n+\rho)] \quad (8)$$

将式 (6) 带入式 (8), 得到

$$C_{x_1x_2x_1}(\tau, \rho) = \sum_{i=-P}^P a(i)E[x_1^*(n)x_1(n+\tau-i)$$

$$x_1(n+\rho)] + E[x_1^*(n)v(n+\tau)x_1(n+\rho)] \quad (9)$$

可记为

$$C_{x_1x_2x_1}(\tau, \rho) = \sum_{i=-P}^P a(i)C_{x_1x_1x_1}(\tau-i, \rho) + C_{x_1vx_1}(\tau, \rho) \quad (10)$$

由于信号和噪声相互独立, 且噪声服从高斯分布, 所以 $C_{x_1vx_1}(\tau, \rho)$ 为零。这样式 (10) 变为

$$C_{x_1x_2x_1}(\tau, \rho) = \sum_{i=-P}^P a(i)C_{x_1x_1x_1}(\tau-i, \rho) \quad (11)$$

当 τ 和 ρ 取不同的值时, 得到一组线性方程。假设 τ 和 ρ 取值范围均为 $-P$ 到 P , 则

$$\mathbf{R}_{x_1x_2x_1} = \mathbf{R}_{x_1x_1x_1} \cdot \mathbf{A} \quad (12)$$

式中 $\mathbf{R}_{x_1x_2x_1}$ 为 $C_{x_1x_2x_1}(\tau, \rho)$ 按列次序拉直所得的 $(2P+1)^2$ 阶列向量, $\mathbf{R}_{x_1x_1x_1}$ 为 $C_{x_1x_1x_1}(\tau-i, \rho)$ 对每个 i 对应的三阶累积量按列次序拉直所得的 $(2P+1)^2$ 阶列向量所构成的 $(2P+1)^2 \times (2P+1)$ 阶矩阵, \mathbf{A} 为 $2P+1$ 阶列向量。式 (12) 可变换为

$$\mathbf{A} = (\mathbf{R}_{x_1x_1x_1}^T \cdot \mathbf{R}_{x_1x_2x_1})^{-1} \mathbf{R}_{x_1x_1x_1}^T \cdot \mathbf{R}_{x_1x_2x_1} \quad (13)$$

所估计的时延 D 就等于 \mathbf{A} 中最大值所在的位置。

2.3 加权高阶累积量法

对三阶累积量进行加窗处理, 可起到预白化和改善信噪比的作用, 从而提高估计性能。本文采用 PHAT 加权方法, PHAT 加权具有较强鲁棒性和减小信道畸变的优点^[6-7]。仿照广义相关 PHAT 加权函数, 可以得到类似的 PHAT 加权函数。 $x_1(n)$ 和 $x_2(n)$ 的互双谱为

$$B_{x_1x_2x_1}(\omega, \rho) = FFT[C_{x_1x_2x_1}(\tau, \rho)] \quad (14)$$

PHAT 加权函数为

$$H(\omega, \rho) = \frac{1}{|B_{x_1x_2x_1}(\omega, \rho)|} \quad (15)$$

可得到加权后的互三阶累积量为

$$C_{x_1x_2x_1}^{(w)}(\tau, \rho) = IFFT[H(\omega, \rho)B_{x_1x_2x_1}(\omega, \rho)] \\ = IFFT \frac{B_{x_1x_2x_1}(\omega, \rho)}{|B_{x_1x_2x_1}(\omega, \rho)|} \quad (16)$$

用加权互三阶累积量 $C_{x_1x_2x_1}^{(w)}(\tau, \rho)$ 代替互三阶累积量 $C_{x_1x_2x_1}(\tau, \rho)$, 再由式 (13) 便可得到加权高阶累积量法时延估计结果。

