

# 基于 SOPC 的自寻迹切割机器人 运动控制系统研究 \*

陈 深,高春甫\*,荆宝德,罗志勇,沈孟锋,陈远超  
(浙江师范大学 工学院,浙江 金华 321004)

**摘要:**针对自寻迹移动切割机器人控制为非完整系统控制的特点,构建了机器人运动模型,并分析了其运动规律,设计了一种基于可编程片上系统(SOPC)技术的切割机器人运动控制系统。该系统以 EP3C55 芯片为控制核心,采用模糊控制策略实现了切割机器人的运动控制。实验结果表明,该控制系统运行平稳,控制响应快,能够满足切割机器人的实时控制的要求,具有实际工程应用价值。

**关键词:**可编程片上系统;自寻迹;切割机器人;运动控制

中图分类号:TP242

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)01-0060-03

## Study of motion control system for auto-searching cutting mobile robot based on SOPC

CHEN Shen, GAO Chun-fu, JING Bao-de, LUO Zhi-yong,  
SHENG Meng-feng, CHEN Yuan-chao  
(Engineering College, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

**Abstract:** Aiming at the nonholonomic controlling of auto-searching cutting mobile robot with the motion law, the dynamic and kinematic models of mobile robot were established. A motion control system based on system on a programmable chip(SOPC) was designed, EP3C55 core was employed as the kernel of the robot motion controller, the fuzzy control strategy was adopted to control the motion of the cutting mobile robot. The effectiveness of the new design is testified by the experiment, which can meet the requirements of actual cutting engineering.

**Key words:** system on a programmable chip(SOPC); auto-searching; cutting mobile robot; motion control

## 0 引 言

目前一般的移动切割机器人只能在固定的导轨上执行移动式切割功能,切割前必须通过人为的方式将切割机器人的路径、切割焰距以及切割速度调节到合适的位置,并不具备切割的自寻迹功能<sup>[1-5]</sup>。如果切割前只需要将机器人放在距切割线一定范围内(即切割线在机器人视觉范围内),而由机器人根据切割线的特征信息自动寻找切割路径并调整自己的位姿到设定的待切割状态,即由移动机器人自主地实现切割轨

迹的自动识别和跟踪,那么这对于大型板材构件的高效自动化切割无疑是非常具有实际意义的。

自寻迹移动切割机器人通过 CCD 摄像头采集切割线轨迹图像信息,经过图像处理系统对图像信息的滤波去噪、边缘提取等过程,提取出切割线轨迹,然后经过坐标转换之后将切割机器人的运动信息传送给运动控制系统,通过运动控制系统控制切割机器人沿切割线轨迹进行切割作业。

本研究针对自寻迹移动切割机器人控制为非完整系统控制的特点,在二维平面坐标系下构建机器人运

收稿日期:2010-07-27

基金项目:浙江省新苗人才计划资助项目(浙师大 200928)

作者简介:陈 深(1990-),男,浙江杭州人,主要从事机嵌入式系统设计及其自动化方面的研究. E-mail: onliday@163.com

通信联系人:高春甫,男,教授,硕士生导师. E-mail: cfgao2007@zjnu.cn

动模型,分析其运动规律,设计了一种基于 SOPC 技术的自寻迹切割机器人运动控制系统。

## 1 移动切割机器人的运动模型

移动切割机器人小车的机械结构由车体和 2 个驱动轮、1 个随动轮组成。由于随动轮仅在对小车运动失衡时起支撑作用,在运动学方程中忽略不计。本研究建立了机器人运动模型,车体运动如图 1 所示。

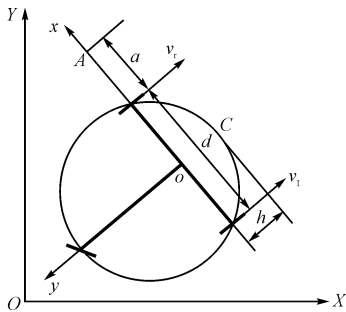


图 1 机器人车体运动示意图

XOY—固定坐标系; xoy—机器人工作移动坐标系; o 点—驱动轴中点; A 点—机器人转动瞬心; B 点—机器人运动质心; l—机器人转动驱动轴中点与运动质心的距离; d—两驱动轮间距; ω—机器人转动角速度; v—机器人车体运动速度

