

离散频谱最优校正方法选择策略的仿真研究

朱家龙

(宿迁学院 信息工程学院, 江苏 宿迁 223800)

摘要:针对在不同工程应用环境中离散频谱校正方法的选择问题,提出离散频谱最优校正方法的选择策略。该策略以校正方法的性能指标作为最优校正方法选择的主要依据,将校正方法选择问题转化为优化问题,通过计算优化函数获取选择结果。蒙特卡洛仿真实验的结果表明,在不同信噪比情况下,经选择策略产生的校正方法与其他 4 种单一校正方法(相位差法、比值法、能量重心法和全相位法)相比,校正精准度和实时性均有提高,因此证明了校正方法选择策略的有效性和可行性。

关键词:离散频谱;校正方法;优化函数;均方误差

中图分类号:TN911.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-349X(2019)06-0019-03

DOI:10.16160/j.cnki.tsxyxb.2019.06.005

Simulation Study on Selection Strategy of Optimal Discrete Spectrum Correction Method

ZHU Jia-long

(School of Information Engineering, Suqian University, Suqian 223800, China)

Abstract: With the selection problem of discrete spectrum correction methods in different engineering application environments, an optimal selection strategy is proposed, where the performance index of correction method as a criteria, the selection problem is turned into the optimization problem about the correction methods and the selection result is obtained by calculating the optimization function. The Monte Carlo simulation experiment results show that, under different signal-to-noise ratios, this correction method by the selection strategy has improved both the correction accuracy and real-time performance compared with the other four correction methods (phase difference method, ratio method, energy centrobaric method and all phase method), which proves the effectiveness and feasibility of this strategy.

Key Words: discrete spectrum; correction method; optimization function; mean-square error

离散频谱校正方法在诸多领域(如机械振动测试^[1]、谐波检测^[2]和感应电机转子故障诊断^[3]等)有着广泛的应用。目前,常用的离散频谱校正方法有:比值法^[4-5]、能量重心法^[6]、相位差法^[7]和全相位法^[8]。这 4 种校正方法在不

同工程应用环境中的特点各不相同,比值法的算法复杂度小于其他校正方法;能量重心法对频率、幅值和相位校正不同噪声环境下均有良好的稳定性;相位差法在大噪声环境下校正精度的波动较大;全相位法的相位参数校正精

作者简介:朱家龙(1991—),男,江苏宿迁人,讲师,硕士,主要从事移动通信和现代通信研究。

度高于其他校正方法,但算法复杂度也高于其他校正方法。

由于这 4 种校正方法的优缺点各不相同以及工程应用的环境不同,因此本文针对如何选择更为合适的校正方法问题提出一种选择策略,该策略通过选取待测信号的少量样本即可在特定的信号环境下有效地从多种校正方法中预估计一种校正精度最高的校正方法。该策略以 3 个校正性能指标^[9]作为最优校正方法选择的主要依据,将校正方法选择问题转化为优化问题,通过加权函数的计算获得最终校正方法选择结果,并运用蒙特卡洛(Monte-Carlo)模拟仿真实验验证该策略的有效性和可行性。

1 校正方法的性能指标

校正方法在不同信号环境中的校正性能各不相同,其中信噪比(SNR)和频率分辨率($\Delta f = \frac{f_s}{N}$)是信号环境中影响校正性能的关键因素^[10]。信噪比可以通过信噪比估计方法^[11]进行估算,这里不赘述。在工程中,频率分辨率为已知量。根据待校正信号的信噪比和频率分辨率这两大因素来选择校正方法,首先应寻找两大因素与校正性能之间的关系。

本文以最具指导意义的校正均方误差、校正精准度和实时性因子 3 个指标作为校正性能判定依据,来进行最优校正方法的选择。

1.1 校正均方误差

在特定的信噪比和频率分辨率环境下运用 Monte-Carlo 实验获得 4 种校正方法的参数校正均方误差,均方误差 M 为^[12]:

$$M(\text{SNR}, \Delta f) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{\xi}_i - \xi_0)^2, \quad (1)$$

式中, $\hat{\xi}_i$ 为第 i 次校正值; ξ_0 为实际参数值; N 为校正实验次数。

1.2 校正精准度

校正精准度是指 4 种校正方法校正量(Δk)与实际谱线的靠近程度,其表达式为^[13]:

$$P = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\Delta k_i}{\Delta f}, \quad (2)$$

