

基于心智模型的机器人商务平台目录导航研究^{* 1}

王克勤 魏姣姣 罗菁 同淑荣
(西北工业大学设计管理研究所 西安 710072)

摘要: 针对目前目录导航设计存在诸如用户和分类架构师之间的认知差距等问题,采用心智模型这一符号化的知识结构,针对机器人电子商务平台的目录导航设计与实现展开研究。基于符号表征解释的心智模型,针对用户的认知习惯和操作系统,实现心智模型在网页中的映射,并对商务平台目录导航表现模型与用户心智模型的不一致进行分析。进而设计并实现了基于心智模型的机器人商务平台目录导航模块功能。通过改进电子商务平台目录导航设计,可提高用户查找所需商品的速度,提升用户体验,增强用户黏性。

关键词: 机器人; 商务平台; 目录导航; 心智模型; 需求分析

中图分类号: TP311.52; TB47 文献标志码: A 文章编号: 1671-3133(2018)03-0028-08

DOI: 10.16731/j.cnki.1671-3133.2018.03.006

Mental model-based directory navigation design of robot business platform

Wang Kegin, Wei Jiaojiao, Luo Jing, Tong Shurong

(Institute of Design Management, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: Regarding the cognitive gap between the user and the category architect, the mental model with its advantage of symbolic knowledge structure was used to study the design and implementation of the directory navigation in the robot business platform. Based on the mental model of symbolic representation, the mapping mental model in web pages was realized, and the inconsistency between the site directory navigation performance model and the user's mental model were analyzed. Furthermore, the directory navigation module of robot business platform is designed and implemented based on mental model. By improving the design of directory navigation in the robot business platform, the speed of finding the desired commodity could be increased, the user experience could be improved, and the stickiness of user could be enhanced.

Keywords: robot; business platform; directory navigation; mental model; requirement analysis

电子商务平台目录导航设计有助于提高用户查找所需商品的速度,也利于提升用户体验,增强用户黏性^[1]。目前,电子商务平台目录导航设计存在诸如用户与分类架构师之间的认知差距等问题,造成用户在网站查找产品分类的过程中效率低下。研究表明:80%以上的网上买家因为找不到所需的资源最终选择离开商务平台,23%的用户购物过程以失败告终;其中因目录导航设计缺陷而找不到产品是用户放弃购买的主要原因^[2]。

商务平台目录导航信息设计从“以系统为中心”向“以用户为中心”的转换,成为未来信息构建研究的发展趋势。心智模型的应用对于实现这种转换具有

较好的支持作用。心智模型是一种个体内在符号化的知识结构或认知结构体系,包含个体丰富的经验,同时,这些经验会随着新情况的发生而变化^[3-4]。学者们对心智模型的定义有差异,但也有部分共识,认为心智模型是一种符号化的知识结构,能从用户角度出发,理解用户在面对很多信息时,以什么结构来组织这些信息,如何理解信息之间的关系,以及怎样描述它们。将心智模型用于商务平台目录导航设计,有助于提高商务平台目录导航的质量,改善用户体验。如文献[5]设计了一个集成多个电子商务平台的网站推荐系统,这一系统可对用户的检索词进行分析,并将其与各网站的目录对应;文献[6]针对政府网站,使

* 国家自然科学基金项目(71572147, 71402140);教育部人文社科基金项目(12YJC630201);陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2015JM7378);西北工业大学研究生创新创业种子基金项目(Z2017052)

用路径搜索法建立了用户关于分类目录的心智模型;文献[7]通过研究计算机与心智模型的关系,提出了实现模型、表现模型和心智模型的关系图。

机器人商务平台是以机器人及其组成模块交易为核心的电子商务平台,在机器人普及成为发展趋势的情境下,开展机器人电子商务平台及其目录导航研究对于抢占机器人市场具有重要价值。本文借鉴心智模型理论,对机器人商务平台目录导航进行设计,以期提高用户查找机器人商品的速度,提升购物体验,增强用户黏性。

1 心智模型在平台目录导航中的映射与不一致分析

1.1 心智模型在网页中的映射分析

用户知识结构和信念体系都是隐性的^[8-9],其心智模型很难被客观展现,故研究用户心智模型的第一步,便是提取用户心智模型映射。获取心智模型映射的方法有:原因分析、任务分析、概念图法、调查问卷、焦点小组访谈法、情境调查、可用性测试和卡片分类法等^[10-11]。本文通过比较分析各个方法的优劣,采用优缺点互补结合,分析用户心智模型与网站静态信息和动态信息的映射关系。

