

# 基于全局视觉的智能机器人移动轨迹自动控制系统设计

戴金<sup>1</sup>, 方伟<sup>1</sup>, 彭苗<sup>2</sup>

(1. 国网湖北送变电公司有限公司, 湖北 武汉 430000;

2. 武汉奋进智能机器有限公司, 湖北 武汉 430205)

**摘要:**以控制智能机器人沿着既定轨迹行进为目的,设计一种基于全局视觉的智能机器人移动轨迹自动控制系统。该系统利用驱动模块内的PVT方式调用接口、端口扫描接口、共享内存等接口连接系统软件与硬件,再利用传感器采集智能机器人当前位置图像和位置坐标数据,并利用无线网桥连接视频服务器和数据服务器,将智能机器人位置图像和位置坐标数据传输到无线网桥内,然后传输到控制模块中,控制模块负责接收智能机器人位置图像和位置坐标数据并存储后,使用全局视觉轨迹控制算法得到智能机器人移动轨迹控制量后,将其输入到智能机器人运动控制卡内,通过运动控制卡控制机器人按照既定轨迹移动。实验结果表明:该系统具备较好的通信能力和全局视觉图像采集效果,可有效控制智能机器人移动轨迹,应用效果较为显著。

**关键词:**全局视觉;智能机器人;移动轨迹;自动控制系统;底盘驱动程序;动力学控制律

中图分类号:TP242;TP273 文献标识码:A 文章编号:1003-7241(2025)03-0052-04

## Design of Automatic Control System for Intelligent Robot's Moving Trajectory Based on Global Vision

DAI Jin<sup>1</sup>, FANG Wei<sup>1</sup>, PENG Miao<sup>2</sup>

(1. State Grid Hubei Transmission and Transformation Co., Ltd., Wuhan 430000 China;

2. Wuhan Endeavour Intelligent Machine Co., Ltd., Wuhan 430205 China)

**Abstract:** For the purpose of controlling the intelligent robot to move along the established path, an automatic control system of the intelligent robot's moving path based on global vision is designed. The system uses PVT call interface, port scan interface, shared memory and other interfaces in the drive module to connect the system software and hardware, and then uses sensors to collect the current position image and position coordinate data of the intelligent robot, and uses wireless bridge to connect the video server and data server to transmit the position image and position coordinate data of the intelligent robot to the wireless bridge, and then to the control module, The control module is responsible for receiving the position image and position coordinate data of the intelligent robot and storing them. After using the global vision trajectory control algorithm to obtain the control amount of the intelligent robot's movement trajectory, it inputs it into the intelligent robot's motion control card, and controls the robot's movement according to the established trajectory through the motion control card. The experimental results show that the system has good communication ability and global visual image acquisition effect, and can effectively control the movement path of intelligent robot, and the application effect is relatively significant.

**Keywords:** global vision; intelligent robot; moving track; automatic control system; chassis driver; dynamic control law

## 0 引言

目前计算机控制技术不断发展,智能机器人功能不断被升级,促进了现代制造业逐渐向自动化智能化发展<sup>[1]</sup>。智能机器人在现代制造业领域中扮演着重要的作用,如搬运体积较大的物体,装配零件,自动巡检等,在很大程度上提升了现代制造业的生产效率<sup>[2-3]</sup>。由于现代制造业多数为流水线作业,需要多个智能机器人互相协同合作,若作业的一个环节中智能机器人移动轨迹偏

离预设轨迹时,则会影响整个流程工作效率。为此很多学者研究智能机器人移动轨迹控制系统,如臧发业<sup>[4]</sup>设计的机器人驱动智能控制系统,该系统以CAN总线通信和控制技术为基础,设计智能机器人路径规划和避障算法。该系统在应用过程中,调节智能机器人电液驱动系统存在延迟,导致其控制智能机器人移动轨迹效果不佳。冯帅颀等人<sup>[5]</sup>设计机器人本体感控制系统,该系统利用Kinect传感器建立机器人本体感模型,再利用PC端控制软件和无线通信模块实现人与机器人之间的通信连接后,实现本体感控制智能机器人轨迹移动。但该系统仅适用于单个智能机器人工作情况,对于需要多个机器人协作的

\*基金项目:湖北省电力公司科技项目(B31202001452)

