

基于区块链的侦查机器人实时避障与航线控制

徐晓丽, 李磊, 江静

(青岛滨海学院 信息工程学院, 山东 青岛 266555)

摘要: 为弥补侦查机器人行进灵活性不足的缺陷, 降低无故运动碰撞事件的发生几率, 提出基于区块链的侦查机器人实时避障与航线控制算法; 利用超声信号处理电路, 提取可供直接应用的侦查运动节点, 联合已完成配置的 MoveIt 避障程序, 实现对侦查机器人的实时避障运动规划; 在此基础上, 设置 LQR 控制器, 在控制机器人侦查航速的同时, 建立必要运动操纵方程, 完成对侦查机器人的运动航线控制, 提升与运动设备元件相关的行进灵活性; 完善 P2P 网络平台, 以待交互的运动数据作为处理支持条件, 将所有侦查信息封装至同一区块组织中, 完成基于区块链的避障控制原理研究, 实现侦查机器人实时避障与航线控制算法的搭建; 对比实验结果表明, 应用基于区块链的控制算法后, C-Space 参数极值超过 8.0, RRT 灵敏度也提升至 75%, 实现了对侦查机器人的灵活性行进控制, 有效抑制了无故运动碰撞事件的出现。

关键词: 区块链; 侦查机器人; 实时避障; 航线控制; 超声信号; MoveIt 程序; LQR 控制器; P2P 平台

Real Time Obstacle Avoidance and Route Control of Scout Robot Based on Block Chain

Xu Xiaoli, Li Lei, Jiang Jing

(Information Engineering Institute, Qingdao Binhai University, Qingdao 266555, China)

Abstract: In order to make up for the lack of mobility of the robot and reduce the probability of causeless motion collision, a real-time obstacle avoidance and route control algorithm for the robot based on block chain was proposed. The ultrasonic signal processing circuit is used to extract the detection movement nodes that can be directly applied, and the completed MoveIt obstacle avoidance program is combined to realize the real-time obstacle avoidance movement planning of the detection robot. On this basis, LQR controller is set to establish the necessary motion control equation while controlling the detection speed of the robot, so as to complete the control of the detection robot's motion route and improve the travel flexibility related to the moving equipment components. To improve the P2P network platform, all the investigation information is packaged into the same block organization for interactive motion data as a processing support condition, and the obstacle avoidance control principle based on block chain is studied, so as to realize the real-time obstacle avoidance and route control algorithm construction of the detection robot. The experimental results show that, after the application of the block chain-based control algorithm, the extreme value of C-space parameter exceeds 8.0, and the RRT sensitivity also increases to 75%, realizing the flexible travel control of the detection robot and effectively inhibiting the occurrence of gratuitous motion collision events.

Keywords: block chain; scout robots; real-time obstacle avoidance; route control; ultrasonic signal; MoveIt program; LQR controller; P2P platform

0 引言

区块链是一个具备共享能力的信息数据库, 存储于其中的数据参量同时具备“集体维护”、“全程留痕”、“公开透明”、“可以追溯”等多项特征。该项技术手段融合了共识机制、分布式数据存储、算法加密、点对点传输 4 类传统应用模式, 作为比特币理论的衍生概念, 区块链弱化了中心控制主机的执行能力, 采用一连串密码为各级数据块组织赋值, 每一数据结构中也包含了可供其它应用元件直接使用的传输交易信息, 可用于数据有效性的验证及下一区块结构的生成处理^[1]。区块链技术完全不依赖第三方

管理机构, 没有中心管制政策的约束, 整个存储结构自成一體, 可逐级通过分布式信息的核算与检测。技术方面区块链存储代码始终保持开源化形式, 可借助查询接口实现对待处理信息的公开与公布^[2]。

侦查机器人是一种常见的行进型运动受控设备, 由正向运动体系、逆向运动体系、核心变动体系多部分共同组成。在实际行进过程中, 受到阻挡障碍物的影响, 机器人会经常出现避障性运动行为, 随着使用时间的延长, 设备体行进元件的变动灵活性大幅下降, 导致无故运动碰撞事件的出现。为解决上述问题, 传统 RRTConnect 算法及 RRTStar 算法直接求导机器人运动关节的行进变动角度,

收稿日期: 2020-06-19; 修回日期: 2020-07-09。

作者简介: 徐晓丽(1979-), 女, 山东青岛人, 硕士, 讲师, 主要从事软件工程、信息安全、多媒体处理方向的研究。

李磊(1980-), 男, 山东青岛人, 硕士, 副教授, 主要从事信息系统工程、信息化管理方向的研究。

引用格式: 徐晓丽, 李磊, 江静. 基于区块链的侦查机器人实时避障与航线控制[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(2): 87-91.

