

【设计研讨】

基于文献计量的人机界面中用户体验中外对比研究

龙世豪, 许志红*, 陈欢, 李志强
(吉首大学, 湖南 张家界 427000)

摘要: **目的** 对比分析国内外人机界面用户体验研究的异同, 总结国内学界目前的研究现状并发现问题。**方法** 研究中使用 WOS 与 CNKI 作为数据来源, 通过文献计量学的方法及综合运用 CiteSpace、VOSviewer 等软件将文献资料进行可视化分析。**结论** 国内外人机界面用户体验研究领域文献产出较为一致, 都在 2019 年及之前达到产出高峰, 2019 年后出现回落趋势。研究主体是与计算机科学、互联网技术等相关的理工科院校。在团队合作方面, 国内跨团队的研究相对较少, 存在明显的研究壁垒, 需要加强研究合作的程度。在总体上呈现出“整体分散、局部集中”的特点。在关键词聚类分析上, 国内外人机界面用户体验相关热点研究呈现出一定的相似性与差异性。相似性表现为国内外人机界面用户体验研究在关键词聚类上都形成四个聚类, 构成研究闭环且国内外学界对可用性都有较大的关注度。而差异性方面则表现为, 在与用户体验强相关的交互方式研究上, 国际学界视线已脱离传统的人机界面交互方式, 转而专注于虚拟交互技术, 而国内目前处于初始阶段。跨学科合作不足、自身研究创新性不强、缺少自己的理论研究与模型等则是现阶段国内 HCI-UE 研究主要问题。

关键词: 界面设计; 用户体验; 文献计量学

中图分类号: TB472 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3563(2024)04-0288-16

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2024.04.031

Comparative Study of User Experience in Human-Computer Interface Based on Bibliometrics

LONG Shihao, XU Zhihong*, CHEN Huan, LI Zhiqiang
(Jishou University, Hunan Zhangjiajie 427000, China)

ABSTRACT: The work aims to compare and analyze the similarities and differences of human-computer interface user experience research in China and abroad and summarize the current research status of Chinese academia and find out problems. In the study, WOS and CNKI were used as data sources, and the literature materials were visualized and analyzed by means of bibliometrics and the comprehensive use of Citespace, VOSviewer and other software. The literature output in the field of human-computer interface user experience research in China and abroad is relatively consistent, reaching the peak before 2019 (including 2019), and showing a downward trend after 2019. The research subjects are science and engineering colleges and universities related to computer science and Internet technology. In terms of research team cooperation, there are few cross-team studies in China, and there is an obvious research highland and the degree of research cooperation needs to be strengthened. On the whole, it presents the characteristics of "overall dispersion and local concentration". In terms of keyword cluster analysis, the hot research on user experience of human-computer interface in China and abroad shows some similarities and differences. The similarity shows that the user experience research in human-computer interface in China and abroad has formed four clusters in keyword clustering, and forms a research loop. Secondly, Chinese and foreign academic circles have paid great attention to usability. The difference is that in the research of interaction methods strongly related to user experience, international academic circles have deviated from the traditional human-computer interface interaction methods and focus on virtual interaction technology, while China is currently in the initial stage. The main limitations of Chinese HCI-UE researchers at this stage are insufficient interdisciplinary

收稿日期: 2023-09-18

*通信作者

cooperation, weak innovation in their own research and lack of their own theoretical research and models.

KEY WORDS: interface design; user experience; bibliometrics

随着信息技术和互联网的迅速发展,技术创新正在经历一场转型。越来越多的关注开始集中在以用户为中心、以人为本的设计理念上,人机界面设计也引起了广泛的关注。从满足用户的功能需求和审美需求,逐渐转向更加人性化和易于用户接受的用户体验^[1]。人机界面(Human Computer Interface)又称用户界面或使用界面,是用户与机器进行信息传递和互动的接口,提供用户使用机器系统的综合操作环境,是用于实现人与机器之间信息交流和控制活动的媒介^[2]。优秀的人机界面不但有美观、简单易懂的引导功能,还可以提升用户情感与情绪方面的体验,满足用户的个性化需求^[3]。用户体验则是兴起于 20 世纪 40 年代的人机交互设计领域,当用户在使用产品(包括物质和非物质产品)或服务时,所产生的心理感受和体验被称为用户体验。在信息技术应用的设计中,用户体验主要来自用户与人机界面之间的互动过程、用户与产品界面的交互方式,以及使用流程等^[4]。国际标准化组织(ISO)对用户体验的定义为用户在使用或期望使用系统、产品或服务时产生的知觉和反应。这一定义强调了用户的感知,而一些研究者则提供了更加具体和实用的定义,将用户体验与使用环境和产品之间的关系结合在一起^[5]。目前国内外学界关于人机界面中用户体验研究的目的在于通过界面满足用户更高层次的需求^[6]。而经过近些年的发展,国内外关于人机界面中的用户体验研究(Human Computer Interface User Experience, HCI-UE)已经积累大量成果,若要深入研究 HCI-UE,就需要充分了解当前的研究趋势,但当前关于 HCI-UE 领域的综述鲜有针对国内外 HCI-UE 研究做全面对比的,仅有针对国际学界 HCI-UE 领域研究的综述^[7]。同时,国内外 HCI-UE 研究的诸多文献成果在知识结构上逐渐复杂化,在学科上呈现出明显的交叉性,仅依靠原有传统文献综述方法难以梳理清楚当下领域的发展脉络、研究热点,以及未来趋势,也难以对比分析国内外研究的差异所在,形成学术上的国际视野。不利于认识国外研究现状,从而促进自身的提升与发展。为深入探究国内外 HCI-UE 研究现状,本研究将采用 WOS 及 CNKI 数据库中收录的 HCI-UE 相关文献作为数据来源,全面对比国内外 HCI-UE 研究,借助文献计量学对文献资料进行知识结构的可视化,对比分析国内外研究发展的异同,进而为国内 HCI-UE 研究提供相关参考与借鉴。研究将从以下三个方面展开,以探究 HCI-UE 研究现状。

1) HCI-UE 的研究主体,国内外哪些人、哪些机构在主要研究 HCI-UE?

2) HCI-UE 国内外学界各自的热点研究主题是什么?国内外学界热点主题及未来前沿趋势上有什么异同?

3) HCI-UE 国内外高被引文献研究主题及研究范式是否有差异?

1 研究设计

1.1 数据来源

为全面比较中外研究异同,探究 HCI-UE 研究现状,本文分别选择 WOS 与 CNKI 数据进行对比分析。WOS 的“核心集”是世界知名的引文索引数据库,因其开创性的内容、高质量的数据、悠久的历史而被广泛用于科学研究和评估^[8]。因此在国际研究方面,本研究选择 WOS 的“核心集”作为数据库,在 WOS 的核心合集中选择 SSCI、SCI、A&HCI、CPCI-S 这四大常用引文检索作为检索源。为收集所有相关文章,检索时间设置为全年份。为避免跨学科文献的丢失,未对文献来源进行精简,设置检索条件为 TS=(“Interaction Interface” OR “User Interface” OR “Human-machine Interface” OR “UI”)和 TS=(“User Experience” OR “UX” OR “UE” OR “Customer Experience”),剔除字段信息缺失及重复数据得到 1 714 篇有效文献,并将检索所得文献全部以纯文本格式导出。

CNKI 是 China National Knowledge Infrastructure 的缩写,意为中国国家知识基础设施,其包含人文与社会科学期刊、博硕士论文、报纸、图书、会议论文等在内的公共知识信息资源^[9],是中国地区权威的文献资源检索库。因此,在国内研究方面选择知网作为文件检索源,来获取 HCI-UE 相关数据。利用知网的专业检索进行数据收集,设置检索条件为 SU%=(“人机交互界面”+“用户界面”+“UI”)和 SU%=(“用户体验”)。为确保论文数据的全面性,未在时间上设定筛选范围。在剔除字段信息缺失及重复数据后得到 1 235 篇有效文献,以 Refworks 格式导出为纯文本文件。

1.2 研究方法

在本文中研究采用科学文献计量方法与知识结构可视化,综合运用 CiteSpace、VOSviewer 等软件以获得更加全面的数据,旨在确定最具影响力的研究及热门领域,并为当前研究兴趣和该领域未来研究方向提供见解。文献计量学是一门综合运用数学、统计学等方法研究文献体系和文献计量特征的学科,通过

对文献情报的分布结构、数量关系、变化规律和定量管理等方面的研究,深入探讨科学技术的结构、特征和规律,从而为科研、学术评价等提供量化的分析和支持^[10]。文献计量学是一种定量方法,用于回顾和描述已发表文献,这有助于研究人员在焦点领域评估学术研究。如今它不断发展,并被广泛用于分析学术交流模式和评估研究成果。CiteSpace 是由美国德雷塞尔大学陈超美团队开发,运行于 JAVA 程序的引文计量分析可视化工具,是一种用于文献计量学研究的科学制图程序,支持关键词分析、作者合作网络分析,以及主题和领域共现的可视化等多种类型的研究方法。通过对领域的结构、动态模式和趋势进行可视化分析,CiteSpace 能够帮助研究者直观地辨识学科前沿的演进路径和经典基础文献,从而提供有力的分析和研究支持^[11]。VOSviewer 是一个免费提供的,用于构建和查看书目地图的计算机程序。与 SPSS 和 Pajek 等常用于文献计量制图的程序不同,VOSviewer

