冯乔.单片机控制下地震勘探应答器集成音频声源级控制方法[J].地震工程学报,2020,42(3):806-811.doi:10.3969/j.issn. 1000-0844.2020.03.806

FENG Qiao.A Control Method for the Integrated Audio Source Level of Seismic Exploration Transponders Controlled by a Single-Chip Microcomputer[J].China Earthquake Engineering Journal,2020,42(3):806-811.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2020. 03.806

单片机控制下地震勘探应答器 集成音频声源级控制方法

冯 乔

(无锡工艺职业技术学院, 江苏 宜兴 214200)

摘要:以往地震勘探应答器控制方法,不能有效减少噪声对应答器集成音频存在的干扰,导致应答器音质存在杂音,影响使用效果。为此,提出单片机控制下地震勘探应答器集成音频声源级控制方法,构建基于单片机控制的地震勘探应答器,应答器包含了供电模块、主控模块、功放模块、匹配模块、接收模块、收发合置模块以及收/发换能器,采用单片机获取内部输出的工作情况,并基于稀疏正则化的集成音频声源布局优化方法,实现声源级控制。结果表明:所提方法能够有效强化单片机控制下地震勘探应答器集成音频效果,且去噪效果好,该方法控制下应答器工作线性度较优,能够为地震勘探提供更好的勘探方法和勘探设备。

A Control Method for the Integrated Audio Source Level of Seismic Exploration Transponders Controlled by a Single-Chip Microcomputer

FENG Qiao

(Wuxi Vocational Institute of Arts & Technology, Yixing 214200, Jiangsu, China)

Abstract: Previous control method of seismic exploration transponders cannot effectively reduce the interference of noise on the integrated audio of the transponder, which results in the existence of noise and affects the sound quality and effectiveness of the transponder. Therefore, a control method for the integrated audio source level of seismic exploration transponders controlled by a single-chip microcomputer is proposed. A seismic exploration transponder based on a single-chip microcomputer is constructed, which includes a power supply module, main control module, power amplifier module, matching module, receiving module, receiving/transmitting module, and receiving/transmitting transducer. The single-chip microcomputer is used to determine the working condition of the internal output, and the audio source level is identified on the basis of

收稿日期:2020-04-29

基金项目:江苏省现代教育技术研究项目(2018--R-64707)

第一作者简介:冯 乔(1981-),女,江苏宜兴人,硕士,实验师,研究方向:单片机、嵌入式等控制技术方向研究。

E-mail:fengqiaocumt@126.com.

the optimization method of the integrated audio source layout. Results show that the proposed method can effectively enhance the integrated audio source level of the seismic exploration transponder controlled by the single-chip microcomputer. Moreover, the proposed method has a good denoising effect. The transponder controlled by the proposed method can provide better exploration results and improve the equipment for seismic exploration.

Keywords: MCU; seismic exploration; transponder; integrated audio; sound source level

0 引言

地震灾害导致生命财产出现的经济损失和人员 伤亡未知性较强,其毁灭性让人类愈发重视地震勘 探问题。地震勘探能够降低人类生命财产损失,对 维护国家经济健康存在十分重要的作用。

地震勘探应答器属于地震勘探工作中不可缺 少的器具,而地震勘探过程中,由于外界环境的干 扰,应答器的集成音频中会存在一些噪声,对声源 存在不良影响。为此,地震勘探应答器集成音频声 源级控制问题也愈发重要。文献[1]提出应答器发 射与控制电路的设计与实现方法,该方法对应答器 的设计提出较好的设计思路,但是缺乏声源级控制 方法的设计;文献[2]提出稳健估计下的声源定位 最小二乘方法;文献[3]提出麦克风阵列安装偏差 引起的旋转声源定位方法,这三种方法虽然是对声 源实施深度研究,但是仅停留于声源定位,缺乏声 源控制方法。为此,本文提出单片机控制下地震勘 探应答器集成音频声源级控制方法,对单片机控制 下地震勘探应答器集成音频声源级控制问题实施 全面分析^[4]。

1 单片机控制下地震勘探应答器集成音频 声源级控制方法

1.1 基于单片机控制的地震勘探应答器设计

基于单片机控制的地震勘探应答器包含了供电 模块、主控模块、功放模块、匹配模块、接收模块、收 发合置模块以及收/发换能器构成。设备结构如图 1所示,图中两线型串行总线用 A 描述,中央处理器 是 CPU,直流-直流变换器是 DC-DC^[5]。

