

基于声矢量传感器阵的酉 MUSIC 算法

孙国仓, 惠俊英, 蔡平

SUN Guo-cang, HUI Jun-ying, CAI Ping

哈尔滨工程大学 水声工程学院, 哈尔滨 150001

College of Underwater Acoustic Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China

E-mail: sunguocang@yahoo.com.cn

SUN Guo-cang, HUI Jun-ying, CAI Ping. Unitary MUSIC algorithm based on acoustic vector sensors array. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(18): 24-26.

Abstract: Acoustic vector sensor measures the pressure and particle velocity information of the same spatial point simultaneously, providing more information for array signal processing. The unitary MUSIC algorithm can reduce the computational complexity, improve the performance of bearing estimates. A unitary MUSIC algorithm is proposed for acoustic vector sensors array. A generalized transform matrix is constructed, and the observation data are incorporated with their conjugate, the covariance matrix can be decomposed in real-valued space. Finally simulation and lake trial shows that this algorithm has features of low computational complexity and suppresses background noise.

Key words: unitary MUSIC; acoustic vector sensor; array signal processing; bearing estimates

摘要: 声矢量传感器同时拾取空间同点的声压振速信息, 为阵列信号处理提供了更多的信息。酉 MUSIC 算法可以降低计算复杂度, 提高方位估计性能。综合二者优点, 提出了基于声矢量传感器阵的酉 MUSIC 算法。构造了广义转换矩阵, 通过合成复观测数据及其共轭, 实现了协方差矩阵的实值特征分解, 降低了计算量。仿真与湖试结果表明, 与已有算法相比, 该方法具有计算量小和背景噪声低等优点。

关键词: 酉 MUSIC; 声矢量传感器; 阵列信号处理; 方位估计

文章编号: 1002-8331(2007)18-0024-03 文献标识码: A 中图分类号: TN911.7

1 引言

方位估计是雷达、声纳、地震勘探、生物医学工程等阵列信号处理领域中的重要问题。引起广泛关注的是最大似然和子空间类算法^[1], 但是由于最大似然方位估计算法通常伴随着非线性性和多维迭代优化计算, 计算量大, 不如子空间类的算法易于实现。为了进一步降低子空间类算法的计算量, 许多作者引入了实值变换^[2-3], 将阵列观测数据协方差矩阵的复数特征分解变换为实数特征分解, 计算量可降低为变换前的 1/4。

声矢量传感器可以同时拾取空间同一点的声压和振速信息, 在工程上得到了广泛关注^[4]。Nehorai 等对声矢量传感器阵列的方位估计性能作了理论分析并给出了方位估计性能的克拉美-罗界表达式^[5]。Wong 等将高分辨算法引入了声矢量传感器阵列信号处理中^[6]。

现有的适合于声矢量传感器阵列的高分辨算法, 均没有利用观测数据的共轭。基于此点, 本文将声矢量传感器阵列的观测数据及其共轭联合处理, 提出了矢量酉 MUSIC 算法。由于质点振速信息的引入, 已有的实值变换不能直接应用于声矢量传感器阵列信号处理中, 本文提出了广义转换矩阵, 可以实现接

收数据的实值处理, 不但降低了计算复杂度, 而且提高了方位估计的性能。计算机仿真和湖试数据处理结果证实了所提出的算法是有效的。

2 信号模型

考虑 L 个窄带信号入射到 M 元声矢量阵上的情形, 信号的方位 $\theta \in [0, 2\pi]$, 需要估计的波达方位向量: $\theta = [\theta_1, \dots, \theta_k, \dots, \theta_N]$, 其中 θ 是第 k 个源的方位。阵列的输出为:

$$\mathbf{z} = \sum_{k=1}^L \mathbf{a}(\theta_k) \otimes \mathbf{h}(\theta_k) s_k + \mathbf{n}(t) = \mathbf{A}(\theta) \mathbf{s} + \mathbf{n} \quad (1)$$

