

基于遗传算法的机械设备故障检测机器人设计

周伟恒

(陕西理工大学 物理与电信工程学院, 陕西 汉中 723000)

摘要: 当前故障检测机器人受到超声波影响故障检测存在精准度低的问题, 据此提出了基于遗传算法的机械设备故障检测机器人设计; 采用 AD500-1A 型号传感器采集机械设备内外部数据信息, 使用等效转换电路使机器人实时感知周围环境变化信息, 并利用灵敏度高电子仪器实现机器人传感工作; 使用 2 路 200 万数字网络高清摄像头, 监视整个机械设备, 获取机器人结构通信、管理和运动信息; 将 proGee0813 型号芯片作为导航设备定位芯片, 根据实际需求获取信号指令, 并选定机器人行驶路径; 通过 Unity 与 UE4 引擎虚拟现实硬件交互设备进行故障定位追踪; 利用关节装置连接车轮前臂和上臂, 实现不同磁铁吸附与脱离, 依据机器人结构, 完成机器人硬件结构设计; 采用遗传算法确定导航适应度函数, 通过机器人视频采集信息, 设计预警功能, 并利用机器人即时生成设备故障图像, 依据实现流程, 在超声避障功能支持下, 完成机械设备故障检测; 由实验结果可知, 该机器人检测精准度最高可达到 0.96, 提高了机器人检测鲁棒性。

关键词: 遗传算法; 机械设备; 故障检测; 机器人

Design of Fault Detection Robot for Mechanical Equipment Based on Genetic Algorithm

Zhou Weiheng

(School of physics and Telecommunication Engineering, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723000, China)

Abstract: The current fault detection robot is subject to the problem of low precision in the detection of the fault of the ultrasonic wave, and the design of the robot fault detection robot based on the genetic algorithm is proposed. Ad500-1a sensor is used to collect the internal and external data information of mechanical equipment, the equivalent conversion circuit is used to make the robot sense the change information of surrounding environment in real time, and the high sensitivity electronic instrument is used to realize the sensing work of the robot; two 2-way high-definition digital network cameras are used to monitor the whole mechanical equipment to obtain the communication, management and motion information of the robot structure; proGee0813 As the positioning chip of navigation equipment, the model chip obtains the signal command according to the actual demand, and selects the driving path of the robot; carries out the fault location and tracking through the virtual reality hardware interactive equipment of unity and UE4 engine; uses the joint device to connect the wheel forearm and upper arm to realize the different magnet adsorption and separation, and completes the hardware structure design of the robot according to the robot structure. Using genetic algorithm to determine the navigation fitness function, through the robot video collection information, design the early warning function, and use the robot to generate the equipment fault image in real time, according to the implementation process, under the support of the ultrasonic obstacle avoidance function, complete the mechanical equipment fault detection. The experimental results show that the detection accuracy of the robot can reach 0.96, which improves the detection robustness of the robot.

Keywords: genetic algorithm; mechanical equipment; fault detection; robot

0 引言

机械设备故障带来的风险是不容忽视的, 机械设备故障检测已是当下机械设备领域重要研究方向。机器人目前广泛应用于机械加工车间, 与周围设备共同组成机器人系统, 在故障检测方面扮演着重要角色^[1]。在机械设备使用过程中, 其性能好坏直接取决于设备好坏, 因此, 机械设备正常运行能够提高工业生产效率, 对人们日常生活也有着巨大帮助。为了能够准确地将机械设备稳定性提高, 智能机器人发挥了重要作用^[2]。

目前, 故障检测机器人设计采用知识诊断方法, 无需精确数据模型, 具有良好应用前景。但从基于知识特征方面所使用的故障特征信息, 无法如实反映设备故障特征; 采用模糊理论故障检测机器人设计系统也很难区分同一特征空间上的不同故障模式, 因此, 针对当前故障检测机器人设计方案存在的局限性问题, 提出了基于遗传算法的机械设备故障检测机器人设计, 充分利用遗传算法将各种故障特征融合起来使每个特征都在固定空间内得到高效提取与处理, 通过对不同故障特征诊断结果进行融合, 能够提高机器人故障检测效率^[3]。

