

# System Development and Structure Analysis of Intelligent Material Handling Robot

Yi-Qiang Li<sup>1</sup>, Rui Zheng<sup>1</sup>, Wei-Zi Lu<sup>1</sup>, Shi-Xin Wang<sup>1</sup>, Hui-Hui Wang<sup>1</sup>, Xin-Ying Geng<sup>2</sup>, Yi-Ran Feng<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dalian Polytechnic University School of Mechanical Engineering and Automation, Dalian Liaoning

<sup>2</sup>Dalian Polytechnic University Educational and Teaching Evaluation Center, Dalian Liaoning

Email: \*345509139@qq.com

Received: Sep. 18<sup>th</sup>, 2019; accepted: Oct. 4<sup>th</sup>, 2019; published: Oct. 11<sup>th</sup>, 2019

## Abstract

This paper analyzes the currently popular machine vision module and various types of manipulator in the market, and realizes the independent reading of two-dimensional code information, the recognition of material color and shape, and the intelligent grabbing system of grabbing by screening and composing. Secondly, this paper realizes the positioning and moving system that can plan the path autonomously by screening the existing motors in the market and the full-court positioning system composed of orthogonal encoder and omnidirectional wheel. Then, through the combination of the above systems, this paper realizes self-reading information, identifying, grabbing, and stacking materials. It uses MATLAB software to calculate and adjust the positioning speed, position, etc, performs the overall design and 3D modeling of the robot for the above modules, completes the static load analysis of the main components of the robot through the Solidworks Simulation module, and performs simulation experiments. Finally, after summarizing the functional integration of the robot, the author proposes the application scenario hypothesis, carries out the application promotion scope for this scenario hypothesis, and conducts the simulation experiment. The results show that the robot is simple in design, easy to implement with mass production, practical and reliable, and has good positioning, grabbing and recognition effects, and can be widely promoted in the field of automation.

## Keywords

Intelligent Robot, Structural Modeling, Machine Vision, Autonomous Planning, Finite Element Analysis

# 智能化物料搬运机器人的系统开发与结构分析

李义强<sup>1</sup>, 郑睿<sup>1</sup>, 卢卫子<sup>1</sup>, 王世新<sup>1</sup>, 王慧慧<sup>1</sup>, 耿新英<sup>2</sup>, 冯怡然<sup>1\*</sup>

\*通讯作者。

文章引用: 李义强, 郑睿, 卢卫子, 王世新, 王慧慧, 耿新英, 冯怡然. 智能化物料搬运机器人的系统开发与结构分析[J]. 机械工程与技术, 2019, 8(5): 337-353. DOI: 10.12677/met.2019.85040

<sup>1</sup>大连工业大学机械工程与自动化学院, 辽宁 大连

<sup>2</sup>大连工业大学教育教学评价中心, 辽宁 大连

Email: 345509139@qq.com

收稿日期: 2019年9月18日; 录用日期: 2019年10月4日; 发布日期: 2019年10月11日

## 摘要

本文对当前市面热门的机器视觉模块以及各类机械手进行分析, 通过筛选组成实现对二维码信息的自主读取, 对物料颜色、形状的识别以及抓取的智能抓取系统。通过对现有市面电机进行筛选以及由正交编码器和全向轮组成的全场定位系统实现可自主对路径的规划的定位移动系统; 通过以上系统的组合从而实现自主读取信息, 识别、抓取、堆放物料。并使用MATLAB软件对定位速度、位置等进行计算与调节, 并针对以上模块进行机器人的整体设计与三维建模, 并且通过Solidworks Simulation模块完成对机器人主要零部件的静态载荷分析, 并进行模拟实验。对机器人的功能集成总结后, 笔者提出应用场景假设, 针对此场景假设提出应用推广范围, 并进行模拟实验。结果表明: 机器人设计简单, 易于实现与批量生产, 实用可靠, 定位、抓取、识别效果良好, 可在自动化领域广泛推广。

## 关键词

智能机器人, 结构建模, 机器视觉, 自主规划, 有限元分析

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 绪论

### 1.1. 引言

机器人问世之后, 工业的发展得到了新鲜血液的注入。近年来, 无论是“中国制造 2025”的提出, 还是“5G 时代”的到来, 都与智能机器人的发展有着密切相关。高端科学技术, 于机器人行业的运用越来越被人们所重视, 在当前国家的“科教兴国”的背景下, 高端的智能机器人的发展是大势所趋。

经过多年的发展, 传统制造业逐渐为人们所摒弃, 智能化、系统化的生产模式逐渐映入人们的眼帘, 世界的经济发展这些年不断地进步, 各国也逐渐从武器的数量种类攀比走向了尖端技术的较量[1]。各个国家对智能机器人的运用已然成为一个国家的科创能力于制造水平的标志。在此背景下, 机器人的智能制造被许多人称为“第三次工业革命”。

如图 1 所示, 随着各个国家对机器人智能化的投入越来越大, 智能机器人的曝光度越来越高, 无论是 GOOGLE 所展示的人工智能机器人, 还是京东迎战“双 11”使用的快递分拣机器人, 都代表着智能机器人的发展逐渐走向顶峰[2]。

### 1.2. 本文主要研究的内容

本文主要研究一种智能搬运机器人的设计与实现, 对于搬运机器人, 我国已有了多年的技术发展, 但以下几个方面仍有不足: 首先, 目前市面大部分工厂的搬运机器人的定位性价比普遍较低, 大部分普

遍采用传感器对参考位置进行对比定位，其次对于物料的识别范围较小，速度参差不齐。并且机器人的自主规划路径的能力较弱，大部分只会沿预设的路径行走，甚至于路径上需要覆盖黑线或者磁条，这使得工厂环境的更改以及人员的进出会对机器人造成巨大的影响。

