

基于机器视觉的智能机器人路径规划系统设计

王舒平

(中国石油集团电能有限公司,黑龙江 安达 163000)

摘要: 智能机器人避障能力不足会影响机器人工作效率,为了增强多领域内智能机器人的工作效率,设计基于机器视觉的智能机器人路径规划系统。通过构建单片机控制单元、驱动电路模块、机器视觉模块和信息交互模块,完成系统的硬件部分设计,为机器人机械运动提供能源并采集机器人所处环境的视频和图像。以视频和图像作为信息交互材料进行环境图像的预处理及障碍物检测,跟踪-学习-检测(tracking-learning-detection, TLD)实时目标跟踪,智能机器人的路径规划,引导智能机器人完成目标任务,实现系统的软件部分设计。实验结果表明,所设计系统在不同环境下均具备较高的效率和较强的避障能力,能够实现设计目的。

关键词: 智能机器人;机器视觉;路径规划;信息交互;系统设计

中图分类号:TP242;TP18 文献标识码:A 文章编号:1003-7241(2025)05-0019-06

Design of Intelligent Robot Path Planning System Based on Machine Vision

WANG Shu-ping

(China Petroleum Group Electric Power Company Limited, Anda 163000 China)

Abstract: Insufficient obstacle avoidance ability of intelligent robot will affect the working efficiency of robot. In order to enhance the working efficiency of intelligent robot in multiple fields, intelligent robot path planning system based on machine vision is designed. Through the construction of single-chip microcomputer control unit, drive circuit module, machine vision module and information interaction module, the hardware part of the system is designed to provide energy for the robot mechanical movement and collect the video and image of the robot environment. Video and image are used as information interaction materials for environmental image preprocessing and obstacle detection, TLD real-time target tracking, path planning of intelligent robot, guide intelligent robot to complete the target task, and realize the software design of the system. The experimental results show that the design system has high efficiency and strong obstacle avoidance ability under different environments, which indicates that the design system can achieve the original design purpose.

Keywords: intelligent robot; machine vision; path planning; information interaction; system design

0 引言

随着科学技术的快速发展,智能机器人^[1]逐渐取代人工服务,成为医疗卫生、物流运输、航空航天等多个领域的新兴科技。目前国内外设计的智能机器人,由于环境交互能力仍有不足,存在复杂地形避障性差的问题。为了提高智能机器人环境交互能力,增强多领域内智能机器人的工作效率,国内外学者开始在传统智能机器人设计方法的基础上,在智能机器人的路径规划方面寻求创新。

芦姝冰^[2]等人以双摄像头扫码为基础,对自动引导(automated guided vehicle, AGV)小车的运动轨迹进行修正。利用摄像头对二维码进行识别,提取其中的坐标,通过图像处理核定小车位置,以此对AGV小车的运动路

径进行规划与修正。该方法能够有效降低导航路径误差,但是对于其自身避障能力的提升没有做出直接改进。王琛^[3]等人以时间窗模型为基础,研究了双向机器人的路径规划方法。利用种群适应度函数改进路径平滑度,以改进遗传算法。根据优先级顺序,结合时间窗模型,对路径冲突问题进行分类并合理规划线路。该方法对路径冲突进行分类解决,在一定程度上提高了机器人的行进效率,但由于运算量较大,机器人的避障能力仍有待提升。尤婷^[4]等人提出了一种局部混沌评价规划方法。将具有反馈控制变量的混沌系统与机器人运动模板融合,构建路径规划模型,利用耦合控制参数调节相应误差,计算移动路径点,得到局部最优解,对局部路径规划进行评价与校正。该方法能够得到局部的最佳路径,但是难以从整体的角度对机器人的行动路径进行规划,导致最终规划路线难以躲避部分障碍。

*基金项目:黑龙江省科技发展基金项目(LY45861568)

收稿日期:2023-11-17

为了解决上述方法中存在的问题,提高智能机器人的避障能力和工作效率,本文设计基于机器视觉的智能机器人路径规划系统。

1 路径规划系统的硬件设计

目前参与社会劳动的智能机器人通常以搬运、采摘等工作方式为主,这使得智能机器人对目标物体识别、目标路径检测及规划等功能的需求存在较高的依赖性。本文主要针对智能机器人的路径规划问题进行系统设计,为了保证设计系统的稳定性,首先对系统的硬件部分进行设计。

