



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108422421 A

(43)申请公布日 2018.08.21

(21)申请号 201810218063.2

(22)申请日 2018.03.16

(71)申请人 中国科学院自动化研究所
地址 100190 北京市海淀区中关村东路95号

(72)发明人 陈嘉浩 乔红 钟汕林 吴伟

(74)专利代理机构 北京瀚仁知识产权代理事务所(普通合伙) 11482
代理人 郭文浩 陈晓鹏

(51) Int. Cl.
B25J 9/16(2006.01)
B25J 13/08(2006.01)

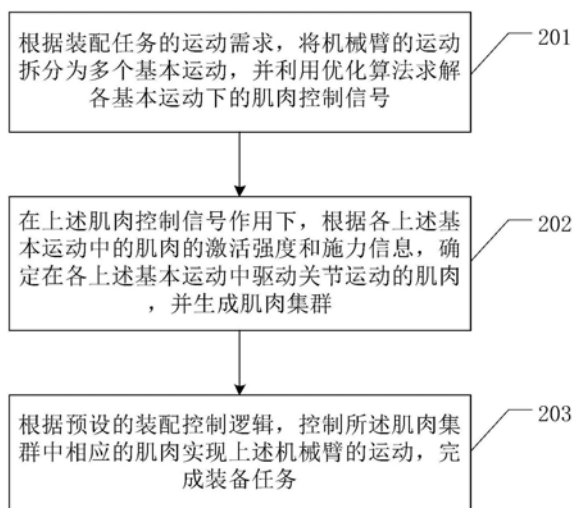
权利要求书3页 说明书9页 附图3页

(54)发明名称

骨骼肌肉式机器人的肌肉控制和装配方法

(57)摘要

本发明涉及骨骼肌肉式机器人领域,提出一种骨骼肌肉式机器人的肌肉控制和装配方法,旨在解决高耦合、高冗余的多输入多输出系统进行控制快速、较精准的控制问题。该方法包括:分解轴孔装配的运动需求,根据上述运动需求定义轴孔装配的基本运动,生成轴孔装配的肌肉控制信号;根据上述基本运动和上述肌肉控制信号确定与轴孔装配相关的肌肉集群;激活上述肌肉集群,控制待装配的装配轴运动,以装配轴孔。本发明实现了基于环境吸引域的装配策略,快速、较精准地实现轴孔装配。



1. 一种骨骼肌肉式机器人的肌肉控制和装配方法,其特征在于,所述方法包括:

根据装配任务的运动需求,将机械臂的运动拆分为多个基本运动,并利用优化算法求解各所述基本运动下的肌肉控制信号;

在所述肌肉控制信号作用下,根据各所述基本运动中的肌肉的激活强度和施力信息,确定在各所述基本运动中驱动关节运动的肌肉,并生成肌肉集群;

根据预设的装配控制逻辑,控制所述肌肉集群中相应的肌肉实现上述机械臂的运动,完成装配任务。

2. 根据权利要求1所述的骨骼肌肉式机器人的肌肉控制和装配方法,其特征在于,所述根据装配任务的运动需求,将机械臂的运动拆分为多个基本运动并利用优化算法求解各所述基本运动下的肌肉控制信号,包括:

根据各所述基本运动对应的动作,将装配任务拆分为多个基本运动;

根据所述装配任务定义各所述基本运动期望的运动轨迹;

利用优化算法求解各所述运动轨迹对应的肌肉控制信号以实现各所述运动轨迹。

3. 根据权利要求2所述的骨骼肌肉式机器人的肌肉控制和装配方法,其特征在于,所述装配任务包括轴孔装配,所述轴孔装配的装配任务包括如下基本运动:下压运动、沿x轴旋转运动、沿-x轴旋转运动、沿y轴旋转运动和沿-y轴旋转运动。

4. 根据权利要求1所述的骨骼肌肉式机器人的肌肉控制和装配方法,其特征在于,所述在所述肌肉控制信号作用下,根据各所述基本运动中的肌肉的激活强度和施力信息,确定在各所述基本运动中驱动关节运动的肌肉,并生成肌肉集群,包括:

确定与所述装配任务的各个基本运动相关的关节,并由所述相关的关节组成运动关节集合;

利用肌肉筋腱附着点位置与关节的关系,确定出与所述运动关节集合中各运动关节相关的肌肉,并生成各所述基本运动的初始肌肉集群;

在所述肌肉控制信号作用下,对各所述基本运动中的肌肉的施力大小和激活强度进行排序,按照从大到小的顺序从所述初始肌肉集群中选出预设比例的肌肉作为所述基本运动的肌肉集群。

5. 根据权利要求4所述的骨骼肌肉式机器人的肌肉控制和装配方法,其特征在于,所述根据预设的装配控制逻辑,控制所述肌肉集群中相应的肌肉实现上述机械臂的运动,完成装配任务,包括:

根据预设的装配控制逻辑,在初始控制信号作用下对所述肌肉集群进行驱动以使所述机械臂运动;

根据装配过程中所获得的所述机械臂运动的反馈信号控制所述机械臂的运动以完成装配任务。

6. 根据权利要求5所述的骨骼肌肉式机器人的肌肉控制和装配方法,其特征在于,所述任务装配包括轴孔装配,其中,所述轴孔装配为将待装配轴装配到待装配孔中,以及

所述根据装配过程中所获得的所述机械臂运动的反馈信号控制所述机械臂的运动以完成装配任务,包括:

控制所述待装配轴到达有效的初始状态;

驱动所述待装配轴作下压运动,至所述待装配轴与待装配孔之间达到三点接触;

控制所述待装配轴旋转使得所述待装配轴与所述待装配孔对齐；
控制所述待装配轴下压，直至轴孔装配完成。

7. 根据权利要求6所述的骨骼肌肉式机器人的肌肉控制和装配方法，其特征在于，所述控制所述待装配轴到达有效的初始状态，包括：

驱动所述肌肉集群，控制所述待装配轴运动至吸引域内，所述待装配轴运动至吸引域内为待装配轴位于待装配孔的上方，且所述待装配轴的下表面最低点的投影落在所述待装配孔的内径范围内；

控制待装配轴沿指定的参考轴旋转预设的第一阈值的角度。

8. 根据权利要求6所述的骨骼肌肉式机器人的肌肉控制和装配方法，其特征在于，所述驱动所述待装配轴作下压运动，至所述待装配轴与待装配孔之间达到三点接触，包括：

激活用于所述下压运动的下压肌肉集群，控制所述待装配轴作下压运动；

检测待装配轴的当前姿态，计算当前姿态的角度偏差 $e_{\theta}(t)$ 及其差分 $\dot{e}_{\theta}(t)$ ，其过程如下：

$$e_{\theta}(t) = \theta(t) - \theta_d$$

$$\dot{e}_{\theta}(t) = [e_{\theta}(t) - e_{\theta}(t-1)]/\Delta t$$

$$\theta_d = \theta_I$$

其中， $\theta(t)$ 表示t时刻轴在 $\theta(\theta_x, \theta_y)$ 方向上的姿态角度； θ_I 、 θ_d 分别表示轴的初始角度和期望角度， Δt 表示检测的间隔时间；