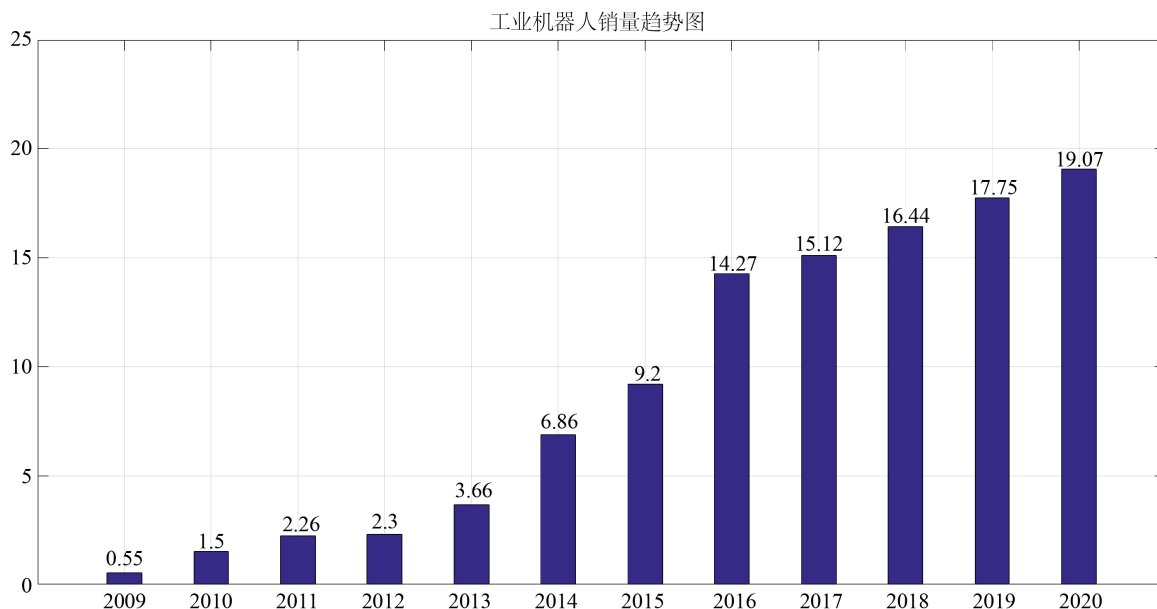


Figure 1. Sales trend chart of industrial robots

图 1. 工业机器人销量趋势图

所以本文通过对 OPENMV 机器视觉以及舵机齿轮型机械手、正交编码器，以及可调速直流电机等系统的组合运用，同时对机器人的结构外形进行合理的建模与分析，设计并实现一款可自主识别、规划路径、夹取的智能机器人[3]。

本文主要研究内容以下几点：

- (1) 对于机器人各个模块的选取与分析，简单介绍各个模块的原理以及优缺点。
- (2) 实现各个模块的组合，将机器人的系统模块化，便于与实际使用时模块的选取，并对定位系统的路径以及速度进行分析与计算[4][5]。
- (3) 对机器人的整体结构进行三维建模与有限元分析，得出合理的结构与尺寸。
- (4) 对应用场景进行假设，设计实验步骤，并根据实验得出推广范围以及性能指标。

## 2. 模块的选取与分析

### 2.1. 中央处理单元的选择

智能搬运机器人具有丰富的模块，对实时计算能力也有很高的要求[6]，这使得我们所使用的主控芯片需要具有较多的引脚接口以及性能较高的 CPU。

目前市面上具有许多的主控芯片，例如 ARM、FPGA 等等，其中，我们需要一款开发周期短、编写语言简易、程序开源的芯片，据此我们在芯片中对比选择了一款实时性好，频率高，价格适中的核心处理器：ARM。

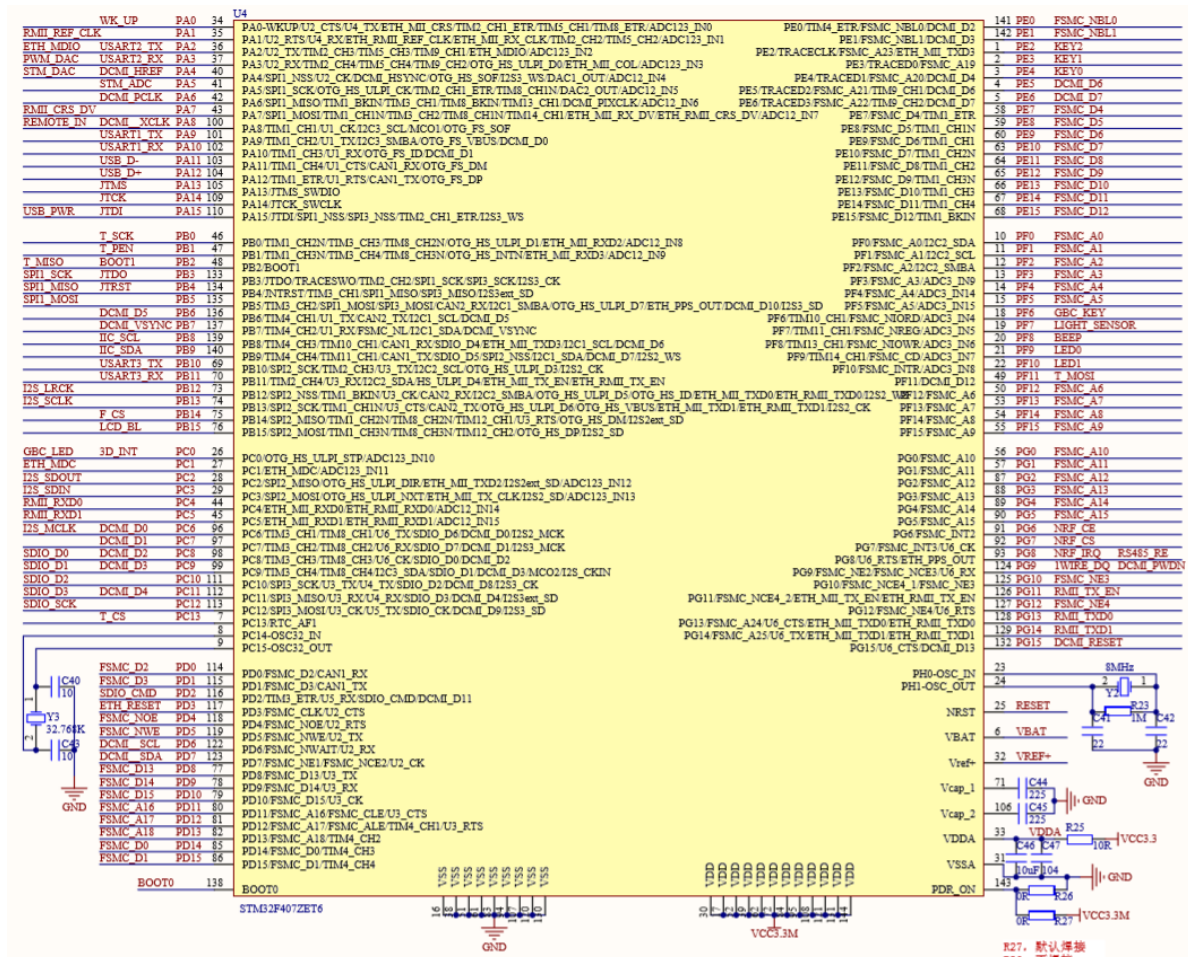
据此芯片，我们对 CPU 进行了选择，如图 2 所示，因为我们对数据处理的要求，Cortex-m4 更满足我们的需求。

