

项目公示信息

项目名称：超分辨声学成像原理及应用技术

完成单位：西北工业大学；西安电子科技大学

完成人：宁方立；韦娟；翟庆波；刘哲；蒙迪；刘勇

项目简介：

本项目属于声学、机械工程、电子信息等领域的前沿研究内容，可应用于航空工程、军事打击、故障监测等多个技术领域。

借助基于传声器阵列的声学成像技术，可以更直观的认识声源、声波、以及声场的产生、传播及分布机理、为工业产品的低噪声设计、机械故障检测提供理论及技术支撑。然而，由于传声器阵列较高的硬件成本以及所带来的较低的空间分辨性能，严重局限了传统声学成像技术在各工业工程领域中的应用。因此，如何在有限的阵元数目以及阵列拓扑结构下获得足够高的空间分辨率是声学成像系统设计中亟待解决的重要问题。声学成像理论和技术可有效提高传感器阵列的信噪比增益和空间分辨率，大幅度减小阵列的尺度，是解决上述问题的有效途径。然而在很长时间内，实现超高的空间分辨率都存在着巨大的挑战，其关键在于如何提高超分辨的稳健性，降低对随机误差的敏感度。

本项目在国家自然科学基金面上项目、省自然科学基金重点项目、国防科技重点实验室基金等课题的支持下，深入研究了传声器阵列超分辨声学成像原理，建立了新的数学模型，发明了低信噪比下的超分辨压缩感知技术，并借助超分辨率声学图像揭示了空腔噪声驻波产生机理、气动噪声传播机理，在声学、机械工程等研究领域前沿做出巨大贡献，有效解决了可变形空腔噪声主动控制、气动噪声源分析等一系列科技难题。主要发明点有：

1、揭示了超分辨声学成像原理

建立了声源空域稀疏模型，将超分辨最优解表达成稀疏欠定问题的优化形式，发现了自由场和非自由场中声源成像与稀疏性、超分辨率之间的一般规律，推导了声源稀疏超分辨优化理论表达式，为超分辨声学成像技术奠定了理论基础。

2、发明了低信噪比下的超分辨压缩感知技术

构建低信噪比下噪声源到传声器阵列的测量互谱矩阵，建立噪声源定位稀疏表达模型，建立测量互谱矩阵重构算法，通过自由场和非自由场格林函数、蒙特卡洛仿真以及相干性计算对测量互谱矩阵进行了分析，最终**建立了含宽频噪声的声源定位联合稀疏表达模型**，发明了低信噪比下的超分辨压缩感知技术。并将所建立的压缩感知重构算法拓展应用于起落架声源定位、气体泄漏源定位、内埋弹舱噪声源定位以及反“黑飞”声探测预警系统的研究中。

3、发明了基于超分辨原理的气动噪声源分析及测量技术

提出了基于超分辨声学图像研究气动噪声源分析及测量技术。并进一步提出可变形体的空腔噪声主动控制的理论方法，实现随着流速变化，改变空腔形状，降低驻波噪声的目的。应用超分辨声学图像研究成果，结合气动噪声源的空间稀疏性和宽频带特性，最终建立完备的气动噪声源分析系统，揭示气动噪声的传播机理，**为绕流结构体的气动噪声源分析、不规则形状空腔中驻波研究等气动噪声分析技术奠定技术和理论基础**，为最终成功实现工程应用提供理论支撑和技术依据。

本项目已授权国家发明专利 23 项，发表论文 51 篇(SCI 收录 22 篇)，包括机械系统与信号处理领域顶尖期刊 *Mechanical Systems and Signal Processing* (IF=8.934) 论文 2 篇、国际声学领域顶尖期刊 *Journal of Sound and Vibration* (IF=4.761) 论文 1 篇。研究成果已应用到中国飞机强度研究所、中国人民解放军 63672 部队、中国人民解放军 92493 部队计量测试研究所、西安漫威智能科技有限公司等多家单位的国家重大项目及商业产品中，解决了多项技术难题。研究成果还被**国家重点新闻网站——“中国网”的创新频道专题报道**，其先进性得到了国内外的广泛认可，学术价值高，具有重大的推广应用价值。

主要知识产权目录:

四、主要知识产权（标准、规范）目录

序号	知识产权类别	知识产权名称	国家(地区)	授权号(批准号)	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	发明专利	基于压缩感知的三维声源定位方法	中国	CN 107247251 B	2020-04-03	3739138	西北工业大学	宁方立; 刘勇; 韦娟; 张超
2	发明专利	无线声传感器网络下压缩气体泄漏的声源方位估计方法	中国	CN 106908755 B	2019-03-26	3308292	西安电子科技大学	韦娟; 王文静; 岳凤丽; 计永祥; 宁方立; 付卫红
3	发明专利	基于卷积神经网络的气体管道泄漏识别方法	中国	CN 110185939 B	2021-04-02	4338719	西北工业大学; 东莞市三航军民融合创新研究院; 西安电子科技大学	宁方立; 段爽; 韩鹏程; 韦娟