因为应答器的电源是锂电池,运行时和试验平 台存在一定距离,设置和取回存在一定难度。为了 让应答器高效、低能耗、持续的运行,按照项目应用 要求必须选取 TI 部门的 TMSF28335 板设成此应 答器的主控板^[6]。此主控板存在优越的数字逻辑处 理性能,基于此主控板完成无线控制、对功放电路给 予信号源和 A 控制^[7]。

发射电路属于基于单片机控制的地震勘探应答

器的核心构成部分,它的性能参数和应答器的运行 能力存在较大关联性。发射电路的核心部分是功率 放大器^[8]。以往的功率放大器常用的是甲乙类和乙 类功放,这种类型的功率放大器的弊端为体积大、速 度慢、温度高,通常情况下不使用在地震勘探应答器 里^[9]。



图 1 基于单片机控制的地震勘探应答器结构图 Fig.1 Structural diagram of seismic exploration transponder based on MCU control

本文采用工作速度较快的推挽类 D 类功率大器,使用集成音频功率放大器 TAS5412 设成发射电路的核心电路,其存在体积小、速度快、持续工作等优势,同时融合换能器的阻抗属性,完成宽带快速匹配。基于项目的要求,基于单片机控制的地震勘探应答器的核心技术指标是:

发射声源级:151~181 dB,源级控制精度 1.1 dB;

电源供电:锂电池供电 251 W,输出电压 24.1 V;

基于主动发射声呐里,发射声源级 A_s 主要遭 到换能器的轴向声功率所决定。其和换能器中的电 功率 Q(单位:W)、换能器的电声变换速度 a 以及发 射指向性指数或者聚集系数 B_1 的关系是:

 $A_s = 170.5 + 10\lg(aQ) + B_I \tag{1}$

本文使用 TI 公司研发的 TAS5412 设成基于 单片机控制的地震勘探应答器的主电路^[10]。 TAS5412属于面向音频功放设计的单片集成的 D 类功率放大器,连接 24.1 V 电源的过程里,基于 2.1 Ω负载中,使用并行桥接形式(把两通道的输入、输 出并联)最高输出功率能够达到 151 W,基于散热环 境较好的前提下能够持续运行,不但存在速度快、体 积小、散热效率高的优势,而且内部包含调制子模 块、驱动子模块和各式各样的保护子模块,以此提升 系统稳定性^[11]。

另外,TAS5412 功放芯片通过内部集成的模式 避免电路出现异常,本文采用单片机获取内部输出 的工作情况,采用基于稀疏正则化的集成音频声源 布局优化方法,实现声源级控制。基于单片机控制 的地震勘探应答器的发射电路构成示意图见图 2。 TAS5412 属于一种非单输入、非单输出的音频功率 放大器,为了符合发射声源级的需求,基于设计过程 里把输入、输出的双通道实施并联,以此增大输出功 率。并且,基于功放输出和匹配输入间导进一种 1:20的变压器,基于变压器和电感一起建立的匹配 网络,让功放的输出阻抗和换能器负载阻抗实现匹 配,能够增大发射机的发射功率。基于散热部分,按 照应答器圆筒外观属性,使用热传导模式,把铝质散 热块设定为锲形结构,内部通过螺杆收紧斜面,把散



图 2 发射电路构成示意图

Fig.2 Schematic diagram of transmission circuit

1.2 基于稀疏正则化的集成音频声源布局优化

1.2.1 稀疏正则化代价函数

通过最小二乘项施加稀疏正则化 SIR,能够获 取 SIR 代价函数。则:

$$C(p) = \frac{1}{2} \| \mathbf{V} \boldsymbol{\beta}_{q} + \mathbf{V} \boldsymbol{\Omega} \boldsymbol{p} \|^{2} + \beta \varphi(p), \ c > 0 \quad (2)$$

式中:稀疏调节参数设成 c;惩罚函数设成 $\varphi(p)$; β

描述声场展开系数;V 描述对角矩阵; Ωp 描述系数 矩阵。如果 $\varphi(p) = \|p\|_1$,那么其属于最常见的 A_1 范数正则化,式(2) 也属于 Lasso 问题。为了降低分 析难度,本文的 SIR 仅分析 A_1 范数正则化。所以 SIR 代价函数为:

$$C(p) = \|\boldsymbol{V}\boldsymbol{\beta}_{q} + \boldsymbol{V}\boldsymbol{\Omega}\boldsymbol{p}\|^{2} + c \|\boldsymbol{p}\|_{1}$$
(3)

