

应用工业机器人的劳动密集型企业典型生产线的设计^①

卢振利^②* ** ** 孙凯翔* 葛晨斌* 许仙珍* 单长考* 刘叔军* 李 斌**

(* 常熟理工学院 电气与自动化工程学院 常熟 215500)

(** 中国科学院沈阳自动化研究所 机器人学国家重点实验室 沈阳 110014)

(*** 阿威罗大学,电子和信息通信工程研究所 阿威罗 3810-193, 葡萄牙)

摘 要 提出了应用工业机器人技术升级原有自动化生产线的理念,选取电子原件装配行业为研究对象,剖析了劳动力在自动化生产线中的作用,在此基础上为劳动密集企业设计了以工业机器人为主体的装配、检测、分拣、码垛自动化生产线。该生产线通过机器人手眼系统完成典型的装配作业,能够降低劳动力成本和提高产品质量的一致性。该项研究可为长三角地区劳动密集型产业的升级——“工业机器人代替人”提供技术储备。

关键词 生产线,工业机器人,装配作业,劳动密集型

0 引 言

目前我国机器人密度相对而言还很低,2011 年仅为每万人 21 台,而世界平均为每万人 55 台^[14]。从长三角地区产业现状来看,工业机器人在喷涂和焊接行业得到了广泛应用,而在电子行业、服装加工和汽车等行业,劳动密集型的中小企业云集^[5],劳动力成本上升,产品质量难以得到保证,引入机器人代替人工,通过机器人实现自动化生产线,是企业生存和发展的必由之路。本研究针对中小劳动密集型企业自动化生产线进行了典型人工动作凝练,应用国产工业机器人、工业摄像机、可编程逻辑控制器(PLC)、工控机、传输线、检测装置、原料库、装配台、成品库和移动导轨设计了先进机器人生产线,并通过轴承和轴承套装配作业试验证明,该系统可在传统自动化生产线升级和机器人代替人工操作中发挥作用。

1 生产线典型人工动作凝练

以长三角地区某漏电保护插座生产企业为例进行了研究。该企业成立于 20 世纪 90 年代,其产品型号不多,但需求量大,经过多次改进,产品质量稳定,核心电路芯片的制作和最后产品装配过程已经形成了自动化生产线。每个工位人工完成元器件的装配、检测及专用设备的焊接等,如图 1 所示。

该类企业的生产任务主要是将采购的原材料和散件组装加工成与热水器等家电产品配套的部件。企业的采购成本透明,利润空间大,在确保产品质量的前提下,如果企业能够率先完成生产线的升级改造,就能异军突起。将机器人引入该行业,完成装配、检测、运输、分拣和码垛,可以将该类自动化生产线的人工由机器人完成,解决用工成本大和产品质量不一致的问题。

① 国家科技支撑计划(2014bak12b01),机器人学国家重点实验室开放基金(2014-008),校新引进教师科研启动项目(XZ1306)和葡萄牙科技部基金 CIENCIA 2007 资助项目。
② 男,1974 年生,博士,硕士生导师;研究方向:机器人智能控制;联系人,E-mail: zhenlilu@ csig. cn
(收稿日期:2015-05-18)

