

# Research on Key Technology of Autonomous Evacuation and Rescue Robot

Yang Cui Anhua Wang\* Qingfeng Cui Jianing Liu Xingyu Han

School of Electrical and Control Engineering, Heilongjiang University of Science and Technology, Harbin, Heilongjiang, 150022, China

## Abstract

Aiming at the problems that rescuers cannot enter or approach the scene of toxic gas leakage, insufficient oxygen and low visibility after the tunnel disaster, this paper studies the key technologies of autonomous evacuation robot and gives the design scheme. Using the manipulator control technology, an on-board electronic stretcher with deformation function is designed as the robot loading cabin. The manipulator control part in the loading cabin is modeled and simulated by MATLAB. The results show that the mechanical finger can complete the predetermined action quickly and accurately.

## Keywords

rescue robot; autonomous evacuation; electronic stretcher

## 自主后送救援机器人关键技术研究

崔扬 王安华\* 崔庆锋 刘佳宁 汉兴宇

黑龙江科技大学 电气与控制工程学院, 中国 · 黑龙江 哈尔滨 150022

## 摘要

论文针对隧道灾害发生后, 救援人员无法进入或接近毒气泄漏、氧气不足、能见度低等现场施救的问题, 对自主后送机器人关键技术进行研究并给出设计方案。应用机械臂控制技术, 设计出具有变形功能的车载电子担架作为机器人装载舱。利用MATLAB分别对装载舱中机械手控制部分建模仿真。结果表明, 机械手指能够快速、准确完成预定动作。

## 关键词

救援机器人; 自主后送; 电子担架

## 1 引言

电动汽车国际公共安全形势日益恶化所引发的城市爆炸恐怖事件和核、生、化、辐射(NBCR)泄露或污染以及地震、火灾等自然灾害严重威胁着人类的生命与财产安全, 日益得到世界各国的高度重视。各种灾难发生次数增多的同时, 其严重性、多样性和复杂度也逐渐增加, 使救援人员难以快速、高效、安全地进行工作, 且救援任务逐渐超出了救援人员的能力范围, 如自主性不够, 续航能力不足及移动伤员过程中易造成二次伤害等<sup>[1-5]</sup>。论文以隧道救援为背景, 根据隧道环境特点, 更具针对性地研究机器人执行救援任务过程中涉及的自主后送、伤员入舱判定等问题。

## 2 救援舱设计

【作者简介】崔扬(1999-), 男, 中国黑龙江大庆人, 在读本科生, 从事自动化研究。

【通讯作者】王安华(1981-), 男, 中国吉林榆树人, 副教授, 从事电力电子与智能控制研究。

论文研究的自主后送功能由可变形救援舱和辅助机械手指实现。当机器人移动到伤员附近指定位置后, 执行变形动作, 释放电子担架和机械手指, 将伤员向救援舱中转移, 待伤员完全进入救援舱内部后, 执行逆变形动作, 收回机械手指和电子担架。

### 2.1 救援舱构型设计

综合考虑隧道坡路地形和救援速度需求, 设计以轮式机器人主体, 承载箱式救援舱的基本构型。外形如图 1 所示, 标号 1 为救援舱, 2 为信息采集装置, 3 为行进轮。

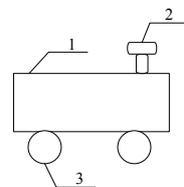


图 1 机器人外观

设机器人通过定位行进并停止在指定位置, 执行救援舱变形动作。首先打开舱体侧面板(即电子担架), 伸展机

械手指并调整前端关节位置；在机械手指与电子担架上传送带共同作用下，将伤员向救援舱内转移；当安装在救援舱顶板内侧的伤员位置检测装置，通过图像检测、图像处理及边缘检测等方法，判断出伤员已完全进入舱体后，折叠机械手指，与舱体侧面板同时收回，完成逆变形。动作步骤如图 2 所示。

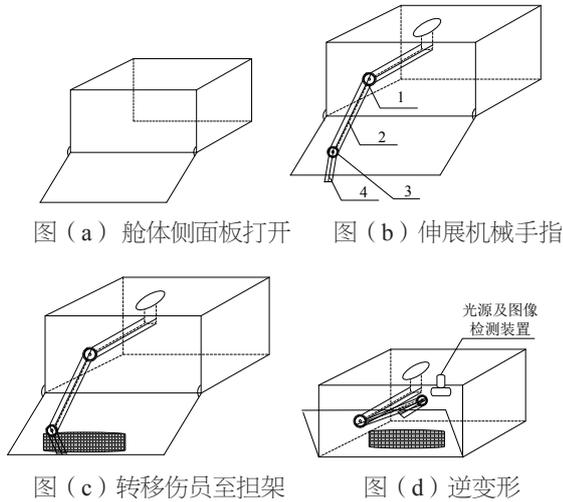


图 2 救援舱变形步骤

此救援舱构型方案主要突出基本设计思路，实际应用时可根据具体工况进行完善。例如，在打开的侧面板上增加传送带等机械构件，使伤员更易于被移动至舱体内，且减少二次伤害概率。

### 2.2 救援舱控制电路设计

本设计选择步进电机作为执行机构，通过控制电机的正、反转，实现救援舱侧面板打开和关闭功能。

机械手指舵机控制器选用 TMS320F28335，完成位置环控制和速度环控制，如图 3 所示。零位霍尔接近开关在系统上电时粗略确定电机绝对位置，再结合增量编码器的 Z 通道的信号，精确确定电机的绝对位置。路径规划求得的目标位置，换算成增量码盘的脉冲数，发送给控制器。控制器将给定值和增量编码器实际测得的脉冲数进行比较，利用积分分离 PID 算法求解位置环的控制量。位置环控制器的控制量作为速度环的给定，与速度反馈值比较，再利用积分分离 PID 算法求解速度环的控制量，经过限幅后，通过 D/A 输出到驱动器，控制电机运行。

