



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113296474 A

(43) 申请公布日 2021.08.24

(21) 申请号 202110489577.3

(22) 申请日 2021.05.06

(71) 申请人 广州大学

地址 510006 广东省广州市大学城外环西路230号

(72) 发明人 陈智华 黄学勤 张涛 何展鹏
邓忠华 李伟河

(74) 专利代理机构 广州嘉权专利商标事务所有
限公司 44205

代理人 黎扬鹏

(51) Int.Cl.

G05B 19/408 (2006.01)

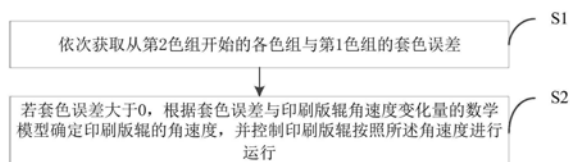
权利要求书3页 说明书12页 附图8页

(54) 发明名称

电子轴凹印机套色控制方法、系统、装置及存储介质

(57) 摘要

本发明公开了一种电子轴凹印机套色控制方法、系统、装置及存储介质，该方法包括步骤：依次获取从第2色组开始的各色组与第1色组的套色误差；若套色误差大于0，根据预设的套色误差与印刷版辊角速度变化量的数学模型确定印刷版辊的角速度，并通过电子轴凹印机的伺服电机控制印刷版辊按照所述角速度进行运行；其中，套色误差与印刷版辊角速度变化量的数学模型根据第i个色组印刷结果与第1个色组的套色误差、第i个色组控制量、第j色的控制量与第i个色组误差的传递函数和第j个色组控制量建立。本发明实施可以提高稳速印刷过程中的响应速度慢、套色精度不高和建模困难的技术问题；可广泛应用于印刷控制领域。



1. 一种电子轴凹印机套色控制方法,其特征在于,包括:

依次获取从第2色组开始的各色组与第1色组的套色误差;

若套色误差大于0,根据套色误差与印刷版辊角速度变化量的数学模型确定印刷版辊的角速度,并控制印刷版辊按照所述角速度进行运行;

其中,套色误差与印刷版辊角速度变化量的第一数学模型如下:

$$E_i(s) = \begin{cases} G_i(s)\Delta\omega_i(s), i = 2 \\ G_i(s)\Delta\omega_i(s) + \sum_{j=2}^{i-1} G_{ij}(s)\Delta\omega_j(s), i > 2 \end{cases}$$

$$\text{其中,} \begin{cases} G_{ij}(s) = \frac{r}{s} \left(\prod_{k=j-1}^{i-1} \frac{a_k}{s+a_k} - \prod_{k=j}^{i-1} \frac{a_k}{s+a_k} \right) \\ G_i(s) = \frac{r}{s} \frac{a_{i-1}}{s+a_{i-1}} \end{cases}$$

$$\frac{r\omega^*}{l_i} = a_i, \quad \frac{r\omega^*}{l_k} = a_k$$

$E_i(s)$ 为第*i*个色组印刷结果与第一个色组的套色误差, $\Delta\omega_i(s)$ 为第*i*个色组印刷版辊的角速度变化量即色组*i*的控制量, $G_i(s)$ 表示色组*i*的控制量与色组*i*误差的传递函数, $G_{ij}(s)$ 表示第*j*色组的控制量与第*i*个色组误差的传递函数; ω^* 为相邻色组之间不存在套色误差的情况下,各版辊的相同的转动角速度; l_i 为*i*色组与(*i*+1)色组之间的穿料长度; r 为各个印刷版辊的半径; a_i, a_k 为变量,与印刷系统的实际运行参数有关。

2. 根据权利要求1所述的电子轴凹印机套色控制方法,其特征在于,所述控制量的第一数学模型为:

$$\Delta\omega_i(s) = \begin{cases} \Delta\omega_i^{MPC}(s), i = 2 \\ \Delta\omega_i^{MPC}(s) + \sum_{j=2}^{i-1} \Delta\omega_{ij}^p(s), i > 2 \end{cases}$$

$$\text{其中,} \Delta\omega_{ij}^p(s) = \frac{s}{s+a_{j-1}} \Delta\omega_j^{MPC}(s)$$

$\Delta\omega_i^{MPC}(s)$ 为第*i*个色组的MPC控制量, $\Delta\omega_{ij}^p(s)$ 为*j*色组MPC控制量对*i*色组的解耦补偿量。

3. 根据权利要求2所述的电子轴凹印机套色控制方法,其特征在于,采用 $u_i^{MPC}(s)$ 改写 $\frac{1}{s} \Delta\omega_i^{MPC}(s)$, $u_i(s)$ 改写 $\frac{1}{s} \Delta\omega_i(s)$, 套色误差的第二数学模型为:

$$E_i(s) = \begin{cases} \frac{ra_{i-1}}{s+a_{i-1}} u_i(s), i = 2 \\ \frac{ra_{i-1}}{s+a_{i-1}} u_i(s) + \sum_{j=2}^{i-1} r \left(\prod_{k=j-1}^{i-1} \frac{a_k}{s+a_k} - \prod_{k=j}^{i-1} \frac{a_k}{s+a_k} \right) u_j(s), i > 2 \end{cases}$$

控制量的第二数学模型为:

$$u_i(s) = \begin{cases} u_i^{MPC}(s), i = 2 \\ u_i^{MPC}(s) + \sum_{j=2}^{i-1} \frac{s}{s + a_{j-1}} u_j^{MPC}(s), i > 2 \end{cases}$$

将所述控制量的第二数学模型代入所述套色误差的第二数学模型,得到如下套色误差的第三数学模型:

$$E_i(s) = \frac{ra_{i-1}}{s + a_{i-1}} u_i^{MPC}(s)$$

其中, $u_i^{MPC}(s)$ 表示色组 i 单元MPC控制器量的积分。

4. 根据权利要求3所述的电子轴凹印机套色控制方法,其特征在于,将所述套色误差的第三数学模型进行离散化,离散化后的数学模型为:

$$E_i(k+1) = [1 - a_{i-1}Ts]E_i(k) + (ra_{i-1}Ts)u_i^{MPC}(k)$$

其中, Ts 为采样周期。

5. 根据权利要求4所述的电子轴凹印机套色控制方法,其特征在于,在MPC中使用到的二次优化目标函数如下:

$$J_{(k, N_p)} = \min \sum_{t=k}^{k+N_p} (e_t' Q e_t + u_t' R u_t)$$

其中, $J_{(k, N_p)}$ 表示在时刻 t 的基础上滚动时域步长为 N_p 的优化目标函数,代价函数 Q 是与误差矩阵 e_t 行数相同的单位矩阵, R 是与控制量矩阵 u_t 行数相同的单位矩阵。

6. 根据权利要求5所述的电子轴凹印机套色控制方法,其特征在于,将所述二次优化目标函数进行数学变换得到第二优化目标函数,所述第二优化目标函数为:

$$J_{(k, N_p)} = \min E' \tilde{Q} E + U' \tilde{R} U$$

其中, \tilde{Q}, \tilde{R} 表示优化代价系数矩阵, E 表示误差矩阵, U 表示控制量矩阵。

7. 根据权利要求6所述的电子轴凹印机套色控制方法,其特征在于,将所述第二优化目标函数进行标准化得到第三优化目标函数,所述第三优化目标函数为:

$$\begin{aligned} J_{(k, N_p)} &= (\tilde{A}e_k + \tilde{B}U)' \tilde{Q} (\tilde{A}e_k + \tilde{B}U) + U' \tilde{R} U \\ &= U' (\tilde{B}' \tilde{Q} \tilde{B} + \tilde{R}) U + 2e_k' \tilde{A}' \tilde{Q} \tilde{B} U + e_k' \tilde{A}' \tilde{Q} \tilde{A} e_k \end{aligned}$$

并根据实现形式: $\min_x \frac{1}{2} x' H x + f' x$

确定参数 $H = 2(\tilde{B}' \tilde{Q} \tilde{B} + \tilde{R})$, $f = (2\tilde{B}' \tilde{Q} \tilde{A} e_k)$, $x = U$;

其中, \tilde{A} 为离散化后的数学模型中第一项系数的矩阵, \tilde{B} 为离散化后的数学模型中第一项系数以外的其它项系数的矩阵, e_k 为初始 k 时刻的误差值。

8. 一种电子轴凹印机套色控制装置,其特征在于,包括:

至少一个处理器;

至少一个存储器,用于存储至少一个程序;

当所述至少一个程序被所述至少一个处理器执行,使得所述至少一个处理器实现如权

利要求1-7任一项所述的电子轴凹印机套色控制方法。

9. 一种存储介质,其中存储有处理器可执行的程序,其特征在于,所述处理器可执行的程序在由处理器执行时用于执行如权利要求1-7任一项所述的电子轴凹印机套色控制方法。