1.1.1 静态基本模型映射分析

静态基本模型映射包括:网页界面布局、色彩、图形、符号和信息分类所表达的效果以及用户对于静态信息的心智模型之间的映射关系。

1) 色彩:在用户心智模型中,色彩的认知与情感映射如表1所示。

表1 色彩的认知与情感映射

色彩	认知映射	情感映射
红	警示、警告、强调、危险	热烈、热情、喜庆、暴力、不安
橙	提醒、关注	温暖、欢快、亲切、开朗
黄	警告、侵犯、注意	自信、明快、慌张
绿	安全、正确、有序、良好	青春、自由、生机、活力
蓝	信息、低温、正常	稳重、智慧、沉着
紫	已读标识	柔和、浪漫、温柔、神秘
黑	重要、确定、正式	冷静、理智、权威、专业
白	开放区域、空间	平和、纯净、干净、和谐
灰	只读、次要、不可用	低调、高雅、创意、冷漠







2) 布局:用户对布局的心智模型包括对元素的位置、区域形状的认识。布局的心智模型映射如表2所示。

3) 图形符号:图形符号的用户心智模型如表3所示。

表2 布局的心智模型映射

元素	位置	形状
Logo 或标题	左上角	偏平矩形
导航栏	上方横向/左侧纵向	长条形
导航面包屑	导航栏与内容之间	单行文字
主要内容	中间偏上	横向矩形
次要内容	右方/下方	横向矩形
辅助内容	右方	竖向矩形
搜索区域	右上方	横向矩形
个人信息	上方/右上方	单行文字
底部导航	下方	多行文字

表3 图形符号的用户心智模型

图形符号	来源	心智模型
	现实拟物	搜索工具
	现实拟物	邮件
	互联网认知习惯	主页、回到主页
	互联网认知习惯	错误提示
	互联网认知习惯	操作正确
	互联网认知习惯	警告提示

4) 产品信息分类:关键是在平台页面和信息需求等外部事件与用户心智模型之间建立关联,即与用户大脑中已有的符号化知识体系产生映射。

1.1.2 动态基本模型的映射分析

网页动态元素主要指窗口拖动、按钮凹凸变化与颜色变化、链接颜色及加下划线变化等。动态基本模型映射研究主要分析在人机交互系统中,页面上的动态元素交互方式与用户对行为变化信息的心智模型之间的对应关系。

根据在用户对界面操作过程中页面动态元素表现出来的反馈,将用户行为方式分为如下两种。

1) 接受用户行为的方式,包括单击、双击和滚动等操作方式,这种用户行为方式的映射与界面视觉效果、使用情境有关。接受用户行为方式的映射如表4所示。

表4 接受用户行为方式的映射

行为	表达方式	使用情境
单击	视觉效果和所处界面环境	按钮、选项、选中、标签切换
双击	所处界面环境	文件的打开
拖动	视觉效果和所处界面环境	桌面图标、窗口、度量调节
滚动	视觉效果	滚动条的存在,如网页、文本、度量调节
输入	视觉效果	输入框、光标的存在

2) 响应用户行为的方式,包括字体大小变化、按钮状态变化和链接颜色变化等,映射信息为点击或者

选择等。响应行为变化方式的映射如表 5 所示。

表 5 响应行为变化方式的映射

动态元素	映射信息
字体大小变化	可点击/选中
按钮凹凸状态变化和颜色变化	可点击/选中
链接颜色变化	可点击/选中
菜单凹凸和下拉箭头指示	可收起与展开
标签颜色形状变化	可点击切换不同页面
提示动态弹出	提示信息,建议点击

1.2 目录导航表现模型与用户心智模型不一致分析

文献[7]提出的实现模型、表现模型和心智模型的关系图有助于理解平台目录导航表现模型与用户心智模型。实现模型可理解为系统的运行机制;表现模型则可理解为平台设计人员展示系统运行方式的模型,是用户心智模型与实现模型之间的桥梁。