得到机器人的运动模型:

$$\dot{\theta} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r}{2} \cos \theta + \frac{h \cdot r}{d} \sin \theta & \frac{r}{d} \frac{r}{2} \cos \theta - \frac{h \cdot r}{d} \sin \theta \\ \frac{r}{2} \sin \theta - \frac{h \cdot r}{d} \cos \theta & \frac{r}{2} \sin \theta + \frac{h \cdot r}{d} \cos \theta \\ \frac{r}{d} & -\frac{r}{d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_l \\ \omega_r \end{bmatrix} \quad (1)$$

$\dot{\theta} = J(h)U$ , 其中:

$$J(h) = \begin{bmatrix} -\frac{\rho}{d} \cos \theta & 0 \\ -\frac{\rho}{d} \sin \theta & \frac{\rho}{d} \sin \theta \\ -\frac{1}{d} & \frac{1}{d} \end{bmatrix}; \quad U = \begin{bmatrix} v_l \\ v_r \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: U—系统输入向量。

由运动模型可得:控制变量  $U = \begin{bmatrix} v_l \\ v_r \end{bmatrix}$  由两独立驱动的伺服电机控制,由控制变量可得机器人实际状态变量  $J_s$ 。根据当前的检测状态  $J_d$  与实际状态变量  $J_s$  的误差形成机器人路径规划,产生下一步控制变量

$U' = \begin{bmatrix} v'_l \\ v'_r \end{bmatrix}$ 。因此,通过控制机器人小车的左右两轮的

速度即可得到小车的位姿。

## 2 控制系统设计与实现

### 2.1 控制系统结构

利用基于 SOPC (System-on-a-Programmable-Chip) 的 Altera Niso II 嵌入式处理器 Cyclone III EP3C55 芯片作为控制系统核心,结合了 SOC 和 PLD、FPGA 各自的优点,实现了系统实时控制。控制系统结构如图 2 所示。EP3C55 作为整个控制系统的核心,进行自寻迹切割过程中信息的处理与运算,控制十字滑块及移动机器人本体的运动,对切割过程中的故障进行处理。系统将各种参数的设定以及切割过程中的各种实时状态信息输出显示,如切割速度、小车的行走方式—直线运动或者转弯运动、切割线跟踪的控制模式—PD(比例微分)控制或模糊控制或者二者的混合控制,以及切割过程中的时序控制—通气/断气、开始切割/停止切割等。同时系统也可通过 RS-485 接口进行远程通讯设定。

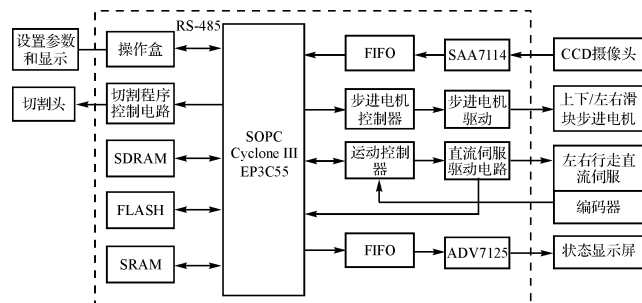


图 2 移动切割机器人控制系统结构

### 2.2 控制系统分析

本研究采用模糊逻辑控制策略实现切割机器人小车的路径跟踪,因为模糊控制不需要被控对象的精确数学模型且控制灵活、鲁棒性强,在滞后时变、非线性等复杂系统中具有明显的优势<sup>[6]</sup>。本研究所设计的模糊控制系统原理构成如图 3 所示。

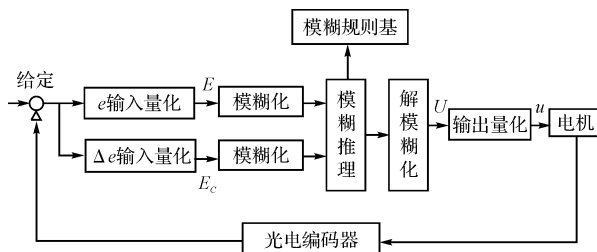


图 3 模糊控制系统原理构成

模糊控制器的推理过程采用 Mamdani 算法,解模糊化过程采用 max-min 法。模糊控制器的输入 e 和 ec 的论域分别设定为  $e = \{-10, \dots, 10\}$  和  $ec = \{-1, \dots,$