1 机械设备故障检测机器人总体结构设计

机械设备故障检测机器人设计主要用于故障检测机器人代替检修人员对机械设备进行测量、识别与判断的。机

收稿日期: 2019-11-29; 修回日期: 2019-12-25。

作者简介: 周伟恒(1996-), 男, 陕西礼泉人, 大学本科生, 主要从事物理学方向的研究。

械设备故障检测机器人主要通过遗传算法及硬件设备,对机械设备故障进行定位、特征提取、自动拍摄,以编码形式传输给图像处理服务器,进行自动报警提示^[4]。

设计机械设备故障检测机器人总体结构主要应用于机械设备故障仿真和检测研究,因此,该结构能够对机器人模型进行仿真,并将故障信息注入到故障设备中,采集故障信息^[5]。总体结构设计具体要求如下所示:

- 1) 该结构能够仿真研究机械设备问题;
- 2) 该结构是机器人故障仿真平台,因此机器人仿真结构注入故障接口或者机器人硬件设备故障种类;
- 3) 该结构主要应用于机器人实时故障检测过程中,仿真平台能够采集机器人故障检测速度、加速度和传感数据等信息;
- 4) 总体结构具有故障检测编写接口,可实时检测机械设备故障;
- 5) 总体结构具有良好人机交互界面,用户能够向机器人发送命令,实现对机器人故障检测信息注入,以此观察机械设备运行情况。

根据上述设计要求,设计了如图 1 所示的总体结构。

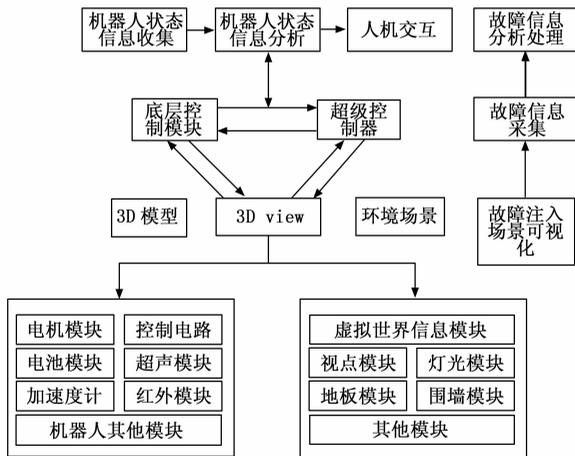


图 1 机械设备故障检测机器人总体结构

机械设备故障检测机器人总体结构分为故障注入场景可视化、故障信息采集、故障分析处理以及人际交互四个部分。其中故障注入场景可视化包括机器人结构设计和运行环境搭建,将机器人结构建立在对应场景树之中,可通过机器人结构运行状态观察故障注入程度;底层控制器负责采集机械设备故障信息,包括故障信息注入速度、加速度和传感信息等,并全部打包发送;故障分析处理以及人际交互主要利用机器人状态信息显示和故障检测结果显示功能,处理接收到的故障信息,并将处理结果全部输出^[6]。

2 硬件设计

应用于机械设备故障检测机器人硬件结构设计主要是由传感设备、智能监控设备、导航设备、交互设备和车轮组成的,这 5 个部分拥有各自独立工作职责,也具有相互交融共同点,在车轮准确配合下使机器人顺利执行机械设

备检测职责^[7]。

2.1 传感设备

机器人对机械设备故障检测时,可分为内传感器和外传感器,其中内传感器主要用来收集机器人所采集到的内部数据,而外传感器主要用来收集机械设备故障数据和周围环境数据^[8]。

传感器是由敏感元件、转换元件、等效转换电路和辅助电源 4 部分组成的。敏感元件能够将输出与被测量组件转换为物理量信号;转换元件可将敏感元件所输出的物理量转换为电信号形式;等效转换电路可将转换元件传输电路信号放大处理,为电路提供辅助电源。

等效转换电路可将既定电路中的一部分转变为一个拓扑结构不同且所含元件参数数值不同的新电路。等效转换电路如图 2 所示。

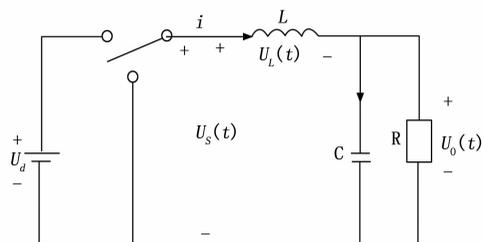


图 2 等效转换电路

从电路中可看出,电感 L 和电容 C 之间形成低通滤波器, $u_s(t)$ 直流分量可通过该电路传输,而谐波分量被该电路抑制;由于电路工作频率较高,一个开关周期内电容不断充放电,其引起的输出电压 $u_0(t)$ 与 $u_s(t)$ 直流分量纹波很小,相对于电容上的输出直流电压 $u_0(t)$ 大于等于放电电压最大值^[9]。

