

文章编号: 1002-0446(2003)05-0448-04

## 履带式智能弧焊机器人焊缝跟踪控制系统\*

欧光峰, 张华, 刘国平, 翟因虎, 刘伟力, 潘际奎

(南昌大学机器人与焊接自动化研究室, 江西 南昌 330029)

**摘要:** 针对新型履带式弧焊机器人焊缝跟踪问题进行了实验研究. 通过对爬行机器人行走电机的控制完成机器人焊缝跟踪粗调, 对十字滑块电机控制完成机器人焊缝跟踪细调, 最终实现了机器人焊缝跟踪, 实验表明跟踪效果良好.

**关键词:** 焊缝跟踪; 焊接机器人; 十字滑块机构

**中图分类号:** TP24      **文献标识码:** B

## SEAM TRACKING CONTROL SYSTEM OF PEDRAILED INTELLIGENT ARC WELDING ROBOT

OU Guang-feng, ZHANG Hua, LIU Guo-ping, ZHAI Yin-hu, LIU Wei-li, PAN Ji-luan

(Robot and Welding Automation Laboratory, Nanchang University, Nanchang 330029, China)

**Abstract:** In order to solve the problems in seam tracking, test and research have been done on a new pedrailed mobile robot. The approximate seam tracking is carried out by controlling the motor of the robot, while the accurate seam tracking is carried out by controlling the motor of the slides. Testing results show that the tracking is good.

**Keywords:** seam tracking; welding robot; cross-slides

### 1 引言 (Introduction)

焊接机器人是实现自动焊接的方法之一, 并且已成为焊接自动化一个新的发展方向和研究热点. 其中, 焊接机器人对焊缝的精确跟踪研究是一个关键. 目前我国急需焊接效率及自动化程度高的焊接机器人应用于造船、大型球罐、大型管道等工业生产, 而国内外应用较成熟的焊接机器人需要铺设轨道或示教, 自动化程度及焊接效率较低, 如九十年代中国石化第三建设公司从美国进口的 BUG-0 球罐全位置焊接系统由爬行机构、摆动机构、柔性或半柔性轨道等部分组成. 该系统没有焊缝自动跟踪系统, 需要操作者焊接前设定焊接规范参数, 智能自动化程度很不理想. 而新型履带式弧焊机器人无须示教和铺设导轨, 能大大提高焊接效率, 节省大量人力物力. 我们对其跟踪性能进行了研究和实验测试, 获得了理想的效果.

### 2 系统结构及工作原理 (The structure and working theory of system)

本系统由机器人本体、十字滑块及其控制系统、激光图象传感系统、工业计算机系统构成. 系统示意如图 1 所示. 机器人本体(爬行机构)具有良好的机械性能, 底盘装有强力永磁吸附装置, 在两个交流伺服电机的驱动下, 能灵活可靠地在铁磁性平面、立面、坡面直线或曲线运动. 表 1 为对机器人移动机构在水平面、垂直面向上、向下及横向直线等四种基本运动情况进行的测试实验的结果, 其中  $U_{左}$ 、 $U_{右}$  分别为通过计算机设定左、右电机相应的二个电位器电压, 以控制电机转速  $R$ ,  $V$  为移动机构行走的计算速度. 实验表明, 该爬行机构在各种情况下运动性能稳定一致, 为焊枪对焊缝的精确跟踪提供了良好的基础性能.

\* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50075037); 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目.

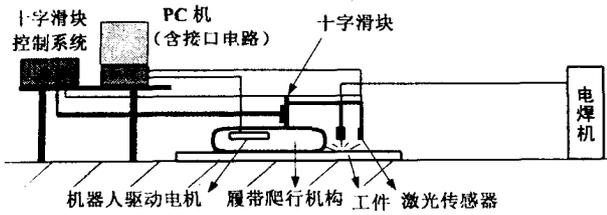


图 1 系统示意图  
Fig.1 Picture of system m

为实现焊接机器人对焊缝的精确跟踪,本系统使用工业控制计算机实现机器人对焊缝轨迹粗略跟踪,用专用十字滑块控制系统控制十字滑块实现对焊缝的精确跟踪.焊接时,激光传感器系统可以识别焊枪与焊缝的偏差  $\Delta e$ ,十字滑块内部的位置开关可以判断滑块运动时与中点的偏差  $P$ .偏差  $P$  较大时,需要通过控制机器人爬行机构左右转动电机,使偏差  $P$  控制在在一定范围内;而偏差较小时,仅须控制十字滑块即可以实现焊枪精确跟踪焊缝.