1.2.1 不一致原因分析

在一个既定的平台符号语义关系结构体系下,设计人员通过构建表现模型来传递平台信息内容。表现模型为平台传递内容与平台界面符号之间建立了一一对应关系。在这个过程中,设计人员作为众多个体中的一类,其对事物认知的心智模型会直接体现在表现模型中,由此传递给用户。作为复杂群体的用户,经历、认知结构都不尽相同,因此对同一事件的认知结果以及由此建立的心智模型也会不同。当平台表现模型距离大多数用户心智模型较远时,平台信息传递会因理解不一致而受阻。

1.2.2 不一致危害

由设计人员与用户认知结构差异所导致的系统实现模型和用户心智模型之间的一致,不仅会增加用户认知负荷,还会降低用户搜索效率。

用户对机器人商务平台的认知结构,包括用户对其目录导航的理解及用户心智模型在平台的映射。用户心智模型在平台的映射包括用户对产品的分类认知、色彩认知和页面图形符号认知等。用户在浏览目录导航页面时,通过对界面符号信息的捕获和理解来获取相关信息。

平台目录导航表现模型和用户心智模型如图 1 所示。

2 机器人商务平台目录导航模块需求分析

2.1 模块功能需求分析

目录导航模块使用者包括 3 类:顾客、供应商和网站后台管理员。对顾客来说,其主要功能为实现查询

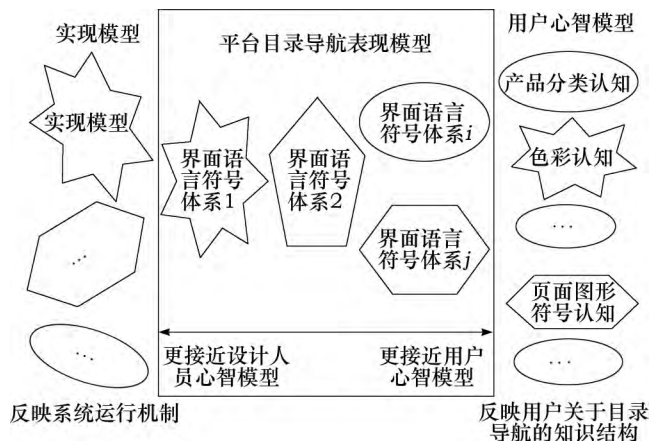


图 1 平台目录导航表现模型和用户心智模型

和搜索产品;对供应商来说,主要功能为支持其上传新的产品;对网站后台管理员来说,主要功能为方便其对产品目录进行管理,如添加、查询及删除电子目录等。

基于顾客、供应商和网站后台管理员的功能需求,将机器人商务平台目录导航模块划分为以下几个功能。1) 分类功能:实现用户对产品一级目录和子目录的点击处理。2) 搜索功能:实现用户对所想要产品的直接搜索。3) 分页功能:实现对单页产品数量较多时的页面分页处理。4) 排序功能:实现用户对页面产品按价格排序、按销量排序等功能。5) 推荐功能:实现以引导链接的方式进行新产品或热销产品的推荐。

2.2 业务流程分析

基于机器人商务平台目录导航模块的 5 大功能,目录导航模块的 3 类用户(顾客、供应商和网站后台管理员)可分别进行相应的操作。

2.2.1 顾客业务流程分析

顾客进入平台后,首先选择查找搜索方式,其次对查找的结果按不同形式进行排序,最后根据搜索排序的结果决定是否购买。顾客查询产品流程如图 2 所示。

2.2.2 供应商业务流程分析

供应商在作为企业用户登录后,可在相应的产品管理模块进行新产品上传。首先,选择该新产品所属的一级目录;其次,在相应的一级目录中选择所属的下级目录;同时,对新产品的属性进行归类 and 标注;若在上传新产品过程中没有所属的目录或者该产品是新型的科技产品,可以向平台后台提出添加目录的请求,请求通过后,供应商进行新产品的上传。供应商上传产品流程如图 3 所示。