其中 \mathbf{z} 为阵列的输出列向量, s_k 是第 k 个人射信号的声压波形, \mathbf{s} 为相应的列向量, \mathbf{n} 表示阵列的本地噪声, $\mathbf{a}(\theta_k)$ 为 AVSA 对 θ_k 方向入射的单位功率信号的声压响应, $\mathbf{h}(\theta_k)$ 为单个 AVS 对 θ_k 方向入射的单位功率信号的响应幅度向量, $\mathbf{h}(\theta_k) = [1 \cos\theta_k \sin\theta_k]^T$ 。设 $\mathbf{a}_v(\theta_k) = \mathbf{a}(\theta_k) \otimes \mathbf{h}(\theta_k)$, 则阵列的流型矩阵 $\mathbf{A}(\theta) = [\mathbf{a}_v(\theta_1), \mathbf{a}_v(\theta_2), \dots, \mathbf{a}_v(\theta_N)]$, 此时 $\mathbf{A}(\theta)$ 不再满足 Vandermonde 形式。

对于均匀线列阵, 若 M 为奇数, 以阵的中心阵元为参考点, 则对第 k 个源有

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)(the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2006AA09Z234)。

作者简介: 孙国仓(1977-), 男, 博士生, 主要研究领域为水声工程、信号处理; 惠俊英(1939-), 男, 教授, 主要研究领域为水声工程; 蔡平(1952-), 男, 教授, 主要研究领域为水声通信。

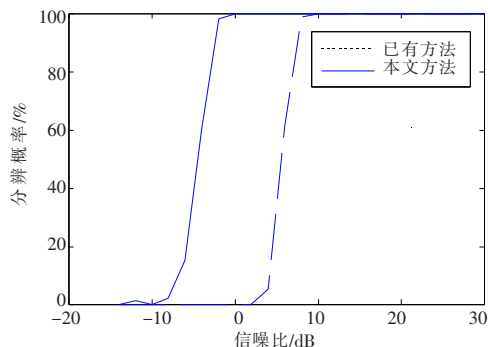


图2 分辨概率与信噪比的关系

本文处理数据的频带为 950 Hz–1 050 Hz, 每次积分处理时间长度为 1 s。

处理结果如图 3 和图 4, 跟踪结果与实验条件相符, 由图可见, 与已有算法相比, 本文算法不仅谱峰更窄, 而且背景噪声更低。

本文方法时间方位历程图/dB

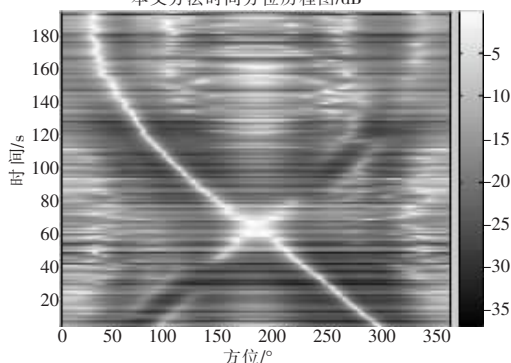


图3 本文算法结果

6 结束语

声矢量阵的输出不再满足 Vandermonde 结构, 酉 MUSIC 算法不能直接用于声矢量阵信号处理中。本文通过构造广义变换矩阵, 将观测数据及其复共轭合成, 进行了实值处理, 提出了基于声矢量阵的酉 MUSIC 算法。这样不但降低了算法的计算

(上接 3 页)

识别实验, 实验结果表明, 本文提出的基于对数域多小波变换的光照补偿算法能得到较好的性能, 人脸识别实验中的平均误识率仅为 0.70%, 优于现有的绝大多数光照补偿算法。

(收稿日期: 2007 年 3 月)

参考文献:

