

论坛与资讯

码垛机器人的研究与应用现状、问题及对策

李晓刚, 刘晋浩

(北京林业大学, 北京 100083)

摘要: 综述了国内外码垛机器人的研究与应用现状, 介绍了机器视觉技术在码垛机器人中的应用现状, 指出了码垛机器人目前存在的问题: 码垛能力、控制技术以及成本问题。针对这些问题提出了解决对策, 也指出了未来码垛机器人产业化发展方向和研究重点。

关键词: 码垛机器人; 现状; 存在问题; 解决对策; 产业化

中图分类号: TB486⁺.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)03-0096-07

Research and Application Situation, Problems and Solutions of Palletizing Robots

LI Xiao-gang, LIU Jin-hao

(Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: The research and application situation of palletizing robots was summarized. The application situation of machine vision in palletizing robots was introduced. The existing problems of palletizing robots were put forward, which were palletizing capability, control technology and cost. The solutions to these problems were proposed. Future development direction and research points of palletizing robots industrialization were also pointed out.

Key words: palletizing robot; situation; existing problems; solution; industrialization

码垛机器人是用于在工业生产过程中执行大批量工件、包装件的获取、搬运、码垛、拆垛等任务的一类工业机器人,是集机械、电子、信息、智能技术、计算机科学等学科于一体的高新机电产品^[1]。码垛机器人技术在解决劳动力不足、提高劳动生产效率、降低生产成本、降低工人劳动强度、改善生产环境等方面具有很大潜力。国外从20世纪60年代开始研究工业机器人,码垛机器人是伴随着工业机器人技术的发展而出现的,日本、德国、美国等发达国家的研究已取得一定成果,我国在这方面的研究刚起步不久,还需加快研究步伐,提高研究水平,为我国物流包装企业的生产和发展做出贡献。

1 国外码垛机器人的研究与应用现状

1.1 研究现状

最早将工业机器人技术用于物体的码放和搬运

是日本和瑞典。20世纪70年代末日本第一次将机器人技术用于码垛作业^[1]。1974年,瑞典ABB公司研发了全球第一台全电控式工业机器人IRB6,主要应用于工件的取放和物料的搬运^[2]。除此之外,德国、意大利、韩国等国家工业机器人的研发水平也相当高。随着计算机技术、工业机器人技术以及人工智能控制等技术的发展和日趋成熟,日本、德国、美国、瑞典、意大利、韩国等国家在包装码垛机器人的研究上做了大量工作,相应推出了自己的码垛机器人,如日本的FANUC和OKURA以及FUJI系列,德国的KUKA系列,瑞典的ABB系列等。

德国、瑞典以及日本等国家的码垛机器人一般为4~6轴机器人,主要由固定底座、连杆、连杆臂、臂部、腕部以及末端执行器组成,见图1。机器人主体多采用优质轻巧的铸铝材料制造和连杆式关节型的机构形式,均利用CAD和FEM有限元技术进行结构优化设计,具有较高的机械性能和抗震能力^[3];驱

收稿日期: 2010-11-10

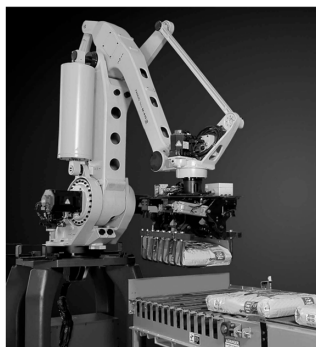
作者简介: 李晓刚(1977—),男,江西瑞昌人,北京林业大学讲师,主要从事包装机械、运输包装的教学和研究。



