

# 基于改进机器学习的图书馆机器人 自主避障控制研究

李静<sup>1</sup>, 罗征<sup>1</sup>, 闫振平<sup>2</sup>, 张县<sup>1</sup>

(1. 西安欧亚学院 图文信息中心, 西安 710065; 2. 北京金盘鹏图软件技术有限公司, 北京 100085)

**摘要:** 为控制图书馆机器人在行进过程中自动躲避障碍, 达到理想工作效果, 提出基于改进机器学习的图书馆机器人自主避障控制方法; 采集图书馆机器人与目标障碍物距离信息, 感知环境特征向量, 当成卷积神经网络输入, 经卷积、池化等操作, 输出图书馆机器人对当前环境感知结果, 该结果经输入输出变量模糊化、模糊推理以及输出变量解模糊等操作后, 实现图书馆机器人自主避障无冲突运行; 实验结果表明: 该方法自主避障控制效果较好, 避障行驶距离短, 高速运行时反应更快, 能够避开多个障碍物, 识别分类结果与实际感知环境类型一致。

**关键词:** 改进机器学习; 图书馆机器人; 自主避障控制; 粒子群算法; 卷积神经网络; 模糊 PID 算法

## Research on Autonomous Obstacle Avoidance Control of Library Robots Based on Improved Machine Learning

LI Jing<sup>1</sup>, LUO Zheng<sup>1</sup>, YAN Zhenping<sup>2</sup>, ZHANG Xian<sup>1</sup>

(1. Image and Text Information Center of Xi'an Eurasian University, Xi'an 710065, China;

2. Beijing Jinpan Pengtu Software Technology Co., Ltd., Beijing 100085, China)

**Abstract:** In order to control library robots to avoid obstacles automatically in the process of traveling and achieve an ideal working effect, an autonomous obstacle avoidance control method of library robots based on improved machine learning is proposed. Collect the distance information between the library robot and the target obstacle, perceive the environment feature vector taken as the input of convolutional neural network, and output the perception results of library robots in the current environment after the convolution and pooling. The results are processed through operations such as the input and output variable fuzzification, fuzzy reasoning, and output variable defuzzification, thus implementing autonomous obstacle avoidance and non conflict operation of library robots. Experimental results show that this method has the advantages of good autonomous obstacle avoidance control effect, short obstacle avoidance driving distance, and faster response when running at high speed. Meanwhile, it can avoid multiple obstacles, and the recognition and classification results are consistent with the actual perceived environmental types.

**Keywords:** improving machine learning; library robots; autonomous obstacle avoidance control; particle swarm optimization algorithm; convolutional neural networks; fuzzy PID

## 0 引言

目前多数图书馆机器人在进行工作时, 都是依赖提前编写的程序重复进行工作, 当其在行进过程中出现明显障碍物时, 要么由现场工作人员操作控制其躲避障碍物, 要么虽然无现场工作人员, 也会由远程监控人员实施远程操控<sup>[1-2]</sup>。伴随科技的不断进步与发展, 人们对实现图书馆机器人高度智能化以及解放劳动力方面的需求越发强烈<sup>[3]</sup>, 尤其是在当前人工智能处于蓬勃发展背景下, 提升图书馆机器人所拥有的智能水平, 使其即使在面对复杂场景时, 也能够自主避障完成任务成为可能<sup>[4]</sup>。基于此, 越来越多

专家以及科研工作者开始着手结合人工智能以及机器人技术, 对图书馆机器人自主避障控制方法进行研究。

近些年, 在诸多专家以及科研工作者不遗余力努力下, 涌现出大量机器人自主避障控制方法。文献 [5] 提出基于 DDPG-PID 的图书馆机器人自主避障控制方法, 将传统 PID 算法与 DDPG 算法有效结合, 共同完成图书馆机器人自主避障控制。通过 PID 算法控制图书馆机器人工作平面迅速接近并重合目标物体, 再通过 DDPG 算法让图书馆机器人工作平面通过自主方式对目标物体投影实施有效跟踪, 从而躲避障碍物形成投影。该方法在障碍物数量较少状况下,

收稿日期: 2024-04-30; 修回日期: 2024-06-07。

基金项目: 西安欧亚学院校级研究项目(2023XJSK05)。

作者简介: 李静(1978-), 女, 硕士, 馆员。

罗征(1978-), 男, 硕士, 副教授, 高级工程师。

引用格式: 李静, 罗征, 闫振平, 等. 基于改进机器学习的图书馆机器人自主避障控制研究[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(9): 200-205, 240.

