

一种舵机组合控制策略的书写机器人设计^①

许晓飞^②

(北京信息科技大学自动化学院 北京 100192)

摘 要 本文讨论了受控制驱动力、外界扰动及参数不确定的一种舵机组合控制策略的书写机器人设计。首先,构建多舵机组合机械臂模型及其旋转拟合空间,解算并采集其正、逆运动学和动力学的仿真样本数据训练 RBF 神经网络自适应策略控制器,分析多舵机组合控制后的关节转角轨迹曲线及系统响应特性;进而,针对书写机器人组合舵机的运行轨迹目标跟踪末端书写过程,完成 4 自由度和 6 自由度舵机关节三维空间坐标的建模和仿真,采用 RBF 神经网络自适应策略和 PNN 神经网络策略完成书写机器人末端位置控制,比较两种控制策略的书写机器人末端控制过程的位置误差精度参数。研究表明,根据舵机组合控制策略进行书写机器人的建模与分析的特征参数,进行设计相应的书写机器人控制系统,笔尖末端轨迹运行控制能够 5s 内执行上位机指令,文中设计的硬笔书写机器人和软笔书写机器人都能写出具有良好辨识度的图形格式。

关键词 书写机器人, 动态模型, 舵机组合, RBF 神经网络

0 引 言

多舵机组合控制性能优劣体现了工业机器人精度。通过运动学、动力学和三维坐标建模的方法来提高多舵机组合,即关节轴臂的位姿精度;其中舵机组合控制的稳定性和收敛性依赖于执行器采用具体控制算法,如神经网络和自适应控制算法,或对机器人末端施加空间约束方程组,或优化利用 Lyapunov 分析稳定性,以及一些特殊微分方程建模方法、迭代改进不等式分析方法^[1,2]。本文讨论了对受负载、外界扰动及参数不确定的多舵机组合控制,如其运动学参数及其误差分析研究^[3,4]。采用基于机器人 D-H 模型定义,理论上可预估空间任意位置处的误差,实际上多采用在机器人末端施加空间约束,以两点间距离误差或位置误差最小作为约束条件^[5],通过最小二乘法^[6]、递归线性方程法^[7]、牛顿法^[8]等

算法进行优化,求解满足约束条件的各轴运动学参数。国内外研究文献表明,采用非线性算法,如 RBF 神经网络逼近的自适应鲁棒控制策略,对一个典型的非线性、多变量、强耦合极小问题设置运动轨迹跟踪^[9,10]。

本文设计的多舵机组合控制策略的书写机器人能够设计和调节可控终端的位置偏差接受指导、检查数据、反馈信息、输出控制信号,并实现书写机器人书写汉字的最终目的^[9-14]。根据不同的汉字笔画以及汉字中硬笔、软笔书写中的每个动作,来辨识、记忆每个笔画的详细轨迹规划,通过捕捉笔尖移动的位置和记录、重现写字时所使用的力度,采集其正、逆运动学的仿真样本数据训练 RBF 神经网络自适应控制器^[15-19]。采取分段式给速和 PID 调节,对撇捺结构的弯道采取“先刹车后倒转”的处理方式,简化了控制运算速度和算法调整,缩短了运算时间,得到最流畅的笔画线条,可以精细重现书写的一笔

① 北京信息科技大学教学改革(2016JGYB12)和北京市大学生科技创新(校教发[2018])资助项目。
② 女,1980 年生,博士,讲师;研究方向:机器人技术,智能系统设计与开发;联系人,E-mail: 18910782910@163.com
(收稿日期:2017-12-26)

一划。本文设计的书写机器人控制系统,使笔尖末端执行器能够实时地执行上位机汉字库发出的指令,达到指定位置完成写出可辨识度的汉字。汉字书写机器人是将先进控制技术,运动轨迹规划技术,优化技术以及机器人技术应用于中国硬笔和软笔书写汉字传统文化中,将得到国内外学者的进一步关注。

1 舵机组合控制策略的书写机器人的设计

舵机是一种位置伺服的驱动器,适用于那些需要角度不断变化并可以保持的控制系统。舵机组合控制策略是:一个舵机由接收机的通道接收控制信号进入信号调制芯片,获得直流偏置电压;多个舵机组合中通过串联或并联方式,其内部有一个基准电路,产生周期为 20ms、宽度为 1.5ms 的基准信号,将获得对应集总电路的直流偏置电压与电位器的电压比较,获得电压差的正负输出到电机驱动芯片决定电机的正反转。当电机转速一定时,通过级联减速

