

基于 CPLD 控制模块的智能机器人 控制系统研究

李贺¹, 朱珍元², 陈任¹

(1. 安徽医科大学 卫生管理学院, 合肥 230000; 2. 安徽警官职业学院 信息管理系, 合肥 230000)

摘要: 为提高物流周转智能机器人的环境感知能力和避障能力, 降低智能机器人运行中碰撞障碍物的概率, 设计了一种基于 CPLD 控制模块的物流周转智能机器人控制系统; 以 CPLD 控制器为核心, 调整 A/D 模拟采集接口模块信号的连接形式, 并设置与 PWM 寄存器相关的连接参数; 给出了主机智能程序的决策流程, 并适时调整 PWM 寄存器的整流参数, 提升控制指令执行向量的匹配精度, 以实现智能机器人运动轨迹的精确控制; 与传统机器人控制系统相比, 基于 CPLD 控制模块的智能机器人能够更准确地感知外界环境的变化, 精确规避障碍物。

关键词: CPLD 控制模块; 智能机器人; A/D 模拟; PWM 寄存器; 避障敏感度

Research on Intelligent Robot Control System Based on CPLD Control Module

LI He¹, ZHU Zhenyuan², CHEN Ren¹

(1. School of Health Management, Anhui Medical University, Hefei 230000, China;

2. Anhui Vocational College of Police Officers, Department of Information Management, Hefei 230000, China)

Abstract: In order to improve the environmental awareness and obstacle avoidance ability of the intelligent robot for logistics turnover, and reduce the probability of collision with obstacles during the operation of the intelligent robot, a control system of the intelligent robot for logistics turnover based on the CPLD control module was designed. With CPLD controller as the core, adjust the connection form of A/D analog acquisition interface module signal, and set the connection parameters related to PWM registers; The decision-making flow of the host intelligent program is given, and the rectification parameters of PWM registers are adjusted timely to improve the matching accuracy of the control instruction execution vector, so as to achieve the accurate control of the intelligent robot's motion trajectory. Compared with the traditional robot control system, the intelligent robot based on CPLD control module can more accurately perceive the changes of the external environment and accurately avoid obstacles.

Keywords: CPLD control module; intelligent robot; A/D simulation; PWM register; obstacle avoidance sensitivity

0 引言

CPLD 是具有可编程逻辑的控制模块结构, 其在逻辑编程的同时, 还具有快闪存储、SRAM、EEPROM、CMOS EPROM 等多项应用技术, CPLD 模块由基础逻辑模块、可编程互通连接信道、I/O 结构等三类应用元件共同组成。每一个基础逻辑模块都相当于一个小规模的逻辑控制单元, 由于 CPLD 模块的内部形态相对较为简单, 所以最多只能包含一个可编程寄存器元件, 在面对复杂的指令编程任务时, 还需外嵌 ROM、RAM 等阵列块结构, 提升控制模块的存储性能和拓展功能^[1-2]。CPLD 控制模块的可编程互通连接信道负责逻辑块之间的连接, 还提供了由内部逻辑器件指向 I/O 引脚之间的物理接口^[3-4], 并可将其与核心网络

连接起来, 便于实时通信和接受上位机的系统指令。由于所涉及逻辑程序规模和复杂程度存在差异, CPLD 控制模块所执行的编程指令也有所不同, 这也是导致其下属分区结构与逻辑单元具有较大差别的最主要原因之一。

随着网络技术、通信技术、自动化控制技术和人工智能技术的快速发展, 智能机器人智慧化水平不断提升, 并逐步被应用到工业领域。智能机器人是一种新型的计算机控制结构, 可以在“中央处理器”元件的作用下, 由传感器采集外界的各种信息, 并遵从 CUP 单元和核心编码器所下达的指令独立完成任务, 从而满足工业等领域应用需求, 解放人力提升工作效率并提高产品的成品率^[5]。在智能机器人控制过程中, 计算机作为唯一的中控设备, 尤其传导的编码信息与指令文件必须在相关信道组织的辅助

收稿日期: 2022-11-22; 修回日期: 2022-12-22。

基金项目: 安徽省职业与成人教育学会 2021 年度教育教学研究规划项目(Azcyj2021105)。

作者简介: 李贺(1989-), 男, 安徽宿州人, 硕士, 主要从事自动化控制及公共管理方向的研究。

通讯作者: 陈任(1980-), 男, 安徽颍上人, 博士, 教授, 主要从事卫生管理与卫生政策方向的研究。

引用格式: 李贺, 朱珍元, 陈任. 基于 CPLD 控制模块的智能机器人控制系统研究[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(2): 147-153.