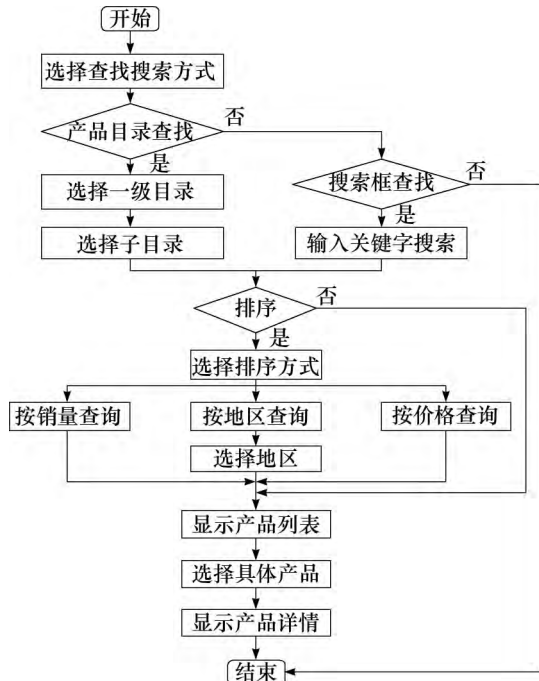


图2 顾客查询产品流程

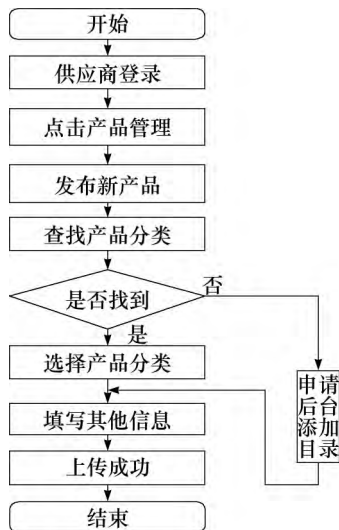


图3 供应商上传产品流程

2.2.3 后台管理员业务流程分析

后台管理员登录后,进入电子目录管理模块,查看相应的目录;随后,可对电子目录进行增加、修改和删除等操作。后台管理员业务流程见图4。

3 基于心智模型的机器人商务平台目录导航设计与实现

3.1 基于心智模型的机器人商务平台目录导航设计

基于目录导航模块的需求分析,将机器人商务平台目录导航设计分为产品分类设计、页面布局设计和数据库设计3部分。

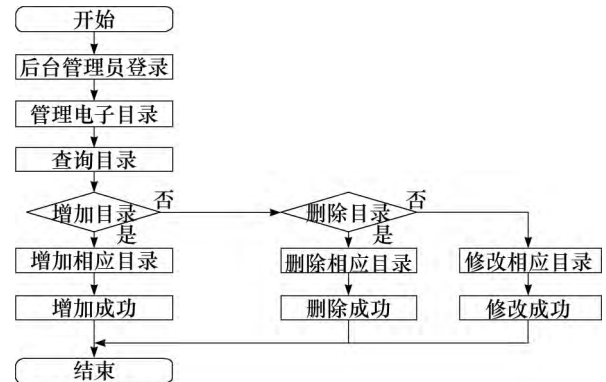


图4 后台管理员业务流程

3.1.1 基于心智模型映射的产品分类设计

已有的产品分类模式一般存留于平台使用者的心智模型中,熟悉感可以让用户更快地寻找到产品类目。通过调研分析已有机器人商务平台的产品分类模式,发现并提取其中应用广泛且成熟的分类模式。借鉴中国机器人网(京)、OFweek 机器人网和环球机器人网等15家机器人网站的产品目录分类,确定本文研究的机器人商务平台初始产品目录分类方案,如表6所示。

表6 机器人商务平台初始产品目录分类方案

类别	分类
工业机器人	点焊机器人、弧焊机器人、喷涂机器人、装配机器人、码垛机器人、搬运机器人、切割机器人、其他机器人
服务机器人	保洁机器人、医疗机器人、教育机器人、娱乐机器人、炒菜机器人、送餐机器人
特种机器人	军用机器人、农业机器人、水下机器人、无人机

文献[12]研究表明,卡片分类法可以帮助理解用户是如何组织和描述信息,以及信息之间的关系,故本文采用封闭式卡片分类法^[12](closed card-sorting)对机器人商务平台初始产品目录分类方案进行修正。同时,面向广大用户进行测试,收集测试意见,避免因个体差异带来的产品目录分类混乱现象的发生,进而确定机器人商务平台的最终产品目录分类方案。该分类方案代表用户心智模型中对机器人商务平台产品信息分类的认知。机器人商务平台的最终产品目录分类方案如表7所示。用树形结构表示机器人商务平台产品一级、二级目录,如图5、图6所示。