传感设备的设计是保证机器人能够实时感知周围环境变化信息,使用灵敏度高的电子仪器安装在传感设备中,通过传感器和传感设备有机结合完成机器人传感工作。

2.2 智能监控设备

机器人硬件结构核心组件是智能监控设备,为机器人工作提供主要动力。信息采集、审核、处理过程都是在该核心设备中实现的,经过一系列处理信息经过智能监控设备进行反馈决策。

采用 2 路 200 万数字网络高清摄像头监控设备,包含 1T 硬盘,摄像头是机器人监控的重要组件,其安装在机器人内部,使其能监视整个机械设备。智能监控设备主要依赖于计算机实现故障检测稳定工作,使其具有强大数据处理能力,将获取的数据进行统计、整理,并传输到下一级计算机中,实现整个机器人结构的通信、管理和运动。

2.3 导航设备

机器人的导航设备在很大程度上决定了机械设备故障检测速率,在该设备中利用遗传算法植入必备公式,为机器人移动提供支持。

采用 RDC1014A09 电阻式位置传感器作为导航设备核心组件,使用 proGee0813 型号芯片作为导航设备定位芯

片, 该芯片是一种集 32 通道的高度集成 SOC 片系统, 可作为终端用户机核心基带处理芯片, 集成 GPS、GSM、USB2.0 接口、LCD 接口等功能。导航定位接收信号频率为: GPS L1 1575.42 MHz; 定位精度为: 10 m; 信号捕获时间为: <1 s; SIM 卡接口处理器: 多线程超标量处理器; 工作温度: $-400 \sim +850^{\circ}\text{C}$ 。

机器人则根据实际需求选择合适公式处理路径数据, 机器人也可根据获取的信号指令在选定路径上检测机械设备故障。

2.4 交互设备

交互设备是实现用户与智能机器人进行信息交互的设备, 用户通过该设备进行指令传达、数据交流。采用 Unity 与 UE4 引擎虚拟现实硬件交互设备能应对第三方服务交互请求威胁, 并阻止网络服务未授权情况的发生。使用该交互设备具有完美定位追踪效果, 360° 无死角空间定位, 颠覆传统高科技定位项目, 置身于虚拟世界之中。

2.5 车轮结构设计

机器人车轮是由轴心与轴臂连接而成的, 以轴心为中心点, 将每个轴臂的前臂和上臂使用关节装置连接而成的。将上臂固定在机器人车轮轴心上方; 将前臂末端安装在磁性装置上, 磁性装置内部为永磁铁线圈。轴心位置与磁铁连接的变压器副边线圈连接, 并在每条轮臂对应位置设置光电控制开关, 并在紧靠轴心位置处设置发光二极管。

前臂和上臂之间夹角为 135° , 在轴心内安装与磁铁相互连接的变压器副线圈, 设置光电开关作为启动开关, 外部电源作为车轮运作的供电装置, 实现不同磁铁吸附与脱离。

2.6 机器人结构设计

依据机器人特点以及硬件结构, 制定机器人车体, 车体的四个角分别伸出紧贴车体的短臂连接车轮结构。通过车体前方安装的两个发动机, 可带动车轮旋转, 而后方车轮由轴连接, 带动从动轮转动。通过电源配合发电机动作驱动, 使主动轮前进, 进而使整个机器人开始运作。

机械设备故障检测机器人结构如图 3 所示。



图 3 机械设备故障检测机器人结构

机器人传统设备能够对机械设备周围环境自动检测; 监控设备可对信息作出合适采集与分析过程, 并根据分析结果实时决策。发现机械设备故障后, 利用导航设备规划机器人故障检测过程中的路径, 在交互设备支持下, 利用车轮行走, 对机械设备故障进行综合分析检验。

3 基于遗传算法机器人功能设计

采用遗传算法实际上就是由数学中统计方法而来的,

无需大量数据作为支持, 并对个别数据进行分析处理, 获取最佳决策结果。机器人功能设计包括 PC 端控制服务程序和开发应用程序, 其中 PC 端数据处理软件能够实时接收来自设备硬件传输的视频数据, 经过机械后对故障位置定位。再利用遗传算法, 精准获取故障位置信息。

3.1 基于遗传算法学习优化

使用遗传算法优化融合权值矩阵, 将 n 种方法融合权值 $\omega_{11}, \omega_{12}, \dots, \omega_{1n}$ ($i=1, 2, \dots, i$) 合并为染色体串, 并在一定空间中选择杂交和编译操作实现最优权值矩阵构建。权值矩阵串组合方式如图 4 所示。

w_{11}	w_{21}	...	w_{n1}	...
				...
w_{nk}	...	w_{2n}	w_{1n}	...