a 德国KUKA码垛机器人



b 瑞典ABB码垛机器人



c 日本FANUC码垛机器人

图1 国外码垛机器人

Fig. 1 Overseas palletizing robots

动系统均采用模块式数字化 AC 伺服电机和 RV 减速器,取消了腕部关节驱动电机和平衡块,大大优化了整机结构;针对不同类型的产品和包装件,还设计了真空吸持、夹持、叉式等多种形式的智能末端执行器。这些先进码垛机器人最显著的技术特点就是采用了基于 PC 的开放式控制系统,令机器人能够高速、精准、稳定可靠地运行。如瑞典 ABB 公司为 IRB 系列码垛机器人研发了主动安全软件和被动安全软件,可对机器人的运动和载荷情况进行监控;电子稳定路径功能可确保机器人在考虑加速度、阻力、重力、惯性等条件的同时,遵循预定运行路径;主动制动系统可以确保机器人维持运行路径的同时对制动予以控制;被动安全功能可实现机器人进行负载识别。日本 FANUC M410i 系列码垛机器人软件体系也非常强大,PalletTool/PalletPROTM 用于码垛设置、仿真和操作;Supports Collision GuardTM 用于减少机器人、夹持器、箱/袋以及外围设备的碰撞损坏;基于网络的软件工具用于远程联机、诊断和生产监控;还专门配备了机器视觉引导系统,用于引导机器人完成拆垛和检查工作。

1.2 应用现状

国外先进的工业机器人技术和高度发达的机器

人产业使得码垛机器人在各行各业都得到了广泛的应用。

奥地利、瑞士、挪威等国家的酿酒厂、咖啡企业以及食品生产厂家,为减轻工人的负担,提高生产能力,降低产品破损率,利用 2~3 台 KUKA 码垛机器人,借助特殊的智能末端执行器,精准地抓取(或吸取)纸盒、香蕉纸箱、啤酒塑料箱或托盘,完成搬运和码垛(或拆垛)。基于 PC 的控制平台确保机器人能同时处理 4 条生产线和多种类型产品,整个过程中对象不会承受过大的夹持力或吸力,而且紧凑的设计使机器人的占地面积和工作空间达到了理想的水平^[6]。

美国润滑油制造商 JTM 公司^[7]选择 Motoman Model UP165 型机器人用于箱装和桶装润滑油的码垛,该机器人为 6 轴机器人,采用 AC 伺服电机驱动。专门设计的真空吸附式末端执行器由 23 个直径为 75 mm 的真空吸头组成,每个真空吸头的控制阀由 PLC 实现控制,可一次吸取 2 个箱子或 3 个桶。采用码垛机器人后,每年可完成 200 000 桶和 150 000 箱润滑油的码垛作业,是人工工作量的近 2 倍。

Eric Hemmingson^[8]指出 ABB FlexPalletizer IRB640 型码垛机器人极大迎合了食品和饮料行业的需求,可用于纸盒、箱、袋类产品的包装、码垛、拆垛,其最大的特点之一就是弧形的上部手臂。腕关节的后仰不需要转动上部手臂,而由和上部手臂平行的连杆驱动实现。真空夹持器的动作由电磁控制器和真空泵实现。该码垛机器人的“大脑”是 ABB S4C 控制系统,系统的核心是基于微处理器的控制器,利用 CAN 现场总线实现通讯。该控制系统配备一个存有不同状况信号的双通道安全系统,确保机器人安全运行。

Hershey 公司^[9]利用 3 台 Motoman 码垛机器人将 3 条生产线上不同类型的糖果纸箱集中码放在一个货盘上,然后送到发货中心。不同类型纸箱的码垛模式已经编好程序输入机器人,每一层的码放模式由纸箱尺寸决定,如果纸箱尺寸发生变化,预存的码垛程序需由技术人员从内存中调出,从而实现快速转换。每台机器人安装了柔性真空吸附系统,可自动控制需要触发的吸附手个数,以满足所需要拾取纸箱的个数。

J. Norberto Pires^[10]开发了玻璃码垛系统,利用 ABB IRB4400 工业机器人完成玻璃的吸取和码放。该系统采用 ABB S4C 控制器,配备 PLC S7-300 控制机器人外围设备。带有接触式图像传感器的真空吸附装置可实现玻璃的吸取以及货盘参数的测量,每块