特别关注文献计量图的图形表示,其功能特点是用易于理解的方式来解释大型书目^[12]。

2 内外 HCI-UE 文献计量结果及分析

2.1 HCI-UE 研究基本特征

年度发文数量的变化可以呈现出研究热点在特定时间段内的演变情况,是一项重要的指标,可以帮助评估研究的发展态势。通过对年度发文数量的分析,可以深入了解未来研究的动态和趋势,为科学研究的规划和决策提供有力的参考依据^[13]。将检索所得的 HCI-UE 数据清洗去重后进行字段提取得到相关数据,见图 1。由图 1 的发文量曲线及趋势线可见国内外学界文献产出趋势总体较为一致,且呈现上升趋势。国外学界的第一篇文献发布于 1991 年,峰值产生于 2019 年,文献年均产出基本保持逐年稳步增长的态势,且分为以下三大阶段。

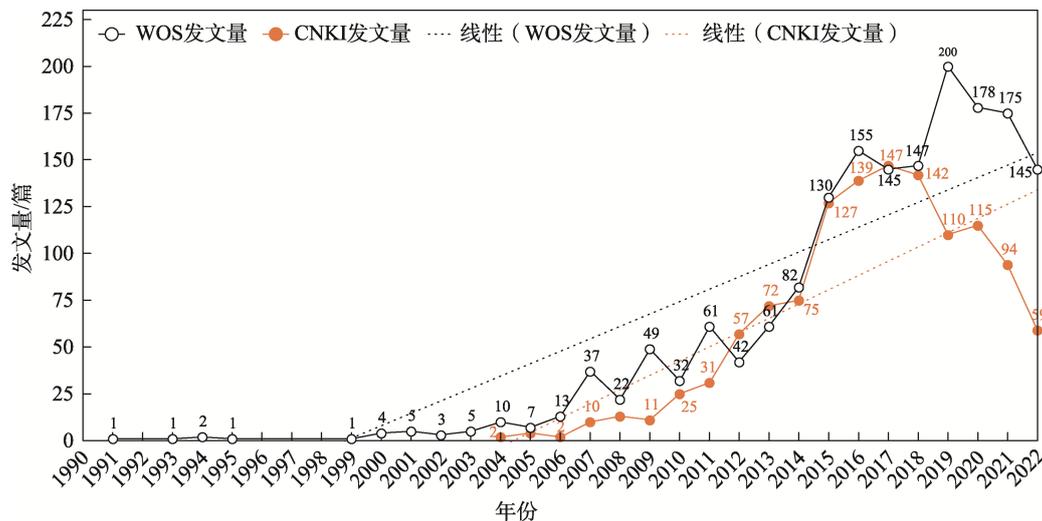


图 1 HCI-UE 文献年度产出分布图

Fig.1 Annual output distribution of HCI-UE literature

1) 1990—2006 年为国外学术初步探索阶段。

2) 2007—2014 年为国外学术研究高速发展阶段。在此期间文献产出增速较快,达到 82 篇一年。增速之快主要得益于 2008 年左右移动设备的出现及普及,使得移动应用和移动网站的用户体验成为研究的热点。iOS 和 Android 平台的迅速发展也为此提供了助力。

3) 2015—2022 年为研究成熟阶段。文献产出略有波动,但总体上呈增长态势。

而国内学界研究则起步较晚,国内第一篇有关 HCI-UE 的文献发布于 2004 年,峰值产生于 2016 年,文献年均产出保持逐年递增的趋势,主要分为以下几大阶段。

1) 2004—2009 年为研究初步探索阶段。

2) 2010—2014 年为研究高速增长阶段。在此期间文献产出增速较快,年均产出 75 篇。

3) 2015—2022 年为研究成熟阶段,文献产出达到最高峰。该阶段与国际学界 HCI-UE 研究发展趋势基本一致,二者皆进入成熟阶段。在此阶段都呈现出一定的波动幅度,且有回落趋势。回落现象的产生可能是受近几年的全球疫情影响。但从整体上来看,未来依旧会有增长空间, HCI-UE 研究依旧会是未来重点关注对象。

2.2 发文作者与研究机构分析

通过对发文作者和研究机构的发文量进行分析,可以明确突出的研究主体,并通过共现关系的研究来揭示它们之间的合作情况。这种分析方法可以帮助深入了解研究领域的合作模式和网络。将 WOS、CNKI 数据导入 Vosviewer 运行,选择“Author”并将节点阈值设置为“2”,得到国内外 HCI-UE 研究作者合

作网络图。其中, 国际作者合作图谱有 28 个结点、61 条连线; 国内作者合作图谱有 105 个结点、26 条连线。国际 HCI-UE 前期研究人员以 Meschtscherjakov、Alexander、Schmidt、Albrecht、Holzinger、Andreas 等为主, 近期的兴新团队则是以 Riener、Andreas、Pfleger、Bastian、Frison、Anna-Katharina 等为代表。如图 2 所示, 国际 HCI-UE 研究学者之间

是具有一定的合作度, 跨团队研究较多, 同时在整体与局部上较为集中。如图 3 所示, 国内初期作者中以罗仕鉴、覃京燕、朱上上等发文最多, 近期以张婷、杜莎等为代表的国内团队在研究合作方面逐渐崭露头角。与国际团队相比, 国内团队的合作呈现出整体分散、局部集中的特点, 通常由同一机构的学者组成, 这表明国内的跨团队合作较为有限, 合作有待加强。

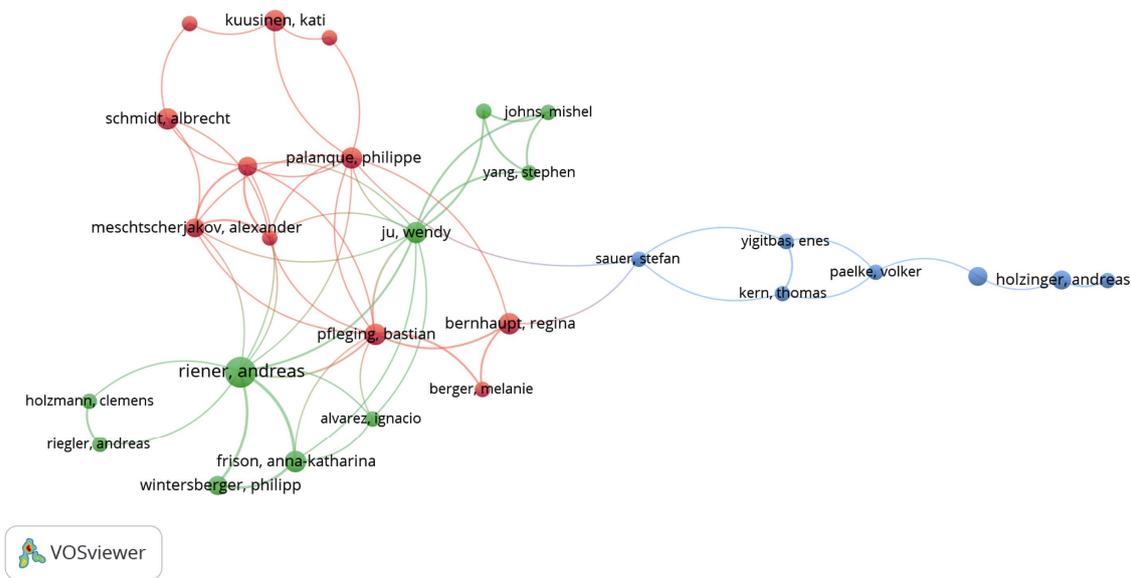


图 2 WOS HCI-UE 文献作者共现关系图
Fig.2 Co-occurrence relationship of HCI-UE literature authors in WOS