传统的智能机器人路径规划系统大多采用单片机摄像头作为辅助工作的外部设备,这种定位精确度较低、环境交互水平不足的摄像头所输出的相关信息对智能机器人的路径规划功能难以起到良好的协助作用。机器视觉^[5]能够通过双摄像头^[5-6]扫描机器人所处环境,并采集环境信息组成视频或图像,指导机器人建立仿真地图,并择选任务执行路线。结合机器视觉的智能机器人路径规划系统的总体框架,具体如图1所示。

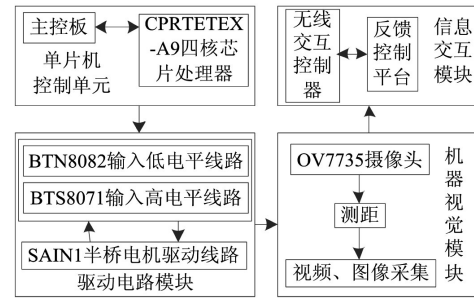


图1 结合机器视觉的路径规划系统总体框架

由图1可知,本文设计的路径规划系统的硬件被分为单片机控制单元、驱动电路模块、机器视觉模块和信息交互模块这4个部分,下面对各个模块进行详细阐述。

1.1 单片机控制单元

智能机器人的单片机控制单元,主要是由主控板搭配CPRTEX-A9四核芯片处理器构成的。其中,主控板负责向系统外装置输送超过其最低供给额度的驱动板使能,保证系统集成电路始终维持在稳定状态^[7]。该单元的电路图如图2所示。

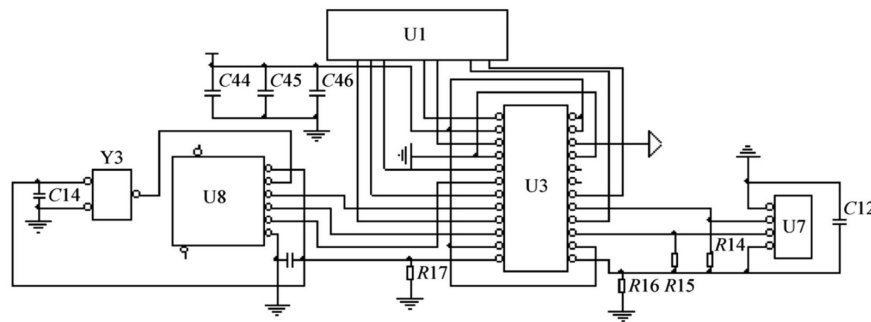


图2 单片机控制单元电路图

CPRTEX-A9四核芯片处理器主要负责调节驱动板使能,使锂电池运行功率不超过工况负荷,从而避免电源稳压失效而产生的机器人机械运动停滞的问题。通常情况下,锂电池驱动板使能的输入电压调节范围为3 V-20 V;输出电压调节范围为2.5 V-15 V;输入电流的调节范围为5.5 A-30 A;输出电流的调节范围为2 A-15 A。

1.2 驱动电路模块

由单片机控制单元发出的驱动板使能,通过驱动电路实现精密能源分节派送。驱动电路模块由BTN8082输入低电平线路和BTS8071输入高电平线路搭配12个反应能力异于常规电机的SAIN1半桥电机驱动线路共同组成。

其中,输入低、高电平线路接收单片机控制单元发出的80%的驱动板使能,且该部分使能全部用来供应机器人路径规划功能的运转。半桥电机驱动线路作为防止单片机控制单元供电不足的储备空间,接收单片机控制单元

发出的20%的驱动板使能,且该部分使能存储于半桥驱动线路,仅在单片机控制单元能源供给不足时,作为第二能源供给站继续向输入低、高电平线路传输可靠电源,以维持机器人的正常路径规划功能。

1.3 机器视觉模块

将机器人置于地势复杂的陌生环境,设计系统需要根据所处环境的实景结构建立仿真地图,并规划合理的移动路线,如此才能通过对智能机器人运动路径的规划,使机器人完成指定任务^[8]。机器视觉模块的电路图如图3所示。

