

# 基于大数据聚类的工业遥操作机器人位姿定位控制系统设计

周 香

(陕西电子信息职业技术学院 信息工程系, 西安 710500)

**摘要:** 针对工业遥操作机器人位姿定位过程中难以同步控制位置和姿态角, 导致位姿定位准确性较差的问题, 设计基于大数据聚类的工业遥操作机器人位姿定位控制系统; 通过位姿传感器测量机器人位置与姿态, 设计定位控制器和驱动器执行机器人位姿定位控制指令; 在系统硬件的支持下, 考虑机器人组成结构、运动原理和动力学理论, 构建机器人数学模型, 在该模型下模拟机器人遥操作过程, 确定机器人位姿的定位控制目标; 实时采集机器人位姿数据, 利用大数据聚类技术计算定位控制量, 在控制器的约束下, 实现系统的位姿定位控制功能; 实验结果表明, 综合多种类型的运动情况, 在优化设计系统的控制下, 机器人的位置误差平均值为 4.5 mm, 姿态角控制误差为 0.04°; 根据实验结果可得优化设计系统能够实现工业遥操作机器人位姿定位的精准控制。

**关键词:** 大数据聚类; 工业遥操作; 机器人位姿; 定位控制系统

## Design of Position and Orientation Control System for Industrial Teleoperation Robot Based on Big Data Clustering

ZHOU Xiang

(Department of Information Engineering, Shaanxi Electronic Information Institute, Xi'an 710500, China)

**Abstract:** Aiming at the problem that it is difficult to control the position and attitude angle synchronously in the position and orientation positioning process of industrial teleoperation robot, which leads to the poor accuracy of position and orientation positioning, the position and orientation positioning control system of industrial teleoperation robot based on big data clustering is designed. The position and attitude of the robot are measured by the position and attitude sensor, and the positioning controller and driver are designed to execute the robot position and attitude positioning control command. With the support of the system hardware, considering the composition and structure of the robot, the principle of motion and the theory of dynamics, the mathematical model of the robot is constructed. Under this model, the teleoperation process of the robot is simulated, and the positioning control target of the robot's posture is determined. Real-time collection of robot pose data, use of big data clustering technology to calculate the positioning control amount, under the constraints of the controller, realize the positioning control function of the system. The experimental results show that under the control of the optimal design system, the average position error of the robot is 4.5 mm and the attitude angle control error is 0.04°. According to the experimental results, it can be concluded that the optimized design system can realize the precise control of the position and orientation of the industrial teleoperation robot.

**Keywords:** big data clustering; industrial teleoperation; robot posture; positioning control system

## 0 引言

遥操作机器人是工业机器人的一种, 遥操作是一项远程作业技术<sup>[1]</sup>, 通过现场感知技术, 向操作员远程提供现场机器人及其周围环境的信息, 实现了人机之间的优势互补, 为当前的非结构环境下的自动控制提供了一种很好的解决方法<sup>[2]</sup>。工业遥操作机器人具有操作便捷、安全等特点, 因此在诸多领域中得到广泛应用<sup>[3]</sup>。工业遥控机器人作为一种多学科交叉应用的工业远程机器人, 其在执行任务过程中所遇到的问题较多, 其中以位姿问题最为突出。为此, 相关领域研究学者纷纷对工业遥操作机器人位姿定位控制系统作出了研究。

文献 [4] 提出基于 PLC 和机器视觉的控制系统, 利用机器视觉技术, 采用图像传感器拍摄目标物体图像, 提取出目标图像的坐标和位姿, 利用 PLC 驱动控制采摘机器人以最优路径和最佳姿态。该方法对机器人位置控制精度较好, 但该方法未考虑机器人位姿角度, 对机器人姿态角的控制精度较差。文献 [5] 提出基于六维鼠标的控制系统以及基于 ROS 的控制系统, 鼠标通过 USB 与机器人控制器连接, 控制器收到鼠标数据后, 对鼠标坐标系下的数据进行坐标系转换, 通过轨迹控制器生成机器人移动轨迹, 生成的轨迹再经过逆解后作为指令传入各轴伺服实现对机器人的控制。该方法的控制实时性较好, 但对机器人的位置控

收稿日期: 2023-01-29; 修回日期: 2023-03-03。

作者简介: 周 香(1983-), 女, 陕西西安人, 硕士, 讲师, 主要从事计算机技术方向的研究。

引用格式: 周 香. 基于大数据聚类的工业遥操作机器人位姿定位控制系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(8): 104-109, 121.