3 仿真实验

3.1 不相关高斯噪声

仿真信号为非高斯的零均值单位方差单边指数分布序列, 数据长度为 2048 个采样点, 两路信号的时

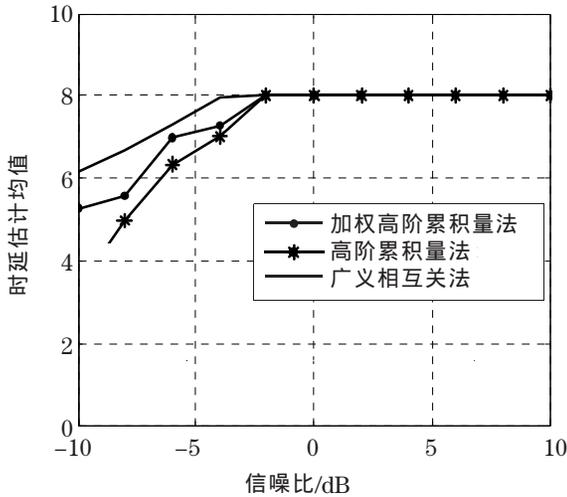


图 1 不相关高斯噪声背景下时延估计结果

Fig.1 Results of time delay estimation under correlated Gaussian noise

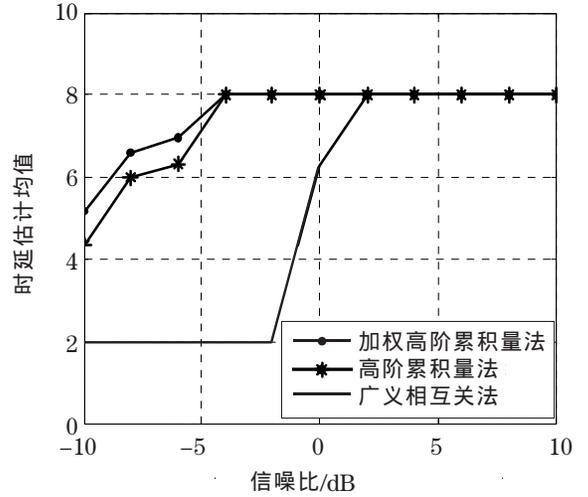


图 3 相关高斯噪声背景下时延估计结果

Fig.3 Results of time delay estimation under independent Gaussian noise

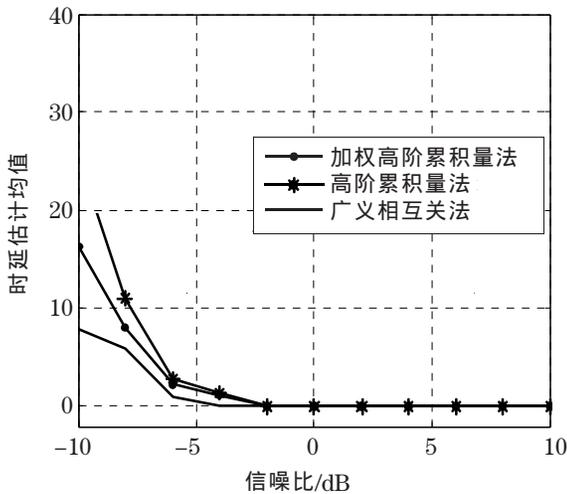


图 2 不相关高斯噪声背景下时延估计误差

Fig.2 Errors of time delay estimation under correlated Gaussian noise

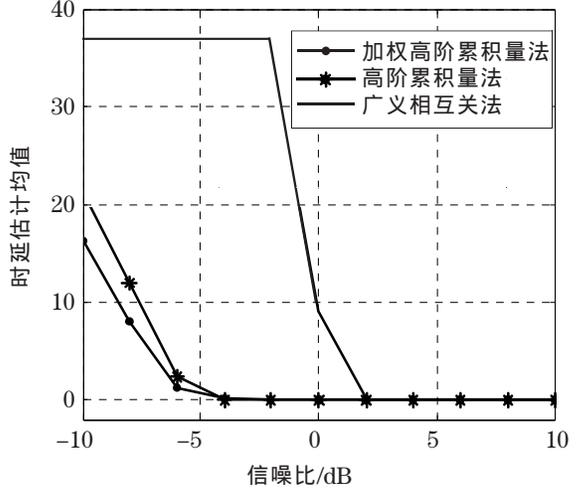


图 4 相关高斯噪声背景下时延估计误差

Fig.4 Errors of time delay estimation under independent Gaussian noise

间延迟为 8 个采样点，叠加互不相关的高斯白噪声。分别使用广义互相关法、高阶累积量法和 PHAT 加权高阶累积量法，取 200 次 Monte Carlo 实验，得到不同信噪比下时延估计结果。图 1 和图 2 分别为不同信噪比下三种方法 200 次估计结果平均和估计的误差。