借助 OBB 避障模型，确定阻挡障碍物的实际所属位置。但传统方法的 C-Space 参数极值水平过低，RRT 灵敏度指标也始终不能达到理想化数值水平。基于此引入区块链处理技术，在超声信号处理电路、LQR 控制器等硬件设备结构的支持下，建立一种新型的侦查机器人实时避障与航线控制算法，再通过设计对比实验的方式，突出说明该算法的实际应用价值。

1 侦查机器人实时避障运动规划

侦查机器人实时避障运动规划包含超声信号处理电路连接、侦查运动节点提取、MoveIt 避障程序配置 3 个处理环节，具体操作流程如下。

1.1 机器人超声信号处理电路

由图 1 所示，超声信号处理电路可提供侦查机器人运动行进所需的应用电子量，存在于实时电流输入端与实时电流输出端之间，可在信号振荡器、信号接收器等多个电路处理元件的作用下，实现对机器人避障传输电量的存储与调度^[3]。PWM 超声输出装置位于机器人信号处理电路中部，向右与避障信号接收器相连，可将待应用传输电子规划成多个小型信号执行结构，一部分用于电量储蓄端的长久贮存，另一部分用于侦查机器人的实时避障消耗；向左与 4 个阻值完全相同的运动执行电阻相连，当超声信号电流由电路正极输入电量负极时，PWM 装置快速更改与信号振荡器间的实时连接形式，达到对机器人超声信号传输电流的定向性调节^[4]。偏压子电路存在于超声信号处理电路下端，与机器人阶段段相连，当输入端开启信号录入模式后， R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 电阻迅速更改已接入的阻值参量，以实现侦查机器人实时避障行为的逐级化控制。

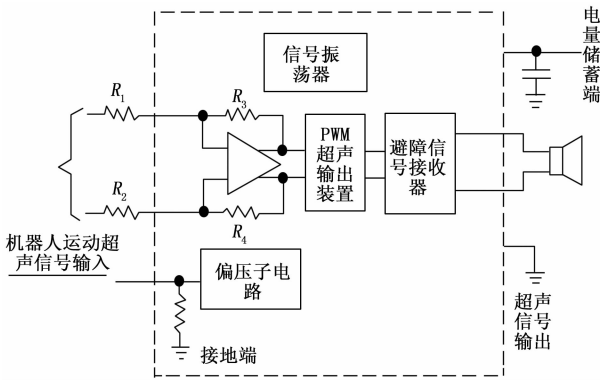


图 1 机器人超声信号处理电路结构图

1.2 侦查运动节点提取

为了实现对侦查机器人避障连杆的实时控制，借助信号处理电路记录各时刻输出电子的实际占用水平，结合与机器人关节角相关的变动数据，多次获取任意本征避障节点的空间位姿信息，从而计算侦查机器人避障连杆的实时所处位置^[5]。假设机器人运动坐标系与避障连杆控制坐标系完全重合，机器人的关节角度值 θ_m ， m 代表该行进变动角所对应的机器人运动关节序号，则本征避障节点的空间

位姿信息可用下式表示：

$$T = \frac{\lambda \theta_m \cdot |\theta_1 - \theta_0|}{u_0^2 + u_1^2} \tag{1}$$

其中： λ 代表超声信号处理电路中机器人运动电子的输入总量， θ_1 代表侦查机器人避障连杆的外部行进变动角， θ_0 代表侦查机器人避障连杆的内部行进变动角， u_0 、 u_1 分别代表两个不同的避障位姿信息筛查条件。若不考虑机器人的间接行进碰撞行为，规定在实时避障规划的过程中，侦查机器人始终保持匀速且稳定的前进行为，则可认为本征避障节点的空间位姿信息直接影响实际避障行为的处理结果。设 p_1 、 p_2 、 \dots 、 p_n 分别代表 n 个与机器人侦查运动相关的行进避障判别条件，联立公式 (1)，可将机器人侦查运动节点的提取处置行为定义为：

$$L_n = \sqrt{\frac{T \cdot (j_1 + j_2 + \dots + j_n)}{\sqrt{p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2}}} \tag{2}$$

