

【工业设计】

## 高低语境下对话式语音交互系统研究

覃京燕, 王贇翌

(北京科技大学, 北京 100083)

**摘要:** **目的** 对话式语音交互在智能产品中的地位越来越重要, 是人机交互系统中的重要方式。但由于用户和产品间存在诸多差异, 造成对话式语音交互在用户体验方面表现得不尽如人意。高低语境是用来研究跨文化交际的一种经典理论, 用于保证处在不同语境下的群体可以有效沟通。通过侧重研究对话式语音交互中的语境差异, 从高低语境的视角出发, 寻找相关案例, 提供建议。**方法** 通过文献研究和实例研究方法, 梳理对话式语音交互的发展流程, 语境问题的形成原因以及具体实例的现状和优化策略。**结论** 通过分析现阶段的具体案例, 将语言学中的理论和具体方法引入设计研究中, 为对话式语音交互的具体实践提供新的改进思路。

**关键词:** 跨文化交际; 语音交互; 交互语境; 设计方法

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)10-0085-07

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.10.012

## Conversational Voice Interaction System in High/Low-context

QIN Jing-yan, WANG Yun-zhao

(University of Science & Technology Beijing, Beijing 100083, China)

**ABSTRACT:** The role of conversational voice interaction systems in smart products has become more and more important, and is playing an important supplement or sole way in the human-computer interaction system. However, due to the differences between users and products, the user experience of conversational voice interaction is not satisfactory. High and low context is a classic theory to study cross-cultural effective communication. This paper focuses on the study of contextual differences in conversational speech interaction systems, looking for relevant cases and offers suggestions from the perspective of high and low context. Through literature research and case study methods, it sorts out the development process of conversational speech interaction systems, the causes of context problems, the current situation and optimization strategies of specific examples. By analyzing the current specific cases, theories and specific methods in linguistics are introduced into the design research, so as to provide a new way of improving the practical practice of conversational speech interaction.

**KEY WORDS:** cross-cultural communication; voice interaction; interactive context; design method

随着人工智能介入到交互设计中, 越来越多的人机交互转向了主动交互或强迫式主动交互 (Proactive) 的智能交互形式, 而驱动主动交互和智能交互的核心就是对于高低语境影响下的情境感知计算、意识感知

计算和情绪感知计算。高低语境包含语义表达和语义传递的方式、语言编码特征、情绪前馈反馈程度等内容, 本研究重点分析高低语境下的对话式语音交互系统, 进而对交互设计提出相关建议。

收稿日期: 2021-02-01

基金项目: 长江学者奖励项目 (FRF-TP-18-010C1); 国家重大专项课题 (2018YFB0704301); 北科大顺德研究生项目 (BK19AE011)

作者简介: 覃京燕 (1976—), 女, 四川人, 博士, 北京科技大学教授、博士生导师, 主要研究方向为人工智能与创新设计、交互设计、信息设计、大数据的信息可视化、可持续设计、数字文化遗产、数字娱乐等。

通信作者: 王贇翌 (1994—), 男, 河南人, 北京科技大学硕士生, 主攻交互设计、信息设计。

## 1 高低语境

### 1.1 语境的概念

语境这一概念最早是由波兰的人类学家马林诺夫斯基提出的,他指出语境分为“情景语境”以及“文化语境”,也就是人们通常所说的“语言性语境”和“非语言性语境”<sup>[1]</sup>。在1976年由美国跨文化交际的奠基者爱德华·霍尔所著的《超越文化》一书中,作者认为语境是组成一个时间点的信息,同时它与事件的意义有着密切的关系<sup>[2]</sup>。在一套完整的语言交际中,语境是较为基础的要素,见图1。语境的核心要素限定于施语者,交流环境(由语言内容和客观事物构建),以及受语者之间。那么这样看来,只要有语言交流的情景和场合,就会有语境这一要素。语境就像一个圈子,在这里人与人,或者人和物之间发生着既定的交流。

