

舞台飞行机构运动控制轮廓误差策略研究

汤子龙^{1,2}, 冯向欢¹

(1. 兰州理工大学电气工程与信息工程学院, 甘肃 兰州 730050;

2. 甘肃工大舞台技术工程有限公司, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 针对舞台飞行机构中轮廓误差控制精度差的问题, 在传统的运动控制中, 除了使用单轴闭环控制的方法来减少误差外, 还使用多轴的协调控制方法来达到指定要求。本文是在分析了多轴协调控制的非交叉耦合的基础上, 对双电机运动控制系统的交叉耦合控制策略进行研究, 并提出了二维平面中双电机协调控制的曲线轨迹轮廓误差补偿修正方法。通过理论分析和 MATLAB 仿真实验, 证实了这种方法可以有效的减少轮廓误差。

关键词: 轮廓误差; 交叉耦合控制; 协调控制; 补偿修正

中图分类号: TP29 文献标识码: B 文章编号: 1003-7241(2016)11-0026-04

Research of Motion Control Contour Error on the Stage of Flight Agency

TANG Zi-long^{1,2}, FENG Xiang-huan¹

(1. Department of Electrical and Information Engineering, Lanzhou University, Lanzhou 730050 China;

2. Ganshu Gongda Stage Technology & Engineering Co.,Ltd., Lanzhou 730050 China)

Abstract: For the problem of the poor control precision of contour error on the stage of the flight agency in the traditional motion control, in addition to using uniaxial closed-loop control method to reduce the error, the multi-axis coordinated control method is used to specified requirements. Based on the analysis of the cross coupling control of the traditional coordination control, the cross coupling control strategy of the double motor motion control system is studied and the contour error compensation mechanism of the curve track of the double motor coordination control in the two-dimensional plane is put forward. And through theoretical analysis and Matlab simulation experiment, the method can effectively reduce the contour error.

Key words: contour error; corss-coupled control; coordinated control; compensation correction

1 引言

舞台机械, 不同于其他机械, 是运用于剧场舞台中, 能够满足演出习惯、安全可靠的为表演而服务的机械^[1]。作为现代化舞台表演中不可或缺的核心设备, 飞行机构可分为轨道式和非轨道式系统。本课题是甘肃工大舞台技术有限公司 2014 秋季科研项目, 研究对象为非轨道式单点双电机协调控制的二维飞行机构控制系统, 其控制结构图如 1 所示。

双电机的协调控制其应用对象是实现连续的运动轨

迹控制, 可以对运动过程中物体的位置坐标和速度进行相应的控制^[2]。对运动物体位置和速度的控制直接关系到系统的可靠性和安全性。如果出现电机控制的不协调, 很可能造成演员的人身损害甚至死亡。因此, 在双电机参数不一致或者动态性能不匹配时, 控制每个电机使其精确跟踪, 并且减弱或者消除由动态特性不匹配以及外在干扰造成电机之间的动态影响, 减少双电机协调运动的轮廓误差。