自主避障控制性能较好, 但是当需躲避障碍物数量较多时, 控制性能不够理想; 文献 [6] 提出基于动态环境的图书馆机器人自主避障控制方法, 通过单目相机采集处理图书馆机器人行驶道路图像, 使用 Haar 级联性分类器检测图书馆机器人行驶道路中不同规格形状障碍物, 并按所提模糊性逻辑规则求解图书馆机器人导航时相对于行驶道路障碍物中心坐标方位, 自主控制机器人避障。该方法可实现图书馆机器人自主避障, 但所躲避障碍物为静态障碍物时, 避障性能较佳, 若要躲避障碍物为动态性质, 则避障性能不够理想; 文献 [7] 提出基于任务转换的图书馆机器人自主避障控制算法, 根据投影性矢量预选选算法, 通过障碍物投射在图书馆机器人连杆的影子矢量, 将非避碰类杆件筛选掉, 求解可能避免碰撞杆件同障碍物之间的距离, 并通过将得出各距离比较获得最短距离后, 按避障物标志点同障碍物之间最短距离所呈现的变化, 加入多任务性转换因子, 实现图书馆机器人在关节、任务空间的有效避障。该方法可躲避在不同方位的障碍物, 但是只有在障碍物是静态状况下, 且障碍物数量不多情况下, 才具有特别优良的避障控制性能, 否则可能存在避障不佳状况; 文献 [8] 提出基于实时传感的图书馆机器人快速自主避障控制方法, 使用隶属深度学习算法的 Double DQN 法搭建图书馆机器人自主避障控制模型, 把采集的传感数据当成模型输入, 直接输出图书馆机器人避障执行动作, 控制图书馆机器人自主避障, 运用该方法对图书馆机器人实施自主避障控制, 可显著提升机器人自主避障控制实时性, 但当目标障碍物较大时, 控制效果不够理想。

卷积神经网络算法隶属机器学习算法范畴, 属于机器学习算法中的监督性学习算法, 具有非常优良的分类识别性能, 将其与模糊 PID 控制算法结合共同完成机器人避障控制, 即使机器人面临的是规格较大、数量较多的动态障碍物, 依然可以较好实现机器人实时自主避障。为此, 提出基于改进机器学习的图书馆机器人自主避障控制算法。

## 1 图书馆机器人自动避障控制

### 1.1 模糊 PID 图书馆机器人自主避障控制模型设计

机器人处于动态性环境时, 其运动模型通常较为复杂, 无法构建出非常准确的数学运动模型来精准预测目标障碍物所处方位<sup>[9]</sup>。模糊控制算法隶属规则性控制算法范畴<sup>[10]</sup>, 在使用其对机器人实施避障控制时, 无需构建精确的机器人数学运动模型, 便可实现机器人自主避障控制, 在实际工作中具有较强的适用性。故此, 在控制图书馆机器人避障过程中, 决定使用模糊控制算法完成相应的避障控制工作。构建的模糊 PID 图书馆机器人自主避障控制模型如图 1 所示。

在图书馆机器人机身上通常安装有 3 组能够探测左、右、前方障碍物信息的超声波测距传感器。各组超声波测距传感器兼具发射器与接收器功能, 可准确快速完成回声类测距任务。将各组超声波测距传感器中测得与障碍物距离最小的信息组合成描述机器人实时感知环境的特征性向

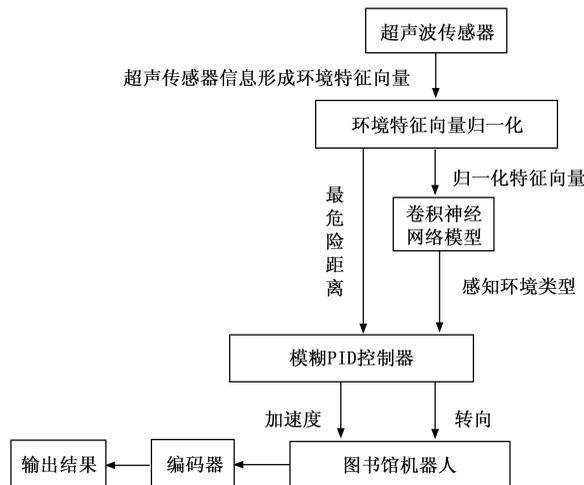


图 1 模糊 PID 避障控制模型

量, 当成卷积神经网络的有效输入, 便可实现图书馆机器人对当前环境感知结果, 而后将识别结果与该感知结果下图书馆机器人距障碍物间距、图书馆机器人实时速度, 当成模糊 PID 控制模型有效输入, 便可实现图书馆机器人自主避障无冲突运行。