在人机交互的语言系统中,语境高低与交互的场景及交互的信息内容的意义紧密相关。本研究提出通过情境感知计算(Context awareness computing)、意识感知计算(Consciousness awareness computing)、情绪感知计算(Emotion awareness computing)达成非数字化的高语境与数字信息构建的低语境之间的映射匹配,进而在施语者和受语者之间建立起内涵与外延、内因与外因、智能信息与非智能信息、人工智能与人类智能、联网信息与离线信息混合语境的交流环境<sup>[3]</sup>。

### 1.2 高低语境的应用

高语境和低语境的概念最早是由美国语言学家、人类学家爱德华·霍尔(Edward T. Hall)在1976年其著的《超越文化》中提出的,用来表明一种文化在日常交流中对高语境或低语境信息使用倾向,社会历史的发展差异和宗教信仰的倾向区别对于语境文化的形成都有着巨大的影响<sup>[4]</sup>。

高语境和低语境这两种文化语境,在诸多方面有着鲜明的特点,通过对《超越文化》一书中两者特征点的归纳和总结,笔者对比研究得到两种文化语境的差别,见表1。

在高低语境理论的指导下,即使是对于文化背景差异较大的沟通双方,信息也能准确、有效地传播,从而最大程度地避免双方沟通中信息传递失真、产生误解的情况发生<sup>[5]</sup>。高低语境具体多在文学翻译领域中使用,例如在《论语》《圣经》《围城》《唐顿庄园》等作品的跨文化翻译中有着具体实践操作。在人机对话的语音交互设计中,运用高语境的对话机制的设计,增强对话的流畅度和语义的准确理解,以此提升用户体验则显得至关重要。

## 2 对话式语音交互

### 2.1 概念和发展

对话式语音交互是人与机器之间,通过自然语言

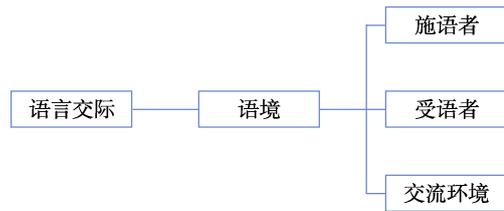


图1 语言交际中语境的核心要素关系

Fig.1 Relational diagram of the core elements of context in language communication

表1 高语境文化和低语境文化的差异

Tab.1 Differences between high-context culture and low-context culture

高语境文化	低语境文化
内敛、含蓄	外显、明晰
多为暗码信息	多为明码信息
反应很少外露	反应通常外露
“圈子”突出	“圈子”不突出
人际关系密切	人际关系生疏
易承诺, 难兑现	难承诺, 易兑现
时间处理高度灵活	时间处理高度组织化

进行信息交互的方式,整个系统主要包括语音的识别和合成、语义理解和对话管理,是现阶段的VUI(Voice user interface)系统中的一个重要的组成部分<sup>[6]</sup>。

对话式语音交互的发展可以分为两个阶段。

第一阶段,在20世纪90年代,出现了较为可行的交互式语音应答(Interactive Voice Response, IVR)系统,它是一种非特定的语音识别系统。常见应用为自动电话应答系统,以语音菜单的形式给予用户交互的可能性,并允许用户进行信息的选择和简单的输入。对话式语音交互利用自然语言为载体的交互方式便于用户理解和指令发送,但是由于在当时只能采用预设的对话模板进行交流,存在着交互方式单一,容错率低,只能应用在单轮对话场景的不足<sup>[7]</sup>。

第二阶段,2010年后,随着AI(Artificial Intelligence)和大数据的发展和普及,原有的IVR系统交互利用视觉界面变得更加直观,加速了对话式交互类APP的普及。同时,越来越多的纯语音设备具有了自我学习功能,给予用户合理的建议和反馈。对话交互能够更好地进行自然语言的理解,提升了容错率,借助了图形界面等多模态的方式使其变得更加多样。