下,才能反馈至机器人的各级行为部件之中。随着计算机科学技术和自动化控制技术的发展,智能机器人研究逐渐成为了领域内新的研究特点。国内外计算机自动化智能控制领域的专家、学者也对智能机器人展开了相关研究:学者辜勇等人(2020)利用仿生算法控制机器人的运行轨迹,提升了算法的容错能力进而改善了对智能机器人移动精度的控制^[6];学者白克等人(2021)采用了嵌入式算法建立机器人的智能控制系统,提升了程序运行效率,并能够在机械臂控制中实现对运动轨迹的实时纠偏^[7];学者 Selim(2022)基于位置、速度等多个视角提出一种融合控制算法,综合考虑各因素对物流周转机器人的影响,并采用卡尔曼滤波算法滤除系统噪声的影响,提升信号传递的准确率和物流机器人的轨迹控制精度^[8];学者 Fu、Masakatsu(2017)等人提出一种模糊控制算法,通过构建模糊控制模型提升对机器人运动轨迹的控制精度,并实现对机器人的行进轨迹动态纠偏^[9];学者 Shin 等(2017)设计了一种智能化感知的机器人智能控制系统,借助神经网络模型自动判断物流机器人的轨迹执行情况,并动态调整机器人的轨迹偏离情况^[10]。

然而现有的关于智能机器人自动化控制系统研究大都以芯片驱动为主,例如以 MSP430F149 芯片作为核心驱动结构,整体行为模式相对较为简单,虽然能够积极响应后台上位机所下单的执行指令,并能够完成一些简单的指令,但难以应对工业制造过程中较为复杂的制定,无法实时对智能机器人的运动轨迹进行纠偏,精度控制也难以满足需求,随着外界环境因素的变化和系统误差的增加,上位及传达的指令信息极有可能出现一定程度的延迟,这样不但会影响机器人对于外界环境的感知能力,也会导致避障不及时、避障敏感度下降等问题的出现^[11]。为避免上述情况的发生,借助 CPLD 控制模块,令其对核心控制主机进行支配,并以此为基础,开展针对新型智能机器人控制系统的深入研究。

1 物流周转智能机器人控制系统架构设计

为更好适应 CPLD 控制模块的实际应用需求,本章节从下机位硬件电路等多个角度着手设计,针对智能机器人控制系统的硬件机构组成进行深入研究和探讨,利用 C²PLD 控制模块来提升对机器人行动轨迹控制精度。

1.1 下机位硬件电路

下机位硬件电路作为物流周转智能机器人控制系统中关键的电量信号控制结构,其主要结构由运动控制电路、无线通讯电路两部分共同组成,具体的结构设计如下。

1.1.1 运动控制电路

运动控制电路负责保障智能机器人的运动行为供电,是下机位硬件电路的核心组成部分,以 L289N 触发器作为主要设计结构,可以联合 MOTO 模块对 CPLD 控制模块的连接行为进行协调,从而促使控制主机能够获取最为直观

的机器人运行数据^[12-13]。具体连接结构如图 1 所示。FND 结构(直流导向器),能够确保运行电流始终由 L289N 触发器端向着 MOTO(稳压控制模块)输入,一方面保障了智能机器人的稳定运动行为,另一方面也使得 1 号、2 号、3 号电阻内的电量信号能够得到有效利用。

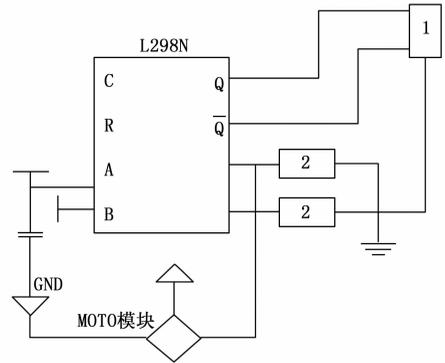


图 1 运动控制电路示意图

1.1.2 无线通讯电路

无线通讯电路作为运动控制电路的下级负载结构,能够对智能机器人控制系统中的传输电流进行整合处理,并可以在多个连接管脚结构的作用下,将剩余电量信号反馈至 CPLD 控制器、A/D 模拟器采集接口模块等多个硬件应用结构之中^[14-15]。A/D 模拟器的功能包括原始信号的采集及数字信号的转换,将智能机器人的模拟信号转换成数字信号的电路。A/D 模拟器的工作方式是将时间连续、幅值也连续的模拟量转换为时间离散、幅值也离散的数字信号,数字信号的优势在于转换效率高、易于控制等。A/D 模拟器信号转换通常要经过取样、保持、量化及编码是个基本过程。在实际的机器人电路系统控制中,这些过程有的是合并、同步进行的,如取样和保持,量化和编码往往都是在转换过程中同步实现。在实际应用过程中,各个管脚名称及其具体行为能力如表 1 所示。

表 1 无线通讯电路核心管脚

管脚名称	行为能力
TRX-CR	运动控制电路与无线通讯电路的连接通路,具备较强的电信号聚集处理能力
PWR-UP	上电管脚,负责建立 CPLD 控制模块与无线通讯电路之间的电信号连接关系
u-PCLK	射频频管脚,射频控制信号的接入位置,能够感应无线通讯电路中电量信号的传输变化情况
SPI-MISO	主 SPI 输入接口,从 SPI 输出接口
SPI-MDSO	主 SPI 输出接口,从 SPI 输入接口

