

基于用户体验与AD理论的机器人磨抛生产线交互界面设计

杨涛¹, 吴婷², 朱悦涵¹, 李济泽¹

(1. 福建工程学院, 福州 350108; 2. 福州海峡职业技术学院, 福州 350011)

摘要: **目的** 分析介绍了机器人磨抛生产线控制系统的特点和设计目标,从用户体验的要素与交互界面设计原则出发,力求设计出简洁易用、性能稳定、面向多方人员的交互控制界面。**方法** 基于AD理论,建立用户体验要素与信息架构、系统安全、交互响应模式、界面图标、色彩搭配等方面的功能需求,即过程控制参数间的映射,逐步优化设计的交互性能。**结论** 简便、优良的交互设计源自于合理的交互行为逻辑模式和与之相对应的表层界面,面对复杂的交互系统,基于用户体验的要素与AD理论结合的模式能得到更优化的设计结果。

关键词: 工业设计; 交互界面; 磨抛生产线; 用户体验; AD理论

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)24-0070-05

The Robot Grinding and Polishing Production Line Interface Design Based on the User Experience and Theory of AD

YANG Tao¹, WU Ting², ZHU Yue-han¹, LI Ji-ze¹

(1. Fujian University of Technology, Fuzhou 350108, China; 2. Fuzhou Strait Vocation & Technological College, Fuzhou 350011, China)

ABSTRACT: It analyzes and describes the features and design goals of robotic grinding and polishing production line control system, starting from the elements of user experience and principles of interface design, and strives to design a simple and easy to use, stable, multi-staff for interactive control interface. Based on the AD theory, it establishes the inter-parameter mapping between elements of the user experience and information architecture, system security, interactive response mode, interface icons, color matching and other aspects of functional requirements to process control parameter, gradually optimized design interactive performance. Simple, good interaction design derives from the rational logic patterns and interactions with the corresponding surface of the interface, the face of complex interactive system, based on the combination of factors and AD theoretical model of the user experience which can obtain more optimized design results.

KEY WORDS: industrial design; interaction interface; grinding and polishing production line; user experience; AD theory

机械制造的自动化产业升级方兴未艾,装备的自动化、智能化操作一方面要求硬件设备的升级换代;另一方面,对控制系统提出更高要求,交互控制界面需更符合人的行为习惯,适应更复杂的控制系统、适用于更广泛的操作群体。这里的机器人磨抛生产线控制系统设计目标为:五金毛坯工件磨抛工艺生产设定,生产状态监控,生成企业管理所需要的数据报表,

设备调试,设备维修等方面的设定、控制。

1 交互设计中的用户体验要素

交互设计^[1-2]秉承以用户为中心、以人的行为动作为中心的理念^[3],以用户体验度为原则对交互过程进行研究并展开设计。

收稿日期: 2015-08-11

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)(2013AA041006)

作者简介: 杨涛(1981—),男,河北人,硕士,福建工程学院讲师,主要研究方向为工业设计、公理设计和产品研发。

用户体验是用户使用产品的心理、感受,以及之后对产品的印象和评价^[4]。以用户为中心的设计强调创建吸引人的、高效的用户体验的方法^[4]。在开发产品的每一个步骤中,都要把用户列入考虑范围。把用户体验分解成各个组成因素,从不同的角度来了解它。用户体验的要素见图1。

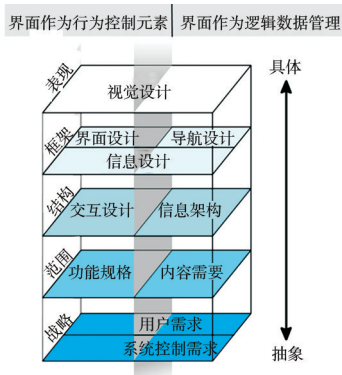


图1 用户体验的要素

Fig.1 Elements of the user experience

在交互设计过程中,需针对用户需求,从战略层出发,确定总体目标,设定功能规格范围,然后设计合理的信息架构和交互方式,最后设计框架和视觉界面。从思路和内涵角度把握交互设计的总方向。