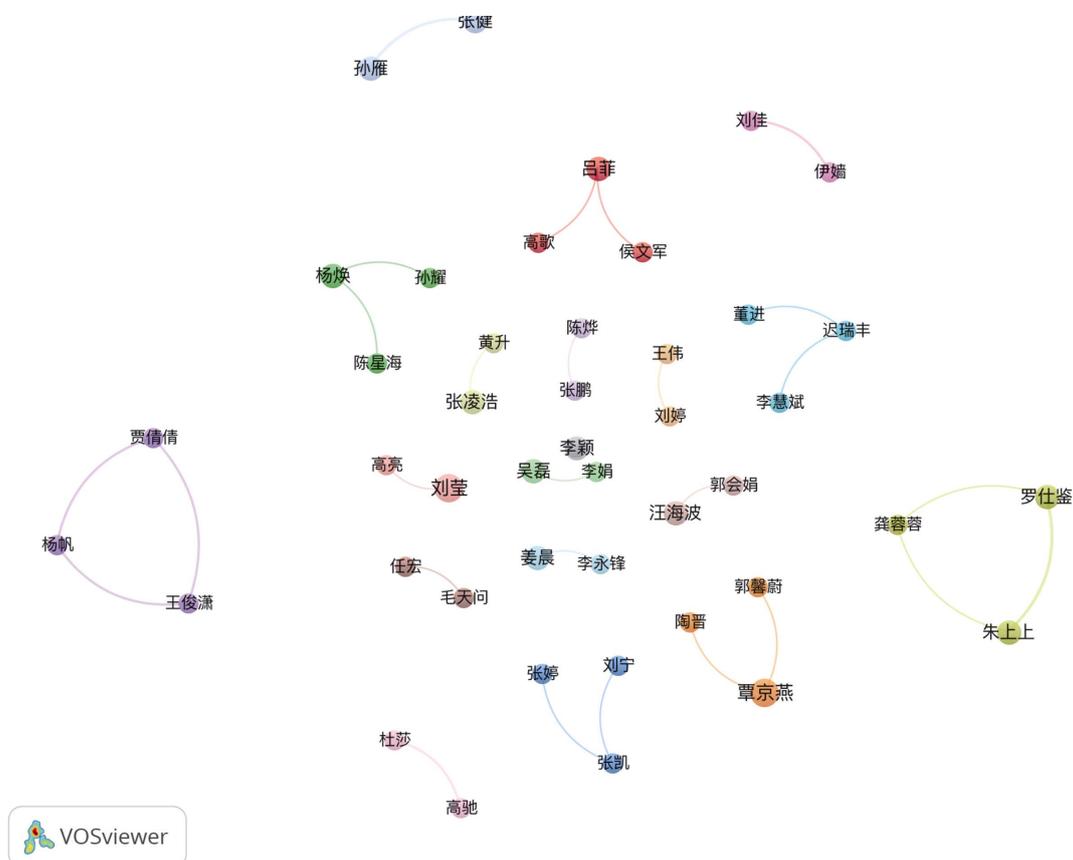


图 3 CNKI HCI-UE 文献作者共现关系图
Fig.3 Co-occurrence relationship of HCI-UE literature authors in CNKI

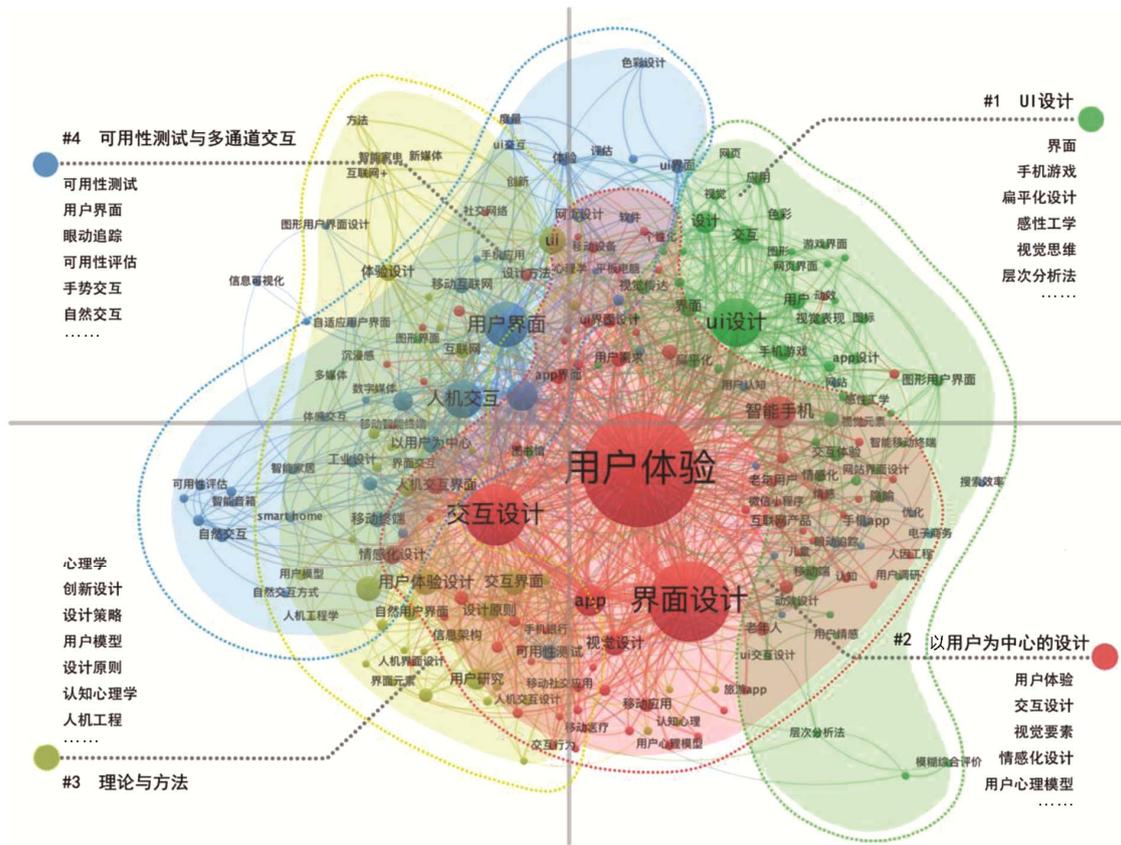


图 5 CNKI HCI-UE 关键词共现聚类图

Fig.5 Co-occurrence cluster diagram of HCI-UE key words in CNKI

人性、精密度高等特性，被广泛用于人机交互产品设计、远程教育等用户体验设计领域^[14]。跟传统主观测量法相比脑电信号采集（EEG）可以有效避免用户主观报告的模糊性与不确定性，使得结果客观准确。此外，随着技术的进步，笔者预计将有更多的工具和方法被开发出来，以支持更复杂、更个性化的用户体验设计和评估。例如，虚拟现实和增强现实技术可能会与 EEG 等生理测量工具结合，为设计师提供更为真实和沉浸式的用户反馈。SUS 量表虽然是一种经典的评估工具，但随着用户需求和技术的变化，可能会有新的评估工具和方法出现，以满足更为复杂的用户体验设计需求。例如，基于人工智能和机器学习的自动评估工具可能会被开发出来，它们可以实时分析大量的用户数据，为设计师提供更为精确和深入的反馈。总的来说，随着技术的进步和用户需求的变化，HCI-UE 下的可用性测试研究将朝着更为深入、客观和实时的方向发展。未来的研究将更加注重用户的真实体验，而不仅仅是他们的主观反馈。

针对虚拟现实与增强现实（#2），主要由 Augmented Reality、Virtual Reality、System、Natural User Interface、Tangible User Interfaces、Gesture Recognition、Mixed Reality、Video Games 等 83 个关键词组成。该聚类的高频关键词反映出当前 AR 和 VR 的交互方式给用户所带来的全新体验正成为国际学界

关注热点。虚拟现实是一种由计算机生成，通过视觉、听觉、触觉、嗅觉等多种方式作用于用户，并为用户创造一种身临其境的交互式视觉仿真体验的计算机系统，使用户能够在虚拟世界中创造和体验不同于真实世界的感觉^[15]。通过该聚类高频关键词可观察到国际 HCI-UE 领域在人机交互方式上的变革如下。

1) 从传统界面到自然用户界面。随着技术的进步，交互方式从传统的键盘和鼠标转向了自然用户界面（Natural User Interface）。这种界面允许用户通过更直观和自然的方式，如手势、语音和触觉，与计算机系统进行交互。

2) 实体用户界面的出现。实体用户界面（Tangible User Interfaces）为用户提供了一种通过物理对象与数字信息交互的方式^[16]。这种交互方式为用户提供了更加直观和身临其境的体验。

3) 手势识别技术的发展。手势识别（Gesture Recognition）技术使得用户可以通过手势来控制与虚拟世界的交互^[17]。这种交互方式为用户提供了一种无需任何物理设备的交互方式。

4) 混合现实的崛起。混合现实（Mixed Reality）结合了虚拟现实和增强现实的特点，为用户提供了一种在真实世界和虚拟世界之间无缝切换的体验。

综上所述，国际 HCI-UE 学界在人机交互方式上已脱离传统的人机交互方式，更加注重通过多通道的

人机交互方式,以此来增强用户体验。

针对用户研究(#3),主要由 Eye Tracking、Older Adults、Children、Health、Safety、Inclusive Design、Behavior、Requirements、Technology Acceptance Model、Questionnaire 等 98 个关键词组成。综合该聚类关键词可知,其表明国际上的 HCI-UE 研究注重用户,以用户为导向,从认知、接受度、行为等方面出发。在研究方法上,除了使用眼动追踪(Eye Tracking)、问卷调查(Questionnaire)、行为实验法(Behavior)外,还有相关的模型研究法,例如 Technology Acceptance Model(TAM)理论模型被广泛用于预测用户对创新技术或新产品的使用和接受程度^[18],模型包含五个主要变量,分别为:实际行为、行为意图、态度、感知有用性和感知易用性^[19]。从以上高频关键词,可推断出国际 HCI-UE 在未来的用户研究方面的趋势如下。