优化公式(3)能够获取稀疏近似解,而前提为 声压向量 p 自身存在稀疏性,那么 SIR 方法优化集 成音频声源布局是否可以,还需分析 p 的稀疏与 否。针对本文分析的地震勘探应答器集成音频声 场,外界噪声源数目较多,来波方向存在稀疏性,能 够使用稀疏分布的集成音频声源得到较优的去噪效 果^[12]。

1.2.2 集成音频声源布局优化

SIR 问题的计算方法不在少数,本文使用极为 简单的复数坐标下降法获取 p 的稀疏近似解,假定 其中存在 A_{act}个非零元素,那么此类非零元素基于 必选集成音频声源里相应的方位就是选取的激励集 成音频声源方位,激励集成音频声源数目是 A_{act}。

稀疏水平调节参数 c 和解的稀疏水平存在较大 关联性, c 较大, 解的稀疏性较高^[13-14]。如果 $c \ge$ $\|\Omega^{H} V \beta_{q}\|_{\infty}$, 当中 $\|\cdot\|_{\infty}$ 描述无穷范数, 那么 p = 0, 则激励集成音频声源数目是 0。通常情况下通过交 叉验证选取最佳的 c, 而本文研究的问题为直接控 制声源级问题,因此, 此处选取 c 的流程是:

(1) 基于 c 取值范围[0, $\|\Omega^H V \beta_q\|_{\infty}$)中均衡选 择 M_c 个点 $c_m | m = 1, ..., M_c |$;

(2)运算获取各个 c_m 相应的激励集成音频声 源数目 A_{act} 与声势能去噪量 Δ_D ;

(3) 设定必需的激励集成音频声源数目 A,基 $FA_{act} = A$ 的一组 c_m 值里,选取 Δ_D 最大值设成参数 值;

(4) 如果不存在 $A_{act} = A$ 的 c_m 值,那么基于 A_{act} = $A + A_{\Delta}$ 的一组 c_m 值里,选取相应 Δ_D 最高的 c_m 值 设成参数值,然后基于选取的激励集成音频声源方 位里删去强度幅值最低的 A_{Δ} 个集成音频声源,当 中 A_{Δ} 自1开始变大,直至获取参数值^[15]。

获取集成音频声源布局后,设定 N 个误差传感器的布局,通过式(4)运算最佳集成音频声源强度 *p* act:

 $p_{act} = \operatorname{argmin}\{ \|q_q + Sp_{act}\|^2 + \varepsilon \|p_{act}\|^2 \}$ (4) 其中: q_q 代表误差传感器上的初级声压向量;S代表 激励集成音频声源方位至误差传感器方位的ATI 矩阵; ε 代表正则化参数。

2 实验结果

以量化分析本文方法的控制性能为目标,基于 去噪量与稳定性两个方向判断本文方法对地震勘探 应答器集成音频声源级的控制效果。判断指标如 下:

(1)去噪量:误差传感器上的去噪量、声势能去 噪量。

(2) ATI 矩阵的条件数:条件数代表 ATI 矩阵的好坏,如果条件数较大,那么应答器存在病态。

(3)集成音频声源控制功率:功率较大,则控制 目标区域外的声级变大,将导致应答器存在非线性 响应,持续运行将会出现器件损坏的情况。

(4) 声源强度幅值平滑度:声源强度幅值平滑

度较大,则应答器稳定度较高。图 3 是本文方法在 不同备选集成音频声源数目 A_c (图中依次是 21/ 31/71/121)、不同激励集成音频声源数目 A_{act} (图中 依次是 11/10/9/8/7/6/5/4/3/)下的测试结果。因 为集成音频声源数目低于误差传感器数目,因此 A_{act} 的取值范围为[3,N]。通过图 3 能够知道, A_c 变大出现的激励集成音频声源分布集中将致使 ATI矩阵的条件数变大,应答器便出现病态,所以 聚集的集成音频声源间相关水平较高。则一个集成 音频声源的作用能够被周围剩余集成音频声源取 代。对应的,集成音频声源控制功率 Q 伴随 A_c 变 大而变大,强度幅值平滑度 R 伴随 A_c 变大而变小。 另外,去噪量能力和 A_c 不存在显著关系,而若 N = A_{act} 时, A_c 较大,去噪量便较大。



