

基于 Netvlad 神经网络的变磁力吸附爬壁机器人控制系统设计

左浩

(西安汽车职业大学, 西安 710600)

摘要: 变磁力吸附爬壁机器人是一种具有快速、灵活移动方式的爬行机器人, 但其吸附力难以控制, 越障稳定性较差, 难以保证机器人的平稳爬行; 为实现爬壁机器人在大型建筑结构外表面的自主避障, 提升机器人与运动平面之间的吸附紧密性, 设计基于 Netvlad 神经网络的变磁力吸附爬壁机器人控制系统; 按照 PCB 控制要求, 连接外置 SRAM 设备与传感器模块, 借助驱动 I/O 口电路提供的电力驱动作用, 控制气动阀门的闭合情况, 完成变磁力吸附爬壁机器人控制系统硬件结构设计; 建立 Netvlad 神经网络体系, 通过划分控制指令程序任务的方式, 确定移植参数取值范围, 实现对控制协议的移植处理, 联合相关硬件应用结构, 完成基于 Netvlad 神经网络的变磁力吸附爬壁机器人控制系统设计; 实验结果表明, 在所设计系统作用下, 障碍物所在位置与爬壁机器人所在位置之间的实测距离未大于 30cm, 能够有效实现自主避障, 保证机器人与运动平面之间的紧密吸附。

关键词: Netvlad 神经网络; 变磁力吸附; 爬壁机器人; PCB 控制原则; 传感器模块; 神经损伤函数

Control System Design of Variable Magnetic Adsorption Wall-climbing Robot Based on Netvlad Neural Network

ZUO Hao

(Xi'an Vocational University Of Automobile, Xi'an 710600, China)

Abstract: Variable magnetic force adsorption wall climbing robot is a kind of crawling robot with fast and flexible movement mode. However, there are the features of difficult control of adsorption force, poor stability of obstacle climbing, which makes it difficult to ensure the smooth crawling of robot. In order to realize the autonomous obstacle avoidance of wall climbing robot on the outer surface of large building structure and improve the adsorption tightness between the robot and moving plane, a variable magnetic force adsorption wall climbing robot control system based on Netvlad neural network is designed. According to PCB control requirements, the external SRAM device and sensor module are connected, and the closing of pneumatic valve is controlled by the electric drive of I/O port circuit. A hardware structure design of the variable magnetic force adsorption wall climbing robot control system is completed. The system set up the Netvlad neural network, the range of porting parameters is determined by dividing the task of control instruction program, the control protocol migration processing is realized. In combination with the relevant hardware application structure, a control system of the variable magnetic force adsorption wall climbing robot based on the Netvlad neural network is completed. Experimental results show that under the designed system, the measured distance between the position of the obstacle and wall climbing robot is not more than 30cm, which can effectively achieve the autonomous obstacle avoidance and ensure close adsorption between the robot and moving plane.

Keywords: netvlad neural network; variable magnetic adsorption; wall-climbing robot; PCB control principles; sensor module; nerve damage function

0 引言

Netvlad 是一类经典的非可导函数, 其主要的不可导条件在于任何一个数据节点都只代表一个符号函数, 在求解过程中, 无论数据单位取值怎样变化, 该符号函数都不会具有真实含义^[1]。为了激发 Netvlad 函数的可导性, 在推导函数表达式时, 应对所选取数据单位进行平滑与可微分处理。如果一个数据单位的可导函数权重无限接近“1”, 则整个函数表达式的取值结果就无限接近“0”; 反之, 若函

数表达式取值无限接近于“0”, 则无法得到数据单位可导函数权重无限接近“1”的推论^[2]。Netvlad 神经网络是以 Netvlad 函数为基础构建的网络应用结构, 可以根据不可导条件确定数据单位的当前排列形式是否满足可导性推论, 一般来说, 同时满足不可导条件与可导性推论的数据单位即为网络体系内的连通节点, 而单独满足不可导条件或可导性推论的数据单位即为非连通节点, 既不满足不可导条件也不满足可导性推论的数据单位为零节点。

变磁力吸附机器人是特种机器人中的一种, 融合了吸

收稿日期: 2022-09-13; 修回日期: 2022-10-24。

作者简介: 左浩(1981-), 男, 陕西汉中, 硕士, 副教授, 主要从事计算机技术与教学管理方向的研究。

引用格式: 左浩. 基于 Netvlad 神经网络的变磁力吸附爬壁机器人控制系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(1): 106-112.