玻璃从识别、吸取到码放完毕需要 9 s。软件系统利用 VC 开发,基于远程 PC 进行监控,可在线修改产品和工作参数,实现人机协作。

1.3 国外机器视觉技术的应用现状

机器人视觉技术是近年来机器人核心技术的一个研究热点,国外各大机器人生产商也逐渐推出带有先进视觉定位系统的机器人产品,机器人可以自动识别被抓取物的形状和位置,使得码垛作业更为灵活^[4]。例如,FANUC iR Vision 2.5DL 视觉系统处理视觉传感器拍摄到的物体影像的大小,计算出该物体 Z 方向的高度,然后计算出偏移数据将之补偿到 X、Y、R 和 Z 方向,只需用一个摄像机就能完成对码垛工件的抓取。ABB 公司 Flex Picker 系列机器人利用视觉系统获取传送带上的产品图像,对产品进行检测和定位,引导机器人拾取传送带上的产品,然后码放至纸托盘中^[5],主要用于巧克力、饼干、药品、小型电子元器件、零部件的抓取、码放和装箱。国际先锋公司选用 FANUC 重载机器人,配备视觉系统用于观察种子袋子上的公司标志,计算出每个标志的坐标,然后确定末端执行器的 3 个真空杯能否触到 3 个袋子。该视觉系统主要应用一个 CCD 摄像机获得图像数据,直接传输给机器人进行处理。

目前,国外码垛机器人技术及应用特点体现在以下几个方面^[11]:

1) 码垛机器人本体采用新结构。广泛采用有限元、模态分析及仿真设计等现代化设计方法,机器人大臂采用非平行四边形单连杆机构,工作空间有所增加,本体自重进一步减小,更加灵巧。先进的 RV 减速器和强大的关节交流伺服电机,提高了机器人的运动精度、平稳性和跟踪精度。针对不同操作对象和工作要求,开发了配备力觉、触觉传感器的多种结构型的智能末端执行器,可实现多种产品的包装、搬运、码垛、拆垛等作业,并确保对产品不会造成损坏。

2) 控制系统性能优越。基于 PC 的控制系统体积越来越小型化,实现了软件伺服和全数字控制,具备网络通信功能,程序容量大,可控制的轴数可达 27 根。采用多功能、大屏幕的示教盒,机器人编程方式以示教编程方式为主。

3) 国外码垛机器人广泛应用在包装、物流、食品、饮料、化工、建筑、医药等行业,可完成食品、药品、啤酒饮料等多种产品的装箱、搬运、码垛、拆垛等作业,实现了传统制造企业生产自动化,大大提高了生

产能力和经济效益。

2 国内码垛机器人研究与应用现状

我国工业机器人研究和应用开始于 20 世纪 70 年代,受当时经济体制等因素的制约,发展比较缓慢,研究和应用水平比较低^[12]。进入 20 世纪 80 年代以后,随着改革开放的不断深入,我国工业机器人技术的开发和研究才达到一定水平,码垛机器人技术也得到了快速的发展。

2.1 研究现状

目前,我国自主研发的码垛机器人的结构型式主要有直角坐标型、关节型^[1]。直角坐标型码垛机器人为 4 轴机器人。4 根运动轴对应直角坐标系中的 X 轴、Y 轴和 Z 轴,以及 Z 轴上带有的一个旋转轴。直角坐标机器人的传动主要是通过驱动电机的转动带动同步带运动,同步带带动直线导轨上的滑块运动^[13]。直角坐标机器人具有定位精度高、空间轨迹易于求解、计算机控制简单等优点,但所占空间大、对工作范围小、操作灵活性差、运动速度较低。

与直角坐标机器人相比,关节型机器人机身小而且动作空间大,动作灵活,可满足更多的生产要求,应用范围更广。为了提高国产关节型机器人的市场竞争力,促进产业化发展,在近 10 年的时间里,我国涌现出一批具有较强实力的专家企业、产业基地和科研院校^[12]。沈阳新松机器人自动化股份有限公司为满足客户特定环境下的需求,成功开发了码垛机器人系统。哈尔滨工业大学于 2004 年推出的 1600 型基于 FFS 的高速高精度称重包装码垛生产线,采用全新结构型式与原理的新型全自动称重、包装、机器人码垛生产线,生产能力可达 1 600 包/小时以上。