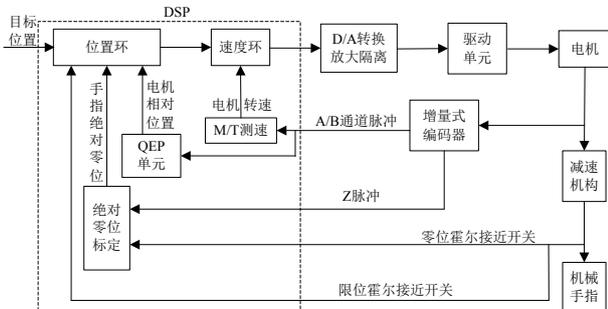


图 3 机械手指控制方案

### 3 机械手指控制算法仿真

PID 数字控制器中积分环节，主要功能是消除静差、提高精度。但在电机控制过程的启动、制动或大幅度增减设定值时，短时间内系统输出有很大的偏差，会造成 PID 运算的积分积累，致使算得的控制量超过执行机构可能最大动作范围对应的极限控制量，最终引起系统较大的超调，甚至引起系统的振荡，使系统不能正常工作 [6-8]。

积分分离 PID 控制算法，在原有功能基础上，减小了超调量，能改善控制性能，具体算法为 [9]：

$$u(k) = u(k-1) + K_p(1 + \frac{T}{T_i} + \frac{T_D}{T})e(k) - K_p(1 + 2\frac{T_D}{T})e(k-1) + \frac{K_p T_D}{T}e(k-2)$$

当关节控制器接收到主计算机的目标位置后，将它进一步划分为 25 个小台阶，作为实际的给定进行控制。利用 MATLAB 构建积分分离 PID 控制算法数学模型如图 4 所示，包括直流电源、理想开关、直流电动机、开关、增益、电阻、示波器、信号分离模块。

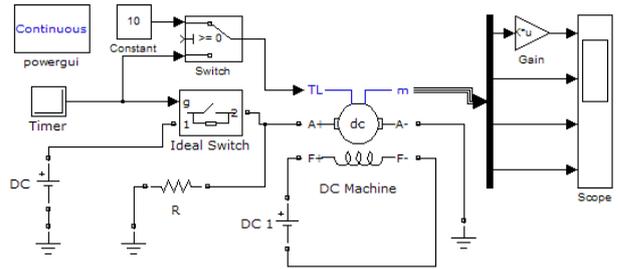


图 4 积分分离 PID 控制算法模型

仿真模型中通过理想开关模块控制直流电源的接通和断开，使用开关模块控制电机的转矩，使电机在起动过程中的转矩为空载起动，当转速达到设定值后，使电机工作在给定的负载转矩。仿真结果如图 5 所示，从上到下分别是转速 (V)、电枢电流 (Ia)、励磁电流 (If)、电磁转矩 (Tc) 波形。

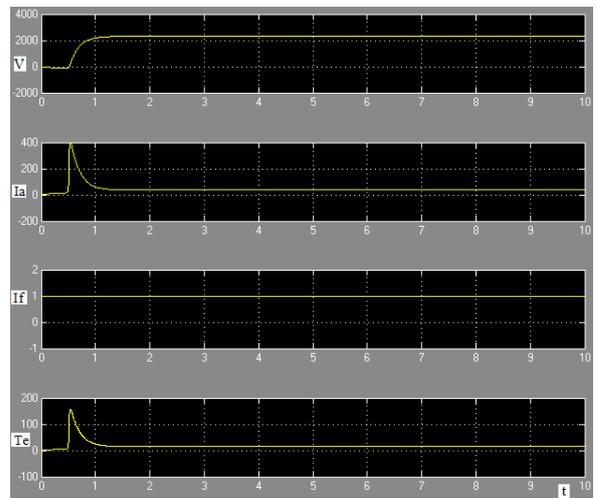


图 5 积分分离 PID 控制算法结果

## 4 结语

论文研究了一种具有快速准确与强抗干扰能力的救援机器人自助后送方案。阐述了变形救援舱、机械手指单元的结构和原理,并对关键环节进行了仿真实验。结果证明,此方案利用机械臂控制技术,能够在隧道灾害救援过程中,实现中距离自主后送功能。

### 参考文献

- [1] 陈文卓,刘萍,姜丰,等.基于参数组合优化的救援机器人蚁群算法研究[J].华北科技学院学报,2020(1):77-82.
- [2] 付辉.机器人在灾难救援中的应用[J].环球救援资讯,2014(7):1.
- [3] 刘亢,尚红.地震救援机器人在芦山7.0级地震中的应用[J].减灾技术与方法消防技术与产品信息,2013(5):26-28.
- [4] 郭月.救援机器人的研究现状与发展趋势[J].医疗卫生装备,2014,35(8):22-26.
- [5] 冯迎宾,张婧.水面救援机器人控制系统设计及控制算法研究[J].光电技术应用,2020(5):60-65.
- [6] 田启华,段龙飞,周祥曼,等.高压输电线路救援机器人机械臂壳体拓扑优化设计[J].三峡大学学报(自然科学版),2020(3):99-102.
- [7] Hu Ke feng, Zhou Yun fei, Li Zuo qing. Intergral Separated PID Regulator Design[J]. Machine Tool and Hydraulics,2004,11(2):19-21.
- [8] Iqbal K, Roy A. PID controller design for the human arm-robot manipulator coordination problem[J]. Intelligent Control,2002(10):121-124.
- [9] 叶树亮,王克奇.基于积分分离数字PID控制的超精密定位系统的设计[J].自动化技术与应用,2003,22(10):65-66.