表 1 履带式爬行机构在水平面、垂直面直线运动性能

Table 1 The beeline movement capability of pedrailed mobile machine on horizontal and vertical plane

电机转速 R( r/ min)	水平面直线			垂直面横向			垂直面向上			垂直面向下		
	U <sub>左</sub> (V)	U <sub>右</sub> (V)	V( m m/s)	U <sub>左</sub> (V)	U <sub>右</sub> (V)	V( m m/s)	U <sub>左</sub> (V)	U <sub>右</sub> (V)	V( m m/s)	U <sub>左</sub> (V)	U <sub>右</sub> (V)	V( m m/s)
400	0.67	0.67	2.45	0.67	0.67	2.45	0.67	0.67	2.46	0.67	0.67	2.46
800	1.34	1.33	4.85	1.34	1.34	4.89	1.34	1.33	4.92	1.34	1.33	4.92
1200	2.01	1.99	7.29	2.02	2.01	7.38	2.01	2.00	7.26	2.01	2.00	7.26
1600	2.67	2.66	9.78	2.68	2.66	9.78	2.68	2.67	9.78	2.68	2.67	9.78
2000	3.34	3.35	12.16	3.34	3.36	12.10	3.33	3.32	12.16	3.33	3.32	12.16

图 2 为固定于爬行机构上的十字滑块的调节示意图

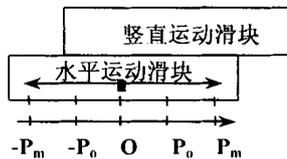


图 2 与焊枪相连的十字滑块调节示意图  
Fig.2 Adjust ment picture of cross-slides  
joined with welding torch

平运动的中点位置(作为水平运动的坐标原点).设  $P$  为滑块运动时与  $O$  点的偏差,则在爬行机构向前运动并焊接时,当  $|P| < P_0$  时,焊缝精确跟踪由十字滑块实现;当  $|P| > P_0$  时,则由爬行机构左右转动电机差速调节和十字滑块调节共同实现精确跟踪,爬行机构差速调节的目标是使水平运动十字滑块到  $|P| < P_0$  范围内.控制原理如图 3 所示.

### 3 基于 PC 的焊缝轨迹的粗略跟踪 (PC based seam approximate tracking)

当  $|P| > P_0$  时,计算机控制爬行机构左右电机差速调节,实现粗跟踪.设计的控制系统主要由爬行机构,图象传感系统,控制电路以及计算机信息处理控制系统组成.控制系统框图如图 4 所示.

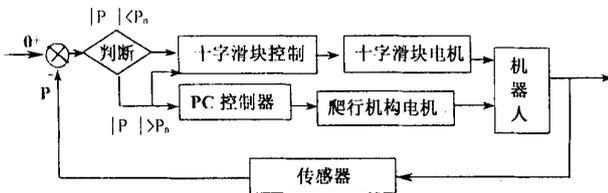


图 3 焊缝跟踪控制原理图  
Fig.3 The principle of seam-tracking control

图中下部分装有导轨及带动焊枪水平运动的滑块,在导轨的  $-P_m, -P_0, O, P_0, P_m$  处全都装有位置开关用于判断滑块水平运动的位置,  $O$  为滑块水

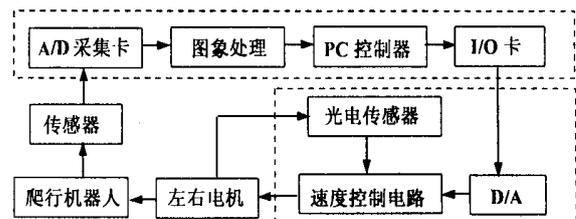


图 4 计算机处理计算流程图  
Fig.4 The principle of tough tracking

PC机根据焊缝偏差信息的大小及正负,启动两个行走电机进行差速转向运动,实现焊缝跟踪粗调.图象处理采用了平滑滤波和中值滤波,以去除现场干扰噪声,同时使图象的边缘得到保护和加强;二值化处理,以增强目标特征,识别焊缝信息;霍夫变换,以检测坡口形状;最后通过计算得出焊缝中心与焊枪的偏差量.由于履带式爬行机器人系统模型较复杂,具有一定的非线性,所以采用了模糊控制的策略.速度闭环控制电路采用脉宽调制 PWM 控制原理,根据安装在电机上的光电传感信号,获得当前电机转速大小,与设定速度对比后,改变控制信号脉冲占空比,达到改变电机转速目的.