上海交通大学机器人研究所携手沃迪包装科技有限公司开发出了新一代 TPR 系列码垛机器人,具有独特的线性四连杆机构,采用高强度铝合金制造的节能环保手臂,生产能力可达 1 600 包/小时。基于工业 PC 的控制器系统以及码垛现场 3D 仿真和自动干涉检测,大大提高了系统的可靠性、易操作性和可维修性。

苏海新等人^[14]开发了新型工业码垛机器人,其主体结构是基于平衡吊原理的七杆机构,具有 4 个自由度;开发了一种基于 IPC 和 PMAC 的模块化分布式控制系统,集主机通讯、运动控制、后台任务处理等

基本功能于一体,具有开放性强、实时性好、伺服控制精度高等特点。

李成伟等人^[15]研究设计了一种 4 自由度并联关节式搬运码垛机器人,只需更换手爪,即可对硬纸箱、塑料箱、袋状物、盒装物等搬运码垛。控制系统设计采用了基于 PC 的模块化分布式控制结构,上位机采用普通工业 PC,实现监控和作业管理,下位机采用 PMAC 运动控制卡和 PLC 可编程控制器,实现运动规划和控制。

杨灏泉等人^[16]研制了一种通用拆垛、码垛 SCARA 机器人,采用水平关节的机械结构形式,以基于 PC 的开放式 DSP 多轴运动控制器作为控制系统的核心,采用标准总线结构,使系统具有良好的可扩展性和网络通讯功能;使用面向对象的开发模式,自主开发了机器人控制软件,实现了机器人监控、示教、文件管理、参数设置、轨迹规划和伺服控制等。

2.2 应用现状

目前,我国生产力总体水平较低,劳动力便宜,科研人才缺乏,大多数企业的生产自动化水平偏低,企业发展意识落后,先进码垛设备和机器人的使用受到限制,只在一些大型知名企业得到了应用。

20 世纪 90 年代中期至今,青岛、玉溪等卷烟厂^[17]采用码垛机器人对其卷烟成品进行码垛作业,节省了大量人力,减少了烟箱破损。码垛机器人配备条码识别器可以实现 2 种以上品牌产品的码垛;利用真空吸盘可以实现成品拆垛;利用图像识别系统和多功能机械手,实现了各种辅料托盘的识别和抓取,完成卷烟辅料的搭配作业。

制米工厂^[18]利用 4 自由度圆柱形机器人,将自动立体仓库中 5 kg 或 10 kg 的米袋抓起码放至托板上,堆放高度可达 10 层,机器人水平行程可到 1 200 mm,回转角度大于 360 度。该机器人采用直流伺服电机驱动,具有控制性能优越、效率高等优点,能满足米袋码垛工作要求。

我国是世界最大的啤酒生产和消费国家,如何降低物流系统的成本,提高效益与服务质量,成为竞争的新焦点。采用先进的物流技术和自动化设备是获得市场优势的主要战略之一。目前,青岛啤酒、燕京啤酒、广州珠江啤酒、东莞雪花啤酒等知名大型啤酒生产企业已经采用全自动、半自动码拆垛设备和机器人系统,码垛效率得到了极大提高,现在的设备基本可以完成 48 000~60 000 瓶/小时的码垛要求^[19]。

1.2.3 国内机器视觉技术的应用现状

目前在我国物流包装企业中机器视觉技术的应用主要包括:包装外观印刷品检测、药品包装检测、烟包包装检测、啤酒饮料生产线中玻璃瓶检测等^[20-21]。其基本原理^[22],是利用 CCD 相机和图像采集系统获取目标的图像,经过计算机图像处理系统处理和分析,获取目标的特征,根据预设的容许度和其他条件输出结果。

焦恩璋等人^[23]以 Motoman UP6 机器人为基础,构建了基于机器视觉的生产线分拣系统。该系统将相机拍摄到的图像传输到图像采集卡,经由计算机软件进行分析,选择基于背景减法与基于二值化的目标检测方法,选择线性判别函数法进行目标识别。该系统采用了 GNN 算法对目标进行跟踪,并采用 Kalman 滤波的估计功能来估计目标未来的位置,为机器人抓取动态目标提供信息,最终控制机器人实现流水线分拣动作。