式中， j_1 ， j_2 ， \dots ， j_n 分别代表侦查机器人在行进过程中所路过的 n 个不同的预设避障行为记录节点。

1.3 MoveIt 避障程序配置

MoveIt 避障程序是与侦查机器人实时避障运动规划算法相关的软件配置环节，可在 1r4 r850 moveit、kdl kinematics plugin、KDLKinematicsPlugin 三类工具包的作用下，直接更改实时避障指令在空间范围内的作用处置权限，以此缩短运动行进设备的平均反应时长，达到提升侦查机器人行进灵活性的目的。1r4 r850 moveit 工具包与机器人超声信号处理电路的振荡器设备相匹配，可在既定执行周期内，实现对 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 电阻的同向干预控制，并对已输入超声信号进行编码处理，防止混乱避障处理行为的出现^[6-7]。kdl kinematics plugin 工具包与本征避障节点的空间位姿信息相匹配，可更改积分环境下，与侦查机器人行进运动相关的关节角边限累积条件，从而获得更加精准的侦查运动节点提取结果。KDLKinematicsPlugin 工具包与偏压子电路相匹配，作用于实时避障指令的执行初期与末期，在同一执行周期内，只能保持相同的更改作用行为，整体配置调节能力相对受限。

表 1 MoveIt 避障程序配置原理

程序类别	配置作用位置	配置处理能力
1r4 r850 moveit	超声信号处理电路的振荡器设备	控制电阻的实际接入数值、编码已输入的侦查机器人超声信号
kdl kinematics plugin	本征避障节点的空间位姿信息	更改侦查机器人运动关节角的边限积分条件
KDLKinematicsPlugin	偏压子电路	仅在避障指令的初始与末尾执行周期内，更改机器人运动超声信号的输入状态

2 侦查机器人运动航线控制

在侦查机器人实时避障运动规划原理的支持下，按照 LQR 控制器搭建、侦查航速控制、运动操纵方程定义的处

理流程, 实现对机器人结构体的运动航线控制。

2.1 LQR 控制器

LQR 控制器负责侦查机器人航线控制指令的执行与应用, 在区块链子系统中能够根据机器人实体的运动行进状态, 记录必要的图像数据信息, 再通过超声信号的形式, 输出至其它避障处置面板中^[8-9]。LQR 控制主机分别与 1~8 号子级控制面板相连, 其中 1 号面板代表机器人伺服避障处理器, 2 号面板代表行进运动控制器、3 号面板代表高压前进控制器, 4 号面板代表低压前进控制器, 5 号面板代表辅助避障应用元件, 6 号面板代表转向控制器, 7 号面板代表伺服前进永动机, 8 号面板代表机器人转向控制器。当机器人航行数据输入区块链子系统时, 所有控制元件同时开启应用连接形式, 此时侦查网络接口由闭合转为启用状态, 经过控制操作面板的多次调节, 使机器人本体逐渐达到相对良好的行进运动趋势。LQR 控制器结构如图 2 所示。

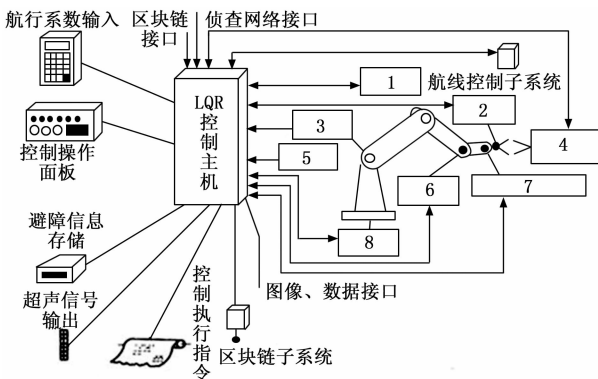


图 2 LQR 控制器结构图

2.2 侦查航速控制

侦查航速控制是机器人运动航线控制中的重要处理环节, 在 LQR 控制器元件的作用下, 选取初始避障位置作为记录原点、实时避障位置作为末尾记录节点, 多次更改与运动航线相关的机器人行进转向角, 使得航速数值得到逐级化分割, 在每一物理小区间内提取行进转向角的均值化参量, 用于后续侦查航速控制计算的实用数据支持条件^[10]。规定整条侦查机器人运动航线由 i 个小型物理区间组成, 其中第一区间的行进转向角为 α_1 , 第二区间的行进转向角为 α_2 , 第 i 区间的行进转向角为 α_i , 联立公式 (2), 可将每一区间的行进转向角均值化参量表示为:

$$\begin{cases} \alpha_1 = \frac{L_n}{W_1 - \lambda_1 \alpha_1} \\ \alpha_2 = \frac{L_n}{W_2 - \lambda_2 \alpha_2} \\ \alpha_{\dots} = \frac{L_n}{W_{\dots} - \lambda_{\dots} \alpha_{\dots}} \\ \alpha_i = \frac{L_i}{W_i - \lambda_i \alpha_i} \end{cases} \quad (3)$$

其中: W_1, W_2, W_{\dots}, W_i 分别代表行进方向上 i 个不同的侦查机器人运动分量, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_{\dots}, \lambda_i$ 分别代表 i 个不同的运动

航线转角系数。以行进转向角均值化参量作为侦查航速控制的输出系数条件, 假设机器人实时避障运动的最大参量约束值不超过 E_i 、最小参量约束值不低于 E_1 , 整合上述物理量, 可将侦查机器人的航速控制判别式定义为:

$$S_i = \frac{\int_{E_1}^{E_i} \frac{\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_{\dots} \cdot \alpha_i dG}{(1+i)G}}{r_i^2 - r_1^2} \quad (4)$$

式中, G 代表侦查机器人实时避障运动的行进控制条件, r_i 代表避障侦查的最大运动判别系数, r_1 代表避障侦查的最小运动判别系数。

2.3 运动操纵方程

运动操作方程直接关系侦查机器人运动航线的最终控制结果, 在不同坐标参考条件下, 可得到不同的行进避障运动分量值^[11-12]。规定侦查机器人实时避障运动的正方向为行进航线控制的正方向, 实时避障运动的负方向为行进航线控制的负方向, 定义中心点 O 的参考坐标为 (x_0, y_0) , 避障运动末尾结束点 O' 的参考坐标为 (x', y') , 利用上述物理量, 可将由点 O 指向点 O' 的运动坐标系正向表达式 $D_{OO'}$ 定义为:

$$D_{OO'} = \frac{x' - x_0}{\Delta x} \cdot \frac{y' - y_0}{\Delta y} \quad (5)$$

其中: Δx 代表点 O' 所在直线与点 O 所在直线的横向位移变化差值, Δy 代表点 O' 所在直线与点 O 所在直线的纵向位移变化差值, x 代表运动坐标系的横坐标参考基向量, y 代表运动坐标系的纵坐标参考基向量。若不考虑不当侦查行为对机器人实时避障运动的影响, 规定在整个行进周期内, 机器人航线始终不会发生明显的转动变向趋势。设 ΔT 代表侦查机器人的实时行进运动周期, $\xi_{oo'}$ 代表避障航线操纵系数, 联立公式 (4)、公式 (5), 可将侦查机器人运动航线操纵方程定义为:

$$V = \frac{S_i D_{OO'} \sqrt{(1 - \xi_{oo'})^2 - \gamma_{oo'}^2}}{i \Delta T (s_1 - s_0)} \quad (6)$$

式中, $\gamma_{oo'}$ 为侦查机器人的避障运动行进控制系数, s_1 为航线结束位置的实时记录坐标, s_0 为航线起始位置的实时记录坐标。

3 基于区块链的避障控制实现

联合 P2P 网络平台等区块链组织的实际应用需求, 按照运动数据交互、侦查信息封装的处理流程, 实现基于区块链的侦查机器人避障控制原理研究。

3.1 P2P 网络平台

P2P 网络平台是区块链单元中的核心控制指令处置元件, 在实施机器人避障控制的过程中, 始终保持发散状应用形式, 为实现对侦查机器人航线的精准化控制, 每一类执行主机都必须拥有一个主输出设备和一个辅助输出设备^[13]。图 3 为一个完整的 P2P 网络平台结构, 其中包含侦查信号发生器、航线规划主机、机器人避障信号接收器、