制精度较差。

大数据聚类是一种用于对样本或指数进行分类的静态数据分析技术。通过大数据聚类技术的应用，对工业遥操作机器人位姿定位控制系统进行优化，以期能够提升系统的控制功能，并达到预期效果。

### 1 系统硬件设计

从硬件和软件两个方面优化设计工业遥操作机器人位姿定位控制系统，其中系统硬件的作用是为软件功能的实现提供支持，在此次系统硬件优化设计工作中，由于应用了大数据聚类技术，因此需要加设该技术的运行元件，并在传统系统硬件的基础上，对相关硬件设备进行更新优化，保证硬件设备之间的适配程度。

工业遥操作机器人位姿定位控制系统硬件由机器人位姿传感器、定位控制器、驱动器、大数据存储器与聚类处理器组成，通过位姿传感器采集工业遥操作机器人实际位姿数据，通过定位控制器生成的实时控制命令，利用驱动器驱动工业遥控机器人按照控制指令进行定位控制，最后通过大数据存储器与聚类处理器实现工业遥操作机器人位姿数据的处理及存储。

#### 1.1 机器人位姿传感器

为了完成对工业遥操作机器人实时位姿的精准控制，需要确定机器人各个组成构建在任意时刻的实际位姿数据，并获取机器人所处周围环境的具体信息，因此装设位姿传感器设备<sup>[6-8]</sup>。优化设计的位姿传感器由位置传感芯片、姿态角传感芯片两部分组成，其中位置传感芯片以红外测距作为传感原理，遵循三角测量原理，根据红外反馈信号的不同，得出当前机器人位置与周围环境之间的关系，从而得出机器人实时位置的传感检测结果。位姿传感器中姿态角传感芯片的内部结构如图 1 所示。

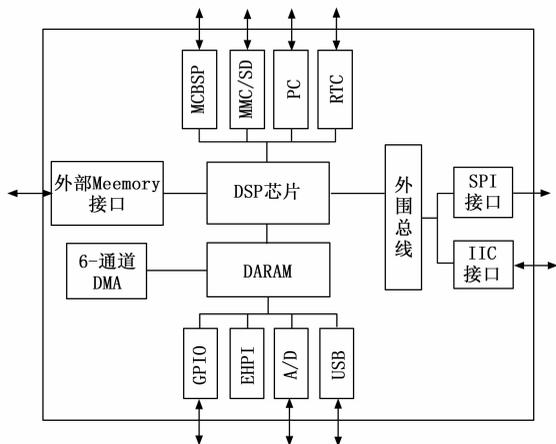


图 1 位姿传感器中姿态角传感芯片内部结构图

如图 1 所示，姿态角传感芯片由磁力计、加速度计以及陀螺仪 3 个部分组成，拥有 SPI、IIC 两种最基本的数据通信方式。该传感芯片采用 16 比特 ADC，其器件结构与其匹配的参数范围比较宽。系统利用 IIC 总线可以对存储器中的数据进行读取。通过传感器的优化能够同时获得机器人

姿态角、方位、位置、速度等参数信息，将优化设计的位姿传感器安装到机器人底座、遥操作执行末端等位置上。

#### 1.2 定位控制器

采用 PC+PMAC 架构优化定位控制器，利用结构化的设计理念，通过一个标准的界面连接各个模块，构成一个整体的位置控制器。PMAC 是一种能够实现 PLC 控制的多轴运动控制元件，能够完成数据采集和处理工作。内置 DSP 芯片具有快速的运行能力，可以实现对数控设备如机器人的实时控制<sup>[9-11]</sup>。PMAC 运动控制器具有多种扩展接口，可以与传感器、驱动器等元件进行良好的数据交换，最多可达 32 个移动轴，以满足目前多自由度机器人的控制需求。PMAC 运动控制器具有大量的动力学功能，能够在开发过程中直接调用。控制器内装有相应的数字滤波器，由控制器产生的控制命令可以采用标准编码或二进制格式传送。该位置控制器直接与机械手的伺服器相连，以确保由控制器所生成的实时控制命令可以直接应用于工业遥控机器人。