参数	型号		
	Cortex-m0	Cortex-m3	Cortex-m4
架构版本	Thumb, Thumb-2	Thumb, Thumb-2	Thumb, Thumb-2
中断数	2-32+NMI	2-240NMI	2-240NMI
总线接口	1	3	3
DMISP/MHz	0.9	1.25	1.25
中断优先级	4	8-256	8-256
集成NVTC	是	是	是
硬件浮点	否	否	是
存储器保护单元	否	是	是
单周期DSP/SIMD	否	否	是

Figure 2. Performance comparison of various models of CPU

图 2. 各型号 CPU 性能对比

在对 CPU 选择完成后，我们使用了市场占有率高达 90% 的 ST 公司旗下的一款处理器：STM32。而其满足我们要求，且具有 AD/DA 模块接口，编码器接口，RS232 等通讯接口的 CPU 核心芯片为 STM32F407ZGT6 芯片，其原理图如图 3 所示，其具有以下优点：



传输速度快：其采用多个 AHB 总线以及多通道控制其，数据的收集与发送可并行，速率很大。

运算功能强：集成了高精度的浮点运算器，高达 1M 的储存器使得该芯片的处理性能极佳，运算功能强。

外部接口多：因为我们的机器人需要使用多种通道进行数据传输，例如：USB、CAN、I2C、USART 等等，而该芯片全部具有我们所需要的接口以及外设。

## 2.2. 机器人视觉模块的选择

随着前段时间 AlphaGo 与柯洁的围棋大战，人工智能逐渐进入了大众的视野，计算机视觉作为人工智能最为成熟的技术，同样适用于我们所设计的智能搬运机器人，在机器人的视觉系统中，一款简单、开源、低成本、高性能的机器视觉模块是至关重要的。

笔者在流程设计中需要视觉模块在短时间内完成二维码、颜色等识别，这对视觉模块的处理芯片要求很高，同时对于体积的要求也很苛刻，针对以上要求，我们选择了 OPENMV 这款机器视觉模块作为我们视觉系统的核心。

OPENMV 以 STM32F427CPU 为核心，集成了 OV7725 摄像头芯片，其主频 400 MHz，其性能接近 600 MHz 主频的恩智浦 RT1052，经过测试，STM32H7 在做多点颜色追踪算法时，如果以 VGA 分辨率，即  $640 \times 480$ ，其速率可达到 80 帧每秒；如果使用 QQVGA，即  $120 \times 160$ ，就可达到 200 帧每秒；如果使用 QQQVGA，即  $60 \times 80$ ，更可以达到 400 帧每秒。

同时 OPENMV 使用 Python 作为其编写语言，其开发周期短，性价比高的特点十分符合我们对于视觉模块的要求。其丰富的硬件资源，例如 UART、I2C 等等更适合我们对于各个模块的整合。

综上所述，我们采用 OPENMV 作为我们机器视觉系统的核心，借此可以完高效地完成如图 4 的颜色识别，以及二维码识别等等。

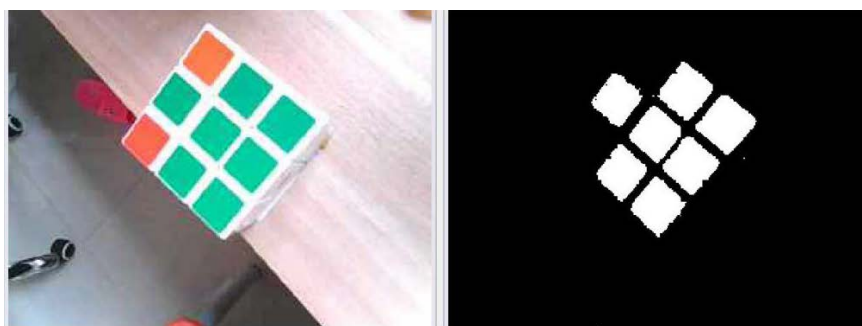


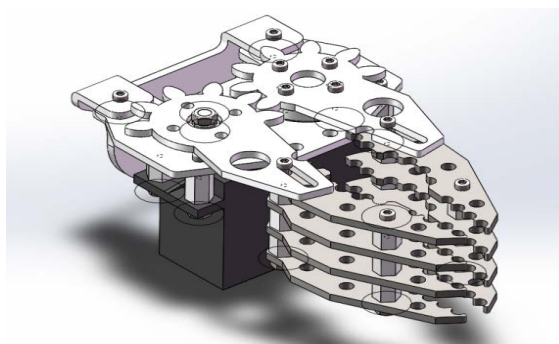
Figure 4. OPENMV color recognition example  
图 4. OPENMV 颜色识别示例

## 2.3. 抓取模块的选择

作为一款搬运机器人，其抓取模块应具有较大扭矩、控制方便、价格便宜等特点，通过市场同类产品对比分析，我们选择了由舵机控制的齿轮型机械手。

这款机械手采用国产“驯龙者”舵机，该舵机程序控制简单，对于引脚占用较少，同时在 7.4 V 的供电下，其堵转力矩达到了 34.6 KG/CM，完全满足常规搬运机器人对货物的要求，同时，其搭配的铝合金机械爪使得抓取范围达到了 140 mm，同时该机械爪可以更换，针对不同的使用场景可进行修改。

综上所述我们采用了如图 5 的这款机械手，其搭配上文所述的 OPENMV 使得机器人的识别、抓取时间极大的缩短，更多的提升了工业生产搬运的效率。



**Figure 5.** Steering machine controlled gear type manipulator  
**图 5.** 舵机控制的齿轮型机械手

## 2.4. 移动模块的选择

机器人的移动模块一共包括两个部分：电机与车轮[7]。其中对于电机的选择，笔者考虑到两点：

### (1) 可控速

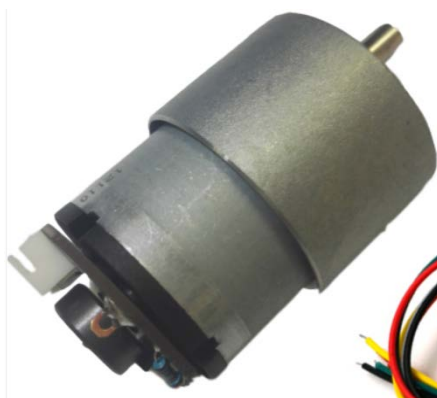
搬运机器人的移动需要完成由低速-高速-低速的过程，这样才能保证物料在移动过程中不会受到较大惯性的影响，同时减轻对机械手的损耗。并且于笔者设计的环境中，物料搬运机器人需要达到 1 M/S 以上的运行速度，这对于电机的转速以及转速比有较高的要求。