用  $\alpha$ 、 $\beta$  代表控制模型输出的图书馆机器人运行加速度以及转向角, 输入为图书馆机器人感知环境类型与该感知结果下图书馆机器人距障碍物间距、图书馆机器人实时速度。可将该控制模型用公式描述成:

$$\begin{cases} Y = f(\varphi) \\ \varphi = \{Z, FD, V\} \\ Y = \{\alpha, \beta\} \end{cases} \quad (1)$$

式中,  $Y$  与  $\varphi$  分别代表输出与输入;  $Z$  代表机器人感知环境类型;  $FD$  代表当前感知结果下图书馆机器人同障碍物间的间距;  $V$  代表当前感知结果下机器人实时运行速度。

### 1.2 模型输入输出变量模糊化

将控制模型输入的图书馆机器人同障碍物间的间距  $FD$  用  $\{F, M, N\}$  3 种模糊性语言表示, 分别代表间距较大、间距较中以及间距较小, 论域范围为  $[0.5 \text{ m}, 10 \text{ m}]$ 。模型输入的图书馆机器人实时运行速度信息  $V$  用模糊语言  $\{Q, M, S\}$  表示, 分别代表快、中以及慢, 论域范围为  $[1 \text{ m/s}, 4 \text{ m/s}]$ 。图书馆机器人感知环境类型  $Z$  用模糊语言  $\{z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6, z_7\}$  表示, 分别代表无障碍物、前方有障碍物、左方有障碍物、右方有障碍物、左前方有障碍物、右前方有障碍物、两侧有障碍物, 论域范围为  $[1, 7]$ 。因高斯性质的隶属函数曲线平滑度更好, 故模型采用 gauss 类隶属函数。

对于模型输出的图书馆机器人运行加速度  $\alpha$  用模糊语言  $\{D, SD, O, SA, A\}$  表示,  $D$  代表减速,  $SD$  代表减缓速,  $O$  代表速度不变,  $SA$  代表缓加速,  $A$  代表加速。其论域为  $[-1.8 \text{ m/s}, 1.8 \text{ m/s}]$ 。对于模型输出的图书馆机器人转向角度  $\beta$  用模糊语言  $\{BL, SL, NO, SR, BR\}$  表

示, BL、SL 分别代表左转与左微调, NO、SR 代表直行与右微调, BR 代表右转。其论域为  $[-45^\circ, 45^\circ]$ 。

### 1.3 模糊控制规则构建

在图书馆机器人行进过程中, 影响其速度以及转向的主要是目标障碍物在其规划轨迹之上的分布状况、目标障碍物与机器人间的间距。当目标障碍物与机器人间的间距较小时, 图书馆机器人应降低速度, 与此同时调大转向角速度。当目标障碍物与机器人之间间距较大时, 图书馆机器人应提升速度, 并调小转向角。所提方法按识别出感知环境类型、感知环境类型下图书馆机器人与目标障碍物间的间距信息构建模糊控制规则。模糊控制规则通常是基于专家知识、模拟与测试或两者结合来制定的。对于图书馆机器人, 可能的规则制定步骤如下:

1) 专家知识: 基于图书馆环境的布局、机器人运动特性以及人机交互需求, 专家可以初步设定一些基本规则。

2) 模拟与测试: 在模拟环境中测试这些规则, 观察机器人的行为是否符合预期。

通过举例方式对所构模糊规则进行说明, 当感知环境类型为前方有障碍物、左前方有障碍物, 机器人同障碍物输入距离是  $F$  时的部分模糊控制规则见表 1。

表 1 部分模糊控制规则表

| 模糊控制规则编号 | 输入模糊变量        |            |                     | 输出模糊变量               |                    |
|----------|---------------|------------|---------------------|----------------------|--------------------|
|          | 机器人感知环境类型 $Z$ | 实时运行速度 $V$ | 图书馆机器人同障碍物间的间距 $FD$ | 图书馆机器人运行加速度 $\alpha$ | 图书馆机器人转向角度 $\beta$ |
| 1        | $z_2$         | $S$        | $F$                 | $A$                  | $NO$               |
| 2        | $z_2$         | $M$        | $F$                 | $SA$                 | $NO$               |
| 3        | $z_2$         | $Q$        | $F$                 | $D$                  | $NO$               |
| 4        | $z_3$         | $S$        | $F$                 | $A$                  | $SR$               |
| 5        | $z_3$         | $M$        | $F$                 | $SA$                 | $SR$               |
| 6        | $z_3$         | $Q$        | $F$                 | $D$                  | $SR$               |

