



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113084803 B

(45) 授权公告日 2022. 04. 22

(21) 申请号 202110349034.1

审查员 张倩茹

(22) 申请日 2021.03.31

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113084803 A

(43) 申请公布日 2021.07.09

(73) 专利权人 信阳师范学院

地址 464000 河南省信阳市浉河区南湖路
237号

(72) 发明人 李健 朱鑫辉 孙艳歌 张莉
王敬

(74) 专利代理机构 郑州大通专利商标代理有限公司 41111

代理人 蔡少华

(51) Int.Cl.

B25J 9/16 (2006.01)

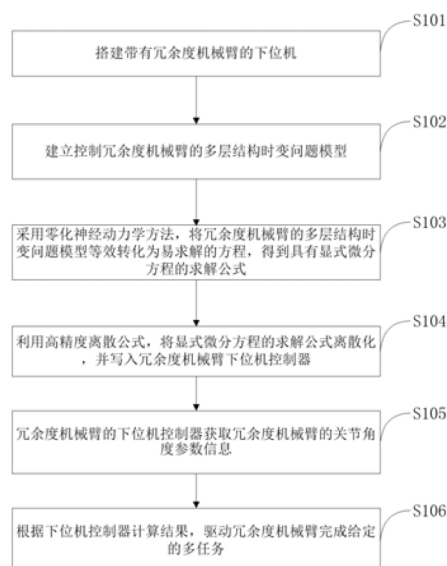
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于多层结构的冗余度机械臂多任务控制方法

(57) 摘要

本发明属于冗余度机械臂的运动规划及控制技术领域,公开了一种基于多层结构的冗余度机械臂多任务控制方法,包括以下步骤:搭建带有冗余度机械臂的下位机;建立控制冗余度机械臂的多层结构时变问题模型;采用零化神经动力学方法,将冗余度机械臂的多层结构时变问题模型等效转化为易求解的方程,得到具有显式微分方程的求解公式;利用高精度离散公式,将显式微分方程的求解公式离散化,并写入冗余度机械臂下位机控制器;冗余度机械臂的下位机控制器获取冗余度机械臂的关节角度参数信息;根据下位机控制器计算结果,驱动冗余度机械臂完成给定的多任务。本发明控制方法使得冗余度机械臂控制精度与实时性得到保证的同时,可以实现多任务控制。



1. 一种基于多层结构的冗余度机械臂多任务控制方法,其特征在于,包括以下步骤:

A: 搭建带有冗余度机械臂的下位机;

B: 建立控制冗余度机械臂的多层结构时变问题模型;多层结构时变问题模型分为四层,其中第一层结构采用时变非线性等式方程,用于描述冗余度机械臂的跟踪任务;所述第一层结构的时变非线性等式方程如下:

$$f(\theta(t)) - r_d(t) = 0,$$

其中, t 为时间, $\theta(t)$ 为冗余度机械臂的关节角向量, $f(\cdot)$ 为冗余度机械臂的非线性前向运动学映射, $r_d(t)$ 为冗余度机械臂的时变期望路径;

第二层结构采用时变不等式方程,用于描述冗余度机械臂的关节角度下限;所述第二层结构的时变不等式方程如下:

$$\theta^-(t) - \theta(t) \leq 0,$$

其中, $\theta^-(t)$ 为冗余度机械臂的关节角度下限;

第三层结构采用时变不等式方程,用于描述冗余度机械臂的关节角度上限;所述第三层结构的时变不等式方程如下:

$$\theta(t) - \theta^+(t) \leq 0,$$

其中, $\theta^+(t)$ 为冗余度机械臂的关节角度上限;

第四层结构采用线性等式方程,用于描述冗余度机械臂的关节故障容忍;所述第四层结构的线性等式方程如下:

$$A(t)\dot{\theta}(t) = 0,$$

其中, $\dot{\theta}(t)$ 是冗余度机械臂的关节角速度, $A(t)$ 为冗余度机械臂的故障关节位置矩阵;

C: 采用零化神经动力学方法,将冗余度机械臂的多层结构时变问题模型等效转化为易求解的方程,得到具有显式微分方程的求解公式;

步骤C具体包括以下步骤:利用零化神经动力学方法,将冗余度机械臂的多层结构时变问题模型等效转化为易求解的方程:

$$W(t)\dot{y}(t) = d(t),$$

其中, $y(t) = [\theta(t); \gamma(t); \eta(t)]$,

$$W(t) = \begin{bmatrix} J(\theta(t)) & 0 & 0 \\ I & 2\Lambda(t) & 0 \\ -I & 0 & 2\Gamma(t) \\ A(t) & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad d(t) = \begin{bmatrix} -\lambda(f(\theta(t)) - r_d(t)) + \dot{r}_d(t) \\ \dot{\theta}^+(t) - \lambda(\theta(t) - \theta^+(t) + \gamma^2(t)) \\ -\dot{\theta}^-(t) - \lambda(\theta^-(t) - \theta(t) + \eta^2(t)) \\ 0 \end{bmatrix},$$

