

一种提高跟踪精度的动态积分控制方法

A dynamic III type control method to improve the tracking precision for the optoelectronic tracking servo system

(1. 长春光学精密机械与物理研究所;

2. 长春工业大学; 3. 中国科学院中国科技大学) 侯云海^{1,2} 王建立¹ 董二宝³ 陈娟^{1,2}

HOU Yun-hai WANG Jian-li DONG Er-bao CHEN Juan

摘要: 动态高型控制在形式上相当于积分分离的 PI 控制器, 按控制理论中经典的 PID 控制的解释, 积分环节提高了系统的无静差度, 从而提高了系统的稳态精度。本文从其它角度对动态高型控制在理论和仿真实验两个方面进行了深入研究, 基于光电跟踪伺服系统, 设计出一个高精度的动态 III 型控制系统。仿真中, 当目标的最大加速度、最大速度时, 两个高型控制环节随时间逐次动态加入, 使该动态 III 型系统稳态时最大跟踪误差达到了 1.3"。

关键词: 动态高型; 控制; 稳态精度; 跟踪

中图分类号: TP275.54 **文献标识码:** A

Abstract: Dynamic high type control is formally equal to PI controller. According to the explanation for the classic PID controller in the automatic control theory, the integral section increases the non-error degree so the static precision is improved. Study on both the theory and simulation for the dynamic high type control is carried out here. Based on an optoelectronic tracking servo system, we propose a dynamic III type control system with the high tracking precision. In the simulation, when the target is with maximum acceleration and maximum speed, the two integral sections are introduced dynamically step by step, and the maximum static tracking error 1.3" is obtained.

Key words: dynamic high type; control; static precision; tracking

1 引言

美国白沙靶场研制的发射区经纬仪系统, 采用动态 III 型控制, 当跟踪速度为、加速度的空间目标时, 实现了事后测量精度 10~20"。国内在动态高型技术方面的研究起步较晚, 距工程实用化还有一些关键技术有待解决。动态 1+I 型高阶的应用可以大幅提高经纬仪伺服系统的稳态跟踪精度, 并给出了仿真结果。文献中提出高型引入后不应再退出, 从而避免高型退出造成的“抖动”。文献中则提出采用阶跃累加和斜坡累加的形式来理解动态高型, 这两种形式其实是动态高型的离散形式和推广形式。动态高型在形式上等同于积分分离的 PI 控制器, 按经典的 PID 控制的解释, 积分环节提高了系统的无差度, 从而提高系统的稳态精度。本文从其它角度出发对动态高型控制作了解释, 设计的高精度的动态 III 型控制系统, 最大跟踪误差达到了 1.3"。

2 动态高型的理论解释

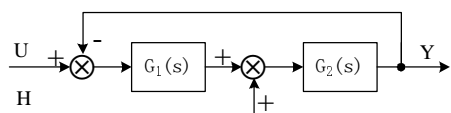


图1 双输入单输出控制系统

光电经纬仪伺服跟踪系统通常被视为单输入单输出系统 (SISO), 从而可以方便的应用经典控制方法进行设计。但是, 现

代控制理论认为, 增加系统的输入向量 (即控制向量) 维数可以增强对系统的控制能力。对光电经纬仪伺服跟踪系统的输入向量进行扩展, 使其成为双输入单输出系统。

用传递函数法求该系统的外特性, 得到如下的关系式

$$\begin{aligned} [(U-F)G_1+H]G_2=Y & \Rightarrow F=\frac{G_1G_2U+G_1H}{1+G_1G_2}=\frac{G_1G_2}{1+G_1G_2}U \\ \forall U, H, Y=U & \Leftrightarrow H=\frac{U}{G_1(s)} \end{aligned}$$

根据扩展输入 H 的理想表达式, 最自然的想法是从原始输入量 U 处引入前馈构成复合控制。

3 动态 III 型高阶系统的设计和仿真

3.1 基于光电经纬仪伺服跟踪系统的动态 III 型仿真系统

以光电跟踪伺服系统为例, 设计了动态高型控制环节的结构和参数。由于光电传感器采样频率较慢, 基本上决定了系统的帧周期, 而动态高型控制环节的采样时间既可以与帧周期相同, 也可以不同, 而且积分环节既可以采用连续时间积分形式, 也可以采用离散时间的阶跃累加形式。于是, 仿真中动态高型的工程实现形式可以有几种形式。图 2 中的动态 III 型仿真系统中的高型控制的实现如图 3 所示。