规则的合理性主要取决于它们是否能够满足以下要求。

1) 安全性: 规则必须确保机器人在遇到障碍物时能够安全减速或转向, 避免碰撞。

2) 效率: 在安全的前提下, 机器人应尽可能高效地完成任任务, 减少不必要的停顿或转向。

3) 用户友好性: 机器人的行为应易于被用户理解和接受, 特别是在与人交互的环境中。

### 1.4 模糊控制输出变量去模糊

按上一小节构建模糊规则执行合理推理操作获得的输出实际上是一个模糊量, 但在实际控制工作中, 不能够将该模糊输出直接应用, 需将模糊输出值转换成精确的数值。所提方法通过加权性平均算法对模糊控制输出变量执行去模糊操作, 该过程用公式可描述成:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^3 u_{\alpha_i} \alpha_i}{\sum_{i=1}^3 u_{\alpha_i}} \quad (2)$$

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^3 u_{\beta_i} \beta_i}{\sum_{i=1}^3 u_{\beta_i}} \quad (3)$$

式中,  $\alpha_i$  代表  $\alpha$  论域的第  $i$  个元素;  $u_{\alpha_i}$  为与  $\alpha_i$  相对应的隶属度;  $\beta_i$  代表  $\beta$  论域的第  $i$  个元素;  $u_{\beta_i}$  为与  $\beta_i$  相对应的隶属度。

按式 (2)、式 (3) 求解模糊控制输出量精确值, 并将所获精确量发送给控制模型执行机构, 便可完成图书馆机器人自主避障控制。

## 2 机器人感知环境识别与分类

### 2.1 卷积神经网络机器人感知环境识别分类模型

从上一节中图书馆机器人自主避障控制过程的相关描述中可知, 能够利用卷积神经网络准确识别出图书馆机器人感知环境类型, 是完成图书馆机器人自主避障控制的首要前提。在利用卷积神经网络解决分类识别问题时, 使其结构呈现出多变的层次, 可更好实现其分类性能<sup>[11-12]</sup>。为此, 所提方法在一维卷积神经网络基础上, 对其结构加以改进, 设计包含两个卷积层、两个池化层、两个全连接层的 8 层卷积神经网络, 用于完成图书馆机器人感知环境识别与分类。首先训练过程涉及收集并预处理图书馆环境的多样化数据, 然后将这些数据划分为训练集、验证集和测试集。在训练阶段, 网络通过前向传播计算损失函数值, 并通过反向传播优化算法更新网络参数, 同时利用验证集的性能进行迭代优化。最后将训练好的模型部署到图书馆机器人上, 以实现精准的环境感知和高效的自主避障控制。基于卷积神经网络的图书馆机器人感知环境识别与分类模型如图 2 所示。

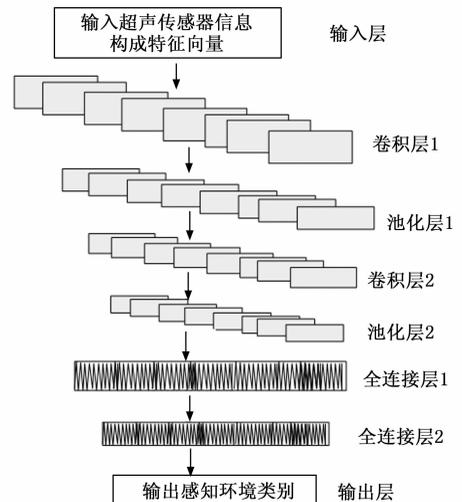


图 2 感知环境识别与分类模型

具体的实现过程如下所示。

步骤一: 在通过人工神经网络完成分类识别工作时, 把将要输入到其中进行网络学习的特征向量标准化, 可使神经网络以更快速度达到收敛<sup>[13]</sup>。为此, 在使用图 2 所示

卷积神经网络完成图书馆机器人感知环境识别分类工作时<sup>[14]</sup>, 利用式 (4) 对输入到模型的特征向量执行归一化操作。

$$x''_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} - \frac{x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (4)$$

式中, 归一化处理前后的机器人实时感知环境特征性向量分别用  $x_i$ 、 $x''_i$  表示;  $x_{\min}$ 、 $x_{\max}$  分别表示  $x_i$  的最小以及最大值。

步骤二: 归一化后的机器人实时感知环境特征向量依次经过两次卷积、两次池化以及两次全连接操作后, 可输出最终的感知环境识别与分类结果<sup>[15-16]</sup>。两个卷积层的设计可在保证卷积神经网络拥有优良泛化性前提之下, 大幅度降低其参数量, 从而提升网络感受野, 增强其深度特征挖掘能力。两个卷积层在进行卷积操作时, 均将 ReLU 函数当成激活函数使用, 在增强网络非线性同时, 降低梯度消失状况发生概率。以首次卷积为例, 在执行卷积操作时, 网络输入输出关系可表述为:

$$y_j = f''\left(\sum_i w_{ij} * x'' + b_j\right) \quad (5)$$

式中,  $f''()$  表示 ReLU 函数; 可供学习权重以及偏置分别用  $w_{ij}$ 、 $b_j$  表示; 卷积操作后的输出用  $y_j$  表示。