附技术与地面移动技术，可以附着在垂直壁面上，并在其表面进行自由移动。根据工作环境的不同，变磁力吸附机器人主要具有有线遥控控制、双履带移动、永磁吸附等几种常见的工作形式^[3]。大多数变磁力吸附爬壁机器人都需在 PLC 控制设备的支持下才能进行移动，故其移动速度与负重能力都相对有限。在大型建筑结构外表面不能保持完全光滑状态的情况下，机器人与运动平面之间的吸附紧密性会大大下降，而这也是导致机器人自由避障能力无法达到要求标准的主要原因。文献 [4] 设计了基于多传感器融合的机器人移动控制系统，采用 STM32F405 高速率芯片提供主控驱动力，再按照一体化控制原则，安排传感器元件所处连接位置，又根据比例积分微分思想，确定机器人移动过程中，路径曲线的偏转情况。然而此系统应用能力有限，不能有效控制运动节点实测距离与建模图实测距离之间的差值水平。

为解决上述问题，设计了基于 Netvlad 神经网络的变磁力吸附爬壁机器人控制系统。根据 PCB 控制原则，采用外置 SRAM 芯片传输电力信号，利用图像传感器和角度传感器获取机器人的运动图像，控制机器人角度变化，通过驱动 I/O 口电路和气动阀门，控制系统电量和运动速度，提高系统的稳定性。在此基础上，通过 Netvlad 层和神经损伤函数构建 Netvlad 神经网络，对程序任务进行划分，计算和处理相关参数，可以提高变磁力吸附爬壁机器人的避障能力。

1 变磁力吸附爬壁机器人控制系统硬件结构设计

变磁力吸附爬壁机器人控制系统由外置 SRAM、传感器模块、驱动 I/O 口电路、气动阀门等多个硬件结构共同组成，具体设计方法如下。

1.1 PCB 控制

变磁力吸附爬壁机器人工作环境复杂且恶劣，因此在设计相关应用部件时要考虑工业抗干扰性要求，同时也要遵循 PCB 控制原则。PCB (printed circuit board) 控制指利用印制线路板对变磁力吸附爬壁机器人进行控制。具体控制规则如下：

1) “3 倍”规则与器件去耦规则：外置 SRAM 芯片、图像传感器、角度传感器等硬件设备结构的线间距应保持为 3 倍线宽，设备与设备之间的连接多采用总线结构与滤波回路，避免耦合性电路回路的出现^[5-6]。

2) 完整性规则与方向控制规则：主变电回路与下级硬件设备之间的连接至少采用导通孔，以确保电量回路的完整性，所有电力连接线只能由高压端指向低压端。

规定 x 表示一个随机选取的 PCB 电量控制信号，其定义式如下：

$$x = \left(\beta \cdot \frac{\bar{Z}^2}{\alpha \bar{Z}} \right) \times \frac{1}{\chi} \quad (1)$$

其中： χ 表示电量去耦系数， \bar{Z} 表示电信号的单位累积量， \bar{Z} 表示电信号累积特征， α 表示电量辨识系数， β 表示电量吸附系数。在式 (1) 的基础上，推导变磁力吸附爬壁机

器人的 PCB 控制原则表达式为：

$$X(x) = \sqrt{\left| \frac{\vec{c}_1 \times \vec{c}_2}{1 + x^{-|\delta|}} \right|} \Bigg|_{\epsilon \geq 1} \quad (2)$$

式中， ϵ 表示电量分离系数， δ 表示电量频度指标， \vec{c}_1 表示磁力信号的正方向传输向量， \vec{c}_2 表示负方向传输向量。在变磁力吸附爬壁机器人运动过程中，向量 \vec{c}_1 、 \vec{c}_2 的符号不可能相同。

1.2 外置 SRAM

外置 SRAM 芯片负责存储变磁力吸附爬壁机器人运动过程中的电量传输信号，具有 I/O、FSMC、NBL、HMC 等多个负载接口组织，可以在核心 IS62WV51216 主板的作用下，更改电量信号的传输方向，从而使得神经网络主机能够直接控制机器人设备的运动行为与行进方向^[7]。IS62WV51216 主板存在于外置 SRAM 芯片中心，可以通过调节控制开关的方式，使 I/O、FSMC、NBL、HMC、OE 等负载接口呈现出闭合或断开状态——当负载接口断开时，变磁力吸附爬壁机器人所承载的电量信号向外输送；当负载接口闭合时，外部电量信号连续存储进入 IS62WV51216 主板。I/O 接口是外置 SRAM 芯片单元的核心连通组织，可以对高压端输入的电量信号进行排序处理，而完成排序的电量信号则可以借助该类型连接端口进入传感器模块、驱动 I/O 口电路等其他下级硬件设备结构之中^[8]。具体的外置 SRAM 芯片连接形式如图 1 所示。

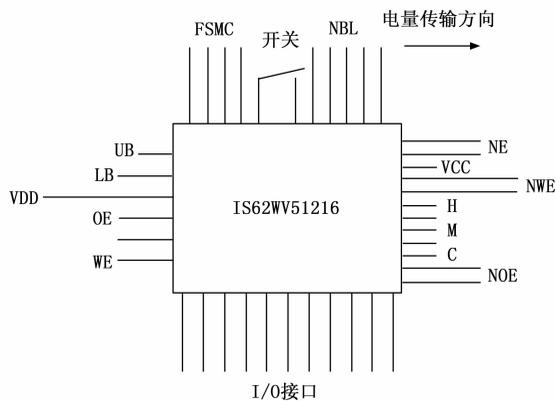


图 1 外置 SRAM 芯片结构示意图

由于外置 SRAM 芯片只负责传输电力信号，不具备电量存储能力，所以在不违背 PCB 控制原则的情况下，支持变磁力吸附爬壁机器人运动行为所需的电量信号越多，外置 SRAM 芯片开放的接口组织也就越多。