$J(\theta(t))$ 为冗余

度机械臂的雅克比矩阵, $\dot{r}_d(t)$ 是时变期望路径的时间导数,参数 $\lambda \geq 0$; I 为单位矩阵,定义向量 $\gamma(t) = [\gamma_1(t); \gamma_2(t); \dots; \gamma_n(t)]$,向量 $\gamma^2(t) = [\gamma_1^2(t); \gamma_2^2(t); \dots; \gamma_n^2(t)]$ 为第二层结构冗余度机械臂的关节角度极限转换裕量, $\dot{\gamma}(t)$ 与 $\dot{\theta}^+(t)$ 分别为 $\gamma(t)$ 与 $\theta^+(t)$ 的时间导数, $\Lambda(t)$ 是由 $\gamma_1(t), \gamma_2(t), \dots, \gamma_n(t)$ 组成的左对角矩阵;定义向量 $\eta(t) = [\eta_1(t); \eta_2(t); \dots; \eta_n(t)]$,向量 $\eta^2(t) = [\eta_1^2(t); \eta_2^2(t); \dots; \eta_n^2(t)]$ 为第三层结构冗余度机械臂的关节角度极限转换裕量, $\dot{\theta}^-(t)$ 与 $\dot{\eta}(t)$ 分别表示 $\eta(t)$ 与 $\theta^-(t)$ 的时间导数, $\Gamma(t)$ 表示由 $\eta_1(t), \eta_2$

(t), ..., \eta_n(t) 组成的左对角矩阵;

进而得到具有显式微分方程的求解公式:

$$\dot{y}(t) = W^+(t)d(t),$$

其中, $W^+(t)$ 表示 $W(t)$ 的逆矩阵;

D: 利用高精度离散公式, 将显式微分方程的求解公式离散化, 得到冗余度机械臂多任务控制算法模型, 并写入冗余度机械臂下位机控制器;

E: 冗余度机械臂的下位机控制器获取冗余度机械臂的关节角度参数信息;

F: 根据下位机控制器计算结果, 驱动冗余度机械臂完成给定的多任务。

2. 根据权利要求1所述的一种基于多层结构的冗余度机械臂多任务控制方法, 其特征在于, 所述高精度离散公式如下:

$$\dot{x}(t_k) = \frac{50}{111\tau}x(t_{k+1}) + \frac{7}{2\tau}x(t_k) - \frac{11}{37\tau}x(t_{k-1}) - \frac{67}{222\tau}x(t_{k-2}) + \frac{13}{111\tau}x(t_{k-3}) + O(\tau^3),$$

其中, τ 为采样间隔, k 为采样关节位点。

3. 根据权利要求2所述的一种基于多层结构的冗余度机械臂多任务控制方法, 其特征在于, 所述冗余度机械臂多任务控制算法模型如下:

$$y(t_{k+1}) = \frac{111}{50}W^+(t_k)\tilde{d}(t_k) - \frac{7}{100}y(t_k) + \frac{33}{50}y(t_{k-1}) + \frac{67}{100}y(t_{k-2}) - \frac{13}{50}y(t_{k-3}),$$

其中, $t_k = k\tau$ 为时间步, $h = \tau\lambda$,

$$\tilde{d}(t_k) = \begin{bmatrix} -h(f(\theta(t_k)) - r_d(t_k)) + \tau\dot{r}_d(t_k) \\ \tau\dot{\theta}^+(t_k) - h(\theta(t_k) - \theta^+(t_k) + \tau\gamma^2(t_k)) \\ -\tau\dot{\theta}^-(t_k) - h(\theta(t_k) - \theta^-(t_k) + \tau\eta^2(t_k)) \\ 0 \end{bmatrix}.$$

一种基于多层结构的冗余度机械臂多任务控制方法

技术领域

[0001] 本发明属于冗余度机械臂的运动规划及控制技术领域,涉及一种基于多层结构的冗余度机械臂多任务控制方法。

背景技术

[0002] 冗余度机械臂是一种自由度大于任务空间所需最小自由度的机械装置,广泛应用于工业自动化生产活动。在复杂环境下,冗余度机械臂控制不仅要考虑基本的跟踪任务,而且要考虑克服关节极限、关节故障容忍等其他任务。