步骤三: 各卷积层后, 紧跟的是池化层, 设置池化层的主要目的是将特征图尺寸缩小, 完成数据特征的再次提取, 滤除冗余数据, 保留分类识别工作重要数据信息, 从而显著提升网络训练学习速度。在所提方法中, 输入到卷积层的实时感知环境特征向量, 在经过两个卷积层、两个池化层进行深度特征挖掘后, 会得到具有高维特征的 8 通道特征图, 把其展平成具有单通道的一维性质特征向量后, 经两个全连接操作后, 网络便可输出图书馆机器人当前感知环境识别与分类结果<sup>[17-18]</sup>。考虑到使用平均池化方式对卷积层输出实施池化操作, 会使卷积层输出特征弱化, 故采用能够更好保留输入数据特征的最大池化方式, 对卷积层输出实施池化操作。

步骤四: 在进行模型训练时, 通过随机性搜索算法搜寻各网络层最优质超参数, 并在各卷积操作之前对输入数据实施补零操作, 让卷积操作前后的数据能够拥有同样的数据长度, 确保输入数据所拥有边缘特征在训练过程中不会发生遗失现象。经合理考量, 最终将绝对均值误差函数设置为模型训练损失函数, 将其当成所构模型训练时的一个重要指标, 衡量模型误差。该损失函数的数学表达式为:

$$E'' = \frac{\sum_{i=1}^n |y'_i - y_i|}{n} \quad (6)$$

式中,  $n$  代表的是数据样本数量;  $E''$  代表的是绝对均值误差函数;  $y'_i$ 、 $y_i$  代表的是第  $i$  个机器人实时感知环境特征向量的预测以及真实值<sup>[19]</sup>。

## 2.2 基于 PSO 的卷积神经网络参数优化改进

粒子群算法 (PSO, particle swarm optimization) 具有

良好的寻优性能, 将其应用到参数寻优工作中, 可收获较佳的参数优化效果。基于此, 为进一步提升卷积神经网络分类识别性能, 更为快速准确识别机器人感知环境类型, 使用 PSO 算法优化改进卷积神经网络参数<sup>[20-21]</sup>。在利用 PSO 算法优化卷积神经网络参数时, 可将待优化卷积神经网络参数, 如卷积核规格以及节点权值等组成的集合当成一个粒子集合, 首先按式 (7) 以及式 (8) 对粒子参数执行速度以及位置初始化操作。

$$\varphi_i(0) = \varphi_{\max} - r\varphi_{\max} + r\varphi_{\min} \quad (7)$$

$$X_i(0) = G + 0.1R''S'' \quad (8)$$

式中, 粒子向量所拥有的初始速度以及速度上、下限分别用  $\varphi_i(0)$ 、 $\varphi_{\max}$  以及  $\varphi_{\min}$  表示;  $r$  表示随机数; 粒子初始时刻位置用  $X_i(0)$  代表;  $G$  代表的是将要进行优化的参数以前拥有经验数值构成的向量, 其以卷积核、偏置以及权重等为主要构成;  $R''S''$  代表的是具有随机性质的向量。

完成初始化操作后, 按式 (9)、式 (10) 实施粒子速度以及位置更新。

$$\varphi_i(t+1) = \omega\varphi_i(t) + c_1r_1P_i - c_1r_1X_i(t) + c_2r_2P_g - c_2r_2X_i(t) \quad (9)$$

$$X_i(t+1) = X_i(t) + \varphi_i(t+1) \quad (10)$$

式中, 加速因子用  $c_1$ 、 $c_2$  代表; 在 (0, 1) 范围内的随机数用  $r_1$ 、 $r_2$  代表; 惯性因子用  $\omega$  代表; 更新前后的速度值用  $\varphi_i(t)$ 、 $\varphi_i(t+1)$  代表; 更新前后的粒子位置用  $X_i(t)$ 、 $X_i(t+1)$  代表。

粒子速度、位置更新完毕后, 求解粒子适应度, 当求解的适应度数值较比个体极值更优时, 就把个体极值所处方位向量, 当成当前时刻位置向量使用。若粒子拥有适应度数值比全局最优值更优, 那么就把全局最优值所在位置当成当前时刻位置向量使用。当满足设定停止条件, 那么全局极值所处位置就变为要求解变量数值, 立即停止搜索, 反之重新执行上述操作。在该过程中, 适应度函数采用均方误差函数, 数学表达式为:

$$Fitness_i = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [(\Im_{j,i}^d)^2 - 2\Im_{j,i}^d \Im_{j,i} + (\Im_{j,i})^2]}{n} \quad (11)$$