1.2 CPLD 控制器

CPLD 作为高度集成型控制器结构,其内部晶体管数量高达几十万个。在智能机器人控制系统中,由于大量晶体管结构的同时存在,CPLD 控制器的运行速度极快,对于任

何细微的机器人动作行为都能进行准确捕捉。从实用性角度来看, CPLD 控制器属于一种双向型应用结构, 既能获取与智能机器人动作指令相关的行为信号, 也可以与系统核心控制主机建立信号互通关系, 且在整个指令信息文件传输的过程中, 外部传输信号不会对内部传输信号造成任何影响^[16]。具体框架结构如图 2 所示。

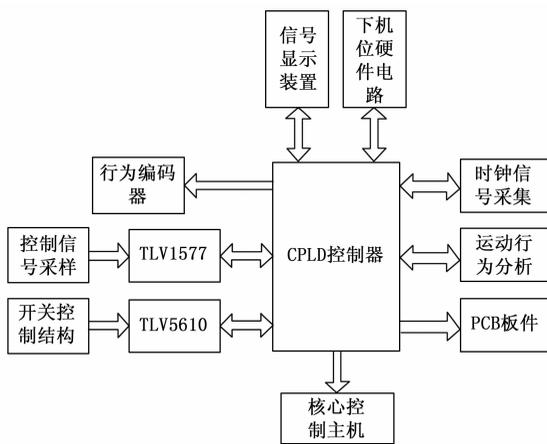


图 2 CPLD 控制器的物理框架结构

对于 TLV1577、TLV5610 等芯片结构而言, CPLD 控制器的双向指令处理行为具有绝对性, 与之对应的控制信号采样模块等物理结构也就具有较强的控制作用能力^[17-19]; 而对于行为编码器等结构而言, CPLD 控制器的双向指令处理行为不具备完全的绝对性, 这也是智能机器人控制系统内控制指令传输行为始终具有较强自由性的主要原因。

1.3 A/D 模拟采集接口模块

A/D 模拟采集接口模块由 A/D 模拟器、采集接口组织两部分组成, 前者负责将电量信号转变成射频信号, 以供 CPLD 控制器元件的调取与利用, 后者则主要作为通路组织, 将各种不同的信号参量反馈至不同的系统结构之中。

1.3.1 A/D 模拟器

A/D 模拟器结构具有较强的信号探测能力, 在智能机器人控制系统中, 能够较好保护 CPLD 控制器装置 (具体行为模式如图 3 所示)^[20]。由于结构内部存在一个标准的 MCU 分类装置, 所以电量信号与射频信号就能得到 A/D 模拟器结构的准确区分, 并可在采集接口组织的作用下, 将完成转换的信号参量存储于系统数据库主机中, 以便于后续控制指令的运行^[21]。

1.3.2 采集接口组织

与 A/D 模拟器结果相比, 采集接口组织的作用能力相对较为简单, 仅作为信号参量的传输通路。在智能机器人控制系统中, 由于大多数信息指令的传输行为都具有双向性, 所以该接口组织虽然同时具备单向性与双向性的反馈能力, 但大多数也只有双向性反馈能力能够得到表现。

2 控制软件设计

在各级硬件应用结构的基础上, 针对 CPLD 控制模块

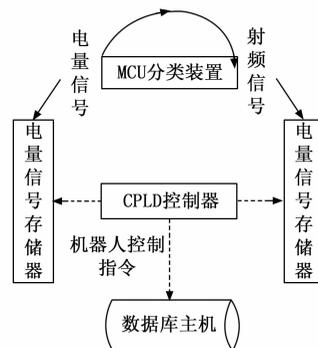


图 3 A/D 模拟器结构的的行为模式

端的软件程序进行研究, 再根据 PWM 信号调节器设置情况, 决定主机智能控制决策的执行流程, 从而完成基于 CPLD 控制模块的智能机器人控制系统设计。

2.1 CPLD 端软件

对于智能机器人控制系统而言, CPLD 端执行软件主要负责掌控机械模块结构的运动行为, 并可将记录信息整合成数据文件的形式, 存储至既定数据库主机之中^[22-23]。常见的 CPLD 端执行软件主要包含 .div、.script、.type、.index 等多种编码形式, 从功能性角度来看, 大体上可将这些执行软件分成必要编码文件、从属编码文件、行为化文件三类, 其具体分类标准如表 2 所示。

表 2 CPLD 端软件分类标准

类型	名称	行为能力	作用结果
必要编码文件	.div	定义控制指令传输行为	标记 CPLD 控制模块内的所有智能化信息
	.index	定义控制指令存储行为	将 PLD 模块内的控制指令转移至既定存储位置
	.cnki	定义相邻控制指令之间的传输间隔	避免 CPLD 模块内控制指令出现明显堆积情况
从属编码文件	.script	定义与控制指令匹配的数据信息文件	从属编码文件不会独立出现, 在 CPLD 控制模块内, 只能与必要编码文件伴随出现
	.type	定义非关联控制节点	
行为化文件	.kns	定义机器人行为周期	作为 PLD 模块内的关键软件执行指令, 决定了必要编码文件与从属编码文件的实施可行性
	.charset	定义机器人行为动作幅度	

