

# 基于 CARLA-PSO 组合模型的机器人步态控制系统设计

霍延军<sup>1</sup>, 袁旭华<sup>2</sup>

(1. 延安职业技术学院 人事处, 陕西 延安 716000;  
2. 延安大学 数学与计算机科学学院, 陕西 延安 716000)

**摘要:** 传统机器人步态控制系统对路线把握能力不强, 导致对机器人步态的控制精度较差、时间过长; 为解决上述问题, 基于 CARLA-PSO 组合模型设计了一种新的机器人步态控制系统; 硬件部分挑选操作性能较高的硬件元件系统, 精准掌控系统中心点的位置, 并在此位置上加大数据研究力度, 通过数据监视模块及数据控制模块获取的数据结果, 利用目标参数控制模块实施数据处理操作; 以收集的硬件信息作为软件操作基础, 利用 CARLA-PSO 组合模型得出机器人步态控制局部及全局最优解, 综合运用软件控制算法整合获取的步态信息, 调控路径信息, 结合传感角信息, 清理无关步态数据, 完成机器人步态控制系统设计; 实验结果表明, 基于 CARLA-PSO 组合模型的机器人步态控制系统能够更精准地把控路线, 相较于传统控制系统, 设计的系统控制时间提高了 15.2%, 具有较好的控制效果。

**关键词:** CARLA-PSO 组合模型; 机器人; 步态控制; 控制系统

## Design of Robot Gait Control System Based on CARLA-PSO Combination Model

Huo Yanjun<sup>1</sup>, Yuan Xuhua<sup>2</sup>

(1. The Personnel Department, Yan'an Vocational & Technical College, Yan'an 716000, China;  
2. School of Mathematics and Computer Science, Yan'an University, Yan'an 716000, China)

**Abstract:** The traditional robot gait control system has poor ability to grasp the route, resulting in poor control accuracy and long time for the robot gait control. To solve the above problems, a new robot gait control system is designed based on the CARLA-PSO combination model. The hardware part selects a hardware component system with high operating performance, accurately controls the position of the center point of the system, and strengthens the data research at this position. The data results obtained through the data monitoring module and the data control module are implemented using the target parameter control module. Data processing operations; using the collected hardware information as the basis for software operations, using the CARLA-PSO combination model to obtain local and global optimal solutions for robot gait control, and comprehensively using software control algorithms to integrate the acquired gait information, regulating path information, and combining Sensing angle information, cleaning irrelevant gait data, and completing the design of robot gait control system. The experimental results show that the robot gait control system based on the CARLA-PSO combination model can control the route more accurately. Compared with the traditional control system, the designed system control time is increased by 15.2%, which has a better control effect.

**Keywords:** CARLA-PSO combined model; robot; gait control; control system

## 0 引言

机器人作为科技发展的产物, 具有较高的拟人状态, 在运动过程中能够较大程度地复刻人类步态, 但依旧在复刻上存在一些问题, 由于机器人内部操作零件较多, 对其的操作困难性也因此而大大提升, 为此, 不少研究学者针对机器人的步态控制问题提出相应的解决方案, 就目前来看, 取得的效果并不显著<sup>[1]</sup>。

由于机器人步态控制系统在设计过程中将会面临较大的步态操作差异, 需要完整收集机器人路程行进信息, 因此, 目前的国内外研究集中观察机器人路径状态, 并对所经过的路径进行细致检测, 探测该路段是否为正常行进路段, 并时刻监管该路段内部障碍存在位置, 辅助机器人正常通过此道路<sup>[2]</sup>。但在实际研究中, 对于系统内部基础信息的掌握程度较小, 无法正确了解系统的需求状况, 对于其内部矛盾调整效果不佳, 操作具有较大的局限性, 控制有效率较低<sup>[3]</sup>。为此, 针对上述问题, 本文提出一种新式基于 CARLA-PSO 组合模型的机器人步态控制系统设计, 对以上问题进行分析与解决。