收稿日期:2023-09-20

场景则应用效果不佳。面对上述情况,本文设计基于全局视觉的智能机器人移动轨迹自动控制系统,以提升机器人移动轨迹控制技术水平。

## 1 智能机器人移动轨迹自动控制系统

### 1.1 系统总体结构设计

设计智能机器人移动轨迹自动控制系统,其总体结构如图1所示。

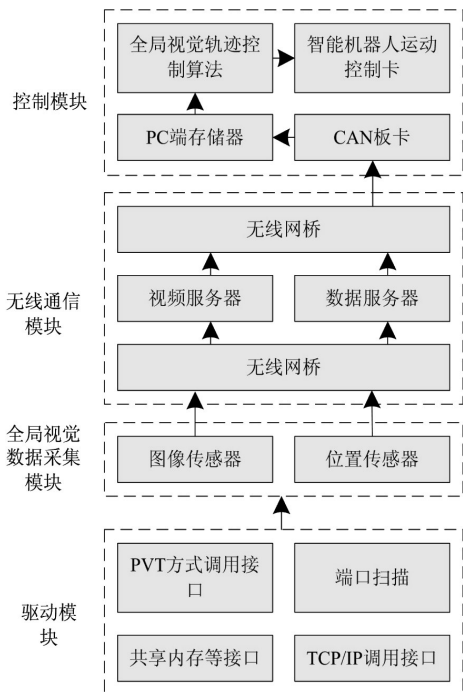


图1 智能机器人移动轨迹自动控制系统结构

在智能机器人移动轨迹自动控制系统总体结构内,利用驱动模块内的PVT方式调用接口、端口扫描接口、共享内存等接口驱动整个系统软件与硬件之间的接口,负责软件与硬件之间互相连接,利用全局视觉数据采集模块内的图像传感器和位置传感器获取当前智能机器人位置坐标数据和图像位置信息后,图像传感器和位置传感器连接无线通信模块内的无线网桥,通过无线网桥将智能机器人位置图像和数据传输到对应的视频服务器和数据服务器内,再经由无线网桥将智能机器人位置图像和数据传输到控制模块内的CAN板卡内,传输到PC端存储器内进行存储。控制模块内的全局视觉轨迹控制算法调取PC端存储器内智能机器人位置图像和数据,利用该算法输出智能机器人移动轨迹控制量,将该控制量发送到智能机器人运动控制卡内,实现智能机器人轨迹移动控制。

### 1.2 硬件结构设计

以酷睿i7-9800X型CPU作为智能机器人移动轨迹自动控制系统核心控制器,该CPU为8核16线程,基础频率为3.8 GHz,睿频频率为4.4 GHz。设计智能机器

人移动轨迹自动控制系统硬件结构如图2所示。用户通过HMI界面显示连接CPU核心控制器,实现用户与智能机器人之间的人机交互,通过PLC扫描功能接收智能机器人移动轨迹自动控制量后,CPU核心控制器将该自动控制量输入到智能机器人驱动器内<sup>[6-7]</sup>,使其驱动伺服电机运行,并控制电磁阀、气阀以及继电器开关等开启和闭合,实现智能机器人移动轨迹自动控制。