因此, 对舞台飞行机构双电机协调控制的轮廓误差进行研究, 无疑对演艺的安全性和稳定性的提升有着非凡的意义^[3]。

收稿日期: 2015-09-07

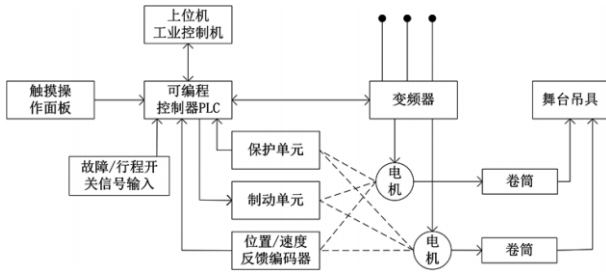


图1 飞行机构控制系统结构图

2 双电机的交叉耦合控制

在运动控制过程中，存在着两种误差，分别是跟踪误差和轮廓误差。如图2所示：

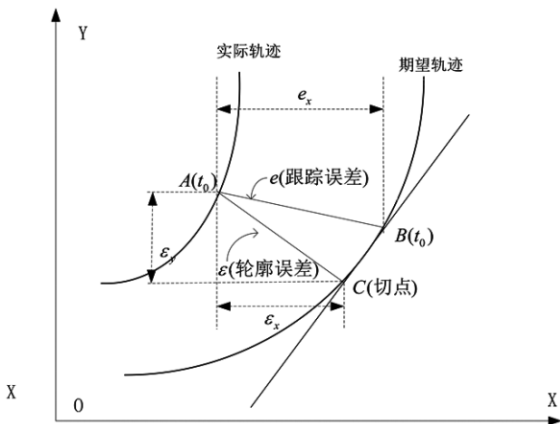


图2 跟踪误差和轮廓误差示意图

相比于跟踪误差，轮廓误差的消除或者减少更具有现实意义，为此，许多科研工作者都致力于这方面的研究，如肖本贤(2003)等人基于模糊神经网络的轮廓误差补偿控制表明：神经网络的自学能力可以向各轴提供误差补偿信息，从而提高运动控制的轮廓误差^[4]。郭慧(2008)等人基于微粒群算法的复杂曲线轮廓度误差计算表明：通过构造等参数线区域，运用微粒群算法在等参数区域内搜索和测量点距离最小的点，可以快速并精确计算出曲面的轮廓误差^[5]。

上面所涉及的都是对一单轴的控制进行研究，减少或消除轮廓误差，这是一种非交叉耦合控制，其结构框图如3。

双电机的交叉耦合控制是针对两个轴的协调控制，这种控制策略在某种程度上可以提高控制效果。它的基本思路是利用编码器综合x轴和y轴的反馈信号，并输入到可编程控制器PLC中，经过PLC的比较、PID运算，建立起一个实时的轮廓误差模型^[6]，寻求并建立最优的轮廓误差补偿修正机制，将轮廓误差补偿值传递到x轴和y轴，实时的修正x轴和y轴的坐标，从而达到减少或消除轮廓误差的目的。双轴的交叉耦合补偿控制策略基本结构框图如4所示。

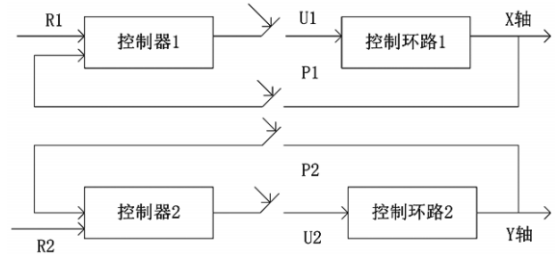


图3 非耦合交叉结构框图

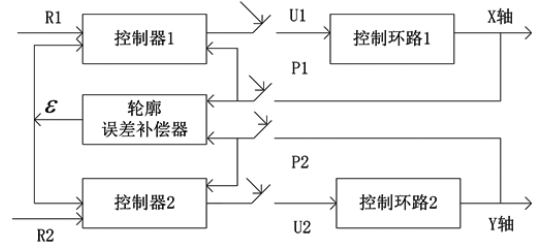


图4 双轴交叉耦合控制框图

3 双电机的交叉耦合控制补偿策略

在上图所示的4种类型的运行轨迹中，A为在任一 t_0 时刻的实际运行位置，B为在 t_0 时刻的理想输入参考位置，C为实际运行位置A到期望轨迹的距离，O为曲率圆圆心， e_0 为 t_0 时刻的跟踪误差， ϵ_0 为 t_0 时刻的轮廓误差。对于任意的曲线轨迹方程 $f(x, y)=0$ ，我们可以采取实际运行位置的离散点来重构出运行轨迹。由于重构运行曲线轨迹与轮廓误差的计算相当复杂，所以本文利用曲率圆作为近似的运行轨迹，对轮廓误差进行计算，