图 4 权值矩阵串组合方式

ω_i 表示 n 种检测方法权值矢量, 采用遗传算法初始群体是通过随机形式产生的, 经过不断优化更新, 将适应度高个体被复制到下一代群体之中, 并由此形成概率较高的后代, 而杂交则以一定概率在染色体上交换基因。

3.1.1 确定导航适应度函数

设导航初始化问题为:

$$\begin{cases} \min x(a_1, a_2, \dots, a_p) \\ b_j \leq a_j \leq c_j \end{cases} \quad (1)$$

公式 (1) 中, $\{a_j\}$ 表示变量; $\{b_j, c_j\}$ 表示初始化变化区间; x 表示非负函数。将导航初始化问题应用于确定导航被监测参数权值中, 由综合指数表征导航方向, 综合指数表达式为:

$$W(x) = \frac{\sum_{i=1}^N \omega_i \times z_i}{\sum_{i=1}^N \omega_i} \quad (2)$$

式 (2) 中, N 表示 z_i 个参数; ω_i 表示权值。在初始化问题基础上, 选取优化准则函数:

$$x = \frac{|q_i - q_j|}{u_i + u_j} \quad (3)$$

式 (3) 中, q_i, u_i 和 q_j, u_j 分别表示机械设备正常和出现故障时综合指数的平均值和方差。从上述公式中, 可确定适应度函数:

$$F(i) = x^2(i) \quad (4)$$

式 (4) 中, $x(i)$ 表示个体适应度值之间差异。适应度函数优劣决定导航精准度, 通过融合矢量调整函数取值。当诊断结果正确时, 适应度函数取值为 1; 当诊断结果错误时, 适应度函数取值范围为 0 和 1 之间。个体对训练值诊断结果越接近真实值, 那么适应度函数就越大。

3.1.2 操作选择

每一代中的染色体根据适应度函数值, 决定被选择复制到下一代, 并根据其概率确定每个染色体是否能够作为下一代输入进去, 概率计算公式为:

$$P(Q_q) = \frac{R_n(Q_q)}{\sum_{i=1}^M R_n(Q_i)} \quad (5)$$

式 (5) 中, R_n 表示故障种类; M 表示种群规模常数。

3.1.3 杂交操作

杂交是将双染色体所对应的段基因加以交换所形成的相似后代过程, 具体操作流程如图 5 所示。

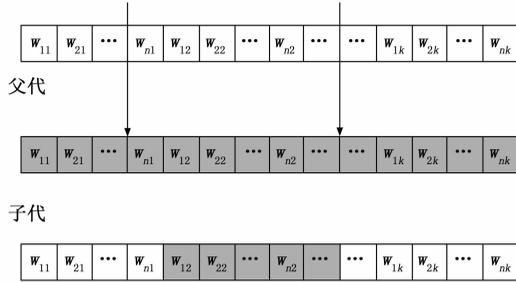


图 5 具体操作流程

3.2 预警功能设计

采用遗传算法获取的适应度函数, 移植搭配导航定向设备之中, 以此为依据, 设计预警功能。预警功能设计主要是通过所在机械设备故障检测机器人视频采集设备中对机械设备故障信息实时采集, 并与原始数据对比, 检查故障状态, 通过自动预警措施, 对故障问题实时上报。利用机器人对机械设备故障预警时, 要比传统预警方式更加精密, 并在该过程能够实现同步检测, 所有零部件以及运行状态都有所展示, 一旦故障发生, 那么机器人可在短时间内对后台作出展示, 以语音播报形式作为故障传输主要形式, 而对故障维护时, 相关工作人员能够及时了解机械设备所出现的异常情况, 并及时维护。根据实际情况, 机器人会对机械设备异常作出警告提示, 从基础角度分析, 全面杜绝故障问题发生。

3.3 利用机器人即时生成设备故障图像

在机械设备故障检测过程中, 工作人员可根据当前机器人的后台图像生成功能对设备情况检查, 并按照已经规定好的步骤, 检查每个设备是否出现故障。在该过程中, 工作人员可直接观察每一个设备内部情况, 各个设备上参数数值会通过机器人标注出来。