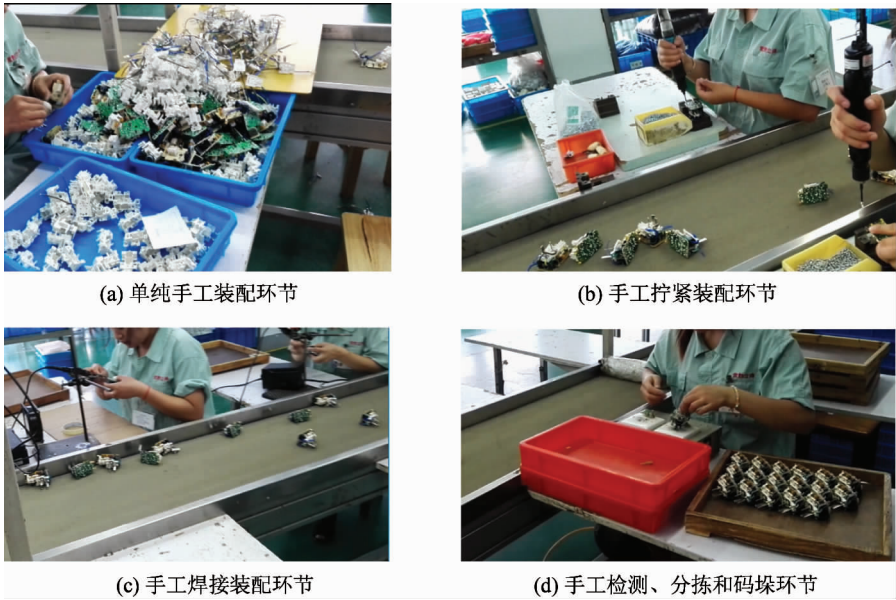


图 1 劳动密集型自动化装配线典型环节

2 机器人生产线系统

针对该类典型劳动密集型产业的需求,设计了工业机器人生产线系统,如图 2 所示。该系统机械结构、电气控制回路、执行机构均采用工业标准件设计。通过瑞博特工业机器人 FD-R6S7-3^[6,7]末端安装工业摄像机和两指手抓、底部连接移动基座,构成手眼系统。同时结合物料库、装配台、传输线、检测装置、成品库和废品库构成典型生产线系统。用机器人在视觉系统等传感器配合下完成对零部件的抓取、装配、放置、分拣和码垛等典型动作。



图 2 机器人生产线系统

3 六自由度工业机器人系统

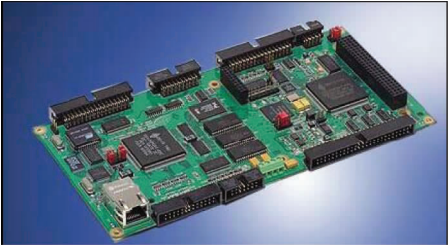
六自由度工业机器人系统包括六自由度工业机器人本体、气动手爪、机器人行走轨道、机器人控制柜、标准手持示教器、静音气泵。

机器人本体采用伺服电机驱动,谐波减速器及 RV 减速器符合工业现场要求,具有速度快、性能稳定的特点。机器人 4、5、6 轴电机布置在小臂末端,远离负载端,这样能有效防止作业过程中灰尘、铁屑等对电机的影响和延长使用寿命。具体参数见文献[6]。

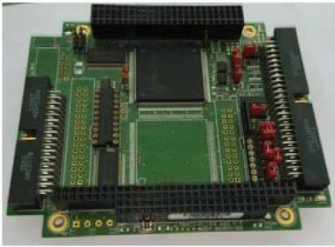
该工业机器人采用工业级嵌入式控制系统,基于 PMAC 运动控制卡的运动控制器,核心控制部件由 Turbo PMAC Clipper 控制卡和 ACC-1P 扩展轴卡构成,如图 3 所示^[8]。

双控制卡构成的控制器,再通过扩展 I/O 接口等组成工业机器人电气控制柜。电气控制柜可连接显示屏、键盘、鼠标等 PC 设备,操作系统为 Windows CE 6.0。

六自由度工业机器人系统配套机器人气动手爪。位于机器人末端的气缸和手爪根据电器信号发出的指令进行夹紧和松开动作。



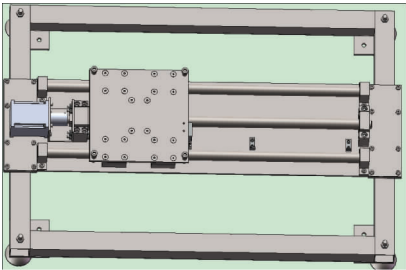
(a) Turbo PMAC Clipper控制卡



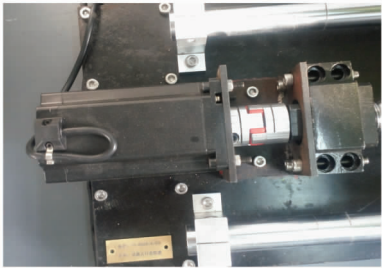
(b) ACC-1P扩展轴卡

图3 运动控制器

机器人行走导轨导轨架的底座由方钢管焊接而成,如图4所示。行走部分由步进电机驱动,通过梅花联轴器连接,将动力传至直线滑到丝杠,最后由连接在其上的机器人连接板带动机器人本体的左右行走;在光轴两端的正下方安装行程开关的档片,检测机器人行走的左右极限位置,保证机器人的运动精度及安全。