本文系统设计分为系统硬件设计与软件设计两部分, 在系统硬件设计中综合系统硬件元件的基础性能, 按照性

收稿日期: 2020-05-20; 修回日期: 2020-06-09。

**作者简介:** 霍延军(1977-), 男, 陕西清涧人, 硕士, 副教授, 主要从事计算机科学与技术、软件工程方向的研究。

袁旭华(1979-), 男, 陕西宜川人, 硕士, 副教授, 主要从事高等教育、自动化技术方向的研究。

能分类，划分不同的操作模块实现系统硬件改造，并加大中心系统检测力度，完善信息收集系统功能，在获取硬件操作方式的基础上进行系统软件设计操作，结合控制算法与程序运用方案改变传统软件存在状态，提升软件系统初始竞争力，进而获取较好的控制效果，该系统设计综合系统内部信息，调整系统操作结构，具有良好的可操控性，能够为使用者提供较为便利的服务，更受欢迎。

### 1 机器人步态控制系统硬件设计

集中力度管理系统硬件设备，对其内部元件信息状态进行精准采集，分类硬件操作标准，将符合同一标准度信息数据收集至中心系统中，借助 CARLA-PSO 组合模型的学习性能，记忆机器人行走的路径步态点，加强中心步态系统的条件信息监管力度，查询步态信息管理地址，并强化数据管理，分解 CARLA-PSO 组合模型，将分解后的结果数据复制到步态控制数据中心，由此增强步态的控制效率<sup>[4]</sup>。

#### 1.1 数据监视模块

按照系统硬件元件的基础性能，综合分析其在步态控制中的职能，首先设置数据监视模块，采用相应的数据监视器时刻监控机器人步态<sup>[5]</sup>。构建数据监视图如图 1。

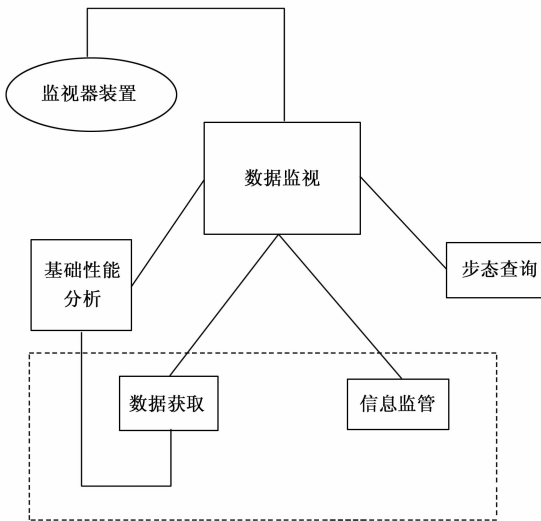


图 1 数据监视图

本监视器提供便捷的嵌入式 WEB 服务，B/S 架构，直接通过 IE 浏览器进行监控管理，便利操作管理，主机为各种传感器提供工作电源，停电状态下能够使用内置的后备电源独立为主机和传感器提供电，同时支持 JSON、B 接口等开放接口协议，实现远程集中监控和管理，利于对机器人的掌控<sup>[6]</sup>。监控主机采用低功耗 ARM 芯片和嵌入式操作系统，内置硬件看门狗，具有故障自动恢复功能，当主机重新启动后，整个监控系统也随之运行，确保在监视过程中的系统安全性，实现整体监视操作<sup>[7]</sup>。