#### 1.3 驱动器

选用电气驱动的方式，设计工业遥操作机器人位姿定位控制系统的驱动器，工业遥操作机器人位姿定位控制。系统中驱动器的作用原理电路如图 2 所示。

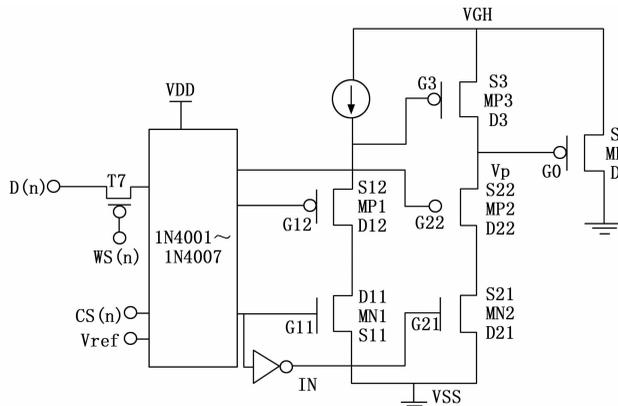


图 2 驱动器原理电路图

图 2 中的驱动器装有一个光电编码器件，它与驱动器的对应接口相连接，系统控制器向驱动器发送一条控制命令，控制器就能获得该驱动器的旋转位置，由此构成一个闭环。系统优化设计的驱动器具有多种控制方式，可根据实际操作要求设定位置控制方式。通过控制器的控制命令，可以精确地驱动工业遥控机器人，并自动调节增益，使其能最大限度地按照命令执行。在机器人的交流伺服驱动装置中，需要对相关的电气部件应进行合理布局。由于这些电子元件彼此间存在着一定的干扰，所以在装配好了驱动器之后，还要对噪声终端的电压进行检测和调节。

#### 1.4 大数据存储器与聚类处理器

为了给大数据聚类技术提供硬件支持，在传统系统硬件的基础上，加设存储器和处理器。其中大数据存储器选用的是 FIFO 存储器，该存储器采用双指针的环状 FIFO 结构，通过两个 SRAM 实现存储数据的读写操作，二者之间

是相互独立的<sup>[12]</sup>。FIFO 存储器在某一特定的时间周期内无法准确地计算出可用的内存。

处理器选择 TMS320VC6609A 作为核心应用芯片,使得处理器可以通过片选信号的方式,选择合适的数据存储空间。除上述硬件元素外,控制系统硬件中还包含显示器、外设接口、通信网络等部分,为节省系统的开发成本,在不影响系统运行性能的前提下,沿用传统系统硬件的部分元件,并将改装元件与传统元件以相同的方式接入到供电系统中,保证处于运行状态的硬件设备不会出现不适配以及互相干扰的情况。

## 2 系统软件设计

利用相关的系统硬件设备,结合工业机器人的遥操作原理,确定遥操作过程中机器人的预期位姿,对机器人的实时位姿进行测量。首先构建工业遥操作机器人数学模型,求解工业遥操作机器人操作规划轨迹与姿态角,实时采集工业遥操作机器人位姿数据,利用大数据聚类技术计算具体的控制量,通过机器人位姿补偿,实现工业遥操作机器人位姿定位控制。

### 2.1 构建工业遥操作机器人数学模型

综合考虑工业遥操作机器人组成结构、运动原理以及动力特性 3 个方面,构建机器人的数学模型。工业遥操作机器人由底座、躯干以及遥操作元件 3 个部分,通过 3 个组成成分的相互解耦执行遥操作,因此可以采用 DH 坐标变换法对机器人进行分别建模<sup>[13]</sup>,以遥操作元件部分为例,该组成部分的建模结果为:

$$R_{operation}^i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i & 0 & \vartheta_i \\ \sin\theta_i \cos\vartheta_i & \cos\theta_i \cos\vartheta_i & -\sin\vartheta_i & -\sin\vartheta_i d_i \\ \sin\theta_i \sin\vartheta_i & \cos\theta_i \sin\vartheta_i & \cos\vartheta_i & \cos\vartheta_i d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中,变量  $\theta_i$  和  $\vartheta_i$  分别为遥操作的关节角和连杆转角,  $d_i$  为连杆偏距。同理可以得出底座和躯干部分的建模结果,最终通过 3 个部分的整合,得出工业遥操作机器人运动学模型的构建结果为:

$$R_{robot}^i = R_{base}^i \cdot R_{trunk}^i \cdot R_{operation}^i \quad (2)$$

另外在动力学理论的支持下,得出工业遥操作机器人动力学模型的构建结果为:

$$J_0(q) + \kappa_{damping}(q) + \phi(q) + C(q) + G(q) - BM = 0 \quad (3)$$

式中,  $q$  为机器人的运动状态,  $J_0$  表示转动惯量,  $\kappa_{damping}$  和  $\phi$  对应的是粘度阻尼系数和转矩常数,  $C$  和  $G$  分别为机器人离心力和重力势能项,  $B$  和  $M$  对应的是控制矩阵和输入力矩。将运动学模型和动力学模型融合到工业遥操作机器人的组成结构中,完成机器人数学模型的构建。