- [1] Chen W, Er M J, Wu S. Illumination compensation and normalization for robust face recognition using discrete cosine transform in logarithm domain[J]. IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, 2006, 36(2): 458–466.
- [2] Belhumeur P N, Hespanha J P, Kriegman D J. Eigenfaces vs. fisherfaces: recognition using class specific linear projection[J]. IEEE Trans on PAMI, 1997, 19(7): 711–720.
- [3] Adini Y, Moses Y, Ullman S. Face recognition: the problem of compensating for changes in illumination direction[J]. IEEE Trans on PAMI, 1997, 19(7): 721–731.
- [4] Shashua A, Riklin-Raviv T. The quotient image: class-based re-

已有方法时间方位历程图/dB

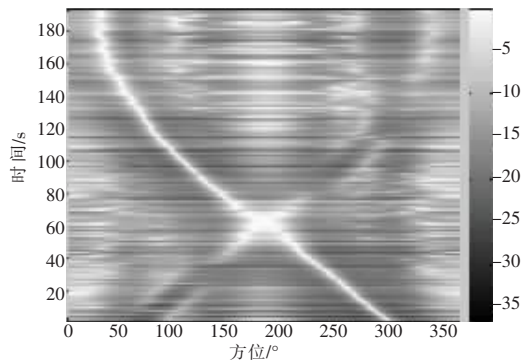


图4 已有算法结果

量, 而且提高了方位估计性能, 降低了分辨信噪比门限, 仿真结果和湖试数据处理结果表明了所提算法的有效性。

(收稿日期: 2007 年 3 月)

参考文献:

- [1] 王永良, 陈辉. 空间谱估计理论与算法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [2] Huang K C, Yeh C C. A unitary transformation method for angle of arrival estimation[J]. IEEE Trans Acoust, Speech, Signal Processing, 1991, 39(4): 975–977.
- [3] Zoltowski M D, Kautz G M, Silverstein S D. Beamspace root-MUSIC[J]. IEEE Trans Signal Processing, 1993, 41(1): 344–364.
- [4] D'Spain G L, Luby J C, Wilson G R, et al. Vector sensors and vector sensor line arrays: comments on optimal array gain and detection[J]. J Acoust Soc Am, 2006, 120(1): 171–185.
- [5] Nehorai A, Hawkes M. Performance bounds for estimating vector systems[J]. IEEE Trans Signal Process, 2000, 48(6): 1737–1749.
- [6] Wong K T, Zoltowski M D. Self-initiating MUSIC-based direction finding in underwater acoustic particle velocity-field beamspace[J]. IEEE J Ocean Eng, 2000, 25(2): 262–273.
- [7] Chen H W, Zhao J W. Wideband MVDR beamforming for acoustic vector sensor linear array[J]. IEE Proc Radar Sonar Navig, 2004, 151(3): 158–162.

rendering and recognition with varying illuminations [J]. IEEE Trans on PAMI, 2001, 23(2): 129–139.

- [5] Basri R, Jacobs D W. Lambertian reflectance and linear subspaces[J]. IEEE Trans on PAMI, 2003, 25(2): 218–233.
- [6] Shan S, Gao W, Cao B, et al. Illumination normalization for robust face recognition against varying lighting conditions [C]//Proc IEEE Workshop on AMFG, 2003: 157–164.
- [7] Xie X, Lam K M. An efficient illumination normalization method for face recognition [J]. Pattern Recognition Letters, 2006, 27: 609–617.
- [8] Liu D H, Lam K M, Shen L S. Illumination invariant face recognition [J]. Pattern Recognition, 2005, 38: 1705–1716.
- [9] Strela V. Multiwavelets: theory and application[D]. Massachusetts, USA: Department of Mathematics, Massachusetts Institute of Technology, 1996.
- [10] Georgiades A S, Belhumeur P N, Kriegman D J. From few to many: illumination cone models for face recognition under variable lighting and pose[J]. IEEE Trans on PAMI, 2001, 23(6): 643–660.