

基于机器视觉的智能物料输送机器人系统研究

卢继恒

博联工业系统（深圳）有限公司 广东深圳 51800

摘要：本文对基于机器视觉智能物料输送机器人系统进行研究，目的在于促进物料运输过程的高效、自动化。通过采用高精度图像处理及目标识别技术使机器人对材料进行快速识别及定位，并对后续路径规划及运动控制提供数据支撑。本论文利用Gazebo仿真平台将YOLO目标检测算法，A*路径规划算法和PID控制策略相结合来完成系统设计和实验验证工作。实验数据显示，在一个无障碍的环境中，该系统能够实现高达98%的目标识别准确率，同时路径规划的时间也相对较短，使得运输任务能够高效完成。在有动态障碍及光照变化的环境中，该系统性能降低，表现出适应环境变化能力还有待提高。通过全面分析，对今后的研究方向进行了展望，主要从优化算法，硬件提升以及系统鲁棒性加强等方面进行了展望，以期进一步提高系统在复杂真实环境下的性能。

关键词：机器视觉；物料输送；路径规划

引言

随着自动化技术的发展，物料输送系统对工业生产越来越重要。传统人工物料输送方式存在效率低、易出错等问题，智能物料输送机器人已逐步成为现代生产线上不可缺少的一部分^[1]。机器视觉是智能机器人系统中的一项关键技术，它可以提供环境感知与目标识别等高精度功能，也是自主导航与避障等功能的实现基础。本课题的研究目的是基于机器视觉对智能物料输送机器人系统进行设计，并且对机器人系统在各种环境下的性能进行了试验验证，从而探讨该项技术在复杂生产环境下的潜在应用价值。

一、相关技术与理论基础

（一）机器视觉技术

机器视觉技术作为智能物料输送机器人系统中的一个核心构成，其主要工作就是模拟人眼的功能来实现物料自动识别和定位。系统由摄像头获取现场图像，采用图像处理算法实现边缘检测，目标提取和分类识别等。对于边缘检测、Canny算法由于具有精度高、误报率低等优点而得到了广泛应用，它能有效地提取出材料和背景的背景。在进行目标检测时YOLO（You Only Look Once）模型展现出了端到端的检测能力，它可以在维持高速检测的同时，确保较高的准确性。经过训练的YOLO模型对常见的物料类型进行辨识，该系统能够对复杂背景中目标的位置和类别进行快速的判断^[2]。

作者简介：卢继恒（1987.11-），男，山西人，研究方向：AI驱动下的精密物料输送。

（二）路径规划与运动控制

路径规划和运动控制一起决定着机器人完成物料输送任务时的高效和稳定。路径规划旨在已知目标物的位置及环境中障碍物的分布情况下为该机器人产生安全最优移动路径。A*算法因将代价函数和启发函数相结合而具有较好的搜索性能并在复杂环境下显示出超强的路径优化能力。针对静态场景，由于Dijkstra算法具有全局最短路径能力，因此同样有应用价值。运动控制的核心是将移动路径转换为机器人的实际行进路径，这要求我们精确地控制轮子或舵轮的速度和方向。通过结合PID控制器和模型预测控制（MPC）技术，能够有效地处理转弯、减速和避障等多种动态操作^[3]。

（三）智能算法与优化方法

为了进一步提高物料输送机器人的智能化水平与系统适应能力，近年来强化学习（Reinforcement Learning）与粒子群优化（Particle Swarm Optimization, PSO）等算法被逐渐引入到系统设计中。强化学习是在与周围环境互动中循序渐进地学习出最优动作策略的过程，尤其适用于应对路径动态调整和实时避障这些非结构化的问题。如利用Q-learning或者DQN算法，机器人可以依据历史经验并通过即时反馈对运动决策进行优化，以达到对复杂环境自主适应能力。粒子群优化主要应用于路径设计和参数调整，它的群体智能策略能够在广泛的解空间内迅速接近最佳解，特别适合于寻找路径最短和时间最短的目标函数^[4]。

二、基于机器视觉的物料输送机器人系统设计

（一）系统架构与组成

本系统的总体框架以“感知-决定-实施”作为核

心思路，整合了多个软硬件组件，成功实现了从一端到另一端的智能物料传输功能。在硬件上，机器人底盘上安装了激光雷达、深度摄像头和嵌入式计算单元进行环境感知和图像处理；软件上，主要有图像识别模块，路径规划模块，运动控制模块和中央决策系统等。机器视觉模块，用于图像获取和目标检测，完成物料识别；路径规划模块，用于根据所述环境地图及所述识别结果计算所述最优路线；运动控制模块负责将路径信息转换为具体的控制命令，从而驱使机器人执行其实际动作^[5]。