10. 一种电子轴凹印机套色控制系统,其特征在于,电子轴凹印机包括4个以上色组,电子轴凹印机的每个色组均安装有套色控制系统;所述套色控制系统包括传感装置和控制器,其中传感装置用于检测套色误差,并将套色误差发送给控制器;控制器用于根据如权利要求1-7任一项所述的电子轴凹印机套色控制方法对电子轴凹印机的伺服电机进行控制。

电子轴凹印机套色控制方法、系统、装置及存储介质

技术领域

[0001] 本发明涉及印刷控制领域,尤其涉及一种电子轴凹印机套色控制方法、系统、装置及存储介质。

背景技术

[0002] 在电子轴凹印机印刷过程中,需印制的复杂图案被分解为若干简单图案分别刻制在印刷版辊上,进行印刷时,承印材料通过进料部分依序通过各印刷单元,各印刷单元将相应的简单图案印制在承印材料上,最后得到复杂的印制图案。在印刷过程中存在各单元间相应印刷图案的准确定位问题,也就是套色误差的问题。套色的准确性对产品质量的影响至关重要,因此,当印刷过程中存在印刷图案间相对位置出现偏差时,需采用控制方法减小或者消除这种位置偏差即套色误差。鉴于套色精度对产品质量的影响,快速减小或者消除套色误差的控制方法变得尤为重要。

[0003] 套色控制是一个十分复杂的技术问题,对于不同的印刷方式,套色控制的方法也不径相同。传统的套色控制方法是基于系统数学模型的前馈解耦MPC(Model Predictive Control,模型预测控制),但受限于高阶方程的离散化处理,因此不能对系统进行完全解耦控制。所以这种控制方式在完全解除系统内各色组间耦合方面并不能达到完全解耦的控制效果。

发明内容

[0004] 有鉴于此,本发明实施例的目的是提供一种电子轴凹印机套色控制方法、系统、装置及存储介质,该方法可以提高稳速印刷过程中的响应速度慢、套色精度不高和建模困难的技术问题。

[0005] 第一方面,本发明实施例提供了一种电子轴凹印机套色控制方法,包括以下步骤:

[0006] 依次获取从第2色组开始的各色组与第1色组的套色误差;

[0007] 若套色误差大于0,根据套色误差与印刷版辊角速度变化量的数学模型确定印刷版辊的角速度,并控制印刷版辊按照所述角速度进行运行;

[0008] 其中,套色误差与印刷版辊角速度变化量的第一数学模型如下:

$$[0009] \quad E_i(s) = \begin{cases} G_i(s)\Delta\omega_i(s), i = 2 \\ G_i(s)\Delta\omega_i(s) + \sum_{j=2}^{i-1} G_{ij}(s)\Delta\omega_j(s), i > 2 \end{cases}$$

$$[0010] \quad \text{其中,} \begin{cases} G_{ij}(s) = \frac{r}{s} \left(\prod_{k=j-1}^{i-1} \frac{a_k}{s+a_k} - \prod_{k=j}^{i-1} \frac{a_k}{s+a_k} \right) \\ G_i(s) = \frac{r}{s} \frac{a_{i-1}}{s+a_{i-1}} \end{cases}$$

$$[0011] \quad \frac{r\omega^*}{l_i} = a_i, \quad \frac{r\omega^*}{l_k} = a_k$$

[0012] $E_i(s)$ 为第 i 个色组印刷结果与第一个色组的套色误差, $\Delta\omega_i(s)$ 为第 i 个色组印刷版辊的角速度变化量即色组 i 的控制量, $G_i(s)$ 表示色组 i 的控制量与色组 i 误差的传递函数, $G_{ij}(s)$ 表示第 j 色组的控制量与第 i 个色组误差的传递函数; ω^* 为相邻色组之间不存在套色误差的情况下, 各版辊的相同的转动角速度; l_i 为 i 色组与 $(i+1)$ 色组之间的穿料长度; r 为各个印刷版辊的半径; a_i, a_k 为变量, 与印刷系统的实际运行参数有关。

[0013] 可选地, 所述控制量的第一数学模型为:

$$[0014] \quad \Delta\omega_i(s) = \begin{cases} \Delta\omega_i^{MPC}(s), i = 2 \\ \Delta\omega_i^{MPC}(s) + \sum_{j=2}^{i-1} \Delta\omega_{ij}^p(s), i > 2 \end{cases}$$

$$[0015] \quad \text{其中, } \Delta\omega_{ij}^p(s) = \frac{s}{s + a_{j-1}} \Delta\omega_j^{MPC}(s)$$

[0016] $\Delta\omega_i^{MPC}(s)$ 为第 i 个色组的 MPC 控制量, $\Delta\omega_{ij}^p(s)$ 为 j 色组 MPC 控制量对 i 色组的解耦补偿量。

[0017] 可选地, 采用 $u_i^{MPC}(s)$ 改写 $\frac{1}{s} \Delta\omega_i^{MPC}(s)$, $u_i(s)$ 改写 $\frac{1}{s} \Delta\omega_i(s)$, 套色误差的第二数学模型为:

$$[0018] \quad E_i(s) = \begin{cases} \frac{ra_{i-1}}{s + a_{i-1}} u_i(s), i = 2 \\ \frac{ra_{i-1}}{s + a_{i-1}} u_i(s) + \sum_{j=2}^{i-1} r \left(\prod_{k=j-1}^{i-1} \frac{a_k}{s + a_k} - \prod_{k=j}^{i-1} \frac{a_k}{s + a_k} \right) u_j(s), i > 2 \end{cases}$$

[0019] 控制量的第二数学模型为:

$$[0020] \quad u_i(s) = \begin{cases} u_i^{MPC}(s), i = 2 \\ u_i^{MPC}(s) + \sum_{j=2}^{i-1} \frac{s}{s + a_{j-1}} u_j^{MPC}(s), i > 2 \end{cases}$$

[0021] 将所述控制量的第二数学模型代入所述套色误差的第二数学模型, 得到如下套色误差的第三数学模型:

$$[0022] \quad E_i(s) = \frac{ra_{i-1}}{s + a_{i-1}} u_i^{MPC}(s)$$

[0023] 其中, $u_i^{MPC}(s)$ 表示色组 i 单元 MPC 控制器量的积分。

[0024] 可选地, 将所述套色误差的第三数学模型进行离散化, 离散化后的数学模型为:

$$[0025] \quad E_i(k+1) = [1 - a_{i-1}Ts]E_i(k) + (ra_{i-1}Ts)u_i^{MPC}(k)$$

[0026] 其中, Ts 为采样周期。

[0027] 可选地, 在 MPC 中使用到的二次优化目标函数如下:

$$[0028] \quad J_{(k, N_p)} = \min \sum_{t=k}^{k+N_p} (e_t' Q e_t + u_t' R u_t)$$

[0029] 其中, $J_{(k, N_p)}$ 表示在时刻t的基础上滚动时域步长为 N_p 的优化目标函数, 代价函数Q是与误差矩阵 e_t 行数相同的单位矩阵, R是与控制量矩阵 u_t 行数相同的单位矩阵。

[0030] 可选地, 将所述二次优化目标函数进行数学变换得到第二优化目标函数, 所述第二优化目标函数为:

$$[0031] \quad J_{(k, N_p)} = \min E' \tilde{Q} E + U' \tilde{R} U$$

[0032] 其中, \tilde{Q}, \tilde{R} 表示优化代价系数矩阵, E表示误差矩阵, U表示控制量矩阵。

[0033] 可选地, 将所述第二优化目标函数进行标准化得到第三优化目标函数, 所述第三优化目标函数为:

$$[0034] \quad \begin{aligned} J_{(k, N_p)} &= (\tilde{A} e_k + \tilde{B} U)' \tilde{Q} (\tilde{A} e_k + \tilde{B} U) + U' \tilde{R} U \\ &= U' (\tilde{B}' \tilde{Q} \tilde{B} + \tilde{R}) U + 2 e_k' \tilde{A}' \tilde{Q} \tilde{B} U + e_k' \tilde{A}' \tilde{Q} \tilde{A} e_k \end{aligned}$$

$$[0035] \quad \text{并根据实现形式: } \min_x \frac{1}{2} x' H x + f' x$$

$$[0036] \quad \text{确定参数 } H = 2(\tilde{B}' \tilde{Q} \tilde{B} + \tilde{R}), \quad f = (2\tilde{B}' \tilde{Q}' \tilde{A} e_k), \quad x = U;$$

[0037] 其中, \tilde{A} 为离散化后的数学模型中第一项系数的矩阵, \tilde{B} 为离散化后的数学模型中第一项系数以外的其它项系数的矩阵, e_k 为初始k时刻的误差值。

[0038] 第二方面, 本发明实施例提供了一种电子轴凹印机套色控制装置, 包括:

[0039] 至少一个处理器;

[0040] 至少一个存储器, 用于存储至少一个程序;