1.3 传感器模块

控制系统传感器模块由图像传感器、角度传感器两部分组成，本章节将针对上述两类设备结构应用能力展开研究。

1.3.1 图像传感器

图像传感器负责捕获变磁力吸附爬壁机器人运动图像，能够在分析运动信号阵列、时序电信号阵列组成形式的同时，确定电力驱动行为的作用强度，由于整个传感器单元

包含一个独立的电信号选择器和一个独立的控制寄存器，所以在电量接口完全闭合的情况下，CMOS 摄像头元件捕获到的图像信息可以借助信息传输信道直接反馈至系统核心控制主机之中^[9]。CMOS 摄像头元件安装在变磁力吸附爬壁机器人踝关节外侧，能够准确记录机器人运动行为，在机器人运动过程中，时序电信号阵列连续不断记录驱动 I/O 口电路产生的电量传输信号，运动信号阵列连续不断记录运动行为指令，故而二者均与系统控制主机保持直接连接关系。在电量接口作用下，电力驱动作用直接作用于电信号选择器与控制寄存器，所以无论机器人运动行为是否中断，选择器与控制元件都保持连续接入状态^[10]。图像传感器连接结构如图 2 所示。

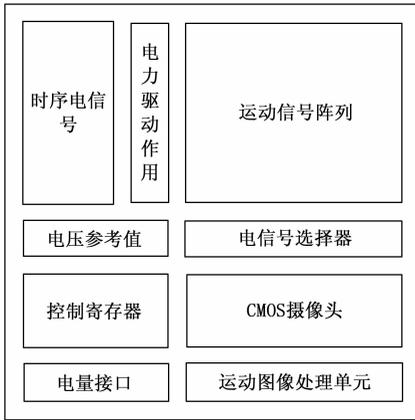


图 2 图像传感器连接结构

CMOS 摄像头与运动图像处理单元直接连接关系受到电力驱动作用的影响，所以在变磁力吸附爬壁机器人运动过程中，驱动 I/O 口电路必须保持连续输入状态。

1.3.2 角度传感器

角度传感器可以在驱动 I/O 口电路的作用下，根据外置 SRAM 芯片对于变磁力吸附爬壁机器人所设置的运动需求，来控制机器人关节转角的偏转程度，从而实现对机器人运动幅度的有效控制。转向器能够调节机器人关节的转动幅度，在驱动 I/O 口电路保持连续接入状态的情况下，转向器偏转幅度越大，就表示机器人设备的运动频率越快。角度控制器偏转程度决定了机器人关节角的转向水平，由于元件不具备自主运动能力，所以任何细微的元件偏转行为都受到螺旋绳的直接控制^[11-12]。在非运动状态下，螺旋绳收紧并完全进入收纳装置内部；而在机器人运动状态下，螺旋绳慢慢放松，部分绳体由收纳装置中突出，此时角度控制器所受牵引力相对较小，故而具备一定的自主转动能力。角度传感器连接结构如图 3 所示。

角度传感器元件的作用能力受到驱动 I/O 口电路的直接影响，所以在控制变磁力吸附爬壁机器人运动行为时，传感器设备与核心电路结构的连接需要串口通路的配合。

1.4 驱动 I/O 口电路

驱动 I/O 口电路是变磁力吸附爬壁机器人控制系统中

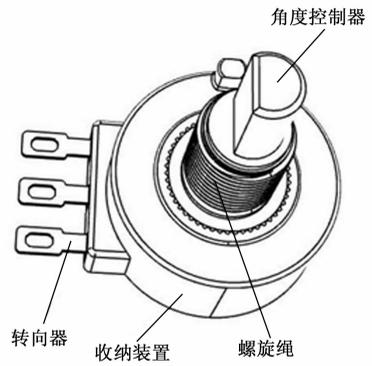


图 3 角度传感器连接结构

的核心电量供应装置，以 ADO831 设备作为核心应用结构，可以联合 LM34 单片机，控制外置 SRAM 芯片元件内的电量转存行为，从而使得控制系统内形成一个完整的电量循环回路，确保角度传感器不会出现过度偏转行为^[13]。驱动 I/O 口电路布局形式如图 4 所示。