蒋明尧^[24]利用了 ABB UP6 机器人完成生产线中玻璃自动堆垛的作业任务,为避免玻璃在堆垛过程中产生擦伤并保证堆垛精度和速度,开发了机器视觉系统,利用带有透镜径向一阶畸变的小孔摄像机、625 线扫描系统、视频图像采集卡等装置和特征位方法识别零件,并通过质心法结合特征点及最小二阶矩进行定位,产品识别正确率达 100%。

目前机器视觉技术主要针对产品和包装件的外观质量进行检测,而结合机器人技术在码垛、拆垛作业中,对产品和包装件形状和定位的研究和应用较少,还有待进一步拓展。

经过 20 多年的发展,我国工业机器人技术及在码垛方面的研究和应用特点主要体现在以下几点:

1) 我国在机器人运动学、动力学与机构综合,机器人运动控制算法的研究,以及示教编程、离线编程技术、传感器控制系统方面,基本掌握了工业机器人所有关键技术^[12]。

2) 研制出了交、直流伺服驱动系统,RV 减速器等基础元器件和单元技术。在控制系统方面,我国已经开发出了分级分层控制系统,并有不少已投入使用。总之,我国在机器人基础研究、关键元器件开发、机器人整机设计、周边设备开发以及机器人应用等方面取得了不少成绩,形成了一支强有力的队伍^[12]。

3) 我国码垛机器人目前多应用在啤酒、饮料、食品、烟草、物流等劳动强度大、生产量大、工伤事故率

高的企业,为提高企业生产自动化水平、生产能力,改善企业生产和管理环境,增强企业竞争力,做出了很大的贡献^[25]。

3 码垛机器人存在的问题及对策

尽管日、德、瑞等发达国家的码垛机器人研发工作取得了很大的成果,我国近几年的自主研发也取得了一定的成绩,但是目前仍存在一些需要改进,存在一些难题需要攻破。

3.1 存在问题

1) 码垛能力有限。码垛机器人的工作能力与其机械结构、工作空间、灵活性有关。笨重复杂的机械结构必然导致机器人活动空间和灵活性能大大下降。目前,国内外码垛机器人多采用2个并联平行四边形机构控制腕部摆动的关节型机器人,这样取消了腕部电机,减少了一个关节的控制,同时四边杆起到平衡作用,但机器人前大臂、后大臂以及小臂构成的四边形限制了末端执行器工作空间的提高;而且四连杆机构也增加了机器人本体结构的复杂性和重量,降低了机器人运动的灵活性,必然会影响工作效率。

2) 适应能力有待提高。现代工业生产具有小批量多品种、更新换代频繁、分工细化的特点,码垛机器人必须面对一机多产品、一机多盘、一机多线等情况。产品(或包装件)的尺寸参数和码垛模式是事先编好程序输入码垛机器人的,机器人本身无法对对象进行识别。一旦产品(或包装件)类型、参数发生频繁变化,必然导致码垛机器人无法快速识别,空等时间过长,无法适应对象和环境的快速变化。

3) 可靠性、稳定性需提高。相比焊接、装配等作业的复杂性,码垛机器人只需完成抓取、码放等相对简单的工作,因此,码垛机器人的可靠性、稳定性相比其他类型的机器人要低。由于工业生产速度快,而且抓取、搬运、码放动作不断重复,这就要求码垛机器人具有较高的运动平稳性和重复精度,以确保不会产生过大的累积误差。

4) 智能化程度有限。码垛机器人要求能够长时间工作,故障率要低,并能适应包装环境和操作对象参数的变化,而且生产速度快增长要求设备高速运转,进而要求配备先进的自动控制装置及配套设施,以确保机器人运行平稳、操作人员以及操作对象的安全,因此要求机器人本身具有监控、检测、警示、诊断、