2.2 PWM 信号调节器设置

PWM 信号调节负责调试智能机器人对于外界环境的数据信号, 由于调节器主机直接与 CPLD 控制模块相连, 所以任何细小的行为动作都能得到准确的识别和捕捉, 这也是新型控制系统能够精准获取外界环境的途径, 并可以对障碍物结构进行避让的主要原因之一^[24]。

在实际应用过程中, 对于 PWM 信号调节器的配置操

作显得过于抽象，为便于 CPLD 控制模块对机器人行为信号进行按需处理，需要将整个寄存器参数设置行为简化成如下几个阶段：

1) 控制信号整流阶段：在此过程中，智能机器人往往处于快速运动状态，此时 CPLD 模块会快速向外传输控制执行指令，因此 PWM 信号调节器的整流参数指标数值水平相对较高。设 R_{\max} 表示最大的机器人运动行为项指标， x_i 表示行为权限为 i 时的指令执行步长值， δ 表示既定整流系数。联立上述物理量，可将整流阶段的 PWM 信号调节器参数指标 α_1 表示为：

$$\alpha_1 = \frac{\delta^{-1} \sqrt{R_{\max} * x_i}}{p * |y|^2}, i \neq 0 \quad (1)$$

其中： p 为控制指令执行权限， y 为控制指令传输均值。

2) 控制信号分流阶段：与信号整流不同，控制信号分流阶段智能机器人的运动速度相对较慢^[25]。设 β 表示 CPLD 控制模块所遵循的指令分流标准， n 代表一个控制周期内指令分流行为的执行次数， ξ 表示既定分流系数。联立公式 (1)，可将分流阶段的 PWM 信号调节器的参数指标 α_2 表示为：

$$\alpha_2 = \frac{\alpha_1}{\beta n^2 / \xi^2} + f \hat{g} \quad (2)$$

式中， \hat{g} 为智能机器人的运动行为特征， f 为与机器人运动行为匹配的控制指令执行向量。调整和控制 PWM 波形的方法有很多，根据传感器的类别和机器人系统设计的复杂程度选择合适的 PWM 波形调制模式，针对本文信号调节器的型号的使用场景，本文采用了计数比较的方式和多种不同类型的波形。根据 CPLD 模块的特点，选择了多层次化和自上而下的模块式设计思维，并根电平输出值选择合适的通信信号波形。机器人 CPLD 模块控制程序较为简单且容易实现，还具有重复利用率高等特点，在工作中 PWM 信号不会干扰到其他模块的控制程序。通常情况下，CPLD 模块的时基脉冲范围在 15~30 ms 之间，与之对应脉冲电平范围在 0.5~3.0 ms 之间。

智能机器人的 CPLD 模块各参数指标必须在设定的范围之内，如果需要调整应更改整个系统的主控程序，因为参数调整会导致脉冲和信号波形的改变，CPLD 模块有效相位角度控制范围为 0~180°从控制时间的层面来看，脉冲信号的控制周期在 1~2 μ s 之间，模块的连续控制精度会随着控制周期的延长而不断地降低。物流周转智能机器人 PWM 控制信号调节器是 CPLD 模块最重要的组成部分之一，尤其需要特别关注的是，在控制机器人的过程中可以换一种视角考虑脉冲周期变化的要求。要实现机器人方向角度的旋转，其实重要的是机器人内部的控制芯片能够接收到 0.5~3.0 ms 的高电平脉冲，那么意味着一个周期内高电平部分占 2.0 ms，也就是说分析出机器人控制信号占空比，在一串理想的脉冲序列中。

2.3 主控程序的决策流程

决策流程是指由控制指令生产到指令顺利执行的完整运行过程（完整执行流程如图 4 所示），一般来说，在 CPLD 控制模块作用能力不发生改变的情况下，智能机器人的实际运动距离越远，其在行进过程中，可能接触到的障碍物也就越多，此时决策流程也就相对较长^[26]。

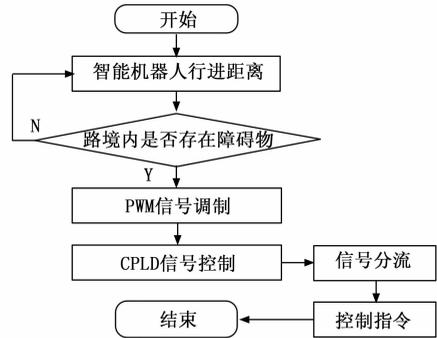


图 4 决策流程图

物流周转智能机器人 CPLD 控制模块的工作具体流程，如下所示：

1) 在系统主控程序运行之前，先通电并调整机器人各主要参数，同时试运行智能机器人各模块的子程序，智能机器人开始自检。如果系统主控程序和各模块的子程序能够正常运转，表明智能机器人进入工作状态