#### 1.2 数据控制模块

在完成对数据的监视后，调节获取的监视数据，并将

其构造为符合系统控制的中心体参数，装备数据控制器实施数据的控制操作，并设置数据控制图示如图 2 所示。

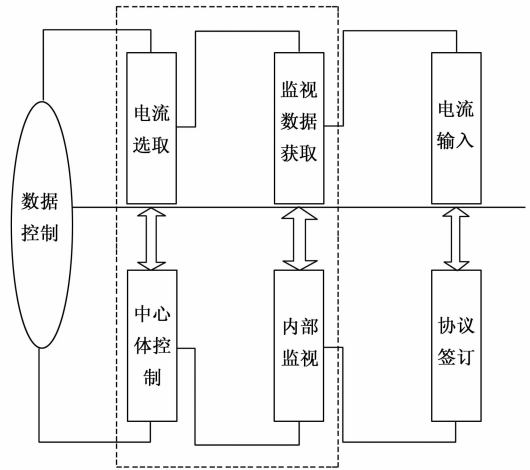


图 2 数据控制图

在图 2 中选取的控制器输入电流为 4~20 mA，同时可接 255 台设备，进行 RS485 信号输入与 RS485 输出，配备标准 MODBUS, RTU 协议，具有记录存储功能，可便利数据记录操作，完整预留步态信息数据<sup>[8]</sup>。具备无线传输发射端、接收端，2 公里或 5 公里无遮挡，能够进行 GPRS 传输，其数据监测云平台首先将数据上传到服务器，接着，用户再从服务器远程读取，有利于控制信息的及时获取，便于其随时调整。在系统硬件操作的过程中，不断管理模式系统的操作范围，同时对机器人的信息功能进行分解操作，研究其内部分解系统的主导性能，按照信息标准化研究相应机器人步态数据发出信息信号，并安装控制芯片，结合控制芯片系统操作，寻找数据间的对照关系，并设置数据对照关系查找图，如图 3 所示。

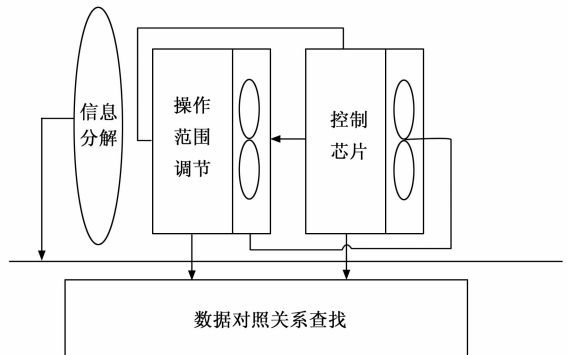


图 3 数据对照关系查找图

#### 1.3 目标参数控制模块

本文控制芯片是一款集成了控制器和驱动器的 IC，可以同时分别独立驱控两个机器人步态数据系统，是具有功能强大的片上系统，在微型 7 mm X 7 mm QFN 封装中集成了复杂的 SixPoint 斜坡发生器，以及业内一流的诊断和保护功能。还增加了 StealthChop 静音驱动技术、SpreadCycle

防抖动技术、CoolStep 电流动态调整技术, 可节能 75%, 具有 DcStep 力矩调节技术以及 StallGard 堵转检测功能, 促进系统的优化, 每个线圈的电机电流可达 20 A, 电压 60 V DC, 操作便利, 只需找寻目标参数即可, 所有机器人步态数据系统逻辑都在 TMC5160 内部运行, 设置相应的目标参数设定图如图 4 所示。

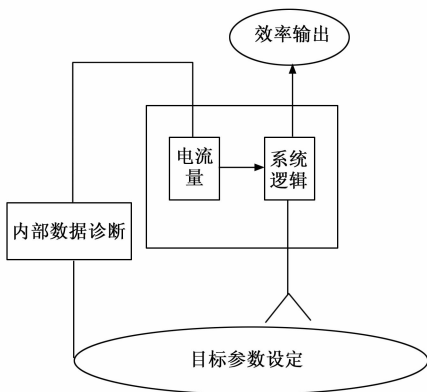


图 4 目标参数设定图

当驱动 NEMA17 到 NEMA34 和更大的系统时, 无需软件操作, 节省操作时间, 进而提升控制效率。通过行业标准 SPI 或步进/方向接口连接到主机微控制器, TMC5160 执行所有实时位置和速度步进运动计算, 与此同时, TMC5160 还支持 ABN 编码器输入, 优化输入端口数据信息, 便利内部结构性操作, 可在接头转换的基础上提供相关信息, 加强对内部控制数据的信息分析力度, 完美再现机器人运转系统, 提高其控制效果。根据上述操作, 实现对系统硬件的设计<sup>[9]</sup>。

