

基于相邻交叉耦合的凹版印刷机多轴同步控制

陈银环

(四川建筑职业技术学院, 德阳 618000)

摘要: **目的** 为了实现高速、高精度、高自动化的印刷过程, 提高印刷产品的质量。**方法** 以机组式凹版印刷套色系统为研究对象, 分析无轴传动凹版印刷机结构, 详细分析多轴同步控制的基本原理, 并在此基础上提出一种相邻交叉耦合控制方法, 给出算法具体的控制模型。**结果** 该控制方法不仅补偿了各轴自身的跟踪误差, 也补偿了相邻两轴之间的同步误差。**结论** 仿真和实验结果表明, 该控制算法收敛速度快、稳定性高, 很好地实现了凹版印刷机电轴传动多电机的同步协调控制。

关键词: 凹版印刷机; 多轴同步控制; 相邻交叉耦合; 跟踪误差; 同步误差

中图分类号: TS803 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)11-0226-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.11.040

Multi-axis Synchronous Control of Gravure Press Based on Adjacent Cross Coupling

CHEN Yin-huan

(Sichuan College of Architectural Technology, Deyang 618000, China)

ABSTRACT: The work aims to achieve high-speed, high-precision, high-automation printing process, and improve the quality of printing products. With set type gravure printing register system as the research object, the structure of shaftless driven gravure press was analyzed, and the detailed analysis of the basic principle of multi-axis synchronous control was conducted. Based on that, an adjacent cross coupling control method was put forward, and the specific control model of the algorithm was given. The control method not only compensated the tracking error of each shaft itself, but so compensated the synchronization error between the two adjacent axes. The simulation and experimental results show that the control algorithm has fast convergence speed and high stability, and it realizes the synchronous coordinated control of multi-motors of the electronic shaft transmission of gravure press.

KEY WORDS: gravure press; multi-axis synchronous control; adjacent cross coupling; tracking error; synchronization error

随着人们生活水平的不断提高和消费观念的改变, 人们对包装印刷品质的要求越来越高, 印刷精美的包装产品能够吸引更多的客户, 大大提高了产品的吸引力。凹版印刷机作为一种的重要印刷设备, 在国内外得到了广泛的应用^[1-3]。

传统印刷机组通常采用机械轴进行传动, 即利用一台功率较大的电机通过链条和齿轮等装置将一系列机构链接在一起从而实现各个机构的协调运动。机械总轴传动控制结构简单, 但由于层层链接使得机械误差不断被积累, 从而造成同步控制精度不高且传动距离受到限制。当机械传动中的任何一个单元发生扰

动或故障时, 各个驱动单元便处于瘫痪状态, 因此在印刷机高速运行的情况下, 机械总轴传动控制难以获得高精度、高效率、高自动化的印刷效果。

近年来, 随着电子技术、计算机技术以及传感器技术的不断发展, 印刷机的自动控制技术也得到了快速发展, 其中无轴传动技术正成为印刷机技术发展的新方向。无轴传动技术是通过软件编程将各个伺服电机进行协调, 进而实现多电机的同步控制。

目前, 多轴同步控制技术主要包括主从控制、交叉耦合控制、电子虚拟总轴控制、偏差耦合控制以及相邻交叉耦合控制等^[4-8]。主从控制是最早的多轴同

收稿日期: 2017-07-26

作者简介: 陈银环 (1984—), 女, 硕士, 四川建筑职业技术学院讲师, 主要研究方向为机电一体化、专用集成电路设计。

步控制方法,该方法是通过一个运动状态多变的电机作为主轴,其余轴将主轴作为参考跟随主轴运动进而实现同步运动,但由于该方法不存在耦合性,各轴组合之后的同步误差较大。偏差耦合控制与交叉耦合控制算法复杂,而相邻交叉耦合控制只需要考虑相邻两轴之间的同步性,因此结构简单又具有强耦合性同步精度高^[9-15]。

针对以上分析,文中提出一种相邻交叉耦合的凹版印刷机多轴同步控制方法,设计相邻交叉耦合控制器,最后通过仿真验证该算法的有效性。

1 印刷机系统结构和同步控制原理

机组式凹版印刷机系统的结构见图 1。包装印刷机在印刷开始前,将相应的水墨涂料调好色彩,每个印刷辊只套印一种颜色,利用各辊的同步协调运动将图案印制到相应的印版上,依次将单色图案套印在印刷材料上,最终完成图案印刷。