[0003] 现有的多任务控制方法大部分是基于最优化模型,将多任务分别描述为最优化性能指标、等式或不等式约束,然后使用基于分段线性投影方程的数值求解器求解。在数值计算时,这类方法只能基于当前时刻信息计算当前时刻的控制量,由于不可避免的计算耗时,其在实时性方面存在不足。此外,该类方法计算精度较低且不可控。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种基于多层结构的冗余度机械臂多任务控制方法,使得机械臂控制精度与实时性得到保证的同时,可以实现多任务控制。

[0005] 为实现上述目的,本发明采用以下技术方案:

[0006] 本发明提供一种基于多层结构的冗余度机械臂多任务控制方法,包括以下步骤:

[0007] A:搭建带有冗余度机械臂的下位机;

[0008] B:建立控制冗余度机械臂的多层结构时变问题模型;

[0009] C:采用零化神经动力学方法,将冗余度机械臂的多层结构时变问题模型等效转化为易求解的方程,得到具有显式微分方程的求解公式;

[0010] D:利用高精度离散公式,将显式微分方程的求解公式离散化,并写入冗余度机械臂下位机控制器;

[0011] E:冗余度机械臂的下位机控制器获取冗余度机械臂的关节角度参数信息;

[0012] F:根据下位机控制器计算结果,驱动冗余度机械臂完成给定的多任务。

[0013] 在一个技术方案中,所述多层结构时变问题模型分为四层,其中第一层结构采用时变非线性等式方程,用于描述冗余度机械臂的跟踪任务;所述第一层结构的时变非线性等式方程如下:

$$[0014] \quad f(\theta(t)) - r_d(t) = 0,$$

[0015] 其中, t 为时间, θ 为冗余度机械臂的关节角度, $\theta(t)$ 为冗余度机械臂的关节角向量, $f(\cdot)$ 为冗余度机械臂的非线性前向运动学映射, $r_d(t)$ 为冗余度机械臂的时变期望路径;

[0016] 第二层结构采用时变不等式方程,用于描述冗余度机械臂的关节角度下限;所述第二层结构的时变不等式方程如下:

$$[0017] \quad \theta_{-}(t) - \theta(t) \leq 0,$$

[0018] 其中, $\theta^-(t)$ 为冗余度机械臂的关节角度下限;

[0019] 第三层结构采用时变不等式方程, 用于描述冗余度机械臂的关节角度上限; 所述第三层结构的时变不等式方程如下:

$$[0020] \quad \theta(t) - \theta^+(t) \leq 0,$$

[0021] 其中, $\theta^+(t)$ 为冗余度机械臂的关节角度上限;

[0022] 第四层结构采用线性等式方程, 用于描述冗余度机械臂的关节故障容忍; 所述第四层结构的线性等式方程如下:

$$[0023] \quad A(t)\dot{\theta}(t) = 0$$

[0024] 其中, $\dot{\theta}(t)$ 是冗余度机械臂的关节角速度, $A(t)$ 为冗余度机械臂的故障关节位置矩阵。

[0025] 在一个技术方案中, 步骤C具体包括以下步骤: 利用零化神经动力学方法, 将冗余度机械臂的多层结构时变问题模型等效转化为易求解的方程:

$$[0026] \quad W(t)\dot{y}(t) = d(t),$$

[0027] 其中, $y(t) = [\theta(t); \gamma(t); \eta(t)]$,

$$[0028] \quad W(t) = \begin{bmatrix} J(\theta(t)) & 0 & 0 \\ I & 2\Lambda(t) & 0 \\ -I & 0 & 2\Gamma(t) \\ A(t) & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad d(t) = \begin{bmatrix} -\lambda(f(\theta(t)) - r_d(t)) + \dot{r}_d(t) \\ \dot{\theta}^+(t) - \lambda(\theta(t) - \theta^+(t) + \gamma^2(t)) \\ -\dot{\theta}^-(t) - \lambda(\theta^-(t) - \theta(t) + \eta^2(t)) \\ 0 \end{bmatrix}, J(\theta(t))$$