[0041] 当所述至少一个程序被所述至少一个处理器执行, 使得所述至少一个处理器实现第一方面实施例所述的电子轴凹印机套色控制方法。

[0042] 第三方面, 本发明实施例提供了一种存储介质, 其中存储有处理器可执行的程序, 所述处理器可执行的程序在由处理器执行时用于执行第一方面实施例所述的电子轴凹印机套色控制方法。

[0043] 第四方面, 本发明实施例提供了一种电子轴凹印机套色控制系统, 电子轴凹印机包括4个以上色组, 电子轴凹印机的每个色组均安装有套色控制系统; 所述套色控制系统包括传感装置和控制器, 其中传感装置用于检测套色误差, 并将套色误差发送给控制器; 控制器用于根据第一方面实施例所述的电子轴凹印机套色控制方法对电子轴凹印机的伺服电机进行控制。

[0044] 实施本发明实施例包括以下有益效果: 本发明的电子轴凹印机稳速印刷过程中的套色控制方法在MPC控制的基础上, 引入完全解耦, 不仅实际实施简单、响应速度更快, 且在初始误差很大的情况下, 可以立刻有效地解除当前色组控制量对后续色组的耦合作用, 从而快速地消除整个系统的色差, 提高套色精度, 非常适合在电子轴凹印机稳速印刷过程中广泛使用。

附图说明

- [0045] 图1是本发明实施例提供的一种电子轴凹印机套色控制方法的步骤流程示意图；
- [0046] 图2是本发明实施例提供的一种电子轴凹印机相邻两个色组的简化结构图；
- [0047] 图3是本发明实施例提供的一种完全解耦MPC控制方法的系统结构框图；
- [0048] 图4是本发明实施例提供的一种第2色组的误差响应曲线图；
- [0049] 图5是本发明实施例提供的一种第3、4、5色组的误差响应曲线图；
- [0050] 图6是本发明实施例提供的一种第6、7色组的误差响应曲线图；
- [0051] 图7是本发明实施例提供的一种采用本实施例解耦方法与现有前馈完全解耦PD方法的第2色组的误差曲线对比图；
- [0052] 图8是本发明实施例提供的一种采用本实施例解耦方法与现有前馈完全解耦PD方法的第3、4、5色组的误差曲线对比图；
- [0053] 图9是本发明实施例提供的一种采用本实施例解耦方法与现有前馈完全解耦PD方法的第6、7色组的误差曲线对比图；
- [0054] 图10是本发明实施例提供的一种电子轴凹印机套色控制装置的结构框图。

具体实施方式

[0055] 下面结合附图和具体实施例对本发明做进一步的详细说明。对于以下实施例中的步骤编号,其仅为了便于阐述说明而设置,对步骤之间的顺序不做任何限定,实施例中的各步骤的执行顺序均可根据本领域技术人员的理解来进行适应性调整。

[0056] 凹印机的控制系统由张力控制系统和套色控制系统两大部分组成。张力控制的目的是维持印刷设备收放卷部分的张力平衡,以避免出现印刷材料褶皱和被拉断的情形,并且为印刷单元的套色控制打下基础;套色控制则是为了消除由于各种扰动因素造成的套色误差,提高套色精度和产品质量。从控制目标上看,这两个控制系统是不一样的,但是实质上,它们解决的核心问题都是张力控制的问题。在收放卷部分,安装有检测张力的压力传感器,张力控制是通过传感器检测到的张力值来反馈调节收放卷电机的速度从而维持张力的平衡。在印刷色组之间,安装有色差检测装置,套色控制是通过色差来反馈来调节印刷版辊的速度,进而调整色组间的张力,最终来消除套色误差。

[0057] 本申请的电子轴凹印机主要由放卷进料部分、印刷单元和出料收卷3大部分组成。放卷进料部分负责将印刷材料从缠绕材料的圆形滚轴以恒定的线速度送进印刷单元,该部分有专门的张力控制系统保障印刷张力的稳定;印刷单元将单色图案依次承印在印刷材料上,每个色组之间安装有烘干器,材料在完成当前色的印刷而后进入下一印刷单元之前,必须先烘干,以防止刚刚印上的图案花掉;为了提高套色精度,每个色组都安装有套色控制系统,出料收卷部分将印好的材料连续平稳地收集到收卷轴上。印刷前,一幅完整的彩色图案被分解为若干幅单色底片,然后刻画在圆形滚筒上制成印刷版辊。印刷时,放卷进料部分将印刷材料牵引至印刷单元,材料依次经过各个色组,进行单色印刷、热风干燥,材料在印好最后一个颜色后进入出料收卷部分,收卷电机将材料卷至收卷轴,一幅彩色图案的印刷就完成了。

[0058] 套色控制系统包括传感装置和控制器,所述传感装置用于检测套色误差,并将所述套色误差发送给所述控制器,所述传感装置为光电眼;所述控制器用于存储套色误差和

控制量的数学模型,并根据所述接收到的套色误差,计算出控制量,并以控制指令的方式发送到所述电子轴凹印机的伺服电机,以调节印刷版辊的角速度;所述控制量为色组印刷版辊角速度变化量。

[0059] 印刷材料经过第一个色组时,不仅印上了印制图案,还在图案的边缘部分印上了一个特定形状的标记,如果套色准确,该光标实际出现在色组i中的位置与其理论上应当出现的位置应该相同,如果不同,根据每次标记捕获到时的编码器偏差计算误差;从而得到色组i的误差,因此,套色控制的目标就是通过调节印刷版辊的转动方向和角度使每次标记捕获到时的编码器计算误差为0。

[0060] 如图1所示,套色控制系统的控制器的套色控制方法如下:

[0061] S1、依次获取从第2色组开始的各色组与第1色组的套色误差;

[0062] S2、若套色误差大于0,根据套色误差与印刷版辊角速度变化量的数学模型确定印刷版辊的角速度,并控制印刷版辊按照所述角速度进行运行;

[0063] 其中,套色误差与印刷版辊角速度变化量的第一数学模型如下:

$$[0064] \quad E_i(s) = \begin{cases} G_i(s)\Delta\omega_i(s), i = 2 \\ G_i(s)\Delta\omega_i(s) + \sum_{j=2}^{i-1} G_{ij}(s)\Delta\omega_j(s), i > 2 \end{cases}$$

$$[0065] \quad \text{其中,} \begin{cases} G_{ij}(s) = \frac{r}{s} \left(\prod_{k=j-1}^{i-1} \frac{a_k}{s+a_k} - \prod_{k=j}^{i-1} \frac{a_k}{s+a_k} \right) \\ G_i(s) = \frac{r}{s} \frac{a_{i-1}}{s+a_{i-1}} \end{cases}$$

$$[0066] \quad \frac{r\omega^*}{l_i} = a_i, \quad \frac{r\omega^*}{l_k} = a_k$$

[0067] $E_i(s)$ 为第i个色组印刷结果与第一个色组的套色误差, $\Delta\omega_i(s)$ 为第i个色组印刷版辊的角速度变化量即色组i的控制量, $G_i(s)$ 表示色组i的控制量与色组i误差的传递函数, $G_{ij}(s)$ 表示第j色组的控制量与第i个色组误差的传递函数; ω^* 为相邻色组之间不存在套色误差的情况下,各版辊的相同的转动角速度; l_i 为i色组与(i+1)色组之间的穿料长度; r 为各个印刷版辊的半径; a_i, a_k 为变量,与印刷系统的实际运行参数有关。

[0068] 同时,基于印刷套色系统具有强耦合性、大纯滞后性、不确定性和多输入多输出性等特点,本申请的套色控制方法采用迭代递推法以获得控制量与套色误差的数学模型,即印刷版辊角速度变化量与套色误差之间关系的数学模型,并通过所述数学模型来调节印刷版辊的转动方向和角度以改变低速印刷过程中的套色误差。以下详述所述模型的推导过程。

[0069] 在印刷过程中,彩色图案被分解成多个单色分别在不同的机组上单独印刷,当承印材料沿着印刷方向依次走完各个色组,一副完整的画面就完成了。图2为电子轴凹印机相邻两个色组的简化结构图,其中 $T_i(t)$ 和 l_i 分别表示t时刻第i个和第i+1个色组之间的材料张力和材料长度, $w_i(t)$ 指t时刻第i个色组印刷版辊的转动角速度, r 表示版辊半径。在平衡状态下,即在相邻色组之间不存在套色误差的情况下,相邻色组间的张力记作 T^* ,各版辊的转动角速度均相同记为 w^* ,则任意时刻的材料张力和角速度可以写成式(1)的形式。

$$\begin{aligned} T_i(t) &= T^* + \Delta T_i(t) \\ w_i(t) &= w^* + \Delta w_i(t) \end{aligned} \quad (1)$$

[0071] 其中, $\Delta T_i(t)$ 表示t时刻第i个色组与第i+1个色组之间的张力扰动, $\Delta w_i(t)$ 表示t时刻i色组印刷版辊角速度的变化量,即所述套色系统控制器输出的控制量。