在印刷过程中利用色标传感器和光电编码盘对套印误差进行监控,当误差超过设定值时,则将误差信号传送到控制系统中,控制系统根据误差大小对伺服电机转速和转子进行适当调整,进而实现调节辊上下或左右移动的距离,从而达到对套印误差动态修正的目的。当印刷机出现色差时,套印控制也就变成了消除色差的多轴同步控制,需要确保每一台伺服电机具有良好的同步跟踪性能,因此印刷机的“无轴传动”,其本质便是系统的“多轴同步控制”。

各轴运动过程中需要保证各轴之间的位置或速度的误差绝对值不超过一定值,为了满足这一要求,多轴同步控制可能涉及到多个变量的协调关系,每一个受控量应该满足一定的线性或非线性变化:

$$f(y_1, y_2 \cdots y_n) = C \quad (1)$$

式中: $y_i (i=1, 2 \cdots n)$ 为受控量,各轴之间的比例同步关系为:

$$k_1 y_1 = k_2 y_2 = L = k_n y_n \quad (2)$$

当同步比例系数 $k_n=1$ 时,即各轴电机速度和位置在单位时间内相等,此种同步也是结构最为简单的同步关系。

各轴角速度与角位移 θ 的数学关系为:

$$\omega = \frac{d}{dt} \theta \quad (3)$$

式(3)也可以表示为:

$$\theta = \int \omega dt \quad (4)$$

由式(4)可知,角位置差为:

$$\Delta \theta = \theta_1 - \theta_2 = \int \omega_1 dt - \int \omega_2 dt = \int \Delta \omega dt \quad (5)$$

由式(5)可知,当系统处于稳态状态时,速度和位置的同步具有一致性。当系统中各轴存在不同扰动时,速度差出现变化,便会引起位置差变化,从而导致位置出现不同步。

当机组处于动态状态时,要克服系统中存在的干扰因素和不确定因素,必须采取一定控制策略保证系统各轴同步运动。

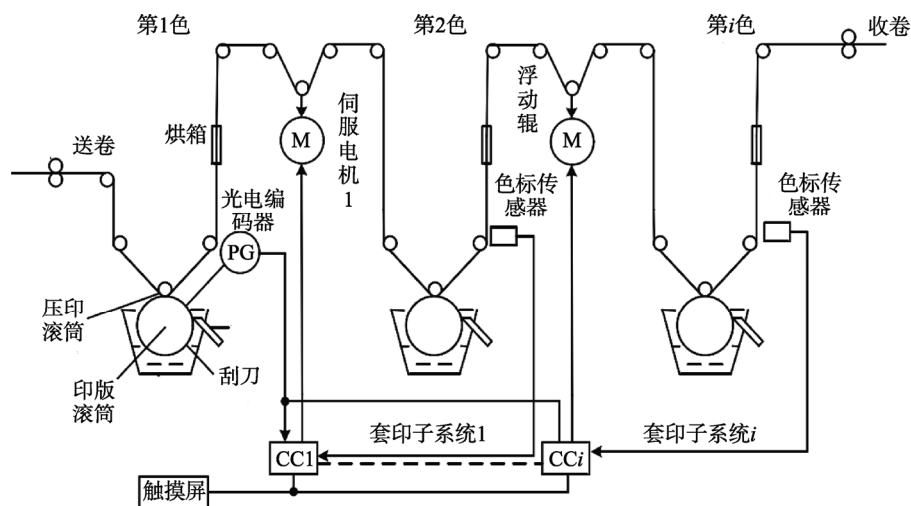


图 1 印刷机系统的结构
Fig.1 Structure of press system

2 相邻交叉耦合多轴同步控制

对于多轴同步控制系统,每一轴的控制应该至少考虑其他 2 个相邻轴的运动状态,此处的相邻两轴通常称为最小相关轴。相邻交叉耦合控制正是基于最小

相关轴数量的控制基础上建立起来的。设一个 n 台伺服电机的控制系统,第 i 轴的跟踪误差为:

$$e_i(t) = x_i(t) - x_i^d(t) \quad (6)$$

式中: $x_i^d(t)$ 为第 i 轴的目标速度; $x_i(t)$ 为第 i 轴的实际速度。

定义同步误差为相邻两轴的跟踪误差之间的差值, 即:

$$\begin{cases} \varepsilon_1(t) = e_1(t) - e_2(t) \\ \varepsilon_2(t) = e_2(t) - e_3(t) \\ \vdots \\ \varepsilon_i(t) = e_i(t) - e_{i+1}(t) \\ \vdots \\ \varepsilon_n(t) = e_n(t) - e_1(t) \end{cases} \quad (7)$$