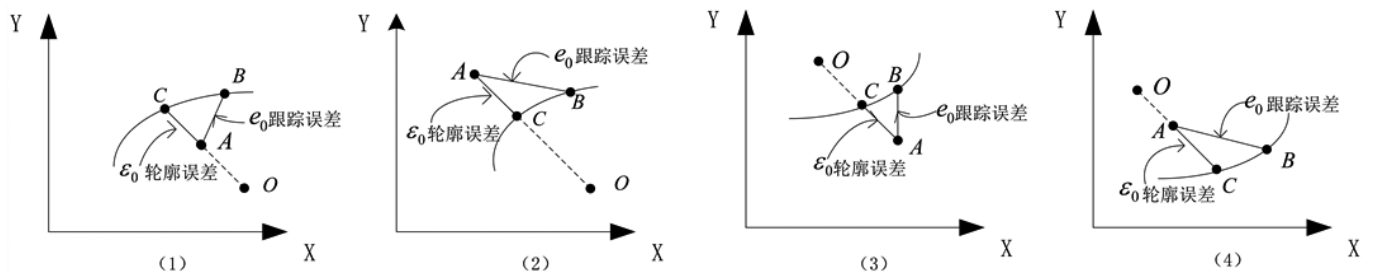


图5 4种类型的运行轨迹

该方法具有较高的精度和计算简单的优点。

对于曲线方程 $f(x, y) = 0$, 曲线在点 A 处的曲率半径为:

$$\rho = \frac{(1 + y'^2)^{\frac{3}{2}}}{|y''|} \quad (1)$$

式中 y' 和 y'' 分别为 y 对 x 的一阶和二阶导数。

曲率中心的 O 的坐标 (,) 为 [7]:

$$\begin{cases} \alpha = x - \frac{y'(y'^2 + 1)}{y''} \\ \beta = y + \frac{y'^2 + 1}{y''} \end{cases} \quad (2)$$

若 $y'' = 0$, 则点 A、B、C 在一条直线上, 轮廓误差可用点到直线的距离直接计算出来, 不必进行估算。当 $y'' \neq 0$ 时, 运行轨迹如图 5 中 (1) (4) 所示, 则轮廓误差为:

$$\varepsilon = \rho - OA = |OC| - |OA| \quad (3)$$

$$= \sqrt{(x - x_C - \frac{y'(y'^2 + 1)}{y''})^2 + (y + \frac{y'^2 + 1}{y''} - y_C)^2} - \sqrt{(x - x_A - \frac{y'(y'^2 + 1)}{y''})^2 + (y + \frac{y'^2 + 1}{y''} - y_A)^2}$$

若运行轨迹如图 5 中 (2) (3) 所示时, 则轮廓误差为:

$$\varepsilon = OA - \rho = |OA| - |OC| \quad (4)$$

$$= \sqrt{(x - x_A - \frac{y'(y'^2 + 1)}{y''})^2 + (y + \frac{y'^2 + 1}{y''} - y_A)^2} - \sqrt{(x - x_C - \frac{y'(y'^2 + 1)}{y''})^2 + (y + \frac{y'^2 + 1}{y''} - y_C)^2}$$

定义 \vec{AO} 为 的矢量方向, 由图 5 中 (1) (4) 所示可知:

$$\begin{cases} \cos \theta = \frac{x - \frac{y'(1 + y'^2)}{y''} - y_A}{\sqrt{(x - x_A - \frac{y'(y'^2 + 1)}{y''})^2 + (y + \frac{y'^2 + 1}{y''} - y_A)^2}} \\ \sin \theta = \frac{y - \frac{y'(1 + y'^2)}{y''} - x_A}{\sqrt{(x - x_A - \frac{y'(y'^2 + 1)}{y''})^2 + (y + \frac{y'^2 + 1}{y''} - y_A)^2}} \end{cases} \quad (5)$$