齿轮带动电位器旋转,使得电压差为 0,电机停止转动。

书写机器人通过设计多关节舵机组组合的联动控制,给定各关节的驱动力矩,使得机器人的末端位置、速度等状态变量跟踪给定字体形状理想轨迹,实现字体的书写图 1 为采用舵机组合控制策略设计的书写机器人,其中可实现 3 种书写指令发送方案,包括:方案 1 通过在控制器内部直接编写字符书写指令,采用控制器(发送)、数据线传输模块、控制器(接收)、联轴器、伺服舵机接收指令,最后输出书写末端位移,完成书写任务。方案 2 是在穿戴数据手套的条件下,用户可以直接发送字符书写指令,采用控制器(发送)、无线传输模块、控制器(接收)、联轴器、伺服舵机接收指令,最后输出书写末端位移,完成书写任务。方案 3 是在上位机设计字体库以及汉字书法集,用户可以根据字体的需要进行增添,通过上位机可以选择字体直接发送字符书写指令,采用控制器(发送)、数据线传输模块、控制器(接收)、联轴器、伺服舵机接收指令,在末端摩擦力不确定条件下最后输出书写末端位移,完成书写任务。

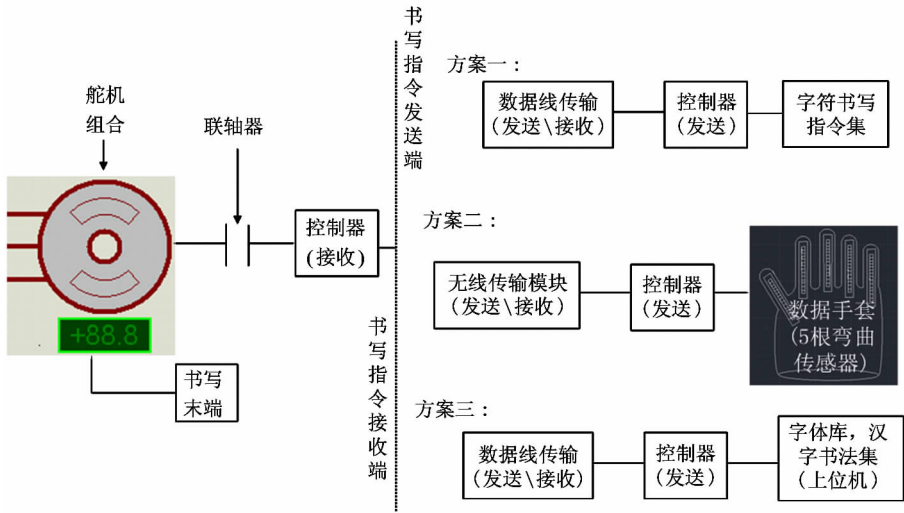


图 1 舵机组合控制策略的书写机器人方案设计原理图

2 书写机器人动态模型的基本原理

2.1 舵机组合控制的正逆运动学模型

考虑书写机器人至少采取两关节舵机组合,如图 2 所示的两连杆平面旋转关节机械臂,主要通过连杆长度 L_1 和 L_2 及关节角 θ_1 和 θ_2 等参数来定义。

表示关节位置的变量 θ_1 和 θ_2 称为关节变量。对于旋转关节,关节变量通常用关节角度 θ 表示;已知输入杆件的长度、关节角值等几何参数和关节角度矢量,可求出机械臂末端执行器的位置和姿态。

定义矢量 $\mathbf{R}$ 和 $\boldsymbol{\theta}$ 分别表示机械臂末端的位置和关节变量:

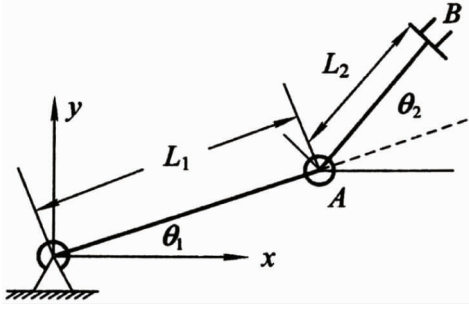


图2 两舵机组合连杆平面旋转关节机械臂

$$\mathbf{R} = [x, y]^T$$

$$\boldsymbol{\theta} = [\theta_1, \theta_2]^T$$

其中 x 和 y 是机械臂末端在 xoy 坐标系中的坐标, θ_1 和 θ_2 为两个杆件的转动角度。

根据几何学知识不难得出:

$$x = L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (1)$$

$$y = L_1 \sin \theta_1 + L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (2)$$

采用矢量函数的形式表示如下:

$$\mathbf{R} = \mathbf{f}(\boldsymbol{\theta}) \quad (3)$$

其中 $\mathbf{f}$ 为矢量函数。

由机械臂关节变量 $\boldsymbol{\theta}$ 求机械臂末端位置 $\mathbf{R}$, 即为正运动学问题。对于式(3)所示的函数, 两边同时微分, 即可得到机械臂末端速度和关节角速度的关系; 继续微分一次, 则可得到加速度之间的关系。对于采取两舵机组合两连杆平面旋转关节机械臂, 假定末端执行器的位置 $B(x, y)$ 已知。本系统的逆运动学模型分析是已知杆件的长度等几何参数和机械臂末端执行器的位置姿态, 求达到给定的位置姿态所需的机械臂关节角度矢量, 如图3所示。