对于现代的对话式交互系统来讲,按照对话内容的形式主要分为两类,即以微软公司的小冰为代表的开放域(Open Domain)对话系统和以亚马逊Alexa语音助手为代表的任务导向(Task Oriented)对话系统。但当今比较流行的语音交互产品中,没有绝对纯粹的开放域或任务导向的对话交互系统,大多是两者功能的融合使用,在这个方面做得较为出色的是谷歌公司的智能助手Google Assistant<sup>[8]</sup>。

对话式语音交互在用户的日常使用的过程中,伴

随着对话的深入，双方获得更加准确的信息的概率才会逐渐增大，但信息的干扰因素也会随着对话的深入而同步增加。最为显著的特征就是随着多轮的谈话，有关于语境的相关元素增多，同时人机语音交互本身也形成一种语境<sup>[9]</sup>。这就需要借助于高低语境的相关理论进行指导和实践。

### 2.2 对话式语音交互流程

对话式语音交互在现阶段已经有着一套比较成熟完整的解决方案。用户和机器进行交互的过程中，机器会逐次进行语音的识别 ASR (Automatic Speech Recognition)，语义的理解 NLU (Natural Language Understand)，对话管理 DM (Dialog Management)，动作执行，对话生成 NLG (Natural Language Generation)，以及语音合成 TTS (Text To Speech)，见图 2。在这一系列的过程中，有着许多因素导致对话式的语音交互系统很难做到与人类用户相匹配的对话语境水平<sup>[10]</sup>。

关键的问题在于语义理解，对话管理以及对话生成的三个环节中，仍存有较大问题。

在语义理解中，需要对自然语言进行处理：进行分词—词性标注—命名实体识别—文本分类—情感分析。其中词性在不同语境下，例如讽刺、强调等情况下，有着与日常使用明显的区别，而这一结果将会对随后的环节造成干扰，影响语义分析的准确性。高低语境理论的基础就是对于语境进行细腻而具体的

把控和分析，能够为语义的理解提供帮助。

在对话管理中，对话上下文把控，对话状态跟踪以及对话策略调度，需要不断地对于用户的语言意图、对话状态进行分析和调整。在这个环节中，高低语境理论在跨文化交际中所积累的翻译手段和经验能够提供有效的借鉴先例和依据。

在对话生成中，现今业界普遍是利用模板的形式进行呈现。在人机之间的语音对话的过程中，人类用户由于有着丰富的情感经历，多样的生活场景以及复杂的生活历程，其语言的表达方式很难完全按照特定的程式和规范与机器进行对话，利用语料进行词槽的填充来完成对话，是难以输出高语境的对话内容<sup>[11]</sup>。

对话式的语音交互系统极度依赖后端的语料库的丰富程度。机器语料的存储量和可以进行演化学习的能力，相对于人类有着明显的不足，高低语境的切换较为困难。这一现象在中文系统中尤为明显，比如由于中文同音多词多意的情况较为普遍，一句话如果句读不同、发音不同、重音不同、字义词意不同，都会造成语境的差异，见图 3。

高低语境理论在翻译学中对于跨文化交际起着重要的作用，跨文化交际的实质是由文化差异所形成的高低语境之间交流和转化的问题。而这一问题，正是研究者在人机对话式语音交互设计中所亟需解决的问题之一。语言学相关理论成功运用指导设计的先例<sup>[12]</sup>，因此高低语境理论对于对话式语音交互中所存在的问题有着优化和改进的可能。