1)多元化的用户群体。关键词中的“Older Adults”“Children”表明,未来的用户研究将更加注重不同年龄段的用户,从儿童到老年人,都将成为 HCI-UE 研究的重要对象。这意味着设计师和研究者需要更加细致地考虑不同年龄段用户的特点和需求。

2)健康与安全的重视。关键词“Health”和“Safety”表明,用户的健康和安全性将成为未来用户研究的重要方向,随着技术的发展,如何确保用户在使用产品和服务时的健康和安全性将成为研究的重点。

3)包容性设计(Inclusive Design)意味着设计师和研究者需要考虑到所有用户的需求,包括那些有特殊需求的用户^[20]。这种设计方法将确保所有用户都能获得良好的用户体验。

4)用户行为的深入研究。除了传统的眼动追踪和问卷调查方法,未来的用户研究还将更加深入地研究用户的行为。这将帮助研究者更好地理解用户的需求和期望。

5)技术接受模型的进一步发展。TAM 理论模型已经被广泛应用于用户研究,但随着技术的发展,这一模型也可能会进行进一步地完善和扩展。

综上所述,国际 HCI-UE 对未来的用户研究趋势将会是从更加注重多元化用户群体、健康与安全、包容性设计、对用户行为的深入研究,以及技术接受模型的进一步发展等方面展开。

针对理论与方法(#4),主要由 Big Data、Machine Learning、Deep Learning、Affective Computing、Data Analysis、Algorithm、Data Mining、User Study 等 62 个关键词组成。综合该聚类的关键词来看,其主要反映近些年来国际 HCI-UE 领域使用的理论与方法,这些数据分析方法能够使得研究者更加准确地抓取隐藏在海量数据背后的数字规律。例如,关键词机器学习(Machine Learning)是一门人工智能的科学,机器学习算法能够从数据中分析获得数据规律,然后利

用得到的规律对位置数据进行预测。机器学习算法主要有监督式学习(Supervised Learning)、无监督式学习(Unsupervised Learning)、半监督式学习(Semi-supervised Learning)三大类^[21]。基于理论与方法(#4)的主要关键词,可以观察到 HCI-UE 领域在理论与方法上的主要发展趋势如下。

1)从传统数据处理到大数据分析。随着技术的进步, HCI-UE 领域从简单的数据处理逐渐转向大数据分析。大数据(Big Data)的出现使得研究者可以处理和分析前所未有的大量数据,从而得到更加深入和全面地进行洞察。

2)机器学习的广泛应用。机器学习(Machine Learning)已经成为 HCI-UE 领域的核心技术之一。通过使用机器学习算法,研究者可以从大量的用户数据中提取有价值的信息,从而为设计和决策提供支持。

3)深度学习的崛起。深度学习(Deep Learning)是机器学习的一个子领域,它通过使用深度神经网络模型来处理复杂的数据结构^[22]。在 HCI-UE 领域,深度学习已经被广泛应用于图像识别、语音识别和自然语言处理等任务中。

4)情感计算的发展。情感计算(Affective Computing)是一个新兴的研究领域,旨在使计算机能够识别和模拟人类的情感。在 HCI-UE 领域,情感计算可以帮助研究者更好地理解用户的情感反应,从而为设计提供更加人性化的建议。

综上所述, HCI-UE 领域的理论与方法演变主要集中在从传统数据处理到大数据分析、机器学习的广泛应用、深度学习的崛起、情感计算的发展等方面。

在国内学界 HCI-UE 研究方面,针对 UI 设计(#1),主要由界面、手机游戏、扁平化设计、感性工学、视觉思维、用户情感、层次分析法、遗传算法等 53 个关键词构成。从高频关键词来看,该聚类关键词明显地突显了 UI 设计的多个方面,特别是在视觉和情感层面。

对于界面与手机游戏,随着移动设备的普及,手机游戏的界面设计成为了 UI 设计的重要分支。这要求设计师不仅要考虑游戏的可玩性,还要确保其界面直观、易于使用,同时满足各种屏幕尺寸和操作习惯^[23]。对于感性工学,这是一个将用户的情感和感知考虑进产品设计的方法。在 UI 设计中,感性工学强调创建能够引起用户情感共鸣的界面,从而提高用户的满意度和忠诚度,创造良好用户体验^[24]。对于层次分析法与遗传算法,这两种方法都是为了优化 UI 设计而采用的。层次分析法帮助设计师确定不同设计元素的优先级^[25],而遗传算法则是一种搜索最佳设计解决方案的方法。综上所述,该聚类的关键词揭示了 UI 设计的多个重要方面,从基础的视觉设计到高级的优化方法,都反映了 HCI-UE 研究领域的深度和广度。

针对以用户为中心的设计(#2),由用户体验、交互设计、视觉要素、情感化设计、行为逻辑、用户心理模型、符号学、模型、用户体验要素等 77 个关键词组成,该聚类中主要围绕用户,为用户设计。可以看到针对用户体验设计的理论方法在近年来已经发生了很大的演变。从最初基于直观的设计方法,到现在更加注重用户的心理和行为模型,这都反映了 HCI-UE 研究领域的深化和拓展。首先,用户体验在设计结构上的演变,如层次模型、结构模型和过程模型,都是为了更好地理解和满足用户的需求。其中,Norman 提出的层次模型,特别是本能层、行为层和反思层,为人们提供了一个全面的框架来理解用户的体验。这种模型不仅关注用户的直观感受,还深入到用户的行为和情感层面,使得设计更加人性化和情感化^[26]。其次,随着科技的发展,新的工具和技术也被引入到用户体验设计中。例如,符号学、模型研究法等都为设计师提供了新的视角和方法以分析和优化用户体验。这些理论方法的引入,使得设计更加科学和系统,也为研究者提供了更多的研究方向和深度。但是,随着理论方法的演变,也带来了新的挑战。如何在众多的理论和方法中找到最适合的,以及如何确保设计的有效性和实用性,都是研究者和设计师需要面对的问题。此外,随着用户需求和技术的不断变化,如何确保设计的持续性和适应性,也是一个重要的议题。综上所述,用户体验设计的理论方法在不断地演变和发展,为人们提供了更多的工具和视角来满足用户的需求。与此同时,也带来了新的挑战和问题,需要研究者和设计师不断地学习和探索。

对于理论与方法(#3),主要由心理学、方法、创新设计、设计策略、用户模型、设计原则、认知心理学、人机工程学、迭代设计、心智模型、用户研究、设计流程等 45 个关键词组成。结合高频关键词特征,可以将该聚类概括为 HCI-UE 的研究理论与方法。通过提取高频关键词,可以观察到国内 HCI-UE 领域在理论方法上的演变趋势如下。

1) 跨学科融合的出现。从心理学到人机工程学,再到设计策略,这些关键词显示了 HCI-UE 领域的跨学科特性。这种跨学科的融合使得研究方法更加多元和综合,为解决复杂的设计问题提供了更多的视角和工具^[27]。

2) 从定性到定量的研究方法转变。早期的 HCI 研究更多地依赖于定性的方法,如观察和访谈。但随着技术的发展,如眼动追踪,研究者开始使用更多的定量方法来深入了解用户的行为和心理^[28]。

3) 从单一方法到混合方法的研究。随着研究问题复杂性的增加,研究者开始使用混合方法,结合定性和定量的方法,以获得更全面和深入的理解^[29]。

4) 迭代设计的重要性。迭代设计成为了设计流程的一个重要部分,它强调了在设计过程中不断测试

和修改的重要性,以确保设计满足用户的需求。

综上所述,该聚类关键词反映出国内 HCI-UE 领域的理论和方法经历了从跨学科融合的出现到定性研究,再到定量研究方法的转变,以及对迭代设计重要性的认识。

对于可用性测试与多通道交互(#4),主要由可用性测试、用户界面、眼动追踪、可用性评估、手势交互、自然交互、信息可视化、人机交互、移动终端、体感交互、优化、搜索效率、用户认知、度量等 51 个关键词构成。可以得出国内 HCI-UE 领域在研究前沿趋势上的主要发展方向如下。

1) 多模态交互。随着技术的发展,手势交互、自然交互、体感交互等多通道交互已经成为国内 HCI-UE 的研究热点。这些交互方式为用户提供了更加自然和直观的交互体验,同时也为设计师提供了更多的设计可能性^[30]。