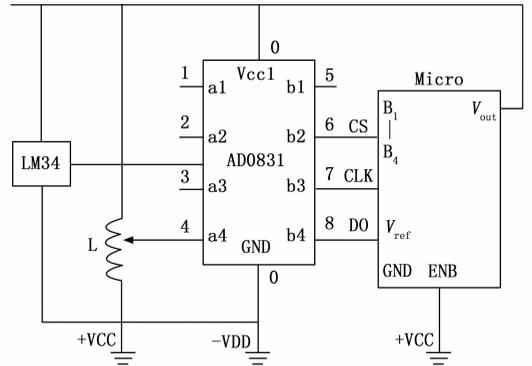


图 4 驱动 I/O 口电路图

Micro 芯片连接于 ADO831 设备旁侧，借助 CS 通路、CLK 通路、DO 通路接入驱动 I/O 口电路之中。随着变磁力吸附爬壁机器人运动频率的加快，Micro 芯片两端所承担的负载电压水平也会不断增大，在此情况系，ADO831 设备向外驱动大量的传输电信号，LM34 单片机就可以利用这些电信号参量确定机器人当前所处区域，从而使得图像传感器元件能够对机器人运动图像进行准确捕捉^[14]。驱动 I/O 口电路具有两个正极输入端口（+VCC）和一个负极输出端口（-VDD），前者与 Netvlad 神经网络体系对接，并可以从中提取大量的电量传输信号；后者则负责调节气动阀门装置，使得其内部暂存电量信号的传输行为始终保持相对稳定的状态。

1.5 气动阀门

变磁力吸附爬壁机器人以气动马达作为动力驱动装置，而气动马达的运行速度却是由外部气压的数值来决定的，当角度传感器转动至一定数值区间之内时，气压大小完全是由阀门开度水平来确定的，故而控制气动阀门开合程度就可以实现对气动马达转速的控制，进而调节变磁力吸附

爬壁机器人在建筑结构外表面上的运动速度^[15-16]。由于机器人运动过程中，气动阀门进气量并不可能始终保持稳定，所以求解运动学方程式，还要考虑转移向量等其他物理量的取值情况。由于马达转速受到驱动 I/O 口电路中电量输出行为的直接影响，所以电信号输出量越大，转速向量的取值也就越大。基于此，联立式 (2)，可将气动阀门开度水平定义式表示为：

$$B = X(x) \cdot \left[\frac{\sqrt{(b^2 + m^2 + a^2) - s^2}}{v\varphi} \right] \quad (3)$$

式中， v' 表示变磁力吸附爬壁机器人在建筑结构外表面上的实时运动速度， φ 表示气体驱动系数， b 表示气动阀门开度指标，且 $b \neq 0$ 的不等式条件恒成立， m 表示气动马达的转速向量， a 表示阀门进气系数， s 表示阀门出气系数。当机器人运动方向为正时， $a > s$ 的不等式条件成立；当机器人运动方向为负时， $s > a$ 的不等式条件成立。

2 变磁力吸附爬壁机器人控制系统软件设计

在各级硬件应用结构的支持下，按照 Netvlad 神经网络构建、程序任务划分、移植参数求解的处理流程，完成对变磁力吸附爬壁机器人控制系统的设计，设计流程如图 5 所示。

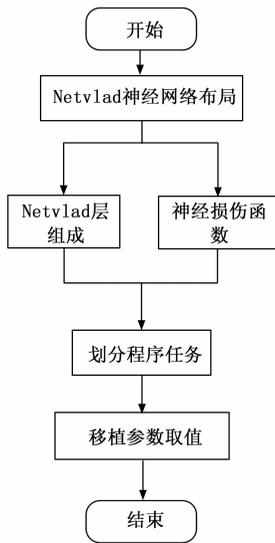


图 5 变磁力吸附爬壁机器人控制流程图

由图 5 可知，通过 Netvlad 层和神经损伤函数对 Netvlad 神经网络进行布局后，分级处理控制系统内部的执行程序，选择移植参数值，取值越大，控制指令越明显。至此，完成变磁力吸附爬壁机器人的软件控制系统设计。

2.1 Netvlad 神经网络构建

Netvlad 神经网络体系可以按照系统控制程序执行原则，判断变磁力吸附爬壁机器人的当前运动状态，但网络体系结构的组成相对较为复杂，故本章节将从 Netvlad 层单元组成形式、神经损伤函数两个方面着手，分析神经网络体系的布局模式。

2.1.1 Netvlad 层

Netvlad 层组织是 Netvlad 神经网络体系的核心组成结构，包含分析、过滤、处理三类连接节点，能够根据变磁力吸附爬壁机器人的实时运动状态，调节控制指令传输行为，从而使得系统控制主机中能够生成准确的运动行为记录文本^[17]。Netvlad 层组织的过滤节点由初步过滤、深度过滤两部分组成，前者的负载数量相对较多，一般来说，每一个输入的控制程序样本数据都必须对应两个完全独立的初步过滤节点，但为避免控制指令过度传输行为出现，初步过滤节点、深度过滤节点之间的连接则保持就近对应关系，及深度过滤节点数量远小于初步过滤节点^[18]。Netvlad 神经网络布局形式如图 6 所示。