## 2 基于 CARLA-PSO 组合模型的机器人步态控制系统软件设计

### 2.1 CARLA-PSO 组合模型

PSO 即粒子群优化算法, 是基于种群的随机优化方法, CARLA 是一种强化学习方法, 通过连续输出能够完成快速全局搜索。建立 CARLA-PSO 组合模型, 该模型分为两个学习子系统, 其中 CARLA 学习子系统负责连续变化参数的在线寻优, 而 PSO 学习子系统能够完成对非线性数据的迭代寻优。CARLA-PSO 组合模型示意图如图 5 所示。

通过图 5 能够得到 CARLA-PSO 组合模型学习环路的寻优步骤为:

- 1) 在模型环境中设置迭代次数、种群个数, 得到行为向量;
- 2) 在策略选择器中首先选择 CARLA 随机行为发生器, 搜索粒子群局部最优结果, 并传递给 PSO 随机行为发生器;
- 3) 在 PSO 随机行为发生器中更新粒子群寻优速度, 通过迭代得到全局最优位置;
- 4) 重复上述步骤, 直到适应度值不再变化, 输出最优结果, 完成寻优控制。

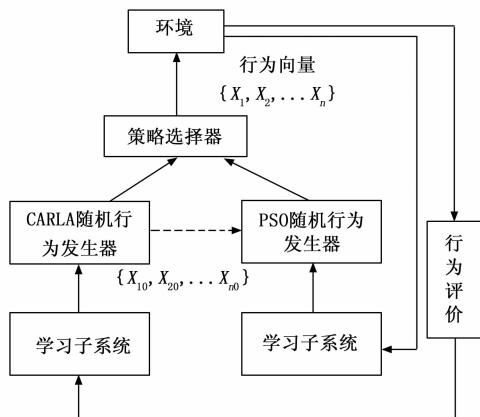


图 5 CARLA-PSO 组合模型学习环路

为提升控制系统的控制有效率, 本文对其系统软件内部进行综合性能分析, 利用硬件数据作为操作基础, 结合 CARLA-PSO 组合模型, 仪器内部的智能学习器作为控制标准, 启动信息内部策略选择器, 通过 CARLA 学习环路确定机器人步态存在位置, 利用位置信息调节器内部控制状态, 整合信息构架<sup>[10]</sup>。设置系统软件设计流程图如图 6 所示。

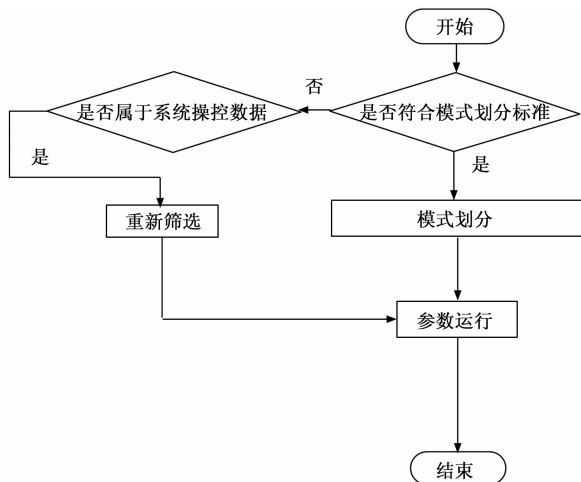


图 6 系统软件设计流程图

在图 6 中, 划分不同的系统软件运作模式, 调节系统中心结构模式, 控制步态数据在规定范围内活动, 设置模式调节公式如下:

$$N = S + P \cdot \frac{A}{M - d} \quad (1)$$

式中,  $N$  表示为调节参数,  $S$  表示为规定范围系数,  $P$  表示为系统软件运行模式参数,  $A$  表示为内部软件策略选择器状态指数,  $M$  表示为信息提取数据,  $d$  表示为位置信息数据<sup>[11]</sup>。

### 2.2 步态控制系统软件设计及系统实现

经过上述操作后, 进行数据反馈控制, 连接硬件中的传感器与红外指南针, 为后续软件操作提供连接服务, 利用软件指南系统及时反馈机器人的运动方向, 感应机器人

在躲避障碍物时的行走路径，进而获取其正常步态信息。整合获取的步态信息，分类中心步态操作，并进行下述步骤的研究：

1) 加大软件内部对机器人的加速度调整力度，控制机器人操作在控制系统允许范围中，时刻监测机器人行走的重心位置，并感应位置所处条件，设置相应的条件感知公式如下：

$$S = \sum I - \sqrt{f+v} \quad (2)$$

式中， $S$  表示为条件感知参数， $I$  表示为系统允许范围参数， $f$  表示为机器人中心位置数据， $v$  表示为监测指数数据<sup>[12]</sup>。