式中, 训练集的样本数用  $n$  代表; 输出网络神经元的数量用  $m$  代表; 第  $i$  个样本在第  $j$  个输出网络节点的理想以及实际状态值用  $\Im_{j,i}^d$ 、 $\Im_{j,i}$  代表。

## 3 实验结果与分析

为验证所提方法在图书馆机器人自主避障控制方面的有效性, 分别进行静态环境下与动态环境下的图书馆机器人自主避障效果测试。在静态环境下的图书馆机器人避障测试, 使用 Matlab 仿真软件完成。使用 Matlab 仿真软件构建了图书馆的静态环境模型, 包括书架、走廊、墙壁等障碍物以及机器人的起始位置和目标位置。然后, 导入预先训练好的一维卷积神经网络模型作为机器人的避障控制算法。在仿真过程中, 机器人通过模拟的传感器感知周围环

境, 将感知到的数据输入到控制算法中, 算法根据这些数据计算出机器人的运动指令。模拟机器人执行这些指令, 观察并记录其运动轨迹和避障效果。最后分析仿真结果, 评估机器人在静态环境下对障碍物的识别能力和避障效果, 从而验证所提方法的有效性。动态环境下的图书馆机器人避障测试使用自主搭建的避障控制实验平台完成。实验场地选在辽宁省沈阳市某综合大学的图书馆, 进行实验时正处于寒假, 并且搭建实验平台拥有 GPS 自主循迹功能, 实验中只需将图书馆机器人的起始点以及目标点设置好, 并在实验路径上布置实验人员走动, 观察图书馆机器人的动态避障效果便可。实验使用的图书馆机器人为扬州智捷机器人科技有限公司研发生产的双轮差速导览机器人, 实物图如图 3 所示。



图 3 实验示意图

实验的主要参数状况见表 2。用于图书馆机器人感知环境识别的卷积神经网络参数见表 3。

表 2 图书馆机器人参数情况

| 参数编号 | 参数名称      | 参数值                          |
|------|-----------|------------------------------|
| 1    | 型号        | YS-10-13                     |
| 2    | 外观尺寸,重量   | L550 * W600 * H1120 mm;30 kg |
| 3    | 触摸屏尺寸;分辨率 | 13.3 英寸;1920 * 1080          |
| 4    | 行走速度      | 0.1~0.7 m/s                  |
| 5    | 电池容量,充电时间 | 20 AH;<5 小时                  |
| 6    | 工作时间      | >12 小时                       |
| 7    | 移动方式      | 双轮差速                         |
| 8    | 导航方式      | 激光自主导航                       |
| 9    | 声源定位      | 360°声源定位                     |
| 10   | 麦克风       | 六麦环形阵列                       |
| 11   | CPU       | RK3399 六核 Cortex-A53         |

表 3 网络参数

| 网络层数 | 功能作用          | 网络层数 | 功能作用          |
|------|---------------|------|---------------|
| 1    | 输入层           | 5    | 最大池化层 2       |
| 2    | 卷积层 1 : 3-256 | 6    | 全连接层 1 : 3072 |
| 3    | 最大池化层 1       | 7    | 全连接层 2 : 1024 |
| 4    | 卷积层 2 : 3-512 | 8    | 输出层           |

在进行图书馆机器人动态避障控制实验过程中, 图书馆机器人在前面无障碍物时, 会自动把运行速度增加到设

定运行速度并按预先设定好轨迹行进, 当动态避障物也就是实验人员出现时, 图书馆机器人能够按自身运行速度反馈实施避障, 并按运行速度不同, 在动态障碍物之前大约 0.8~3.2 m 便开始执行避障动作。因系统处理超声波测距传感器数据的速率大约为 330 m/s, 在动态障碍物突然出现在图书馆行驶轨迹前不到 0.8 m 范围状况下, 图书馆机器人常常来不及实施自主避障, 从而突然停止行驶, 而不是采用减速转向, 进而躲避动态障碍物。整体来讲, 所提方法动态避障控制效果较为理想, 对具有动态性以及随机性的障碍物能够合理进行安全躲避。