如果在检测过程中, 发现指针波动频率较快, 那么在该情况下, 工作人员需交换使用暂停键、保存键。按照一定标准对机械设备当中所显示出来的图像, 进行辨别, 并利用机器人生成实时图像, 对机械设备故障检测具有重要作用。

3.4 故障检测流程

机械设备故障检测机器人设计实现流程如图 6 所示。依据图 6 所示的流程, 完成机械设备故障检测。

4 超声避障设计

机器人在信息传输过程中受到超声波影响, 导致检测效果变差, 因此, 需设计超声避障流程如图 7 所示。

机器人程序在集成编译环境下, 为保证机器人检测效

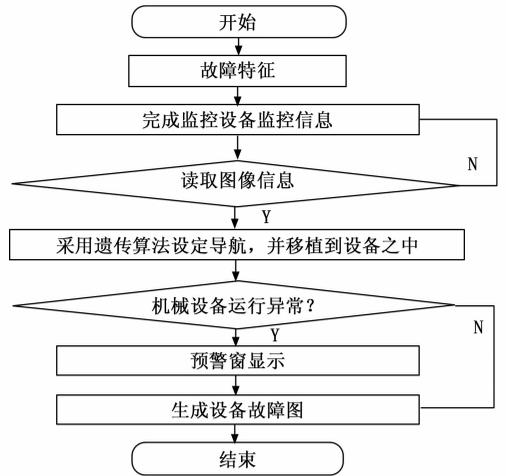


图 6 机械设备故障检测机器人设计实现流程

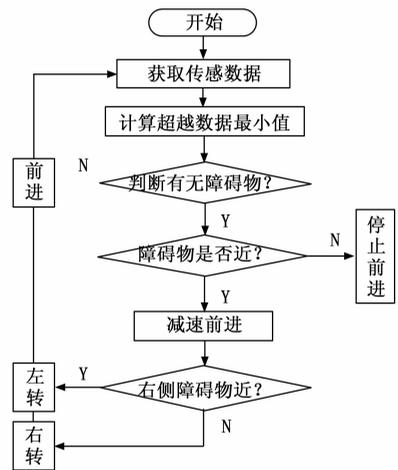


图 7 超声避障流程

果良好, 依据超声避障流程, 实现机器人检测数据的高效传输。

5 实验

建立机器人故障检测系统后, 进行了大量故障仿真实验测试, 并对基于遗传算法的机械设备故障检测机器人设计实验结果深入分析, 验证该系统设计可行性。

5.1 故障仿真实验

实验目的: 通过使机器人在机械设备正常和机械设备异常情况下完成相同任务, 分析机器人相应采集的数据信息, 观察机器人故障检测效果。

机器人运行路径如图 8 所示。

实验过程: 分别在机械正常和四种故障如表 1 所示。

表 1 4 种故障种类

故障一	机械设备联轴器松动
故障二	转子不对称故障振动
故障三	激振振动故障
故障四	轴承松动故障

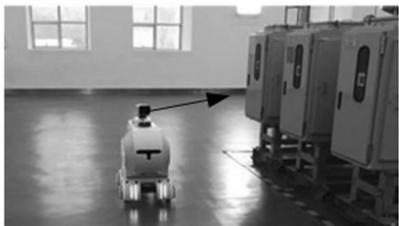


图 8 机器人运行路径

在正常情况下机器人行驶速度始终保持在 0.2 m/s，以此为基础，分析故障情况下机器人行驶速度。

机械设备出现故障情况时，机器人行驶速度出现波动，速度曲线如图 9 所示。

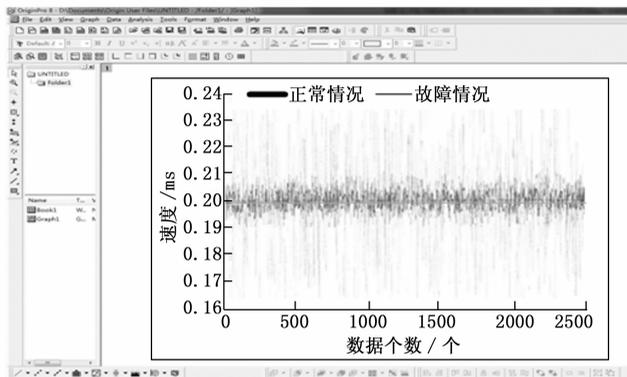


图 9 速度曲线

由图 9 可知，正常情况下机器人行驶速度在 0.2 m/s 上下波动，而一旦出现故障，机器人行驶速度变化范围为 0.16~0.24 m/s。通过机器人系统反馈的数据，工作人员可及时发现机械设备故障问题。