(a) 行走导轨架



(b) 步进电机

图4 行走底座

4 手眼系统

通过将大恒 DH-SVx1GC 系列 CCD 数字摄像机安装在机器人手臂末端构成手眼系统^[9],如图5所示。摄像机获取目标物的影像,通过以太网传输到处理器终端。视觉处理软件分析视野范围内出现的目标数量、目标空间位置以及目标姿态等信息。其中图像的处理包括图像传输、图像采集、图像灰度值的计算等部分。在采集模式下,摄像机根据外部环境的光线变化,可以在一定范围内自动调节相机的曝光时间和增益值,以最大限度地达到期望的亮度。此外,根据需要,可以设置图像中的感兴趣的区域,一旦区域设置完成,摄像机将根据设定值调整图像,使区域内图像亮度达到期望值。

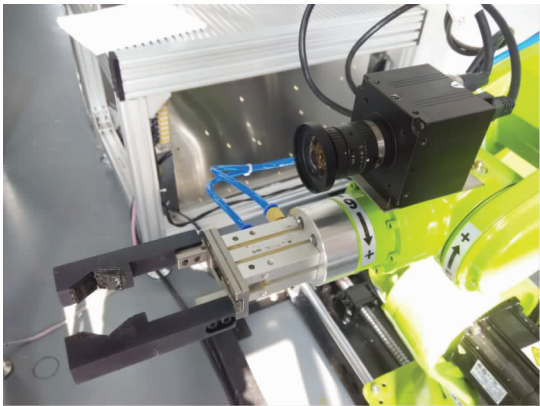


图5 手眼系统

5 生产线其他单元

生产线其他单元包括皮带输送机、原料仓库、成品仓库、装配平台、分拣仓库、材质检测装置等设备,如图6所示。

原料仓库采用2层8格16仓位,由铝合金型材搭建。成品仓库采用2层4格8仓位,由铝合金型材搭建。每仓位内均安装有仓位传感器用以检测工件的有无。每仓位内均安装有仓位传感器用以检测工件的有无。

装配平台安装在铝型材桌上,用于装配工件。废品库用于机器人自动放置被检测出来的无用工件

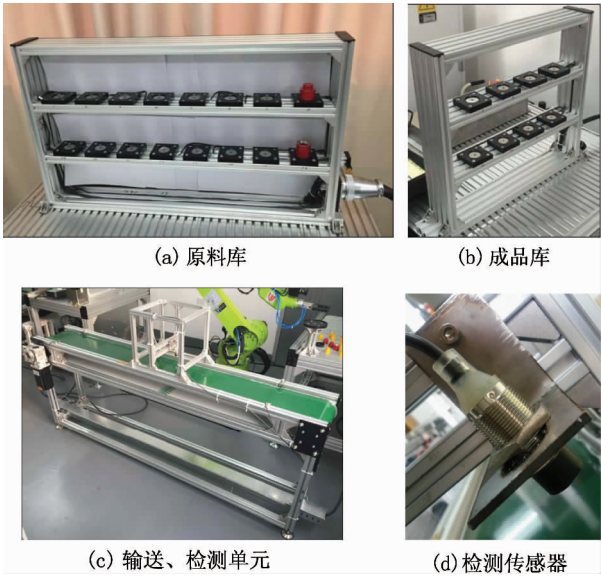


图 6 其它单元

或不合格品。本系统采用两种颜色的轴类和轴套类工件,两类工件可以通过机器人将同颜色工件装配成一体成为成品放入成品库中。光电对射传感器安装于皮带输送机两端,用于检测工件的有无。材质检测装置主要由材料检测传感器(欧姆龙 E2B-M18KN16-WZ-C12M^[10])、支架组成,材料检测传感器的主要作用是检测工件材质,区分材料的金属与非金属材质。

本系统中,材料检测传感器位于立体原料库后的输送机上。工件出库后需要检测工件的材料,以便根据程序判断是加工或继续行进还是选择何种工艺加。材料检测传感器一般为电容传感器或电感传感器,本系统中根据距离等参数选择了电感传感器作为本桌面系统的材料检测传感器。

6 机器人生产线控制系统集成

工业机器人的腰转、大臂摆、小臂摆、臂转等机械轴动作依靠机器人运动控制器完成。通过 Turbo PMAC Clipper 控制器对其他外控制器进行调用资源的操作,加装西门子 S7-200 PLC^[11],借此编程控制系统控制着各设备的操作。S7-200 PLC 控制器通过 I/O 与机器人控制柜及外设连接。现场的设备与 PLC 的 I/O 模块连接,组成一个完整的控制系统。