图3机器视觉模块电路图机器视觉模块就是通过机器视觉技术扫描机器人所处环境,并将扫描信息整合为视频或图像,为后续制定任务执行路线奠定坚实的基础。相较于测距短、信息采集率低、任务指令不明确的传统图像获取技术,机器视觉无论是在摄像头的测距方面,还是在图像识别与采集方面,均表现出良好的使用效果。

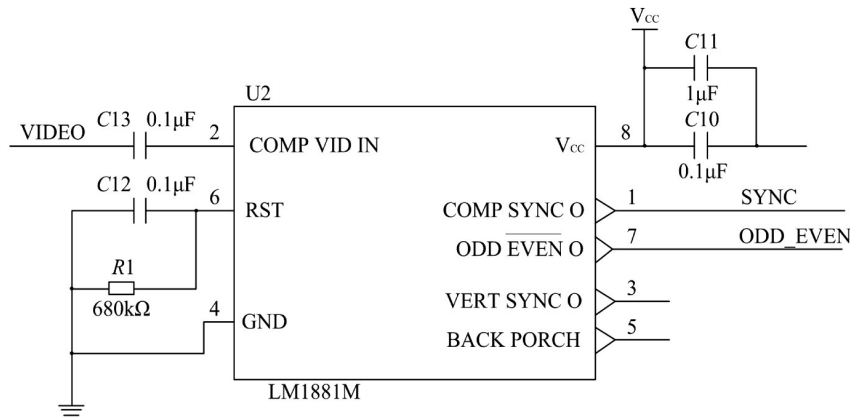


图3 机器视觉模块电路图

1.4 信息交互模块

机器视觉扫描获取的环境信息,以视频或图像的形式传输至信息交互模块。

该模块由无线交互控制器和反馈服务台组成。其中,无线交互控制器负责解析视频或图像,并根据视频或图像信息制定任务执行线路,有效隔离智能机器人与障碍物,指导智能机器人沿执行线路完成目标任务。反馈服务台负责连接机器人与操作员,当目标任务出现临时变动或取消时,操作员通过向反馈服务台输送任务更改或取消指令,及时阻止智能机器人当下操作。这种人机交互模式不仅减少了智能机器人耗电量,还加强了人与机器人的协调联络能力。

2 路径规划系统的软件设计

为了更直观地观察基于机器视觉的智能机器人路径规划系统的工作流程,需要基于机器视觉对智能机器人路径规划系统的软件部分进行设计。

2.1 障碍物检测

系统硬件部分设计中,利用机器视觉模块的OV7735摄像头,对智能机器人行进过程中周边的环境信息图像进行采集。拍摄时,需要确认能使周围环境成像清晰的范围,即计算景深极限值,计算过程如式(1)所示:

$$\Delta = \frac{\omega F(1+\alpha)\cos\theta}{\alpha^2} \quad (1)$$

式中, ω 表示像元分辨率; F 表示光圈数; α 表示放大倍率; θ 为相机与所拍摄物体之间的夹角。

数字图像在数字化和图像传输过程中,会受到成像设备以及外部环境噪声干扰等方面的影响,导致采集到的图像信息存在一定噪声,若是不加以处理,则会影响到对图像数据进行分析的结果,因此,为了实现后续的路径规划过程,需要对采集到的图像进行去噪处理,以提高图像分析的精准度^[9-10]。

本文采用均值滤波法来消除图像中的噪声干扰。均

值滤波中的任意点,其像素值代表着周围各个点像素值的均值,而周围个点所构成的矩阵称为核,针对原始图像内的像素点,采用核进行处理,得到的结果图像即为经过去噪处理后的图像。利用 9×9 均值滤波法消除图像噪声的计算过程如式(2)所示:

$$g(x, y) = \frac{1}{9} \sum f(x, y) \quad (2)$$

式中, (x, y) 表示图像中的像素点; $g(x, y)$ 表示图像信号; $f(x, y)$ 表示待处理图像。

完成图像的去噪处理后,需要提取图像中障碍物的边缘特征,以便后续能够准确识别障碍物位置,并据此进行路径规划。本文利用Canny算子对图像的边缘特征进行提取,其实际为高斯函数的一阶导数,能够在对图像进行抗噪处理的同时,实现图像中障碍物的精准定位。假设障碍物中心边缘点的算子为 G_z ,则其二维高斯函数的表达式如式(3)所示:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3)$$