机器人磨抛生产线控制系统交互主要涉及数据的输入与反馈、动态监控与维护等内容,交互元素包括文本、图形、影像、声音。

2 AD理论组织设计过程

机器人磨抛生产线交互控制系统涉及众多方面和层次,具有相当大的复杂性,为了清晰地开展后续设计,并对设计方案进行优化、评价,减少试错式的设计方式造成的时间、成本等方面的浪费,采用了AD理论^[5~7]作为后续方法论支撑。

AD理论(公理设计理论)由美国麻省理工学院的SUH教授于20世纪70年代提出的,其目标是改变以往人们所固有的认为设计是靠设计师的经验、灵感突现的成见,总结出类似于力学中的牛顿定律的设计领域定律来指导设计活动^[8-11]。公理设计理论主要内容为建立顾客需求与设计实现间的映射^[5-7],在将需求转换为设计语言功能集后利用映射矩阵逐级求解,直至寻求到具体的解决方案。在求解过程中运用功能独立性原则和信息含量最少原则对设计过程进行控制、评价,以期获得最优化的设计方案。公理设计域的映射结构见图2。

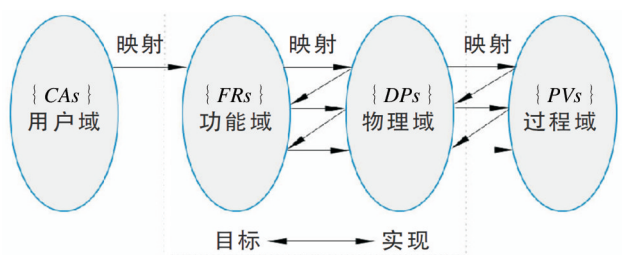


图2 公理设计域

Fig.2 Axiomatic design domain

功能域和物理域之间的映射可用设计方程的形式表示为^[5-7]

$$\{FR\}=[A]\{DP\} \quad (1)$$

式中: FR 为功能需求集向量; DP 为设计参数向量; A 为设计矩阵^[5-7,11]。

公理设计理论是一种设计哲学,它不仅可以解决工程问题,也可以解决设计、管理类问题,构建的设计矩阵从形式上看是数学形式,但不是数学运算,而是通过设计矩阵指代向量间的正、负相关关系,设计方程中的向量往往指代功能需求和能满足需求的设计参数。建立设计方程首先可以帮助设计师全面理解各种需求,并通过设计构思,结合其他工程技术人员的需求到可以满足功能需求的工程技术方案,这样就将设计语言转换成为工程语言,从而避免设计失误、空泛、不切实际;其次,通过分析设计矩阵,可以判断出满足功能需求的设计参数是否存在耦合,也就是说要保证选取的设计参数其值的变化不要给其他功能需求产生坏的或是不好的影响,即保证功能独立性;最后,为避免设计随意性造成的成本浪费等弊端,公理设计中的信息含量最少原则可以对设计方案进行公正、合理的评价,确保设计过程的科学、合理性。

3 磨抛生产线交互界面设计

目前,铸造成形的水暖五金毛坯件表面打磨处理一般采用人工打磨的处理方式,其效率低、成本高、操作环境恶劣、加工精度难以保证;部分大型企业采用单体机器人磨抛中心进行打磨处理,加工精度、成本控制相较于手工操作得到一定提升,但目前的单体磨抛中心只能按照特定程序、特定设备完成部分打磨操作,像上下料、粗抛、细抛、布抛等磨抛工艺组合、衔接,或是整套打磨完成得不到解决,相较于人工操作虽然效率得到一定提升,但仍有很大的提高空间。针对上述问题,本课题组设计开发了一套生产线,采用U形布局形式将5台单体机器人磨抛中心进行布局,通