Turbo PMAC Clipper 控制器与 PLC 进行输入、输出点的交换、互相通讯、资源共享,共同控制工业机器人的运行状态。PLC 控制工业机器人行走步进电机的工作状态,分拣运输带中的步进电机工作、接收检测传感器的信号、工业机器人相关动作及整个系统的启动、停止等操作。在整个控制系统运行过程中,PLC 在实时地发生作用。系统上电后,PLC 便开启并执行初始化程序,手动移动工业机器人、手动控制传输带由 PLC 手动部分控制;由 PLC 程序及机器人控制程序控制得到相应动作,机器人去取轴、机器人去取轴套、机器人装配完成、工业机器人到达控制传输带移动的位置 PLC 控制其步进电机运转、机器人放料完成等操作。

工业机器人手眼系统通过 PLC、I/O、串口通讯分别与机器人控制柜、工控机视觉系统连接组成一个完整的控制系统。

7 机器人自动装配作业

用户使用示教盒(如图 7 所示)进行编程与控制。



图 7 示教器

机器人通过示教形式取得装配任务,如图 8 所示,各个点的位置和姿态,存储到控制器内。该机器人程序以“START”作为开头,“END”作为结尾,结合条件判断指令 IF、条件判断结束 ENDIF、条件等待指令 WAIT、循环控制指令 WHILE、循环控制结束 ENDWHILE、单步继电器开路输出控制指令 DO、运

动混合继电器开路输出控制指令 DOSTEP、继电器开路输出组控制指令 AllOut、延时等待指令 DELAY、程序跳转标号指令 LB、程序指令跳转控制指令 JP、子程序调用指令 CALL、直线运动指令 ML、关节点到点运动指令 MJ 等,完成机器人典型运动设计。上电之后,当机器人始终在接通状态时,机器人自动启动完成,机器人向右运行完成之后进入视觉处理系统子程序。

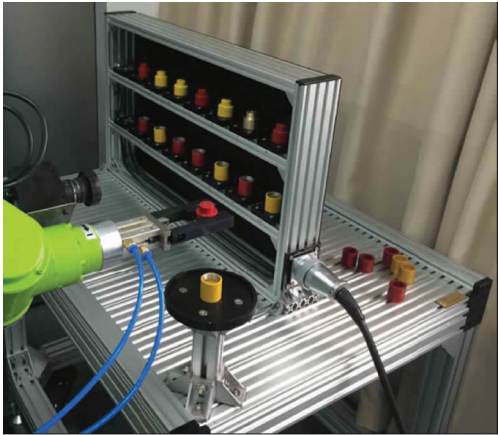


图 8 装配任务

机器人到达拍照位置,延时 2s,在这段时间中视觉系统自动地将摄像机拍摄到的照片反馈到处理终端的视觉软件上进行分析处理,由控制系统控制机器人执行下一条指令。

机器人取轴套完成之后,将轴套放置到装配平台上,机器人返回拍照位置,机器人延时 1s,终端视觉系统图像处理完成之后向控制系统发送控制命令,控制系统启动相应程序控制机器人进行下一个动作。

通过 S7-200plc 提供的接口函数,使得参数的获取过程被简化,与控制柜、工控机等构成了一个完整的控制系统,完成了机器人手眼系统设计控制程序的编写。在视觉部分,通过 DH-SV1421GC 摄像机视觉软件完成物料的颜色标定,通过直接调用主功能接口和图像处理功能接口控制摄像机进行拍照、调节可变区域自动增益和自动曝光、保存图像参数、被动传输等操作。物料颜色标识结果通过工控机反馈到 PLC,PLC 将结果发送到机器人控制机器人完成物料抓取操作。

在试验开始之前,将工件随机摆放于仓库位,如图 9 所示。

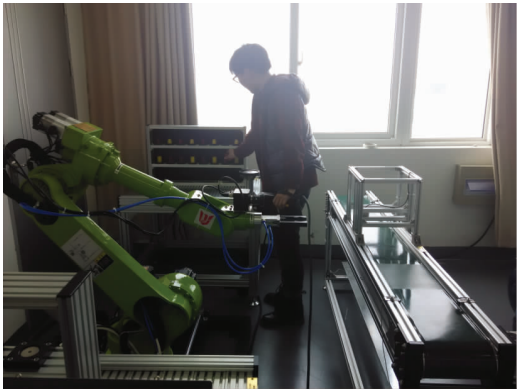


图 9 实验设定(人工随机摆放)