通过式(3)获得 x 和 y 方向的梯度,并与图像 $f(x, y)$ 进行卷积处理,得到图像中 (x, y) 像素点处的边缘强度 $S(x, y)$ 以及法向量 $\alpha(x, y)$,如式(4)所示:

$$S(x, y) = \sqrt{\left[\frac{\partial G}{\partial x} \times f(x, y)\right]^2 + \left[\frac{\partial G}{\partial y} \times f(x, y)\right]^2} \quad (4)$$

$$\alpha(x, y) = \arctan \left[\frac{\frac{\partial G}{\partial y} \times f(x, y)}{\frac{\partial G}{\partial x} \times f(x, y)} \right]$$

根据式(4)计算得到的结果,确定图像中障碍物的位置。

2.2 TLD实时目标跟踪

前文利用Canny算子确定了智能机器人所处环境中存在的静态障碍物,但是在智能机器人运行过程中,环境中往往还存在着随机游走的动态障碍物。为了辨别清楚动态障碍物的位置,并避免智能机器人在执行任务时与

动态障碍物发生碰撞,造成智能机器人的损伤以及任务效率的降低,需要对动态障碍物进行实时目标跟踪。

本文利用双摄像头追踪扫描机器人的所处环境,遵循半监督机器学习原理,在摄像头锁定周围环境的几分钟内,运用TLD实时目标跟踪算法^[11]逐帧扫描周围环境,并测量任务点与机器人所处位置的欧氏距离。TLD实时目标跟踪算法的表达式如式(5)所示:

$$B = \frac{r_{j-1} \times \alpha}{6\rho} \quad (5)$$

式(5)中, r_{j-1} 表示摄像头观察帧间的移动距离; α 表示摄像头跟踪成像的时间差; ρ 表示遮挡物或障碍物坐标。

2.3 智能机器人的路径规划

经过对周围环境图像的处理以及智能机器人运行过程中动静态障碍物的识别,接下来需要对机器人的运行路径进行规划^[12-13]。

设 S 为智能机器人运行起点, E 为智能机器人需要到达的终点,则智能机器人的运行路径规划过程,即为寻找路径点集合的过程,运行路径点的集合如式(6)所示:

$$P = \{S, p_1, p_2, \dots, p_n, E\} \quad (6)$$

式中, p_1, p_2, \dots, p_n 表示规划路径上的点,对于路径点的要求是非障碍物上的点,即路径点与障碍物坐标不重合。为了提高智能机器人的运行效率,需要判定起始位置与终点之间的最短路径,连接起始点与终点,并以此为横轴,以过起始点垂直于该条连线作纵轴,调整当前坐标系,相应坐标的变换过程如式(7)所示:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

式(7)中, (x, y) 表示原坐标系下路径点的坐标, (x', y') 表示转换坐标系后的路径点坐标, (x_0, y_0) 表示起始点的坐标, θ 表示现有横坐标轴与原横坐标轴之间的夹角。

本文运用粒子群优化算法(particle swarm optimization, PSO)规划智能机器人运行的最短路径,在现有平面坐标系内,构建适应度函数如式(8)所示:

$$fitness = \sum_{i=1}^N \left[\left(x_{p_{i+1}}' - x_{p_i}' \right)^2 + \left(y_{p_{i+1}}' - y_{p_i}' \right)^2 \right]^{1/2} \quad (8)$$

式(8)中, $fitness$ 表示路径规划过程中的适应度函数; (x_i, y_i) 表示规划路径中的任一点。对粒子的位置和速度进行初始化,如式(9)所示:

$$\begin{aligned} X &= rand() (X_{max} - X_{min}) + X_{min} \\ V &= rand() (V_{max} - V_{min}) + V_{min} \end{aligned} \quad (9)$$