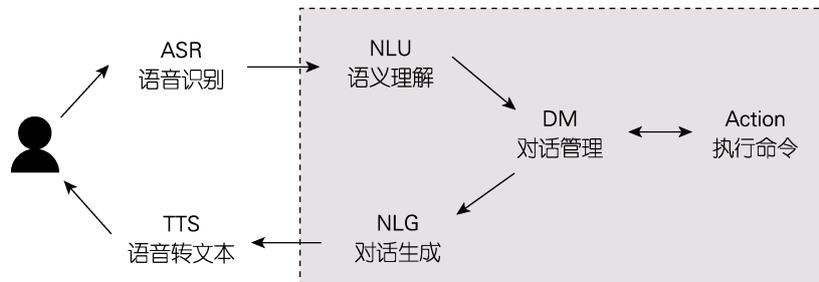


图 2 对话式语音交互的工作原理

Fig.2 How conversational voice interaction works



图 3 语音交互系统的工作流程

Fig.3 Workflow of voice interactive system

### 3 高低语境下对话式语音交互

#### 3.1 当前的问题

从高低语境的角度出发,研究者从语义传递方式,语言编码特征,情绪反馈程度等多方面来对对话式语音交互系统进行分析,尽管对话式语音交互系统通过AI的学习和数据的积累,能够对于用户对话中的隐含意图简单猜测,提升自己的语境高度<sup>[13]</sup>。然而,由于用户隐私以及技术发展速度的限制,对话式的语音交互系统在高低语境转换的过程中面临着诸多困难和问题。

首先,在语义传达方面,机器的低语境状态对语义传递内敛含蓄的高语境表达方式容易产生误解。用户直接使用高语境的交流方式的时候,输出大量的、内隐含蓄的语言信息,从而使整个语音交互系统的速度和准确性降低。语音交互系统往往对于“少许”“稍等”等模糊的词汇无法进行理解,更不用说一些会基于用户个人场景而产生因果联系的对话方式了。

其次,人机沟通时语境的差异,会增加用户的注意负荷。作为处于低语境下的语音交互系统,原本应当在信息的输出方面应方便处于高语境人类用户的理解,但由于语音交互天生具有抽象的特征,相较于图形界面来讲,语音交互系统的速度和准确度都处于劣势。尽管有不少设备采用显示屏等手段,以图形界面作为辅助的信息展示方式,但这种信息传递往往是单向的,机器对于非语言的高语境表达仍存在着理解的难度。

最后,由于现阶段人工智能的发展和大数据的不断完善和改进学习,语音交互系统在对话时不会单一地固守在低语境中与用户进行交互<sup>[14]</sup>。但是强智能下的语音交互又要面临另一个问题——根据著名的恐怖谷理论,即对于和人类更为相像的事物,用户会逐步增加自己的好感度;对于像人,却明显能让人感知到不是人的事物,用户将会产生厌恶,甚至是恐惧<sup>[15]</sup>。那么能够自我调整语境的对话式语音交互,看似智能,也正是因为其可以转化高低语境,而又无法做到完美,会让用户可能产生抵触甚至是厌恶的心理感情,见图4。

#### 3.2 典型实例

##### 3.2.1 优秀案例分析

第一,现阶段的语音交互系统的反馈声音皆为甜美的女性声音,甚至在语音助手命名上都偏向使用带有女性色彩的名字或者女性、卡通可爱的人物形象<sup>[16]</sup>。例如苹果的智能语音助手Siri,小米公司的小爱同学,见图5。有学者认为,女性的声音更加富有亲和力,相比之下,男性声音就会让用户有种被责备的感觉,无论其语调是多么温柔<sup>[17]</sup>。同时,在语调和角色上,