[0072] 印刷材料在外力作用下将产生变形;在弹性范围内,当外力撤销后,材料可恢复到近似拉伸前的状态。套色控制正是利用了印刷材料在弹性范围内的可伸缩性。式(2)表示了材料在张力作用下,横截面积的变形情况。

$$A(T_i) = \frac{A_0}{1 + KT_i} \quad (2)$$

[0074] 其中, A_0 和 $A(T_i)$ 分别表示材料在自然状态和拉伸状态下的横截面积, K 表示印刷材料的张力系数,为常量。

[0075] 根据式(2)和单位时间内进入两个色组间的材料与流出的材料质量守恒,可以建立套色系统的非线性模型,然后对非线性模型进行线性化,得到了电子轴凹印机套色控制系统的线性机理模型如式(3)所示:

$$\begin{cases} \frac{d\Delta T_i(t)}{dt} = \frac{rw^*}{l_i} (\Delta T_{i-1}(t) - \Delta T_i(t)) + \frac{r(1 + KT^*)}{Kl_i} (\Delta w_{i+1}(t) - \Delta w_i(t)) \\ \frac{dE_{i+1}(t)}{dt} = \frac{Krw^*}{(1 + KT^*)^2} (\Delta T_i(t) - \Delta T_0(t) - \sum_{j=1}^i l_j) \end{cases} \quad (3)$$

[0077] 其中, E_i 表示第i个色组的套色误差。

[0078] 实际生产中的电子轴凹印机,出于成本的考虑以及机械实现上的困难,不可能在各相邻机组之间安装高精度张力传感器,也就无法获得印刷过程中的张力信息。从控制的角度看,张力仅仅作作为模型描述的一个中间变量,下面的部分采用迭代递推法获得控制量与套色误差之间的数学关系。

[0079] 这里迭代法的使用基于式(4)的假设:

$$\begin{cases} \Delta T_0(t) = 0 \\ \Delta w_1(t) = 0 \end{cases} \quad (4)$$

[0081] 由于第一个色组的印刷标记是参考标准,无需进行控制,而进料到第一个色组之间有专门的张力控制系统来维持张力 $T_0(t)$ 恒定不变,且控制系统未对1色组的印刷版滚角速度进行控制,因而假设是成立的。

[0082] 对式(4)进行拉普拉斯变换,并且设定各个印刷版辊的半径相同,记作 r ,那么得到凹印机套色控制系统在频域范围内的模型如式(5)所示:

$$\begin{cases} \Delta T_i(s) = \frac{a_i}{s + a_i} \Delta T_{i-1}(s) + \frac{b_i}{s + a_i} (\Delta w_{i+1}(s) - \Delta w_i(s)) \\ E_{i+1}(s) = \frac{c}{s} \Delta T_i(s) \end{cases} \quad (5)$$

[0084] a_i 、 b_i 为变量,与印刷系统的实际运行参数有关, c 为常数,由印刷系统的物理参数

决定。

$$[0085] \quad a_i = \frac{rw^*}{l_i}, b_i = \frac{r(1+KT^*)}{Kl_i}, c = \frac{Krw^*}{1+KT^*}$$

[0086] 基于假设式(4)消去动态模型式(5)中的张力变量,可以得到控制量与套色误差的直接数学关系。

[0087] 第2个色组的情况,令式(5)中i等于1,得到式(6):

$$[0088] \quad \begin{aligned} \Delta T_1(s) &= \frac{b_1}{s+a_1} \Delta w_2(s) \\ e_2(s) &= \frac{c}{s} \frac{b_1}{s+a_1} \Delta w_2(s) \end{aligned} \quad (6)$$

[0089] 式(6)中第二个等式即为第二个色组的控制量与误差之间的关系。

[0090] 对于第三个色组,将(6)式带入(5)式令(5)式中i取2,得到(7)式:

$$[0091] \quad \begin{aligned} \Delta T_2(s) &= \frac{a_2}{s+a_2} \frac{b_1}{s+a_1} \Delta w_2(s) - \frac{b_2}{s+a_2} \Delta w_2(s) + \frac{b_2}{s+a_2} \Delta w_3(s) \\ E_3(s) &= -\frac{c}{s} \frac{a_2}{s+a_2} \frac{b_1}{s+a_1} \Delta w_2(s) - \frac{c}{s} \frac{b_2}{s+a_2} \Delta w_2(s) + \frac{c}{s} \frac{b_2}{s+a_2} \Delta w_3(s) \end{aligned} \quad (7)$$

[0092] 依此类推,采用相同的方法可以得到第i个颜色的套色控制系统的数学模型,如(8)式所示:

$$[0093] \quad E_i(s) = \begin{cases} G_i(s) \Delta \omega_i(s), i=2 \\ G_i(s) \Delta \omega_i(s) + \sum_{j=2}^{i-1} G_{ij}(s) \Delta \omega_j(s), i>2 \end{cases} \quad (8)$$

[0094] 其中:

$$[0095] \quad \begin{cases} G_{ij}(s) = \frac{r}{s} \left(\prod_{k=j-1}^{i-1} \frac{a_k}{s+a_k} - \prod_{k=j}^{i-1} \frac{a_k}{s+a_k} \right) \\ G_i(s) = \frac{r}{s} \frac{a_{i-1}}{s+a_{i-1}} \\ \frac{r\omega^*}{l_i} = a_i \end{cases} \quad (9)$$

[0096] 其中, $E_i(s)$ 表示色组i的印刷结果与色组1的印刷结果之间的误差(绝对误差), $\Delta \omega_i(s)$ 为第i个色组印刷版辊的角速度变化量即色组i的控制量, $G_i(s)$ 表示色组i的控制量与色组i误差的传递函数, $G_{ij}(s)$ 表示第j色的控制量与第i个色组误差的传递函数; ω^* 为相邻色组之间不存在套色误差的情况下,各版辊的相同的转动角速度; l_i 为i色组与(i+1)色组之间的穿料长度;r为各个印刷版辊的半径; a_i 为变量,与印刷系统的实际运行参数有关。

[0097] 本申请主要涉及一种在稳速印刷过程中的套色控制方法,印刷机在稳速运行阶段有两个与套色相关的重要特征,一是机器运行在稳定速度阶段,而非加减速阶段;二是机器开机后即进入稳速运行状态(稳定速度),而后经过加速之后在进入高速运行状态(稳定速

度),因此稳速运行阶段的初始误差幅值较大,可以到达3mm甚至更大。由于误差的消除是一个动过程,消除大误差的时间相对小误差的要长,因此在稳速运行阶段我们需要解决的问题是如何快速地消除误差,从而减少废料的产生。

[0098] 基于套色系统是一个强耦合的系统,调整当前色组的误差将对后续色组的纠偏过程造成不良影响、从而延长后续色组的调节时间。因此,为了提高响应速度、减小调节时间,本发明在MPC控制的基础上,引入完全解耦,最大限度和最高效率地抑制前色扰动对后续色组的影响,以保证完全解耦方法的有效性。完全解耦MPC控制算法实施简单,响应速度快,在稳速印刷过程的套色性能较好。

[0099] 以下推导过程基于模型式(10)推导完全解耦控制,抵消前色控制量对后续色组的影响,从而协助MPC控制器在单个回路上快速消除各个色组的套色误差。如图3所示,为完全解耦MPC控制方法的系统框图。

[0100] 对于某个特定色组来说,前面色组的控制量可看做该色组的可测扰动,完全解耦控制器提前作用,最大限度地抑制扰动对该色组的影响。

[0101] 在(8)式中的将 $\Delta w_i(s)$ 替换为 $\Delta f_{ij}(s)$:

[0102] i大于3时,令 $E_i(s)=0$ 得

$$[0103] \quad \Delta f_{ij}(s) = -\sum_{j=2}^{i-1} \frac{G_{ij}(s)}{G_i(s)} \Delta w_j(s) \quad (10)$$

[0104] 即:

$$[0105] \quad \Delta f_{ij}(s) = \left(\frac{b_j}{b_{i-1}} \frac{a_{i-1}}{a_j} \prod_{k=j}^{i-2} \frac{a_k}{s+a_k} - \frac{b_{j-1}}{b_{i-1}} \prod_{k=j-1}^{i-2} \frac{a_k}{s+a_k} \right) \Delta w_j(s) \quad (11)$$

[0106] 由控制量关系可知:

$$[0107] \quad \Delta w_i(s) = \Delta w_i^{MPC}(s) + \sum_{j=2}^{i-1} \Delta f_{ij}(s) \quad (12)$$

[0108] 将上式代入,依次迭代可得:

$$[0109] \quad \Delta f_{ij}^p(s) = \frac{s}{s+a_{j-1}} \Delta \omega_j^{MPC}(s) \quad (13)$$

[0110] 其中, $\Delta f_{ij}^p(s)$ 表示j色扰动量(MPC控制量)对i色的解耦补偿量,而非j色组控制量对i色组的耦合补偿量。因此控制量的数学模型为:

$$[0111] \quad \Delta \omega_i(s) = \begin{cases} \Delta \omega_i^{MPC}(s), i=2 \\ \Delta \omega_i^{MPC}(s) + \sum_{j=2}^{i-1} \Delta \omega_{ij}^p(s), i>2 \end{cases} \quad (14)$$