为冗余度机械臂的雅克比矩阵, $\dot{r}_d(t)$ 是时变期望路径的时间导数, 参数 $\lambda \geq 0$; I 为单位矩阵, 定义向量 $\gamma(t) = [\gamma_1(t); \gamma_2(t); \dots; \gamma_n(t)]$, 向量 $\gamma^2(t) = [\gamma_1^2(t); \gamma_2^2(t); \dots; \gamma_n^2(t)]$ 为第二层结构冗余度机械臂的关节角度极限转换裕量, $\dot{\gamma}(t)$ 与 $\dot{\theta}^+(t)$ 分别为 $\gamma(t)$ 与 $\theta^+(t)$ 的时间导数, $\Lambda(t)$ 是由 $\gamma_1(t), \gamma_2(t), \dots, \gamma_n(t)$ 组成的左对角矩阵; 定义向量 $\eta(t) = [\eta_1(t); \eta_2(t); \dots; \eta_n(t)]$, 向量 $\eta^2(t) = [\eta_1^2(t); \eta_2^2(t); \dots; \eta_n^2(t)]$ 为第三层结构冗余度机械臂的关节角度极限转换裕量, $\dot{\theta}^-(t)$ 与 $\dot{\eta}(t)$ 分别表示 $\eta(t)$ 与 $\theta^-(t)$ 的时间导数, $\Gamma(t)$ 表示由 $\eta_1(t), \eta_2(t), \dots, \eta_n(t)$ 组成的左对角矩阵;

[0029] 进而得到具有显式微分方程的求解公式:

$$[0030] \quad \dot{y}(t) = W^+(t)d(t),$$

[0031] 其中, $W^+(t)$ 表示 $W(t)$ 的逆矩阵。

[0032] 在一个技术方案中, 所述高精度离散公式如下:

$$[0033] \quad \dot{x}(t_k) = \frac{50}{111\tau} x(t_{k+1}) + \frac{7}{2\tau} x(t_k) - \frac{11}{37\tau} x(t_{k-1}) - \frac{67}{222\tau} x(t_{k-2}) + \frac{13}{111\tau} x(t_{k-3}) + O(\tau^3),$$

[0034] 其中, τ 为采样间隔, k 为采样关节位点。

[0035] 在一个技术方案中, 所述冗余度机械臂多任务控制算法模型如下:

$$[0036] \quad y(t_{k+1}) = \frac{111}{50} W^+(t_k) \tilde{d}(t_k) - \frac{7}{100} y(t_k) + \frac{33}{50} y(t_{k-1}) + \frac{67}{100} y(t_{k-2}) - \frac{13}{50} y(t_{k-3}),$$

[0037] 其中, $t_k = k\tau$ 为时间步, $h = \tau\lambda$,

$$[0038] \quad \tilde{d}(t_k) = \begin{bmatrix} -h(f(\theta(t_k)) - r_d(t_k)) + \tau \dot{r}_d(t_k) \\ \tau \dot{\theta}^+(t_k) - h(\theta(t_k) - \theta^+(t_k) + \tau \gamma^2(t_k)) \\ -\tau \dot{\theta}^-(t_k) - h(\theta^-(t_k) - \theta(t_k) + \tau \eta^2(t_k)) \\ 0 \end{bmatrix}^{\circ}.$$

[0039] 相比现有技术,本发明的有益效果在于:

[0040] 现有的多任务冗余度机械臂控制方法不能在有效描述多任务的同时保证算法的高精度与实时性。本发明采用多层结构建立时变问题模型,并采用零化神经动力学方法,将冗余度机械臂的多层结构时变问题模型等效转化为易求解的方程,得到具有显式微分方程的求解公式,将显式微分方程的求解公式离散化,最终建立冗余度机械臂多任务控制算法模型,使得冗余度机械臂控制精度与实时性得到保证的同时,可以实现多任务控制,这对机械臂在复杂环境下的实际应用具有重要意义。

附图说明

[0041] 图1为本发明一种基于多层结构的冗余度机械臂多任务控制方法的流程图。

[0042] 图2为本发明实施例冗余度机械臂下位机及控制结果图。

具体实施方式

[0043] 以下实施例用于说明本发明,但不用来限定本发明的保护范围。若未特别指明,实施例中所用技术手段为本领域技术人员所熟知的常规手段。下述实施例中的试验方法,如无特别说明,均为常规方法。

[0044] 实施例一

[0045] 如图1所示的流程图,本发明一种基于多层结构的冗余度机械臂多任务控制方法,包括以下步骤:

[0046] S101:搭建带有冗余度机械臂的下位机。

[0047] S102:建立控制冗余度机械臂的多层结构时变问题模型。

[0048] 本发明多层结构时变问题模型分为四层,其中第一层结构采用时变非线性等式方程,用于描述冗余度机械臂的跟踪任务;第一层结构的时变非线性等式方程如下:

[0049] $f(\theta(t)) - r_d(t) = 0$, 公式(1)

[0050] 其中, t 为时间, $\theta(t)$ 为冗余度机械臂的关节角向量, $f(\cdot)$ 为冗余度机械臂的非线性前向运动学映射, $r_d(t)$ 为冗余度机械臂的时变期望路径;

[0051] 第二层结构采用时变不等式方程,用于描述冗余度机械臂的关节角度下限;第二层结构的时变不等式方程如下:

[0052] $\theta^-(t) - \theta(t) \leq 0$, 公式(2)

[0053] 其中, $\theta^-(t)$ 为冗余度机械臂的关节角度下限;

[0054] 第三层结构采用时变不等式方程,用于描述冗余度机械臂的关节角度上限;第三层结构的时变不等式方程如下:

[0055] $\theta(t) - \theta^+(t) \leq 0$, 公式(3)

[0056] 其中, $\theta^+(t)$ 为冗余度机械臂的关节角度上限;

[0057] 第四层结构采用线性等式方程,用于描述冗余度机械臂的关节故障容忍;第四层结构的线性等式方程如下:

$$[0058] \quad A(t)\dot{\theta}(t) = 0, \text{ 公式 (4)}$$

[0059] 其中, $\dot{\theta}(t)$ 是冗余度机械臂的关节角速度, $A(t)$ 为冗余度机械臂的故障关节位置矩阵, 如 $A(t) = [0, 1, 0, 0, 0, 0]$, 即锁定6自由度冗余机械臂的第二个关节。构造 $A(t) = \begin{bmatrix} 0, 1, 0, 0, 0, 0 \\ 1, 1, 1, 1, 1, 1 \end{bmatrix}$ 实现锁定关节的同时, 保持最后一个连杆的姿态不变。

[0060] S103: 采用零化神经动力学方法, 将冗余度机械臂的多层结构时变问题模型等效转化为易求解的方程, 得到具有显式微分方程的求解公式。

[0061] 具体如下: 将第一层结构的时变非线性等式方程等效转化为如下易求解的方程:

$$[0062] \quad J(\theta(t))\dot{\theta}(t) = -\lambda(f(\theta(t)) - r_d(t)) + \dot{r}_d(t),$$

[0063] 其中, $J(\theta(t))$ 为冗余度机械臂的雅克比矩阵, $\dot{r}_d(t)$ 是时变期望路径的时间导数, 参数 $\lambda \geq 0$;

[0064] 将第二层结构的时变不等式方程等效转化为如下易求解的方程:

$$[0065] \quad [I \quad 2\Lambda(t)] \begin{bmatrix} \dot{\theta}(t) \\ \dot{\gamma}(t) \end{bmatrix} = \dot{\theta}^+(t) - \lambda(\theta(t) - \theta^+(t) + \gamma^2(t)),$$

[0066] 其中, I 为单位矩阵, 定义向量 $\gamma(t) = [\gamma_1(t); \gamma_2(t); \dots; \gamma_n(t)]$, 向量 $\gamma^2(t) = [\gamma_1^2(t); \gamma_2^2(t); \dots; \gamma_n^2(t)]$ 为第二层结构冗余度机械臂的关节角度极限转换裕量, $\dot{\gamma}(t)$ 与 $\dot{\theta}^+(t)$ 分别为 $\gamma(t)$ 与 $\theta^+(t)$ 的时间导数, $\Lambda(t)$ 是由 $\gamma_1(t), \gamma_2(t), \dots, \gamma_n(t)$ 组成的左对角矩阵;

[0067] 将第三层结构的时变不等式方程等效转化为如下易求解的方程:

$$[0068] \quad [-I \quad 2\Gamma(t)] \begin{bmatrix} \dot{\theta}(t) \\ \dot{\eta}(t) \end{bmatrix} = -\dot{\theta}^-(t) - \lambda(\theta^-(t) - \theta(t) + \eta^2(t)),$$

[0069] 其中, 定义向量 $\eta(t) = [\eta_1(t); \eta_2(t); \dots; \eta_m(t)]$, 向量 $\eta^2(t) = [\eta_1^2(t); \eta_2^2(t); \dots; \eta_m^2(t)]$ 为第三层结构冗余度机械臂的关节角度极限转换裕量, $\dot{\theta}^-(t)$ 与 $\dot{\eta}(t)$ 分别表示 $\eta(t)$ 与 $\theta^-(t)$ 的时间导数, $\Gamma(t)$ 表示由 $\eta_1(t), \eta_2(t), \dots, \eta_m(t)$ 组成的左对角矩阵;