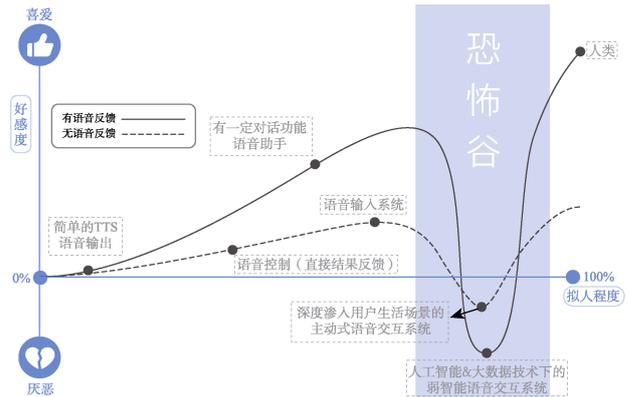


图4 语音交互系统的“恐怖谷”示意

Fig.4 Schematic diagram of the “Uncanny Valley” of the voice interaction system



图5 小米公司的语音助手“小爱同学”的虚拟形象  
Fig.5 The avatar of voice assistant “MI AI” of Xiaomi



图6 语音助手的自我矮化  
Fig.6 Self-belittling mindset of voice assistant

处于低语境的语音助手都有意地将自己“矮化”,使用温柔的语调和语气进行对话,语音助手会对用户采用一个较为高阶层的称呼,比如王者荣耀中的语音助手,称呼用户为“主人”,见图6。从而避免出现低语境直呼其名的表述,或因不合乎人际关系的表述而引起用户的反感。

第二,对待对话中的错误,语音助手都会将其转化成一种特殊的互动机会。处于高语境的用户需要由信息的接受者通过关注对话的语境来解释语义。处于低语境下的语音助手,在现实的情况下,无论是用户

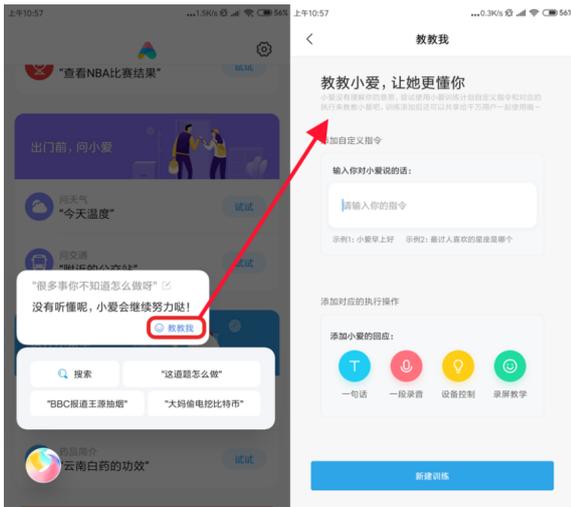


图 7 语音助手利用错误完成进化学习

Fig.7 Voice assistant has developments by means of errors



图 8 语音助手高低语境的混乱

Fig.8 Voice Assistant was puzzled to high/low contexts



图 9 处于低语境下的语音助手所犯的错误

Fig.9 The errors of voice assistants in low context

的表述是否有误，语音交互系统秉持着不去责备用户，不增加用户心理负荷的前提，将对话中的错误转化成为一次自我进化的机会，从而提升用户的体验，见图 7。

第三，语音助手的语境应用与现实中的明星笑星或者方言结合，这样可以使用户在沉浸在智能虚拟人代理讲着笑话、听着家乡或异乡熟悉或有趣的方言内容时，能够体会到文化语境所形成的高语境带来的用户体验的愉悦感，自动会忽略人机交互过程中，人工

智能的失误而带来的用户体验的低满意度。比如，高德导航系统中，采用郭德纲的版本，在导航过程中，会用讲相声的方式，谈到汽车减速时用“驾驶模式请减速，飞行模式请直飞”来提醒减速，在提醒开车注意行人时，提到“枯藤老树昏鸦，车多小心大妈”，如果未按照导航路径行驶，则会说“大圣，您已跑偏，不要拿自己的导航走别人的路”。如此调侃与幽默的方式，能够运用文化高语境提升用户体验的愉悦感，进而忽略语义识别出错所带来的用户满意度的下降。

### 3.2.2 欠佳案例分析

第一，语音交互系统的高低语境的杂糅，会让用户错误地判断与语音助手在当下交流的语境。例如，在用户下达一个建立提醒的命令时使用“稍后提醒我离开”或“5 分钟后提醒我离开”，语音助手的直接语音反馈都是对命令的时间模糊化处理，具有明显的高语境特征，见图 8。后者用户在下达命令的时候，有一个具体的时间点，希望得到时间高度组织化的表述状态，而语音助手的回答显然不符合用户的预期，这造成整个对话语音交互的语境突然升高。首先，用户不会得到一个准确的语音反馈，会造成使用心理上的负担；其次高低语境的变化是潜意识的，用户会增加自卑感，降低使用意愿。