2) 物流周转智能机器人的内置传感器实时采集运行路线前方的路况数据，并通过 A/D 转换器将其转换为数字信号。智能机器人信号识别的功能，能够帮助机器人实现与后台上位机之间的实时通信，并实现行进轨迹的纠偏。

3) 利用 CPLD 控制模块 PWM 信号调节器调制波形型号，并实时反馈给后台控制中心。通过对比 PWM 信号输出值和电平值的大小，选择不同的通信波形。

4) 通过路况信号分流、指令传达和实时通信，实时修正智能机器人的轨迹路线，并降低不同模块之间的通信干扰。

当现有执行指令并不能完全控制智能机器人运动行为时，CPLD 模块会开始继续向外输出控制指令，以供核心主机的挑选^[27]。而当现有执行指令能够控制智能机器人运动行为或控制主机当前所选取指令恰好能够控制机器人运动状态时，则表示智能机器人控制系统已进入稳定运行状态。

3 对比实验

3.1 实验环境设置

选取两台型号相同的智能机器人作为实验的对象，将其置于图 5 所示的实验环境中，在机器人行进路径中，人为随机放置三个障碍物，并分别对其标号为 1、2、3，其中 1 号障碍物与 2 号障碍物的纵向宽度相同，但 2 号障碍物的横向宽度值更大，1 号障碍物与 3 号障碍物的横向宽度相同，但 3 号障碍物的纵向宽度值更大。在实验过程中，利

用基于 CPLD 模块的应用系统对实验组机器人进行控制, 利用 MSP430F149 芯片对对照组机器人进行控制, 筛选指标并进行实验数据上的对比, 用于判定机器人控制系统的精度和实用性。



图 5 实验环境设置

当智能机器人的内置传感器和计数器读取值出现溢出情况时, PWM 信号输出值高于电平, 直至触发器的前置位端, 如果内置的传感器和触发器输出持续包括高电平输出状态, 会导致物流周转智能机器人的控制系统功耗过高, 进而出现系统延迟; 当数据锁存模块中的值与计数器的计数值相等时, 比较模块输出高电平至触发器的复位端, 传感器和触发器持续地输出相对较低的电平。通过高低电平交互与转换就实现了对 PWM 的初级波形的优化调整。采集到的转换信号经过一个延时模块后, 就是能够供系统识别和使用的最终脉冲控制信号。CPLD 模块的信号分流功能是对 PWM 波形的上升端进行延时处理, 而不影响对下降端的处理, 从而确保机器人控制电路系统的同侧不会发生短路事故, 关于智能机器人相关的参数设定, 如表 3 所示。

表 3 CPLD 模块相关参数控制

序号	参数	取值
1	脉冲信号周期	1.5 ms
2	电平脉冲	2.5 ms
3	相位角取值	75°

3.2 实验指标选取

为验证在不同的控制系统作用下, 智能机器人避障能力的变化情况, 选取纵向宽度、横向宽度作为对研究对象的评价指标。如果机器人在行进过程中实际路线能够尽量趋近于两个障碍物的中心位置, 那么其发生碰撞的风险值就会更低, 纵向宽度、横向宽度具体计算式如下:

$$l = \begin{cases} v^2 \cdot b \\ v^2 \cdot m \end{cases} \quad (3)$$

式中, v 表示智能机器人行进控制系数, b 表示障碍物体的纵向宽度取值, m 表示障碍物体的横向宽度取值。当智能

机器人运动至障碍物附近时, 二者之间安全距离与指标 l 的数值关系能够反映机器人的避障能力。通常情况下, 当安全距离大于指标 l 数值时, 表示智能机器人的运动避障能力较强; 当安全距离无限接近但又不等于指标 l 数值时, 表示智能机器人虽然具有避障能力, 但能力水平较差; 当安全距离小于指标 l 数值时, 表示智能机器人已经与障碍物发生了碰撞, 且可以判定机器人在该种控制系统下不具备最基本的避障能力。

3.3 避障数值分析

表 3 反映了在运动至 1 号障碍物附近时, 实验组、对照组机器人在纵横两个方向上的避障能力对比情况。

表 3 避障能力分析(1 号障碍物)

实验组别	横向宽度/cm			纵向宽度/cm		
	l 指标	实验组	对照组	l 指标	实验组	对照组
1	2.8	3.1	2.5	3.4	4.6	3.4
2	2.8	3.0	2.7	3.6	4.0	3.6
3	2.8	3.2	2.2	3.1	4.5	3.0
4	3.6	4.5	3.0	3.7	5.1	2.8
5	2.8	3.6	2.2	4.4	5.0	3.7
6	3.3	4.4	3.2	5.2	5.5	4.6
7	4.0	4.7	3.1	3.7	4.6	3.5
8	4.2	4.9	3.3	3.9	4.8	4.0
9	2.8	3.5	2.6	3.7	5.4	2.8