### 2.2 模拟机器人遥操作过程

工业遥操作机器人的操作过程大体可以分为两个步骤,分别为遥操作轨迹规划和操作任务执行<sup>[14-16]</sup>,具体的操作流程如图 3 所示。

按照图 3 所示,首先对机器人的移动轨迹进行规划,

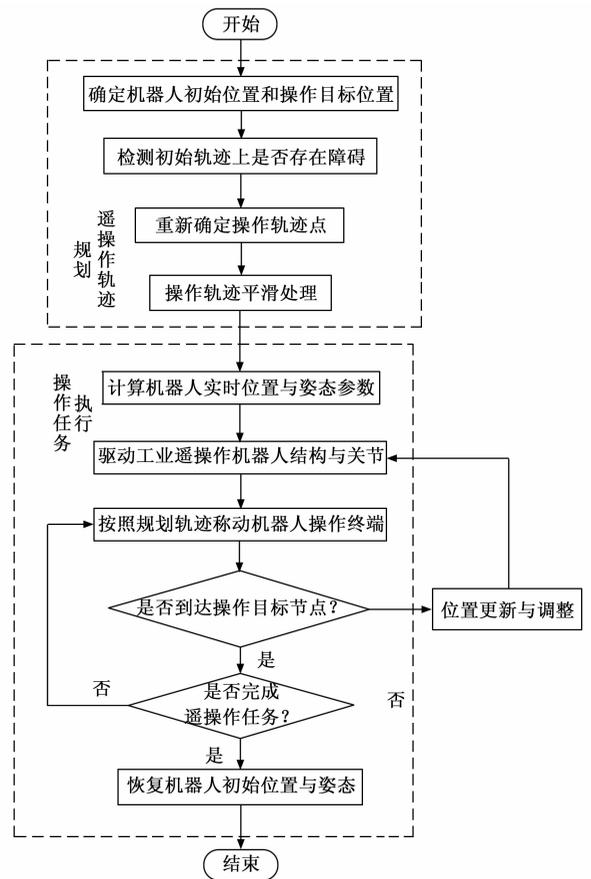


图 3 工业机器人遥操作流程

假设机器人遥操作元件的初始位置和目标位置分别为  $(x_0, y_0)$  和  $(x_{Operator}, y_{Operator})$ , 则遥操作的初始轨迹生成结果为:

$$y = \frac{(x - x_0)(y_{Operator} - y_0)}{x_{Operator} - x_0} + y_0 \quad (4)$$

公式 (4) 表示的机器人运动轨迹为直线轨迹。利用红外传感器设备,判断初始规划的运动轨迹上是否存在障碍物,若存在则需要删除该位置上的轨迹点,并在障碍物周围重新生成节点,新生成的轨迹点可以表示为:

$$\begin{cases} x_{new} = x_{primary} \pm 5 \\ y_{new} = y_{primary} \pm 5 \end{cases} \quad (5)$$

式中,  $(x_{primary}, y_{primary})$  为删除的原始轨迹点。与原始轨迹点进行连接,生成新的操作轨迹。最终生成机器人操作轨迹的总长度可以表示为:

$$L_{trajectory} = \sum_{i=1}^{n_{trajectory}} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \quad (6)$$

式中,  $(x_i, y_i)$  和  $(x_{i+1}, y_{i+1})$  分别为连续两个相邻轨迹点,  $n_{trajectory}$  为生成操作轨迹中的节点数量。为了方便工业机器人的遥操作,需要对初始生成轨迹进行平滑处理。采用运动学反演方法,求出了遥操作轨迹点坐标上各关节的转动角度<sup>[17-19]</sup>。在实际的工业机器人遥操作过程中,需要保证机器人的运动处于稳定状态。根据工业遥操作机器人操作规划轨迹与姿态角的求解结果,得出工业遥操作机器人位姿定位的控制目标。

### 2.3 实时采集工业遥操作机器人位姿数据

利用装设在工业遥操作机器人上的位姿传感器设备，对机器人任意时刻的位姿数据进行采集，任意时刻机器人的实际位姿采集结果可以表示为：

$$\begin{cases} x_t = x_0 + L \frac{(1-\gamma)(v_l t + v_r t)}{(1-\gamma)(v_l t - v_r t)} \times \sin\left(\frac{(1-\gamma)(v_l t - v_r t)}{2L}\right) \times \sin\varphi \\ y_t = y_0 + L \frac{(1-\gamma)(v_l t + v_r t)}{(1-\gamma)(v_l t - v_r t)} \times \sin\left(\frac{(1-\gamma)(v_l t - v_r t)}{2L}\right) \times \cos\varphi \\ \varphi = \frac{\pi}{2} + \frac{(1-\gamma)(v_l t - v_r t)}{L} \end{cases} \quad (7)$$