式(9)中, X 表示对粒子位置的初始化结果; X_{max} 表示对粒子位置进行初始化的最大结果; X_{min} 表示对粒子位置进行初始化的最小结果; V 表示对粒子速度进行初始化的结果; V_{max} 表示对粒子速度进行初始化的最大结果; V_{min} 表示对粒子速度进行初始化的最小结果。

将得到的结果代入至式(8)中,得到机器人当下的最优位置和整个种群当下的最优位置,对两个结果进行比较判断,若得到的结果是智能机器人路径上不能到达的位置,则根据式(9)对粒子进行重新搜索。若两者相一致,则输出为最优结果,得到最优的规划路径。

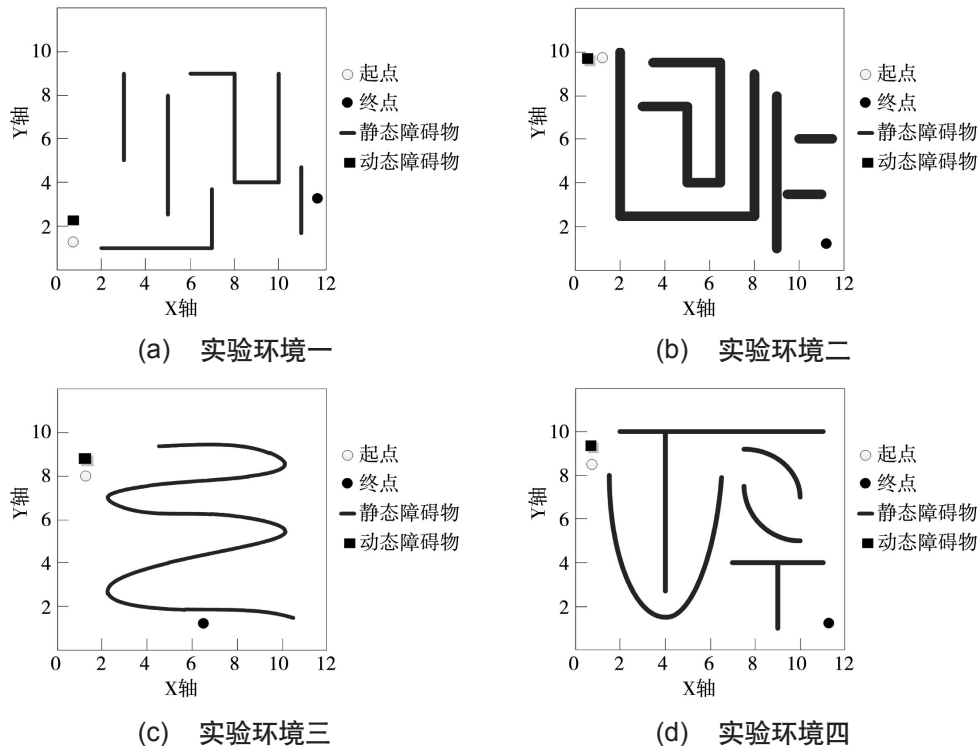


图4 实验环境二维图

至此,通过障碍物检测、TLD实时目标跟踪和智能机器人路径规划的协同作用,实现智能机器人路径规划系统软件部分的设计。

3 实验与结果

为了验证本文设计的基于机器视觉的智能机器人路径规划系统的整体有效性,分别采用文中方法、文献[2]、文献[3]中设计路径规划方法,进行对比实验。

现以文中智能机器人为实验对象,通过对比各方法在多种实验环境下完成任务所规划的路径情况,判断不同方法的实用性。首先应用文献[2]方法、文献[3]方法和文中系统的路径规划功能,判断三种方法下机器人的工

作效率。再应用三种方法的路径规划功能,进行机器人的避障能力测试。具体的实验过程及结果如下所示。

3.1 效率测试

利用计算机设定智能机器人的实验环境,生成4种不同实验环境,其中,动态障碍物初始位置在起点附近,在生成环境中随机游走,实验环境的二维示意图如图4所示。

如图4可见,四种实验环境各不相同,且难度依次递增。

将智能机器人置于实验环境的起点坐标,分别应用三种方法的路径规划功能对机器人的行动路径进行规划,记录智能机器人到达终点坐标的路径及所消耗的时间。不同方法和实验环境下,智能机器人从起点至终点的路径如图5所示。