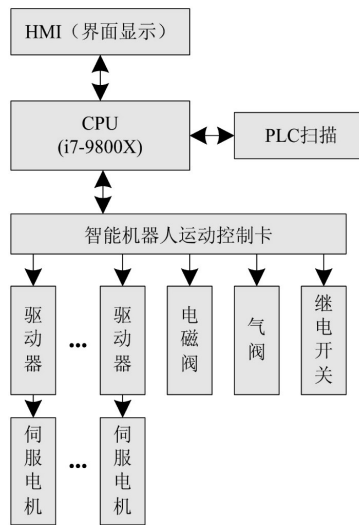


图2 系统硬件结构设计

### 1.3 全局视觉采集模块设计

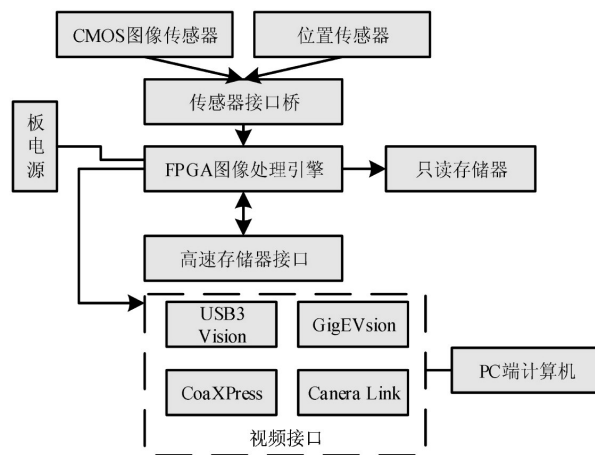


图3 全局视觉采集模块结构

全局视觉采集模块负责采集当前机器人位置信息和图像信息,其是智能机器人移动轨迹自动控制系统的基础,设计全局视觉采集模块结构如图3所示。全局视觉采集模块使用CMOS图像传感器和位置传感器获取当前智能机器人在其工作区域内位置图像和位置坐标信息后,通过传感器接口桥将采集到的智能机器人位置图像和位置坐标信息传输到FPGA图像处理引擎内,该图像处理引擎使用只读存储器对智能机器人全局位置图像和位置坐标信息进行缓存处理,其连接高速存储器接口,使用高速存储器存储智能机器人全局位置图像和位置坐标信

息,利用FPGA图像处理引擎了解USB3 Vision、GigEVision等不同类型视频接口,将采集到的智能机器人全局位置图像和位置坐标信息传输到用户PC端,完成智能机器人全局视觉图像与数据的采集过程。

### 1.4 智能机器人控制电路连接设计

设计智能机器人控制电路连接图。智能机器人由电源供电,电能经过变压、滤波和稳压处理后,使用变压器将智能机器人电源电压变成220 V稳定电压,并输入到电机控制器内,变压器将一部分电压转成24 V稳定电压,将其作为控制器和驱动器的电源。控制器利用端子板与IO信号、电极反馈信号和伺服控制器连接,驱动器与电机相连,形成闭合的智能机器人移动控制电路,如图4所示。

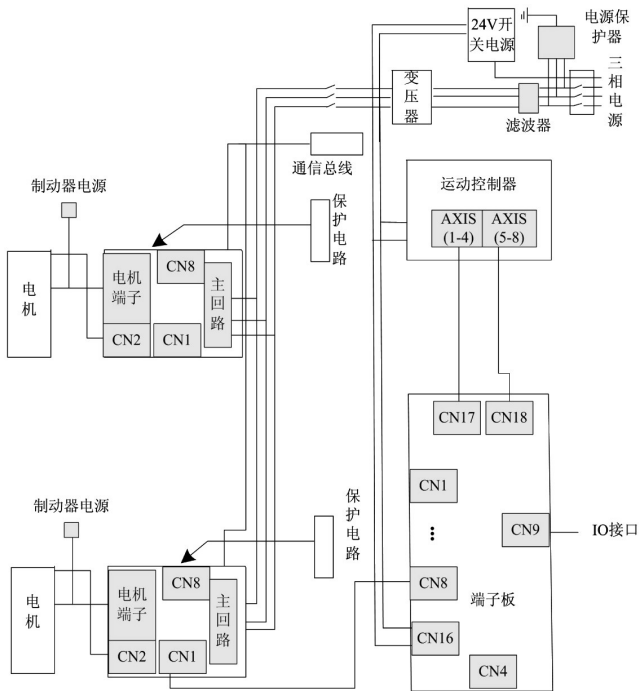


图4 智能机器人控制电路连接图

### 1.5 底盘驱动程序设计

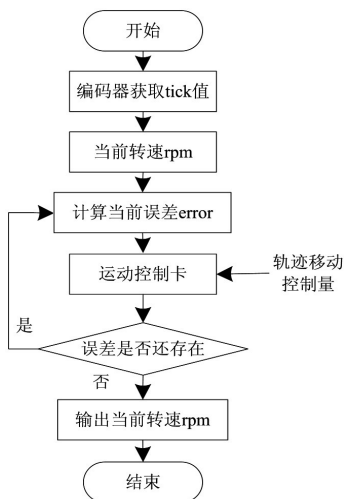


图5 智能机器人底盘驱动程序运行流程

智能机器人底盘驱动程序用于驱使智能机器人按照其既定轨迹移动,驱动程序流程如图5所示。智能机器人底盘驱动程序运行开始后,利用编码器获取智能机器人tick值,得到智能机器人底盘当前转速,依据该转速得到智能机器人移动轨迹误差,然后将当前误差值和轨迹移动控制量输入到运动控制卡内,控制智能机器人移动轨迹,判断当前智能机器人移动轨迹误差是否存在;若是,则输出当前转速,使智能机器人以当前转速沿着轨迹移动,反之则重新计算智能机器人移动轨迹误差。