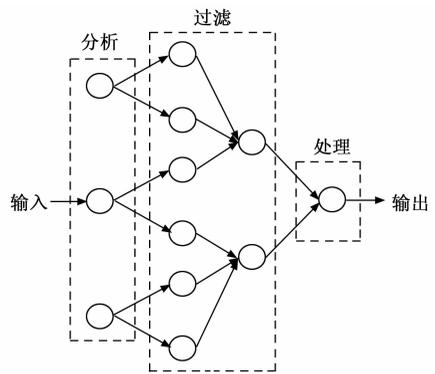


图 6 Netvlad 神经网络布局

Netvlad 层组织定义标准表示为：

$$D = B \times \left(\frac{f \cdot g_\gamma^2}{g_\varphi^2} \right) \quad (4)$$

式中， γ, φ 表示两个不相等的控制程序控制系数， g_γ 表示基于系数 γ 的指令程序定义特征， g_φ 表示基于系数 φ 的指令程序定义特征， f 表示 Netvlad 规划权值。控制程序文本输入量的增大会导致 Netvlad 神经网络内分析节点存在数量的增大，而过滤节点连接数量是否增大则还需要根据变磁力吸附爬壁机器人的当前运动形态进行具体判断。

2.1.2 神经损伤函数

神经损伤函数决定了 Netvlad 层组织对于控制程序指令的负载能力，在既定运动范围内，变磁力吸附爬壁机器人的行进速度越快，神经损伤函数表达式的赋值也就越大^[19-20]。联立式 (4)，推导 Netvlad 神经损伤函数表达式为：

$$F = \sum_i \max[D \times (\lambda_1(g_1) \cdot \lambda_2(g_2) \cdot \lambda_3(g_3))] \quad (5)$$

式中， ϵ 表示爬壁机器人运动过程中的变磁力吸附系数，为了满足 Netvlad 层组织对于控制指令程序的编码原则， ϵ 系数的最小取值只能等于自然数 1， λ_1 表示分析节点查询系数， g_1 表示分析节点中的控制指令累积向量， λ_2 表示过滤节点查询系数， g_2 表示过滤节点中的控制指令累积向量， λ_3 表示处理节点查询系数， g_3 表示处理节点中的控制指令累积向量。由于 Netvlad 层组织中分析节点、过滤节点、处理节点的负载个数不相同，所以求解神经损伤函数时，向量 g_1, g_2, g_3

的取值也不可能相等。

2.2 程序任务划分

程序任务划分是指针对控制系统执行程序进行的分级处理,在 Netvlad 神经网络体系内,系统控制主机为实现对变磁力吸附爬壁机器人运动行为的准确调节,应将已获取任务指令定义成多个独立区域,并在各个区域内,确定程序样本之间的映射关系^[21-22]。 \hat{h} 是一个随机选取的机器人控制程序任务定义特征,其求解表达式如下:

$$\hat{h} = \frac{\sqrt{j_1^2 + j_2^2 + \dots + j_n^2}}{n \times |\kappa_{\max} \cdot \kappa_{\min}|} \quad (6)$$

其中: j_1, j_2, \dots, j_n 表示 n 个不重合的任务指令执行区域,且系数 n 的取值恒大于自然数 3 (3 个任务指令执行区域分别对应 Netvlad 神经网络的分析、过滤与处理节点), κ_{\min} 表示变磁力吸附爬壁机器人区域性运动向量的最小取值, κ_{\max} 表示区域性运动向量的最大取值。

联立式 (5)、式 (6), 推导控制系统程序任务划分表达式如下:

$$H = \pm \left| \frac{\nu \cdot F}{L^2} (\mu - 1)^2 \hat{h} \right| \quad (7)$$

式中, ν 表示独立控制区域内的运动行为规划系数, \tilde{L} 表示该区域内的运动行为向量, μ 表示机器人运动方向系数。由于变磁力吸附爬壁机器人运动行为具有方向性, 所以程序任务划分表达式也具有方向性, 但正负符号只影响控制指令作用方向, 并不影响控制指令的作用强度。

2.3 移植参数

移植参数可以理解成系统控制协议在 Netvlad 神经网络体系内的移动向量, 在程序任务区域划分标准保持不变的前提下, 移植参数取值越大, Netvlad 神经网络体系内控制协议的移动作用指令也就越明显^[23-24]。移植参数求解表达式为:

$$e = \frac{\vartheta \times H}{\Delta W} \cdot \frac{\omega \times H}{\Delta Q}, \Delta W \neq 1, \Delta Q \neq 1 \quad (8)$$

其中: ϑ 表示控制指令移动向量, ω 表示控制指令定义向量, ΔW 表示单位控制周期内的呈现指令作用步长值, ΔQ 表示区域转向系数累积量。至此, 完成对相关参数指标的计算与处理。

在设计基于 Netvlad 神经网络的变磁力吸附爬壁机器人控制系统中, 硬件系统和软件系统联系密切, 硬件系统中的外置 SRAM、传感器模块、驱动 I/O 口电路、气动阀门等多个硬件结构为软件系统提供了物质条件, 而软件设计中的 Netvlad 神经网络构建、程序任务划分、移植参数求解部分使硬件系统发挥其应有的效果。硬件系统与软件系统相互配合, 可有效提高变磁力吸附爬壁机器人的避障能力, 实现基于 Netvlad 神经网络的变磁力吸附爬壁机器人控制系统的顺利应用。