式中: $\varepsilon_i(t)$ 为第 i 轴同步误差。

对于一个 $n > 2$ 的多轴控制系统, 第 i 轴的控制量应在 $e_i(t) \rightarrow 0$ 的同时, 使第 $(i-1)$, i , $(i+1)$ 保持同步, 从而使同步误差 $\varepsilon_{i-1}(t)$ 和 $\varepsilon_i(t)$ 收敛于 0。

定义相邻耦合误差为 $\xi_i(t)$, 则有:

$$\begin{cases} \xi_1(t) = e_1(t) + \beta \int_0^t [\varepsilon_1(\tau) - \varepsilon_n(\tau)] d\tau \\ \xi_2(t) = e_2(t) + \beta \int_0^t [\varepsilon_2(\tau) - \varepsilon_1(\tau)] d\tau \\ \vdots \\ \xi_n(t) = e_n(t) + \beta \int_0^t [\varepsilon_n(\tau) - \varepsilon_{n-1}(\tau)] d\tau \end{cases} \quad (8)$$

式(8)中 β 为耦合参数。

定义控制变量 $u_i(t)$ 为:

$$\begin{cases} u_1(t) = \dot{x}_1^d + \beta [\varepsilon_1(t) - \varepsilon_n(t)] + \lambda \xi_1(t) \\ u_2(t) = \dot{x}_2^d + \beta [\varepsilon_2(t) - \varepsilon_1(t)] + \lambda \xi_2(t) \\ \vdots \\ u_n(t) = \dot{x}_n^d + \beta [\varepsilon_n(t) - \varepsilon_{n-1}(t)] + \lambda \xi_n(t) \end{cases} \quad (9)$$

误差可定义为:

$$r_i(t) = u_i(t) - \dot{x}_i(t) = \dot{e}_i(t) + \lambda \xi_i(t) \quad (10)$$

设控制系统的耦合控制率为:

$$\tau_i = K_m \dot{u}_i(t) + K_c u_i(t) + K_r r_i(t) + K_e \varepsilon_i(t) \quad (11)$$

式中: K_m , K_c , K_i , K_e 为耦合控制参数; τ_i 为电机控制量。

利用数值离散理论讲上述算法进行离散化处理, 用 kT 代替连续的时间 t , 则有:

$$\begin{cases} t \approx kT \\ \frac{du}{dt} \approx \frac{u(kT) - u((k-1)T)}{T} \\ = u(k) - u(k-1) \end{cases} \quad (12)$$

同理, 将 $r(t)$ 及 $\varepsilon(t)$ 进行离散化处理, 可得耦合控制率的离散化表达式为:

$$\tau(k) = K_m(u(k) - u(k-1)) + K_c u(k) + K_r r(k) + K_e \varepsilon(k) \quad (13)$$

根据递推原理可得:

$$\begin{aligned} \tau(k-1) &= K_m(u(k-1) - u(k-2)) + \\ &K_c u(k-1) + K_r r(k-1) + \\ &K_e \varepsilon(k-1) \end{aligned} \quad (14)$$

由式(13)和(14)可得:

$$\Delta \tau(k) = \tau(k) - \tau(k-1) =$$

$$\begin{aligned} &K_m(u(k) - 2u(k-1) + u(k-2)) + \\ &K_c(u(k) - u(k-1)) + K_r(r(k) - r(k-1)) + \\ &K_e(\varepsilon(k) - \varepsilon(k-1)) \end{aligned} \quad (15)$$

3 系统仿真分析

为了验证第2部分提出的相邻交叉耦合同步控制系统的可靠性和稳定性, 利用 Matlab/Simulink 对多轴同步控制系统进行了仿真分析。以四轴凹版印刷机同步系统为例, 在 Simulink 环境下进行了建模仿真。套印误差产生的原因较多, 例如开卷张力控制不平衡, 导致承印材料拉伸从而造成套印误差; 承印材料本身性能变化(厚薄不均匀)影响张力不均导致套印误差。在下文仿真中, 均假设其中的一种因素响应出现。

无参数变化和负载扰动情况下, 四轴凹版印刷机同步跟踪误差和同步误差仿真波形见图2。由图2可以看出, 系统跟踪误差和同步误差在 0.02 s 以内便收敛于 0, 说明该控制算法收敛速度较快。