### 1.6 基于全局视觉的智能机器人移动轨迹自动控制方法

系统利用全局视觉数据采集模块采集到智能机器人位置图像和位置坐标数据后,控制模块利用全局视觉轨迹控制算法获得智能机器人移动轨迹自动控制量,其详细过程如下<sup>[8-10]</sup>:

首先转换智能机器人坐标空间和全局视觉图像空间,  $(U_x, U_y)$ 表示图像传感器采集光心到机器人实际位置平面投影点坐标,机器人实际位置  $U$  的坐标为  $(U_1, U_2)$ , 则智能机器人图像坐标和实际坐标位置关系如下:

$$\begin{bmatrix} \bar{x}_c(t) \\ \bar{y}_c(t) \end{bmatrix} = HR(\delta_0) \begin{bmatrix} x_c(t) \\ y_c(t) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} U_x + U_1 \\ U_y + U_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中,  $H$ 表示2维常数对角矩阵;  $R$ 表示二维旋转矩阵;  $\delta_0$ 表示矩阵旋转角度;  $t$ 表示时刻;  $\bar{x}_c(t)$ 、 $\bar{y}_c(t)$ 分别表示智能机器人全局图像坐标;  $x_c(t)$ 、 $y_c(t)$ 分别表示智能机器人当前实际坐标位置。

建立智能机器人在全局图像空间内的运动模型,如下:

$$\bar{q} = s(q)\varphi[\bar{v}(t), \bar{w}(t)]^T \quad (2)$$

式中,  $\bar{q}$ 表示智能机器人在全局图像空间内的运动模型;  $s(q)$ 表示智能机器人雅可比矩阵;  $\bar{v}(t)$ 、 $\bar{w}(t)$ 分别表示智能机器人在全局图像空间内的线速度和角速度;  $\varphi[\cdot]$ 表示正态分布函数。

对式(1)左右两边进行求导,并将式(2)带入其中后,得到智能机器人在图像空间内和在实际空间内的线速度之间关系,其表达式如下:

$$v(t) = \left( \frac{\cos \bar{\delta} \cos(\delta + \delta_0)}{\alpha_1} + \frac{\sin \bar{\delta} \sin(\delta + \delta_0)}{\alpha_2} \right) \bar{v}(t) \quad (3)$$

式中,  $v(t)$ 表示智能机器人在实际空间内的线速度;  $\bar{\delta}$ 表示智能机器人在全局视觉图像内朝向角度;  $\delta$ 表示智能机器人在实际空间内的朝向角度;  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 均表示二维矩阵内常数。

依据式(3)计算机器人在实际空间内线速度,表达式如下:

$$w = \left[ \alpha_1 \cos^2(\delta + \delta_0) \right] \cdot \frac{1}{\alpha_2 \cos^2 \delta} \quad (4)$$

以式(3)结果,使用Lyapunov函数设计智能机器人在

全局视觉图像空间移动轨迹控制律 $\bar{\Phi}$ ,其表达公式如下:

$$\bar{\Phi} = \begin{bmatrix} \bar{v} \\ \bar{w} \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中, $\bar{w}$ 表示智能机器人在全局视觉图像空间内的线速度。

以式(3)–式(5)结果为基础,设计智能机器人在实际空间内的运动控制律 $P$ ,表达公式如下:

$$P = \bar{\Phi} + J_v \tilde{e} + J_p J_p \tilde{e} \quad (6)$$

式中, $J_p$ 、 $J_v$ 均表示二维正定对角矩阵; $\tilde{e}$ 表示智能机器人速度跟踪误差。

依据智能机器人在实际空间内的运动控制律,设计其轨迹跟踪鲁棒控制量,其表达公式如下:

$$\kappa = \bar{\Phi} - J_v \tilde{e} - J_p J_p \tilde{e} + \Delta \xi \quad (7)$$