3.2 相关高斯噪声

仿真信号为非高斯的零均值单位方差单边指数分布序列，数据长度为 2048 个采样点，两路信号的时间延迟为 8 个采样点， $x_1(n)$ 掺杂了高斯白噪声 $v_1(n)$ ， $x_2(n)$ 掺杂高斯色噪声 $v_2(n)$ ， $v_2(n)$ 由 $v_1(n)$ 通过一个 MA 模型产生，MA 模型参数为 [1,2,3,2,1]，这样 $v_2(n)$ 为 $v_1(n)$ 的衰减，且有两个采样点的延时，它们之间的相关系数为 0.6。分别使用广义互相关法、高阶累积量法和 PHAT 加权高阶累积量法，取 200 次 Monte

Carlo 实验，得到不同信噪比下时延估计结果。图 3 和图 4 分别为不同信噪比下三种方法 200 次估计结果平均和估计的误差。

4 结论

相关噪声背景下广义互相关法估计时延性能不足，高阶累积量法可以去除相关噪声的干扰，本文在高阶累积量时延估计方法基础上进行加权处理，提高了高阶累积量法的估计性能。仿真实验结果验证了加权高阶累积量法是相关高斯噪声背景下有效的时延估计方法。

参 考 文 献

[1] 邱天爽，张旭秀，李小兵，等. 统计信号处理-非高斯信号处理[M]. 北京：电子工业出版社. 2004.

- QIU Tiansuang, ZHANG Xuxiu, LI Xiaobing, et al. Statistical signal processing-non-Gaussian signal processing[M]. Beijing: Electronic Industry Press. 2004.
- [2] Niakias C L, Pan R, Time delay estimation in unknown Gaussian spatially correlated noise[J]. IEEE Trans. on Acoust., Speech, Signal Processing, 1988, ASSP-36(11): 1706-1714.
- [3] Tugnait J K. On time delay estimation with unknown spatially correlated Gaussian noise using fourth-order cumulants and cross cumulants[J]. IEEE Trans. Signal Processing, 1991, 39(6): 1258-1267.
- [4] Tugnait J K. Time delay estimation with unknown spatially correlated Gaussian noise[J]. IEEE Trans. Signal Processing, 1993, 41(2): 549-558.
- [5] Hinich M J, Wilson G R. Time delay estimation using the cross bispectrum[J]. IEEE Trans. Signal Processing, 1992, 40(1): 106-113.
- [6] 谭颖, 殷福亮, 李细林. 改进的 SRP-PHAT 声源定位方法[J]. 电子与信息学报, 2006, 28(7): 1223-1227.
TAN Yin, YIN Fuliang, LI Xiling. Sound localization method using modified SRP-PHAT algorithm[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2006, 28(7): 1223-1227.
- [7] 王华荣, 王英民. 基于二、四阶累积量的双模式盲均衡算法[J]. 声学技术, 2006, 25(3): 222-225.
WANG Huarong, WANG Yingmin. Dualmode algorithm for blind equalization based on second and fourth order cumulants[J]. Technical Acoustics, 2006, 25(3): 222-225.

“智能 AV 系统集成应用技术研讨会”在上海召开

近年来,数字音视频(AV)技术获得迅速的发展,如何更好地整合当今先进的音频和视频技术,已经成为音视频业内工程设计和系统集成的迫切问题。为此,由上海市声学学会、中国演艺设备技术协会上海分会、上海新启邦威电子有限公司和上海金桥信息工程有限公司联合主办的“智能 AV 系统集成应用技术研讨会”,于 2008 年 10 月 12 日至 13 日在上海工商银行青浦培训中心(银珠苑度假村)举行。会议由上海新启邦威电子有限公司北翦总工程师主讲,阐述了艺术化的 AV 系统设计,网络架构下的 AV 智能系统解决方案,介绍了新型呼叫系统(Paging System)的技术原理;并由上海金桥信息工程公司讲述了投影显示边缘融合技术与应用,以及视频会议系统等。会议中还进行了系统演示及互动操作。

上海市声学学会秘书长龚农斌教授、办公室主任闫玉舜教授、电声学专业委员会主任梁华教授及中国演艺设备技术协会领导等参加了会议。参加这次会议共 260 多人,除上海市声学学会的会员、专家和教授外,还有许多从事音视频系统和电声学技术设计的工程技术人员及集成商公司经理等。与会人员普遍反映,这次会议内容新颖、效果良好,促进了 AV 系统集成技术的交流和应用。

同济大学声学研究所 梁华