修复等智能功能。

5) 机器视觉技术需不断完善。机器视觉技术的运用提高了机器人对产品和包装件的适应能力,但在获取物体三维信息和运动物体的有效图像方面,还存在一些尚未解决的难题,提高图像处理算法速度也是目前急需解决的问题^[18]。

6) 成本高、品种繁多。码垛机器人的设计、制造是一项系统工程,费时费力,其操作环境和对象具有多样性,用户需求也有多样性,导致品种规格繁多、零部件质量低、结构性能差、整机外观缺乏美感,不利于企业的批量化、规范化运作,无法降低成本,市场竞争力低下,而且设备的使用和维护都需要相当高的费用和技术水平。物流包装企业生产和管理相对落后、不规范等原因,导致码垛机器人需求量很小。

7) 微型、高负载型码垛机器人的研发有待提高,码垛机器人的应用范围有待拓宽。目前用于食品、药品的微小型码垛机器人以及重、大型包装的高负载型码垛机器人为数较少,开发力度有限。而且码垛机器人的应用主要集中在常规环境中,高温、高湿、低温等这些特殊环境会对机器人本体的金属、润滑油等造成严重的影响,必然导致码垛机器人无法正常运作。因此,码垛机器人在特殊环境下的应用技术有待提高。

3.2 解决对策

为了很好地解决以上问题,解除限制码垛机器人产业发展的因素,可以从以下几方面加强探索和研究:

1) 采用优化设计的模块化、可重构化机械结构。取消并联平行四边形的机构形式,采用集成式模块化关节驱动系统,将伺服电机、减速器、检测系统三位一体化,简化机器人本体结构。探索新的高强度轻质材料或复合材料,进一步提高机器人的耐受性、负载和自重比。重视产品零部件和辅助材料质量,如轴承和润滑油,努力提高零部件及配套件的设计、制造精度,从而提高机器人整体运动动作的精准性、可靠性。开发多功能末端执行器,不需更换零部件,便可实现对箱类、盒类、袋类、桶类包装件以及托盘的操作。将机器人本体安装在滑轨上,可进一步提高机器人的工作空间。

2) 研究开放式、模块化控制系统,重点是基于PC的开放型控制器,实现机器人控制的标准化、网络化。开发模块化、层次化、网络化的开放型控制器软件体系,提高在线编程的可操作性,重点研究离线编程的实用化,实现机器人的监控、故障诊断、安全维护

以及网络通讯等功能,从而提高机器人工作的可靠性和稳定性。

3) 采用视觉、力觉、触觉、温湿度传感器等多传感器融合技术,对目标对象和周围环境进行建模和决策控制,可实现机器人对不同类型、不同重量包装件或包装物的识别,测量三维参数,精确确定其实际位姿,检测产品和包装外观缺陷,并对后续操作做出判断和决策,如计算码垛模式,末端执行器采用何种执行方式、吸持(或夹持)力度等。

4) 开发或优化控制算法、视觉系统图像处理算法以及软件算法,提高机器视觉硬件技术水平,缩短机器人反应、处理、动作的时间,提高运动速度和工作效率。

5) 为了提高生产微小型产品,如糖果、药品等食品、医药企业的包装码垛能力,并联机器人是未来发展的方向,重点研究如何优化设计每个零部件的结构尺寸以获得最大速度。并联码垛机器人与串联码垛机器人的多机器人串/并联工作布局,可以实现包装码垛高速化。

6) 构建模块化、通用化、标准化、系列化的机器人硬件体系和软件体系,可大大降低机器人设计、制造、操作、编程、维护保养的费用;制定物流包装码垛行业标准和相应政策,探索发展模式,规范化运作^[26];政府鼓励企业生产和应用机器人,针对危险恶劣的工作环境,强制使用码垛机器人,可大大增加码垛机器人生产和应用的需求。