根据所述角度偏差，选择相关的肌肉集群，利用如下公式调节所述肌肉集群中各肌肉的肌肉控制信号，驱动待装配轴的姿态角度的变化维持在设定的邻域内：

$$c_i(t) = \begin{cases} K_P * e_{\theta}(t) + K_D * \dot{e}_{\theta}(t) & , i \in G_{+\theta} \\ -K_P * e_{\theta}(t) - K_D * \dot{e}_{\theta}(t) & , i \in G_{-\theta} \end{cases}$$

其中， $c_i(t)$ 表示t时刻第i条肌肉的控制信号值； K_P 、 K_D 为分别为比例和微分系数； $G_{+\theta}$ 、 $G_{-\theta}$ 分别表示控制轴的姿态角度 θ 增大、减小的肌肉集群。

9. 根据权利要求8所述的骨骼肌肉式机器人的肌肉控制和装配方法，其特征在于，所述控制所述待装配轴旋转使得所述待装配轴与所述待装配孔对齐，包括如下步骤：

步骤1，检测所述待装配轴的姿态角度，如果所述姿态角度小于预设的姿态角度阈值，转步骤4，如果所述姿态角度在预设的第一区间，转步骤2，如果所述姿态角度在预设的第二区间，转步骤3，其中，所述第一区间的最小值大于所述第二区间的最小值，第一区间的最大值大于所述第二区间的最大值；

步骤2，计算所述待装配轴的速度 $V_{\theta}(t)$ ，速度偏差 $e_{V_{\theta}}(t)$ 及其差分 $\dot{e}_{V_{\theta}}(t)$ ：

$$V_{\theta}(t) = [\theta(t) - \theta(t-1)]/\Delta t$$

$$e_{V_{\theta}}(t) = V_{\theta}(t) - V_{\theta d}$$

$$\dot{e}_{V_{\theta}}(t) = [e_{V_{\theta}}(t) - e_{V_{\theta}}(t-1)]/\Delta t$$

根据所述装配轴的速度，速度偏差，利用如下公式调节所述肌肉集群中各肌肉的肌肉控制信号，驱动所述待装配轴的旋转以调节所述待装配轴的姿态角度：

$$c_i(t) = \begin{cases} K_P * e_{V_\theta}(t) + K_D * \dot{e}_{V_\theta}(t) & , i \in G_{+\theta} \\ -K_P * e_{V_\theta}(t) - K_D * \dot{e}_{V_\theta}(t) & , i \in G_{-\theta} \end{cases}$$

其中, $V_\theta(t)$ 为待装配轴的速度, 表示 t 时刻轴在 $\theta(\theta_x, \theta_y)$ 方向上的角速度; $e_{V_\theta}(t)$ 为速度偏差, $\dot{e}_{V_\theta}(t)$ 为速度偏差的差分, V_{θ_d} 表示待装配轴的期望角速度, Δt 表示检测的间隔时间; $c_i(t)$ 表示 t 时刻第 i 条肌肉的控制信号值; K_P 、 K_D 为分别为比例和微分系数; $G_{+\theta}$ 、 $G_{-\theta}$ 分别表示控制装配轴的姿态角度 θ 增大、减小的肌肉集群;

转步骤1;

步骤3, 计算所述待装配轴当前姿态的角度偏差 $e_\theta(t)$ 及其差分 $\dot{e}_\theta(t)$: $e_\theta(t) = \theta(t) - \theta_d$

$$\dot{e}_\theta(t) = [e_\theta(t) - e_\theta(t-1)]/\Delta t$$

$$\theta_d = 0$$

其中, $\theta(t)$ 表示 t 时刻轴在 $\theta(\theta_x, \theta_y)$ 方向上的姿态角度; θ_d 待装配轴期望角度, Δt 表示检测的间隔时间;

利用如下公式调节所述肌肉集群中各肌肉的肌肉控制信号, 调节所述待装配轴的姿态角度

$$c_i(t) = \begin{cases} K_P * e_\theta(t) + K_D * \dot{e}_\theta(t) & , i \in G_{+\theta} \\ -K_P * e_\theta(t) - K_D * \dot{e}_\theta(t) & , i \in G_{-\theta} \end{cases}$$

其中, $c_i(t)$ 表示 t 时刻第 i 条肌肉的控制信号值; K_P 、 K_D 为分别为比例和微分系数; $G_{+\theta}$ 、 $G_{-\theta}$ 分别表示控制待装配轴的姿态角度 θ 增大、减小的肌肉集群;

转步骤1;

步骤4, 确定所述待装配轴与所述待装配孔对齐。

10. 根据权利要求6所述的骨骼肌肉式机器人的肌肉控制和装配方法, 其特征在于, 所述控制所述待装配轴下压, 直至轴孔装配完成, 包括:

激活用于下压运动的肌肉集群, 驱动所述待装配轴作下压运动;

检测所述待装配轴的下压高度是否超出下降阈值;

如果所述待装配轴的下压高度超出所述下降阈值, 所述轴孔装配完成。

骨骼肌肉式机器人的肌肉控制和装配方法

技术领域

[0001] 本发明涉及智能机器人领域,尤其涉及一种骨骼肌肉式机器人的肌肉控制和装配方法。

背景技术

[0002] 传统的关节-电机结构的工业机器人广泛应用于工业环境,可以精确地完成抓取、装配等操作,但是其机械结构缺乏足够的灵活性、柔顺性和通用性。

[0003] 骨骼肌肉式机器人系统采用仿人的肌肉-关节结构,以仿造人类骨骼结构制作的人造骨架为基础;依据解剖学中肌肉的分布特点,添加人造肌肉作为机器人骨骼的驱动器;再利用类神经控制算法计算肌肉激活信号,刺激人造肌肉收缩以产生肌肉力,从而驱动骨架运动,使类神经肌肉骨骼机器人能够实现准确的运动控制。骨骼肌肉式机器人系统增加了系统的自由度,可以完成各种复杂运动,提高了机器人的灵活性和通用性。骨骼肌肉式机器人系统的刚度可以根据需要,通过肌肉协同激活的强度进行调控,当部分肌肉处于紧绷状态时,其对应关节和结构本体的刚度较大,增强了机器人在交互运动中的鲁棒性;而当肌肉处于放松状态时,其对应关节和结构本体的刚度较低,为机器人提供较好的被动柔顺性。模拟人体的肌肉设置情况,骨骼肌肉式机器人的肌肉驱动器也存在冗余情况,保证了系统对于故障和不精准控制的鲁棒性。因此,骨骼肌肉式机器人系统可以在机械结构上为灵活、柔顺、鲁棒的抓取和装配操作提供保证。