[0112] 其中:

$$[0113] \quad \Delta \omega_{ij}^p(s) = \frac{s}{s+a_{j-1}} \Delta \omega_j^{MPC}(s)$$

[0114] 上述模型中, $\Delta \omega_i^{MPC}(s)$ 为第i个色组的MPC控制量, $\Delta \omega_{ij}^p(s)$ 为j色扰动量(MPC控制

量)对i色的解耦补偿量。

[0115] 在工业应用中,印刷版辊每转一周采集一次误差数据,采样周期的大小为:

$T_s = \frac{2\pi}{W^*}$,控制器的周期也是以转为单位的,因此需要对(13)式和(14)式进行离散化,然后应用到实际的套色控制系统中。

[0116] 为了使一阶方程利于状态空间描述,采用 $u_i^{MPC}(s)$ 改写 $\frac{1}{s}\Delta w_i^{MPC}(s)$, $u_i(s)$ 改写 $\frac{1}{s}\Delta w_i(s)$ 。即套色误差的数学模型变为:

$$[0117] \quad E_i(s) = \begin{cases} \frac{ra_{i-1}}{s+a_{i-1}}u_i(s), i=2 \\ \frac{ra_{i-1}}{s+a_{i-1}}u_i(s) + \sum_{j=2}^{i-1} r \left(\prod_{k=j-1}^{i-1} \frac{a_k}{s+a_k} - \prod_{k=j}^{i-1} \frac{a_k}{s+a_k} \right) u_j(s), i>2 \end{cases} \quad (15)$$

[0118] 控制量的数学模型变为:

$$[0119] \quad u_i(s) = \begin{cases} u_i^{MPC}(s), i=2 \\ u_i^{MPC}(s) + \sum_{j=2}^{i-1} \frac{s}{s+a_{j-1}} u_j^{MPC}(s), i>2 \end{cases} \quad (16)$$

[0120] 将控制量的数学模型代入套色误差的数学模型,得到完全解耦后的套色误差简化模型如下:

$$[0121] \quad E_i(s) = \frac{ra_{i-1}}{s+a_{i-1}} u_i^{MPC}(s) \quad (17)$$

[0122] $u_i^{MPC}(s)$ 表示色组i单元控制系统的MPC控制器量的积分。

[0123] 将简化后的模型作为模型预测控制的内部模型公式(17),可以计算出第i色的MPC控制量,接着将第i色的MPC控制量代入控制量模型公式(16)可得第i色的实际控制量(MPC控制量+解耦补偿量),再将第i色的实际控制量代入套色误差模型(15)可得第i色的实际误差,最后将第i色的实际误差代入简化模型通过计算可得下一轮的第i+1色的MPC控制量,如此循环往复,得到一系列的实际控制量和实际误差。

[0124] 在将简化模型作为模型预测控制的内部模型的过程中,需要先将简化模型离散化,离散化后的模型为:

$$[0125] \quad E_i(k+1) = [1 - a_{i-1}Ts]E_i(k) + (ra_{i-1}Ts)u_i^{MPC}(k) \quad (18)$$

[0126] 其中,Ts为采样周期。

[0127] 在模型预测控制中使用到的二次优化目标函数如下,分别包含了针对误差量的代价函数 e_t' 、 Qe_t 项以及针对控制量的代价函数 u_t' 、 Ru_t :

$$[0128] \quad J_{(k, N_p)} = \min \sum_{t=k}^{k+N_p} (e_t' Q e_t + u_t' R u_t) \quad (19)$$

[0129] $J_{(k, N_p)}$ 表示在时刻t的基础上滚动时域步长为 N_p 的优化目标函数,目的是要让误差

量 e 和控制量 u 尽可能的小,即使用最少的控制量使系统误差量尽快稳定到零点。其中代价函数 Q 是与误差矩阵 e_t 行数相同的单位矩阵, R 是与控制量矩阵 u_t 行数相同的单位矩阵。

[0130] 为了使用Matlab中的quadprog函数进行在线二次优化,需要对优化目标进行转换,转换为只关于控制量 u_t 的优化函数。由于是线性系统,通过不停迭代可得:

$$\begin{aligned}
 e_{k+1|k} &= Ae_k + Bu_k \\
 e_{k+2|k} &= Ae_{k+1|k} + Bu_{k+1} = A^2e_k + ABu_k + Bu_{k+1} \\
 &\dots\dots \\
 e_{k+N_p|k} &= Ae_{k+N_p-1|k} + Bu_{k+N_p-1} = A^{N_p}e_k + A^{N_p-1}Bu_k + \dots\dots + ABu_{k+N_p-2} + Bu_{k+N_p-1}
 \end{aligned}
 \tag{20}$$

[0132] 将其描述为矩阵形式:

$$\begin{bmatrix} e_{k+1|k} \\ e_{k+2|k} \\ \dots \\ e_{k+N_p|k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \\ A^2 \\ \dots \\ A^{N_p} \end{bmatrix} e_k + \begin{bmatrix} B & 0 & \dots & 0 \\ AB & B & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A^{N_p-1}B & A^{N_p-2}B & \dots & B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_k \\ u_{k+1} \\ \dots \\ u_{k+N_p-1} \end{bmatrix} \tag{21}$$

[0134] 简化表示为:

$$E = \tilde{A}e_k + \tilde{B}U \tag{22}$$

$$\text{其中, } E = \begin{bmatrix} e_{k+1|k} \\ e_{k+2|k} \\ \dots \\ e_{k+N_p|k} \end{bmatrix}, U = \begin{bmatrix} u_k \\ u_{k+1} \\ \dots \\ u_{k+N_p-1} \end{bmatrix}, \tilde{A} = \begin{bmatrix} A \\ A^2 \\ \dots \\ A^{N_p} \end{bmatrix}, \tilde{B} = \begin{bmatrix} B & 0 & \dots & 0 \\ AB & B & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A^{N_p-1}B & A^{N_p-2}B & \dots & B \end{bmatrix}。$$

[0137] 同样需要将优化目标函数替换成全部关于优化目标 U 以及当前误差状态量 e_k 的表达式。将优化目标函数重新表示为:

$$J_{(k, N_p)} = \min E' \tilde{Q} E + U' \tilde{R} U \tag{23}$$

[0139] 其中, \tilde{Q}, \tilde{R} 是适当增广变换之后的优化代价系数矩阵, E 表示误差矩阵, U 表示控制量矩阵。总之就是尽量将优化目标简化,使其能够直接传递到quadprog函数的参数中。

[0140] 参考Matlab中quadprog函数的内部实现形式:

$$\min_x \frac{1}{2} x' H x + f' x \tag{24}$$

[0142] 为了将优化目标函数表示为以上标准形式,将 E 的表达式代入优化目标函数得:

$$\begin{aligned}
 J_{(k, N_p)} &= (\tilde{A}e_k + \tilde{B}U)' \tilde{Q} (\tilde{A}e_k + \tilde{B}U) + U' \tilde{R} U \\
 &= U' (\tilde{B}' \tilde{Q} \tilde{B} + \tilde{R}) U + 2e_k' \tilde{A}' \tilde{Q} \tilde{B} U + e_k' \tilde{A}' \tilde{Q} \tilde{A} e_k
 \end{aligned} \tag{25}$$

[0144] 其中, U 为优化目标,第三项为常数,与优化目标无关,故将其省略,所以有:

$$H = 2(\tilde{B}' \tilde{Q} \tilde{B} + \tilde{R}), f = (2\tilde{B}' \tilde{Q}' \tilde{A} e_k), x = U \tag{26}$$

[0146] 其中, \tilde{A} 为离散化后的数学模型中第一项系数的矩阵, \tilde{B} 为离散化后的数学模型中第一项系数以外的其它项系数的矩阵, e_k 为初始 k 时刻的误差值。

[0147] 如图4-9所示,图4是本发明实施例第2色组的误差响应曲线,图5为本发明实施例第3、4、5色组的误差响应曲线,图6是第6、7色组的误差响应曲线;图7为采用本实施例解耦方法与现有前馈完全解耦PD方法的第2色组的误差曲线对比图,图8为采用本实施例解耦方法与现有前馈完全解耦PD方法的第3、4、5色组的误差曲线对比图,图9为采用本实施例解耦方法与现有前馈完全解耦PD方法的第6、7色组的误差曲线对比图。