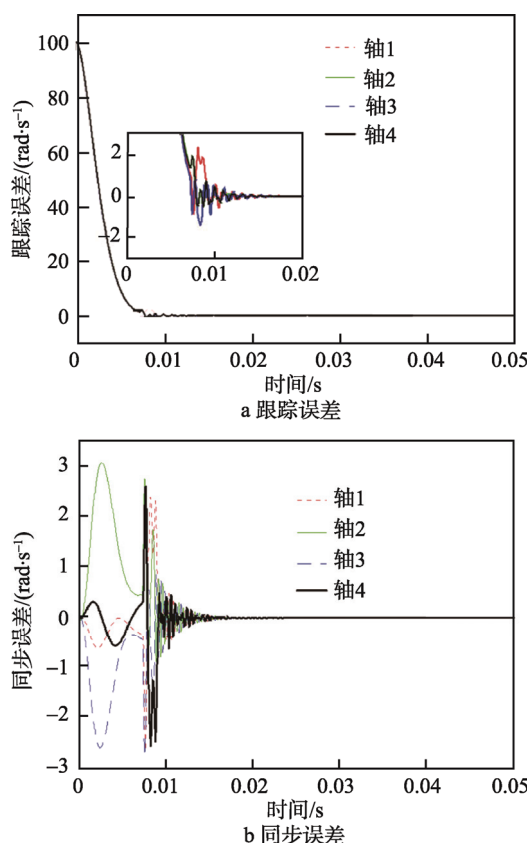


图2 无参数变化和负载扰动变化仿真曲线

Fig.2 Simulation curves without parameter change and load disturbance change

轴1中的负载转矩在 0.1 s 时突然增加 6 N·m, 此时系统的跟踪误差和同步误差仿真曲线见图3。由图3可以看出文中所设计的相邻交叉耦合多轴同步控制器具有很强的抗干扰性能, 具有很强的鲁棒性, 且能

够在较短的时间内使同步误差趋近于0, 因此扰动情况下该控制系统仍能保证多轴同步控制精度。

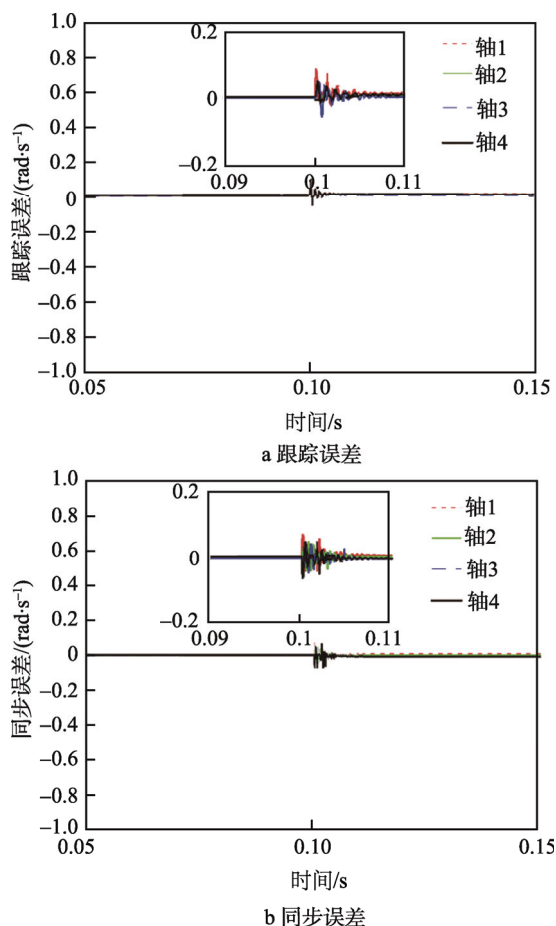


图3 负载突变时的仿真曲线
Fig.3 Simulation curve of load mutation

4 结语

以凹版印刷机多轴同步控制为例, 详细分析了凹版印刷机的速度和位置同步控制问题, 主要在以下几个方面进行了分析研究: 分析了凹版印刷机系统结构, 阐述了速度和位置同步控制的原理; 基于相邻交叉耦合控制, 提出了一种多轴同步控制策略, 并给出了多轴同步控制的数学模型; 为验证文中所提出的多轴同步控制策略的有效性, 以四轴同步运动为例进行了仿真分析, 结果表明: 基于相邻交叉耦合的多轴同步控制方法在无参数、无扰动以及转矩突变的情况下跟踪误差和同步误差均能够在很短时间内收敛, 具有很好的鲁棒性, 能够满足凹版印刷机套色系统工艺要求。

参考文献:

[1] 黄灵阁, 王雪, 陈惠兰. 凹版印刷中刀线和套印不准

的分析[J]. 包装工程, 2010, 31(19): 77—79.