[0004] 但是,构成骨骼肌肉式机器人的各个肢体都包括多个自由度,多块肌肉,且肌肉排布相互耦合,使得骨骼肌肉式机器人是一个高度耦合、高度冗余的多输入多输出系统,骨骼肌肉式机器人系统的冗余和耦合特性增大了系统的控制难度,如何快速、较精准地实现对骨骼肌肉式机器人的控制成为亟待解决的问题。

发明内容

[0005] 为了解决现有技术中的上述问题,即为了解决对高度耦合、高度冗余的多输入多输出骨骼肌肉式机器人系统进行控制快速、较精准的控制问题。本申请提出一种骨骼肌肉式机器人的肌肉控制和装配方法以解决上述问题:

[0006] 本发明提供一种骨骼肌肉式机器人的肌肉控制和装配方法。该方法包括:根据装配任务的运动需求,将机械臂的运动拆分为多个基本运动,利用优化算法求解各所述基本运动下的肌肉控制信号;在所述肌肉控制信号作用下,根据各所述基本运动中的肌肉的激活强度和施力信息,确定在各所述基本运动中驱动关节运动的肌肉,并生成肌肉集群;根据预设的装配控制逻辑,控制所述肌肉集群中相应的肌肉实现上述机械臂的运动,完成装配。

[0007] 在一些示例中,上述根据装配任务的运动需求,将机械臂的运动拆分为多个基本运动,利用优化算法求解各所述基本运动下的肌肉控制信号,包括:根据各所述基本运动对应的动作,将装配任务拆分为多个基本运动;根据所述装配任务定义各所述基本运动期望的运动轨迹利用优化算法求解各所述运动轨迹对应的肌肉控制信号以实现各所述运动轨

迹。

[0008] 在一些示例中,上述装配任务包括轴孔装配,上述轴孔装配的装配任务包括如下基本运动:下压运动、沿x轴旋转运动、沿-x轴旋转运动、沿y轴旋转运动和沿-y轴旋转运动。

[0009] 在一些示例中,上述在所述肌肉控制信号作用下,根据各所述基本运动中的肌肉的激活强度和施力信息,确定在各所述基本运动中驱动关节运动的肌肉,并生成肌肉集群,包括:确定与上述装配任务的各个基本运动相关的关节,并由上述相关的关节组成运动关节集合;利用肌肉筋腱附着点位置与关节的关系,确定出与上述运动关节集合中各运动关节相关的肌肉,并生成各所述基本运动的初始肌肉集群;在所述肌肉控制信号作用下,对各所述基本运动中的肌肉的施力大小和激活强度进行排序,按照从大到小的顺序从所述初始肌肉集群中选出预设比例的肌肉作为所述基本运动的肌肉集群。

[0010] 在一些示例中,上述根据预设的装配控制逻辑,控制上述肌肉集群中相应的肌肉实现上述机械臂的运动,完成装备任务,包括:根据预设的装配控制逻辑,在初始控制信号作用下对所述肌肉集群进行驱动以使所述机械臂运动;根据装配过程中所获得的所述机械臂运动的反馈信号控制所述机械臂的运动以完成装配任务。

[0011] 在一些示例中,上述任务装配包括轴孔装配,其中,所述轴孔装配为将待装配轴装配到待装配孔中,以及根据装配过程中所获得的所述机械臂运动的反馈信号控制所述机械臂的运动以完成装配任务,包括:控制上述待装配轴到达有效的初始状态;驱动上述待装配轴作下压运动,至上述待装配轴与待装配孔之间达到三点接触;控制上述待装配轴旋转使得上述待装配轴与上述待装配孔对齐;控制上述待装配轴下压,直至轴孔装配完成。

[0012] 在一些示例中,上述控制上述待装配轴到达有效的初始状态,包括:驱动上述肌肉集群,控制上述待装配轴运动至吸引域内,上述待装配轴运动至吸引域内为待装配轴位于待装配孔的上方,且上述待装配轴的下表面最低点的投影落在上述待装配孔的内径范围内;控制待装配轴沿指定的参考轴旋转预设的第一阈值的角度。

[0013] 在一些示例中,上述驱动上述待装配轴作下压运动,至上述待装配轴与待装配孔之间达到三点接触,包括:激活用于上述下压运动的下压肌肉集群,控制上述待装配轴作下压运动;检测待装配轴的当前姿态,计算当前姿态的角度偏差 $e_{\theta}(t)$ 及其差分 $\dot{e}_{\theta}(t)$,其过程如下:

$$[0014] \quad e_{\theta}(t) = \theta(t) - \theta_d$$

$$[0015] \quad \dot{e}_{\theta}(t) = [e_{\theta}(t) - e_{\theta}(t-1)]/\Delta t$$

$$[0016] \quad \theta_d = \theta_I$$

[0017] 其中, $\theta(t)$ 表示t时刻轴在 $\theta(\theta_x, \theta_y)$ 方向上的姿态角度; θ_I 、 θ_d 分别表示轴的初始角度和期望角度, Δt 表示检测的间隔时间;

[0018] 根据上述角度偏差,选择相关的肌肉集群,利用如下公式调节上述肌肉集群中各肌肉的肌肉控制信号,驱动待装配轴的姿态角度的变化维持在设定的邻域内:

$$[0019] \quad c_i(t) = \begin{cases} K_P * e_{\theta}(t) + K_D * \dot{e}_{\theta}(t) & , i \in G_{+\theta} \\ -K_P * e_{\theta}(t) - K_D * \dot{e}_{\theta}(t) & , i \in G_{-\theta} \end{cases}$$

[0020] 其中, $c_i(t)$ 表示t时刻第i条肌肉的控制信号值; K_P 、 K_D 为分别为比例和微分系数; $G_{+\theta}$ 、 $G_{-\theta}$ 分别表示控制轴的姿态角度 θ 增大、减小的肌肉集群。

[0021] 在一些示例中,上述控制上述待装配轴旋转使得上述待装配轴与上述待装配孔对齐,包括如下步骤:步骤1,检测上述装配轴的姿态角度,如果上述姿态角度小于预设的姿态角度阈值,转步骤4,如果上述姿态角度在预设的第一区间,转步骤2,如果上述姿态角度在预设的第二区间,转步骤3,其中,上述第一区间的最小值大于上述第二区间的最小值,第一区间的最大值大于上述第二区间的最大值;