分析表 3 可知, 在仅考虑 1 号障碍物的情况下, 实验组机器人与障碍物之间的横向距离始终大于指标 l 的数值水平, 在进行第 6 次实验时, 二者之间的物理差值最大, 达到了 1.1 cm; 对照组机器人与障碍物之间的横向距离完全小于指标 l 的数值水平。实验组机器人与障碍物之间的纵向距离依然大于指标 l 的数值水平, 在进行第 9 组实验时, 二者之间的物理差值最大, 为 1.7 cm; 对照组机器人与障碍物之间的纵向距离部分小于指标 l 的数值, 在进行第 1 组、第 2 组实验时, 所得记录数值虽然并未小于指标 l 的数值, 但二者也仅能保持完全相等的状态。

表 4 反映了在运动至 2 号障碍物附近时, 实验组、对照组机器人在纵横两个方向上的避障能力对比情况。

表 4 避障能力分析(2 号障碍物)

实验组别	横向宽度/cm			纵向宽度/cm		
	l 指标	实验组	对照组	l 指标	实验组	对照组
1	3.3	3.8	3.1	3.4	4.6	3.4
2	3.4	3.7	3.3	3.6	4.0	3.6
3	3.6	4.0	3.5	3.1	4.5	3.0
4	3.9	4.2	3.6	3.7	5.1	2.8
5	4.2	4.5	4.0	4.4	5.0	3.7
6	4.1	4.3	3.8	5.2	5.5	4.6
7	4.3	4.7	3.9	3.7	4.6	3.5
8	3.7	3.9	3.1	3.9	4.8	4.0
9	3.5	4.0	3.2	3.7	5.4	2.8

分析表 4 可知, 在仅考虑 2 号障碍物的情况下, 实验组、对照组机器人与障碍物之间纵向距离及其与指标 l 的数值关系并没有发生改变。实验组机器人与障碍物之间的横向距离始终大于指标 l 的数值水平, 而对对照组机器人与障碍物之间的横向距离则始终小于指标 l 的数值水平。

表 5 反映了在运动至 3 号障碍物附近时, 实验组、对照组机器人在横纵两个方向上的避障能力对比情况。

表 5 避障能力分析(3 号障碍物)

实验组别	横向宽度/cm			纵向宽度/cm		
	l 指标	实验组	对照组	l 指标	实验组	对照组
1	2.8	3.1	2.5	5.3	5.5	4.6
2	2.8	3.0	2.7	5.5	5.8	4.3
3	2.8	3.2	2.2	5.3	5.5	4.1
4	3.6	4.5	3.0	5.3	5.7	4.2
5	2.8	3.6	2.2	4.9	5.4	4.5
6	3.3	4.4	3.2	5.7	6.3	5.0
7	4.0	4.7	3.1	4.8	5.2	4.4
8	4.2	4.9	3.3	6.2	6.8	5.3
9	2.8	3.5	2.6	6.4	7.2	5.5

分析表 5 可知, 在仅考虑 3 号障碍物的情况下, 实验组、对照组机器人与障碍物之间横向距离及其与指标 l 的数值关系并没有发生改变。实验组机器人与障碍物之间的纵向距离依然大于指标 l 的数值水平, 而对对照组机器人与障碍物之间的纵向距离则还是小于指标 l 的数值水平。最后, 再测量不同的机器人控制系统下, 通过三个障碍物的总体耗时情况, 通常情况下绕行耗时越短, 表明控制系统对于路线的规划越合理, 机器人在运动过程中会最大限度地减少往复的时间, 提高行进效率, 躲避 3 个障碍物的耗时情况如图 6 所示。

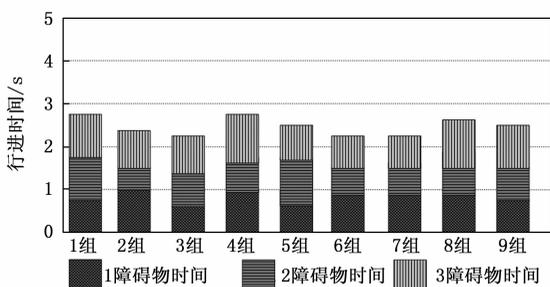


图 6 基于 CPLD 模块的机器人行进时间统计

从图 6 和图 7 的数据统计对比可知, 无论是绕行单个障碍物的时间, 还是汇总时间, 基于 CPLD 控制模块的效率优势明显, 具体的数值统计结果如表 6 所示。

表 6 绕行 3 个障碍物的总体耗时统计 s

组别	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CPLD 控制算法	2.72	2.42	2.29	2.68	2.53	2.33	2.32	2.61	2.50
传统控制算法	4.23	4.15	4.36	4.24	4.33	4.11	4.01	3.95	4.10