HUANG Ling-ge, WANG Xue, CHEN Hui-lan. Analysis of Knife Line and Register Difference in the Intaglio Printing[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(19): 77—79.

[2] 马膺峻. 无轴套印控制系统综合控制策略的研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2010.

MA Ying-jun. Research on Synthentic Control Strategy of Shaftless Chromatography System[D]. Shenyang: Northeastern University, 2010.

[3] LIU Ran, SUN Jian-zhong, LUO Ya-qin, et al. Research on Multi-motor Synchronization Control Based on the Ring Coupling Strategy for Cutter-head Driving System of Shield Machines[J]. Applied Mechanics and Materials, 2011, 52/53/54: 65—72.

[4] CHEN C S, CHEN L Y. Cross-coupling Position Command Shaping Control in a Multi-axis Motion System[J]. Mechatronics, 2011, 21: 625—632.

[5] ZHANG Peng, ZHANG Jian-hua, HE Dong-sheng, et al. Based on Adjacent Cross-coupling of Multi-motor Synchronous Drive[J]. Advanced Materials Research, 2011, 201/202/203: 1093—1097.

[6] ZHANG Yong, DENG Hua, ZHANG Yi. Synchronization Control of Space Voltage Vector Controlled Multi-PMSM Based on Adjacent Cross-Coupling[J]. Advanced Materials Research, 2012, 383/390(9): 6931—6937.

[7] 曹玲芝, 李春文, 牛超, 等. 基于相邻交叉耦合的多感应电机滑模同步控制[J]. 电机与控制学报, 2008, 12(5): 586—592.

CAO Ling-zhi, LI Chun-wen, NIU Chao, et al. Synchronized Sliding-mode Control for Multi-induction Motors Based on Adjacent Cross-coupling[J]. Electric Machines and Control, 2008, 12(5): 586—592.

[8] 程斯一, 纪文刚, 王志俊. 基于模糊PID的多伺服电机交叉耦合同步控制[J]. 北京石油化工学院学报, 2014, 22(4): 54—57.

CHENG Si-yi, JI Wen-gang, WANG Zhi-jun. The Cross-coupled Synchronous Control of Multi Servo Motors Based on Fuzzy-PID[J]. Journal of Beijing Institute of Petro-chemical Technology, 2014, 22(4): 54—57.

[9] 张承慧, 石庆升, 程金. 一种基于相邻耦合误差的多电机同步控制策略[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(15): 59—63.

ZHANG Cheng-hui, SHI Qing-sheng, CHENG Jin. Synchronization Control Strategy in Multi-motor Systems Based on the Adjacent Coupling Error[J]. Proceeding of the CSEE, 2007, 27(15): 59—63.

[10] 李春文, 赵德宗, 任军. 基于全滑模面的多感应电机速度同步控制[J]. 系统工程理论与实践, 2009,

- 29(10): 110—117.
- LI Chun-wen, ZHAO De-zong, REN Jun. Total Sliding Mode Speed Synchronization Control of Multi Induction Motors[J]. Systems Engineering Theory and Practice, 2009, 29(10): 110—117.
- [11] 张婧. 无轴传动印刷机同步控制系统的研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2012.
- ZHANG Jing. Research on Strateless Drive Printing Machine Synchronization Control System[D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2012.
- [12] YOUNGSEOK C, JAEHYUN P, HANS H, et al. Development of a Web-based Survey System for Evaluating Affective Satisfaction[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2011(41): 247—254.
- [13] 张海燕, 王伟, 赵庆海. 无轴传动控制策略及仿真分析[J]. 自动化技术与应用, 2007, 26(3): 105—108.
- ZHANG Hai-yan, WANG Wei, ZHAO Qing-hai. Simulation Nalysis of the Control Strategy of Shaftless Dries[J]. Techniques of Automation and Applications, 2007(3): 105—108.
- [14] 朱剑. 自动套印伺服控制系统的研究与设计[D]. 株洲: 湖南工业大学, 2012.
- ZHU Jian. Study and Design on Auto-register Servo Control System[D]. Zhuzhou: Hunan University of Technology, 2012.
- [15] 王银河, 高子林, 王钦若. 基于自适应模糊逻辑系统的一类混沌系统同步控制[J]. 控制与与决策, 2013, 28(9): 1309—1314.
- WANG Yin-he, GAO Zi-lin, WANG Qin-ruo. Synchronization Control for a Class of Chaotic Systems Based on Adaptive Fuzzy Logic Systems[J]. Control and Decision, 2013, 28(9): 1309—1314.