[0022] 步骤2,计算上述装配轴的速度 $V_{\theta}(t)$,速度偏差 $e_{V_{\theta}}(t)$ 及其差分 $e'_{V_{\theta}}(t)$:

$$[0023] \quad V_{\theta}(t) = [\theta(t) - \theta(t-1)] / \Delta t$$

$$[0024] \quad e_{V_{\theta}}(t) = V_{\theta}(t) - V_{\theta d}$$

$$[0025] \quad e'_{V_{\theta}}(t) = [e_{V_{\theta}}(t) - e_{V_{\theta}}(t-1)] / \Delta t$$

[0026] 根据上述装配轴的速度,速度偏差,利用如下公式调节上述肌肉集群中各肌肉的肌肉控制信号,驱动待装配轴的旋转以调节上述装配轴的姿态角度:

$$[0027] \quad c_i(t) = \begin{cases} K_P * e_{V_{\theta}}(t) + K_D * e'_{V_{\theta}}(t) & , i \in G_{+\theta} \\ -K_P * e_{V_{\theta}}(t) - K_D * e'_{V_{\theta}}(t) & , i \in G_{-\theta} \end{cases}$$

[0028] 其中, $V_{\theta}(t)$ 为装配轴的速度,表示t时刻轴在 $\theta(\theta_x, \theta_y)$ 方向上的角速度; $e_{V_{\theta}}(t)$ 为速度偏差, $e'_{V_{\theta}}(t)$ 为速度偏差的差分, $V_{\theta d}$ 表示装配轴的期望角速度, Δt 表示检测的间隔时间; $c_i(t)$ 表示t时刻第i条肌肉的控制信号值; K_P 、 K_D 为分别为比例和微分系数; $G_{+\theta}$ 、 $G_{-\theta}$ 分别表示控制装配轴的姿态角度 θ 增大、减小的肌肉集群;转步骤1;步骤3,计算上述装配轴当前姿态的角度偏差 $e_{\theta}(t)$ 及其差分 $e'_{\theta}(t)$:

$$[0029] \quad e_{\theta}(t) = \theta(t) - \theta_d$$

$$[0030] \quad e'_{\theta}(t) = [e_{\theta}(t) - e_{\theta}(t-1)] / \Delta t$$

$$[0031] \quad \theta_d = 0$$

[0032] 其中, $\theta(t)$ 表示t时刻轴在 $\theta(\theta_x, \theta_y)$ 方向上的姿态角度; θ_d 装配轴期望角度, Δt 表示检测的间隔时间;

[0033] 利用如下公式调节上述肌肉集群中各肌肉的肌肉控制信号,调节上述装配轴的姿态角度

$$[0034] \quad c_i(t) = \begin{cases} K_P * e_{\theta}(t) + K_D * e'_{\theta}(t) & , i \in G_{+\theta} \\ -K_P * e_{\theta}(t) - K_D * e'_{\theta}(t) & , i \in G_{-\theta} \end{cases}$$

[0035] 其中, $c_i(t)$ 表示t时刻第i条肌肉的控制信号值; K_P 、 K_D 为分别为比例和微分系数; $G_{+\theta}$ 、 $G_{-\theta}$ 分别表示控制轴的姿态角度 θ 增大、减小的肌肉集群;转步骤1;

[0036] 步骤4,确定上述待装配轴与上述待装配孔对齐。

[0037] 在一些示例中,上述控制上述待装配轴下压,直至轴孔装配完成,包括:激活用于下压运动的肌肉集群,驱动上述待装配轴作下压运动;检测上述待装配轴的下降高度是否超出下降阈值;如果上述待装配轴的下降高度超出上述下降阈值,上述轴孔装配完成。

[0038] 本申请实施例提供的骨骼肌肉式机器人的肌肉控制和装配方法,将完成特定任务时机器人肢体的运动需求进行分解,并生成该任务的基本运动,机器人的肢体可以根据基本运动所对应的动作,将肢体的运行转换为肢体中各与各关节相关的肌肉集群的基本运

动,激活相关的肌肉集群实现上述基本运动,完成机器人的装配任务。避免了对于肌肉控制信号的精确求解,也避免了对于单个肌肉的直接控制,降低了由系统冗余和耦合导致的控制难度,能够较好地配合基于环境吸引域的装配策略,快速、较精准地实现轴孔装配。

附图说明

[0039] 图1是应用于本申请的肌肉式机器人的肌肉控制和装配方法的示例性系统架构

[0040] 图2是应用于本申请的肌肉式机器人的肌肉控制和装配方法的一实施例示意图;

[0041] 图3是应用于本申请的肌肉式机器人的肌肉控制和装配方法一具体应用中的轴孔装配示意图;

[0042] 图4是针对图3所示的机器人轴孔装配流程图。

具体实施方式

[0043] 下面参照附图来描述本发明的优选实施方式。本领域技术人员应当理解的是,这些实施方式仅仅用于解释本发明的技术原理,并非旨在限制本发明的保护范围。

[0044] 需要说明的是,在不冲突的情况下,本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。下面将参考附图并结合实施例来详细说明本申请。

[0045] 图1示出了骨骼肌肉式机器人的肌肉控制和装配方法的实施例的示例性系统架构。

[0046] 如图1所示,系统架构包括传感检测装置101、执行装置102 和控制装置103。传感检测装置101、执行装置102和控制装置103之间通过网络连接,上述用于在各装置之间提供通信链路介质的网络可以包括各种连接类型,例如有线、无线通信链路或者光纤电缆等等。

[0047] 上述传感检测装置101用于获取与上述骨骼肌肉机器人相关的数据。可以是安装于该机器人肢体、关节、肌肉上的各类传感器;用于对该机器人的肢体变换、关节旋转、肌肉伸缩等数据进行检测;上述对肢体变换、关节旋转、肌肉伸缩等数据检测的传感装置可以包括位置传感器、角度传感器、压力/张力传感器、视觉传感器等各类传感器。

[0048] 上述控制装置103用于根据所获取到的传感数据以及该机器人待实现的任务需求实现对机器人的控制,使得该机器人完成待实现的任务。上述控制装置103可以为按照预定逻辑或预定程序改变控制电路或设备状态的电子设备,可以由电子元器件构成的电子线路,或由处理器或微处理器为核心的电子控制装置,如单片机系统、可编程逻辑控制器、微型计算机等。上述控制装置103可以根据需要安装于上述骨骼肌肉式机器人的任何部位。上述控制装置103可以具有存储机器人运动过程的历史数据的单元,例如,机器人指定任务以及完成该制度任务时肢体、关节、肌肉变化的历史数据库等;具有数据运算及处理能力,通过机器学习算法等进行自学习的模型训练。上述控制装置还包括用于接收用户或平台的任务信息的单元,例如,网络接口。