Fig.3 The control result of the method in this paper

上述分析结果表明:备选集成音频声源数目 A。 很少时,本文方法的控制效果较好,相应的激励集成 音频声源布局在初级声源位置周围和十分均衡分散 的剩余方位。 把应答器的换能器与标准应答器都放在地下 31 m下,两者间距离 1.6 m,测试本文方法控制下, 应答器基于相同信号幅度环境中差异频率点的声源 级(图 4)。







different frequencies

为了测试本文方法控制下应答器发射声源级的 线性度,把信号源的幅度逐次增大,图6是应答器基 于某频率下,发射声源级和输入信号幅度的关联性。



Fig.6 Correlation between emission sound source level and input signal amplitude at the same frequency

上述实验结果表示,本文方法控制下,应答器最高声源级是179 dB,在信号幅度6 dB中声源级高于 170 dB,同时应答器工作线性度较优,满足地震勘探 使用需求。

3 结论

本文提出单片机控制下地震勘探应答器集成音频声源级控制方法,该方法对基于单片机控制的地 震勘探应答器的集成音频声源级控制后,备选集成 音频声源数目 A。很少时,本文方法控制效果较好, 相应的激励集成音频声源布局为初级声源位置周围 和十分均衡分散的剩余方位;基于本文方法控制下, 应答器最高声源级是 179 dB,在信号幅度 6 dB 中声 源级高于 170 dB,同时应答器工作线性度较优,说 明本文方法能使用在地震勘探应答器集成音频声源 级控制工作中,可以最大程度实现震灾情况勘探。

参考文献(References)

[1] 廖帆,朱代柱,杨文生.应答器发射与控制电路的设计与实现
 [J].声学技术,2019,38(4):391-394.
 LIAO Fan,ZHU Daizhu,YANG Wensheng,Design and Imple-

mentation of the Transmitting and Control Circuits of Underwater Acoustic Transponder[J].Technical Acoustics, 2019, 38 (4):391-394.

[2] 于国栋,宋永志,王世赞.稳健估计下的声源定位最小二乘算法 [J].应用声学,2017,36(1):26-31.

YU Guodong, SONG Yongzhi, WANG Shizan. Least Squares Algorithm for Sound Source Localization Based on Robust Estimation[J]. Applied Acoustics, 2017, 36(1):26-31.

- [3] 鲍欢,杨明绥,马威.麦克风阵列安装偏差引起的旋转声源定位 误差[J].航空动力学报,2019,34(8):1708-1716.
 BAO Huan,YANG Mingsui,MA Wei.Error in Rotating Sound Source Localization Caused by Installation Deviation of Microphone Array[J].Journal of Aerospace Power,2019,34(8): 11708-1716.
- [4] 陈克安,胥健,王磊,等.基于声场分解和稀疏正则化的二维空 间次级声源布局优化[J].西北工业大学学报,2019,37(4): 697-703.

CHEN Kean, XU Jian, WANG Lei, et al. Optimization of Secondary Sources Configuration in Two-Dimensional Space Based on Sound Field Decomposition and Sparsity-Inducing Regularization[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2019,37(4):697-703.

[5] 李晓华, 雷铁, 刘成健. 基于 dSPACE 的永磁同步电机低振动噪 声控制策略[J]. 电机与控制应用, 2017, 44(12): 47-53.

LI Xiaohua, LEI Yi, LIU Chengjian. Control Strategy of Low Vibration and Noise of Permanent Magnet Synchronous Motor Based on dSPACE[J]. Electric Machines & Control Application, 2017, 44(12): 47-53. [6] 刘锋,吴鸣,杨军.量产车型噪声主动控制系统性能实测与分析 [J].汽车工程,2019,41(6):676-681,710.

LIU Feng, WU Ming, YANG Jun. Performance Measurement and Analysis of the Active Noise Control 7System for Mass Production Vehicle[J]. Automotive Engineering, 2019, 41(6): 676-681,710.