由此掌握精准的机器人步态数据状况，根据类似的样本采集情况分析数据内部信息关联，掌控机器人联系数据<sup>[13]</sup>。

2) 在机器人进行直线路程位移时，管理其脚下压强数据，对压强数据的发生点作集中分析操作，复刻系统的管理模式与控制信息，及时调整机器人的姿态，保证其行走处于安全状态，依据状态分析方程记录此时的状态信息：

$$T = \sqrt{S^3} - \int q + l^2 \quad (3)$$

式中， $T$  表示为状态分析参数， $S$  表示为操作分析数据， $q$  表示为机器人安全状态系数， $l$  表示为调整姿态指数<sup>[14]</sup>。

3) 以获取的分析参数为基础，调控路径信息，把握此时机器人的位置数据，结合传感角信息<sup>[15]</sup>，清理无关的步态数据，设置相应的无关数据清理如图 7 所示。

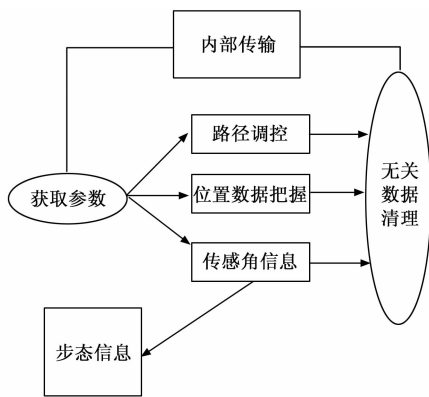


图 7 无关数据清理图

由此，实现整体系统软件设计，优化软件程序信息，获取良好的控制数据结果。

### 3 实验与研究

为精准评估本文基于 CARLA-PSO 组合模型的机器人步态控制系统设计的控制性能，设置相应的实验环境进行性能检验，将本文基于 CARLA-PSO 组合模型的机器人步态控制系统设计的设计效果与传统机器人步态控制系统设计的设计效果进行实验对比。

针对 CARLA-PSO 组合模型构建的操作复杂性以及机器人步态控制系统的设计困难性，需对其实验环境进行数据筛选，组合系统内部结构，按照系统的相应信息规则实

施数据基础处理操作，不断调整系统中心的数据输入模式，构建较为完整的数据操作板，控制步态数据的流通方向，及时阻止无关数据的侵入，并设置如下步骤的实验操作：

1) 选取与系统相符的仿真机器人样本，设置相同的实验行走路径，及时调整偏移的道路，将机器人放置在平整的地面上，沿设置的路线行走，并观察其行走的具体状态。

2) 由于机器人在行走过程中各个关节所受到的力不同，为此，在机器人行走过程中，需集中采集其外部路径信息，在确保电源模块与控制系统发电机连接状况良好后进行检测工作，时刻观察信息的基础流向，按照内容参照物的位置放置相应的实验障碍物，并根据机器人的行走路径验证其行走的状态。

3) 检查机器人关节的协调性，确保其行走的安全性，避免突发状况的产生。标记控制方案及软件算法信息，确保数据保持时刻清晰状态，并记录机器人此时的步态信息，结束实验操作。

在此实验中，根据两个不同的实验参数进行实验对比，进一步提高整体对比效果，并设置相应的实验参数如表 1、表 2 所示。

表 1 实验参数 1

项目	参数
误差脉冲数量	7
步行距离	10 米
质心周期	2
摆动角速度	1°/s
偏离角度	≤8°

表 2 实验参数 2

项目	参数
地面状态	平整
磁力计	AK8963
障碍物距离间隔	50cm
抵达点距离	25cm
变化效率	85%

采用传统基于自适应 PID 控制的机器人步态控制系统及基于遗传算法的机器人步态控制系统作为实验对比方法，在实验参数 1 设置下得到 3 种方法的控制路线对比图如图 8 所示。