显控软件采用哈尔滨瑞博特技术有限公司基于 VC++ 开发的颜色辨识和智能处理软件。在试验中机器人视觉软件随着工控机启动而启动,启动后自动进入准备阶段,并在准备成功后发出状态码,该软件首次打开后即可自动检测。它的主要功能是检测工件是否存在以及存在的物料为何种颜色。所以在工件抓取之前,首先需要对工件进行图像采集。

当机器人运动到工件面前时,单击“实时”按钮,此时即可显示摄像机所拍到的物料影像,当确认所有的物料均已在界面上显示之后,单击“采集”按钮,便可进行图像的采集。如图 10 所示。



图 10 采集

当采集完图像之后,需要单击“小矩形”进行标定,主要操作是在每个显示工件位置的地方单击鼠标左键,拉动出现的“十”进行上下左右调整,确定区域之后,再单击鼠标右键即完成了物料的标定如图 11 所示。



图 11 选取有效区域

从左到右标定完成上面工件之后再继续进行下面物料的标定。小矩形全部标定完之后再点击“大矩形”进行整排物料的标定,如图 12 所示。

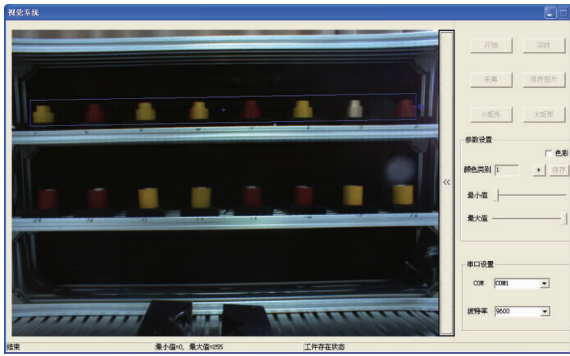


图 12 整排圈取

采集并标定完工件之后,单击“色彩”复选框,拉动最小值、最大值滚动条,使图片中只有想要的物料所在的区域被覆盖,如图 13 所示,选择黄色物料被覆盖。单击“保存”,即完成了黄色工件的参数调整,当所有工件参数调整结束之后,单击“开始”按钮,软件即可开始工作。

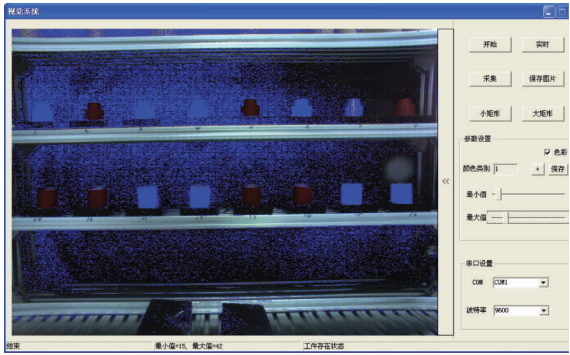


图 13 色彩覆盖

机器人取料的过程,首先利用 S7-200PLC 控制器与工控机、机器人控制柜的连接,组成的控制系统控制机器人移动到指定拍照位置,主机端发送命令,摄像机执行拍照功能获取物料影像,通过以太网传送至工控机,并由工控机上的视觉软件检测物料的存在以及存在的颜色,根据设定好的参数,再反馈到 PLC 上,控制机器人执行相应的指令,完成物料装配实验,如图 14 所示。首先,视控软件从左到右辨识第一排不空的位置,记录该位置工件颜色;视觉软件将位置信息通过工控机反馈给 PLC,PLC 进而将该位置用 3 位二进制信息发送给机器人,机器人根据该位置信息进行抓取和放置工件到装配台之后,将机器人手臂驱动到预抓取轴承套位置。PLC 接到机器人到位信息后,发送拍照指令给工控机视觉软件,工控机视觉软件根据上次工件颜色信息,对第二排进行拍照,从左到右辨识第一个与上次工件颜色一致的位置信息,将该信息通过 3 位二进制数据传递给 PLC,PLC 接到该信息后,传递信息给工业机器人手臂,驱动手臂到对应位置进行抓取,进而实现装配作业。试验案例着重功能模拟和系统集成,对时间节拍未进行实时性优化。