在进行图书馆机器人静态避障控制实验时, 分两种状况对所提方法实施有效验证。一种是对简单场景条件下的机器人避障控制效果进行测试, 另一种是对复杂场景条件下的机器人避障控制效果进行测试。在进行简单场景条件下机器人避障效果测试时, 将所提方法与应用传统 PID 算法控制机器人避障的效果进行对比, 以验证所提方法在静态简单场景下自主避障控制效果。假设图书馆机器人在简单场景下分别进行 35 m/min 的低速行进, 75 m/min 的中速行进, 115 m/min 的高速行进, 获得的图书馆机器人自主避障控制效果如图 4 所示。由图 4 (a) 可以得到如下结论: 图书馆机器人在以较低速度行进时, 通过传统 PID 控制算法和所提方法实施避障控制, 图书馆机器人基本在同一方位做出避障反应, 都能够较好躲避障碍物, 但是在避障过程中, 所提方法控制的机器人行驶路程会更短; 由图 4 (b) 与图 4 (c) 可以得到如下结论: 图书馆机器人进行中、高

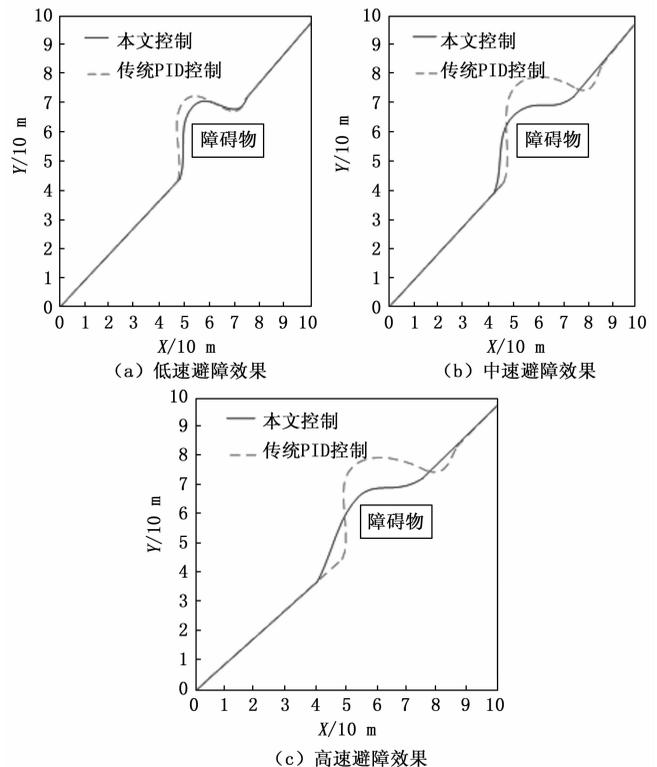


图 4 简单场景机器人自主避障控制效果

速行进时, 采用传统 PID 算法进行避障控制时, 图书馆机器人都是距离目标障碍物距离较近时, 才做出避障反映, 而使用所提方法对图书馆机器人进行避障控制时, 在距离目标障碍物较远距离时, 机器人便已做出避障反映, 且避障行驶距离要更短, 尤其是图书馆机器人在进行高速运行时, 做出避障反应更快, 这样可以有效避免图书馆机器人在避障过程中因车速较快发生侧翻。

在静态复杂场景下, 对所提方法在图书馆机器人自主避障控制方面的效果进行测试, 获得的测试结果如图 5 所示。从图 5 可以看出, 图书馆机器人在静态复杂环境中, 顺利躲避了多个障碍物, 到达了终点, 并且在通过静态复杂环境区域过程中, 整体上运行比较稳定, 运行轨迹较为平滑, 无抖动现象, 避障效果较为理想。

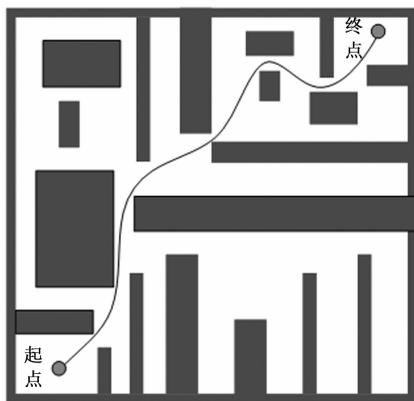


图 5 静态复杂环境机器人避障路径

获得准确的机器人感知环境识别分类结果, 是能够有效完成图书馆机器人自主避障工作的首要前提。为进一步验证所提方法在图书馆机器人感知环境识别分类方面的优势, 在机器人将要走过的一段路程, 每隔几米在指定位置, 布置一到两个目标障碍物, 或者不布置障碍物, 而后应用所提方法实施机器人感知环境识别分类, 获得的部分机器人感知环境识别分类结果如表 4 所示。分析表 4 可知, 应用所提方法可以实现图书馆机器人感知环境识别分类, 并且识别分类结果与实际感知环境类型一致, 可为图书馆机器人自主避障控制工作提供可靠依据与数据保障。