1} ,输出  $\alpha$  的论域设定为  $\alpha = \{-10, \dots, 10\}$ 。考虑到系统要求电机运动的快速性特点,模糊语言变量  $e$ 、 $ec$  与  $\alpha$  均设为 {NB(负大) NM(负中) NS(负小) ZE(零) PS(正小) PM(正中) PB(正大)} ,隶属度函数如图 4 所示。

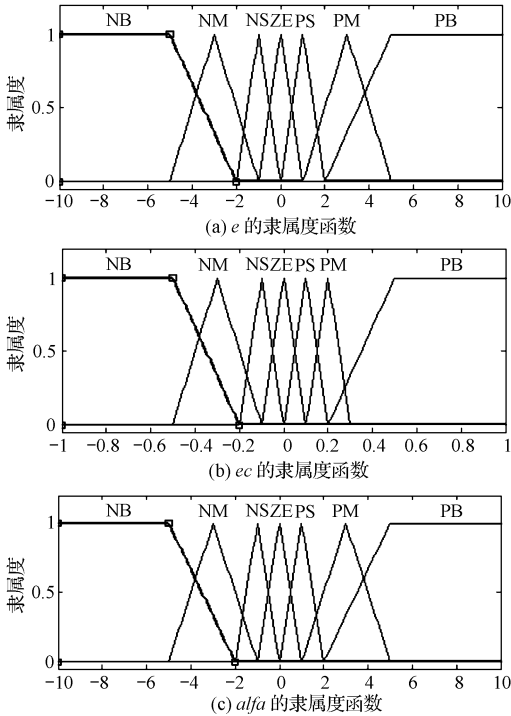


图 4 模糊控制隶属度函数

### 2.3 运动控制软件设计

切割机器人小车的工作过程是:小车在初始的零位接收到光学系统传送来的轨迹坐标,通过和零位的比较,确定小车的运行方式和寻迹过程,之后通过模糊控制表的查询,确定模糊控制模糊系统输出变量的值,并通过输出控制 PWM 的占空比,并改变加到直流电机两端的电枢电压,调整电机的转速和转动方向、模式,控制小车的运行。在运行过程中,随时通过光学系统的检测及光电编码器的角度和速度检测,确定运行的实际轨迹和小车行走的轨迹之间误差和小车运行方向的角度,实时修正,从而达到自寻迹跟踪的目的。基于此工作过程,编制模糊控制软件的程序,如图 5 所示。

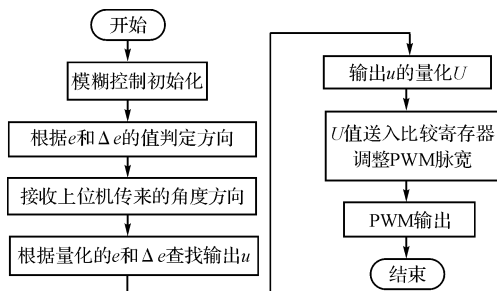


图 5 控制软件流程图

### 3 控制器性能仿真试验

切割机器人依据图像处理系统运算后得到的控制指令,完成车体动作和位姿调整,试验过程中左右驱动轮的瞬时速度和瞬时角速度是主要的观测对象,通过对观测对象的积分可获得切割机器人的位姿<sup>[7-8]</sup>。试验模型以直流伺服电机为受控对象,以负反馈的形式与模糊控制器相连,完成对本模型的测试和切割机器人运动控制器的初步研究。切割机器人运动控制模型的 Matlab 仿真如图 6 所示。