3 实验分析

3.1 实验环境布置

为了验证基于 Netvlad 神经网络的变磁力吸附爬壁机器

人控制系统在大型建筑结构外表面的自主避障能力, 选取两个场景进行实验。变磁力吸附爬壁机器人主要用在环境复杂的大型建筑结构外表面巡检任务中, 由于建筑结构外表面并不能保持绝对光滑的状态, 所以选择光滑壁面、粗糙壁面两种实验场景。实验场景如图 7 所示。



光滑壁面

粗糙壁面

图 7 实验场景

变磁力吸附爬壁机器人结构如图 8 所示。

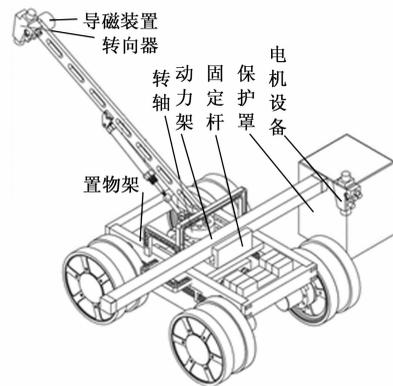


图 8 变磁力吸附爬壁机器人结构

在机器人结构中, 电机设备提供了爬壁运动过程中的电动力作用, 固定杆将搭载电机设备的保护罩连接在动力架侧端, 动力架能够维护机器人的运动平衡性, 转轴可以在电机设备的驱动作用下不断转动, 从而使得机器人运动方向发生改变, 置物架为相关动力装置提供支撑作用, 转向器负责确定机器人的运动方向, 导磁装置提供一定的磁感应作用, 以确保机器人不会脱离既定运动区域。

在本次实验过程中, 以所设计的基于 Netvlad 神经网络的变磁力吸附爬壁机器人控制系统作为实验组监测方法, 以文献 [4] 基于多传感器融合的机器人移动控制系统作为对照组监测方法, 分别应用上述两类系统监控机器人的运动行为, 并借助监测软件确定障碍物所在位置、爬壁机器人所在位置之间的实测距离。

3.2 实验结果

在大型建筑结构外表面存在障碍物的情况下, 障碍物所在位置与爬壁机器人所在位置之间的距离, 可以反映出机器人设备的避障能力。机器人动力作用距离最大值只能达到 30 cm, 故而当障碍物所在位置与爬壁机器人所在位置

之间的距离小于 30 cm 时，表示机器人避障能力较强，运动过程中不会出现因不紧密吸附而造成的掉落问题，反之则表示机器人避障能力较弱。

实验组和对照组机器人在不同运动壁面上的避障能力分别如图 9 和图 10 所示。

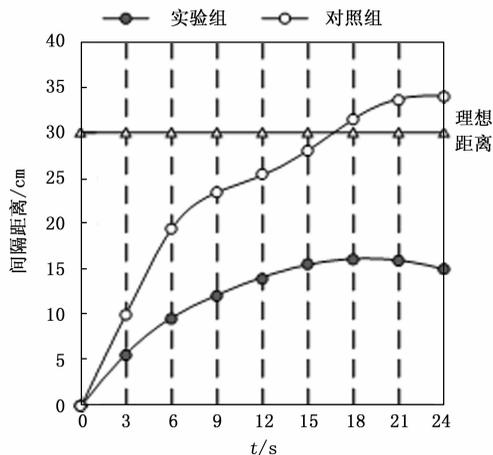


图 9 光滑壁面的避障能力

分析图 9 可知，在光滑运动壁面上，实验组障碍物所在位置与爬壁机器人所在位置之间的距离呈现出先增大，再减小的数值变化状态。当实验时间为 18 s 时，实验组间隔距离达到最大值 16.22 cm，远小于机器人动力作用距离最大值 30 cm。而对照组障碍物所在位置与爬壁机器人所在位置之间的距离则始终保持不断增大的数值变化状态。当实验时间处于 15~18 s 之间时，对照组间隔距离超过机器人动力作用距离最大值 30 cm，整个实验过程中，其最大值达到了 33.87 cm，远大于实验组数值。由此可知，实验组机器人避障能力较强。

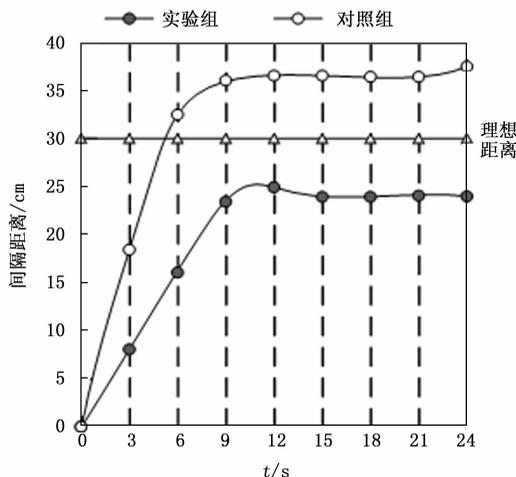


图 10 粗糙壁面的避障能力

分析图 10 可知，在粗糙运动壁面上，实验组障碍物所在位置与爬壁机器人所在位置之间距离均值明显大于光

滑壁面上的距离均值。当实验时间处于 9~12 s 之间时，对照组间隔距离达到最大值 25.02 cm，依然小于机器人动力作用距离最大值 30 cm。而对照组障碍物所在位置与爬壁机器人所在位置之间的距离保持先增大再稳定，最后继续增大的数值变化状态。在整个实验过程中，其最大距离数值达到了 37.51 cm，明显大于机器人动力作用距离最大值 30 cm，也远大于实验组数值。由此可知，实验组机器人避障能力较强。