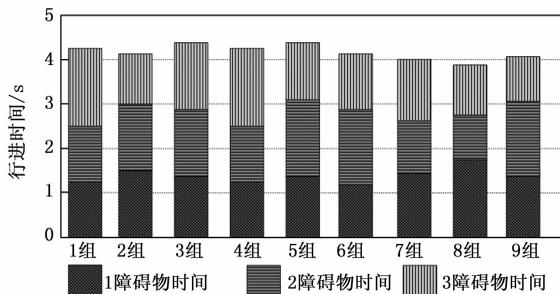


图 7 传统控制系统下机器人行进时间统计

综上所述, 本次实验结论如下: 1) 随着障碍物横向宽度的增大, 只有智能机器人与障碍物之间的横向物理间隔数值也不断增大, 才表示当前所使用控制系统能够提升智能机器人的避障能力; 2) 随着障碍物纵向宽度的增大, 只有智能机器人与障碍物之间的纵向物理间隔数值也不断增大, 才表示当前所使用控制系统能够提升智能机器人的避障能力; 3) 应用基于 CPLD 控制模块的控制系统后, 智能机器人的横向避障与纵向避障能力均出现了适当促进, 在其行进过程中, 这种控制系统确实能够增强机器人对于外界环境的感知能力, 与单纯 MSP430F149 芯片驱动的系统相比, 更具有使用价值; 4) 在控制系统的效率方面, 基于 CPLD 控制模块的机器人在保证避障精度的同时, 也能最大限度地减少运行时间和选择最佳路径。提高机器人的智能化水平和运转效率, 在工业领域具有重要的意义和价值。例如, 在工业领域的零件周转机器人或物流机器人, 对于工业企业生产效率的提升有着深远的意义。

4 结束语

提升物流周转智能机器人的避障能力和工作效率, 是机器人控制及人工智能领域新的研究热点之一, 通过改善物流周转机器人智能控制系统的路线控制精度, 是提升机器人实用性的重要基础条件。在 CPLD 控制模块的作用下, 新型智能机器人控制系统从下机位硬件电路入手, 对 A/D 模拟采集接口模块的连接行为进行规划, 又通过分类软件执行程序的方式, 确定 PWM 信号处理器参数的设置情况, 从而实现对主机智能决策流程的完善。从实用性角度来看, 与单纯 MSP430F149 芯片驱动的系统相比, 这种新型控制系统, 对于智能机器人的避障能力可以起到一定的促进性影响作用, 与辅助机器人对外界环境变化进行准确感知的设计初衷相符合。

参考文献:

[1] 仲伟正, 刘曰涛, 毛薪然, 等. 基于 CPLD 直流无刷电机驱动系统的调速控制分析 [J]. 机床与液压, 2021, 49 (1): 7-12.
 [2] 周中鑫, 张印强, 李丽娟, 等. 基于 FPGA 的 MEMS 陀螺阵列信号采集系统 [J]. 仪表技术与传感器, 2020 (9): 101-105.
 [3] 庄原, 孔宁, 任杰, 等. 在轨可更换模块对接接口技术综述 [J]. 中国机械工程, 2020, 31 (16): 1917-1930.