4 结语

从国外码垛机器人的研究现状来看,目前的研究正处在实用推广阶段,我国在这方面的研究正处在自主研发的起步阶段。要想让码垛机器人在我国物流包装行业推广开来,必须对我国国情和行业现状进行深入广泛的调查研究,针对企业生产情况、客户要求以及码垛机器人存在的问题与不足,研究开发码垛机器人的新功能、新特点,以适应企业生产的实际情况,并积极探索码垛机器人产业发展模式。另外,高负载型机器人、并联机器人、多智能体调控技术、远程遥控、网络化机器人控制技术以及机器视觉高精度检测和引导,将是工业机器人及其在包装码垛方面的重点发展方向。在不久的将来,码垛机器人技术会越来越完善和成熟,在国家政策的支持下,机器人软、硬件研

发力度及人才队伍建设不断加大,机器人知识的广泛普及,将使码垛机器人广泛应用于工业生产中,并最终走向产业化。

参考文献:

- [1] 胡洪国,高建华,杨汝清. 码垛技术综述[J]. 组合机床与自动化加工技术,2000(6):7-9.
- [2] 毕胜. 国内外工业机器人的发展现状[J]. 机械工程师,2008(7):5-7.
- [3] 库卡柔性系统制造(上海)有限公司. KUKA 机器人的特点及应用[J]. 自动化博览,2007(6):58-59.
- [4] 梅江平. 高速包装机器人技术与应用[J]. 机器人技术与应用,2007(5):18-20.
- [5] BRANTMARK Håkan,HEMMINGSON Eric. FlexPicker with PickMaster Revolutionizes Picking Operations [J]. Industrial Robot: An International Journal,2001,28(5):414-419.
- [6] MAHALIK Nitaigour P. Processing and Packaging Automation Systems;a Review[J]. Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety,2009,3(1):12-25.
- [7] BLOSS Richard. JTM use Motoman to Stack Pails of Lubricants[J]. Industrial Robot,2006,33(1):24-26.
- [8] HEMMINGSON Eric. Palletizing Robots for the Consumer Goods Industry[J]. Industrial Robot,1998,25(6):384-388.
- [9] BLOSS Richard. Palletizing Candy Orders and Never Squeezing the Chocolates[J]. Assembly Automation,2010,30(1):32-35.
- [10] PIRES J Norberto. Handling Production Changes Online: Example Using a Robotic Palletizing System for the Automobile Glass Industry[J]. Assembly Automation,2004,24(3):254-263.
- [11] 孙立宁. 机器人技术国内外发展状况[J]. 国内外机电一体化技术,2002(4):29-41.
- [12] 赵臣,王刚. 我国工业机器人产业发展的现状调研报告[J]. 机器人技术与应用,2009(2):9-13.
- [13] 李刚. 工业用码垛机器人[J]. 现代制造,2005(24):40-41.
- [14] 苏海新,韩宝玲,罗庆生,等. 基于 PMAC 的工业码垛机器人控制特性研究[J]. 机械与电子,2009(9):57-60.
- [15] 李成伟,朱秀丽,贡超. 码垛机器人机构设计与控制系统研究[J]. 机电工程,2008,25(12):81-99.
- [16] 杨灏泉,李涛,张勇,等. 基于 DSP 运动控制器的拆垛、码垛 SCARA 机器人研制[J]. 昆明理工大学学报(理工版),2004,29(6):54-58.

- [17] 张印. 码垛机器人应用、故障处理及性能优化[J]. 硅谷, 2009(15):20—21.
- [18] 余晓明,管会生,曾晓芳. 四自由度机器人在米袋码垛系统中的仿真研究[J]. 黑龙江水专学报,2008,35(2):95—98.
- [19] 王玉蓉. 我国啤酒码垛及设备应用研究[J]. 湖北经济学院学报(人文社会科学版),2010,7(7):65—66.
- [20] 朱作付,徐超,葛红美. 机器视觉技术在包装领域的应用[J]. 包装工程,2010,31(3):124—127.
- [21] 邱泓,张辉. 基于机器视觉的玻璃瓶码垛机检测与搬运系统设计[J]. 仪表技术与传感器,2010(4):79—80.
- [22] 师宁. 计算机视觉在包装行业中的应用[J]. 邢台职业技术

术学院学报,2008,25(3):27—29.