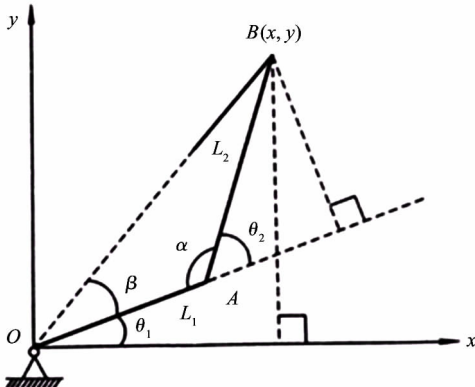


图3 两连杆平面旋转关节机械臂

根据几何关系可知, 在 $\triangle AOB$ 中, 利用余弦定理可求得 α :

$$\alpha = \arccos((L_1^2 + L_2^2 - (x^2 + y^2)) / (2L_1 L_2))$$

从而可得

$$\theta_2 = \pi - \alpha \quad (4)$$

为了求得 θ_1 , 可先按如下方法求得 β :

$$\tan(\beta + \theta_1) = y/x$$

所以 $\beta + \theta_1 = \arctan(y/x)$

又因为 $\tan \beta = L_2 \sin \theta_2 / (L_1 + L_2 \cos \theta_2)$

所以 $\beta = \arctan(L_2 \sin \theta_2 / (L_1 + L_2 \cos \theta_2))$ (5)

于是可得 θ_1 :

$$\theta_1 = \arctan(y/x) - \arctan(L_2 \sin \theta_2 / (L_1 + L_2 \cos \theta_2))$$

由机械臂末端位置 $\mathbf{R}$ 求关节变量 $\boldsymbol{\theta}$, 即为逆运动学问题, 从而确定各个关节变量的值。

2.2 舵机组合控制的动力学模型

两自由度构成两关节杆书写臂的 D-H 坐标系如图3所示, 其中, $\theta_1(t)$ 与 $\theta_2(t)$ 是舵机位置转角, $p_1(t)$ 和 $p_2(t)$ 是舵机位置力矩, M_1 和 M_2 分别是臂1和臂2的质量, 假设所有质量集中于臂的中心; 利用 Lagrange-Euler 和 Newton-Euler 方法可以得到一般化的机器人动力学方程。其对应的(含负载项和摩擦力项)动力学方程如下:

$$\begin{aligned} p_1 = & \left[\frac{1}{4}(M_1 R_1^2 + M_2 R_2^2) + \frac{1}{3}(M_1 L_1^2 + M_2 L_2^2) \right. \\ & \left. + M_2 L_1^2 + M_2 L_1 L_2 \cos \theta_2 \right] \ddot{\theta}_1 \\ & + \left[\frac{1}{4} M_1 R_2^2 + \frac{1}{3} M_2 L_2^2 + \frac{1}{2} M_2 L_1 L_2 \cos \theta_2 \right] \ddot{\theta}_2 \\ & - \frac{1}{2} M_2 L_1 L_2 \sin \theta_2 \dot{\theta}_2 - M_2 L_1 L_2 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \\ & + \frac{1}{2} M_2 L_2 g \cos(\theta_1 + \theta_2) + \left(\frac{1}{2} M_1 + M_2 \right) L_1 g \cos \theta_1 \\ & + \nu_1 \dot{\theta}_1 + L_1 \sin \theta_2 f_x + (L_2 + L_1 \cos \theta_2) f_y + n_x \\ p_2 = & \left(\frac{1}{4} M_1 R_2^2 + 2 M_2 L_1 L_2 \cos \theta_2 + \frac{1}{3} M_2 L_2^2 \right) \ddot{\theta}_1 \\ & + \left(\frac{1}{4} M_1 R_2^2 + \frac{1}{3} M_2 L_2^2 \right) \ddot{\theta}_2 + \frac{1}{2} M_2 L_1 L_2 \dot{\theta}_1^2 \sin \theta_2 \\ & + \frac{1}{2} M_2 L_2 g \cos(\theta_1 + \theta_2) + \nu_1 \dot{\theta}_2 + L_2 f_y + n_y \end{aligned} \quad (6)$$

从动力学方程组式(6)可以看出, 其动力学特

征既非线性又相互耦合。此外,动力学方程组中的参数如质量 M_1 和 M_2 及臂长 L_1 和 L_2 都很难精确得到。

采用智能控制策略,提供给第 j 个舵机位置的力矩可以由式(7)计算:

$$p_j(t) = K_{pj}u_j(t) + K_{vj}\int u_j(t)dt + K_{dj}\dot{e}_j(t) \quad (7)$$

其中, K_{pj}, K_{vj} 和 K_{dj} 是控制器的参数, $e_j(t) = \theta_j(t_0) - \theta_j(t)$ 是第 j 个舵机角变量误差,其中 $j = 1, 2$ 。