式中， $\gamma$  为滑移率， $v_l$  和  $v_r$  分别为机器人底座左右两侧的移动速度，上述变量的计算公式如下：

$$\begin{cases} v_l = \omega_l \times 2\pi l \\ v_r = \omega_r \times 2\pi l \end{cases} \quad (8)$$

式中， $\omega_l$  和  $\omega_r$  为机器人底座两侧驱动电机的转速值， $l$  为底座驱动轮的半径值。将公式 (8) 的计算结果代入到公式 (7) 中，即可得出任意时刻机器人实际位置  $(x_t, y_t)$  与姿态角  $\varphi$  的采集结果。根据机器人的实际移动参数，计算机器人位姿数据的采集频率，计算公式如下：

$$f_{\text{collection}} = \frac{N_{\text{steps}}}{\Delta t} \quad (9)$$

式中， $\Delta t$  为采样时间， $N_{\text{steps}}$  表示机器人移动产生的步数。为了保证机器人位姿数据的采集质量，需要利用公式 (10) 对初始采集数据进行预处理。

$$u_g = \frac{\max(U) - U}{\max(U) - \min(U)} \quad (10)$$

式中， $U$  为采集的位姿数据集合， $\max()$  和  $\min()$  对应的是最大值与最小值求解函数。按照上述流程完成位姿数据的实时采集工作。

### 2.4 利用大数据聚类技术计算机器人位姿定位控制量

利用大数据聚类技术对海量数据均匀遍历特征如初值和噪声进行校正<sup>[20]</sup>，对实时采集的位姿数据进行融合处理，获得机器人整体的位置与姿态数据。图 4 为大数据聚类技术的运行原理。

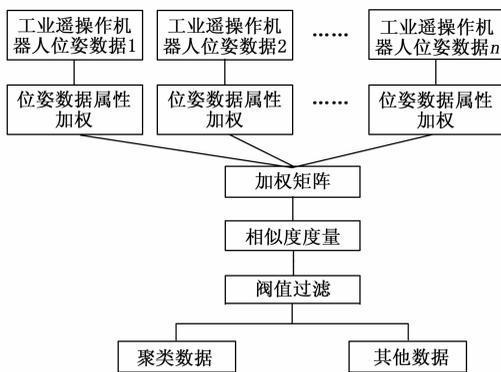


图 4 大数据聚类技术原理图

利用图 4 表示的聚类原理，在初始采集的采集工业遥操作机器人位姿数据中随机选择  $Q$  个聚类中心，利用公式

(11) 对初始采集数据集合中的任意一个位姿数据  $j$  进行相似度计算。

$$s(j, q) = \sqrt{(U_j(x, y, \varphi) - U_q(x, y, \varphi))^2}, q \in Q \quad (11)$$

公式 (11) 的计算结果  $s(j, q)$  为位姿数据与聚类中心的相似度。若计算得出  $s(j, q)$  的值高于阈值  $s_0$ ，则说明数据  $j$  和  $q$  之间存在较大相似度，可以将数据  $j$  融合到聚类中心  $q$  中。若计算得出的相似度低于阈值，则不执行聚类程序，并进行下一组数据的相似度度量。经过上述流程的重复操作，得出机器人位姿数据的聚类结果为：

$$B = \frac{\sum_{i=1}^Q h(s(j, q) \cdot u_i)^2}{Q \times \Delta t_{\text{Screening}}} \quad (12)$$

式中， $h(\cdot)$  为聚类数据的筛查条件， $\Delta t_{\text{Screening}}$  表示的是聚类中心的单位筛查时间。按照上述流程完成对机器人实时位姿数据的聚类处理，获取遥操作机器人所有关节的运动数据。根据数据聚类结果，计算得出任意时刻机器人位姿定位控制量为：

$$\begin{cases} \Delta x = x(t) - x_{\text{plan}}(t) \\ \Delta y = y(t) - y_{\text{plan}}(t) \\ \Delta \varphi = \varphi(t) - \varphi_{\text{plan}}(t) \end{cases} \quad (13)$$

式中， $x(t)$  和  $y(t)$  为机器人在  $t$  时刻实际位置的水平和垂直方向分量， $\varphi(t)$  表示  $t$  时刻姿态角， $(x_{\text{plan}}(t), y_{\text{plan}}(t))$  和  $\varphi_{\text{plan}}(t)$  分别为机器人位置与姿态角的规划值，最终的计算结果即为位置控制量在水平和垂直方向上的分量以及姿态角控制量。