3.1.2 基于心智模型映射的页面设计

1) 页面布局设计:用户心智模型在页面布局上的映射包括元素位置、元素交互方式和区域形状认识3部分。为便于用户理解,在页面布局的设计上,本文

表 7 机器人商务平台的最终产品目录分类方案

类别	分类
工业机器人	点焊机器人、弧焊机器人、清洁机器人、喷涂机器人、装配机器人、码垛机器人、搬运机器人、切割机器人、其他机器人
服务机器人	扫地机器人、医疗护理机器人、教育机器人、餐饮机器人
娱乐机器人	玩具机器人
特种机器人	军用机器人、农业机器人、水下机器人、无人机

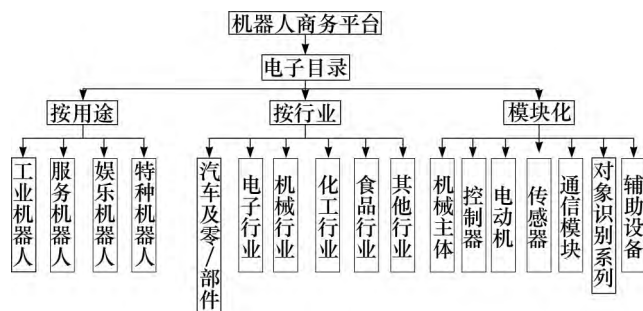


图 5 机器人商务平台产品一级目录

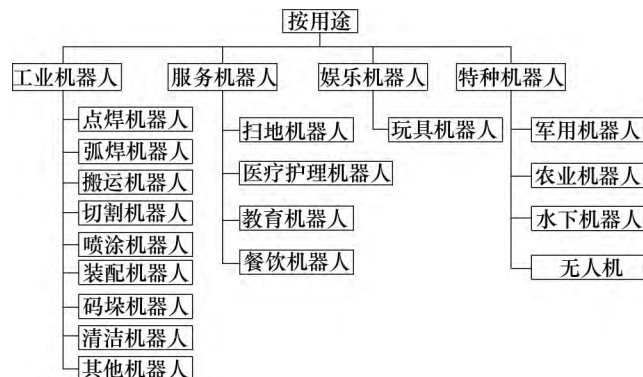


图 6 机器人商务平台产品二级目录

采用用户熟悉的表达方式来组织元素,设计元素的交互方式。常见的页面布局结构^[13]有 5 种“国”字型布局、“T”字型布局、框架型布局、封面型布局和 Flash 型布局。本文结合机器人商务平台的产品特性,采用“国”字型布局和“T”字型布局对机器人商务平台目录导航模块进行设计。

分类导航以树状结构呈现,按级别由上至下排列。用户通过点击各个顶级类目,即可展开进入顶级类目的下级类目,依此类推。这种目录树的结构一般设计在页面左侧,可以隐藏,以增大网页的有效浏览面积。目录展开前、后如图 7、图 8 所示。

每种产品以 4 个模块进行展示:标题、图片、描述和操作区块。对图片和区块采用栅格化设计,并整合栅栏布局命名。同时,为使每个产品橱窗的图标大小

适中,可读性好,通过缩放对比确定图标大小,最终确定为 160 pixel × 180 pixel。



7 目录展开前

图 8 目录展开后

2) 页面色彩设计: 基于色彩认知与情感映射分析,将网站背景色定为白色,主色定为灰色,点睛色定为蓝色。机器人商务平台色彩调和元素如下:背景色十六进制颜色码为 #428bca;主色十六进制颜色码为 #777777;点睛色十六进制颜色码为 #efefef;文本主色十六进制颜色码为 #383838,如图 9 所示。符合心智模型的产品分类目录色彩设计如图 10 所示,不同的分类级别设定不同的颜色,通过颜色的搭配可以显示所在电子目录中所属分类的状态。