综上所述本次实验结论为：应用所设计的基于 Netvlad 神经网络的变磁力吸附爬壁机器人控制系统，障碍物所在位置与爬壁机器人所在位置之间的实测距离数值始终小于机器人动力作用距离的最大值，这就表示爬壁机器人在光滑壁面、粗糙壁面上的自主避障能力就能得到保障，对于提升机器人与运动平面之间的吸附紧密性可以起到一定的促进性影响作用。

4 结束语

本文设计了基于 Netvlad 神经网络的变磁力吸附爬壁机器人控制系统，在 Netvlad 神经网络的基础上，按照 PCB 控制标准，设置外置 SRAM 芯片、传感器模块、驱动 I/O 口电路等多个硬件应用结构，又通过划分程序任务的方式，求解移植参数指标的取值范围。在实用性方面，这种新型系统能够有效控制障碍物所在位置、爬壁机器人所在位置之间的实测距离数值，可以在实现自主避障的同时，保证机器人与运动平面之间的紧密吸附，符合实际设计需求。

参考文献：

- [1] 钟秋波, 陈浩文, 张文辉. 基于 D-H 参数的 M-DOF 机器人建模、规划与控制系统设计 [J]. 黑龙江大学自然科学学报, 2020, 37 (3): 367-371.
- [2] 薛朝辉, 周逸飏, 强永刚, 等. 融合 NetVLAD 和全连接层的三元神经网络交叉视角场景图像定位 [J]. 遥感学报, 2021, 25 (5): 1095-1107.
- [3] 陈承隆, 邱志成, 杜启亮, 等. 基于 Netvlad 神经网络的室内机器人全局重定位方法 [J]. 计算机工程与应用, 2020, 56 (9): 175-182.
- [4] 洪向共, 钟地长, 赵庆敏. 基于多传感器融合的陆空两栖机器人移动控制系统设计 [J]. 科学技术与工程, 2020, 20 (8): 3103-3108.
- [5] 许震, 明磊, 石亚飞, 等. 基于双绞线型四层 PCB 罗氏线圈的碳化硅器件开关电流测量 [J]. 电机与控制学报, 2021, 25 (12): 46-57.
- [6] 蒋沅, 公成龙, 吕科, 等. 基于自适应模糊补偿的不确定性机器人 CNF 控制 [J]. 振动与冲击, 2020, 39 (8): 106-111.
- [7] 王梦茹, 周珊, 张弛, 等. 一种 SRAM 型 FPGA 单粒子故障注入实验集的筛选方法 [J]. 微电子学与计算机, 2021, 38 (1): 38-44.

[8] 曾剑敏, 张章, 虞志益, 等. 基于 SRAM 的通用存算一体架构平台在物联网中的应用 [J]. 电子与信息学报, 2021, 43 (6): 1574-1586.

[9] 吴治军, 李毅强, 彭松, 等. 一种应用于 CMOS 图像传感器数字双采样 ADC 的 PGA 电路 [J]. 半导体光电, 2020, 41 (2): 200-204.

[10] 李闯泽, 韩本光, 何杰, 等. 一种用于 CMOS 图像传感器的高速高精度低功耗 LVDS 驱动器设计 [J]. 西北工业大学学报, 2020, 38 (2): 442-450.

[11] 卢文娟, 郑旭, 荣令魁, 等. 一种基于角度传感器的 6-UPS 机构正向运动学分析方法 [J]. 机器人, 2020, 42 (5): 550-556.

[12] 吴辽, 王建青, 党建军, 等. 基于有限元分析方法的三浮陀螺用角度传感器优化设计 [J]. 中国惯性技术学报, 2021, 29 (1): 95-100.

[13] 卢乙, 李先允, 王书征, 等. 改善 SiC MOSFET 开关特性的有源驱动电路研究 [J]. 电气传动, 2021, 51 (16): 21-26.

[14] 莫玉斌, 秦海鸿, 修强, 等. 基于 SiC BJT 典型双电源阻容驱动电路的开关过程分析及损耗最优的实现 [J]. 电工电能新技术, 2020, 39 (2): 30-39.

[15] 郑睿, 曹爽. 基于动力学死区的复杂气动伺服直线传动装置模型研究 [J]. 中国工程机械学报, 2020, 18 (6): 525-529, 535.

[16] 王昊, 梁熙文, 马庆华, 等. 基于节流阀模型的变循环压缩系统模式转换过程数值模拟方法研究 [J]. 西北工业大学学报, 2022, 40 (2): 306-315.

[17] 薛朝辉, 周逸飏, 强永刚, 等. 融合 NetVLAD 和全连接层的三元神经网络交叉视角场景图像定位 [J]. 遥感学报, 2021, 25 (5): 1095-1107.