### 2.5 实现工业遥操作机器人位姿定位控制

在控制器的作用下，通过改变每个末端和初始点的位置，可以实现对操作空间的全面覆盖，同时保证了遥控器在工作空间上的完整性。控制器根据传感器反馈的实时位姿检测结果，调整位姿定位控制指令，并将其作用在工业遥操作机器人的各个关节上，启动关节上的驱动器装置，通过控制指令的更新，实现工业遥操作机器人位姿的实时定位控制。为了保证机器人在运动与控制过程中能够保持稳定，需要利用公式 (14) 对机器人的稳定性进行实时度量。

$$\delta = \sum_{b=k=1}^{N_{\text{dimension}}} \bar{\omega}_b \cdot \varphi_k \quad (14)$$

式中， $\bar{\omega}_b$  和  $\varphi_k$  分别为机器人在多个空间维度上的加权系数和方位角度。最终计算得出机器人稳定性系数低于 0.6 时，需要对机器人的运动状态进行干预，因重心不稳而产生机器人侧翻现象。按照上述方式，在保证机器人移动稳定的情况下，实现系统的工业遥操作机器人位姿定位控制。

## 3 系统测试

系统测试的目的主要有以下几点：首先，检测系统实际运行结果与预期结果之间的差异，为软件程序的进一步修改提供参考，同时判断系统完整设置的选型是否能够正确连接，将系统测试放置在真实工作环境中进行比较，验证优化设计系统是否能够在真实环境中正常运行。在此次系统测试实验中，选择白盒与对比测试相结合的实验方法，

其中白盒测试就是在已知预期结果的情况下，将系统的实际输出结果与预期结果进行比对，从而得出两者之间的差距，由此证明设计系统的运行性能。而对比测试则是与传统控制系统进行比对，体现出优化设计系统在位姿定位控制功能方面的优势。

### 3.1 配置工业遥操作机器人样机与工况

此次实验选择 T-HR3 型号的工业遥操作机器人作为此次系统测试实验的控制对象，该机器人由底座、支撑躯干和操作手三部分组成，机器人的实际尺寸约为 1 200 mm × 400 mm 和 200 mm，机器人的实际重量为 6.2 kg，机器人上各个关节的自由度能够达到 31 以上。操作手的额定长度为 650 mm。系统测试实验中共准备三台型号与运行方向均完全相同的机器人样机，并利用交互程序设置相同的初始参数，准备的机器人样机中一台设备应用优化设计的基于大数据聚类的工业遥操作机器人位姿定位控制系统，并将其设置为系统测试实验的实验组，另外两个机器人样机为实验的对照组。

### 3.2 布设并调试系统测试环境

分别从工业遥操作机器人的运动环境和工业遥操作机器人位姿定位控制系统的运行环境两个方面，布设系统测试环境。选择平台地面环境作为机器人的实际运动环境，平地环境中场地表面无明显凹陷与凸起。在该环境中安装一个水平台面，用来放置机器人的遥操作目标，具体包括塑料瓶、纸巾盒等。在此基础上，将机器人样机放置到真实实验环境中，并在各个关节位置上装设驱动器、控制器以及传感器设备，完成系统硬件的布设。利用 SimMechanics、LabVIEW 等工具实现系统软件程序的开发，并将对应的程序代码导入到上位机中。启动机器人样机开关，随机生成一个运动任务指令，观察驱动器、控制器以及传感器是否能够成功输出响应信号，若响应信号成功输出且与预期效果一致，则证明系统设备调试成功，否则需要对硬件设备重新连接，并重启软件运行程序。

### 3.3 生成工业遥操作机器人位姿定位控制任务

为保证工业遥操作机器人位姿定位控制系统在多种遥操作工作中的适应度，根据机器人的移动轨迹类型生成多组定位控制任务，主要可以分为直线运动位姿定位控制、曲线运动位姿定位控制和圆形线运动位姿定位控制，其中部分定位控制任务的生成情况如图 5 所示。

在机器人位姿定位控制方法的生成过程中，明确标记机器人在各个轨迹点上的目标姿态角，以此作为系统的姿态控制目标。此次系统测试实验共设置 30 个控制任务，直线、曲线和圆形线运动控制任务数量均为 10 个。

### 3.4 描述系统测试实验过程

设置传统的基于 PLC 和机器视觉的控制系统和基于六维鼠标的控制系统作为实验的对比系统，按照上述方式完成对比系统的开发，并导入到相应的机器人样机中。在系统环境调试成功的前提下，对机器人样机的所有运动参数进行初始化，分别将生成的位姿定位控制任务同时输入到 3 个样机中。对机器人的实际位姿进行跟踪，输出系统控制