2) 信息可视化。随着大数据时代的到来,如何有效地呈现数据及与数据进行交互成为了一个重要的研究方向。信息可视化技术可以帮助用户更好地理解和分析数据。

3) 对用户认知的深入研究。用户认知是 HCI-UE 研究的核心内容。深入研究用户的认知过程和机制可以为设计提供更加科学的理论支持。

通过对比国际与国内的关键词共现图谱可知,国内外 HCI-UE 研究在主题上存在一定的相似性与差异性。相似性方面如下。

1) 在关键词聚类上,国内外研究都形成了四个主要聚类,同时这四个聚类又形成了 HCI-UE 领域的研究闭环。

2) 可用性在国内外 HCI-UE 研究中都占据一定关注度,其中共同关键词有可用性、可用性评估、眼动追踪、图标等。

3) 国内外 HCI-UE 研究都很注重用户,以用户为中心且注重用户情感,强调从用户角度出发,共同关键词包括老年人、儿童、用户需求、易用性等,以提供更自然和直观的用户体验。

差异性表现如下。

1) 国际学界在人机交互方式上已脱离传统的人机界面交互方式,转而专注于虚拟技术。目前美国主要通过用户界面、感知、后台软件和硬件四个方面来把握虚拟技术的发展和研究方向,日本则希望建立大规模的知识库^[31]。国内虽有相关的研究与进展,但目前仍旧处于初始阶段。

2) 在理论与方法上,国际学界注重大数据(Big Data)、深度学习(Deep Learning)、机器学习(Machine Learning)这类前沿的定量实证研究方法,具有较强的学科交叉特征,也更多元化。而产生这样的原因可能是受益于国际方面学科发展的完善性,能更早意识到学科交叉的重要性。

间晚于 2017 年的关键词主要有虚拟现实、自然交互、扁平化设计、医疗设备、老年用户、智能手表、可用性测试、自动驾驶、情感化、心智模型等。图 8~9 分别列出 WOS 和 CNKI 中突现强度前 29 的关键词, 其中深色部分表现文献关键词引用频次相对突出的年份, 反映了 HCI-UE 研究的变化趋势^[32]。Timezone 时区图与 Burstness 关键词突现图均为关键词引入实践维度的分析指标, 二者相互佐证参照可以获得更加客观准确的结果^[32]。

如图 8 所示, 将关键词按时间顺序排列可看出, 国际的研究动态同样可分为三个阶段, 前期聚焦于 User Interface 与 Gesture Recognition。经过发展, 提出进一步的界面交互方式, 即 Natual User Interface 与 Tangible User Interface。而近期 Machine Learning、Augmented Reality、Mixed Reality、Virtual Reality 成为了热点。国际关于 HCI-UE 研究的演变在研究对象上呈现出从单一的图形用户界面向多通道、多模态、高复杂的自然用户界面、有形用户界面、虚拟现实、增强现实发展, 具有高度的跨学科特性。CNKI 数据中关于 HCI-UE 的研究同样可分为三个区间, 关键词

从前期的可用性、用户研究、以用户为中心、用户界面设计发展到智能手机、自然用户界面、扁平化设计、UI 界面、手机界面, 再到用户需求、情感化设计、老年用户等。从区间关键词演变来看, 在前期国内 HCI-UE 在研究上从关注可用性与用户界面设计, 到中期的智能手机、APP, 再到后期的老年用户、情感化、移动端。可得出一直以来国内较为关注 UI 应用层面的研究, 同时近年来在人口老龄化的因素影响下, 为老年用户群体的界面体验设计被学界慢慢地关注。

将关键词时区图与关键词突现图结合分析, 能看到国际学术界未来研究内容的重点集中于机器学习 (Machine Learning)、任务分析 (Task Analysis)、康复 (Rehabilitation)、用户中心计算 (Human Center Computing)、语音用户界面 (Voice User Interface)、增强现实 (Augmented Reality)、虚拟现实 (Virtual Reality)、物联网 (Internet of Thing)、脑电信号采集 (EEG)、老龄化 (Aging) 等方面。国内学术界未来的研究重点则主要集中在自动驾驶、语音交互、自然交互、虚拟现实、无意识认知、增强现实、眼动追踪、老年用户等方面。

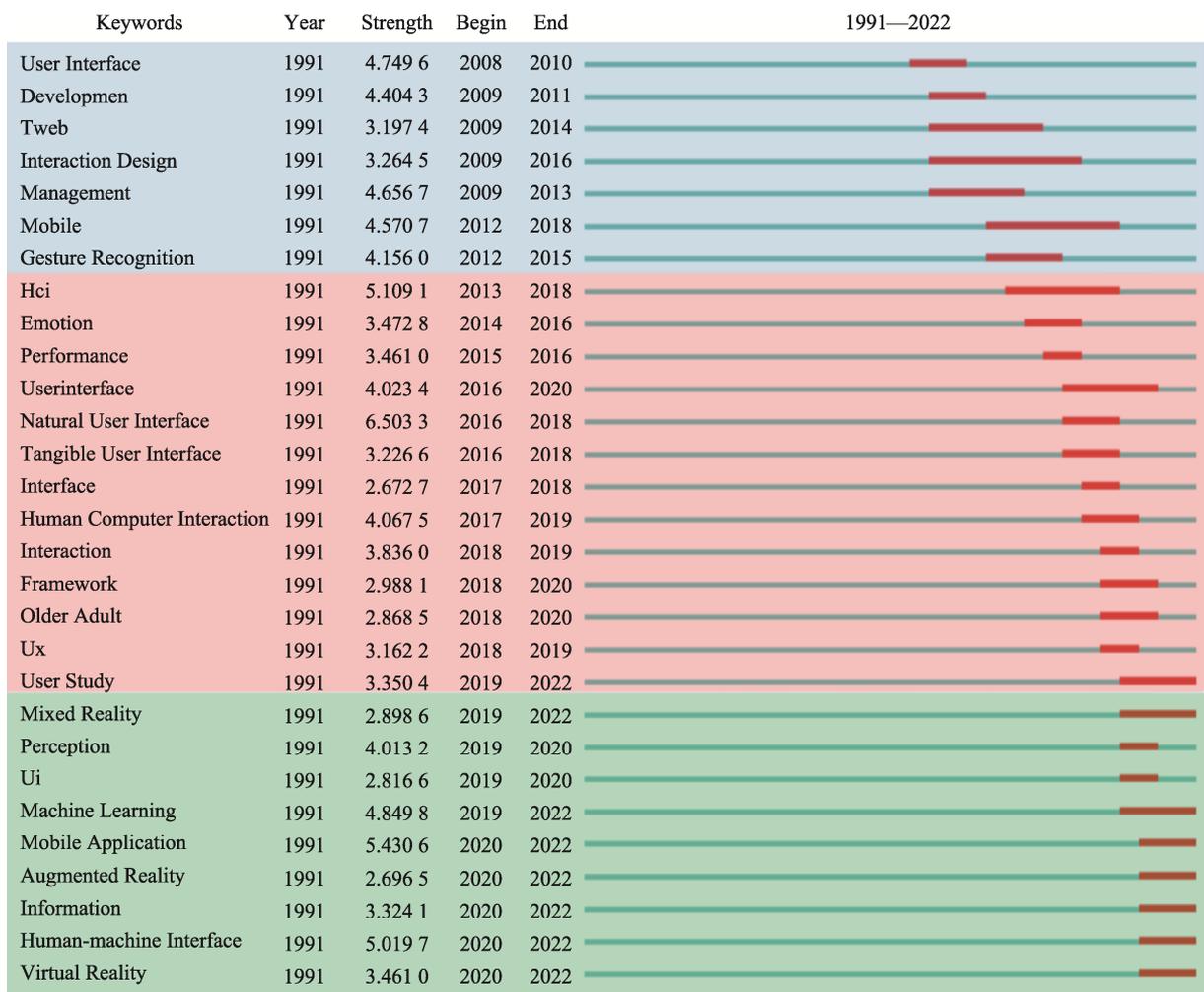


图 8 WOS HCI-UE 关键词突现图

Fig.8 Burst Term of HCI-UE key words in WOS



图9 CNKI HCI-UE 关键词突现图
Fig.9 Burst term of HCI-UE key words in CNKI

综上所述,国内外在前沿主题的研究上有一定趋同性,主要集中在自动驾驶、老年用户,以及语音用户界面等领域。

2.5 高被引文献分析

寻常的高被引文献分析,选取文献往往是时间段内被引次数从高到低,不利于把握整体趋势,而且选取的文献在时间上往往较为靠前,包含较少的近期文献。为把握整体趋势,进一步对比分析国内外 HCI-UE 研究范式异同,下文将选取检索式下近五年来,且每年总被引量排名前三的被引文献内容进行分析(已排除综述性论文)。通过分析表 1~2 可知,在研究范式上国内外学界各自有其特点,但两者都包括了定量、定性和混合的研究方法。例如,深度访谈、统计学方法等都在国内外 HCI-UE 论文中出现。同时两者都以用户为中心,强调从用户角度出发,且在发展路径上两者都是从单一图形界面向多模态、多通道趋势发展。这一结论与前文关键词聚类结果相吻合。