航线控制设备共 4 类执行应用元件。在区块链控制中心的调度下，侦查信号发生器可实时检测机器人的行进运动状态，并根据运动操作方程，控制避障指令的实际输出速率。航线规划主机与航线控制设备始终保持互为相反的作用效果，随机器人避障信号的改变，接收器装置会自发转换与区块链控制中心匹配的连接实践行为，两类执行主机则可在对传输信号进行初步分拣处理后，选取其中可用于航线控制的信息成分，借助 P2P 网络平台传输至 LQR 控制器之中^[14]。

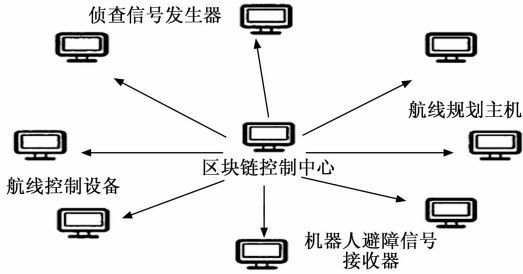


图 3 P2P 网络平台结构图

3.2 运动数据交互处理

运动数据交互是一种标准化的避障信息处置手段，在机器人实时运动航线不出现偏移的情况下，待处理数据始终存储于区块链主机中，而随着避障信号传输总量的增加，与侦查机器人相关的运动支持设备会开启快速转变模式，直至无故运动碰撞事件的发生^[15-16]。为解决上述问题，航线规划主机直接调取区块链控制中心内已存储的实时避障信息，联合 JSON 模型，定义避障航线的初始与终止运动位置，在确定二者间控制限定关系的同时，计算避障行进的实际偏转角数值^[17-18]。JSON 模型是一种常见的数据交互格式，能够正确存储并表示侦查机器人的行进运动数据，是独立于其它处理模型的文本编辑手段，经过处理后的交互数据可清晰表述航线内的转角变动幅度。设 g_0 代表侦查机器人避障航线的初始运动位置， g_1 代表侦查机器人避障航线的终止运动位置，联立公式 (6)，可将基于区块链的机器人运动数据交互处理表达式定义为：

$$H = \frac{f_1 + f_2}{\int_{s_0}^{s_1} V \ln(\frac{hh'}{d^2})} \quad (7)$$

其中： f_1 、 f_2 分别代表两个不同的避障信息交互系数， h 代表区块链约束参量， h' 代表系数 h 的补充说明条件， d 代表与侦查机器人相关的航线控制参量。

3.3 侦查信息封装

侦查信息封装是实时避障与航线控制算法搭建的末尾处置环节，由于区块链组织为 P2P 网络平台提供了多个控制接口，但对于 LQR 控制器来说，这些接口是不需要全部使用的，因此需要对使用到的接口进行一定的封装处理。这种处理手段不仅实现了对机器人侦查信息的整合，也将与航线控制相关的数据参量打包成固化结构体，以供其它区块链设备的直接调取与应用^[19-20]。规定 \bar{j} 代表机器人侦查

避障信息的实时输入总量，联立公式 (7)，可将基于区块链的机器人侦查信息封装结果表示为：

$$A = \left(\frac{f}{\bar{j} \sqrt{b} \cdot \bar{k} \sqrt{c}} \right)^2 \quad (8)$$

式中， b 、 c 分别代表实时避障参量与实时航线控制参量， \bar{k} 代表机器人航线控制信息的实时输入总量。至此，完成各项应用限制条件的建立，在区块链网络平台的支持下，实现侦查机器人实时避障与航线控制算法的顺利应用。

4 实验结果与分析

为验证基于区块链侦查机器人实时避障与航线控制算法的实际应用能力，设计如下对比实验。选取一运动行进能力相对稳定的侦查机器人作为实验对象，将其放置于预设航线中，为验证无故运动碰撞事件的发生几率，在航线中设置多个阻挡障碍物。

分别将实时避障与航线控制算法（实验组）、RRTConnect 算法（对照组 A）、RRTStar 算法（对照组 B）输入监测实验主机中，更改机器人的实际行进运动速率，记录 C-Space 参数及 RRT 灵敏度的具体变化情况。C-Space 参数、RRT 灵敏度均能反应侦查机器人的行进灵活性，通常情况下，两项指标的数值水平越高，机器人的行进灵活性也就越强；反之则越弱。