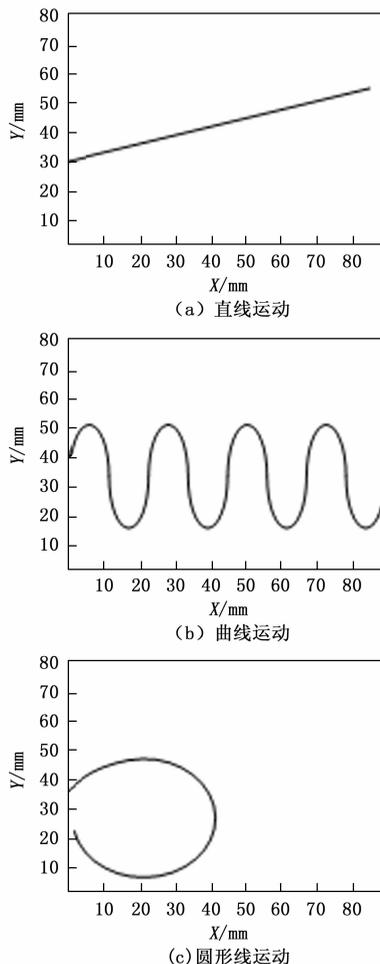


图 5 工业遥操作机器人位姿定位控制任务示意图

功能的运行结果，如图 6 所示。

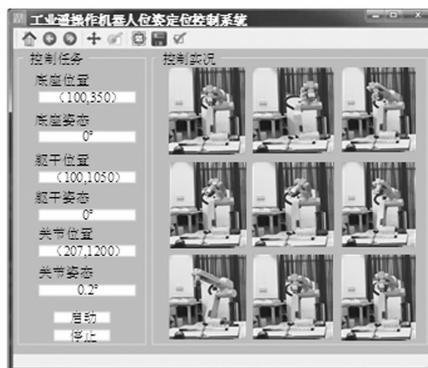


图 6 机器人位姿定位控制系统执行界面

记录控制系统作用下机器人任意时刻的位姿数据，作为系统测试实验的结果数据。按照上述流程，得出 3 种系统的位姿定位控制结果。

### 3.5 设置系统测试指标

从机器人实际位置和姿态两个方面设置系统测试指标，用通过相关数据的统计，得出 3 个控制系统位置定位控制功能的测试结果，如图 7 所示。

来反映系统的控制功能。位置控制效果测试指标设置

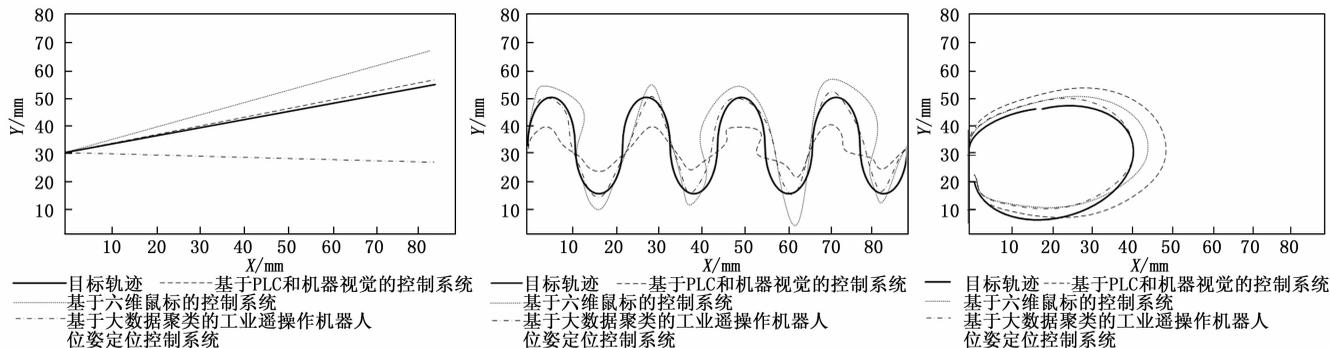


图 7 工业遥操作机器人位置控制功能对比结果

为位置控制误差，其数值结果如下：

$$\epsilon_{\text{position}} = |x_{\text{task}} - x_{\text{actual}}| + |y_{\text{task}} - y_{\text{actual}}| \quad (15)$$

式中， $(x_{\text{task}}, y_{\text{task}})$  和  $(x_{\text{actual}}, y_{\text{actual}})$  分别为遥操作机器人控制任务中的位置坐标和机器人的实际移动位置坐标。另外姿态角控制误差的测试结果为：

$$\epsilon_{\text{attitude}} = |\varphi_{\text{task}} - \varphi_{\text{actual}}| \quad (16)$$

公式 (16) 中，变量  $\varphi_{\text{task}}$  和  $\varphi_{\text{actual}}$  对应的是机器人姿态角的目标值和实际值。最终计算得出位置与姿态角误差越小，说明对应系统的机器人位姿定位控制功能越优。