背景色:	#428bca
主色:	#777777
点睛色:	#efefef
文本主色:	#383838

图 9 机器人商务平台色彩调和元素



图 10 符合心智模型的产品分类目录色彩设计

3) 页面文字设计: 通过对一般平台文字设计的分析,结合用户心智模型对网页静态、动态信息的映射,确定机器人商务平台页面文字设计标准。

机器人商务平台页面文字字体设置如下:正文汉字为宋体;强调为微软雅黑和黑体;正文英文为 Arial、Helvetica、sans-serif;主菜单字号为一级 18 pixel,二级 16 pixel,三级 14 pixel;模块菜单字号为一级 17 pixel,二级 15 pixel,三级 13 pixel;正文字号为 12 pixel。

文字行距设置如下:行距的常规比例为 10:12,即若字号为 10 pixel,则行距为 12 pixel。行距适当放大后,可增强字体可阅读性。

文字颜色包括:静态字体颜色和动态字体颜色。在静态字体颜色中,一级菜单十六进制颜色码为 #383838;二级菜单十六进制颜色码为 #1a5fb8;正文标题十六进制颜色码为 #a3a3a3;正文十六进制颜色码为 #5184ca;分栏符十六进制颜色码为 #d3d3d3。动态字体颜色中,鼠标滑过主菜单十六进制颜色码为 #7f7f7f;鼠标滑过二级菜单十六进制颜色码为 #efefef;正文链接十六进制颜色码为 #004bb1;鼠标滑过主页链接十六进制颜色码为 #6d93c7;鼠标滑过正文链接十六进制颜色码为 #6d93c;点击过的链接十六进制颜色码为 #941d55。

3.1.3 数据库设计

机器人商务平台目录导航包含 3 个实体类,分别对应 3 个数据库表:产品信息表、产品大类表、产品小类表,如表 8、表 9、表 10 所示。机器人目录导航信息 E-R 图如图 11 所示。

表 8 产品信息表

字段名	数据类型	长度	能否为空	备注
Pid	int	40	否	主键
pname	int	45		
pprice	double	20		
cid	int	11	否	
Kid	int	11	否	
ppicture	varchar	100		
psuppliername	varchar	100		
Pbrand	varchar	100		
Pchanliang	int	11		
Pisnew	tinyint	1		
Pmemo	longtext	5 000		
Pshipdate	int	11		
Ptotalum	int	11		
Pparameter	longtext	5 000		
Pmodel	varchar	100		

表 9 产品大类表

字段名	数据类型	长度	能否为空	备注
cid	int	11	否	主键
cname	varchar	100		
cdetail	varchar	200		

表 10 产品小类表

字段名	数据类型	长度	能否为空	备注
kid	int	11	否	主键
cid	int	11	否	外键
kname	varchar	100		
kdetail	varchar	200		

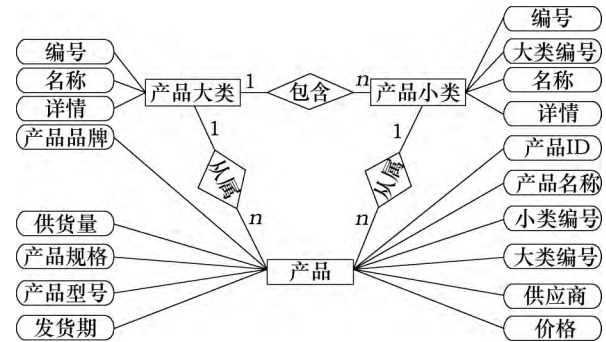


图 11 机器人目录导航信息 E-R 图

3.2 基于心智模型的机器人商务平台目录导航实现

通过对基于心智模型的机器人商务平台目录导航的分析,本文主要实现 4 种页面设计:产品分类页、产品陈列页、产品详情页及引导链接页。

1) 产品分类页:参照机器人商务平台目录导航产品分类设计和布局设计,提出目录导航产品分类页面设计模式。目录导航产品分类页如图 12 所示。用户可根据产品目录进行机器人类别查找,也可在页面上方通过搜索框搜索关键字来查找目标产品,同时还可以通过引导链接来查看产品和服务。



图 12 目录导航产品分类页

2) 产品陈列页:用户通过产品陈列页面选择要详细查看的产品。在产品陈列页面上,主要实现了 3 项功能:产品分类功能、产品排序功能和产品分页功能。目录导航产品陈列页如图 13 所示。