3 舵机组合控制策略的建模与仿真

运用 Matlab 工具箱中的 Robotics Toolbox 进行机械手的建模,在软件中通过 drivebot 函数来驱使伺服舵机关节运动,为书写机械臂模型每个自由度 q 生成一个变化范围的滑动条,以手动的方式来驱动各个关节,执行书写机械臂笔尖末端运动,如图 4 所示。

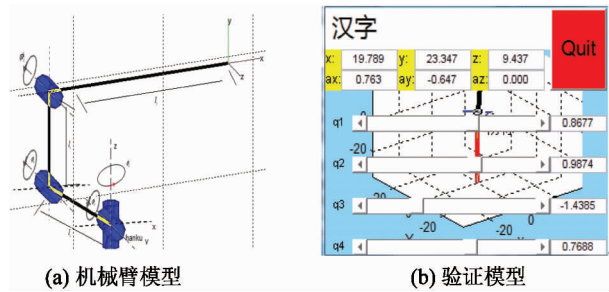


图 4 书写机械臂模型的构建与验证

图 5 所示为建立的多舵机组合关节模型,建立 D-H 坐标参数,包括对末端执行器位姿误差有影响的关节间隙距离 l_i ,若给定关节舵机变量的值 θ_i ,可用式(1)正运动学方程计算出相应末端执行器位姿,每个伺服舵机变量范围是 $\pm 90^\circ$ 。

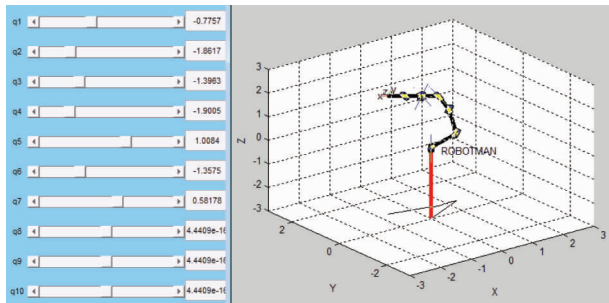


图 5 构建多舵机组合关节模型

在给定的初始条件下进行实验,控制器通过运动轨迹关节空间运动函数代码命令发布控制 4 个舵机关节组合位置变化,实现笔尖目标位置空间的准确控制,而 4 个舵机关节随时间转动角度变化,实验过程中从各个示波器得到的不同变量值的时间曲线如图 6 所示,其中纵坐标为舵机关节移动的位移转角,单位是弧度,采样点舵机关节 1 的实际舵机关节转角位置值能够精确地跟踪目标设定值,4 个自由度的舵机组组合间存在非常小的延时。

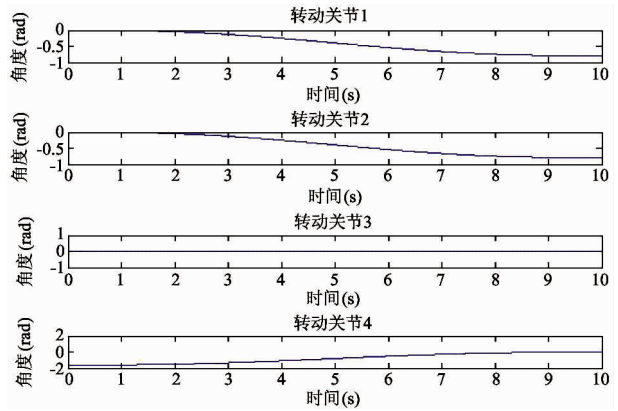


图 6 多舵机组合控制关节角度变换曲线

首先采用训练 RBF 神经网络控制策略,利用上节所求解的正运动方程与逆运动方程和 Matlab Robotics 工具箱 fkine 语句,即为末端机械手位姿所对应的齐次变换矩阵,用 ikine 函数求解对应的关节转角。设 RBF 神经网络分类器有 d 个输入节点, $X = [x_1, x_2, \dots, x_d]^T \in R^d$, 训练样本总数为 n , 网络的最后的一个隐层有 m 个节点,网络的输出节点数为 c 。对于某个输入向量 X ,最后隐含层节点的输出为 $o_i (i = 1, 2, \dots, m)$, 神经网络的输出为 $Y = [y_1, y_2, \dots, y_c]^T$ 。神经网络的输出层节点的输出为

$$y_i = \omega_{\sigma i} + \sum_{j=1}^M \omega_{ij} o_j \quad (8)$$

式中, $\omega_{\sigma i}$ 和 ω_{ij} 分别是第 i 个输出节点的偏移量和 j 个隐含节点到第 i 个输出节点的权值。选择基函数为径向基函数的权值函数,宽度越小,选择性越强。

对于输出样本 X ,神经网络的希望输出为 $T = [t_1, t_2, \dots, t_c]^T$, 设第 i 个输出节点的希望输出为 t_i , 则神经网络学习的均方误差函数 E 为

$$E = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^c (t_i - y_i)^2 \quad (9)$$

针对二关节舵机组合的书写轴臂系统(不考虑摩擦力),其动态特性模型为

$$D(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) = \tau + d \quad (10)$$