过环形传输线进行连接,可以完成粗抛、细抛、布抛等全套磨抛工艺流程,采用RFID识别标签配合机器手臂完成自动上下料,并设置了故障检测传感器及声光报警装置。

以往的工业控制界面^[12-14]大多是工程技术人员设计开发的,侧重于控制技术的实现,常见的工业控制界面见图3,从信息架构角度来讲为扁平的层级结构,顶层有很多类目,但层级数很少,对于功能简单的界面来讲,有一定合理性,但对于复杂的工业控制系统来说,会造成交互界面上元素过多,令使用者望而却步,易产生误操作。

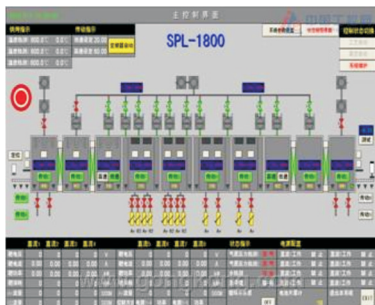


图3 常见的工业控制界面

Fig.3 The common industrial control interface

好的交互最重要的是具有合理的交互行为模式,这需要设计师对应用户体验的要素进行深入研究、发掘,结合认知心理学、逻辑行为学、美学等多发面的知识,按照具体的操作行为逻辑模式组织信息架构,充分设计好信息架构中的组织系统、导航系统、搜索系统、标签系统,利用各种交互手段构建良好的交互界面。

深入比较、理解后发现,用户体验的要素和AD理论在具体设计解决思路上的有些方面具有一致性,用户体验的要素和AD理论都要求先从深层面分析用户需求,之后是逐步求解,最后将需求映射到表现层。为保证设计质量,后续设计过程始终秉承AD理论所要求的功能独立性原则和信息含量最少原则进行管控和评价。

根据公理设计原理,用户提出的设计需求要转换为功能需求,并根据具体的结构或特征,逐级进行分解^[15],对于机器人磨抛生产线控制系统,其总体功能需求FR为系统控制,相应的设计参数DP为控制界面系统;对FR进行细分为:FR₁为安全,FR₂为简便,FR₃为美观。相应的设计参数为:DP₁为安全的登录验证系统和屏幕保护系统,DP₂为简便的交互系统,DP₃为遵循美学法则进行界面设计。在本生产线控制系统中,登录验证系统、屏幕保护系统、交互系统以及遵循美学法则进

行的设计界面是相互独立的,影响主要在交互系统采用的信息架构上,信息架构的形式和交互法则将影响整个控制系统的界面布局 and 详细的界面细节,同时对登录验证系统和屏幕保护系统的调用次数产生影响。后续需对DP₂进行进一步分解。通过分析设计参数和功能需求间的关系得到第一级设计矩阵,见表1。