[18] 陈承隆, 邱志成, 杜启亮, 等. 基于 Netvlad 神经网络的室内机器人全局重定位方法 [J]. 计算机工程与应用, 2020, 56 (9): 175-182.

[19] 艾青林, 林小贝, 徐巧宁. 基于全连接神经网络与传递率函数相结合的钢结构损伤检测方法 [J]. 高技术通讯, 2021, 31 (8): 824-835.

[20] 李淑芝, 余乐陶, 邓小鸿, 等. 结合 Skip-gram 和加权损失函数的神经网络推荐模型 [J]. 计算机工程与应用, 2020, 56 (19): 76-85.

[21] 王巍, 徐传福, 车永刚. 高精度 CFD 程序的内外子区域划分异构并行算法 [J]. 国防科技大学学报, 2020, 42 (2): 31-40.

[22] 孙乔, 黎雷生, 赵海涛, 等. SW26010 众核任务并行调度系统及其嵌套并行算法应用 [J]. 软件学报, 2021, 32 (8): 2352-2364.

[23] 朱文强, 傅游, 梁建国, 等. Silicon-Crystal 应用在 SW26010 处理器上的移植与优化 [J]. 小型微型计算机系统, 2021, 42 (6): 1313-1320.

[24] 曹文远, 韩民晓, 谢文强, 等. 基于扰动观测器的电压源型逆变器负载电流前馈控制及参数设计方法 [J]. 电工技术学报, 2020, 35 (4): 862-873.

[3] LIN H, HUI C, WANG Y, et al. A Reliable Gravity Compensation Control Strategy for dVRK Robotic Arms With Nonlinear Disturbance Forces [J]. IEEE Robotics and Automation Letters, 2019, 4 (4): 3892-3899.

[4] 黄自鑫, 赖旭芝, 王亚午, 等. 基于轨迹规划的平面三连杆欠驱动机械臂位置控制 [J]. 控制与决策, 2020, 35 (2): 382-388.

[5] 叶雪娟, 甘叔玮, 张小虎, 等. 绳索摆角高精度视觉测量系统设计及其在悬吊式重力补偿系统中的应用 [J]. 实验力学, 2021, 36 (6): 735-745.

[6] 潘平盛. 自动化生产线搬运机械手控制系统的设计研究 [J]. 机械设计与制造, 2020 (4): 8-11.

[7] 胡满红, 李虹飞. 基于模糊 PID 的采摘机器人机械手控制系统设计 [J]. 农机化研究, 2021, 43 (5): 245-248, 262.

[8] 沙毅刚, 王强, 何晓晖, 等. 基于模糊补偿的液压机械臂轨迹跟踪控制 [J]. 信息与控制, 2021, 50 (2): 184-194.

[9] 韩霖骁, 胡剑波, 宋仕元, 等. 基于 PolicyGradient 的机械臂运动跟踪控制器参数整定 [J]. 系统工程与电子技术, 2021, 43 (9): 2605-2611.

[10] 侯澈, 赵忆文, 张弼, 等. 基于最优激励位姿序列的机械臂负载估计 [J]. 机器人, 2020, 42 (4): 503-512.

[11] 曾伟鹏, 邵辉, 洪雪梅, 等. 采用非线性干扰观测器的机械臂补偿型滑模控制 [J]. 华侨大学学报 (自然科学版), 2020, 41 (4): 415-422.

[12] 孙军, 张鹏, 沈卓群, 等. LabVIEW 环境下的机械臂轨迹跟踪控制算法研究 [J]. 机械设计与制造, 2020 (6): 245-248.

[13] 段纯, 顾建华. 基于逆动力学的机械臂鲁棒位置控制方法的设计 [J]. 中国工程机械学报, 2020, 18 (3): 242-247.

[14] 于树友, 孟凌宇, 许芳, 等. 基于三步法的机械臂轨迹跟踪控制 [J]. 控制理论与应用, 2020, 37 (5): 1034-1044.

[15] 马丛俊, 赵涛, 向国菲, 等. 基于逆运动学的柔性机械臂末端定位控制 [J]. 机械工程学报, 2021, 57 (13): 163-171.

[16] 屈海军, 杨森. 基于全局最优滑模控制器的冗余自由度机械臂运动控制的研究 [J]. 机床与液压, 2021, 49 (5): 45-49.

[17] 卢剑伟. 基于压力反馈控制的车间机械手智能防碰撞监测系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (12): 48-52.

[18] 蒋君侠, 董群, 金杰峰. 倒挂式主从遥控机械手重力补偿方法 [J]. 机械工程学报, 2021, 57 (11): 195-205.

[19] 王涛, 潘博, 付宜利, 等. 微创手术机器人力反馈主手重力补偿研究 [J]. 机器人, 2020, 42 (5): 525-533.

[20] 黄玲涛, 王彬, 倪水, 等. 基于力传感器重力补偿的机器人柔顺控制研究 [J]. 农业机械学报, 2020, 51 (3): 386-393.