所以, 轮廓误差在 x 轴和 y 轴上的补偿修正值为:

$$\begin{cases} \varepsilon_x = \varepsilon \cos \theta \\ \varepsilon_y = \varepsilon \sin \theta \end{cases} \quad (6)$$

上式 (2-6) 即为双轴协调控制在运行中的实时轮廓误差补偿值。

4 实验验证

4.1 运动控制的实验环境

本文是基于交叉耦合控制的轮廓误差补偿策略方法, 采用 MATLAB 2012a 进行建模分析和验证。采用型号为 YEJ100L-2 的三相异步电机, 仿真曲线采用典型的正弦曲线, 补偿采样周期设定为 0.5ms, 吊机以 s 型曲线加减速运行, 最大速度为 1m/s, x 轴和 y 轴的实际坐标位置可以利用异步电机上的光电编码器的反馈信号采样获得, 因此, 跟踪误差就可以计算出来。此时, 实际曲线轨迹与理想曲线轨迹之间的偏差就是轮廓误差 [8]。

4.2 实验结果

从图 6 的仿真结果可以看出, 正弦曲线在不引进轮廓误差的补偿修正时进行协调控制时的轮廓误差为 15 μ m, 引进补偿后轮廓误差减少到 5 μ m。因此, 采用本文

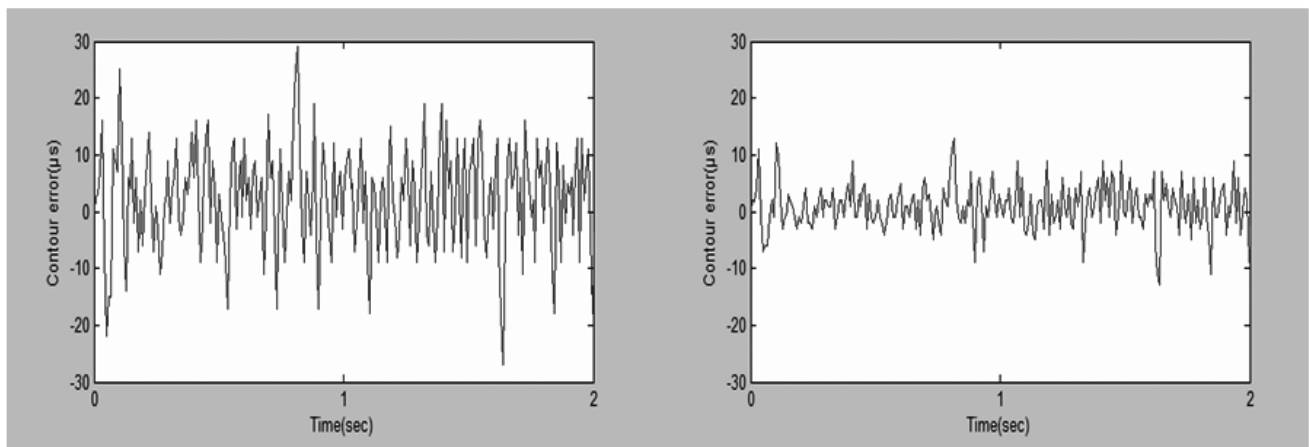


图 6 轮廓误差仿真结果比较

设计的轮廓误差补偿机制可以有效的提高双轴协调系统的控制精度^[9]。

5 结束语

本文根据舞台飞行机构中双电机协调控制的应用需求,分析和总结了当前运动控制中所应用的交叉耦合控制的诸多缺点,提出了一种新的基于双轴协调控制的轮廓补偿机制,在理论上分析了这种方法的可行性,并通过 MATLAB 进行仿真验证。从而证实了这种方法可以有效的减少双电机在外在的干扰或参数变化的情况下而引起的轮廓误差,为协调控制探索了一条新的途径。

参考文献:

- [1] 陈沅恺. 上海世博会开幕式演艺技术简析 [J]. 演艺科技, 2010, 2(52): 8-14.
- [2] 孙文焕, 程善美等. 多电机协调发展 [J]. 电气传动, 1999, 3(6): 1-6.
- [3] 丰其云, 严华锋. 舞台机械设备运动分析 [J]. 演艺科技, 2014, 6(8): 34-38.