[0049] 上述执行装置102用于接收上述控制装置的控制信号,并根据控制信号的指示运动。上述执行装置102可以是驱动关节运动、肌肉伸缩的装置,可以为各种电动类执行机构,步进电机、电磁阀等。上述执行装置102可以安装于机器人的骨架或机器人的肢体上。

[0050] 继续参考图2,示出了根据本申请的骨骼肌肉式机器人的肌肉控制和装配方法的一个实施例的流程。该骨骼肌肉式机器人的肌肉控制和装配方法,包括以下步骤:

[0051] 步骤201,根据装配任务的运动需求,将机械臂的运动拆分为多个基本运动,并利用优化算法求解各基本运动下的肌肉控制信号。

[0052] 在本实施例中,骨骼肌肉式机器人的肌肉控制和装配方法运行于其上的电子设备(例如图1所示的控制装置)可以利用其上的输入接口,通过有线连接方式或者无线连接方式获取从用户或平台发送的任务信息,上述控制装置根据任务信息进行任务需求的分析,根据任务需求定义出任务的基本运动并利用优化算法求解各基本运动下的肌肉控制信号。具体地,任务需求分析为对待完成的任务进行需求分析,即进行任务的分解,例如将任务分解为抓取过程、提升过程、运送过程、下降过程、释放过程等任务需求,然后根据任务需求定义出任务的基本运动。上述定义出任务的基本运动可以为根据任务需求中的动作过程,定义出机器人肢体末端设备或肢体末端所持设备的运动轨迹,并由此生成末端设备在时间序列下的运动轨迹。本实施例中,上述装配任务可以为轴孔装配,即将待装配轴装配到待装配孔中,分析上述任务的运动需求为将待装配的轴提起、放置于待装配孔的设定范围,对齐后下降直至完成装配。

[0053] 本实施例中,上述装配任务包括轴孔装配,上述轴孔装配的装配任务包括如下基本运动:下压运动、沿x轴旋转运动、沿-x轴旋转运动、沿y轴旋转运动和沿-y轴旋转运动。

[0054] 本实施例中,上述根据装配任务的运动需求,将机械臂的运动拆分为多个基本运动,利用优化算法求解各所述基本运动下的肌肉控制信号,包括:依据各上述基本运动对应的基本动作,将装配任务的运动需求分解为按时序排列的多个基本运动;确定每个上述基本运动所期望的运动轨迹,并利用优化算法求解各上述基本运动期望的运动轨迹对应的肌肉控制信号以实现各所述运动轨迹。具体地,可以按照完成装配任务的动作时序,分解上述装配任务的运动需求为多个基本运动。上述装配任务的基本运动可以根据任务进行分解,如将装配任务分解为抓取待装配件、提升、对齐、下降等基本运动。具体地,如进行轴孔装配,将轴孔装配到的运动需求分解为基本运动可以为,将上述轴孔装配的运动需求分解为下压运动、沿x轴旋转运动、沿y轴旋转运动等基本运动。上述运动文件包括上述基本运动的运动轨迹和时间的关系,例如,可以为一组时间序列数据,时间从 t_1 至 t_n ,时间间隔为 dt ,某一关节的角度随时间变化数据,由 θ_1 变化到 θ_2 。

[0055] 步骤202,在上述肌肉控制信号作用下,根据各上述基本运动中的肌肉的激活强度和施力信息,确定在各上述基本运动中驱动关节运动的肌肉,并生成肌肉集群。

[0056] 在本实施例中,基于步骤201中所得到的轴孔装配的基本运动和肌肉控制信号,上述控制装置确定与装配任务相关的肌肉集群。这里,骨骼肌肉式机器人的肢体实现装配件之间的装配任务,可以是利用机器人的各关节的转动,以及附着于各关节的肌肉或肌肉集群的运动实现任务装配。上述确定与装配任务相关的肌肉集群可以通过如下过程确定:确定实现上述运动需求的基本运动所需要动作的关节,将分布在需要动作的关节运动方向的两侧,可为该关节的运动提供转动转矩的肌肉,合并各个需要动作的关节相关的肌肉构成与轴孔装配相关的肌肉集群。

[0057] 在本实施例中,上述根据上述运动文件确定与轴孔装配相关的肌肉集群,包括:确定与上述各个基本运动相关的运动关节集合;利用肌肉筋腱附着点位置与关节的关系,确定出与上述运动关节集合中各运动关节相关的肌肉,并生成各上述基本运动的初始肌肉集群在肌肉控制信号作用下,对各基本运动中的肌肉的施力大小和激活强度进行排序,按照

从大到小的顺序从所述始肌肉集群中选出预设比例的肌肉作为所述基本运动的肌肉集群。即从上述初始肌肉集群中选出在该基本运动中起主要作用的肌肉,组成该基本运动的肌肉集群,也就是激活强度大、施力作用大的肌肉组成肌肉集群。作为示例,首先可以确定实现每个基本运动需要动作的关节,组成基本运动相关的运动关节集合,利用肌肉筋腱附着点位置与关节的关系,确定出各个运动关节的肌肉,即肌肉筋腱在骨骼上的附着点,分布在运动关节集合中某个关节运动方向的两侧,可为关节的运动提供转动力矩的肌肉,合并与上述运动关节集合中各个运动关节相关的肌肉生成上述基本运动的肌肉集群。例如,在本实施例中,可以得到各上述基本运动的肌肉集群,例如,得到控制下压运动的肌肉集群 G_z 、待装配轴以x轴为旋转轴进行旋转的肌肉集群为 $G_{+\theta_x}$ 、待装配轴近似以-x轴为旋转轴进行旋转的肌肉集群为 $G_{-\theta_x}$ 、待装配轴以y轴为旋转轴进行旋转的肌肉集群为 $G_{+\theta_y}$ 、待装配轴近似以-y轴为旋转轴进行旋转的肌肉集群为 $G_{-\theta_y}$ 。

[0058] 步骤203,根据预设的装配控制逻辑,控制所述肌肉集群中相应的肌肉实现上述机械臂的运动,完成装备任务。

[0059] 在本实施例中,根据步骤202中所确定的肌肉集群,在初始控制信号作用下,控制装置激活上述肌肉集群,通过肌肉集群的各肌肉单元的运动以及相应关节的转动控制机械臂的运动,完成装配任务。这里,控制装置可以使用预设的装配控制逻辑,这里,装配控制逻辑可以是具有负反馈的位置控制算法。