### (2) 性价比高

搬运机器人的整体造价由各个模块决定，各个模块的成本应在完成相应性能的情况下尽可能地降低，对于市面上常见的可控速的电机中，光电编码器的直流减速电机随检测精准，但其价格过高，不宜选用，而对于霍尔传感器的直流减速电机，于工厂中的应用，其使用寿命经测试可达到 1 万小时，满足实际需求。

综上所述，我们采用如图 6 ZGB37-520B 这款带有霍尔编码器的直流减速电机，其空转转速可达到 531 rpm，其扭矩也能达到 2.5 kg·cm，满足智能搬运机器人的使用要求。

而对于车轮，则需结合机器人整体进行考虑：笔者所研究的智能搬运机器人为基于工厂内二维空间移动的机器人，所以笔者采用快速、平稳、控制方便轮式移动而非履带和腿式等其他移动方式，为了更加高速快捷、智能的移动，笔者采用全方位型移动车轮。同时处于对机器人精准移动的控制，我们采用了如图 7 的麦克纳姆轮作为我们的移动轮，其多方向自由移动的特点可以使得机器人的效率得到极大的提升。



**Figure 6.** DC Geared Motor with Hall Encoder  
**图 6.** 带霍尔编码器的直流减速电机

## 2.5. 全场定位系统

对于搬运机器人来讲，定位是其搬运精度的核心，也是其开发应用的重中之重。现在的市面经过发展已经形成了许许多多的定位系统，例如：激光传感器，循迹传感器，陀螺仪等等，笔者所研究的机器人适用于各个工厂，所以对于路径的规划需要避免参照物的干扰，即使用相对定位[8]。



Figure 7. Mecanum Wheel  
图 7. 麦克纳姆轮

由于受工厂环境的影响，市面上常见的信号引导定位、磁罗盘的定位可能并不精准，所以笔者采用里程法的定位模块[9]。

针对以上特点，笔者最终采用了如图 8 所示 OPS-9 全方位平面定位系统作为我们的定位模块，该定位模块采用 MEMS 惯导技术与磁阻位移测量技术，通过扩展卡尔曼滤波算法等进行精准定位，同时由于其模块化的封装，使得更换和改进更为方便。其实时反馈速度可达 200 HZ，满足机器人识别时间要求。其坐标误差为 30 mm/5 m，可连续工作 12 h 以上，并且其轮径磨损每百公里仅为 0.1%

如图 9 该定位模块通过正交编码器与陀螺仪的结合可实现对坐标的精准计算[10]，对于智能搬运机器人来说，其移动的自由空间得到放大，从而不用线条或者磁条的引导便可实现自主运动。其闭环系统的设计使得机器人具有较高的容错性，对于搬运以及移动来说，其正确率得到大范围提升。



Figure 8. Whole field positioning module  
图 8. 全场定位模块

## 3. 模块的组合设计

模块的组合使用是智能搬运机器人实现最重要的一环，笔者通过将 OPENMV 机器视觉模块与机械

手结合形成识别抓取系统，通过麦克纳姆轮与带霍尔编码器的直流减速电机相结合形成移动系统，以上两个系统与全场定位模块的组合形成了整个机器人的组合系统，其模块化的设计使得各个模块可以根据实际使用场景进行更换或者增添而不影响机器人的整体设计。

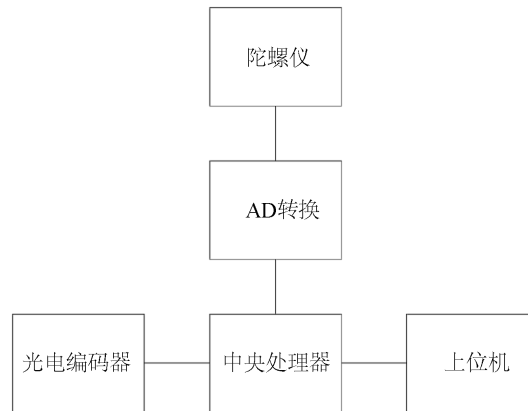


Figure 9. Whole field positioning system workflow  
图9. 全场定位系统工作流程

### 3.1. 识别抓取系统

将机械手与 OPENMV 相组合所形成抓取系统，其总控制为 OPENMV 内置的 STM32F427 芯片，将两者结合与一起使用更使得程序的运行更加快捷高效。

根据使用情况将 OPENMV 初始化：

```

import sensor, image, time, pyb    #调用底层封装库
from pyb import UART
from pyb import LED
BLUE = LED(3)                      #设置提示灯
RED = LED(1)
GREEN = LED(2)
sensor.reset()                     #镜头初始化设置
sensor.set_pixformat(sensor.RGB565)
sensor.set_framesize(sensor.QQVGA)
sensor.skip_frames(time = 2000)
sensor.set_auto_gain(False)
sensor.set_auto_whitebal(False)
clock = time.clock()
threshold_index = 3                #阈值初始化设置
thresholds = [(30, 100, 15, 127, 15, 127),
              (30, 100, -64, -8, -32, 32),
              (0, 30, 0, 64, -128, 0),
              ()]
uart = UART(3, 19200)              #串口初始化设置
  