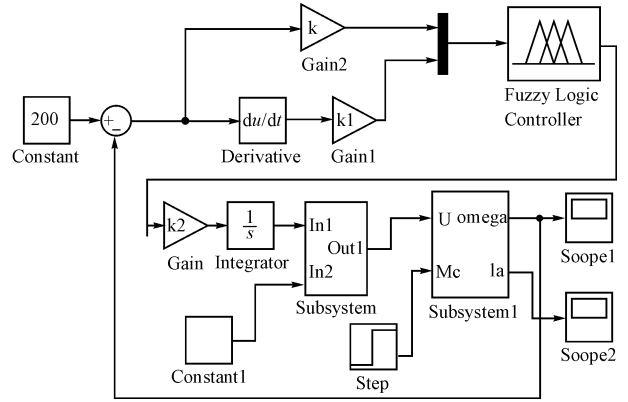
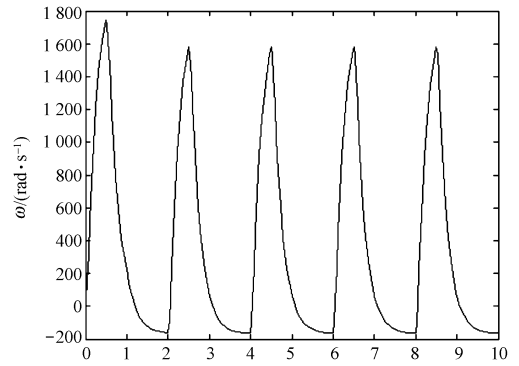
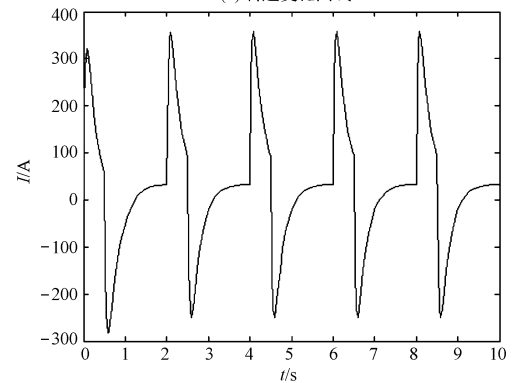


图 6 切割机器人动力学模型及控制模块

该模型的建立环境为 Simulink6,整个模型主要由以下部分组成:电机模型、模块控制模块、PWM 控制模块。



(a) 转速变化曲线



(b) 电流变化曲线

图 7 转速、电流变化曲线

端界面如图 7 所示,系统接收心电数据采集节点发送的无线心电数据并显示,同时在接收状态处显示 Linked,心率显示也会不停地刷新。可以看到本研究所显示的心电波形与典型心电波形基本吻合,拥有相同特征点,说明系统可以正确工作。

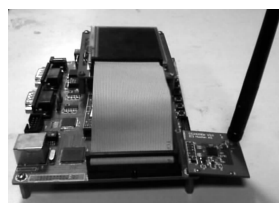


图 6 监护终端实物图



图 7 监护终端界面

## 5 结束语

本研究介绍了一种基于无线传感网的远程心电监护终端的设计与实现方法。该系统采用支持 Zigbee 无线通信协议 CC2420 接收心电数据,在不影响监护对象正常社会活动的前提下,实现了对他们的实时医疗监护。此外,还分析研究了 QRS 波形检测和心率计算方法,分析结果表明算法简单可行,实时性高,可以用于移动监护终端的心电信号处理。

[编辑:李 辉]

(上接第 62 页)

根据设定的模糊规则,加入模糊控制规则外界干扰等因素对电机进行仿真分析,得到转速、电流变化和仿真结果如图 7 所示,在某占空比控制时电机转速和电机电流最大值初始发生变化,经过一个周期后速度和电流趋于稳定。对正弦折角和大/小角度复杂轨迹线切割的自寻迹跟踪仿真如图 8 所示,在小角度跟踪过程中误差较大,这是由于车体快速转弯过程中惯性较大所致,误差在设备允许范围内,系统运行平稳,可以满足实际需求。