式中, Δk_i 为第 i 次校正量。

1.3 实时性因子

仅考虑校正方法的精确性和稳定性并不能全面反映其性能,还应考虑校正的实时性,比如某一校正方法精度很高,但时间开销很大,则并不能证明该校正方法性能很好。因此,需要同时考虑精度和时间对校正方法性能的影响,其影响指标用实时性因子 u 表示,即校正精准度 P 与时间 t 的乘积:

$$u = P \cdot t. \quad (3)$$

只有当式中的 P 和 t 均小时,则 u 才会小,才能体现校正方法的实时性和精度。

2 最优校正方法选择策略

校正方法选择的基本原则:要能够匹配待校正信号的特征及信噪比和频率分辨率。设有一优化问题 Y , 待检测信号的样本信号为 S , 对于校正方法 A_i 中每个校正方法 A 对样本信号 S 进行校正,其性能指标向量为 $V(Y, A)$, 根据校正算法不同的选择标准,建立目标函数 $F(V(Y, A))$, 则校正方法选择问题转变为优化问题:

$$\min_{A \in A_i} F(V(Y, A)). \quad (4)$$

考虑到校正方法的稳定性和实时性,以及工程实现的难易程度,对目标函数进行调整,将其设计为加权函数:

$$F(V(Y, A)) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot v_i. \quad (5)$$

式中, w_i 为权重; v_i 为性能指标分量(性能来源于实测)。当考虑到影响因素不同时,通过改变权重值来调整侧重点,选择出较为适用的校正方法。

将本文设计的校正方法的选择策略置于校正信号前,用选择策略产生的校正方法对参数进行校正,具体校正步骤如图 1 所示。

3 仿真分析

为了验证本文校正方法选择策略的可行性和有效性,利用 Monte-Carlo 计算机进行模拟仿真实验,获取 4 种校正方法在不同信噪比环境下的参数校正均方误差与本文经选择策略产生的校正方法获得的参数校正均方误差进行对比。

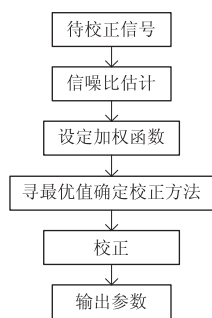


图 1 最优校正方法选择策略流程图

在信噪比范围为 $[-10\text{ dB}, 40\text{ dB}]$ (间隔 1 dB)的噪声环境下,进行 100 次 Monte-Carlo 计算机仿真实验。 4 种校正方法和本文经选择策略后的校正方法获取的频率校正均方误差如图 2 所示,幅值校正均方误差如图 3 所示,相位校正均方误差如图 4 所示。

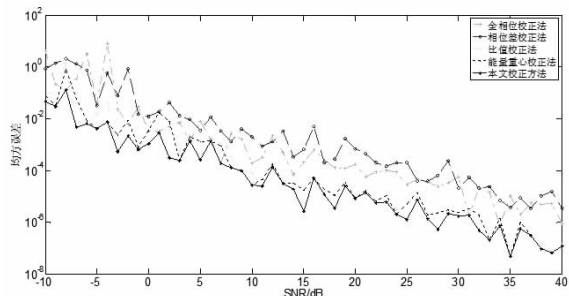


图 2 频率校正均方误差

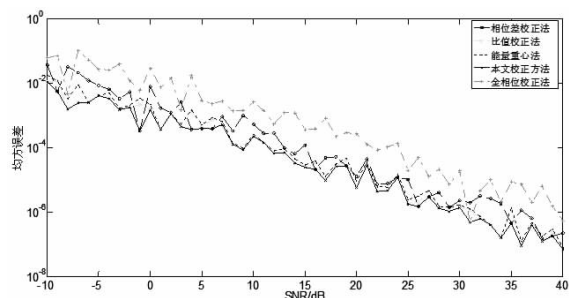


图 3 幅值校正均方误差

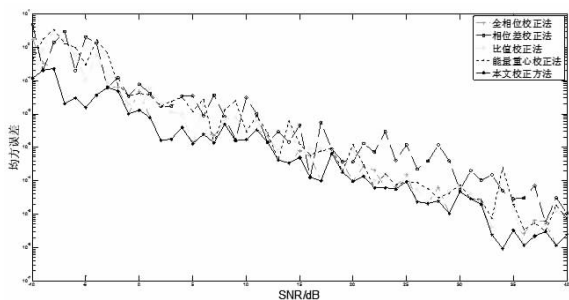


图 4 相位校正均方误差

从总体上来看,虽然存在一定的波动,但各个参数的校正均方误差均随着信噪比的增加呈现减少趋势,这说明噪声的减少有利于提高校正精准度。

从校正方法角度来看,如图 2,图 3 和图 4 所示,各个参数(频率、幅值和相位)在不同信噪比的情况下,本文经选择策略产生的校正方法获取的均方误差均小于其他校正方法,这说明该校正方法在各个参数的校正准确性方面优于其他单一校正方法,这体现了本文选择策略的可行性和有效性。

4 结论

在综合分析 4 种常用离散频谱校正方法的基础上,设定校正方法的性能指标,以此作为最优校正方法选择的依据。3 个性能指标中,校正均方误差和校正精准度体现校正的精准度,实时性因子体现校正的实时性。实际上,本文的校正方法并非独立的校正方法,而是将设计的选择策略与 4 种校正方法相结合形成的最优校正方法。通过 Monte-Carlo 计算机模拟仿真实验得出,与 4 种单一校正方法相比,本文经选择策略产生的校正方法在不同信噪比情况下,校正的精准度和实时性均有提高,因此证明了本文选择策略的有效性和可行性。

参考文献:

- [1] 何国林,丁康,李永焯. 基于啮合频率和频谱校正的风电齿轮箱振动信号阶比跟踪分析[J]. 振动工程学报,2016,29(2):324-330.
- [2] WEN H, TENG Z S, GUO S Y. Triangular self-convolution window with desirable sidelobe behaviors for harmonic analysis of power system[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2010, 59(3):543-552.
- [3] CRUZ S M A, CARDOSO A J M. Stator winding fault diagnosis in three-phase synchronous and asynchronous motors by the extended Park's vector approach[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2001, 37(5):1227-1233.