[0070] 第四层的线性等式方程不进行转化。

[0071] 事实上, 对第一层结构的时变非线性等式方程、第二层结构的时变不等式方程、第三层结构的时变不等式方程进行等效转化后, 可统一用下式表示:

$$[0072] \quad W(t)\dot{y}(t) = d(t), \text{ 公式 (5)}$$

[0073] 其中 $y(t) = [\theta(t); \gamma(t); \eta(t)]$,

$$[0074] \quad W(t) = \begin{bmatrix} J(\theta(t)) & 0 & 0 \\ I & 2\Lambda(t) & 0 \\ -I & 0 & 2\Gamma(t) \\ A(t) & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad d(t) = \begin{bmatrix} -\lambda(f(\theta(t)) - r_d(t)) + \dot{r}_d(t) \\ \dot{\theta}^+(t) - \lambda(\theta(t) - \theta^+(t) + \gamma^2(t)) \\ -\dot{\theta}^-(t) - \lambda(\theta^-(t) - \theta(t) + \eta^2(t)) \\ 0 \end{bmatrix}$$

[0075] 进而得到有显式微分方程形式的求解公式:

$$[0076] \quad \dot{y}(t) = W^+(t)d(t), \text{ 公式 (6)}$$

[0077] 其中, $W^+(t)$ 表示 $W(t)$ 的逆矩阵。

[0078] S104: 利用高精度离散公式, 将显式微分方程的求解公式离散化, 并写入冗余度机械臂下位机控制器。

[0079] 利用多个数据点的泰勒展开式及其四则运算, 即 $x(t_{k+1})$, $x(t_{k-1})$, $x(t_{k-2})$, $x(t_{k-3})$ 四个点在点 $x(t_k)$ 处泰勒展开, 然后将 $x(t_{k+1})$ 的展开式整体乘以 100, 将 $x(t_{k-1})$ 的展开式整体乘以 -66, 将 $x(t_{k-2})$ 的展开式整体乘以 -67, 将 $x(t_{k-3})$ 的展开式乘以 26, 再将四个展开式相加, 即得到高精度离散公式:

$$[0080] \quad \dot{x}(t_k) = \frac{50}{111\tau}x(t_{k+1}) + \frac{7}{2\tau}x(t_k) - \frac{11}{37\tau}x(t_{k-1}) - \frac{67}{222\tau}x(t_{k-2}) + \frac{13}{111\tau}x(t_{k-3}) + O(\tau^3), \text{ 公式 (7)}$$

[0081] 其中, τ 为采样间隔, k 为采样关节位点。

[0082] 使用高精度离散公式 (7) 离散化具有显式微分方程形式的求解公式 (6), 得到预测未来控制量的冗余度机械臂多任务控制算法模型:

$$[0083] \quad y(t_{k+1}) = \frac{111}{50}W^+(t_k)\tilde{d}(t_k) - \frac{7}{100}y(t_k) + \frac{33}{50}y(t_{k-1}) + \frac{67}{100}y(t_{k-2}) - \frac{13}{50}y(t_{k-3}), \text{ 公式 (8)}$$

[0084] 其中, $t_k = k\tau$ 为时间步, $h = \tau\lambda$,

$$[0085] \quad \tilde{d}(t_k) = \begin{bmatrix} -h(f(\theta(t_k)) - r_d(t_k)) + \tau\dot{r}_d(t_k) \\ \tau\dot{\theta}^+(t_k) - h(\theta(t_k) - \theta^+(t_k) + \tau\gamma^2(t_k)) \\ -\tau\dot{\theta}^-(t_k) - h(\theta^-(t_k) - \theta(t_k) + \tau\eta^2(t_k)) \\ 0 \end{bmatrix}^\circ$$

[0086] S105: 冗余度机械臂的下位机控制器获取冗余度机械臂的关节角度参数信息。

[0087] S106: 根据下位机控制器计算结果, 驱动冗余度机械臂完成给定的多任务。

[0088] 在 t_k 时间步利用公式 (8) 得到下一时间步的控制量 $\theta(t_{k+1})$, 并传递给下位机控制器来驱动机械臂各个关节的运动, 从而使冗余度机械臂在复杂环境下完成多任务。

[0089] 在本实施例中, 搭建的下位机为六连杆平面机械臂, 如图 2-a 所示, 杆长 1m, 初始关节角向量为 $\theta(t_0) = \left[\frac{3\pi}{4}, \frac{-\pi}{2}, \frac{-\pi}{4}, \frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{3}, \frac{-\pi}{6}\right]$ rad, 关节角度极限为

$\theta(t_0) - \frac{\pi}{9} \leq \theta(t_k) \leq \theta(t_0) + \frac{\pi}{10}$, 任务执行时间是 20s, 采样间隔 $\tau = 0.01$ s, 系数 $h = 0.1$, 控制末端执行器跟踪月牙形时变轨迹

$$r_d(t_k) = \begin{bmatrix} 0.25 \cos(0.1\pi t_k) + 0.25 \cos(0.2\pi t_k) + 0.6 \\ 0.5 \sin(0.1\pi t_k) + 0.1 \end{bmatrix} + r_a(0)。此外, 要求在控制过程中第$$