在此基础上，在实验参数 2 条件下得到不同方法的控制所需时间对比图如图 9 所示。

根据图 8、图 9 可以分析得出，基于自适应 PID 控制的机器人步态控制系统设计控制路线较为平缓，具有较好的控制效果，但控制所需时间较长，基于遗传算法的机器人步态控制系统设计具有较短的控制所需时间，但其控制路线状态不理想，控制有效率较低。本文基于 CARLA-PSO 组合模型的机器人步态控制系统设计的控制路线优于其他两种传统系统设计，控制所需时间皆短于其他两种传统系统设计。

造成此种差异的原因在于本文系统设计研究系统内部信息状况，并查找系统所处状态的原因，加大数据采集力度，按照相关的空间数据对照系统存储方式进行数据存储，较大程度上保证了数据的存储精准性，减少不必要的麻烦，便利控制操作，在提升控制有效率的同时缩减了控制操作所需时间。而传统基于自适应 PID 控制的机器人步态控制系统设计研究了数据间的整合机制，在管理系统中心数据的基础上进行步态数据审核分析，较好地控制了系统的控

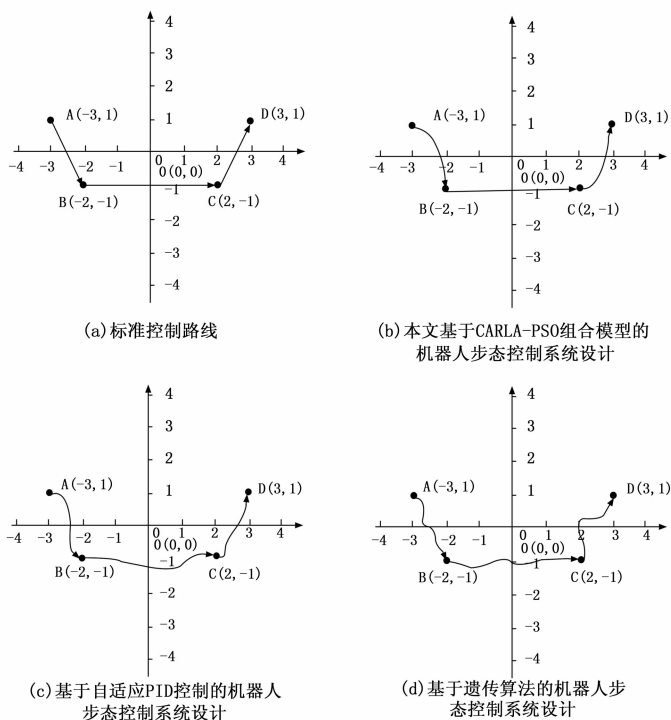


图 8 控制路线对比图

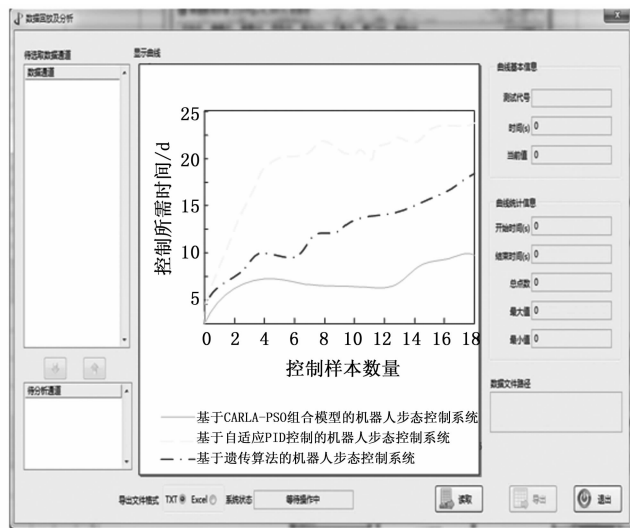


图 9 控制所需时间对比图

制中心性能, 具有较为平稳的控制路线, 但操作步骤较为繁杂, 具有较多的重复步骤, 产生一定的操作浪费, 致使其控制所需时间较长。传统基于遗传算法的机器人步态控制系统设计精简控制操作步骤, 在保证信息的有效传输的同时控制步态数据的流通方向与流通状态, 缩短了控制所需时间, 但正因如此, 对于数据的掌握程度较低, 无法达到系统的操作需求, 在控制功能方面仍有欠缺, 控制路线不平稳, 控制有效效率较低。