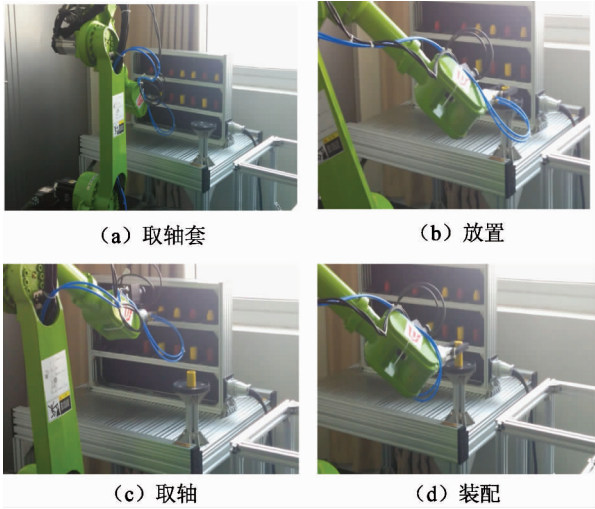


图 14 自动装配

8 结 论

针对劳动密集型中小企业典型人工作业环节,应用六自由度工业机器人等部件搭建了机器人生产

线系统。该系统利用 PLC 控制器与工控机、机器人控制柜的连接,组成运动控制。通过视觉系统软件实现物料的采集及参数的标定,实现手眼系统的目标选择和定位。根据示教机器人装配典型环节机器人对应点位姿,通过机器人完成自动化生产线中的典型装配动作。该设计可为机器人代替人升级劳动密集型自动化生产线提供技术储备。

致谢:感谢哈尔滨瑞博特技术有限公司^[6]和苏州富东机电技术有限公司^[7]参与本机器人生产线系统设计和集成工作。

参考文献

[1] 陈立新,郭文彦. 工业机器人在冲压自动化生产线的应用. 机械工程与自动化, 2010,(3):133-135

[2] 卢泽旭. 工业机器人在冲压自动化生产线中的应用研究. 机电信息, 2012,(12):49, 51

[3] 王田苗. 全力推进我国机器人技术. 机器人技术与应用, 2007,(2):17-23

[4] 田涛,邓双城,杨朝岚等. 工业机器人的研究现状与发

展趋势. 新技术新工艺, 2015,(3):92-94

[5] 长江三角洲地区工业的区域分工协作现状及产业结构趋同现象浅析, 上海统计, [http://www. stats-sh. gov. cn/fxbg/201103/92274. html](http://www.stats-sh.gov.cn/fxbg/201103/92274.html)

[6] 哈尔滨瑞博特技术有限公司. [http://www. hit-robot. com](http://www.hit-robot.com), 2015

[7] 苏州富东机电技术有限公司. [http://www. szfujd. com](http://www.szfujd.com), 2015

[8] 鲁信辉. 基于 TURBO PMAC2 的二维龙门式直线驱动精密气浮台轨迹精度研究[硕士论文]. 广州: 广东工业大学机电工程学院,2015

[9] 赵彬. 基于机器视觉的工业机器人分拣技术研究[硕士论文]. 沈阳: 沈阳工业大学信息科学与工程学院, 2013

[10] E2B Data Sheet, D116-E1-02, [http://www. fa. omron. com. cn/products/family/3203/download/catalog. html](http://www.fa.omron.com.cn/products/family/3203/download/catalog.html), 2015

[11] 祝福,陈贵银. 西门子 S7-200 系列 PLC 应用技术. 第 2 版. 北京: 电子工业出版社,2015

Design of a typical production line using industrial robots for labor-intensive enterprises

Lu Zhenli * * * * *, Sun Kaixiang *, Ge Chenbin *, Xu Xianzhen *, Shan Changkao *, Liu Shujun *, Li Bin **
(* School of Electrical Engineering and Automation, Changshu Institute of Technology, Changshu 215500)
(** State Key Laboratory of Robotics, Shenyang Institute of Automation, CAS, Shenyang 110014)
(*** Institute of Electronics and Telematics Engineering of Aveiro, University of Aveiro, Aveiro 3810-193, Portugal)

Abstract

The concept of adopting industrial robot technologies to upgrade existing automated production lines was presented, and an automated production line using industrial robots was designed for doing the jobs of assembly, testing, sorting, and palletizing for labor intensive enterprises based on the analysis of the roles of workers in a production line of electronic assembly industries. The production line uses the hand-eye system of robots to complete the typical assembly work to decrease the labor cost and improve the consistence of work quality. The study provides technical reserves for “replacement of human by industrial robots”, a project of upgrading the labor insentive industries in the Yangtze River delta region.

Key words: production line, industry robot, assemblage, labor-intensive type