（二）机器视觉模块设计

机器视觉模块是整个系统的“眼睛”，它负责抓取环境图像，确定目标物料所处的方位和类别。模块主要包括图像采集单元与图像处理算法两部分，摄像头将实时获取的图像传送到嵌入式计算平台上，之后利用YOLOv5这样的深度学习模型对目标进行检测。检测结果由物体边界框，类别标签以及置信度组成，系统基于上述信息产生材料的空间位置信息。为了提高鲁棒性，在图像处理之前增加了图像增强，去噪及自适应直方图均衡等预处理步骤以提高不同光照及复杂背景条件下识别的准确率。

（三）路径规划与决策模块设计

路径规划及决策模块是整个系统的脑，负责基于物料位置及环境地图规划出最优运输路径及下达导航指令。该系统基于机器视觉给出的物体位置信息对局部地图进行更新，同时与SLAM相结合进行全局地图的建设或者维护。然后采用A*算法产生避障和最短路径。为了增强路径的动态调整功能，可以结合DWA（动态窗口法）来进行局部的规划设计，这样机器人在操作过程中可以根据新的环境条件迅速地调整其方向和速度。介绍了一种以强化学习为基础的策略网络可以实现多障碍物动态环境下路径质量和安全性优化。路径规划的结果会被传输到运动控制模块中，而系统具有路径重新规划和动态障碍规避策略等容错机制以保证机器人在多种场景中的安全性和连贯性。

（四）运动控制与执行模块设计

运动控制与执行模块是连接路径决策与实际物理动作的关键环节，其目标是使机器人按照规划路径精确、平稳地移动。模块主要由速度控制，转向控制及姿态调整子系统构成，由编码器，IMU及电机控制器硬件构成闭环反馈控制系统。控制算法上，使用PID或者MPC算法对速度和角度进行连续控制以保证机器人面对复杂路径及突发障碍仍有很高的稳定性及响应速度。执行时系统连续接收路径点序列并基于当前位姿与目标点解算出控制输出，而误差则由传感器反馈修正。

三、实验设计与仿真分析

（一）实验环境与仿真平台

为验证机器视觉物料输送机器人系统性能，选用Gazebo仿真平台对其环境建模和试验。Gazebo是一个开放源代码的机器人模拟工具，它配备了高度真实的物理引擎和出色的环境建模功能，特别适用于模拟复杂的物料传输场景。在仿真环境下，机器人利用虚拟摄像头获取周围环境图像，结合YOLO目标检测算法实时识别出图像中对象。目标位置由计算对象的边界框确定以保证准确的材料定位。路径规划算法采用A*来计算最优路径，以保证机器人能躲避障碍物并在预定的路径上安全运动。机器人运动控制模块采用PID控制算法对机器人运动轨迹进行调节，保证机器人按照规划路径顺利向前运动。A*算法的评估函：

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

其中 $f(n)$ 是当前节点的评估函数， $g(n)$ 是从起点到当前节点的实际成本， $h(n)$ 是当前节点到目标节点的估计成本。

PID控制器误差公式：

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

其中 $u(t)$ 是控制量， $e(t)$ 是误差， K_p 、 K_i 、 K_d 分别为比例、积分、微分系数。

目标识别精度计算公式：

$$Accuracy = \frac{True\ Positives}{True\ Positives + False\ Positives}$$

其中 $True\ Positives$ 是正确识别的物体数， $False\ Positives$ 是误识别的物体数。

路径长度计算公式：

$$L = \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}$$

其中 L 为路径总长度， (x_i, y_i) 和 (x_{i+1}, y_{i+1}) 为连续路径点的坐标。

（二）实验流程与步骤

实验的流程包括图像处理、目标检测、路径规划、运动控制和执行，以下是详细步骤：

①图像处理与目标检测：实验开始时，机器人通过安装的摄像头获取环境图像，利用图像处理算法（如Canny边缘检测）进行图像预处理，以增强目标物体的边界信息。使用YOLO算法进行目标检测，识别物料的位置和类型，并确定目标的坐标。

②路径规划与障碍物避让：一旦识别到物料目标，系统根据当前物料位置与机器人的起始位置，采用A*算

法进行路径规划。算法考虑了环境中的障碍物，计算出最优路径，并生成运动轨迹。为应对动态变化的环境，引入局部路径规划，实时更新路径。

③运动控制与执行：路径规划完成后，机器人开始沿规划路径移动。控制系统使用PID控制器调整机器人的速度和方向，确保机器人平稳地沿路径行驶。在运动过程中，系统持续检测周围障碍物，必要时进行实时避障调整，确保任务安全执行。