[0060] 在本实施例中,上述根据装配过程中所获得的上述机械臂运动的反馈信号,控制上述机械臂的运动,完成装备任务,包括:根据预设的装配控制逻辑,在初始控制信号作用下对上述肌肉集群进行驱动以使机械臂运动;根据装配过程中所获得的上述机械臂运动的反馈信号控制上述机械臂的运动以完成装配任务这里,针对某一具体的基本运动,通过运动学分析,设定多次期望的运动轨迹,通过CMC (Computed Muscle Control) 算法求解多次期望运动的控制信号,从而控制肌肉集群的以驱动机械臂的运动,从而完成装配任务。上述机械臂的反馈信号可以是利用传感检测装置所检测的机械臂的位置、姿态信息,还可以包括机械臂位置的变化信息和姿态的变化信息。

[0061] 上述任务装配包括轴孔装配,其中,轴孔装配为将待装配轴安装到待装配孔中,以及使用上述肌肉激活序列驱动上述肌肉集群控制机械臂的运动以进行任务的装配,包括:控制上述待装配轴到达有效的初始状态;驱动上述待装配轴作下压运动,至上述待装配轴与待装配孔之间达到三点接触;其中,通过上述待装配轴与待装配孔之间达到三点接触可以消除待装配轴的位置误差,即待装配轴的底端中心和待装配孔中心在x-y平面上的误差。控制上述待装配轴旋转使得上述待装配轴与上述待装配孔对齐;具体地,上述待装配轴与上述待装配孔对齐为近似对齐,即待装配轴与x-y平面的偏角小于一定值,该值可以预先设定。控制上述待装配轴下压,直至轴孔装配完成。这里,控制待装配轴到达有效初始状态是指上述待装配轴的末端落在预定的范围内,并以设定范围的角度倾斜。具体地,

[0062] 具体地,上述控制上述待装配轴到达有效的初始状态,包括:驱动上述肌肉集群,控制上述待装配轴运动至吸引域内,控制待装配轴沿指定的参考轴旋转预设第一阈值的角度。上述待装配轴运动至吸引域内为待装配轴位于待装配孔的上方,并且,待装配轴的下表面最低点的投影落在该待装配孔的内径范围内。

[0063] 上述驱动上述待装配轴作下压运动,至上述待装配轴与待装配孔之间达到三点接触,包括:激活用于上述下压运动的下压肌肉集群,控制上述待装配轴作下压运动;检测待装配轴的当前姿态,计算当前姿态的角度偏差 $e_{\theta}(t)$ 及其差分 $\dot{e}_{\theta}(t)$,其过程如下:

$$[0064] \quad e_{\theta}(t) = \theta(t) - \theta_d$$

$$[0065] \quad \dot{e}_{\theta}(t) = [e_{\theta}(t) - e_{\theta}(t-1)]/\Delta t$$

$$[0066] \quad \theta_d = \theta_I$$

[0067] 其中, $\theta(t)$ 表示t时刻轴在 $\theta(\theta_x, \theta_y)$ 方向上的姿态角度; θ_I 、 θ_d 分别表示轴的初始角度和期望角度, Δt 表示检测的间隔时间;

[0068] 根据上述角度偏差,选择相关的肌肉集群,利用如下公式调节上述肌肉集群中各肌肉的肌肉控制信号,驱动待装配轴的姿态角度的变化维持在设定的邻域内:

$$[0069] \quad c_i(t) = \begin{cases} K_P * e_{\theta}(t) + K_D * \dot{e}_{\theta}(t) & , i \in G_{+\theta} \\ -K_P * e_{\theta}(t) - K_D * \dot{e}_{\theta}(t) & , i \in G_{-\theta} \end{cases}$$

[0070] 其中, $c_i(t)$ 表示t时刻第i条肌肉的控制信号值; K_P 、 K_D 为分别为比例和微分系数; $G_{+\theta}$ 、 $G_{-\theta}$ 分别表示控制轴的姿态角度 θ 增大、减小的肌肉集群。

[0071] 上述判断待装配轴与待装配孔之间达到三点接触可以为:在上述骨骼肌肉式机器人肢体末端安装加速度传感器,通过对加速度传感器所得加速度的持续积分获取下降高度;当装配开始后,若连续多个时刻检测所得的下降高度的变化小于一定阈值,则表明待装配轴与待装配孔达到三点接触状态。

[0072] 控制待装配轴旋转使得待装配轴与待装配孔对齐,包括:检测上述待装配轴的当前姿态的姿态角度,如果上述姿态角度小于预设的姿态角度阈值,转步骤4,如果上述姿态角度在预设的第一区间,转步骤2,如果上述姿态角度在预设的第二区间,转步骤3,其中,上述第一区间的最小值大于上述第二区间的最小值,第一区间的最大值大于上述第二区间的最大值。

[0073] 步骤2,计算上述装配轴的速度 $V_{\theta}(t)$,速度偏差 $e_{V_{\theta}}(t)$ 及其差分 $\dot{e}_{V_{\theta}}(t)$:

$$[0074] \quad V_{\theta}(t) = [\theta(t) - \theta(t-1)]/\Delta t$$

$$[0075] \quad e_{V_{\theta}}(t) = V_{\theta}(t) - V_{\theta d}$$

$$[0076] \quad \dot{e}_{V_{\theta}}(t) = [e_{V_{\theta}}(t) - e_{V_{\theta}}(t-1)]/\Delta t$$

[0077] 根据上述装配轴的速度,速度偏差,利用如下公式调节上述肌肉集群中各肌肉的肌肉控制信号,驱动待装配轴的旋转以调节上述装配轴的姿态角度:

$$[0078] \quad c_i(t) = \begin{cases} K_P * e_{V_{\theta}}(t) + K_D * \dot{e}_{V_{\theta}}(t) & , i \in G_{+\theta} \\ -K_P * e_{V_{\theta}}(t) - K_D * \dot{e}_{V_{\theta}}(t) & , i \in G_{-\theta} \end{cases}$$

[0079] 其中, $V_{\theta}(t)$ 为装配轴的速度,表示t时刻轴在 $\theta(\theta_x, \theta_y)$ 方向上的角速度; $e_{V_{\theta}}(t)$ 为速度偏差, $\dot{e}_{V_{\theta}}(t)$ 为速度偏差的差分, $V_{\theta d}$ 表示装配轴的期望角速度, Δt 表示检测的间隔时间; $c_i(t)$ 表示t时刻第i条肌肉的控制信号值; K_P 、 K_D 为分别为比例和微分系数; $G_{+\theta}$ 、 $G_{-\theta}$ 分别表示控制装配轴的姿态角度 θ 增大、减小的肌肉集群;然后转步骤1,以判断经过调整后的上述装配轴的姿态角度是否满足条件。

[0080] 步骤3,计算上述装配轴当前姿态的角度偏差 $e_{\theta}(t)$ 及其差分 $\dot{e}_{\theta}(t)$:

[0081] $e_{\theta}(t) = \theta(t) - \theta_d$

[0082] $\dot{e}_{\theta}(t) = [e_{\theta}(t) - e_{\theta}(t-1)]/\Delta t$

[0083] $\theta_d = 0$

[0084] 其中, $\theta(t)$ 表示t时刻轴在 $\theta(\theta_x, \theta_y)$ 方向上的姿态角度; θ_d 装配轴期望角度, Δt 表示检测的间隔时间;

[0085] 利用如下公式调节上述肌肉集群中各肌肉的肌肉控制信号,调节上述装配轴的姿态角度:

[0086]
$$c_i(t) = \begin{cases} K_P * e_{\theta}(t) + K_D * \dot{e}_{\theta}(t) & , i \in G_{+\theta} \\ -K_P * e_{\theta}(t) - K_D * \dot{e}_{\theta}(t) & , i \in G_{-\theta} \end{cases}$$

[0087] 其中, $c_i(t)$ 表示t时刻第i条肌肉的控制信号值; K_P 、 K_D 为分别为比例和微分系数; $G_{+\theta}$ 、 $G_{-\theta}$ 分别表示控制轴的姿态角度 θ 增大、减小的肌肉集群;然后转步骤1,继续判断经过调整后的上述装配轴的姿态角度是否满足条件。

[0088] 步骤4,确定上述待装配轴与上述待装配孔对齐。

[0089] 上述控制上述待装配轴下压,直至轴孔装配完成,包括:激活用于下压运动的肌肉集群,驱动上述待装配轴作下压运动;检测上述待装配轴的下降高度是否超出下降阈值;如果上述待装配轴的下降高度超出上述下降阈值,上述轴孔装配完成。

[0090] 作为骨骼肌肉式机器人的肌肉控制和装配方法应用示例,参考图3和图4,图3示出了骨骼肌肉式机器人通过肌肉控制实现对轴孔装配的示意图,图3中所示的骨骼肌肉式机器人存在6个主要的自由度,14条驱动肌肉;其中,肩关节分别存在令上臂前后运动和左右运动的两个自由度,肘关节存在令肘部抬起或下压的一个自由度,下臂存在令下臂旋转的一个自由度,腕部分别存在令腕部抬起或下压和内外翻转两个自由度。通过上述骨骼肌肉式机器人肌肉运动实现对图中所示的圆轴、圆孔的装配;图4示出了骨骼肌肉式机器人对圆轴、圆孔装配的流程图。在该应用示例中,首先,初始化设置,设置机器人肢体所持待装配轴的初始姿态角,其初始姿态角设为 θ_1 ;然后,控制轴下压,通过控制下压肌肉集群运动,使得待装配轴下降,在接近待装配孔时,检测当前的姿态角与初始姿态角的偏差是否在设定的阈值范围内;如果上述姿态的偏差角不在设定范围内,通过调节相应的肌肉集群,使得待装配轴转动,从而调节当前的姿态,以减少偏差,其后进入三点接触检测;如果姿态的偏差角在设定范围内,进行三点接触检测,如果待装配轴和待装配孔之间不满足三点接触,返回控制轴下压过程,调整待装配轴与待装配孔的距离和姿态偏差角直至待装配轴和待装配孔之间满足三点接触。如果待装配轴和待装配孔之间满足三点接触,控制轴旋转以进行待装配轴和待装配孔对齐,当对齐后,控制轴下压直至装配完成,结束装配任务。上述控制轴下压可以为肌肉控制信息驱动下压肌肉集群运动,使得下压肌肉集群伸缩带动相关关节运动实现待装配轴向下运动。上述控制轴旋转以调节姿态角可以为通过肌肉控制信息驱动用于旋转的肌肉集群,如以x轴旋转的肌肉集群,使得该肌肉集群伸缩带动相关关节运动实现待装配轴以x轴为旋转轴进行旋转以调节姿态角。

[0091] 本申请的上述实施例将环境吸引域用于骨骼肌肉式机器人的装配,在装配过程中通过主动或拮抗作用的肌肉集群的协同控制,以产生期望运动的运动趋势,同时结合反馈

调节减小运动偏差。本申请所述的骨骼肌肉式机器人的肌肉控制和装配方法,避免了对于肌肉控制信号的精确求解,也避免了对于单个肌肉的直接控制,降低了由系统冗余和耦合导致的控制难度,能够较好地配合基于环境吸引域的装配策略,快速、较精准地实现轴孔装配。

[0092] 至此,已经结合附图所示的优选实施方式描述了本发明的技术方案,但是,本领域技术人员容易理解的是,本发明的保护范围显然不局限于这些具体实施方式。在不偏离本发明的原理的前提下,本领域技术人员可以对相关技术特征作出等同的更改或替换,这些更改或替换之后的技术方案都将落入本发明的保护范围之内。