(下转第 30 页)

向刚度,对原车和结构变更后的轴套做刚度测试,结果如图 6 所示。安装两种不同刚度曲线的轴套后,进行高速制动试车测试,记录各传感器数据,得到图 7。由图 7 可知,原车制动时方向盘加速度平均值为 1.45 g,变更大轴套刚度曲线后方向盘加速度平均值为 0.87 g,降低约 45%,说明该方案对制动时方向盘抖动控制有很好的改善效果。

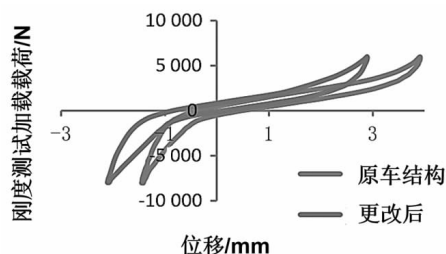


图 6 前下摆臂大轴套 Y 向刚度曲线

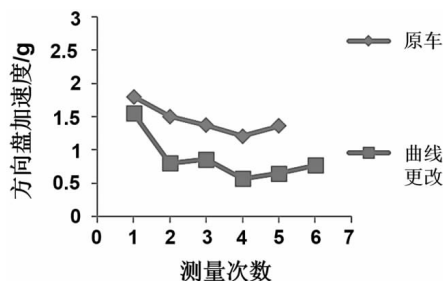


图 7 变更大轴套刚度曲线方案对比

4 结论

(1)汽车在开发阶段需要建立方向盘抖动主客观测试评价方法,确定评价标准。方向盘抖动加速度 0.2 g 可作为评价标准,在汽车生产前期依此标准对方向盘抖动进行控制。

(2)提高大轴套损失系数和前下摆臂大轴套刚度,对改善制动时方向盘抖动效果明显。

参考文献:

- [1] 胡朝辉,邵慧,何智成,等. 基于底盘激励的汽车高速行驶方向盘抖动研究[J]. 中国机械工程,2014,25(19):2686-2691.
- [2] 陈书明,王登峰,苏丽俐,等. 转向系统 NVH 研究综述[J]. 汽车工程学报,2011,1(5):429-441.
- [3] 张哲恺,胡朝辉,何智成,等. 汽车高速行驶时方向盘摆振控制方法研究[J]. 机械科学与技术,2015,34(7):1099-1103.
- [4] 宗长富,郭孔辉. 汽车操纵稳定性的主观评价[J]. 汽车工程,2000,22(5):289-292.
- [5] 宋桂霞. 某型车方向盘高速抖动分析研究[J]. 农业装备与车辆工程,2017,55(6):97-100.
- [6] 韩建荣. 汽车制动抖动分析的研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2008.

(责任编辑:夏玉玲)

(上接第 21 页)

- [4] 丁康,谢明,杨志坚. 离散频谱分析校正理论与技术[M]. 北京:科学出版社,2008.
- [5] XIE M, DING K. Correction for frequency, amplitude and phase in FFT of harmonic signal[J]. Mechanical System and Signal Processing,1996,10(2):211-221.
- [6] 张翔,胡飞,沈长青,等. 基于能量重心法的列车轴承多普勒畸变故障声信号校正诊断研究[J]. 振动与冲击,2014,33(5):1-7.
- [7] 吴超凡,陈隆道. 应用于电力谐波分析的改进相位差校正法[J]. 电工技术学报,2017,32(7):158-164.
- [8] 陈明徕,罗秀娟,张羽,等. 基于全相位谱分析的剪切光束成像目标重构[J]. 物理学报,2017,66(2):145-150.

- [9] LEI C, MA D H, ZHANG H Q. Optimal strategy selection for moving target defense based on Markov game[J]. IEEE Access,2017(5):156-169.
- [10] 杨劲秋. 智能优化算法评价模型研究[D]. 杭州:浙江大学,2011.
- [11] 孙钢灿,安建平,杨杰,等. 非协作通信中的信噪比估计算法[J]. 北京理工大学学报,2009,29(8):708-712.
- [12] 祝俊,唐斌,杜正聪,等. 基于高阶近似核和傅里叶系数内插的快速频率估计算法[J]. 数据采集与处理,2009,24(6):797-801.
- [13] 杨鉴,梁虹. 随机信号处理原理与实践[M]. 北京:科学出版社,2010.

(责任编辑:夏玉玲)