其中:

$$D(q) = \begin{bmatrix} v + q_{01} + 2\gamma\cos(q_2) & q_{01} + q_{02}\cos(q_2) \\ q_{01} + q_{02}\cos(q_2) & q_{01} \end{bmatrix}$$

$$C(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} -q_{02}\dot{q}_2\sin(q_2) & -q_{02}(\dot{q}_1 + \dot{q}_2)\sin(q_2) \\ q_{02}\dot{q}_1\sin(q_2) & 0 \end{bmatrix}$$

$$G(q) = \begin{bmatrix} 15g\cos q_1 + 8.75g\cos(q_1 + q_2) \\ 8.75g\cos(q_1 + q_2) \end{bmatrix}$$

这时, $v = 13.33$, $q_{01} = 8.98$, $q_{02} = 8.75$, $g = 9.8$ 。

误差扰动、位置指令和系统的初始状态分别为:

$$d_1 = 2, d_2 = 3, d_3 = 6$$

位置指令为

$$\begin{cases} q_{1d} = 1 + 0.2 \sin(0.5\pi t) \\ q_{2d} = 1 - 0.2 \sin(0.5\pi t) \end{cases}$$

被控对象的初值为

$$[q_1 \ q_2 \ q_3 \ q_4] = [0.6 \ 0.3 \ 0.5 \ 0.5]^T,$$

取 $\Delta D, \Delta C, \Delta G$ 的变化量为 20%。仿真程序中,自适应律采取默认的, $\gamma = 20$, $k_1 = 0.001$, 自适应参数取控制率采用神经网络控制,控制参数为:

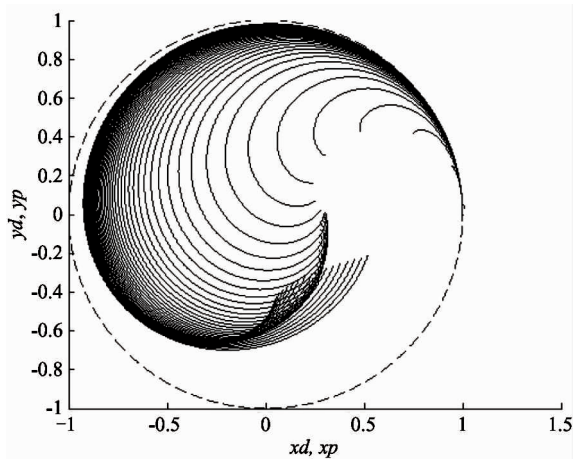
$$Q = \begin{bmatrix} 50 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 50 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 50 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 50 \end{bmatrix}$$

基函数参数的初始值分别取 $[-2 \ -1 \ 0 \ 1 \ 2]$ 和 3.0。在实际仿真中,通过分别输入与输出样本向量,在使用 newrb 函数时选择径向基神经元层散布常数 $\text{spread} = 1.25$,当网络误差目标(goal)为 0.01 时,能够得到很好的仿真结果。

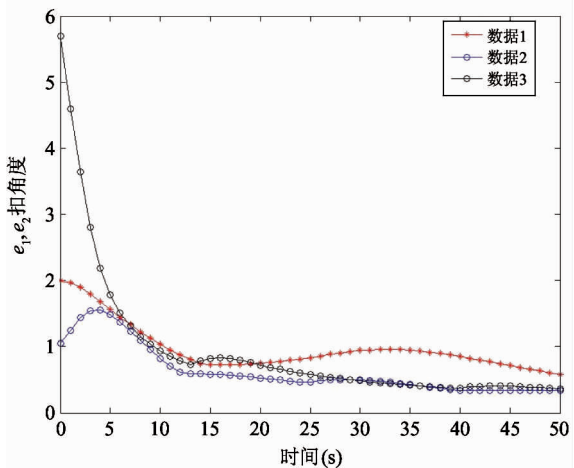
采用上述 RBF 神经网络控制策略,书写机器人末端位置初始值逼近目标值的过程轨迹曲线如图 7 所示,图 7(a)中黑色实线条为位置初始值 (x_p, y_p) 轨迹变化呈现,黑色虚线条是系统上位机设定理想信号目标值 (x_d, y_d) 的轨迹位置曲线。

图 7(b)表明,通过采集 3 次不同初始目标位置值,在小延时、极小位置增益、参数不确定条件下,实际舵机关节转角位置值都能在 5s 后精确地跟踪目

标设定值,只是在控制过程中有不同程度的偏离与逼近值;使用 RBF 神经网络方法使机械手的路径偏差得到更好的改善,输出能够很好地跟随输入,稳定状态时误差接近零,系统稳定性好。