五、代表性论文专著目录

序号	论文专著名称	刊名	发表时间	年卷页码 (xx年xx卷xx页)	作者	通讯作者 (含共同作者)	第一作者 (含共同作者)	国内作者 (中文名)	他引总次数	检索数据库	参与者 (成果完成人)	知识产权是否归国内所有
1	Three-dimensional acoustic imaging with planar microphone arrays and compressive sensing	Journal of Sound and Vibration	2016-10-13	2016年380卷112-128页	Ning, Fangli; Wei, Jingang; Qiu, Lianfang; Shi, Hongbing; Li, Xiaofan	Ning, Fangli	Ning, Fangli	宁方立; 卫金刚; 丘联芳; 史红兵	29	SCI	宁方立	是
2	Sound source localization of non-synchro	Mechanical Systems and	2021-01-15	2021年147卷1071	Ning, Fangli; Song, Jiahao; Hu,	Ning, Fangli	Ning, Fangli	宁方立; 宋家豪; 胡景龙; 韦	7	SCI	宁方立; 韦娟	是

	nous measurements beamforming with block Hermitian matrix completion	Signal Processing		18 页	Jinglong; Wei, Juan			娟				
3	A highly efficient compressed sensing algorithm for acoustic imaging in low signal-to-noise ratio environments	Mechanical Systems and Signal Processing	2018-11-01	2018 年 112 卷 113-128 页	Ning, Fangli; Pan, Feng; Zhang, Chao; Liu, Yong; Li, Xiaofan; Wei, Juan	Ning, Fangli	Ning, Fangli	宁方立; 潘峰; 张超; 刘勇; 韦娟	16	SCI	宁方立; 韦娟; 刘勇	是
4	Enhanced spectrum convolutional neural architecture: An intelligent leak detection method for gas pipeline	Process Safety and Environmental Protection	2021-02-01	2021 年 146 卷 726-735 页	Ning, Fangli; Cheng, Zhanghong; Meng, Di; Duan, Shuang; Wei, Juan	Ning, Fangli	Ning, Fangli	宁方立; 程章鸿; 蒙迪; 段爽; 韦娟	11	SCI	宁方立; 韦娟; 蒙迪	是
5	A framework combining acoustic features extraction method and random forest algorithm for gas pipeline leak detection and classification	Applied Acoustics	2021-11-01	2021 年 182 卷 1082-1087 页	Ning, Fangli; Cheng, Zhanghong; Meng, Di; Wei, Juan	Ning, Fangli	Ning, Fangli	宁方立; 程章鸿; 蒙迪; 韦娟	5	SCI	宁方立; 韦娟; 蒙迪	是

6	Study on oscillation phenomena in morphing cavities with ramps of leading wall	Journal of Aircraft	2021-05-01	2021年58卷436-447页	Liu, Zhe; Ning, Fangli; Zhai, Qingbo; Ding, Hui; Wei, Juan; Li, Baoqing	Liu, Zhe	Liu, Zhe	刘哲; 宁方立; 翟庆波; 丁辉; 韦娟; 李宝清	2	SCI	宁方立; 韦娟; 翟庆波; 刘哲	是
7	Study on the flow characteristics in the supersonic morphing cavities using direct numerical simulation and proper orthogonal decomposition	Wave Motion	2021-07-01	2021年104卷1027-51页	Liu, Zhe; Ning, Fangli; Zhai, Qingbo; Ding, Hui; Wei, Juan	Ning, Fangli	Liu, Zhe	刘哲; 宁方立; 翟庆波; 丁辉; 韦娟	1	SCI	宁方立; 韦娟; 翟庆波; 刘哲	是

完成人合作关系情况:

八、完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作联系人及排名	合作时间	合作成果	证明材料
1	论文合著	宁方立/1; 韦娟/2	2021-01-15	Sound source localization of non-synchronous measurements beamforming with block Hermitian matrix completion	一、代表性论文专著证明 1-2
2	论文合著	宁方立/1; 刘勇/6;韦娟/2	2018-04-26	A highly efficient compressed sensing algorithm for acoustic imaging in low signal-to-noise ratio environments	一、代表性论文专著证明 1-3
3	论文合著	宁方立/1; 蒙迪/5;韦娟/2	2020-12-14	Enhanced spectrum convolutional neural architecture: An intelligent leak detection method for gas pipeline	一、代表性论文专著证明 1-4
4	论文合著	宁方立/1; 蒙迪/5;韦娟/2	2021-06-25	A framework combining acoustic features extraction method and random forest algorithm for gas pipeline leak detection and classification	一、代表性论文专著证明 1-5
5	论文合著	刘哲/4;宁方立/1;翟庆波/3;韦娟/2;	2020-10-15	Study on oscillation phenomena in morphing cavities with ramps of leading wall	一、代表性论文专著证明 1-6

6	论文合著	刘哲/4;宁方立/1;翟庆波/3;韦娟/2;	2021-04-28	Study on the flow characteristics in the supersonic morphing cavities using direct numerical simulation and proper orthogonal decomposition	一、代表性论文专著证明 1-7
7	共同知识产权	宁方立/1;刘勇/6;韦娟/2	2020-04-30	基于压缩感知的三维声源定位方法	二、主要知识产权（标准、规范） 4-1
8	共同知识产权	韦娟/2;宁方立/1	2019-03-26	无线声传感器网络下压缩气体泄漏的声源方位估计方法	二、主要知识产权（标准、规范） 4-2
9	共同知识产权	宁方立/1;韦娟/2	2021-04-02	基于卷积神经网络的气体管道泄漏识别方法	二、主要知识产权（标准、规范） 4-3