四、实验结果与性能评估

(一) 实验结果展示

从试验结果来看，本文所设计的基于机器视觉智能物料输送机器人系统，在各种测试环境中性能主要体现在以下几点。实验涉及的场景较多，主要有无障碍，静态障碍，动态障碍，光照变化以及混合等。目标识别的准确率，路径规划时间，运输时间以及实时性等各指标在上述不同的环境中呈现出显著的差异。实验结果表明：无障碍环境中机器人能快速执行任务，目标识别的准确率及路径规划效率均得到提高。

表1 各环境下的实验数据

环境类型	目标识别准确率 (%)	路径规划时间 (秒)	运输时间 (秒)	实时性 (毫秒)	系统鲁棒性
无障碍环境	98	1.2	10	50	高
静态障碍环境	95	1.8	12	55	中
动态障碍环境	90	2.2	15	70	中
光照变化环境	85	2.5	16	75	低
混合环境 (障碍+光照变化)	80	3	18	80	低

(二) 实验数据与对比分析

实验数据显示，各种环境对于机器人系统都有显著作用。无障碍环境下，该系统呈现出目标识别准确率最高，路径规划时间最短的特点，机器人可以快速高效的完成工作。随着环境复杂度不断提高，特别是动态障碍及光照变化的环境中系统目标识别准确率不断降低，路径规划时间及运输时间也相应延长。

表2 不同环境及算法配置下的实验结果

环境类型	算法类型	目标识别准确率 (%)	路径规划时间 (秒)	运输时间 (秒)
无障碍环境	A*	98	1.2	10
静态障碍环境	A*	95	1.8	12
动态障碍环境	强化学习	90	2.5	16
光照变化环境	强化学习	85	2.8	17
混合环境 (障碍+光照变化)	强化学习	80	3.2	18

(三) 结果讨论

从实验结果来看，机器人系统的性能在各种环境中有很大的差别。无障碍环境中，该系统性能最佳，能高效地辨识物料和迅速地完成任务。系统随环境复杂度增加，特别是受动态障碍物及光照变化影响时性能降低。这说明环境因素对于机器视觉及路径规划有很大影响，该系统还需进一步优化算法以增强其对于变化环境的适应能力。以动态障碍环境下的路径规划为例，通过引入强化学习算法可明显提高路径规划灵活性与鲁棒性。今后的研究可考虑综合更多的传感器数据，对目标识别算法进行改进，并增强系统实时计算能力来满足更为复杂的实际应用环境。

五、结论

(一) 研究结论

本研究对基于机器视觉智能物料输送机器人系统进行设计与试验验证，表明机器视觉技术对于物料输送具有重要意义。通过采用高精度图像处理与目标检测算法实现了机器人对材料的高效精确识别定位。视觉系统提供路径规划与运动控制等关键数据支撑，显著增强机器人复杂环境下自主导航能力。试验结果表明：机器视觉在无障碍环境中性能特别突出，但是在动态环境下，还需要进一步优化来增强系统鲁棒性。

(二) 系统性能总结

在系统性能评估中，机器视觉、路径规划和运动控制模块各自发挥了关键作用。视觉模块通过高效的目标识别和定位，为路径规划提供了精准数据，确保机器人能够在复杂环境中快速响应。路径规划模块在不同环境下展现了良好的性能，尤其是在无障碍环境中，规划效率极高。运动控制模块通过精确的反馈机制保证了机器人的平稳运动和实时调整。

参考文献

- [1] 朱奇奇, 李敬兆, 石晴, 等. 基于MADDPG的散装物料输送多智能体协同控制[J]. 自动化技术与应用, 2024, 43(03): 10-13+34.
- [2] 王珊珊. 电子元器件仓库的物料输送路径算法研究[D]. 哈尔滨理工大学, 2021.
- [3] 赖刘生. 基于PLC和工业机器人的物料输送智能系统设计[J]. 机械工程与自动化, 2021, (01): 161-162+168.
- [4] 王东明. 基于三维物料输送机器人的柔性多工位智能金属板材剪切自动生产线. 甘肃省, 天水锻压机床, 2019-01-17.
- [5] 王东明. 基于CC-Link、SSCNET总线的三维物料输送机器人[J]. 制造技术与机床, 2011, (11): 90-94.