(a) 目标位置和设定位置跟踪过程



(b) 目标位置和设定位置误差收敛过程

图 7 书写机器人末端轨迹运动过程

4 舵机组合控制策略的书写机器人实验

本文提出的多舵机组合控制策略的书写机器人设计在建模仿真的基础上进行实物关节舵机的组合,其中设计的软笔书写机器人采用 6 个自由度与地面的摩擦力,舵机转向相当于给笔尖一个向心力,在方向量不变时,笔尖克服重力,考虑舵机控制脉宽不变,则利用摩擦力进行匀速往复运动;末端位置的运动学模型分析如图 8 所示,模型运动学反解算的总体过程为:已知末端软笔的目标位姿→求出对

应的 6 根绳子的长度——与初始长度进行比较,求出各绳的伸长或缩短量——解算各个伺服舵机应转过的角度,便可以通过上位机发送相应的指令,使舵机转动,从而控制软笔运动。

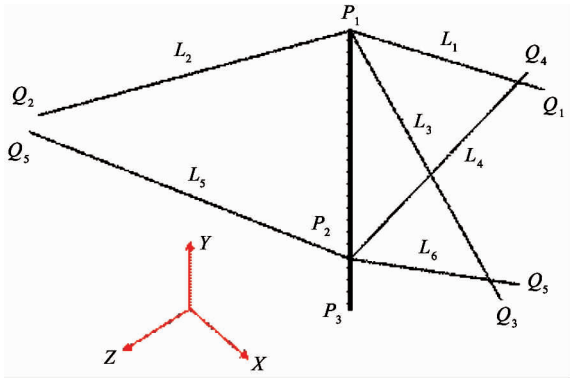


图 8 软笔书写机械臂模型

在本模型中,6 根绳子的支撑点 $Q_1 \sim Q_6$ 的位置是固定的,即坐标已知。同时,毛笔的两个控制点 P_1 、 P_2 和毛笔笔尖点 P_3 的相对位置不变。以 P_2 点的坐标 $(X_{P_2}, Y_{P_2}, Z_{P_2})$ 以及毛笔所在直线的姿态单位向量 (i, j, k) 来描述毛笔的位姿。 P_2 点的坐标已知,则 P_1 点的坐标为:

$$\begin{cases} X_{P_1} = X_{P_2} + i \times L_{P_1P_2} \\ Y_{P_1} = Y_{P_2} + j \times L_{P_1P_2} \\ Z_{P_1} = Z_{P_2} + k \times L_{P_1P_2} \end{cases} \quad (11)$$

由 P_1 、 P_2 的坐标以及 $Q_1 \sim Q_6$ 的坐标即可计算得到 6 根绳子的长度:

$$\begin{cases} L_1 = \sqrt{(X_{P_1} - X_{Q_1})^2 + (Y_{P_1} - Y_{Q_1})^2 + (Z_{P_1} - Z_{Q_1})^2} \\ L_2 = \sqrt{(X_{P_1} - X_{Q_2})^2 + (Y_{P_1} - Y_{Q_2})^2 + (Z_{P_1} - Z_{Q_2})^2} \\ L_3 = \sqrt{(X_{P_1} - X_{Q_3})^2 + (Y_{P_1} - Y_{Q_3})^2 + (Z_{P_1} - Z_{Q_3})^2} \\ L_4 = \sqrt{(X_{P_2} - X_{Q_4})^2 + (Y_{P_2} - Y_{Q_4})^2 + (Z_{P_2} - Z_{Q_4})^2} \\ L_5 = \sqrt{(X_{P_2} - X_{Q_5})^2 + (Y_{P_2} - Y_{Q_5})^2 + (Z_{P_2} - Z_{Q_5})^2} \\ L_6 = \sqrt{(X_{P_2} - X_{Q_6})^2 + (Y_{P_2} - Y_{Q_6})^2 + (Z_{P_2} - Z_{Q_6})^2} \end{cases} \quad (12)$$

已知坐标系中设置了软笔控制点 P_1 、 P_2 和常量 P_3 的相对位置值,固定 6 自由度的关节支撑点 $Q_1 \sim Q_6$,通过 P_1 、 P_2 坐标值和 $Q_1 \sim Q_6$ 坐标值能计算

出 6 根绳子的长度,将各绳的长度为 $L_1 = L_2 = L_3 = L_U, L_4 = L_5 = L_6 = L_D$ 代入式(13) 计算。

$$\begin{cases} \theta_1 = \theta_0 + (L_1 - L_U) \times 180^\circ / \pi R \\ \theta_2 = \theta_0 + (L_2 - L_U) \times 180^\circ / \pi R \\ \theta_3 = \theta_0 + (L_3 - L_U) \times 180^\circ / \pi R \\ \theta_4 = \theta_0 + (L_4 - L_D) \times 180^\circ / \pi R \\ \theta_5 = \theta_0 + (L_5 - L_D) \times 180^\circ / \pi R \\ \theta_6 = \theta_0 + (L_6 - L_D) \times 180^\circ / \pi R \end{cases} \quad (13)$$