图 4 反应了 3 组不同的 C-Space 参数实值对比结果。分析图 4 可知，在已知机器人行进距离的情况下，随运动速度的增加，实验组 C-Space 参数的实值记录结果最大、

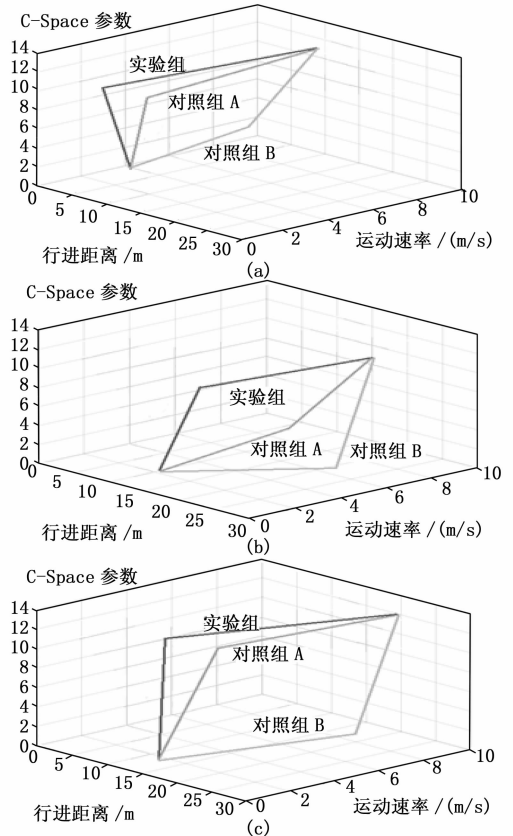


图 4 C-Space 参数对比图

对照组 B 的 C-Space 参数实值记录结果最小。以第 2 次记录数值为例, 在固定行进距离、运动速度的前提下, 实验组 C-Space 参数极值达到 8.0, 对照组 A 的 C-Space 参数极值达到 6.0, 与实验组相比下降了 2.0, 对照组 B 的 C-Space 参数极值则仅能保持为 0, 与实验组相比下降了 8.0。

表 2 RRT 灵敏度对比表

行进距离 /m	运动速度 /(m/s)	RRT 灵敏度/%		
		实验组	对照组 A	对照组 B
5	2	64	49	36
10	4	68	49	37
15	6	72	49	38
20	8	75	49	39
25	10	73	49	39
30	12	74	49	39

已知侦查机器人行进距离与运动速度参量总是保持单独对应的存在状态。分析表 2 可知, 随上述两项物理量实值水平的提升, 实验组 RRT 灵敏度在持续增大后开始逐渐趋于稳定性波动; 对照组 A 的 RRT 灵敏度在整个实验过程中始终保持稳定, 该稳定实值与实验组极值相比, 下降了 26%; 对照组 B 的 RRT 灵敏度前期不断增大、后期保持稳定, 全局最大值与实验组极值相比, 下降了 36%。

综上所述, 若使实际行进距离与运动速度参量保持不变, 随着基于区块链实时避障与航线控制算法的应用, C-Space 参数、RRT 灵敏度均出现不同程度的增大趋势, 与传统 RRTConnect 算法及 RRTStar 算法相比, 更能弥补侦查机器人行进灵活性不足的缺陷, 达到降低无故运动碰撞事件发生几率的目的。

5 结束语

在区块链技术的支持下, 实时避障与航线控制算法针对侦查机器人行进灵活性不足的问题实施改进, 联合超声信号处理电路, 提取侦查运动过程中各节点处的行进信息, 利用航速参量、封装信息等数据结构, 建立必要的运动学操作方程。固定实际运动速度、行进距离保持不变, C-Space 参数、RRT 灵敏度均能达到理想指标水平, 可实现对侦查机器人的灵活性行进控制, 充分降低无故运动碰撞事件的发生几率^[21-22]。实验结果表明, 在所提基于区块链的侦查机器人实时避障与航线控制方法下, 侦查性机器人的 C-Space 参数极值达到 8.0, RRT 灵敏度在持续增大后开始逐渐趋于稳定性波动, 平均值为 71%, 均高于实验对比方法, 证明了所提方法下侦查机器人的灵活性更好, 能够降低无故运动碰撞事件发生。

参考文献:

[1] 李 萌, 刘文奇, 米允龙. 基于区块链的公共数据电子证据系统及关联性分析 [J]. 智能系统学报, 2019, 14 (6): 1127-1137.