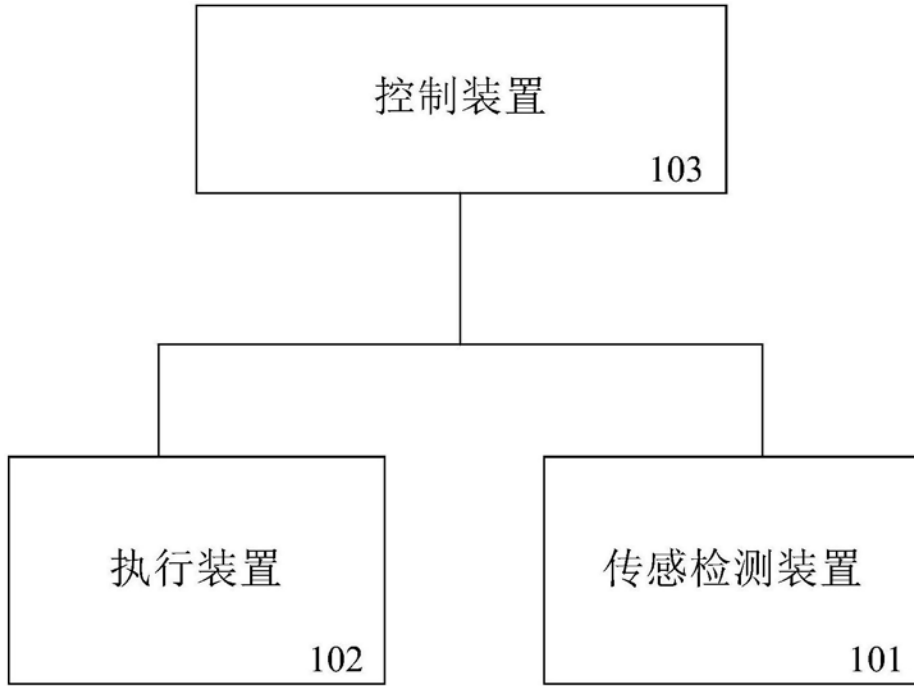


图1

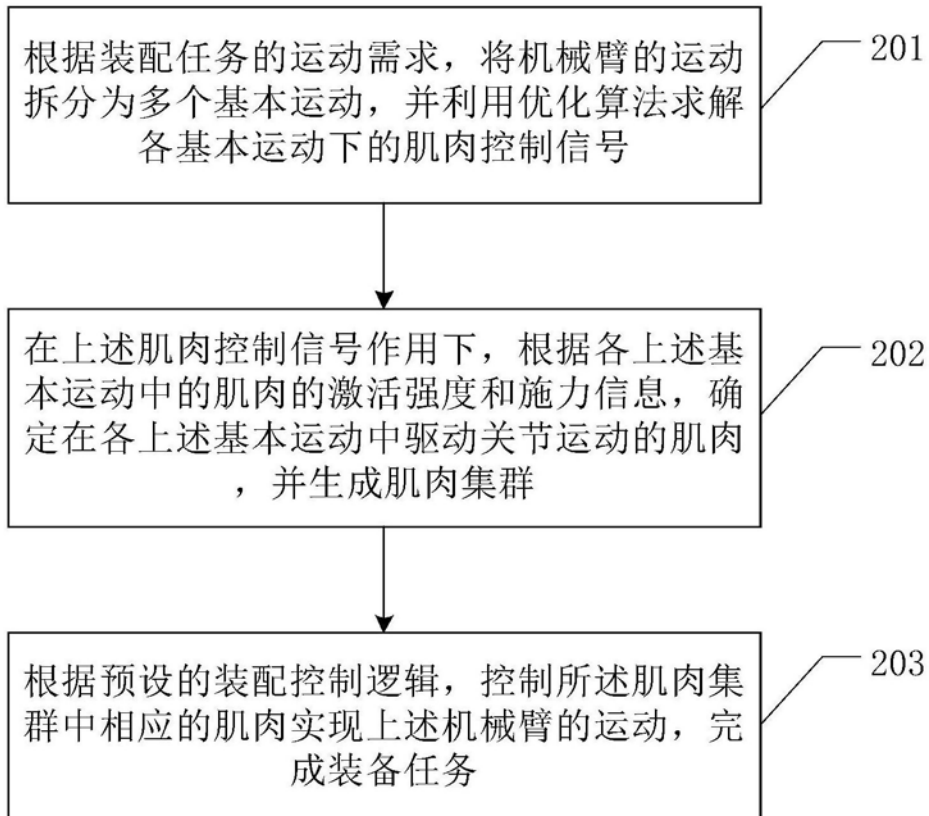


图2

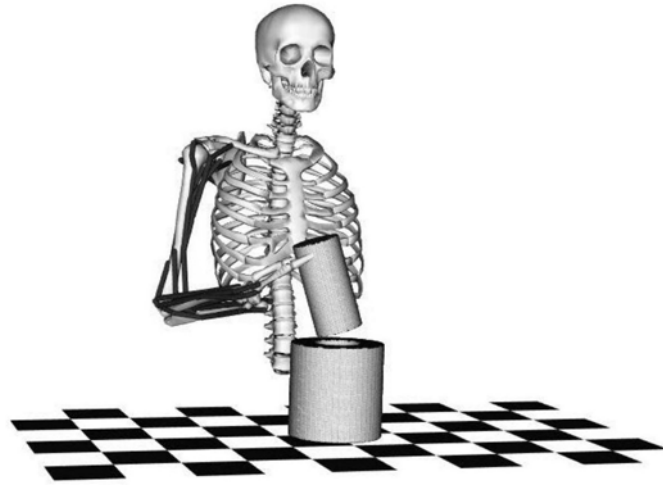


图3

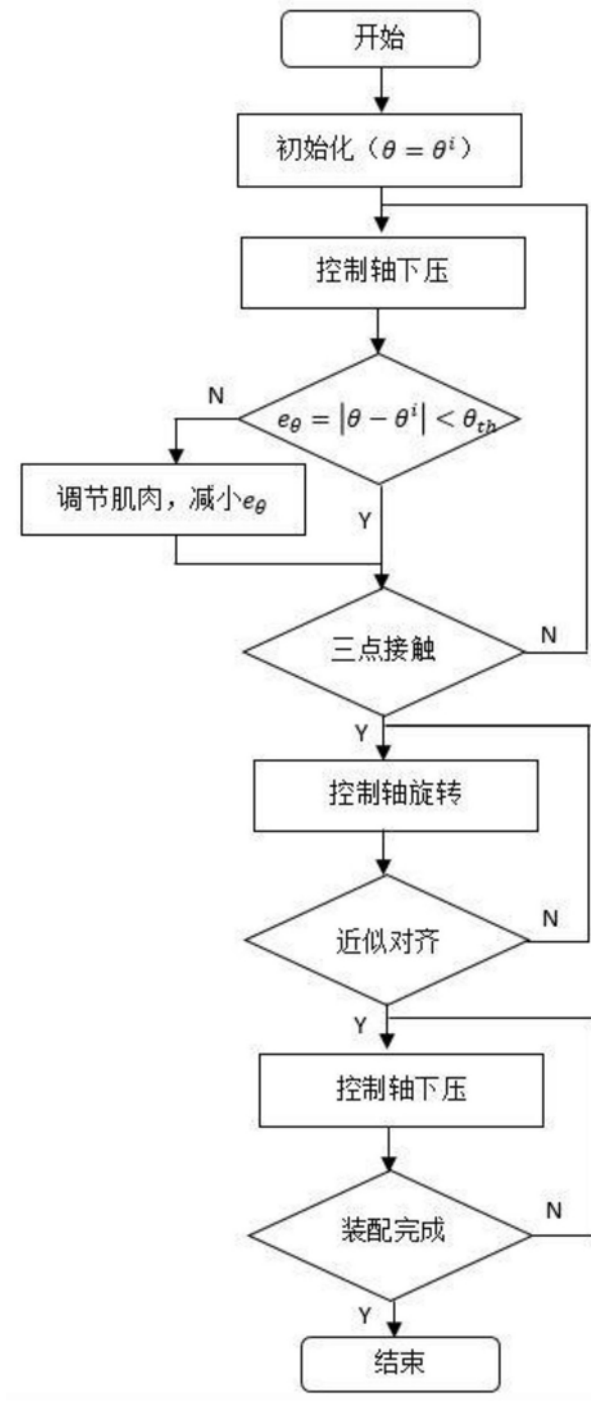


图4