第二，对话式的语音交互系统中，对于用户的反馈是外露的，低承诺高兑现的交流方式，无法对于多意图的场景进行相关参数的继承，自由地切换到新场景。对话系统的语义理解的问题，还会造成低承诺低兑现的结果。比如，用户在使用 Siri 的时候，在多意图的使用场景下，输出“找电影院—订票—打车”等一系列信息的时候，无法做到信息的承接，则需要不断地使用“hey, Siri”进行识别唤醒。Siri 语音交互系统在低语境下不进行承诺，直接进行结果的兑现反馈；另外，每一次指令即刻会得到一个外露的反应，无论对错，甚至出现“长话短听”的情况和“断章取义”的结果，见图 9。

### 3.3 改进方法

#### 3.3.1 明确信息传递类型，采用翻译领域具体方式进行相应实践

原则上，对于不同语境下的内容传递方式，对话式语音交互对应着的三种主要的交互类型，即任务型 (Task)、问答型 (Question & Answer) 和闲聊型 (Chat)，这三种方式对于语境的要求逐步变得复杂，杂糅着高低语境的转化，还会出现多轮的对话<sup>[18]</sup>。

在方法上和具体操作中，这种语境的差异，人们可以借鉴跨文化交际翻译理论中，对于高低语境不同双方达成沟通交际的解决经验，例如，在对话式语音交互的对话交流中，使用中性词，少用贬义词和褒义词，语音交互中较难把控制输出时的语调，系统使用冰冷中性的常规语调或过分夸张的语调都会让用户听

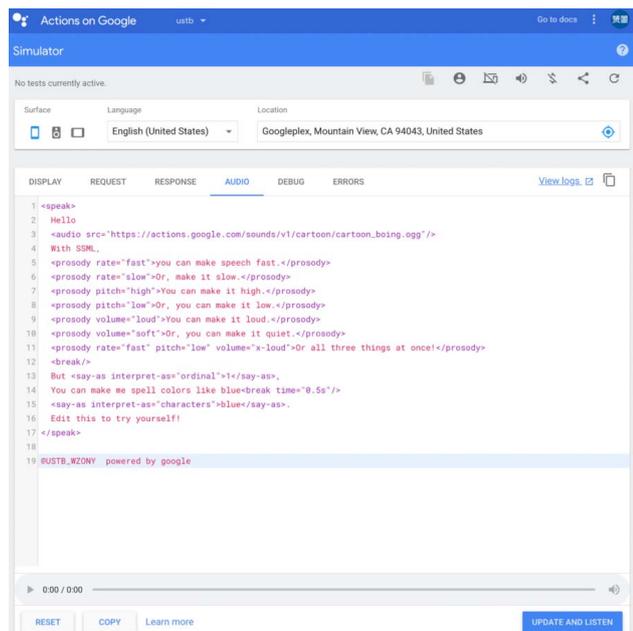


图10 语音助手回复的固定参数  
Fig.10 Voice assistant replies with fixed parameters

起来会有讽刺的意味；可以辅助对非语言的捕捉，比如用户形体动作，面部表情等，来获取高语境用户在交际时采用较多的非语言编码而进行的信息传递。

### 3.3.2 避免滥用“回答公式”产生“协和语”

原则上，对于语境不同的人机交互内容的转译，需要竭力避免产生“协和语”式的语言表达方式，即目标语言的使用者对于源语言的语法和构词不熟悉，只能呆板地进行逐字的词汇翻译，然后搭配母语的语法来传达信息。语音反馈系统填入相应预制好的“回答公式”进行输出，虽然符合语法规则，但和人类用户的日常表达方式大相径庭<sup>[19]</sup>。