- [23] 焦恩璋,杜荣. 工业机器人分拣技术的实现[J]. 组合机床与自动化加工技术,2010(2):84—87.
- [24] 蒋明尧. ABB UP6 工业机器人在玻璃自动码垛系统中的应用[J]. 科技资讯,2007(1):168—169.
- [25] 崔秦元,侯约强. 机器人(码垛机械手)发展的前景与应用[J]. 中国食品工业,2008(10):47—48.
- [26] 陈辉. 浅析全自动包装码垛机器人[J]. 科协论坛,2009(10):78—79.
- [27] 杨福馨. 机器人技术在包装中的应用研究[J]. 包装世界,2005(1):36—39.

(上接第 66 页)

实验检测,系统全程位置控制的绝对误差在了 $\pm 2.0 \mu\text{m}$ 内,相对误差 0.667%,控制精度不逊于德国、日本的高水平系统;与目前流行的采用 PLC 作为控制器的进口系统相比,更有利于降低成本。本系统结合墨斗操作台控制系统、PC 机控制系统组成成套产品,通过了印刷车间实际复杂环境的考验,实践证明系统操作简便、性能稳定可靠、抗干扰能力强。同时,本设计为国内胶印机智能化油墨预置系统的实现创造了条件,有利于推动国产胶印机的自动化、智能化进程,具有良好的市场应用前景。

参考文献:

- [1] 卫延斌,史仪凯,康晓兵. 胶印机输墨系统计算机控制与设计[J]. 包装工程,2006,27(3):92—94.

- [2] 江丰邑. 信息时代的数字化印刷技术应用与展望[J]. 丝网印刷,2007(2):4—5.
- [3] 高谦,张乃龙,张跃明. 数字化胶印机上位机控制系统的开发[J]. 包装工程,2008,29(8):7—9.
- [4] 郭宽明. CAN 总线原理和应用系统设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1996.
- [5] 刘和平,刘林,余红欣,等. PIC18Fxxx 单片机程序设计及应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2005.
- [6] 吕艳辉,张跃明,苏宇刚. 采用 PIC 单片机的墨斗电动机控制系统的设计[J]. 现代制造工程,2009(7):125—127.
- [7] 孙立志,赵辉. 三相方波无刷直流电动机 PWM 的实现[J]. 微电机,2003(5):29—38.
- [8] 成俊康,张涛. 用 8253 和 L6203 实现直流电机 PWM 调速控制[J]. 中国测试,2009(1):29—38.

(上接第 76 页)

拟值模拟,验证了模型的准确性。该模型可以较好地对待调频加网图像的色彩进行预测,有效控制网点扩大,指导印刷生产实践,进一步提高调频加网印刷品图像的质量。

参考文献:

- [1] 邝敏威,陈新. 调频加网技术分析和研究[J]. 包装工程,2002,23(5):12—14.
- [2] 周世生,李举. 调频加网有效网点面积率的研究[J]. 包装工程,2006,27(3):57—64.
- [3] ARNEY J S, ENGELDRUM P G, ZENG H. An Expanded Murray-Davies Model of Tone Reproduction in Half-tone Imaging[J]. Journal of Imaging Science and Technology, 1995, 36(6):502—508.
- [4] 张逸新. 数字印刷原理与工艺[M]. 北京:中国轻工业出版社,2007.

- [5] ZHANG Yi-xin, ZANG Dong-juan, GE Jing-huan. Reflectance Model for Color Halftone Images [J]. Acta Photonica Sinica, 2007(36):339—341.
- [6] ARNEY J S. A Probability Description of the Yule-Nielsen Effect[J]. Journal of Imaging Science and Technology, 1997, 41:633—640.
- [7] ROGERS G L. A Generalized Clapper-Yule Model of Half-tone Reflectance[J]. Color Research & Application, 2000, 25(6):402—407.
- [8] ARNEY J S, TSUJIFA A. Symmetry Properties of Half-tone Images II: Accounting for Ink Opacity and Dot Sharpness [J]. Journal of Imaging Science and Technology, 1999, 43(4):359.
- [9] NYSTRÖM Daniel. High Resolution Analysis of Half-tone Prints[D]. Linköping University, Sweden, 2008.