(上接第5页)

Gradient projection for sparse reconstruction: Application to compressed sensing and other inverse problems, IEEE J. Sel. Topics Signal Process, 2007, 1(4): 586-598.

[16] I DAUBECHIES, M DEFRISE, CDE MOL. An iterative thresholding algorithm for linear inverse

(上接第10页)

[8] 李果, 刘少军. 基于改进蚁群算法的机器人路径规划 [J]. 控制工程, 2005, 12(5): 473-475, 485.

[9] 苏畅, 徒君. 一种自适应最大最小蚁群算法 [J]. 模式识别与人工智能, 2007, 20(5): 688-691.

[10] T STUTZLE, H HOOS. Improvements on the Ant System: Introducing MAX-MIN ant system [C]. In Proceedings of the International Conference on Artificial Neural networks and Genetic Algorithms, Springer Verlag, Wien. 1997, 245-249.

(上接第25页)

统研究 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20(2): 474-479.

[2] 莫太平, 胡俊波, 赵佩斯. 基于 Android 的智能家居系统的设计与实现 [J]. 自动化与仪表, 2015, (1): 33-36.

[3] 熊茂华, 熊昕, 甄鹏. 物联网技术与应用实践 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2014: 16-17.

[4] 张逢雪, 王香婷, 王通生, 徐广瑞. 基于 STM32 单片机的无线智能家居控制系统 [J]. 自动化技术与应用, 2011, 30(8): 98-101.

[5] HLK-RM04 P2P 应用手册 2[Z]. 深圳市海凌微电子

[4] 肖本贤, 郭福权等. 基于模糊神经网络的轮廓误差附加补偿控制研究 [J]. 系统仿真学报, 2003, 15(12): 1733-1736.

[5] 郭慧, 林大钧等. 基于微粒群算法的复杂曲面轮廓误差计算 [J]. 东华大学学报, 2008, 34(3): 274-277.

[6] 安坤, 孟江. 基于 S7-200 的舞台台面控制系统设计 [J]. PLC、工控机与集散控制系统, 2006, 2(3): 52-56.

[7] 侯宇等. 复杂线轮廓度误差坐标测量的数据处理方法 [J]. 计量学报, 2002, 23(1): 13-16.

[8] Y S TARNG, W T HSU. Intelligent cross-coupled fuzzy ederate controller design for CNC machine tools based on genetic Igorithm [J]. International Journal of Machine Tools Manufacture, 1999, 39(10): 1673-1691.

[9] SU KEHANG. Contouring accuracy improvement using cross-coupled control and position Error compensator [J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2008, (48): 1444-1453.

作者简介: 汤子龙 (1962-), 男, 高级工程师, 研究方向: 舞台控制。

problems with a sparsity constraint, Commun [J]. Pure Appl Math, 2004, (57): 1413-1541.

作者简介: 吴莉 (1982-), 女, 硕士, 副教授, 研究方向: 数论及其应用。

[11] 李士勇. 蚁群算法及其应用 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004: 35-46.

[12] 陈建玲. 基于蚁群算法的优化问题研究 [D]. 大庆石油学院: 大庆石油学院, 2007.

作者简介: 张军明 (1989-), 男, 本科, 研究方向: 计量学、自动控制。

有限公司。

[6] 刘威. 基于 Android 平台的智能家居客户端应用软件开发与实现 [D]. 深圳: 哈尔滨工业大学学位论文, 2013: 8-9.

作者简介: 高虎 (1991-), 男, 硕士, 研究方向: 物联网及自动控制。