动态高型的参数设计如下: 前面的高型: $T=0.1s, T_0=0.02s, K_1=5 \times 0.02=0.1$; 后面的高型: $T=0.1s, T_0=0.02s, K_2=5 \times 0.02=0.1$ 。速度回路校正参数

$$G_v(s)=\frac{1600(0.4s+1)(0.013s+1)}{(5.04s+1)(0.007s+1)}, \text{位置回路校正参数为 } G_p(s)=\frac{1000(0.4s+1)}{(7.9s+1)}$$

3.2 等效正弦输入信号

等效正弦输入信号可以表示目标运动的范围和快慢。可用它来检验系统跟踪误差, 主要是动态滞后误差。当只已知目标运动最大角速度 $\dot{\theta}_{\max}$ 、最大角加速度时 $\ddot{\theta}_{\max}$, 则可求出一个等效

侯云海: 副教授

基金项目: 基金申请人: 王建立; 项目名称: 傅立叶望远镜成像技术理论与实验研究; 基金颁发部门: 吉林省科技厅 (20070102)

正弦 $\theta_1(t) = \theta_{\max} \sin \omega_1 t$, 并用以检验系统特性。其等效正弦振幅为: $\theta_{\max} = \dot{\theta}_{\max} / \ddot{\theta}_{\max}$, 等效正弦频率为: $\omega_1 = \ddot{\theta}_{\max} / \dot{\theta}_{\max}$, 周期为: $T_1 = 2\pi / \omega_1$ 。当目标的最大加速度 60 度/秒²、最大速度 60 度/秒时, 对应的等效正弦为 $80 \sin(0.6t)$ 。

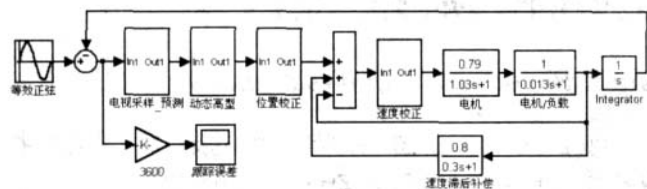


图2 动态III型仿真系统

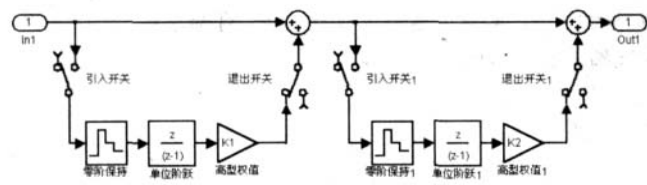


图3 二阶动态高型的仿真图

仿真结果见图4。当系统只有速度滞后补偿时, 系统的跟踪误差为 88"; 15 秒之后加入一阶动态高型, 系统的跟踪误差减小到 10.5", 20 秒之后加入二阶动态高型, 系统的跟踪误差减小到 1.3"。该动态 III 型系统的跟踪能力为当系统跟踪最大加速度 60 度/秒、最大速度 60 度/秒的等效正弦目标时, 稳态跟踪误差达 1.3"。

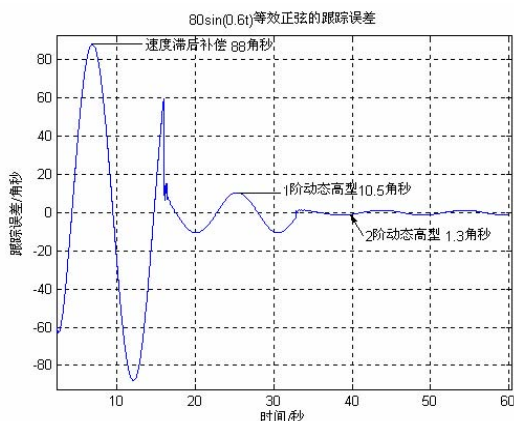


图4 动态III型系统的仿真跟踪误差

4 结论

本文从复合控制的角度, 对动态高型控制做出了新的理论解释, 与积分环节提高了系统无静差度的解释, 起到了同样的效果, 有助于对动态高型控制的深刻理解。设计的高精度的动态 III 型跟踪伺服控制系统, 对于动态高型控制在光电跟踪系统中, 特别是大口径设备的工程实现应用中, 起到了很好的控制效果。