[2] 杨信廷, 王明亭, 徐大明, 等. 基于区块链的农产品追溯系统信息存储模型与查询方法 [J]. 农业工程学报, 2019, 35

(22): 323-330.

[3] 倪晓宇, 崔瑞龙, 刘 威, 等. 基于 TMS320F28035 + DRV8412 两相混合式步进电机驱动电路设计 [J]. 电子设计工程, 2020, 28 (7): 36-40.

[4] 魏业文, 李应智, 曹 斌, 等. 含 Buck 电路的锂电池低功耗电量均衡技术研究 [J]. 电工技术学报, 2018, 33 (11): 2575-2583.

[5] 杨 思, 朱爱华, 姚德臣, 等. 基于 MCKD 与小波包熵的齿轮箱轴承微弱故障信号提取 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2018, (5): 131-134, 138.

[6] 陈波芝, 陆 亮, 雷新宇, 等. 基于改进快速扩展随机树算法的双机械臂协同避障规划方法 [J]. 中国机械工程, 2018, 29 (10): 1220-1226.

[7] 谢永良, 尹建军, 余承超, 等. 轮式 AGV 沿葡萄园垄道行驶避障导航算法与模拟试验 [J]. 农业机械学报, 2018, 49 (7): 20-29.

[8] 赵宏宇, 黄得刚, 何启志, 等. 高超声速飞行器非线性巡航控制器设计 [J]. 西北工业大学学报, 2018, 36 (3): 403-413.

[9] 左 剑, 谢平平, 李银红, 等. 基于智能优化算法的互联网负荷频率控制器设计及其控制性能分析 [J]. 电工技术学报, 2018, 33 (3): 478-489.

[10] 吕成兴, 于海生, 周忠海, 等. 端口受控哈密顿方法的电力双推进无人船航向航速控制 [J]. 海洋科学, 2018, 42 (1): 134-138.

[11] 董肖莉, 李卫军, 宁 欣, 等. 应用三角形坐标系的风格化肖像生成算法 [J]. 西安交通大学学报, 2018, 52 (4): 144-149.

[12] 孙大雁, 韦永忠, 巨云涛, 等. 极坐标系下主动配电网三相线性潮流计算方法 [J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47 (3): 1-8.

[13] 刘 盼, 李华康, 孙国梓. 基于短时多源回归算法的 P2P 平台风险观测方法 [J]. 计算机科学, 2018, 45 (5): 104-108.

[14] 周森磊, 张敬爱, 赵 宇, 等. 压电微定位平台神经网络与专家模糊复合控制方法 [J]. 控制与决策, 2018, 33 (1): 98-103.

[15] 华 丹. 基于区块链技术的工业机器人视觉检测及避障系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (7): 69-73.

[16] 张 迪, 刘 鑫. 基于 LabVIEW 软件的机器人避障控制系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (9): 110-115.

[17] 陈 颀, 罗 磊, 莫锦秋, 等. 采用 FANUC 机器人内核 KAREL 语言实现机器人内外数据批量交互 [J]. 机械设计与研究, 2019 (3): 15-18.

[18] 彭 卉, 杜云艳, 易嘉伟, 等. 基于手机数据的北京市城市与近郊交互模式挖掘 [J]. 地球信息科学学报, 2019, 21 (1): 97-106.

[19] 董元发, 吴正佳, 杜 轩, 等. 元活动模型驱动的多领域制造资源粒层化服务封装与检索 [J]. 中国机械工程, 2018, 29 (12): 1475-1484.

[20] 王 瑞, 李 青, 赵 倩. 基于 SOA 与 Web Service 的飞机保障信息系统集成 [J]. 计算机工程, 2018, 44 (1): 91-97.

[21] 孟 超, 郭 倩. 基于 System Vue 的爬壁机器人控制器研究 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (5): 93-97.

[22] 霍延军, 崔 巍. 基于强跟踪滤波的机器人运动轨迹控制系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (8): 149-152.