六节杆的姿态不变。

[0090] 用公式 (1) 描述跟踪主任务, 用公式 (2)、(3) 描述克服关节角度上、下极限任务,

用公式(4)并定义矩阵 $A(t)=[1,1,1,1,1,1]$ 描述姿态控制任务,具体如下:

$$[0091] \quad f(\theta(t)) - r_d(t) = 0,$$

$$[0092] \quad \theta(t_0) - \frac{\pi}{9} - \theta(t) \leq 0,$$

$$[0093] \quad \theta(t) - \theta(t_0) - \frac{\pi}{10} \leq 0,$$

$$[0094] \quad [1,1,1,1,1,1]\dot{\theta}(t) = 0.$$

[0095] 根据以上问题描述,得出冗余度机械臂多任务控制算法模型(公式8)的具体形式如下:

$$[0096] \quad y(t_{k+1}) = \frac{111}{50}W^+(t_k)\tilde{d}(t_k) - \frac{7}{100}y(t_k) + \frac{33}{50}y(t_{k-1}) + \frac{67}{100}y(t_{k-2}) - \frac{13}{50}y(t_{k-3}),$$

$$[0097] \quad \text{其中, } W(t_k) = \begin{bmatrix} J(\theta(t_k)) & 0 & 0 \\ I & 2\Lambda(t_k) & 0 \\ -I & 0 & 2\Gamma(t_k) \\ 1,1,\dots,1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \tilde{d}(t_k) = \begin{bmatrix} -0.1(f(\theta(t_k)) - r_d(t_k)) + 0.01\dot{r}_d(t_k) \\ -0.1(\theta(t_k) - \theta(t_0) - \frac{\pi}{10} + 0.01\gamma^2(t_k)) \\ -0.1(\theta(t_0) - \frac{\pi}{9} - \theta(t_k) + 0.01\eta^2(t_k)) \\ 0 \end{bmatrix}.$$

[0098] 图2(a)展示机械臂在控制过程中的运动轨迹,从图中能较直观的看到末端执行器很好的跟踪了月牙形时变轨迹。图2(b)展示控制过程中六个关节角度的总和,从图中能看出角度总和始终不变,表明完成第六节杆的姿态控制任务(从图2(a)也能直观的看出第六节杆的姿态始终不变)。图2(c)展示末端执行器跟踪误差,从图中可以看出跟踪精度能达到 10^{-9} ,表明高精度地完成跟踪任务。图2(d)-(i)展示机械臂各关节角度的变化以及关节角度的上、下极限,从图中可以看出所有的关节角度均在角度极限内,表明完成克服机械臂关节角度极限任务。本发明中的方法在保证高精度实时控制的同时,还能根据实际需求完成一系列多任务,这是现有的方法所做不到的。

[0099] 以上所述之实施例,只是本发明的较佳实施例而已,仅仅用以解释本发明,并非限制本发明实施范围,对于本技术领域技术人员来说,当然可根据本说明书中所公开的技术内容,通过置换或改变的方式轻易做出其它的实施方式,故凡在本发明的原理上所作的变化和改进行,均应包括于本发明申请专利范围内。