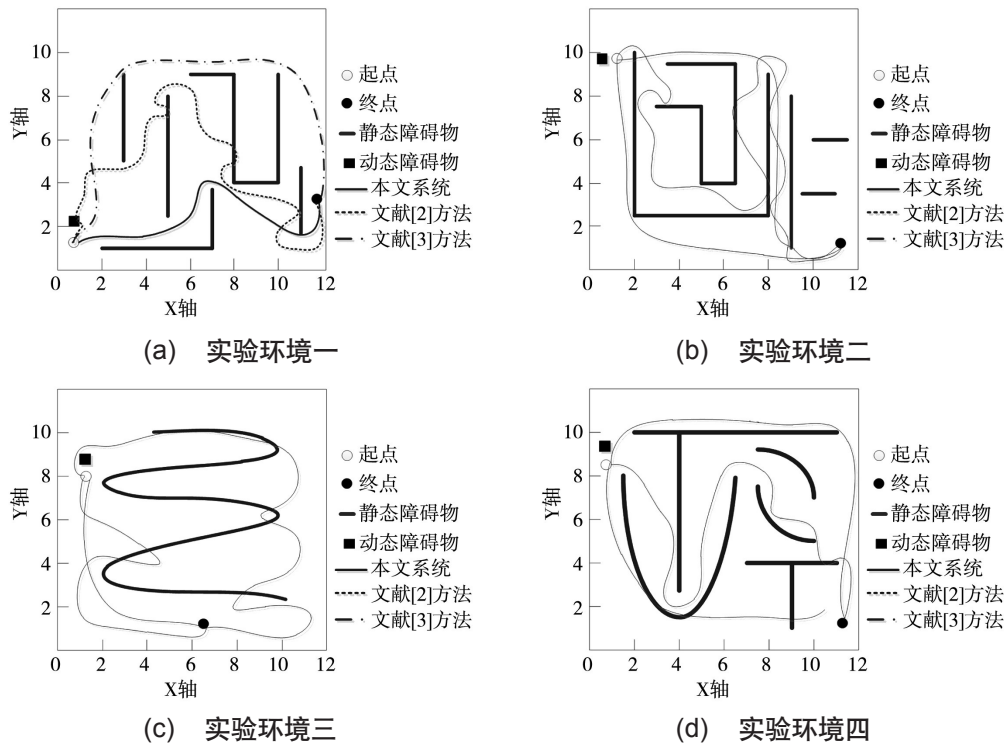


图5 不同实验环境和方法下的路径规划图

不同方法和实验环境下,智能机器人从起点至终点所消耗的时间如图6所示。

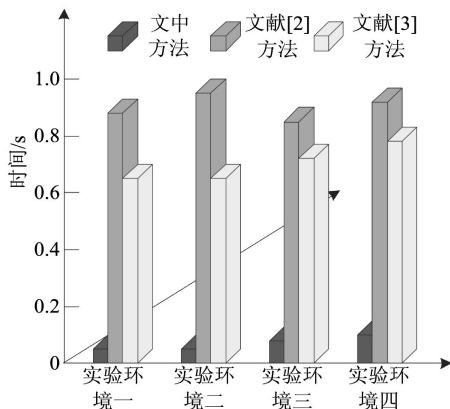


图6 不同方法设计的智能机器人从起点至终点所消耗的时间

如图6所示,采用文献[2]方法和文献[3]方法对智能机器人的行动路径进行规划,二者无论是在简单环境中,还是在复杂环境中,到达目标位置的时间均较长,说明在这两种方法的应用下,智能机器人的行动效率较低。而应用了文中方法的智能机器人,其无论是在简单环境中,还是在复杂环境中,均能快速达到目标位置,其工作效率较高。因为文中方法采用了机器视觉方法,提前扫描了机器人所处环境,并在此基础上构建了仿真地图,智能机器人能够根据仿真地图制定相应的任务执行线路,大幅降低了智能机器人的机械运动耗时。文中系统的应用能够使智能机器人效率明显提高。

(下转第42页)