在具体研究对象上,国际学界目前研究对象主要聚焦于虚拟交互技术领域。如, Speicher 等^[33]通过在虚拟键盘上选择字符来研究 VR 中的文本输入,评估 VR 中基于选择的、文本输入的设计空间,在此基础上设计了六种不同的虚拟交互方式并评估了它们的性能和用户偏好,最后结果表明使用跟踪手持控制器的指向优于所有其他方法。Loeken 等^[34]分析了来自工业界和学术界的 28 个关于自动驾驶车辆状态的概念,这些概念将被传达给行人,告知行人车辆中状态。在实验中测量了参与者对增强现实的信任度,以及参与者过马路时的安全感和用户体验等指标,最后得出最好的互动信号是参与者已经熟悉的信号及简单、易懂、具有高辨识度的信号。他们的这一研究填补了自动驾驶车辆与行人互动的这一研究空白。Grubert 等^[35]研究了虚拟现实(VR)应用中使用的两种主流文本输入设备——桌面键盘和触摸屏键盘的性能和用户体验,讨论了有限的视觉反馈带来的局限性,并考察了不同使用策略的效率,最后得出用户可

以将打字的技能快速转移到 VR 中。相比较而言, 虽然国内 HCI-UE 研究领域对虚拟技术近几年有一定关注, 但是整体上侧重 UI 设计方向。学者相静^[36]从用户体验的视角出发探究手机界面设计, 在研究中分别对感官层、情感层、评价层做详细分析与论述。学者陈雪等^[37]在对用户体验设计在界面设计领域的价值进行分析的同时, 以用户体验和界面设计的相关理论为基础, 阐述了用户体验设计在界面设计中的重要性。最后, 从人因学的角度探析影响用户体验的界面设计因素, 总结归纳出基于用户体验的界面设计要素。在理论与方法上, 国际学界侧重于大数据 (Big Data)、深度学习 (Deep Learning)、机器学习 (Machine Learning)、情感计算 (Affective Computing)、数据分析 (Data Analysis)、数据挖掘 (Data Mining)、用户学习 (User Study) 这类定量的实证研究方法, 涵盖了诸多的定量和混合方法, 方法多样化, 在机器学习和深度学习方面尤甚。例如, Soure 等^[38]提出了一种协作视觉分析工具 CoUX, 以帮助用户体验评估人员集体审查数字界面的可用性测试视频, 这款工具基于机器学习的原理, 可以从视频和音频中提取的声学、文本、视觉特征, 将数据可视化, 从而支持用户体验评估人员之间的协作。Cho 等^[39]提出了一种基于

深度学习的非对称虚拟环境 (DAVE), 用于沉浸式体验元宇宙内容, 同时还基于深度学习设计了手势界面、文本界面等。国内学界偏向于设计策略、用户模型、设计原则、认知心理学等。例如, 学者罗欣等^[40]探索了智能橱柜交互界面的用户体验设计原则与策略, 提出以用户为中心、用户需求层次、信息通达性、操作易用性、情感愉悦化的智能橱柜的五条交互界面设计原则, 以及梳理需求层次优先级、注重用户操作反馈流程、设计评估与反馈意见以推动产品迭代的三条设计策略。胡骏^[41]为解决医疗设备界面设计所存在的问题, 从认知心理学的角度出发, 解析了认知心理与界面体验之间的关系, 提出了基于认知心理学的界面体验设计方法, 并建立相应的认知体验模型框架。在可用性研究上, 国际学界侧重脑电信号采集 (EEG) 这一类的生理实验法, Mangion 等^[42]使用脑电信号采集 (EEG) 系统记录实验参与者在某些社交媒体平台上执行任务时的情绪波动, 以此直观了解用户在使用界面时的状态。国内学界主要依靠系统可用性量表 (SUS) 这一类的行为实验法。例如, 学者李源枫等^[43]采用系统可用性量表 (SUS) 在医疗终端界面布局设计中收集界面布局方案可用性数据。

表 1 国内外学界高被引文献
Tab.1 Highly cited literature in Chinese and foreign academic circles

WOS 文献	文献来源	被引量	CNKI 文献	文献来源	被引量
Speicher 等 ^[33] (2018 年)	CHI Conference on Human Factors in Computing Systems	62	胡骏 ^[41] (2018 年)	浙江大学	26
Grubert 等 ^[35] (2018 年)	IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces	40	李倩 ^[56] (2018 年)	沈阳师范大学	22
Sarsam 等 ^[44] (2018 年)	User Modeling And User-adapted Interaction	23	冯志兵 ^[57] (2018 年)	湖南工业大学	21
Mclean 等 ^[45] (2019 年)	Computers In Human Behavior	161	陈雪等 ^[37] (2019 年)	设计	35
Loeken 等 ^[34] (2019 年)	International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications	44	李奕飞等 ^[58] (2019 年)	包装工程	22
Korableva 等 ^[46] (2019 年)	International Conference on Big Data and Education	37	丁金虎 ^[59] (2019 年)	江南大学	21
Hietanen 等 ^[47] (2020 年)	Robotics And Computer-integrated Manufacturing	57	马超民等 ^[60] (2020 年)	计算机集成制造系统	42
Faas 等 ^[48] (2020 年)	Transportation Research Part F - Traffic Psychology and Behavior	55	董娥姐 ^[61] (2020 年)	智库时代	16
Alsswey 等 ^[49] (2020 年)	Journal on Multimodal User Interfaces	53	耿阳等 ^[62] (2020 年)	设计	11
Sun 等 ^[50] (2021 年)	Advanced Science	54	罗欣等 ^[40] (2021 年)	家具	14
Youn 等 ^[51] (2021 年)	Computers in Human Behavior	27	相静 ^[36] (2021 年)	包装工程	8
Tai 等 ^[52] (2021 年)	IEEE Internet Of Things Journal	15	李源枫等 ^[43] (2021 年)	计算机辅助设计与图形学学报	8
Lei 等 ^[53] (2022 年)	IEEE Transactions on Industrial Electronics	11	彭华明等 ^[63] (2022 年)	现代电子技术	6
Heng 等 ^[54] (2022 年)	Advanced Materials	10	沈兰宁 ^[64] (2022 年)	电脑知识与技术	6
Wang 等 ^[55] (2022 年)	Nucleic Acids Research	10	杨焕等 ^[65] (2022 年)	设计	3

表2 国内外学界高被引文献研究范式
Tab.2 Research paradigms of highly cited literature in Chinese and foreign academic circles

WOS 文献	研究范式	CNKI 文献	研究范式
Speicher 等 ^[33] (2018 年)	定量研究	胡骏 ^[41] (2018 年)	定性研究
Grubert 等 ^[35] (2018 年)	定性定量混合	李倩 ^[56] (2018 年)	定性研究
Sarsam 等 ^[44] (2018 年)	定量研究	冯志兵 ^[57] (2018 年)	定性研究
Mclean 等 ^[45] (2019 年)	定量研究	陈雪等 ^[37] (2019 年)	定性研究
Loecken 等 ^[34] (2019 年)	定性定量混合	李奕飞等 ^[58] (2019 年)	定量研究
Korableva 等 ^[46] (2019 年)	定性定量混合	丁金虎 ^[59] (2019 年)	定性研究
Hietanen 等 ^[47] (2020 年)	定量研究	马超民等 ^[60] (2020 年)	定性定量混合
Faas 等 ^[48] (2020 年)	定性定量混合	董嫫姐 ^[61] (2020 年)	定性研究
Allswey 等 ^[49] (2020 年)	定量混合	耿阳等 ^[62] (2020 年)	定性研究
Sun 等 ^[50] (2021 年)	定量研究	罗欣等 ^[40] (2021 年)	定性研究
Youn 等 ^[51] (2021 年)	定量研究	相静 ^[36] (2021 年)	定性研究
Tai 等 ^[52] (2021 年)	定量研究	李源枫等 ^[43] (2021 年)	定性定量混合
Lei 等 ^[53] (2022 年)	定性定量混合	彭华明等 ^[63] (2022 年)	定量研究
Heng 等 ^[54] (2022 年)	定性研究	沈兰宁 ^[64] (2022 年)	定性研究
Wang 等 ^[55] (2022 年)	定量研究	杨焕等 ^[65] (2022 年)	定量研究

3 结论

国内外 HCI-UE 研究领域中的文献产出趋势基本一致。截至 2019 年,总体上呈上升趋势,2019 年后出现回落趋势,回落现象的产生可能是受近几年的全球疫情影响。国际国内文献产出峰值分别在 2019 年与 2016 年,这表明该领域已经进入到成熟阶段。相关的理工科院校是其研究主体。

综合关键词聚类可知,国内外学界在 HCI-UE 研究领域有一定的相似性与相异性。相似性表现为在关键词聚类上国内外研究都形成四个主要聚类,研究主题总体一致,这四个聚类形成了 HCI-UE 领域的研究闭环。此外,国内外学界都聚焦于可用性测试,且国内外学界均重视用户研究,以用户为中心设计。而相异性表现为:(1)在交互方式的研究上,国际学界视线已脱离传统的人机界面交互方式,转而专注于更加前沿的虚拟技术,而国内目前处于初始阶段;(2)在研究前沿趋势上,国际学界未来重点集中在机器学习(Machine Learning)、任务分析(Task Analysis)、康复(Rehabilitation)、用户中心计算(Human Center Computing)等方面,国内则聚焦自动驾驶、语音交互、自然交互、虚拟现实等方面。