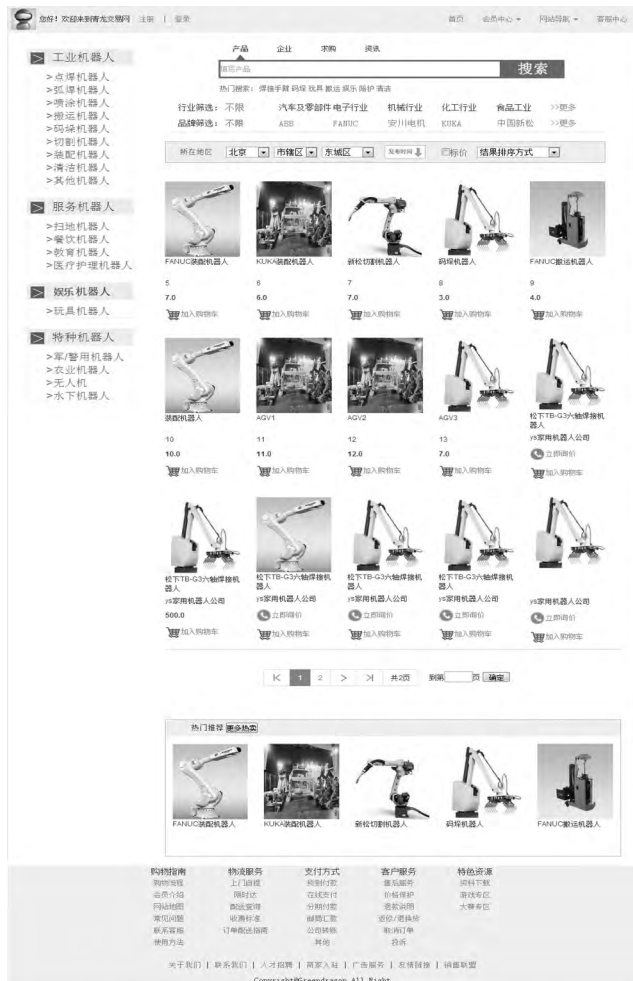


图 13 目录导航产品陈列页

3) 产品详情页: 在产品陈列页面选择要详细查看的产品后, 可进入目录导航产品详情页, 如图 14 所示。在产品详情页面, 用户可以查看产品价格信息、交易信息和公司信息等, 进而确定是否购买。

4) 引导链接页: 引导链接可以是相似产品或热卖产品的引导链接, 或者是友情链接等。用户可通过引导链接发现有价值的内容。引导链接页面如图 15 所示。

4 结语

机器人商务平台产品科技含量高、专业性强且价格昂贵, 良好的目录导航设计对于机器人商务平台来说至关重要。本文以用户心智模型在网页静态、动态要素中的映射为基础, 对基于心智模型的机器人商务平台目录导航的模块功能进行分析。同时, 基于目录导航模块功能分析, 将机器人商务平台目录导航的设计分为产品分类设计、页面布局设计和数据库设计 3 部分。最后, 依托 Spring MVC 框架及 Dreamweaver、

34



图 14 目录导航产品详情页



图 15 引导链接页面

MySQL 等开发工具, 实现基于心智模型的机器人商务平台目录导航设计。

由于心智模型的复杂性, 在对基于心智模型的机器人商务平台目录导航研究的基础上, 还需在以下几方面做出努力。1) 目录导航的可用性测试。目前, 本文设计的机器人商务平台目录导航模块核心功能已实现, 后续将对目录导航进行可用性测试, 并对后续问题进行优化。2) 心智模型的研究层次。心智模型包含了用户的所有逻辑、思维方式和情绪情感, 具有丰富而多层次的内涵, 而不仅是分析用户对系统、操

作行为和页面元素的理解。在后续研究中,需要进一步扩展对用户心智模型的研究层次。

参考文献:

- [1] 李泽响. 基于购物网站的交互设计框架研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2011.
- [2] SILVERMAN B G, BACHANN M, AL-AKHARAS K. Implications of buyer decision theory for design of e-commerce web-sites[J]. Human-Computer Studies, 2001, 55(5): 815-844.
- [3] DARABI A A, NELSON D W, SEEL N M. Progression of mental models throughout the phases of a computer-based instructional simulation: supportive information practice, and performance[J]. Computers in Human Behavior, 2009, 25(3): 723-730.
- [4] 钱敏, 甘利人, 孙蕾, 等. 基于符号表征理论的用户心智模型与网站表现模型研究: 以商品分类使用分析为例[J]. 情报学报, 2012, 31(10): 1110-1120.
- [5] KWON I H, CHANG O K, KIM K P, et al. Recommendation of e-commerce sites by matching category-based buyer query and product e-catalogs[J]. Computers in Industry, 2008, 59(4): 380-394.
- [6] 尤少伟, 吴鹏, 汤丽娟, 等. 基于路径搜索法的政府网站分类目录用户心智模型研究: 以南京市政府网站为例[J]. 图书情报工作, 2012, 56(9): 129-135.
- [7] COOPER A, RIEMANN R, CRONIN D. About Face 3 交互设计精髓[M]. 刘松涛, 译. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [8] 彭聃龄, 张必隐. 认知心理学[M]. 杭州: 浙江教育出版社, 2004.
- [9] 杨阳, 张新民. 基于信息线索的认知分析模型[J]. 情报理论与实践, 2009, 32(5): 9-12.
- [10] DARABI A, HEMPHILL J, NELSON D W, et al. Mental model progression in learning the electron transport chain: effects of instructional strategies and cognitive flexibility[J]. Advance in Health Science Education, 2009, 15(4): 479-489.
- [11] 钱敏. 面向网站商品分类目录的用户心智模型测量研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2013.
- [12] 吴鹏, 张佩佩, 甘利人. 网站用户信息获取中的心智模型研究[J]. 情报学报, 2011, 30(9): 935-945.
- [13] 王爽, 刘新东, 王海霞. 网站设计与网页配色[M]. 北京: 科学出版社, 2013.

作者简介: 王克勤, 博士, 副教授, 主要研究方向为设计管理、知识管理和质量管理。
魏姣姣, 硕士研究生。
罗菁, 硕士研究生。
同淑荣, 教授。

E-mail: keqinwang@nwpu.edu.cn

收稿日期: 2017-03-03

(上接第153页)

数为6个, 喷嘴前端长度为100 mm, 宽度为160 mm, 厚度为10 mm。

研究表明, 通过改变结构尺寸来提高喷嘴喷涂性能是可行的, 本文研究为自动抹墙机的设计研究提供了参考依据。

参考文献:

- [1] 刘延俊, 赵敬伟, 孔祥臻. 半自动抹灰机的气动系统设计[J]. 机床与液压, 2004(11): 107.
- [2] 王莹, 谢守勇, 王靖. 一种新型抹灰机的设计和仿真[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2012, 37(11): 112-115.
- [3] 陆龙福, 陈超. 新型自动抹灰机设计与创新研究[J]. 机械工程与自动化, 2013(5): 91.
- [4] 马飞, 张文明. 水射流扩孔喷嘴内部流场的数值模拟[J]. 北京科技大学学报, 2006, 28(6): 576-580.
- [5] 袁寿其, 魏洋洋, 李红, 等. 异形喷嘴变量喷头结构设计及其水量分布试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 149-153.
- [6] KIM J H, KIM H D, SETOGUCHI T. The Effect of Diffuser Angle on the Discharge Coefficient of a Miniature Critical Nozzle[J]. Journal of Thermal Science, 2010, 19(3): 222-227.
- [7] LONG X, HAN N, CHEN Q. Influence of nozzle exit tip thickness on the performance and flow field of jet pump[J]. Journal of Mechanical Science & Technology, 2008, 22(10): 1959-1965.
- [8] 张尚先, 张于贤, 王建生. 喷嘴直径对水射流切割性能影响的实验研究[J]. 机床与液压, 2008, 36(10): 214-216.
- [9] 刘波, 吴海, 何红阳, 等. 基于CFD的锥直喷嘴的过渡圆弧优化分析[J]. 液压气动与密封, 2011, 31(6): 36-38.
- [10] 沈娟. 高压水射流喷嘴的设计及其结构优化[D]. 苏州: 苏州大学, 2014.
- [11] 刘雅文. 混凝土连续恒流量泵送控制系统研究[D]. 西安: 长安大学, 2014.
- [12] 邵忠良. 纯高压水射流除锈喷嘴的数值模拟及优化试验研究[J]. 机床与液压, 2015, 43(13): 78-81.

作者简介: 孔令盼, 硕士研究生, 研究方向为先进制造。

E-mail: 437782232@qq.com

收稿日期: 2016-05-20