其中,

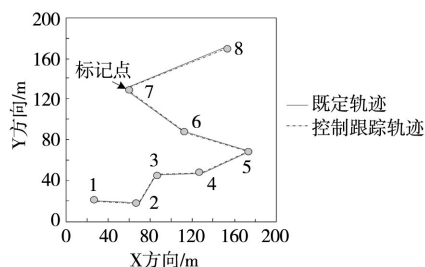
$$\Delta \xi = \begin{cases} -\rho \frac{\tilde{e}}{\|\tilde{e}\|} & \|\tilde{e}\| > \varepsilon \\ -\rho \frac{\tilde{e}}{\varepsilon} & \|\tilde{e}\| \leq \varepsilon \end{cases} \quad (8)$$

式中, $\varepsilon$ 为正常数; $\rho$ 扰动影响调整参数。

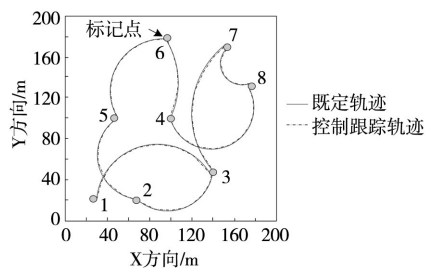
利用式(7)输出智能机器人移动轨迹自动控制量,将其输入到智能机器人运动控制卡内,实现其轨迹自动控制。

## 2 仿真实验结果与分析

以ZNZK-RT300型智能机器人作为实验对象,该型号智能机器人规格为 $500 \times 250 \times 250$  mm,爬坡角度为 $0 \sim 40^\circ$ ,平地续航时间为8 h,工作温度为 $-25^\circ\text{C} \sim 75^\circ\text{C}$ ,具备1类防爆功能。该智能机器人工作区域为 $400 \times 400$  m的正方形区域,使用本文系统控制该智能机器人按照其既定轨迹移动,分析本文系统实际应用效果。



(a) 直线型简单轨迹



(b) 弧线型复杂轨迹

图6 智能机器人移动轨迹自动控制测试结果

以直线型简单轨迹和复杂型弧状轨迹作为智能机器人移动既定轨迹,在该两种轨迹情况下的移动轨迹自动控制效果,结果如图6所示。分析图6可知,使用本文方法自动控制智能机器人移动轨迹时,无论是在较为简单的直线型轨迹还是较为复杂的弧型轨迹时,控制跟踪轨迹与机器人既定轨迹均完全相符。上述结果说明:本文系统具备较强的智能机器人移动轨迹自控控制能力,不受智能机器人既定轨迹复杂程度影响,应用效果较好。

## 3 结束语

本文设计一种基于全局视觉的智能机器人移动轨迹自动控制系统。在该系统中应用图像传感器采集智能机器人全局图像,以该全局图像为基础,使用全局视觉图像处理技术实现智能机器人移动轨迹自动控制。实验结果证明:本系统在通信传输、采集全局视觉图像以及移动轨迹自动控制方面性能均较为优秀,应用效果较佳。

### 参考文献:

- [1] 李娟,秦伟.基于视觉的工业机器人避障控制系统设计[J].机床与液压,2021,49(15):24–28.
- [2] 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.
- [3] 赵丕洋,洪荣晶,方成刚.基于ROS的UR5机器人控制系统设计[J].南京工业大学学报(自然科学版),2022,44(2):161–168.
- [4] 臧发业.机器人移动平台二次调节电液驱动及智能控制系统的设计[J].机床与液压,2021,49(10):81–84.
- [5] 冯师顺,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.
- [6] 黄海丰,贺威,邹尧,等.基于线驱转向的仿蝴蝶扑翼飞行器机器人系统设计与控制[J].控制理论与应用,2022,39(7):1203–1210.
- [7] 赵月,刘亚秋,徐妍,等.林木果球采收机械臂动力学参数辨识及补偿[J].森林工程,2023,39(3):150–160,171.
- [8] 黄磊,余峰.基于视觉反馈的机器人末端轨迹跟踪控制研究[J].仪表技术与传感器,2021(8):95–98.
- [9] 侯晓晓,涂亚楠,陈晓静,等.基于鲁棒模型预测的无人拖拉机跟踪控制方法分析[J].农机化研究,2025,47(4):242–246.
- [10] 李艳东,王宗义,朱玲,等.基于全局视觉的工业机器人滑模轨迹跟踪控制[J].机械科学与技术,2010,29(11):1466–1469.

作者简介:戴金(1982–),男,本科,高级工程师,研究方向:电力智能施工。