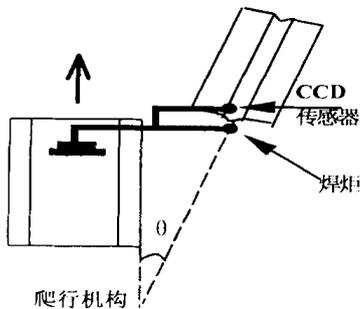


图5 焊接开始前位置关系

Fig.5 Ubiety before the beginning of welding

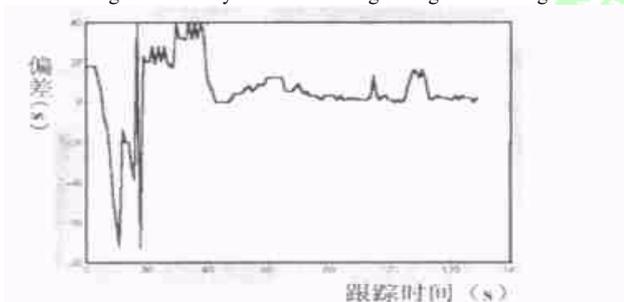


图6 跟踪效果拟合图

Fig.6 Simulation and synthese of tracking result

为测试跟踪效果,模拟较难进行的焊接条件进行实验,即机器人初始运动方向和实际 V 型焊缝成一定角度,测试其跟踪效果.如图 5 所示,二者夹角为  $\theta$ .经测试,在机器人初始运动速度为 50cm/min 时, $\theta$ 角最大可以达到  $14^\circ$ ,此时使用 MATLAB 对由 Visual C++ 6.0 跟踪程序自动产生的文本文件的数据拟合,结果如图 6 所示.图 6 的横坐标纵坐标单位分别为时间秒(s)和象素,从结果可以看到,虽然起始角度  $\theta$  较大,经过大约 40s,基本实现了对直线焊缝的粗跟踪.

#### 4 十字滑块的纠偏效果 (Deviation rectification by slides)

仅靠履带机器人自身运动尚不能实现精确跟踪焊缝,必须依靠十字滑块 (Slides) 系统来纠偏,实现对焊缝的精确跟踪.此系统主要通过一个 ARM 嵌入式系统,根据激光传感器出来的视频信号送到专用控制箱采集、分析、处理,可以识别对接、搭接、V 型坡口焊缝等各种焊缝,输出信号控制十字滑块完成纠偏.系统框图如图 6.在此系统中,视频监视器 (Video Monitor) 可以实时监视焊缝情况,而连接到控制箱的手柄可以完成对控制系统的设置,还可以显示系统的状态信息,比如焊缝跟踪的实时偏差.控制箱还可以用串行口与 PC 相连,用应用软件对系统进行更详细的设置与状态显示.

十字滑块的纠偏效果可通过实验验证,由于通常爬行机构的运动方向和焊缝的方向夹角不会很大,在实验中,使用的最大夹角为  $15^\circ$ .纠偏实验表明,当小车前进速度在 20,30,40,50cm/min 时,起始时焊缝与小车前进方向成  $15^\circ$  时,滑块能成功精确跟踪到焊缝;当小车前进速度在 60cm/min 时,最大可以跟踪到  $11^\circ$ .跟踪偏差小于 0.7mm,能够满足焊接要求.

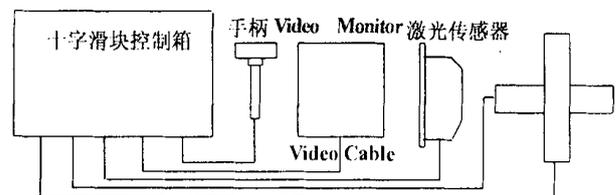


图7 十字滑块控制系统框图

Fig.7 Block diagram of cross-slides control system

#### 5 结论 (Conclusion)

针对新型履带式机器人机构,通过机器人焊缝跟踪控制系统,对机器人行走电机和十字滑块电机控制实现了焊枪对焊缝跟踪.