[0148] 通过将完全解耦MPC控制和前馈完全解耦PD控制优化得出的误差量绘制出一系列误差曲线,并将其进行对比,比较得出两种控制算法的优劣性。如图4所示,为完全解耦MPC控制第2色的误差响应曲线,从图中可以看出第2色误差的消除过程平滑且迅速。如图5所示,为完全解耦MPC控制第3、4、5色的误差响应曲线,从图中可以看出第3、4、5色的误差变化范围比较小,在 $-15 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-3}$ 之间。如图6所示,为完全解耦MPC控制第6、7色的误差响应曲线,同样第6、7色的误差变化范围也比较小。如图7所示,为完全解耦MPC控制与前馈完全解耦PD控制的第2色误差曲线对比图,从图中可以看出,与前馈完全解耦PD控制相比,完全解耦MPC控制的第2色误差波动更小,误差消除更迅速。如图8所示,为完全解耦MPC控制与前馈完全解耦PD控制的第3、4、5色误差曲线对比图,从图中可以看出,与前馈完全解耦PD控制相比,完全解耦MPC控制的第3、4、5色误差小得多。如图9所示,为完全解耦MPC控制与前馈完全解耦PD控制的第6、7色误差曲线对比图,从图中可以看出,与前馈完全解耦PD控制相比,完全解耦MPC控制的第6、7色误差也小得多。因此,从以上误差对比过程中,可以发现与前馈解耦PD控制相比,完全解耦MPC控制对误差的控制性能更好。

[0149] 本申请的电子轴凹印机稳速印刷过程中的套色控制方法在重新建立绝对误差模型的基础上,引入完全解耦,不仅实施简单、响应速度快,而且在初始误差很大的情况下,可以有效地完全解除当前色组控制量对后续色组的耦合作用,从而快速地消除整个系统的色差,提高套色精度,非常适合在电子轴凹印机稳速印刷过程中广泛使用。另外,基于完全解耦的思想,通过对系统解耦简化系统模型,从而将简化后的模型作为模型预测控制的内部模型,由此提出完全解耦MPC控制算法,计算量小且精度高,从而实现套色控制系统的实时性要求。

[0150] 如图10所示,本发明实施例还提供了一种电子轴凹印机套色控制装置,包括:

[0151] 至少一个处理器;

[0152] 至少一个存储器,用于存储至少一个程序;

[0153] 当所述至少一个程序被所述至少一个处理器执行,使得所述至少一个处理器实现上述方法实施例所述的电子轴凹印机套色控制方法步骤。

[0154] 可见,上述方法实施例中的内容均适用于本装置实施例中,本装置实施例所具体实现的功能与上述方法实施例相同,并且达到的有益效果与上述方法实施例所达到的有益效果也相同。

[0155] 此外,本申请实施例还公开了一种计算机程序产品或计算机程序,计算机程序产品或计算机程序存储在计算机可读存介质中。计算机设备的处理器可以从计算机可读存储介质读取该计算机程序,处理器执行该计算机程序,使得该计算机设备执行上文所示的方法。同样地,上述方法实施例中的内容均适用于本存储介质实施例中,本存储介质实施例所具体实现的功能与上述方法实施例相同,并且达到的有益效果与上述方法实施例所达到的有益效果也相同。

[0156] 以上是对本发明的较佳实施进行了具体说明,但本发明创造并不限于所述实施例,熟悉本领域的技术人员在不违背本发明精神的前提下还可做作出种种的等同变形或替换,这些等同的变形或替换均包含在本申请权利要求所限定的范围内。