表 4 机器人感知环境识别分类结果

| 位置编号 | 识别分类结果 | 实际感知环境类型 | 位置编号 | 识别分类结果 | 实际感知环境类型 |
|------|--------|----------|------|--------|----------|
| 1    | 前方障碍   | 前方障碍     | 6    | 无障碍    | 无障碍      |
| 2    | 左方障碍   | 左方障碍     | 7    | 左前方障碍  | 左前方障碍    |
| 3    | 无障碍    | 无障碍      | 8    | 右前方障碍  | 右前方障碍    |
| 4    | 右方障碍   | 右方障碍     | 9    | 两侧障碍   | 两侧障碍     |
| 5    | 两侧障碍   | 两侧障碍     | 10   | 左方障碍   | 左方障碍     |

#### 4 结束语

所提方法研究了图书馆机器人自主避障问题, 采用卷

积神经网络算法与模糊 PID 算法共同完成图书馆机器人自主避障控制, 并对自主避障控制效果实施仿真以及现场验证, 得到结论归结如下: 通过 Matlab 对图书馆机器人在静态障碍物环境内实施仿真, 模拟图书馆机器人在静态有障碍物的环境内, 所能达到的工作效果, 得出应用所提方法后, 能够控制图书馆机器人在静态环境中, 对目标障碍物做出迅速反应, 有效躲避目标障碍物, 并在图书馆机器人运行速度较快时, 有效防止其避障侧翻; 应用搭建实验平台对图书馆机器人在动态障碍物环境内所能达到的工作效果进行验证, 得出应用所提方法后, 也能够控制图书馆机器人迅速躲避目标障碍物, 获得较好运行效果。

#### 参考文献:

- [1] 陈奕梅, 沈建峰, 李柄棋. 改进 TEB 算法的多机器人动态避障策略研究 [J]. 电光与控制, 2022, 29 (5): 107-112.
- [2] 赵小勇, 陈钦柱, 郑鸿彦, 等. 基于道路场景理解的巡检机器人避障方法研究与应用 [J]. 微电子学与计算机, 2022, 39 (4): 118-127.
- [3] 付 雷, 秦一杰, 何顶新, 等. 基于改进人工势场法的多机器人编队避障 [J]. 控制工程, 2022, 29 (3): 388-396.
- [4] 郝 琨, 张慧杰, 李志圣, 等. 基于改进避障策略和双优化蚁群算法的机器人路径规划 [J]. 农业机械学报, 2022, 53 (8): 303-312, 422.
- [5] 刘 勇, 李 祥, 蒋沛阳, 等. 基于 DDPG-PID 的机器人动态目标跟踪与避障控制研究 [J]. 南京航空航天大学学报, 2022, 54 (1): 41-50.
- [6] SINGH R, BERA T K, CHATTI N. A real-time obstacle avoidance and path tracking strategy for a mobile robot using machine-learning and vision-based approach [J]. Simulation: Journal of the Society for Computer Simulation, 2022, 98 (9): 789-805.
- [7] 武 毅, 胥 超, 刘力源, 等. 基于多任务转换的冗余度机器人控制算法 [J]. 机械工程学报, 2023, 59 (15): 83-93.
- [8] HUBER L, SLOTINE J J, BILLARD A. Fast obstacle avoidance based on real-time sensing [J]. IEEE Robotics and Automation Letters, 2023, 8 (3): 1375-1382.
- [9] 周 晖, 赵玲峰. 融合嵌入式视觉与激光测距的机器人自主避障方法 [J]. 机械设计与研究, 2023, 39 (2): 26-29.
- [10] 彭 帆, 谢永芳, 陈晓方, 等. 基于障碍物可达区域预测的机器人实时避障算法 [J]. 东北大学学报 (自然科学版), 2022, 43 (9): 1225-1233.
- [11] 李小伟. 基于嵌入式的自主行驶采摘机器人避障系统研究 [J]. 农机化研究, 2022, 44 (11): 201-205.
- [12] 龚成勇, 刘 康, 曾永亮. 基于改进蝙蝠算法的水下机器人避障路径优化方法 [J]. 探测与控制学报, 2022, 44 (4): 118-122, 128.
- [13] 巩 固, 朱 华. 基于目标识别与避障的煤矿救援机器人自主行走 [J]. 南京理工大学学报, 2022, 46 (1): 32-39.
- [14] 张馨月. 基于机器视觉的图书馆机器人障碍识别自动检测系统设计 [J]. 自动化与仪器仪表, 2022 (12): 205-210.

(下转第 240 页)