方法上，设计者可以采用语言交际翻译中的翻译方法，进行人机语音交互内容的转译。具体实践中，设计者可以参考高低语境理论在翻译中采用的直译翻译方法，对于高低语境区别不大的表达方式，可以直接按照现有的语音语料进行回答；或增译翻译方法，可以用来提高低语境下语音助手的回答表现和效果，甚至可以延伸出来多轮询问确认的转译方法，掌握高语境用户话语中隐藏的逻辑关系，了解和尝试运用高语境下的文化内涵。在这个过程中，需要设计者对后端方法进行不断地磨合，从而提升语音反馈表达的流畅程度，见图10。

## 4 结语

高低语境下进行对话式语音交互的设计优化，是跨领域引进新方法进行问题解决的一个过程，它很难一蹴而就，很多问题的解决还需要随着技术的进化不断地进行迭代改进。在下一步的具体研究中，需要更加侧重研究语料库的收集和分类的细化、多轮对话过

程中语境的语境变化和对应措施、用户语言习惯的通用性和个性化的平衡等问题。在世界对于人工智能和大数据越来越严格规范使用规则的大趋势下，如何结合高低语境理论，应用小数据，达成人机交互大任务，而不是大数据小任务的情况，将是下一步人机交互的重点课题，这既需要科学技术的不断进步，更需要设计思维范式的创新改变。

### 参考文献：

- [1] HALLIDAY M A K, HASAN R. Language, Text and Context: Aspects of Language in a Social-Semiotic Perspective[M]. Geelong: Deakin University Press, 1985.
- [2] HALL E T. Beyond Culture[M]. New York: Anchor Books, 1997.
- [3] 覃京燕. 大数据时代的大交互设计[J]. 包装工程, 2015, 36(8): 1-5.
- [4] QIN Jing-yan. Grand Interaction Design in Big Data Information Era[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(8): 1-5.
- [5] HALL E T. The Hidden Dimension[M]. Garden City: Doubleday, 1966.
- [6] SAMOVAR L A, RICHARD E P. Communication between Cultures[M]. Belmont: Wadsworth Publishing, 1997.
- [7] SCHNELLE D, LYARDET F. Voice User Interface Design Patterns[C]. Irsee: Eleventh European Conference on Pattern Languages of Programs, 2006.
- [8] ELMAGBOUL N, COBURN B W, FOSTER J, et al. Comparison of an Interactive Voice Response System and Smartphone Application in the Identification of Gout Flares[J]. Arthritis Research & Therapy, 2019, 21(1): 1-8.
- [9] SCHWEITZER F, BELK R, JORDAN W, et al. Servant, Friend or Master? The Relationships Users Build with Voice-Controlled Smart Devices[J]. Journal of Marketing Management, 2019, 35(7-8): 693-715.
- [10] DERBOVEN J, HUYGHE J, DD G D. Designing Voice Interaction for People with Physical and Speech Impairments[C]. Helsinki: Proceedings of the 8th Nordic Conference on Human-Computer Interaction, 2014.
- [11] HALL E T. Context and Meaning [J]. Intercultural Communication: A Reader, 2000(9): 34-43.
- [12] 王贇墨, 覃京燕. 基于意象图式的智能手机操控手势研究[J]. 包装工程, 2019, 40(10): 203-209.
- [13] WANG Yun-zhao, QIN Jing-yan. Smart Phone Gestures Based on Image Schema[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(10): 203-209.
- [14] SERGIO D S, MARIO F J, MARCELA C M, et al. Remote-operated Multimodal Interface for Therapists during Walker-assisted Gait Rehabilitation: A Preliminary Assessment[C]. Piscataway: HRI '19: Proceedings of the 14th ACM/IEEE International Conference on Human-