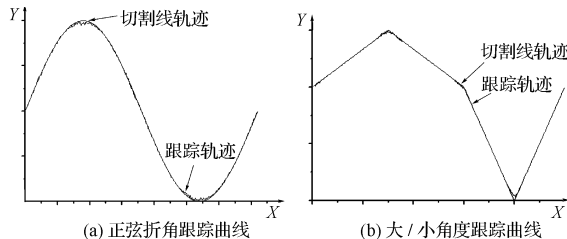


图 8 正弦折角和大/小角度跟踪曲线

## 4 结束语

本研究简要介绍了自寻迹切割机器人运动控制器主要部分实现方案,针对切割机器人的非完整系统控制的特点,建立机器人运动模型,设计了切割机器人运

## 参考文献 (References):

- [1] PATTICHIS C S, KYRIACOU E, VOSKARIDES S, et al. Wireless telemedicine system: an overview [J]. **IEEE Antenna's and Propagation Magazine**, 2002, 44(2): 143-153.
- [2] NG H S, SIM M L, TAN C M, et al. Wireless technologies for telemedicine [J]. **BT Technology Journal**, 2006, 24(2): 130-137.
- [3] KHOOR S, NIEBERL K, FUGEDI K. Telemedicine ECG-telemetry with Bluetooth Technology [C]//Proceedings of Computers in Cardiology. Rotterdam: [s. n.], 2001: 585-588.
- [4] 姚湘平, 张跃, 代少升. 基于 GPRS 的远程心电实时监护终端 [J]. **电子技术应用**, 2006(4): 77-79.
- [5] 孙利民. 无线传感器网络 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [6] LEE Y D, CHUNG W Y. Wireless sensor network based wearable smart shirt for ubiquitous health and activity monitoring [J]. **Sensors and Actuators B: Chemical**, 2009, 140(2): 390-395.
- [7] 李鸿强, 苗长云, 武志刚. 医疗监护无线传感器网络的研究 [J]. **电子器件**, 2007, 30(4): 1490-1494.
- [8] 赵泽, 崔莉. 一种基于无线传感器网络的远程医疗监护系统 [J]. **信息与控制**, 2006, 35(4): 255-269.
- [9] AUTERI V, ROFFIA L, LAMBERTI C, et al. ZigBee-based Wireless ECG Monitor [C]//Proceedings of Computers in Cardiology. Durham: [s. n.], 2007: 133-136.
- [10] 王陈海, 吴太虎. 短距离无线通讯技术发展及在医疗监护中的应用 [J]. **医疗卫生装备**, 2008, 29(1): 30-34.

[编辑:李 辉]

动控制系统,以基于 SOPC 的 EP3C55 芯片作为控制系统核心,采用模糊控制方式对机器人进行运动控制,经过仿真实验,机器人运行平稳,能够满足切割机器人实时运动控制的要求。

## 参考文献 (References):

- [1] 殷浩澍. 国内自动化热切割技术发展态势分析 [J]. **电焊机**, 2005, 35(1): 1-5.
- [2] MUTCH J, LOWE D G. Object class recognition and localization using sparse features with limited receptive fields [J]. **International Journal of Computer Vision**, 2008, 80(1): 45257..
- [3] 韩光信, 陈虹, 马苗苗, 等. 约束非完整移动机器人轨迹跟踪的非线性预测控制 [J]. **机器人**, 2000, 22(6): 519-525.
- [4] BERNARD S M, FU Yi-li, XU He, et al. New steering mechanism for wheeled mobile robots [J]. **Journal of Harbin Institute of Technology**, 2007, 14(2): 184-188.
- [5] 张君薇, 孙清, 魏海波, 等. 基于光电编码器变频调速系统的位置控制 [J]. **辽宁大学学报: 自然科学版**, 2010, 37(1): 49-52.
- [6] 毕云峰, 王宪. 基于模糊控制的多电机同步控制 [J]. **机械与电子**, 2008(1): 25-27.
- [7] 洪波, 何秀全, 李湘文, 等. 基于旋转电弧轮式焊接机器人运动学建模及仿真 [J]. **机电工程**, 2010, 27(4): 38-40.
- [8] 徐俊艳, 张培仁. 非完整轮式移动机器人轨迹跟踪控制研究 [J]. **中国科学技术大学学报**, 2004(6): 336-38.

[编辑:李 辉]