### 3.6 系统测试结果与分析

从图 7 中可以看出，在优化设计控制方法下工业遥操作机器人样机的实际移动轨迹与生成的控制目标轨迹基本一致，而基于 PLC 和机器视觉的控制系统和基于六维鼠标的控制系统作为实验的对比系统的实际移动轨迹误差较大。将图 7 中的输入逐一代入到公式 (15) 中，计算得出 3 个系统位置控制误差的平均值分别为 18.2 mm、12.9 mm 和 4.5 mm。另外机器人姿态控制功能的测试结果，如表 1 所示。

表 1 机器人姿态控制功能测试数据表

位姿控制任务编号	控制姿态角目标值 / (°)	基于 PLC 和机器视觉的控制系统下的实际姿态角 / (°)	基于六维鼠标的控制系统下的实际姿态角 / (°)	基于大数据聚类的工业遥操作机器人位姿定位控制系统下的实际姿态角 / (°)
1	0.2	0.4	0.1	0.2
2	1.5	1.1	1.3	1.5
3	1.1	1.3	1.3	1.0
4	0.4	0.1	0.3	0.4
5	0.9	0.8	0.9	0.9
6	0.8	0.4	0.6	0.7
7	1.2	1.0	1.1	1.2
8	2.1	2.7	2.3	2.0
9	0.4	0.6	0.5	0.4
10	2.3	2.2	2.6	2.4

表 1 中的所有数据均在控制系统执行 10 s 后读取得出。将表 1 中的数据代入到式 (16) 中，计算得出 3 个控制方法下的实际姿态控制误差分别为 0.27°、0.15° 和 0.04°。所设计系统对机器人实际位置与姿态角的控制精度更好。

## 4 结束语

为提升工业遥操作机器人位姿定位控制精度，设计基于大数据聚类技术的工业遥操作机器人位姿定位控制系统。通过硬件设备与软件程序的联合优化，完成机器人位姿定位控制系统的优化操作。从实验结果中可以看出，通过大数据聚类技术的应用，能够有效提升机器人运动控制性能，为保证工业遥操作机器人平稳运行提供了一定技术支持。

### 参考文献：

- [1] 王少锋, 夏广远, 吉春生, 等. 基于嵌入式的单目视觉工业机器人定位系统设计 [J]. 河南理工大学学报 (自然科学版), 2022, 41 (1): 100-106.
- [2] 赵 琪, 张 华, 熊鹏文, 等. 一种多功能半自主遥操作的履带式消防机器人控制系统设计 [J]. 机械设计与制造, 2022 (9): 253-256.
- [3] 田志程, 古华光, 宋汉文. 基于视觉测量与神经网络的工业机器人位姿补偿 [J]. 力学季刊, 2022, 43 (2): 281-288.
- [4] 白 克. 基于 PLC 和机器视觉的采摘机器人智能控制系统设计 [J]. 农机化研究, 2021, 43 (2): 212-216.
- [5] 祝润泽, 黄 昕, 高 燕. 基于六维鼠标的机器人位姿控制研究 [J]. 机床与液压, 2022, 50 (9): 61-65.
- [6] 尹宏俊, 邓 楠, 程亚迪. 基于加速度模糊控制的六足机器人遥操作 [J]. 计算机科学, 2022, 49 (S1): 714-722.
- [7] 程致梁. 基于 5G 网络的农场移动机器人远程遥操作系统 [J]. 农机化研究, 2022, 44 (8): 224-228.
- [8] 庄衡衡, 丁 飞, 章华涛, 等. 五自由度机器人运动控制与空间位姿仿真系统 [J]. 中国测试, 2021, 47 (11): 14-20.
- [9] 胡晓东, 高嘉伟. 基于分组模型的引力搜索智能大数据聚类方法 [J]. 计算机工程与设计, 2021, 42 (6): 1660-1667.
- [10] 冯帅硕, 冯 杰, 常 婕. 基于 Kinect 的消防机器人人体感控制系统设计研究 [J]. 消防科学与技术, 2021, 40 (4): 548-550.
- [11] 梁艳阳, 吴 伟, 姚超智, 等. 基于 PLCopen 标准的工业机器人运动控制器的设计与实现 [J]. 现代制造工程, 2021 (12): 35-40, 52.
- [12] 吉爱红, 刘荣兴, 陈 辉, 等. 多关节连续体机器人的运动分析与遥操作技术 [J]. 中国机械工程, 2021, 32 (23): 2883-2889.
- [13] 贡今天, 李浩然. 主从遥操作手术机器人的主手附加位移补偿 [J]. 天津工业大学学报, 2021, 40 (3): 83-88.

(下转第 121 页)