- [4] 宋海声, 魏焯秦, 孔 洁, 等. 时间数字转换模块读出接口设计 [J]. 核电子学与探测技术, 2017, 37 (6): 636-640.
- [5] 赵丽娜, 李 伟, 康 霖, 等. 基于 Python 智能机器人多渠道知识库推送仿真 [J]. 计算机仿真, 2020, 37 (3): 328-332.
- [6] 辜 勇, 段晶晶, 苏宇霞, 等. 基于改进蚁群算法的仓储物流机器人路径规划 [J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2020, 44 (4): 688-693, 697.
- [7] 白 克, 王 龙. 基于嵌入式智能控制系统的采摘机器人定位导航方法 [J]. 农机化研究, 2021, 43 (1): 86-90.
- [8] SELIM E, ALCI M. Walking speed control of planar bipedal robot with phase control [J]. International Journal of Humanoid Robotics, 2022.
- [9] FU J, MASAKATSU G, et al. High path tracking control of an intelligent walking-support robot under time-varying friction and unknown parameters [J]. Advanced Robotics the International Journal of the Robotics Society of Japan, 2017.
- [10] SHIN M S, MYEONG C K O, YONG W J U, et al. Implementation of context-aware based robot control system for automatic postal logistics [J]. Studies in Informatics and Control, 2013, 22 (1): 71-80.
- [11] 陈博行, 马 俊, 方卫强. 基于 MSP430F149 的智能温度采集系统设计 [J]. 自动化与仪器仪表, 2020 (4): 93-96.
- [12] 陈 亚, 史钊亮, 高锦宏, 等. 基于 STM32+FPGA 的六自由度机器人运动控制器设计 [J]. 机械设计与制造, 2020 (4): 240-243.
- [13] 高志伟, 代学武, 郑志达. 基于运动控制和频域分析的移动机器人能耗最优轨迹规划 [J]. 自动化学报, 2020, 46 (5): 934-945.
- [14] 李厚基, 王春芳, 岳 睿, 等. 基于 SiC 器件的单管无线电能传输电路研究 [J]. 中国电机工程学报, 2020, 40 (6): 1808-1817.
- [15] 张鼎衢, 杨 路, 宋 强, 等. 一种用于关口电能计量装置远程校验的多路模拟采集器的研制 [J]. 电测与仪表, 2022, 59 (9): 181-187.
- [16] 雷增强, 许辉勇, 程 刚, 等. 基于 CPLD 的增量式调焦编码器读出电路的设计 [J]. 红外技术, 2020, 42 (11): 1037-1041.
- [17] 孙国强, 张 恪, 卫志农, 等. 基于深度学习的含统一潮流控制器的电力系统快速安全校正 [J]. 电力系统自动化, 2020, 44 (19): 119-127.
- [18] 孔祥平, 李 鹏, 韩杰祥, 等. 适应电力电子变压器功率双向交换的低电压穿越运行控制策略 [J]. 电力科学与技术学报, 2021, 36 (2): 124-131.
- [19] 张广强, 郑津津, 丰 穗, 等. 基于双向互补学习网络的散焦模糊检测 [J]. 计算机应用研究, 2022, 39 (7): 2190-2195.
- [20] 徐保荣, 王家慧, 梁 秀, 等. 面向电机模拟器的永磁同步电机模型研究 [J]. 电机与控制学报, 2021, 25 (10): 78-88.
- [21] 柯奕辰, 陈国初, 许移庆, 等. 基于改进滑模控制的电网模拟器逆变侧设计 [J]. 电测与仪表, 2021, 58 (2): 171-177.
- [22] 边 竞, 李国庆, 金儒孔, 等. 多端口线间直流潮流控制器及控制策略优化 [J]. 中国电机工程学报, 2020, 40 (12): 3980-3990.
- [23] 张宸宇, 袁宇波, 李子欣, 等. 四端口电力电子变压器效率测试方法 [J]. 电工电能新技术, 2020, 39 (6): 10-17.
- [24] 李练兵, 陈 黎, 李 铎, 等. 电流型 PWM 整流器有源阻尼控制的参数设计 [J]. 电力电容器与无功补偿, 2020, 41 (4): 182-187.
- [25] 肖 雄, 武玉娟, 孙广达, 等. 基于自适应神经网络观测的无电压传感器 PWM 整流器功率预测控制 [J]. 中国电机工程学报, 2021, 41 (3): 1135-1146.
- [26] 林祖荣, 杨晓丰, 倪宏宇, 等. 基于自适应指令滤波反推的多电机同步控制 [J]. 控制工程, 2021, 28 (5): 905-910.
- [27] 黄宵宁, 倪双飞, 杨成顺, 等. 带指令滤波的直驱永磁风机自适应反推积分滑模控制 [J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48 (22): 142-150.
- [7] 刘 刚, 黎 放. 测试性预计方法综述 [J]. 造船技术, 2014 (3): 14-18.
- [8] 马 昆, 钱 峰, 连一伟. 一种嵌入式系统健康管理方法、设备及储存介质 [P]. 上海: CN113742113A, 2021-12-03.
- [9] 陈铭杰, 颜 瑾, 李铁颖, 等. 基于系统参考模型的混合故障诊断技术研究 [J]. 测控技术, 2022, 41 (6): 40-45.
- [10] 蒋 欣, 唐 超, 白 晨. PCI 总线硬件故障容错技术研究 [J]. 现代电子技术, 2016, 39 (14): 35-38.
- [11] 余岷蓉. 基于 Compact PCI 总线的多通道通信故障检测系统设计 [J]. 现代电子技术, 2020, 43 (3): 5-9, 13.
- [12] 王 江. 基于 CPC1 的双 CPU 冗余备份系统设计 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2014.
- [13] 朱 涛. 基于双主机的冗余控制系统软件设计与实现 [J]. 工业控制计算机, 2019, 32 (10): 94-95.
- [14] 王 璐. 开关电源失效分析及可靠性优化设计 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2020.
- [15] 卢 俊. 开关电源关键电路故障预测技术研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2018.
- [16] 赵丽琴, 刘 昶, 曹明生, 等. 复杂装备健康度评估方法研究综述 [J]. 计算机测量与控制, 2021, 29 (11): 1-7, 17.
- [17] 王 珉. 飞行器关键子系统健康管理中的故障诊断知识获取方法研究 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2013.
- [18] 徐 楠. 基于故障注入的数控装备测试技术研究 [D]. 长春: 长春工业大学, 2016.
- [19] 冯珂珂, 贾 凡, 杜晓杰, 等. 龙芯 3 号板卡 HT 互联及内存故障诊断方法的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (6): 1-6, 11.
- [20] 王 成, 杨 森, 孟 晨, 等. 基于改进 QPSO 优化 SVR 的某电源组合故障预测研究 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (5): 1342-1344.