```



### 3.2. 移动系统的设计

对于机器人的移动系统,笔者通过麦克纳姆轮与带霍尔编码器的直流减速电机相结合,笔者通过一系列程序控制,从而实现一个渐变速的移动过程,从而保证物料的平稳移动。

```

if((TIM5CH1_CAPTURE_STA&0X80)==0)//还未成功捕获
{
    if(TIM_GetITStatus(TIM5, TIM_IT_Update) != RESET)//溢出
    {
        if(TIM5CH1_CAPTURE_STA&0X40)//捕获高电平
        {
            if((TIM5CH1_CAPTURE_STA&0X3F)==0X3F)//高电平溢出
            {
                TIM5CH1_CAPTURE_STA|=0X80;          //成功捕获
                TIM5CH1_CAPTURE_VAL=0XFFFFFFF;
            }else TIM5CH1_CAPTURE_STA++;
        }
    }
    if(TIM_GetITStatus(TIM5, TIM_IT_CC1) != RESET)//捕获 1 发生捕获
    {
        if(TIM5CH1_CAPTURE_STA&0X40)          //捕获下降沿
        {
            TIM5CH1_CAPTURE_STA|=0X80; //标记
            TIM5CH1_CAPTURE_VAL=TIM_GetCapture1(TIM5);//获取捕获值
            TIM_OC1PolarityConfig(TIM5,TIM_ICPolarity_Rising);
        }else
        {
            TIM5CH1_CAPTURE_STA=0;          //清空
            TIM5CH1_CAPTURE_VAL=0;
            TIM5CH1_CAPTURE_STA|=0X40;      //标记
            TIM_Cmd(TIM5,DISABLE );        //关闭定时器
            TIM_SetCounter(TIM5,0);
            TIM_OC1PolarityConfig(TIM5,TIM_ICPolarity_Falling);
            TIM_Cmd(TIM5,ENABLE);
        }
    }
}
}

```

针对上面的程序,如图 10,笔者通过 MATLAB 对增量式 PID 曲线进行仿真分析,通过对机器人速度的调节使得机器人的加速过程更加平滑。

如图 11 其输入  $e(t)$  与输出  $u(t)$  关系为:

$$u(t) = k_p(e(t) + 1/TI \int e(t) dt + TD * de(t)/dt)$$

其传递函数为： $G(s) = U(s)/E(s) = k_p(1 + 1/(T_I * s) + T_D * s)$  其中  $k_p$  为比例系数； $T_I$  为积分时间常数； $T_D$  为微分时间常数。

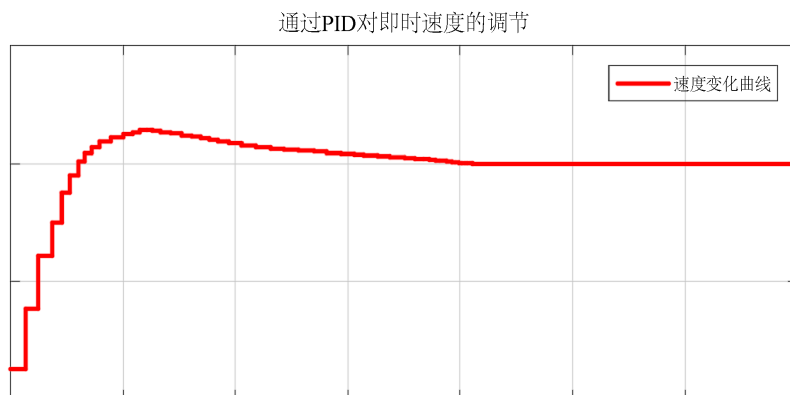


Figure 10. PID optimization curve  
图 10. PID 优化曲线

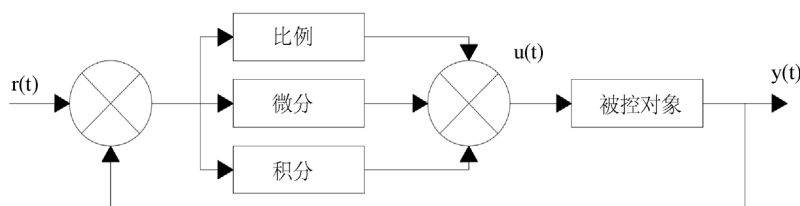


Figure 11. PID calculation flow chart  
图 11. PID 计算流程图

### 3.3. 总系统的设计

如图 12、图 13，笔者针对实际所需模块以及驱动板，集成制作了本机器人使用的 PCB 板，其搭配了 L6470 等驱动板以及 STM32F407 芯片，使得机器人的接线以及整理变得更加简单。同时笔者将通信功能集成于主芯片的使用，使得程序的编写周期缩短。

```

u8 len;
u16 times=0;
NVIC_PriorityGroupConfig(NVIC_PriorityGroup_2);//中断分组设置
LED_Init(); //初始化设置
delay_init(168);
uart2_init(19200);
TIM1_PWM_Init(10000,0);
Encoder_Init();
A_pwmInit();
B_pwmInit();
AD4988_GPIO_Init();
TIM_SetCompare1(TIM1,0);//定时器设置
close_loop_controll(600);
    
```



Figure 12. Front view of the PCB  
图 12. PCB 板正面图



Figure 13. Rear view of the PCB  
图 13. PCB 板背面图

## 4. 智能搬运机器人结构组成及有限元分析

### 4.1. 智能搬运机器人的结构组成

如图 14, 图 15, 所示一种智能搬运机器人包括视觉系统(6)、抓取系统(5)、驱动系统(9)和由步进电机(19)、丝杠(20)、滑轨(4)、滑块(3)组成的上升系统。其特征在于: 所述视觉系统(6)与抓取系统(5)通过折弯件(13)连接, 同时通过法兰联轴器(16), 固定于所述上升系统上。所述电池(1)、步进电机(19)、直流电机(9)与全场定位系统(7)共同直接固定于机器人底盘(21)上。所述直流电机(9)外侧连接麦克纳姆轮(10), 所述滑轨(4)由滑轨折弯固定件(8)固定于底盘(21)上, 所述滑轨(4)上附有滑块(3)。两个所述滑轨(4)与丝杠(20)共同作为上升系统的支撑。所述步进电机(15)、PCB 板(2)与副摄像头(18)共同固定于上升系统的承载平台(17)上。同时所述滑块(3)通过折弯件(14)固定于承载平台(17)上。

如图 16 所示所述两个滑轨(4)以及一个丝杠(20), 通过折弯件(8)、法兰联轴器(16)等等共同支撑上升系统的承载平台。所述抓取系统(5)与视觉系统(6)由折弯件(13)通过直径为 4 的螺丝分别连接至两者预先设置好的螺纹孔中。所述带有霍尔传感器的直流减速电机(9)与麦克纳姆轮(10)和全场定位系统(7)搭配使用, 其具体使用方式为: 由直流减速电机(9)驱动麦克纳姆轮实现全方向移动, 通过 PID 算法实现控制直流减速电机(9)的加速度以及速度, 通过全场定位系统(7)提供的坐标搭配 PID 算法的直流减速电机(9)从而实现精准停放。所述主摄像头(6)配合机械手实现机器人前方的物料、二维码、路线的检测与纠正, 其副摄像头(16)可在机器人前进时防止后半范围的碰撞, 同时, 在机器人夹取物料后, 该摄像头和识别路径和