表1 第一级设计矩阵表
Tab.1 The first design matrix table

功能需求	设计参数		
	DP ₁	DP ₂	DP ₃
FR ₁	1	0	0
FR ₂	1	1	0
FR ₃	0	1	1

注:表中1表示功能需求和设计参数间相互关联,0表示无关联,具有相互关联的设计参数不满足功能独立性原理,需进行进一步分解

在第一层次,DP₁设置登录验证系统和屏幕保护系统,通过设计独立交互验证即可实现,登录验证系统和屏幕保护系统界面见图4^[12]。

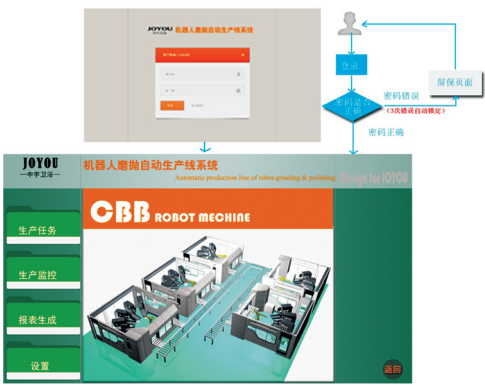


图4 登录验证系统和屏幕保护系统界面

Fig.4 Login authentication and screen protection system interface

设计参数DP₂面向交互系统的操作性能进行设计,可以将FR₂分解为:FR₂₁为符合行为逻辑的信息架构,FR₂₂为避免误操作的交互限制,FR₂₃为完备和多样的监控、反馈,FR₂₄为迅捷&简便的信息交互统计。相应的设计参数为:DP₂₁为导航式层级结构和事件触发反馈交互结合型信息架构,具体形式见图5,DP₂₂为严格的WINCC程序设计方案,DP₂₃为工业级感应器与自动化监控、反馈系统,DP₂₄为结合RFID与优化的传输算法构建信息交互系统,见图6。通过分析设计参数和功能需求间的关系得到第二级设计矩阵,见表2,这里由于篇幅限制,仅分解到第二级,具体设计过程中



图5 信息架构形式
Fig.5 Information architecture

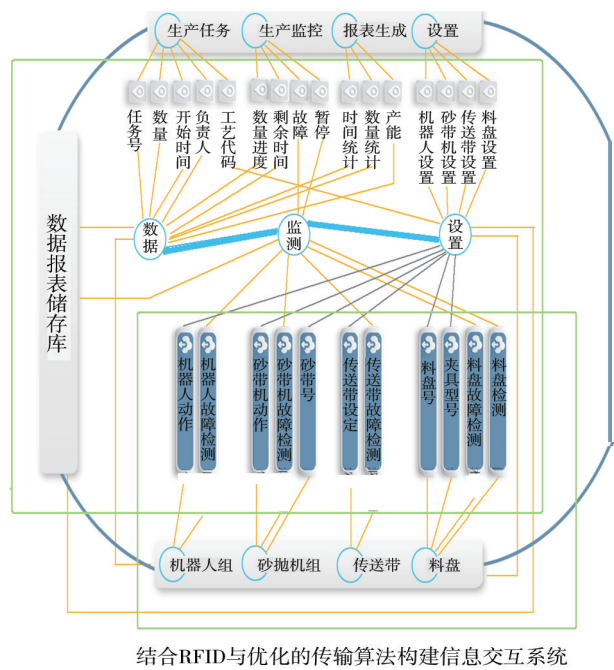


图6 信息交互系统
Fig.6 Information interactive system

需要继续向下分解。

依据公理设计理论信息含量最少原则,在物料传输算法上采用上位机和下位机共同判断的方案。上位机根据自身数据库中料盘的资料和从生产线上采集的实时信息,对任何一个从U型分支线的进口经过的料盘进行判断,给出料盘移动方向的建议(料盘是进入U型分支线或是继续沿着环形主线移动),而该料盘要何时执行该建议,则由下位机按照现场运行情况判断执行。这样的设计使得上下位机之间能够高效的配合,又使得它们之间的通信量最小,使得系统的磨抛单元数目可以很容易扩展。

设计参数 DP_3 遵循美学法则进行界面设计,这一求解过程一般在表现层上实现。在表现层面,本着简洁、直观的理念,兼顾比例、对比、协调、均衡、重复等形式美法则进行具体视觉界面的设计,部分设计页面

表2 第二级设计矩阵表
Tab.2 The second design matrix table

功能需求	设计参数			
	DP_{21}	DP_{22}	DP_{23}	DP_{24}
FR_{21}	1	0	0	0
FR_{22}	0	1	0	0
FR_{23}	0	0	1	0
FR_{24}	0	0	0	1