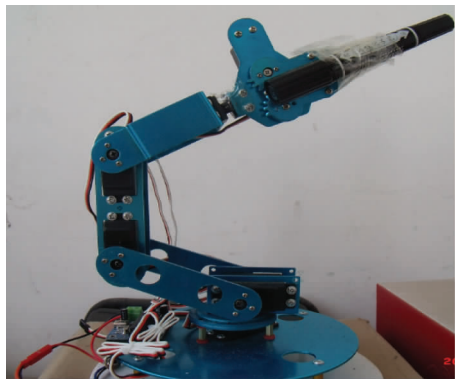
式中, R 为绕线轮的半径, θ_0 是舵机的标定位置初始角度(即 150°),则各伺服舵机相对于初始位置的转角即可计算得出。实际制作的软笔书法机器人样机上面 3 根绳与下面 3 根绳伸长时舵机转动的方向是相反的,样机结构参数是:上 3 绳初始绳长: $L_U = 209.045\text{mm}$,下 3 绳初始绳长: $L_D = 186.671\text{mm}$,绕线轮半径: $R = 37.5\text{mm}$ 。两控制点间距离: $L_{P_1P_2} = |P_1P_2| = 180\text{mm}$,6 个支撑点坐标(单位 mm): $Q_1 (7.5, 105.5, -174.7)$; $Q_2 (-155.08, 105.5, 80.87)$; $Q_3 (147.58, 105.5, 93.68)$; $Q_4 (-7.5, 105.5, -174.74)$; $Q_5 (-147.58, 105.5, 93.68)$; $Q_6 (155.08, 105.5, 80.87)$ 。最后设计书写机器人样机的实物如图 9 所示。



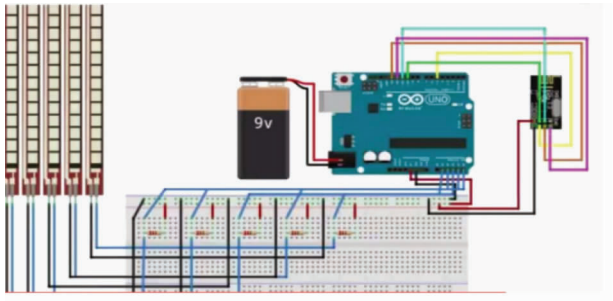
图 9 舵机组合控制策略的软笔书写机械臂样机

本文提出多舵机组合控制策略的书写机器人设计是在建模仿真分析的基础上,进行实物关节舵机组合控制,其中轴臂舵机组合的 4 自由度硬笔书写机器人实物包括书写末端、控制器和多个伺服舵机串联,如图 10 所示。

多舵机组合控制书写机器人书写模拟了复杂人类书写汉字的控制行为,即末端笔尖运行位置轨迹问题,在完成调试信号调理、采样速率、微定位平台响应速度等方面参数指标后,实验中的多舵机组合



(a) 书写机器人的书写端



(b) 书写机器人的书写控制端

图 10 舵机组合控制策略的硬笔书写机器人样机

轴臂转角位置控制跟踪的二维空间移动,采用一种基于非线性回归理论的前馈式神经网络模型,由高斯函数为基函数来形成联合概率密度分布的估计方法和贝叶斯优化规则,构造了一种概率密度分类估计和并行处理的概率神经网络(PNN),其结构与RBF神经网络类似,由输入层、隐含层及输出层组成,不同的是输出采用竞争输出代替线性输出;PNN隐含层神经元更多,隐含层空间维数较高,理论上网络逼近精度就越高。

PNN 与前文中的 RBF 神经网络控制策略相比较,得到多舵机组合的关节位置误差曲线如图 11 所

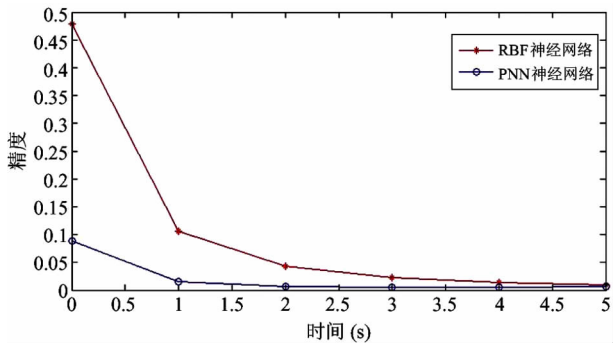


图 11 本文采用两种舵机组合控制策略的书写末端位置控制精度曲线

示,从曲线中可以看出 PNN 神经网络控制在模型精度与运算速度上有一定优势,其位置控制误差小,控制精度高。

5 结 论

本文设计的多舵机组合轴臂书写机器人包括系统的搭建,控制策略的选择,动力学、运动学模型的仿真设计。详细分析了不同控制器的稳定性与控制误差,仿真结果以及实际制作实物书写机器人系统的测试性能表明,在小延时、多舵机控制笔尖执行端的测试性能表明,在小延时、多舵机控制笔尖执行端参数不确定性条件下,本文采用两种控制策略能够保证系统的稳定性,精确地完成基于摩擦力反馈的多舵机角度位置跟踪。实验与仿真结果一致,书写机器人书写的汉字字体结构形状具有人眼辨识度,能够满足一般设计指标,可进一步扩展多自由度舵机控制系统的更多应用。