5.2 实验结果与讨论

依据上述内容，对不同数据个数下的机械正常和 4 种故障数据进行统计，结果如表 2 所示。

以往大都采用知识故障检测机器人和模糊理论故障检测机器人进行机械设备故障检测，但由于受到超声波影响，导致故障检测精准度较低，针对该现象，将基于遗传算法故障检测机器人与上述两种机器人的故障检测精准度进行对比分析，结果如表 2 所示。

表 2 不同数据个数下的机械正常和四种故障数据统计

数据 / 个	故障一	故障二	故障三	故障四	正常
500	0.17—0.22	0.16—0.21	0.16—0.22	0.18—0.22	0.19—0.24
1000	0.18—0.22	0.17—0.22	0.16—0.21	0.18—0.21	0.19—0.24
1500	0.18—0.21	0.17—0.23	0.17—0.21	0.17—0.24	0.19—0.24
2000	0.19—0.22	0.17—0.24	0.17—0.24	0.16—0.24	0.19—0.24
2500	0.18—0.21	0.16—0.24	0.17—0.24	0.16—0.23	0.19—0.24

选取数据个数为 1500 个时，三种机器人对故障检测精准度，结果如表 3 所示。

根据表 3 的检测结果可知，遗传算法故障检测机器人故障检测精准度较高，最高可达到 0.96，而其他两种机器

人检测精准度较低，只有故障三下模糊理论故障检测机器人故障精准度超过 0.60。由此可知，基于遗传算法的机械设备故障检测机器人设计是具有可行性的。

表 3 三种机器人故障检测精准度对比分析

故障种类	知识故障检测机器人	模糊理论故障检测机器人	遗传算法故障检测机器人
故障一	0.48	0.54	0.95
故障二	0.38	0.58	0.96
故障三	0.39	0.61	0.96
故障四	0.33	0.59	0.96

6 总结与展望

机械设备在工业发展中占据重要地位，机械设备故障解决也是主要内容，因此，机械设备故障检测机器人设计也是必不可少的，利用遗传算法能够将智能机器人各方面得到优化，在很大程度上解决复杂机械设备故障问题。针对当前机器人故障信息获取的精准程度，提出了基于遗传算法的机械设备故障检测机器人设计，并完成了故障检测机器人实验验证分析。

基于 Matlab 软件研究设计了机械设备故障检测机器人，虽然该机器人能够对机械设备故障问题进行仿真研究，但也存在一些问题仍需深入分析：

1) 在机器人故障检测方面，只针对机械设备几种故障问题进行实验研究，没有考虑到电池、电机故障问题，因此需对故障检测机器人进行进一步研究。

2) 基于遗传算法研究的机械设备故障检测机器人分辨率较低，需进一步对参数优化，保证人机交互界面简单，才能对故障检测结果进一步优化。

参考文献：

[1] 董航, 杜广胜, 刘冬. 基于遗传算法的码垛机器人关节路径规划 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2017, 20 (5): 22-23.

[2] 范媛, 李文锋, 贺利军. 基于改进遗传算法的智能仓储多移动机器人协同调度 [J]. 武汉理工大学学报 (信息与管理工程版), 2019, 18 (3): 18-19.

[3] 周奕, 陈尔奎, 吴梅花. 基于改进遗传算法的矿山救援机器人路径规划 [J]. 煤炭技术, 2019, 14 (6): 139-142.

[4] 陈学锋. 码垛机器人轨迹规划算法研究 [J]. 控制工程, 2018, 16 (5): 23-25.

[5] 薛阳, 张晓宇, 江天博. 基于视觉导航的巡检机器人双模控制研究 [J]. 控制工程, 2018, 25 (11): 1982-1987.

[6] 杨志军, 陈超然, 黄观新. 面向机器人优化设计的 GA-非均匀 Kriging-梯度投影混合全局优化算法 [J]. 机械工程学报, 2019, 55 (11): 61-68.

[7] 李俊, 舒志兵. 基于改进 D* Lite 遗传算法路径规划研究 [J]. 机床与液压, 2019, 12 (11): 55-57.

[8] 王龙, 王云霞, 陈健飞. 光伏板清扫机器人支撑架轻量化优化设计 [J]. 机械设计与研究, 2018, 15 (4): 48-49.

[9] 乔木, 于天彪, 李明. 码垛机器人修正正弦函数插值的轨迹规划 [J]. 机械设计与制造, 2018, 11 (7): 35-39.