对于研究范式,国内和国际的研究范式都有其特点,但国际范式在某些方面,特别是技术和算法的应用上可能更加先进和深入,具体如下。

1) 国际学界侧重定量研究,使用机器学习(Machine Learning)、任务分析(Task Analysis)、数据挖掘(Data Mining)等前沿技术,强调数据分析方法在捕捉海量数据背后的规律中的重要性。此外,国际研究还涉及算法与用户研究的结合,以提供更科

学的设计理论支持。国内研究则从心理学、创新设计、设计策略等多学科角度出发,从定性研究逐渐转向定量研究。

2) 在数据来源上,国外数据更多地使用客观生理测量数据,如 EEG、Eye Tracking 等。国内则以 SUS 量表数据及主观报告数据为主。

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 S J, GONG R R, ZHU S S. Handheld Mobile Device Software Interface Design for User Experience[J]. Journal of Computer Aided Design and Graphics, 2010, 22(6): 1033-1041
- [2] 黄艳群, 黎旭, 李荣丽. 设计·人机界面[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2007: 3-8.
HUANG Y Q, LI X, LI R L. Design: Human Machine Interface[M]. Beijing: Beijing University of Technology Press, 2007: 3-8.
- [3] 丁玉兰. 人机工程学[M]. 第 4 版. 北京: 北京理工大学出版社, 2011: 9-10.
DING Y L. Ergonomics[M]. 4th, ed. Beijing: Beijing University of Technology Press, 2011: 9-10.
- [4] 罗仕鉴. 人机界面设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
LUO S J. Man-machine Interface Design[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2002.
- [5] ISO 9241-210, 2019 Ergonomics of Human-System Interaction Part 210: Human-centred Design for Interactive Systems[S].
- [6] 魏玮, 宫晓东. 基于用户体验的人机界面发展趋势

- [J]. 北京航空航天大学学报, 2011, 37(7): 868-871.
WEI W, GONG X D. Development Trend of Human-computer Interface Based on User Experience[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2011, 37(7): 868-871.
- [7] 宗敏, 吴瑜, 蔡宗金. 基于 CiteSpace 的国外用户界面体验图谱量化分析[J]. 潍坊学院学报, 2021, 21(6): 7-15.
ZONG M, WU Y, QI Z J. Quantitative Analysis of Foreign User Interface Experience Atlas Based on CiteSpace[J]. Journal of Weifang University, 2021, 21(6): 7-15
- [8] MONGEON P, PAUL-HUS A. The Journal Coverage of Web of Science and Scopus: A Comparative Analysis[J]. Scientometrics, 2016, 106: 213-228.
- [9] 赵蓉英, 邱均平. CNKI 发展研究[J]. 情报科学, 2005(4): 626-634.
ZHAO R Y, QIU J P. NKI Development Research[J]. Information Science, 2005(4): 626-634
- [10] 文庭孝, 刘晓英. 计量学学科发展谱系研究[J]. 情报科学, 2022, 40(6): 12-18.
WEN T X, LIU X Y. Research on the Development Pedigree of Metrology Discipline[J]. Information Science, 2022, 40(6): 12-18.
- [11] CHEN C. CiteSpace II: Detecting and Visualizing Emerging Trends and Transient Patterns in Scientific Literature[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2006, 57(3): 359-377.
- [12] WALTMAN E L. Software Survey: VOSviewer, A Computer Program for Bibliometric Mapping[J]. Scientometrics, 2010, 84(2): 523-538.
- [13] 崔峰, 尚久杨. 中国农业文化遗产研究的文献计量与知识图谱分析——基于中国知网(CNKI)和 Web of Science 数据库[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(9): 11.
CUI F, SHANG J Y. Literature Metrology and Knowledge Map Analysis of China's Agricultural Cultural Heritage Research: Based on CNKI and Web of Science Database[J]. Chinese Journal of Ecological Agriculture (Chinese and English), 2020, 28(9): 11.
- [14] 葛燕, 陈亚楠, 刘艳芳, 等. 电生理测量在用户体验中的应用[J]. 心理科学进展, 2014, 22(6): 959-967.
GE Y, CHEN Y N, LIU Y F, et al. Application of Electrophysiological Measurement in User Experience[J]. Advances in Psychological Science, 2014, 22(6): 959-967.
- [15] 汪成为. 灵境, 虚拟现实技术的理论、实现及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1996.
WANG C W. The Theory, Implementation and Application of Virtual Reality Technology in the Spirit World [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1996.
- [16] HULUSIC V, GUSIA L, LUCI N, et al. Tangible User Interfaces for Enhancing User Experience of Virtual Reality Cultural Heritage Applications for Utilization in Educational Environment[J]. ACM Journal on Computing and Cultural Heritage, 2023, 16(2): 1-24.
- [17] YEH S C, WU E H K, LEE Y R, et al. User Experience of Virtual-reality Interactive Interfaces: A Comparison between Hand Gesture Recognition and Joystick Control for Xrspace Manova[J]. Applied Sciences, 2022, 12(23): 12230.
- [18] AL-EMRAN M, MEZHUYEV V, KAMALUDIN A. Technology Acceptance Model in M-learning Context: A Systematic Review[J]. Computers & Education, 2018, 125(10): 389-412.
- [19] DAVIS F D, BAGOZZI R P, WARSHAW P R. User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models[J]. Management Science, 1989, 35(8): 982-1003.
- [20] REED D, MONK A. Inclusive Design: Beyond Capabilities towards Context of Use[J]. Universal Access in the Information Society, 2011, 10: 295-305.
- [21] 贾凯凯. 网络视频服务中用户体验质量预测研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2017.
JIA K K. Research on Prediction of User Experience Quality in Online Video Service[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2017.
- [22] LYU Z, POIES F, DONG Q, et al. Deep Learning for Intelligent Human: Computer Interaction[J]. Applied Sciences, 2022, 12(22): 11457.
- [23] 徐颖. 手机游戏交互界面的用户体验研究——针对女性用户[J]. 设计, 2019, 32(17): 44-46.
XU Y. Research on User Experience of Mobile Game Interactive Interface: Targeting Female Users[J]. Design, 2019, 32(17): 44-46.
- [24] 胡晨. 互联网金融产品用户界面的情感化设计应用研究[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2022.
HU C. Research on the Application of Emotional Design in User Interface of Internet Financial Products[D]. Qingdao: Qingdao University of Technology, 2022.
- [25] 王文丽, 徐江华, 石小涛. 基于用户体验的座舱人机交互设计[J]. 时尚设计与工程, 2023(2): 10-15.
WANG W L, XU J H, SHI X T. Cockpit Human-machine Interaction Design Based on User Experience[J]. Fashion Design and Engineering, 2023(2): 10-15
- [26] NORMAN D A. The Design of Everyday Things[J]. Design of Everyday Things, 1988, 26(4):166.
- [27] 师乔乔, 张阿维. 浅析基于用户体验生命周期的产品 APP 界面设计[J]. 西部皮革, 2020, 42(4): 62.
SHI Q Q, ZHANG A W. Analysis of Product APP Interface Design Based on User Experience Lifecycle[J]. Western Leather, 2020, 42 (4): 62.
- [28] 贾梧, 周睿, 刘扬, 等. 基于眼动实验的短视频手机 APP 界面偏好研究[J]. 人类工效学, 2022, 28(2): 11-16.
JIA W, ZHOU R, LIU Y, et al. Study on Interface Preference of Short Video Mobile APP Based on Eye