目标靶纸，同时配合权利要求 4 中的直流减速电机(9)与麦克纳姆轮(10)和全场定位系统(7)共同实现精准停车、堆放物料。

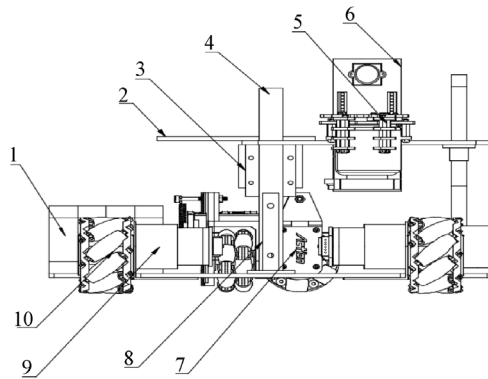


Figure 14. Front view of the intelligent handling robot  
图 14. 智能搬运机器人正视图

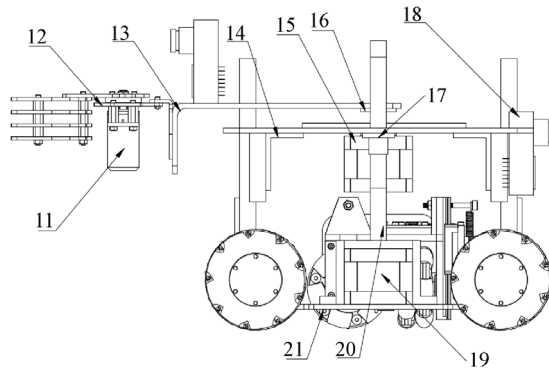


Figure 15. Intelligent handling robot side view  
图 15. 智能搬运机器人侧视图

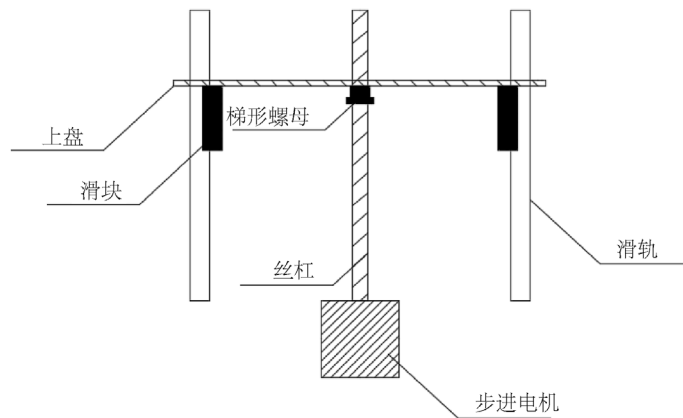


Figure 16. Intelligent handling robot upward system  
图 16. 智能搬运机器人上升系统

#### 4.2. 智能搬运机器人有限元分析

机器人的受力零件有很多，对主要起承受作用的折弯件和滑轨进行静态载荷分析，折弯件和滑轨为

机器人的主要支撑零部件，关系到机器人的精准度与使用寿命，笔者对其应力以及位移通过 Solidworks Simulation 进行了分析，定义了滑轨和折弯件的材料属性(见表 1)。

在 Solidworks Simulation 中，软件本身进行了网格划分，并进行算例分析，得出算例结果，如图 8、图 9。与结果我们可知，滑轨分析结果为(见表 2)：最大应变 0.00162173 mm，最大应力 546760 pa，满足实际应用许用强度；折弯件分析结果为(见表 3)：最大应变 0.0152395 mm，最大应力 17672 pa，满足实际应用许用强度。如图 17~20，因此，在实际生产环境中，折弯件及滑轨的可靠性得到保证。

**Table 1.** Material properties of slide and bending parts

**表 1.** 滑轨和折弯件材料属性

属性	数值
弹性模量/N/m <sup>2</sup>	$1.9299 \times 10^{11}$
泊松比	0.27
密度/kg/m <sup>3</sup>	8000
张力强度/N/m <sup>2</sup>	619,999,997.3
屈服力/N/m <sup>2</sup>	234,421,748
热扩张系数/K	$1.7 \times 10^{-5}$
导热率/W/(m·K)	16.1
比热容/J/(kg·K)	500

