

# 基于洛伦兹锥规划的声矢量阵宽容自适应波束形成

梁国龙, 刘凯, 温韶娟, 张瑶

(哈尔滨工程大学水声技术国家级重点实验室, 哈尔滨 150001)

**摘要:** 针对矢量阵 Capon 波束形成对阵列误差尤其敏感这一不足, 提出了运用洛伦兹锥规划(LCP, Lorentz Cone Programming)实现导向矢量范数约束来提高波束形成鲁棒性的方法。鉴于矢量水听器声压分量和振速分量对阵列误差敏感程度不同的特点, 采用了“双线约束”的策略。将范数约束波束形成转化为 LCP 形式, 通过内点方法求解器 SeDuMi 求出其数值解。仿真结果表明, 该波束形成器的噪声抑制能力要优于常规波束形成器, 其宽容性要优于 Capon 波束形成器。

**关键词:** Capon 波束形成; 洛伦兹锥规划; 范数约束; 矢量阵

中图分类号: TN911.7

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2011)-01-0098-04

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2011.01.018

## Robust adaptive beamforming of acoustic vector sensor array based on Lorentz Cone Programming

LIANG Guo-long, LIU Kai, WEN Shao-juan, ZHANG Yao

(National Laboratory of Underwater Acoustic Technology, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

**Abstract:** Capon beamformer of acoustic vector sensor array is extremely sensitive to slight array errors. The norm of steering vector is constrained by using Lorentz Cone Programming to improve the robustness. Catering to the characteristic that pressure component and velocity component of an acoustic vector sensor can be influenced in different degrees by array errors, “dual-line constraint” is adopted. The problem of norm-constraint beamforming can be converted to the form of Lorentz Cone Programming, and solved by interior point method. The result of stimulation proves that noises restraint of the present approach is greater than conventional beamformer and its robustness is better than Capon beamformer.

**Key words:** Capon beamformer; Lorentz Cone Programming; norm-constraint; acoustic vector sensor array

## 1 引言

波束形成为阵列信号处理的重要组成部分, 其应用已涵盖声纳、雷达、通信和医疗等众多领域<sup>[1,2]</sup>。Capon 波束形成器能最大限度地抑制干扰, 获得优于常规波束形成的阵增益, 较之标量阵, 基于矢量阵的 Capon 波束形成器(V-Capon)不仅在阵增益、方位估计精度、分辨率和谱峰检测能力上有较大提升, 而且具备了抗锥形方位模糊和抗空间混叠的性能<sup>[3-5]</sup>。

然而因阵元位置误差、阵元姿态误差和通道误差等影响, 造成预设导向矢量与实际失配, 导致

V-Capon 的空间增益受损。而且在被动声纳应用中, 数据快拍中往往含有信号, 当数据协方差矩阵中含有信号时, V-Capon 性能对导向矢量失配变得更为敏感, 在信噪比较高时轻微误差就会导致阵增益严重下降。

在提升 Capon 的稳健性方法中, 对角加载(及其变型和改进)是最常用的一种。该方法虽简单方便, 但存在一个明显的缺点: 难以根据失配程度确定加载量。而范数约束方法可通过估计的失配量确定约束值<sup>[6]</sup>, 故其实用性更好。

将宽容性(或鲁棒性、稳健性)波束形成算法应用到矢量水听器阵列上的例子尚不多见。Y. W. ZHANG 等人将基于自动收敛的协方差矩阵估计方法应用到对角加载算法中<sup>[7]</sup>, 代替了 V-Capon 中的采样协方差矩阵, 该方法无需人工选择“加载因子”, 当采样快拍数受限时, 具有很好的鲁棒性, 但无法消除方向矢量误差带来的影响。涂英等人推导了秩亏情况下的矢量阵 RCB 算法<sup>[8]</sup>, 并在试验中验证了其性能要优于 V-Capon, 但是该算法只是将

收稿日期: 2010-09-25; 修回日期: 2010-12-02

基金项目: 国家自然科学基金(51009042)、高等学校博士学科点专项科研基金(20102304120030)和黑龙江省自然科学基金(E201024)

作者简介: 梁国龙(1964-), 男, 吉林农安人, 教授, 博士生导师, 研究方向为水声信号处理、水下导航定位、水下目标探测等。

通讯作者: 刘凯, E-mail: okliukai@163.com