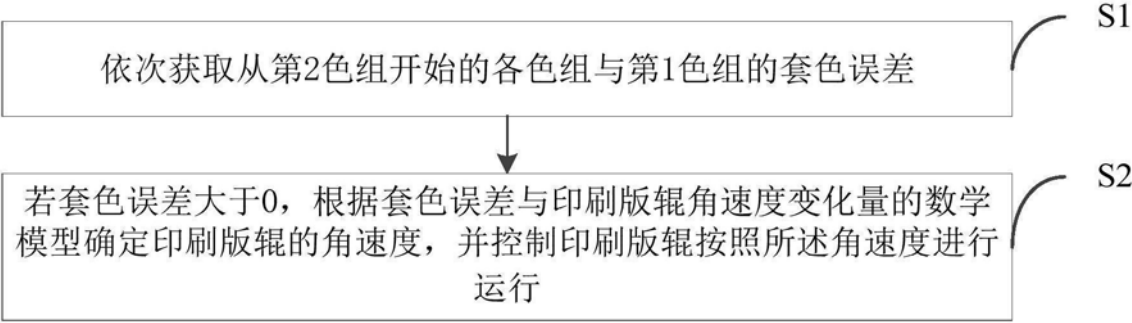


图1

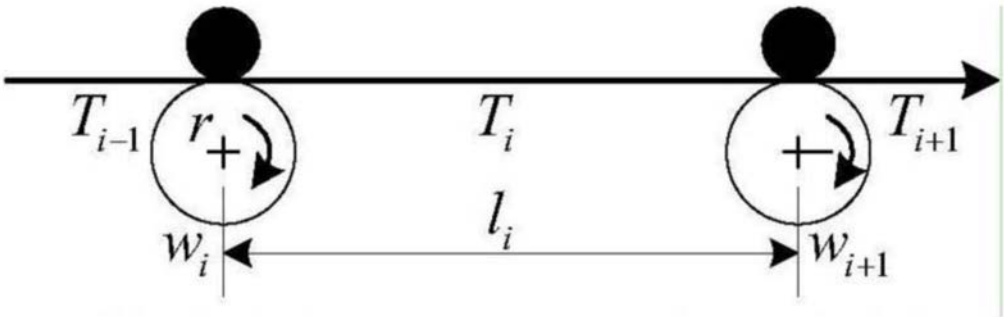


图2

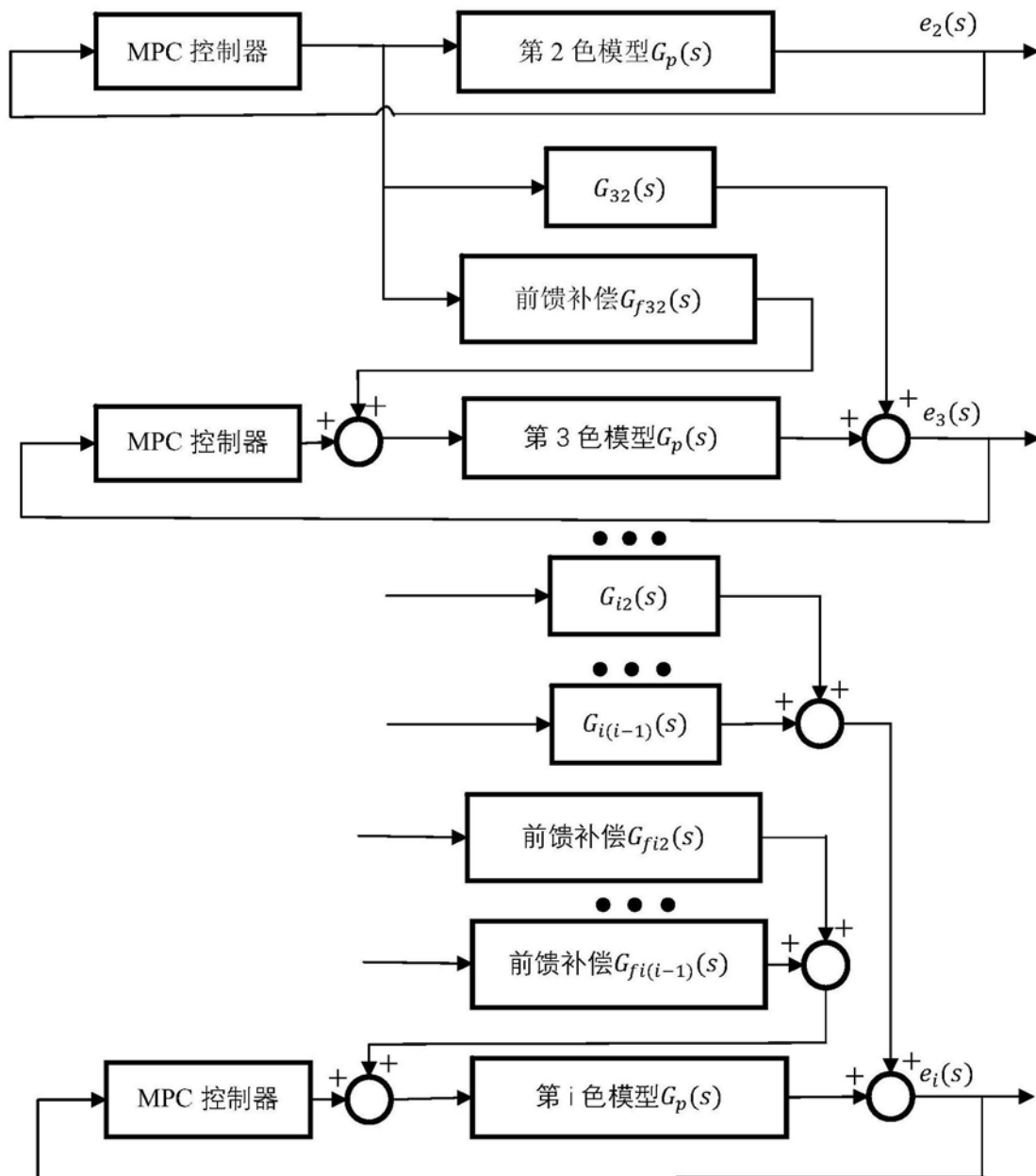


图3

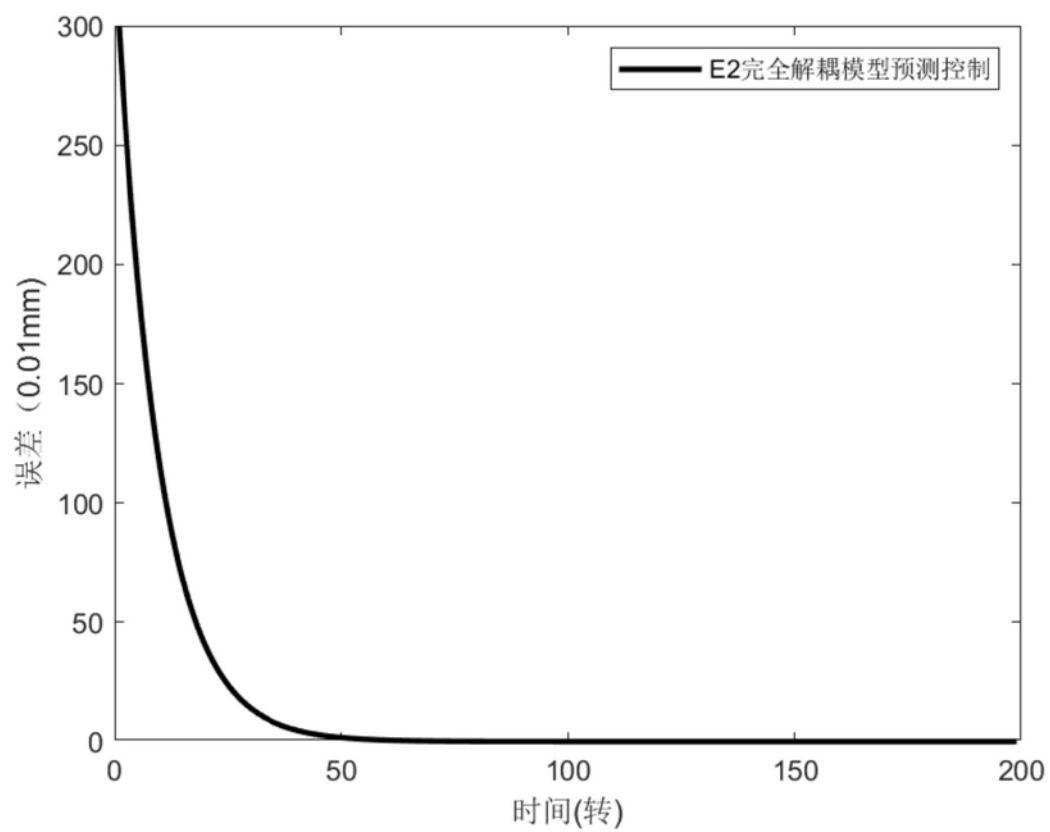


图4

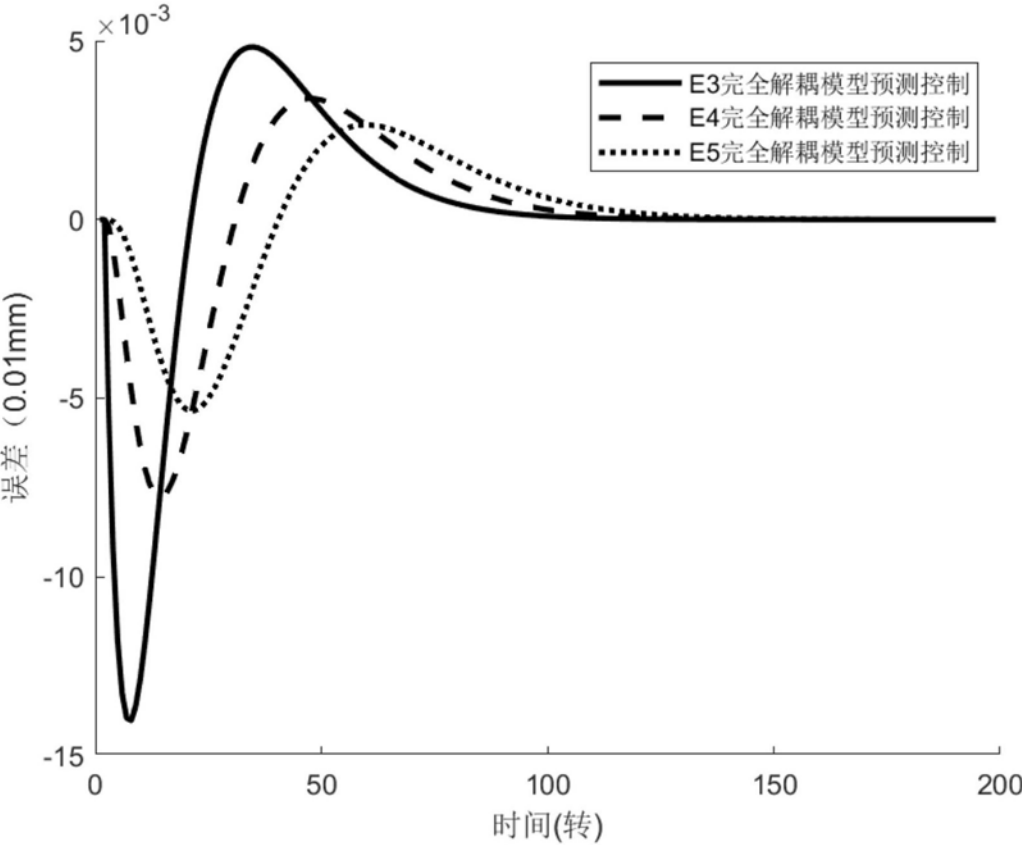