**Table 2.** Static load analysis of slide track

**表 2.** 滑轨静态载荷分析结果

模型	最大应力/pa	最大应变/mm
滑轨	546760	0.00162173

**Table 3.** Static load analysis of bending parts

**表 3.** 折弯件静态载荷分析结果

模型	最大应力/pa	最大应变/mm
折弯件	17672	0.0152395

## 5. 应用场景假设

### 5.1. 模拟测试样例

在具体使用时，机器人的工作步骤分为以下几个步骤(见图 21)：

第一步：智能搬运机器人执行复位命令，机械手呈关闭状态，同时记录即时位置坐标为(0, 0)。

第二步：智能搬运机器人收到出发命令，经过中央处理器规划后获得前进轨迹[8]，机器人通过全场定位系统前往目标区域 1，同时正副 OPENMV 开启避障功能。

第三步：智能搬运机器人进行姿态矫正，移动至二维码信息前方，调整上升系统并且旋转折弯件使得机械手上端的 OPENMV 读取信息。

第四步：智能搬运机器人中央处理器根据所得信息进行规划路径[9]，机器人前往目标区域 2。

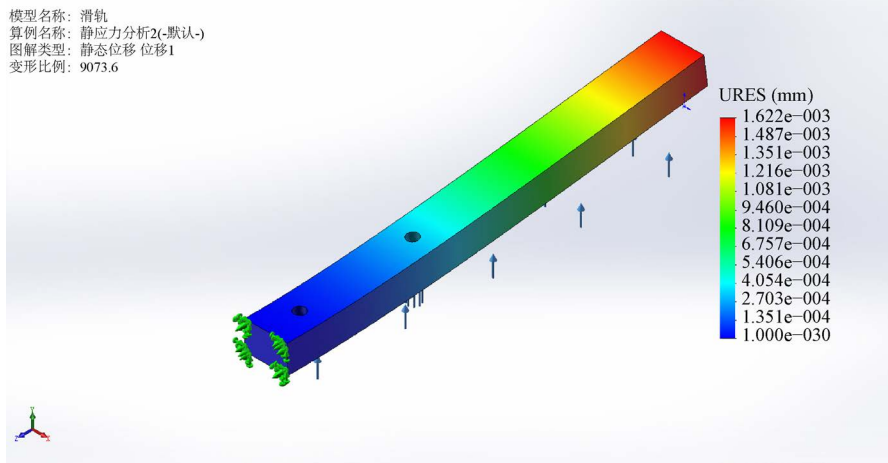


Figure 17. Sliding rail displacement diagram

图 17. 滑轨位移图

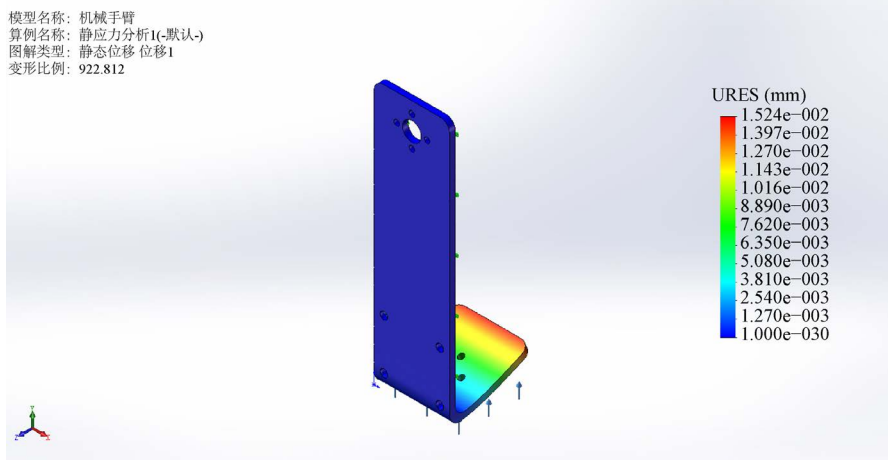


Figure 18. Bending pieces displacement diagram

图 18. 折弯件位移图

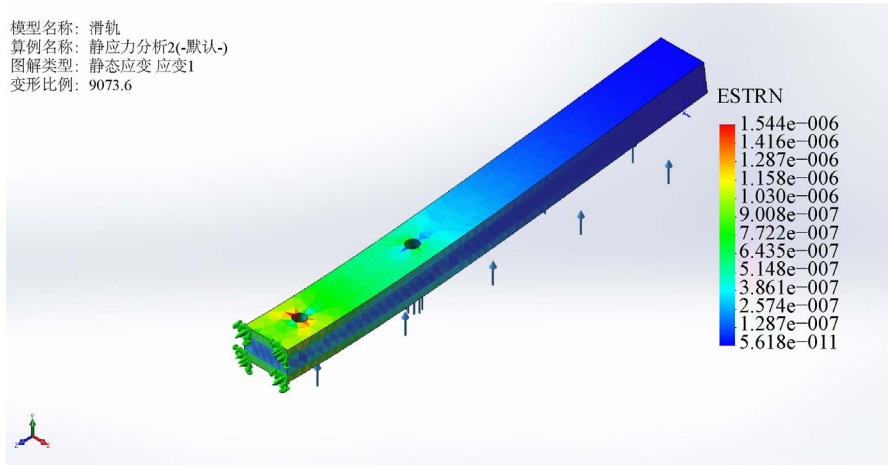


Figure 19. Sliding rail stress map

图 19. 滑轨应力图

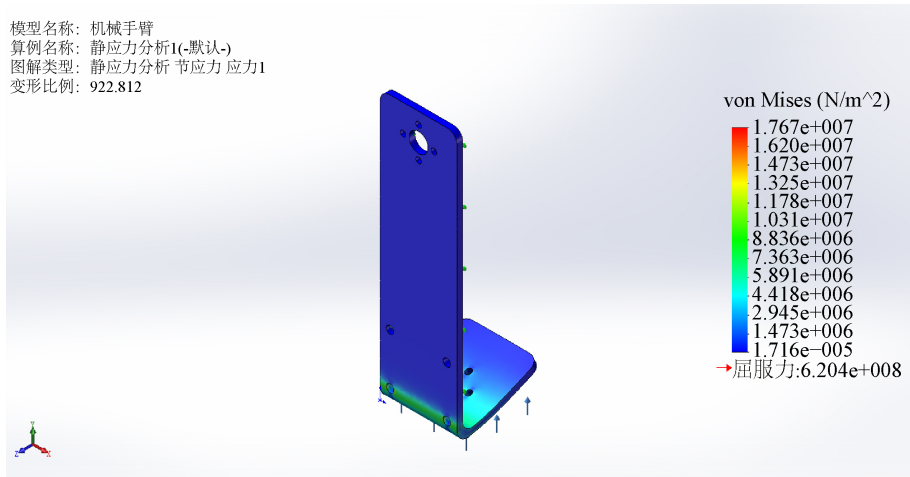


Figure 20. Bending pieces stress diagram  
 图 20. 折弯件应力图

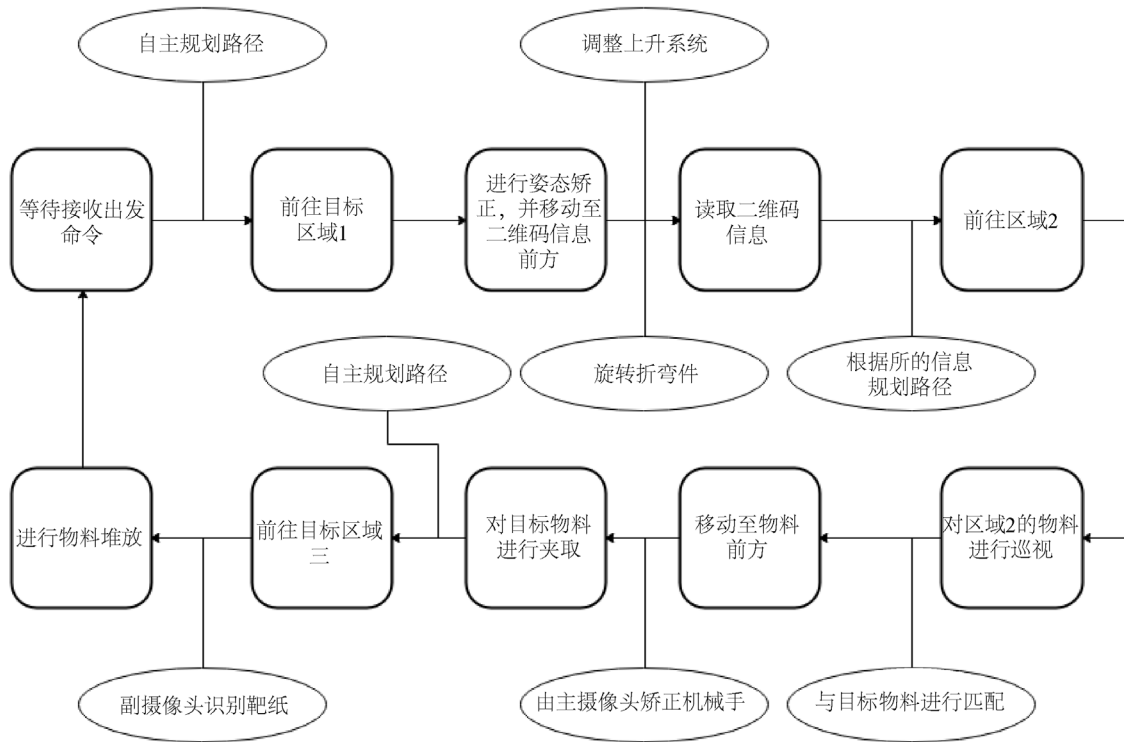


Figure 21. Robot work flow chart  
 图 21. 机器人工作流程图

第五步: 智能搬运机器人矫正姿态对目标区域 2 的物料进行巡视, 通过主 OPENMV 所得图像与目标物料进行匹配, 识别成功后移动至物料前方, 调整上升系统并旋转机械手, 通过主 OPENMV 进行矫正方向, 并进行夹取。

第六步: 智能搬运机器人成功夹取后, 前往目标区域 3 进行物料堆放, 此时坐标位置由中央处理器结合全场定位系统进行调整, 精确堆放由副 OPENMV 对靶纸进行颜色识别, 机器人结合上升系统, 旋转机械手进行三维空间物料位置调整, 达到目标位置后机械手松开。

第七步：智能搬运机器人返回初始坐标，执行复位命令直至接收到下一出发命令。

## 5.2. 机器人实物图

如图 22、图 23，笔者根据如上设计完成了物料搬运机器人，经反复实验，并整理计算可得，实际机器人运行误差为 0~18 mm，满足市面上常见的机器人精度要求，同时，机器人的以上流程平均完成时间为 4 分 32 秒，亦满足机器人工作速度。同时机器人空间体积小于 210 mm × 297 mm × 297 mm，满足工厂的要求。

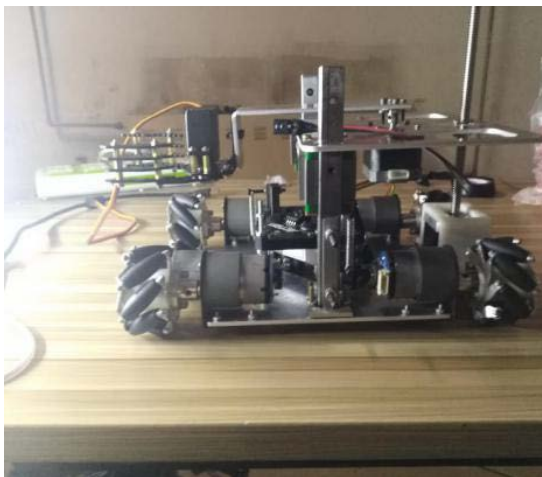


Figure 22. Robot picture of real products

图 22. 机器人实物图(1)