- Movement Experiment[J]. *Ergonomics*, 2022, 28 (2): 11-16.
- [29] 孙林辉, 韩贝贝, 张伟. 基于眼动实验的英语学习类手机 APP 界面设计评价[J]. *人类工效学*, 2021, 27(2): 1-8.
SUN L H, HAN B B, ZHANG Wei. Evaluation of English Learning Mobile App Interface Design Based on Eye Movement Experiments[J]. *Ergonomics*, 2021, 27 (2): 1-8.
- [30] 王文娟, 张碧含, 符梦婷, 等. 无人物流车的车外屏人机界面设计研究[J]. *图学学报*, 2020, 41(3): 335-341.
WANG W J, ZHANG B H, FU M T, et al. Research on the Design of Human-machine Interface for Car Exterior Screens of Unmanned Streaming Cars[J]. *Journal of Graphics*, 2020, 41(3): 335-341.
- [31] 陈睿. 虚拟与现实互动型的玩具设计研究[D]. 武汉: 湖北工业大学, 2021.
CHEN R. Research on Virtual and Realistic Interactive Toy Design[D]. Wuhan: Hubei University of Technology, 2021.
- [32] DASARATHY B V. *Data Mining and Knowledge Discovery*[J]. Kluwer Academic Publishers, 2003, 4(1): 1-10.
- [33] SPEICHER M, FEIT A M, ZIEGLER P, et al. Selection-based Text Entry in Virtual Reality[C]// *Proceedings of the 2018 CHI Conference*. New York: Association for Computing Machinery, 2018.
- [34] LOEKEN A A, GOLLING C, RIENER A. How should Automated Vehicles Interact with Pedestrians? A Comparative Analysis of Interaction Concepts in Virtual Reality[C]// *Proceedings of the 11th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*. New York: Association for Computing Machinery, 2019.
- [35] GRUBERT J, WITZANI L, OFEKO E, et al. Text Entry in Immersive Head-mounted Display-based Virtual Reality Using Standard Keyboards[C]. Berlin: IEEE, 2018.
- [36] 相静. 基于用户体验的手机界面设计路径研究[J]. *包装工程*, 2021, 42(10): 347-349.
XIANG J. Research on the Path of Mobile Phone Interface Design Based on User Experience[J]. *Packaging Engineering*, 2021, 42 (10): 347-349.
- [37] 陈雪, 周美玉. 基于用户体验的界面设计因素分析[J]. *设计*, 2019, 32(1): 81-83.
CHEN X, ZHOU M Y. Analysis of Interface Design Factors Based on User Experience[J]. *Design*, 2019, 32(1): 81-83.
- [38] SOURE E J, KUANG E, FAN M, et al. CoUX: Collaborative Visual Analysis of Think-aloud Usability Test Videos for Digital Interfaces[J]. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2021, 28(1): 643-653.
- [39] CHO Y, HONG S, KIM M, et al. DAVE: Deep Learning-based Asymmetric Virtual Environment for Immersive Experiential Metaverse Content[J]. *Electronics*, 2022, 11(16): 2604.
- [40] 罗欣, 周橙旻, 詹先旭. 智能厨柜交互界面用户体验设计原则与策略[J]. *家具*, 2021, 42(2): 22-27.
LUO X, ZHOU C M, ZHAN X X. Principles and Strategies of User Experience Design for Interactive Interface of Intelligent Kitchen Cabinets[J]. *Furniture*, 2021, 42(2): 22-27.
- [41] 胡骏. 基于认知心理学的医疗设备界面体验设计研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
HU J. Research on Medical Device Interface Experience Design Based on Cognitive Psychology[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018.
- [42] MANGION R S, GARG L, GARG G, et al. Emotional Testing on Facebook's User Experience[J]. *IEEE Access*, 2020, 8: 58250-58259.
- [43] 李源枫, 吴群, 张剑, 等. 结合用户导向和遗传算法的医疗终端界面布局设计[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2021, 33(5): 662-670.
LI Y F, WU Q, ZHANG J, et al. Layout Design of Medical Terminal Interface Combining User-oriented and Genetic Algorithm[J]. *Journal of Computer Aided Design and Graphics*, 2021,33(5): 662-670.
- [44] SARSAM S M, AL-SAMARRAIE H. Towards Incorporating Personality into the Design of an Interface: A Method for Facilitating Users' Interaction with the Display[J]. *User Modeling and User-adapted Interaction*, 2018, 28:75-96.
- [45] MCLEAN G, OSEI-FRIMPONG K, ALEXA H. Examine the Variables Influencing the Use of Artificial Intelligent In-home Voice Assistants[J]. *Computers in Human Behavior*, 2019, 99(10): 28-37.
- [46] KORAVLEVA O, DURAND T, KALIMULLINA O, et al. Studying User Satisfaction with the MOOC Platform Interfaces Using the Example of Coursera and Open Education Platforms[C]// *Proceedings of the 2019 International Conference on Big Data and Education*. New York: Association for Computing Machinery, 2019.
- [47] HIETANEN A, PIETERS R, LANZ M, et al. AR-based Interaction for Human-robot Collaborative Manufacturing[J]. *Robotics and Computer-integrated Manufacturing*, 2020, 63: 101891.
- [48] FAAS S M, MATHIS L A, BAUMANN M R K. External HMI for Self-driving Vehicles: Which Information Shall be Displayed?[J]. *Transportation Research Part F Traffic Psychology and Behaviour*, 2020, 68: 171-186.
- [49] ALSSWEY A, AL-SAMARRAIE H. Elderly Users' Acceptance of Health User Interface (UI) Design-based Culture: the Moderator Role of Age[J]. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 2020, 14(1): 49-59.
- [50] SUN Z, ZHU M, ZHANG Z, et al. Artificial Intelligence of Things (AIoT) Enabled Virtual Shop Applications Using Self-powered Sensor Enhanced Soft Robotic Ma-

- nipulator[J]. *Advanced Science*, 2021, 8(14): 210030.
- [51] YOUNG S, JIN S V. "In A.I. We Trust?" The Effects of Parasocial Interaction and Technopian Versus Luddite Ideological Views on Chatbot-based Customer Relationship Management in the Emerging "Feeling Economy"[J]. *Computers in Human Behavior*, 2021, 119: 106721..
- [52] TAI Y, GAO B, LI Q, et al. Trustworthy and Intelligent COVID-19 Diagnostic IoMT through XR and Deep Learning-based Clinic Data Access[J]. *IEEE Internet of Things Journal*, 2021, 99: 1.
- [53] LEI Z, ZHOU H, HU W, et al. Unified and Flexible Online Experimental Framework for Control Engineering Education[J]. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2021, 99: 1-1.
- [54] HENG W, SOLOMON S, GAO W. Flexible Electronics and Devices as Human-machine Interfaces for Medical Robotics[J]. *Advanced Materials*, 2022(16): 34.
- [55] WANG Y, YANG Q, LIN X, et al. G4LDB 2.2: A Database for Discovering and Studying G-Quadruplex and i-Motif Ligands[J]. *Nucleic Acids Research*, 2021, 12:113-120.
- [56] 李倩. 基于用户体验的 UI 界面中图标设计研究[D]. 沈阳: 沈阳师范大学, 2018.
LI Q. Research on Icon Design in UI Interface Based on User Experience[D]. Shenyang: Shenyang Normal University, 2018.
- [57] 冯志兵. 基于用户体验的网页界面交互设计研究[D]. 株洲: 湖南工业大学, 2018.
FENG Z B. Research on User Experience Based Web Interface Interaction Design[D]. Zhuzhou: Hunan University of Technology, 2018.
- [58] 李奕飞, 何人可. 基于用户体验的洗衣机软界面设计原则研究[J]. *包装工程*, 2019, 40(10): 196-202.
LI Y F, HE R K. Research on Soft Interface Design Principles for Washing Machines Based on User Experience[J]. *Packaging Engineering*, 2019, 40(10): 196-202.
- [59] 丁金虎. 基于情境认知的自然用户界面体验设计研究[D]. 无锡: 江南大学, 2019.
DING J H. Research on Natural User Interface Experience Design Based on Contextual Cognition[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019.
- [60] 马超民, 赵丹华, 辛灏. 基于用户体验的智能装备人机交互界面设计[J]. *计算机集成制造系统*, 2020, 26(10): 2650-2660.
MA C M, ZHAO D H, XIN H. Design of Human-machine Interaction Interface for Intelligent Equipment Based on User Experience[J]. *Computer Integrated Manufacturing System*, 2020, 26(10): 2650-2660.
- [61] 董娥姐. 基于用户体验为核心的手机 APP 界面设计研究[J]. *智库时代*, 2020(3): 271-272.
DONG Z H. Research on Mobile APP Interface Design Based on User Experience as the Core[J]. *Think Tank Era*, 2020(3): 271-272.
- [62] 耿阳, 赵炜浓. 融合参与观察的用户界面设计方法研究[J]. *设计*, 2020, 33(9): 44-46.
GENG Y, ZHAO W N. Research on User Interface Design Methods for Integrating Participatory Observations[J]. *Design*, 2020, 33(9): 44-46.
- [63] 彭华明, 陶玉棠. 用户体验导向下的 APP 个性化界面设计研究[J]. *现代电子技术*, 2022, 45(4): 73-77.
PENG H M, TAO Y T. Research on Personalized Interface Design of APP under User Experience Orientation[J]. *Modern Electronic Technology*, 2022, 45(4): 73-77.
- [64] 沈兰宁. 基于用户体验的移动端 UI 交互设计探究[J]. *电脑知识与技术*, 2022, 18(3): 64-65.
SHEN L N. Exploration of Mobile UI Interaction Design Based on User Experience[J]. *Computer Knowledge and Technology*, 2022, 18(3): 64-65.
- [65] 杨焕, 鲍坤坊, 孙耀. 大数据分析下以用户体验为导向的移动应用界面设计创新方法研究[J]. *设计*, 2022, 35(1): 41-43.
YANG H, BAO K F, SUN Y. Research on Innovative Methods for User Experience Oriented Mobile Application Interface Design under Big Data Analysis[J]. *Design*, 2022, 35(1): 41-43.