本文作者创新点: 根据目标特性, 设计积分环节的结构和参数, 动态确定积分环节的引入和脱离条件, 解决了高型系统稳定性与无差度的矛盾。

基金和论文的相关性: 傅立叶望远镜是一种光电跟踪系统, 最终目的是能够捕获空间飞行目标, 稳定跟踪, 精密定位, 进而得到清晰的目标图象。伺服系统驱动跟踪架使望远镜系统跟随目标运动, 因此作用很大。本文研究当目标运动速度及加速度较快时, 如何控制伺服系统减小跟踪误差但是不破坏系统的

稳定性。

项目经济效益 50 万元。

参考文献

- [1] 吴绍勇. 动态高型控制方法研究[D]. 中国科学技术大学本科学位论文, 2004, 34-39
- [2] 孙健. 动态高型控制方法在光电经纬仪跟踪伺服系统中的应用研究[D]. 长春光机所硕士学位论文, 2004, 45-67
- [3] 李红军, 杨中平, 胡真明, 优化的模糊控制器在温室系统中的应用[J]. 微计算机信息, 2007, 1-1 P38-40
- [4] 江卫华, 文小玲, 自举飞行器微机控制系统的设计[J]. 微计算机信息, 2007, 8-2, P19-20

作者简介: 侯云海 (1970-) 男 (汉族) 吉林长春人, 长春工业大学电气与电子工程学院副教授, 中国长春光学精密机械与物理研究所在读博士研究生, 主要从事光电跟踪与控制方面的研究。

Biography: HOU Yun-hai (1970-), female (Han ethnic), Jilin Province, deputy professor, Changchun University of Technology, Electronic and Electric School; Ph.D student, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics (CIOMP), Chinese Academy of Sciences. Working area: optoelectronic tracking and control.

(130033 吉林长春 长春光学精密机械与物理研究所航测部)

侯云海 王建立 陈娟

(130012 吉林长春 长春工业大学电气与电子学院) 侯云海 陈娟

(230000 安徽合肥 中国科学院中国科技大学) 董二宝

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics (CIOMP), Chinese Academy of Sciences, 130022) HOU Hai-yun (Changchun China Changchun University of Technology, Electronic and Electric School, 130012 Changchun, China) HOU Hai-yun CHEN Juan

通讯地址: (130012 长春工业大学电气与电子工程学院 67# 信箱) 侯云海

(收稿日期 2008.12.23)(修稿日期 2009.01.25)

《现场总线技术应用 200 例》

现场总线技术是现代工厂、商业设施、楼宇、公共设施运行、生产过程中的现场设备、仪表、执行机构与控制室的监测、控制装置及管理与控制系统之间的数字式、多点通信互连的, 数据总线式智能底层控制网络。

现场总线技术保证了现代工厂、商业设施、智能楼宇、公共设施(自来水、污水处理、输变供电、燃气管道、自动抄表、交通管理等)、高可靠、低成本、安全绿色生产运行, 同时易于改变生产工艺, 多品种生产过程。

本书 200 个应用案例, 介绍了 profibus、FF、CANbus、DeviceNET、WorldFIP、INTERbus、CC-Link、LonWorks 及 OPC、工业以太网、TCP/IP 在石油、化工、电力、冶金、铁路、制烟、造酒、制药、水泥、电力传动、机械、交通、设备管理、消防、自来水厂、电解铜、电解铝、继电保护、粮仓及储运、汽车检测、油库管理、造纸、气象、远程抄表、电缆生产、暖通空调、电梯、楼宇自动化及安防、……, 各方面的应用。

本书是工程设计人员、设备维护人员、设备采购人员、技术领导干部、大、中专学校教师的案头参考书, 同时也是大专院校本科生、研究生做课题、搞毕业设计的必备参考书。有志向有兴趣的高中以上文化水平的人均为本书读者。

本书已出版。大 16 开, 每册定价 55 元(含邮费)。预购者请将书款及邮费通过邮局汇款至

地址: 北京海淀区皂君庙 14 号院鑫雅苑 6 号楼 601 室

微计算机信息 邮编: 100081

电话: 010-62132436

http://www.autocontrol.com.cn

E-mail: editor@autocontrol.com.cn;

010-6192616(T/F)

http://www.autocontrol.com.cn

E-mail: control-2@163.com