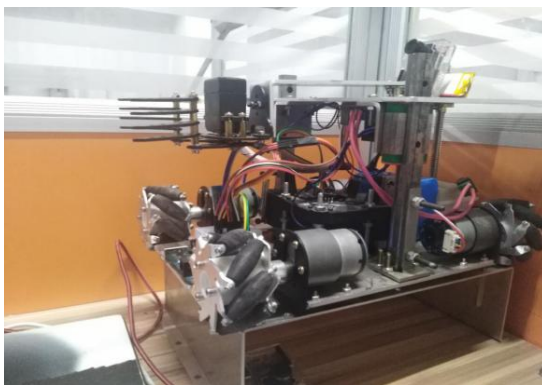


Figure 23. Robot picture of real products (2)

图 23. 机器人实物图(2)

## 6. 总结

伴随着工业 4.0 的临近，作为其基础的智能机器人得到了大力发展，这也使得中国在从制造业大国想着制造业强国转变。本分研究了一种智能搬运机器人的设计与实现，通过各个模块的结合，实现了高效、快捷、智能的机器人运行。

本文通过对各个模块的对比选取，分析系统需求，对机器人整体结构，有限元分析等完成了对机器人的设计，同时进行实物的制作与大量实验，试验结果表明，智能搬运机器人的运行速度、负载强度均达到预期要求，结构简单可靠，性价比高，适合推广使用。



## 基金资助项目

2018 年大连工业大学教育教学改革研究项目(教发[2019]23 号), 资助编号: JGLX201804; 大连市青年科技之星项目(2017RQ128)。

## 参考文献

- [1] 王杰高. 埃斯顿机器人核心技术研发及应用[J]. 机器人技术与应用, 2012(4): 1-5.
- [2] 刘进长, 王伟, 区和坚. 市场“井喷”带来的机遇与挑战——我国工业机器人发展的思考与建议[J]. 机器人技术与应用, 2014(1): 14-18.
- [3] 王鸿鹏, 杨云, 刘景泰. 高速移动机器人的研究现状与发展趋势[J]. 自动化与仪表, 2011, 26(12): 1-4.
- [4] 韩晓明. 反恐排爆机器人机械手的设计和控制在[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2005: 12-25.
- [5] 胡伟华. 基于 RFID 和 WSN 的室内移动机器人避障与导航研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2009: 70-73.
- [6] Robin, R.M. (2004) Introduction to AI Robotics. Publishing House of Electronics Industry, Beijing, 45-56.
- [7] 胡劲草. 室内自主式移动机器人定位方法研究[J]. 机电产品开发与创新, 2006(5): 28-30.
- [8] Rat, H.M. and Petzold, L.R. (2003) A New Look at Proper Orthogonal Decomposition. *SIAM Journal on Numerical Analysis*, **41**, 1893-1925. <https://doi.org/10.1137/S0036142901389049>
- [9] Kolmanovsky, I. and Mcclamroch, N.H. (1995) Developments in Nonholonomic Control Problems. *IEEE Control System Magazine*, **15**, 20-36. <https://doi.org/10.1109/37.476384>
- [10] Barshan, B. and Durrant-Whyte, H.F. (1994) Orientation Estimate for Mobile Robots Using Gyroscopic Information. *International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Munich, September 1994, Vol. 3, 1867-1874.