如图5所示。生产线控制系统交互界面运用公理设计的“之”字映射展开图,见图7。

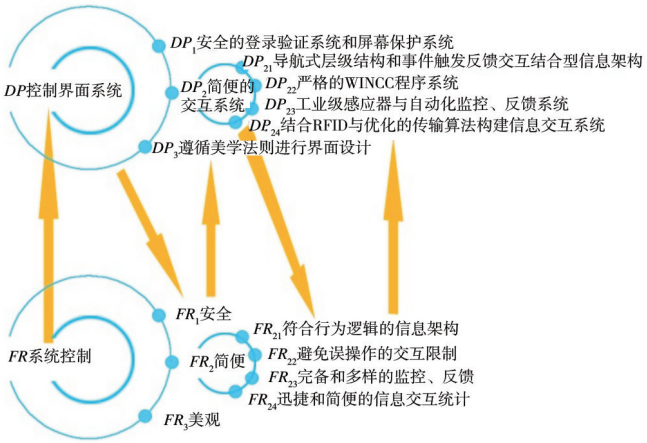


图7 生产线控制系统功能需求和设计参数结构“之”字形分解
Fig.7 Production line control system functional requirements and design parameters of the zigzag structure exploded view

以用户为中心的交互设计理念,体现在实际设计中,强调“简单是美”,这与公理设计理论中的信息含量最少原则有着异曲同工之妙。“简单”是对应于用户而言的,即用户使用起来很简单,不会造成行为障碍,符合用户的行为、认知习惯;对于设计者而言,要做到上述“简单”需进行大量巧妙构思和复杂设计。具体设计过程中,为达到上述的“简单”,一方面在信息架构逻辑性设计上进行了梳理与优化;另一方面,在编程算法上进行了独特构想;最后,在界面的设计上对各个显示要素进行了罗列,对使用频度进行了统计,将功能相近的显示要素进行了合并,设置了合理的拓扑结构和反馈交互路线,为便于操作者识别,采用了通用性、易引起思维联想的图标。

最后,对所形成的最终设计方案进行了实验验证,相较于原来的单体机器人磨抛中心,生产效率提升了35%,每产线设备管理人员由9人减少到2人,交互控制系统培训由原来的14天减少到5天,设备运行出错率减少了27.8%。设计方案得到企业高度评价。

4 结语

好的交互最重要的是具有合理的交互行为模式,这需要设计师对应用户体验的要素进行深入研究、发掘,结合认知心理学、行为学、美学等多方面的知识,深入调查具体应用环境,应用合理的方法论有条不紊地进行,基于用户体验的要素和AD理论相融合的模式在处理复杂的交互界面设计中被证明是切实有效的。从用户体验的角度进行分析,本控制系统使用群体主要为操作工人和基层管理人员,界面设计应遵循“少即是多”的理念,在视觉设计上力求干净、简洁、易用,消除“高技术恐惧症”,这需要界面系统设计人员从最底层的逻辑层面及视觉表现层面进行大量行为学思考与实践,设计方案才能达到上述设计要求。运用公理设计规范界面设计过程,保证了行为逻辑步数最少,一方面令客户操作更为简便,另一方面令控制系统的复杂度最低。

参考文献:

- [1] 罗仕鉴,龚蓉蓉,朱上上.面向用户体验的手持移动设备软件界面设计[J].计算机辅助设计与图形学学报,2010,22(6):1033—1041.
LUO Shi-jian, GONG Rong-rong, ZHU Shang-shang. User Experience Oriented Software Interface Design of Handheld Mobile Devices[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2010, 22(6): 33—41.
- [2] 殷俊,宿子顺.基于iOS平台的功能性动画设计研究[J].机械设计,2013,30(9):120—122.
YIN Jun, SU Zi-shun. Research on Functional Animation Design Based on iOS Platform[J]. Machine Design, 2013, 30(9): 120—122.
- [3] 周睿.校园社区网页登录的交互界面设计研究[J].机械设计,2013,30(8):123—126.
ZHOU Rui. Study on the Interface Design of Login Page in the Campus Network Community[J]. Machine Design, 2013, 30 China Machine Press, 2008.
- [4] GARRETT J J.用户体验的要素[M].北京:机械工业出版社,2008.
GARRETT J J. The Elements of User Experience[M]. Beijing: China Machine Press, 2008.
- [5] NAM P S.公理设计[M].北京:机械工业出版社,2004.
NAM P S. Axiomatic Design[M]. Beijing: China Machine Press, 2004.
- [6] 吴婷,杨涛.公理设计引入的产品创新设计课程教学模式研究[J].海峡科学,2012(11):86—89.
WU Ting, YANG Tao. Introducing Axiomatic Design of Teaching-mode Research on Innovation Design Course[J]. Straits Science, 2012(11): 86—89.
- [7] 余海亮,赵勇.基于公理设计与TRIZ的概念设计知识管理研究[J].机械,2008(12):51—54.
YU Hai-liang, ZHAO Yong. Research of Product Knowledge Management Oriented to Product Conception Design Based on Axiomatic Design and TRIZ[J]. Journal of Machine, 2008(12): 51—54.
- [8] 肖人彬,蔡池兰,刘勇.公理设计的研究现状与问题分析[J].机械工程学报,2008(12):1—11.
XIAO Ren-bin, CAI Chi-lan, LIU Yong. Current Research Situation and Problem Analysis of Axiomatic Design[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2008(12): 1—11.
- [9] 陈晓川,刘晓冰,张暴暴.基于公理设计理论的现代设计方法集成研究[J].计算机集成制造系统,2000(6):75—79.
CHEN Xiao-chuan, LIU Xiao-bing, ZHANG Bao-bao. The Integration of Design Methods Based on Axiomatic Design[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2000(6): 75—79.
- [10] 杨涛,王海峰,蔡智聪.基于AD理论的雪枪开发设计研究[J].福建工程学院学报,2013(12):543—546.
YANG Tao, WANG Hai-feng, CAI Zhi-cong. Based on Axiomatic Design Theory of the Snow-Blaster Design[J]. Journal of Fujian University of Technology, 2013(12): 543—546.
- [11] 杨涛,朱志宏,李济泽.基于AD理论的机器人磨抛生产设备造型设计研究[J].机械设计,2014,31(12):114—118.
YANG Tao, ZHU Zhi-hong, LI Ji-ze. Modeling Design of Robotic Grinding and Polishing Production Equipment Based on Axiomatic Design Theory[J]. Machine Design, 2014, 31(12): 114—118.
- [12] 杨涛,朱志宏,李济泽.机器人磨抛自动生产加工中心.中国,201430073648.2[P].2014—10—02.
YANG Tao, ZHU Zhi-hong, LI Ji-ze. Robotic Grinding and Polishing Production and Processing Centers: China, 201430073648.2[P]. 2014—10—02.
- [13] 熊喜秋,江文萍.基于交互体验的智能家居控制面板设计研究[J].机械设计,2014,31(3):113—115.
XIONG Xi-qiu, JIANG Wen-ping. Study of Intelligent Home Furnishing Control Panel Design Based on Interactive Experience[J]. Machine Design, 2014, 31(3): 113—115.
- [14] 张洁,赵英,余红.B2C电子商务网站用户体验评价研究[J].情报科学,2013,31(12):84—90.
ZHANG Jie, ZHAO Ying, YU Hong. Research on Evaluation of B2C E-commerce Site's User Experience[J]. Information Science, 2013, 31(12): 84—90.
- [15] 林晓鹰,侯亮,韩东辉.基于公理化理论的自动装配与焊接系统设计[J].厦门大学学报,2007,46(3):351—356.
LIN Xiao-ying, HOU Liang, HAN Dong-hui. Design of Automatic Assemblage and Weld System Based on Axiomatic Design Theory[J]. Journal of Xiamen University, 2007, 46(3): 351—356.