#### 参考文献 (References)

- [1] 张华,陈茂华,刘南生,潘际奎.履带式智能弧焊机器人系统的研制[J].机器人技术与应用,2002,(1):13-16.
- [2] 陈茂华.履带机器人轨迹跟踪控制系统的研究[D].南昌大学:2002 硕士论文
- [3] 潘际奎.现代弧焊控制[M].机械工业出版社,1999.

- [4] 陈茂华,张华等. 智能移动机器人的实验研究[J]. 南昌航空工业学院学报. 2001.
- [5] Ikeda K, Nozaki T. Fundamental study on a wall-climbing robot [A]. Proc. of the 5th Int. Symp. On Robotics in Construction[C]. 1998.
- [6] Jagannathan S, Zhu S Q, Lewis F L. Path planning and control of a mobile base with nonholonomic constraints[J]. Robotica, 1994 (12).

#### 作者简介:

- 欧光峰 (1971-), 男, 硕士研究生. 研究领域: 工业焊接机器人自动控制及智能化.
- 张 华 (1964-), 男, 教授, 博士生导师. 研究领域: 焊接过程自动控制、工业焊接机器人智能化.
- 刘国平 (1964-), 男, 副教授, 硕士生导师. 研究领域: 机器人、自动控制等.

(上接第 447 页)

我们在实验中发现灵巧手拇指在手掌上的位置和手掌的形状对映射效果影响很大.

## 5 结论和将来的工作 (Conclusion and future works)

本文针对灵巧手的抓持规划, 实现了基于 PC 的虚拟现实仿真平台, 建立了一个友好的人机环境来模拟和再现人手到灵巧手的运动映射. 以 BH 系列灵巧手为例, 验证了运动映射的方法及其映射效果. 该虚拟环境既可以用于灵巧手的抓持规划, 也可以用于评估设计方案, 为改进灵巧手的运动学结构提供依据. 在此基础上, 我们将进一步探索定量评价运动映射效果的方法.

### 参考文献 (References)

- [1] Jau, B. Dexterous telemanipulation with four fingered hand system [A]. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation[C]. Minneapolis, MN, USA: IEEE Press, 1996. 338 - 343.
- [2] Farry K A, et al. Myoelectric teleoperation of a complex robotic hand[J]. IEEE Trans. on Robotics and Automation, 1996, 12(5): 775 - 877.
- [3] Fischer M, et al. Learning techniques in a dataglove based telemanipulation system for the DLR hand[A]. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation[C]. Leuven, Belgium: IEEE Press, 1998. 1603 - 1608.

- [4] Kang S B, Ikeuchi K. Toward automatic robot instruction from perception mapping human grasps to manipulator grasps[J]. IEEE Trans. on Robotics and Automation, 1997, 13(1): 81 - 95.
- [5] Kawasaki H, et al. Virtual teaching based on hand manipulability for multi-fingered robots[A]. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation[C]. Seoul, Korea: IEEE Press, 2001. 1388 - 1393.
- [6] Griffin W B, Findley R P, et al. Calibration and mapping of a human hand for dexterous telemanipulation[A]. 2000 ASME IMECE DSC-Symposium on Haptic Interfaces[C]. 2000. 1 - 8.
- [7] Turner M L. Programming dexterous manipulation by demonstration[D]. Stanford, CA: Stanford University, 2001.
- [8] 李继婷, 张玉茹, 张启先. 人手抓持识别与灵巧手的抓持规划[J]. 机器人, 2002, 24(6): 530 - 534.
- [9] Virtual Technologies[ M ]. Inc., CyberGlove User's Manual, 1997.
- [10] Iberall T. Human prehension and dexterous robot hands[J]. The Int. J. Robotics Research, 1997, 16(3): 285 - 299.
- [11] Jie Liu, Yuru Zhang. Dataglove based grasp planning for multi-fingered robot hand[A]. Accepted by Proc. the 11th World Congress in Mechanism and Machine Science[C]. Tianjin, China: China Machinery Press, 2003.

#### 作者简介:

- 刘 杰 (1975-), 男, 博士研究生. 研究领域: 模式识别、虚拟现实、机器人多指手运动规划.
- 张玉茹 (1959-), 女, 博士, 教授, 博导. 研究领域: 机器人机构学、医用机器人、人机交互技术.
- 刘 博 (1968-), 男, 博士研究生. 研究领域: 机器人多指手设计与规划.