图5

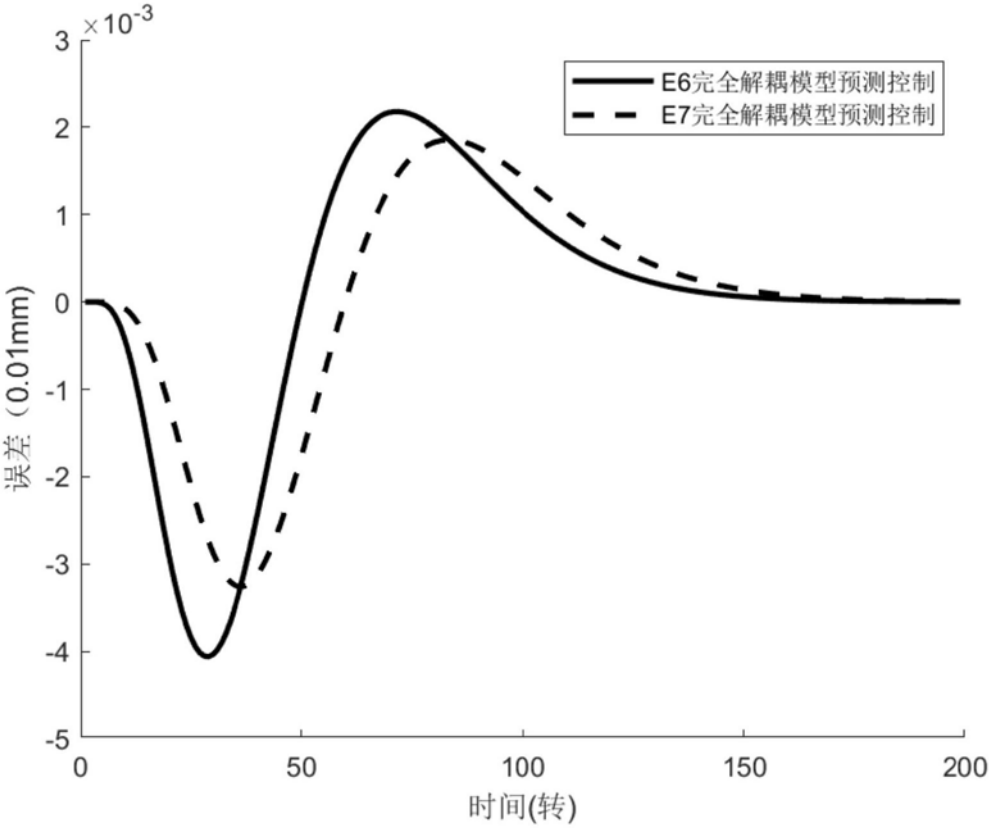


图6

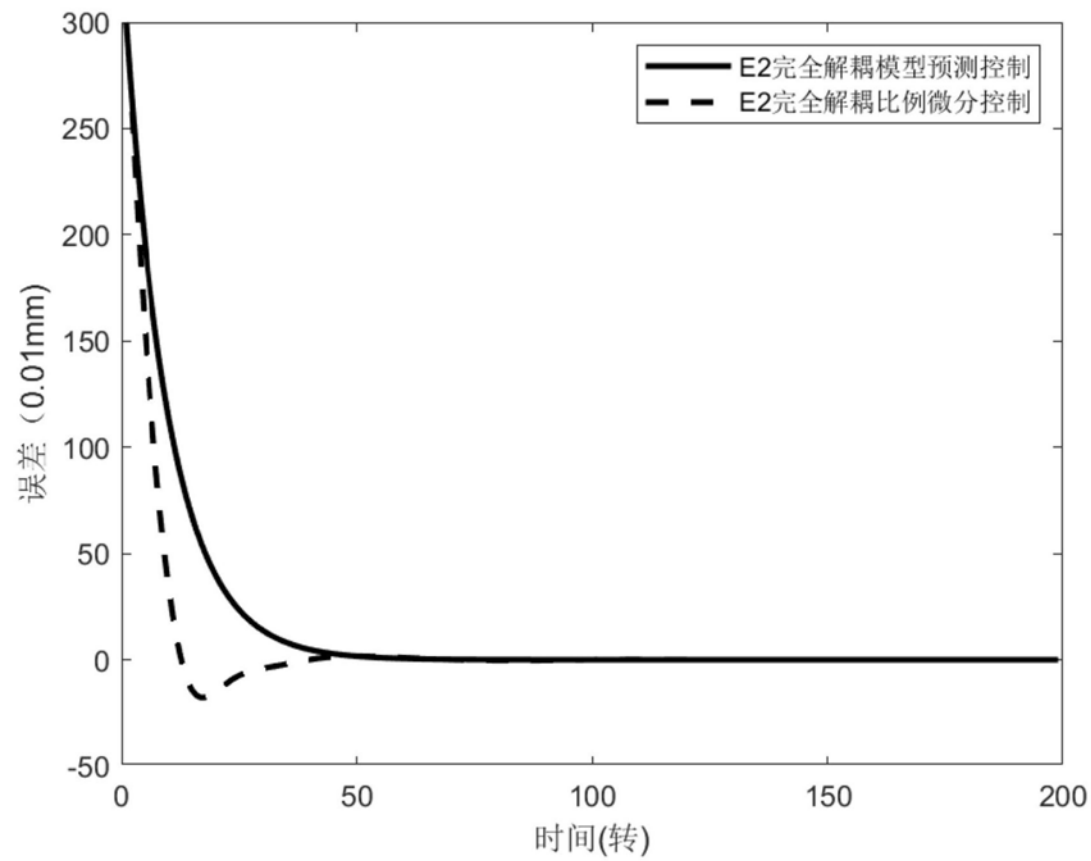


图7

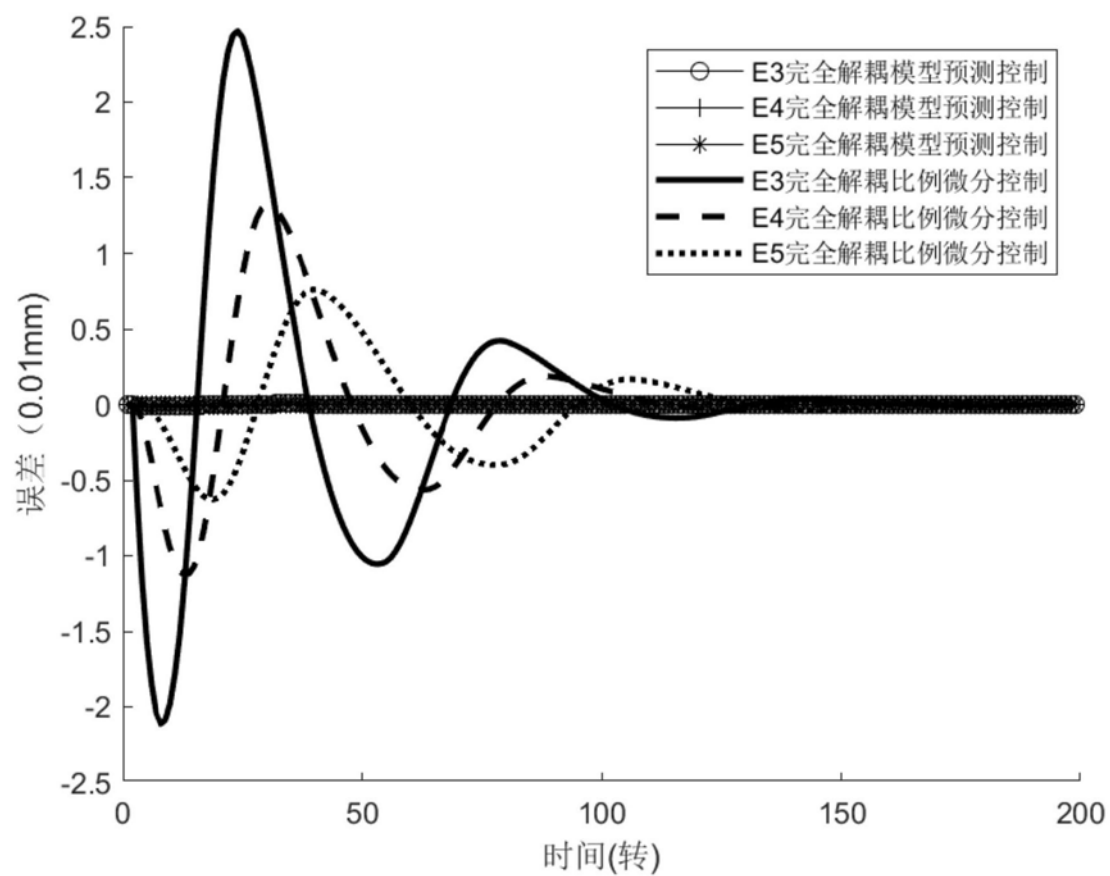


图8

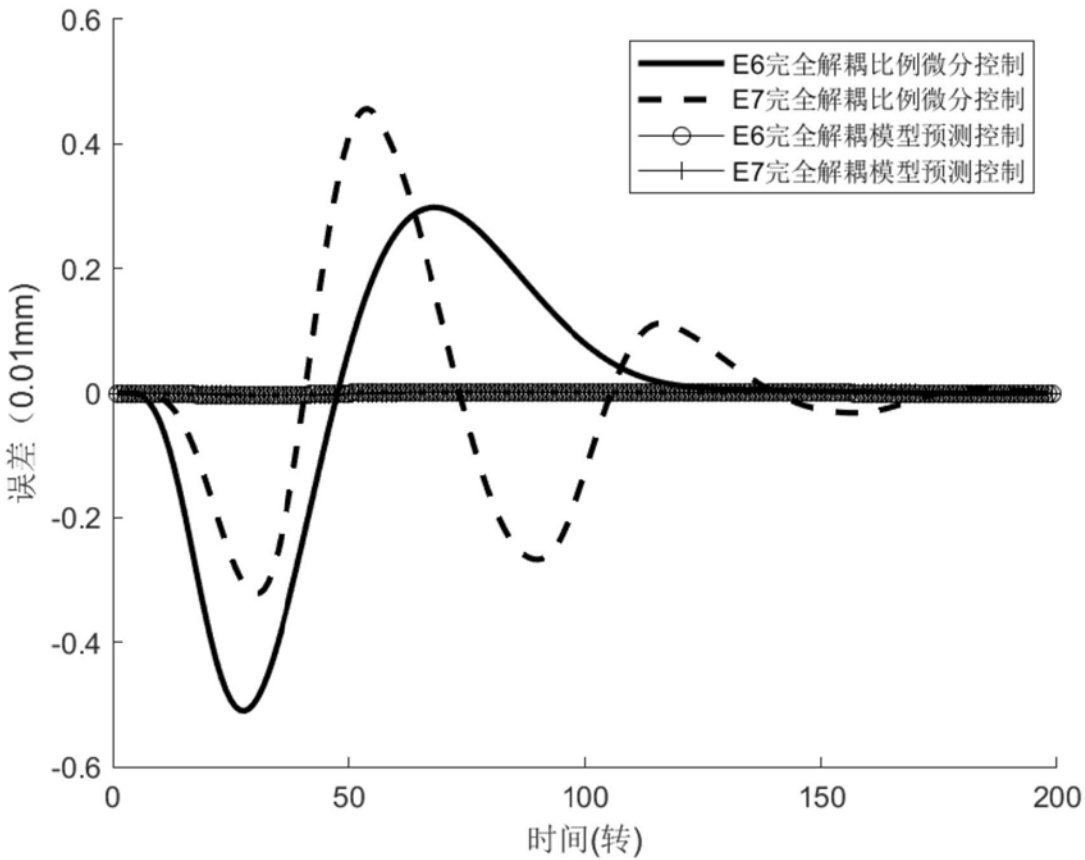


图9



图10