- [7] 宋玉宝,温激鸿,郁殿龙,等.板结构振动与噪声抑制研究综述
 [J].机械工程学报,2018,54(15):60-77.
 SONG Yubao,WEN Jihong,YU Dianlong,et al.Review of Vibration and Noise Control of the Plate Structures[J].Journal of Mechanical Engineering,2018,54(15):60-77.
- [8] 侯建鑫,谭文,曹明华,等.地铁高架线噪声源及噪声传递计算的细化和改进[J].城市轨道交通研究,2017,20(12):58-61.
 HOU Jianxin,TAN Wen,CAO Minghua, et al. Refinement and Improvement of Noise Transfer Calculation for Metro Elevated Line[J].Urban Mass Transit,2017,20(12):58-61.
- [9] 尹华拓.地铁车辆段上盖开发振动噪声综合控制路线分析[J]. 都市快轨交通,2018,31(3):10-13,45.

YIN Huatuo.The Integrative Pogram for Vibration and Noise Control in a Subway Depot with Superstructures [J]. Urban Rapid Rail Transit.2018.31(3):10-13.45.

- [10] 莫喜平.散射条件下声源分离及参数获取的平行障板方法
 [J].应用声学,2019,38(4):525-529.
 MO Xiping. Parallel-baffle Method for Separateness and Parameters Acquisition of A Sound Source under Scatting Condition[J]. Applied Acoustics, 2019, 38(4):525-529.
- [11] 张文春,段树林,邢辉,等.基于 SEA 赋权图的舱室噪声传递 路径分析[J].振动与冲击,2017,36(23):164-169,180.
 ZHANG Wenchun, DUAN Shulin, XING Hui, et al. SEA Weighted Digraph Method for Vibro-acoustic Energy Transmission Path Analysis in Cabins[J].Journal of Vibration and Shock,2017,36(23):164-169,180.
- [12] 李峰,彭慧敏,李威,等.基于主导轨迹断面阻尼比灵敏度的仿 真关键参数诊断[J].电力工程技术,2019,38(3):67-73.
 LI Feng,PENG Huimin,LI Wei, et al. Simulation Parameter Diagnosis Based on the Dominant Trajectory Section Damping Ratio Sensitivity[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2019,38

(3):67-73.

- [13] 郑朝荣,王笑寒,武岳.钝体绕流气动噪声源特性数值研究
 [J].哈尔滨工业大学学报,2017,49(12):146-151.
 ZHANG Chaorong,WANG Xiaohan,WU Yue.Numerical Investigation on the Characteristics of Aerodynamic Noise
 Sources Induced by Flows around Bluff Bodies[J].Journal of
 Harbin Institute of Technology,2017,49(12):146-151.
- [14] 贾秀娴,杜宇,于野,等,声黑洞理论应用于板类结构的轻量化 减振分析[J].振动工程学报,2018,31(3):434-440.
 JIA Xiuxian,DU Yu,YU Ye,et al.Application of Controlling of Vibrations and Noises in Plate Structures Using the Acoustic Black Hole Yheory[J].Journal of Vibration Engineering, 2018,31(3):434-440.
- [15] 赵小国,刘丁,景坤雷.融合改进蚁狮算法和 T-S 模糊模型的 噪声非线性系统辨识[J].控制与决策,2019,34(4):759-766.
 ZHAO Xiaoguo, LIU Ding, JING Kunlei. Identification of Nonlinear System with Noise Based on Improved ant Lion Optimization and T-S Fuzzy Model[J].Control and Decision, 2019,34(4):759-766.
- [16] 吉卓礼,邓建华,王玲玲,基于一种新的光学技术观测泥质白 云岩的单轴压缩过程[J].贵州大学学报(自然科学版),2018, 35(3):116-119.

JI Zhuoli, DENG Jianhua, WANG Lingling. Observation of Uni-axial Compression of Muddy Dolomite Based on a New Optical Technique[J].Journal of Guizhou University (Natural Science),2018,35(3):116-119.

- [17] 李良荣,荣耀祖,顾平,等.基于 SVM 的车牌识别技术研究
 [J].贵州大学学报(自然科学版),2018,35(5):48-54.
 LI Liangrong,RONG Yaozu,GU Ping,et al.Research on the Technology of License Recognition Based on Support Vector Machine[J]. Journal of Guizhou University (Natural Science),2018,35(5):48-54.
- [18] 周必书,黄立勤.基于 CNN 的车辆检测中激活函数的研究
 [J].贵州大学学报(自然科学版),2018,35(6):76-82.
 ZHOU Bishu, HUANG Liqin. Research on Activation Function Based on CNN in Vehicle Detection [J]. Journal of Guizhou University (Natural Science),2018,35(6):76-82.