综上所述, 本文基于 CARLA-PSO 组合模型的机器人步态控制系统设计能够更好地调节系统间的矛盾问题, 及时解决

系统数据信息, 控制步态数据的有效流通, 简便操作流程, 避免不必要的时间浪费, 具有更为广阔的发展空间。

### 4 结束语

本文在传统机器人步态控制系统设计的基础上提出了一种新式基于 CARLA-PSO 组合模型的机器人步态控制系统设计, 实验结果表明, 该系统设计的控制效果明显优于传统系统设计的控制效果。相较于传统机器人步态控制系统设计, 基于 CARLA-PSO 组合模型的机器人步态控制系统设计能够在较高程度上完善系统内部结构, 通过对数据内部状态的调整达到系统的需求, 根据原有的标准操作方案进行实验研究, 打破了固有的操作模式, 获取更好的控制结果, 具有较高的研究价值。

### 参考文献:

- [1] 谷学静, 张明儒, 王志良, 等. 基于 CARLA-PSO 组合模型的智能控制器参数学习优化 [J]. 计算机应用研究, 2019, 36 (3): 44-47.
- [2] 张云, 郭振武, 陈迪剑, 等. 基于 Kimura 振荡器和虚拟模型的气动肌肉四足机器人步态控制 [J]. 兵工学报, 2018, 39 (7): 166-173.
- [3] 杨雪锋, 郭振武, 王斌锐, 等. 基于带反馈 Hopf 振荡器的六足机器人斜坡步态发生器设计 [J]. 机械工程学报, 2018, 54 (21): 55-62.
- [4] 刘吉成, 季洪超. 新型轮腿机器人步态规划策略 [J]. 中国机械工程, 2019, 30 (18): 2257-2262.
- [5] 徐蔚青, 陶志远, 王石刚, 等. 基于动量控制的猎豹机器人疾驰步态分析 [J]. 机械设计与研究, 2018, 34 (2): 25-30.
- [6] 葛一敏, 袁海辉, 甘春标. 基于步态切换的欠驱动双足机器人控制方法 [J]. 力学学报, 2018, 50 (4): 871-879.
- [7] 梁启松, 姜礼杰, 王勇. 基于步态规律的康复训练机器人机构设计与分析 [J]. 机械传动, 2018, 42 (5): 62-66.
- [8] 康玉祥, 姜春英, 秦运海, 等. 基于改进 PSO 算法的机器人路径规划及实验 [J]. 机器人, 2020, 42 (1): 71-78.
- [9] 邵良杉, 李相辰. 基于 MIV-PSO-SVM 模型的矿井突水水源识别 [J]. 煤炭科学技术, 2018, 46 (8): 183-190.
- [10] 李晓雨, 王浩, 方宝富. 基于螺旋模型的仿人机器人步态参数优化算法 [J]. 模式识别与人工智能, 2018, 31 (11): 1018-1027.
- [11] 杨凯歌, 钟佩思, 郑义, 等. 基于迭代学习控制算法的下肢外骨骼机器人跟随特性 [J]. 科学技术与工程, 2018, 18 (34): 201-206.
- [12] 唐新星, 范大川, 韩方元, 等. [J]. 农业工程学报, 2019, 35 (8): 83-91.
- [13] 葛一敏, 袁海辉, 甘春标. 基于步态切换的欠驱动双足机器人控制方法 [J]. 力学学报, 2018, 50 (4): 169-177.
- [14] 黄孝平, 文芳一. 离散化四足机器人自由步态控制方法 [J]. 科学技术与工程, 2018, 18 (27): 36-41.
- [15] 刘冬琛, 王军政, 汪首坤, 等. 基于速度矢量的电动并联式轮足机器人全方位步态切换方法 [J]. 机械工程学报, 2019, 55 (1): 29-36.