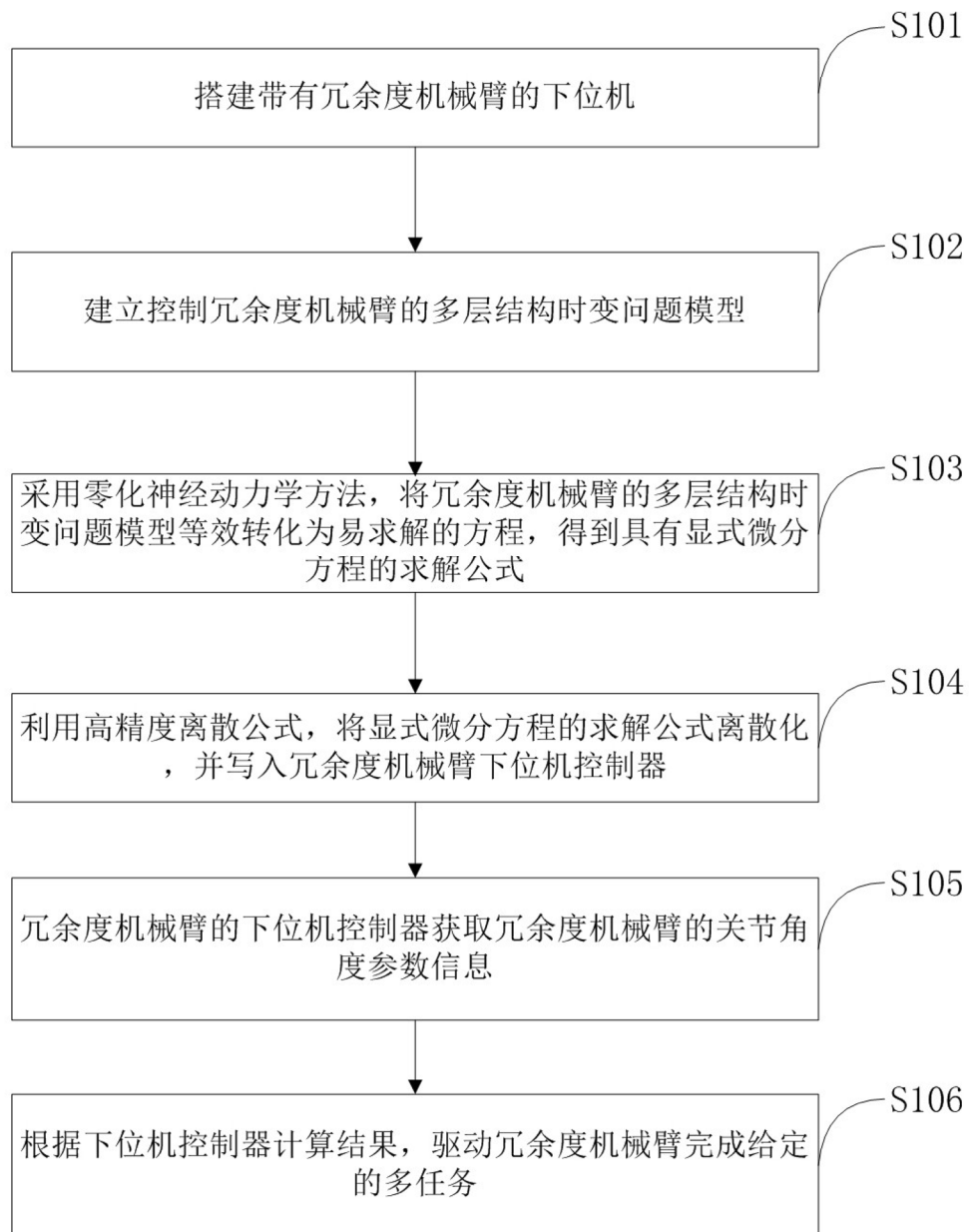


图1

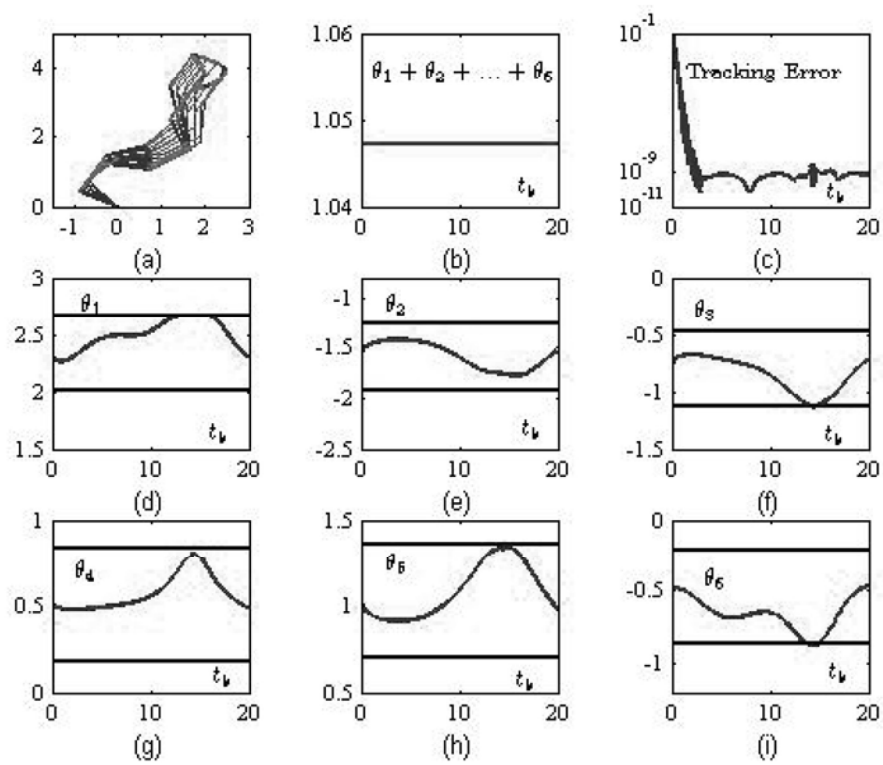


图2