然而,本文设计方法也存在一定的局限性,主要表现在采用舵机组合控制策略的书写机器人设计中,当舵机组合的数量增加时,会出现硬件系统各个部件连接机械死点问题,以及连接线材材质强度问题,或者是集总电路以及程序控制信号延迟问题。下一步将进行多种控制策略的应用比较,寻求多舵机组合的个数和控制效能的工程化模型,找到最优化的参数分析指标。

参考文献

[1] 雷静桃,蒋运旗,吴启帆. 柔索驱动仿生机体弯曲动力学建模与仿真[J]. 高技术通讯, 2017,27(8):735-743

[2] 刘琼. 导引概率图与显著特征相结合的行人目标检测[J]. 高技术通讯, 2016,26(5):464-474

[3] 杨国军,崔平远,李琳琳. 基于神经网络的机械手鲁棒输出跟踪控制[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2002,34(5): 628-631

[4] 陈雯柏,吴细宝,许晓飞,等. 智能机器人原理与实践[M]. 北京:清华大学出版社,2016. 47-66

[5] Xu X F. Cymbal piezoelectric composite transducer for soccer robot attitude detection application[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 513-517: 1851-2854

[6] 刘金琨. 机器人控制系统的设计与 Matlab 仿真[M]. 北京:清华大学出版社,2016

- [7] 许晓飞, 邹建勇. 仿人机器人结构设计. 电子技术 [J]. 2015(2):23-27
- [8] 王玉华, 于双和, 杜佳璐, 等. 不确定非完整移动机器人的自适应模糊控制[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(2): 469-473
- [9] Agilent Technologies. Agilent de-embedding and embedding s-parameter networks using a vector network analyzer, Application note 1364-1 [EB/OL]. <http://www.doe.carleton.ca/~nagui/Appnotes/Agilent/NetworkAnalyzer/5980-2784EN.pdf> ;Doe, 2004
- [10] Mostefai I, Denai M, Hori Y. Robust tracking controller design with uncertain friction compensation based on a local modeling approach [J]. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 2009, 15(5): 746-756
- [11] Stefano C, Bruno S, Luigi V. Force/position regulation of compliant robot manipulators[J]. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 1994, 39(3): 647-652
- [12] Grotjahn M, Daemi M, Heimann B. Friction and rigid body identification of robot dynamics[J]. *International Journal of Solids and Structures*, 2001, 38(10): 1889-1902
- [13] Chiu C S, Lian K Y, Wu T C. Robust adaptive motion/force tracking control design for uncertain constrained robot manipulators[J]. *Automatica*, 2004, 40(12): 2111-2119
- [14] Kwan C M, Yesildirek A, Lewis F L. Robust force/motion control of constrained robots using neural net network [J]. *Journal of Robotic Systems*, 1999, 12(16): 697-714
- [15] ALQAUDI B, MODARES H, Ranatunga I, et al. Model reference adaptive impedance control for physical human-robot interaction [J]. *Control Theory and Technology*, 2016, 14(1): 68-82
- [16] Zoe D, Suguru A. A position/force control for a robot finger with soft tip and uncertain kinematics[J]. *Journal of Robotic Systems*, 2002, 44(4): 115-131
- [17] Hinton G E, Osindero S, The Y W. A fast learning algorithm for deep belief nets [J]. *Neural Computation*, 2006, 18(7): 1527-1554
- [18] Kim B S, Calise A J. Nonlinear Flight control using neural networks[J]. *Journal of Guidance Control and Dynamics*, 1997, 20(1): 66-70
- [19] Pal N R, Pal S, Das J, et al. SOFM-MLP: a hybrid neural network for atmospheric temperature prediction [J]. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 2003, 41(12): 2783-2791

A multi-servo composite control strategy application to writing robot

Xu Xiaofei

(School of Automation, Beijing Information Science and Technology University, Beijing 100192)

Abstract

A writing robot design on multi – servo composite control strategy is discussed with the driving force, external disturbances and uncertain parameters. Firstly, the joint rotation trajectory curve and system response characteristics of the writing robot are produced from the RBF neural network, which the controller is trained by simulation sample data from the rotation combination fitting space, calculation and collection of the positive and inverse kinematics and dynamics. Then, comparing the position error precision parameters from terminal control process of two control strategies for writing robot, the RBF neural network and the PNN neural network are trained by simulation sample data from the Modeling of 3D coordinates of servo joints with four degrees or six degrees of freedom to show the target terminal tracking control process of a writing robot. The research indicated that the pen writing robot and brush writing robot designed in the paper could output good format graphics to be identified, the multi – servo composite control system of the writing robot could run and perform computer instruction in 5s.

Keywords: writing robot, kinematic and dynamic model, a combined steering gear, RBF neural network