- Robot Interaction, 2019.
- [13] 覃京燕. 人工智能对交互设计的影响研究[J]. 包装工程, 2017, 38(10): 27-31.  
QIN Jing-yan. Impaction of Artificial Intelligence on Interaction Design[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(10): 27-31.
- [14] SEBASTIAN S, EDUARD Z, MARIO B, et al. Differential Effects of Face-realism and Emotion on Event-related Brain Potentials and Their Implications for the Uncanny Valley Theory[J]. Scientific Reports, 2017, 1(1): 45003.
- [15] BAIENSON J N, YEE N, MERGET D, et al. The Effect of Behavioral Realism and Form Realism of Real-Time Avatar Faces on Verbal Disclosure, Nonverbal Disclosure, Emotion Recognition, and Copresence in Dyadic Interaction[J]. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 2006, 15(4): 359-372.
- [16] NASS C I, BRAVE S. Wired for Speech: How Voice Activates and Advances the Human-Computer Relationship[M]. Cambridge: MIT Press, 2005.
- [17] ERIC M, MANNING C D. A Copy-Augmented Sequence-to-Sequence Architecture Gives Good Performance on Task-Oriented Dialogue[C]. Valencia: Proceedings of the 15th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics, 2017.
- [18] YOUNG S, GASIC M, THOMSON B, et al. POMDP-Based Statistical Spoken Dialog Systems: A Review[J]. Proceedings of the IEEE, 2013, 101(5): 1160-1179.
- [19] FLOUDAS C A, AGGARWAL A, CIRIC A R. Global Optimum Search for Nonconvex NLP and MINLP Problems[J]. Computers & Chemical Engineering, 1989, 13(10): 1117-1132.

(上接第74页)

- [83] 孙阳, 李鑫. 警示标识设计的视觉语义探析[J]. 居舍, 2018(36): 64.  
SUN Yang, LI Xin. Visual Semantics of Warning Logo Design[J]. Ju She, 2018(36): 64.
- [84] 张伟伟, 吴晓莉, 蒋孝山, 等. 生产线总控系统交互界面中图标特征的实验研究[J]. 机械设计与制造工程, 2019(6): 51-55.  
ZHANG Wei-wei, WU Xiao-li, JIANG Xiao-shan, et al. Experimental Research on Icon Characteristics in the Interactive Interface of General Control System of Production Line[J]. Machinery Design and Manufacturing Engineering, 2019(6): 51-55.
- [85] 吴晓莉, GEDEON T, 薛澄岐, 等. 影响信息特征搜索的凝视/扫视指标与瞳孔变化幅度一致性效应比较[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2019, 31(9): 1636-1644.  
WU Xiao-li, GEDEON T, XUE Cheng-qi, et al. A Comparison of the Concordant Effect of Gaze/Scan Index and Pupil Variation Amplitude on Information Feature Search[J]. Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics, 2019, 31(9): 1636-1644.
- [86] 严寒, 吴晓莉. 工业图标的语义性分析及图标可视化设计[J]. 人类工效学, 2020, 26(1): 26-30.  
YAN Han, WU Xiao-li. Semantic Analysis and Visual Design of Industrial Icons[J]. Ergonomics, 2020, 26(1): 26-30.
- [87] 吴晓莉, 唐雨欣, 薛澄岐. 不同认知难度影响因素下数据信息搜索的视觉生理反应规律[J]. 包装工程, 2021, 42(4): 1-10.  
WU Xiao-li, TANG Yu-xin, XUE Cheng-qi. Visual Physiological Response of Data Search under Different Cognitive Difficulty Influencing Factors[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(4): 1-10.
- [88] WATSON D G, HUMPHREYS G W. Visual Marking: Prioritizing Selection for New Objects by Top-Down Attentional Inhibition[J]. Psychological Review, 1997, 104(1): 90-122.
- [89] HUMPHREYS G, HODSOLL J, BRAITHWAITE J. Effects of Colour on Preview Search: Anticipatory and Inhibitory Biases for Colour[J]. Spatial Vision, 2004, 17(4): 389-415.
- [90] HODSOLL J P, HUMPHREYS G W. Preview Search and Contextual Cuing[J]. Journal of Experimental Psychology Human Perception & Performance, 2005, 31(6): 1346-1358.