

面向家庭应用创新的 Living Lab 方法

卫伟杰 刘正捷

(大连海事大学信息科学技术学院 大连 116026)

(浙江省健康智慧厨房系统集成重点实验室 宁波 315336)

摘要 互联网、普适计算和家庭机器人等计算机应用技术日益走进并深刻影响家庭生活。这些与家庭生活领域相适应的新技术的用户接受度、可用性及用户体验正成为越来越重要的问题。解决这些问题需要采用以用户为中心的研究、设计和创新方法。Living Lab 用户协同创新方法具有用户主动参与、深入真实环境和纵向研究剖面等优点。介绍了把 Living Lab 方法用于家庭应用创新的研究与实践。首先介绍 Living Lab 的基本概念,然后重点介绍家庭应用设计开发中的 Living Lab 研究与实践案例,最后探讨其未来的发展方向和研究课题。

关键词 Living Lab, 家庭, 创新, 以用户为中心设计

中图分类号 TP311 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2017.02.006

Living Lab Approach for Innovation in Domestic Applications

WEI Wei-jie LIU Zheng-jie

(School of Information Science and Technology, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

(Zhejiang Key Lab. of Healthy & Intelligent Kitchen System Integration, Ningbo 315336, China)

Abstract Technologies, such as Internet of things, pervasive computing and home robots, are becoming ever more integral to our domestic lives. However, user acceptance, usability and user experience of these new technologies are becoming increasingly important issues, which need employing User-Centred-Design (UCD) methods and tools. Living Lab approach for studying technologies in domestic context has the advantages of involving user actively, going deep into user's real-life environment and collecting data longitudinally. This paper first introduced the concept and the principles of Living Lab, then focused on the cases to adopt the Living Lab methods and tools in the home environments. At the end, the future research topics were explored.

Keywords Living Lab, Home, Innovation, User-centered design

1 引言

互联网应用技术、普适计算和家庭机器人日益走进家庭生活,并被视为未来发展的方向。这些新技术的用户接受度、可用性及其带给用户的使用感受是值得关注的问题,需要在应用技术开发时面向家庭用户开展需求研究、应用系统设计和开发评估。参与设计(Participatory Design)、以用户为中心的设计理念^[1](User Centered Design)已经在 ICT(Information Communication Technologies)产品开发中被普遍接受并得到应用,但相关的研究方法和工具主要应用于工作环境或实验室环境。面向家庭的新技术应用设计需要基于用户家庭的真实环境,获取用户未来的需求、期望、使用场景和概念构想,以及技术原型的使用体验反馈。传统的参与设计方法难以模拟多样化的家庭生活环境,难以在工作场所长期卷入用户开展研究。此外,家庭环境的差异性、隐私性、社会性等因

素也为开展这类研究带来困难和挑战^[2],比如难以对惯常行为和家庭成员间的交流与协作开展研究等^[3,29]。综合上述因素,在面向家庭应用创新时需要积极探索并实践新的研究方法和工具^[4]。

近年来,一种新的研究、设计和创新方法论——Living Lab 开始在家庭计算机应用创新中得到应用。该方法论强调深入用户真实环境、与用户建立长期的合作关系、鼓励用户积极主动地参与创新设计过程,并逐步成为 HCI(Human-Computer Interaction)研究方法探索的新热点。

本文第1节主要介绍 Living Lab 的概念和基本原则;第2节介绍 Living Lab 的方法和工具;第3节分析 Living Lab 应用于家庭环境存在的困难和挑战;第4节讨论该领域的未来发展方向;最后总结全文。

1.1 Living Lab 的概念

Living Lab 由美国麻省理工大学的 William J. Mitchell

到稿日期:2016-01-24 返修日期:2016-04-06

卫伟杰(1976—),男,博士生,CCF会员,主要研究方向为用户研究、人机交互、可用性工程等,E-mail:517064003@qq.com;刘正捷(1958—),男,教授,博士生导师,CCF高级会员,主要研究方向为设计方法、人机交互、可用性工程等,E-mail:liuzhj@dlmu.edu.cn(通信作者)。

教授最先提出^[5],其基本的含义是吸引目标用户共同参与,依托新技术资源,在多样且不断变化的真实生活环境中对未来产品进行场景探索、概念设计、原型验证和持续优化的以用户为中心的研究方法论(见图1)^[5-8]。

Living Lab 出现至今只有 20 年时间,目前并没有统一的定义。Sanders 于 2008 年提出 Living Lab 长期卷入用户共同创新(Co-Creation)的概念,用户不再是被研究的对象,而是积极参与的价值创造者^[9]。Pallot 于 2009 年提出 Living Lab 是以用户为中心的开放创新系统,该系统是基于公共机构-相关利益方-用户(Public-Private-People)共同参与、进行迭代实验设计的过程^[10]。欧盟项目核心成员组织(European project CoreLabs)认为 Living Lab 是使公众、产品或服务的购买者和使用者在研究、开发和创新过程中承担更积极的价值创造者或共同创造者角色的系统。欧洲 Living Lab 联盟(ENoLL)认为 Living Lab 是在真实生活环境中,用户驱动新服务、新产品等进行创新的开放创新环境^[14]。



图1 Living Lab 的基本概念^[5]

1.2 基本原则

Living Lab 具有一些鲜明特征。根据 Birgitta Bergvall-Kåreborn(2009),Living Lab 具有以下 5 个基本原则^[14-15]。

1)持续性(Continuity):Living Lab 是一个多方合作的创新平台,需要逐步建立信任,因此长期性和持续性的重要性显而易见。

2)开放性(Openness):Living Lab 强调开放创新。尽管开放程度应视具体情况而定,比如关键内容的创新应该限制在一定范围,但总体上应该坚持开放创新的思想。

3)真实性(Realism):Living Lab 创新活动应该基于真实的用户和真实的用户生活环境。真实原则是 Living Lab 区别于其他方法的主要特征之一。

4)用户参与(Empowerment of users):积极利用用户的创造力,激励用户主动参与和影响创新活动,以便获得基于用户真实需求和期望的创新成果。

5)自发性(Spontaneity):重视用户自发的使用习惯、观点和做法,建立收集、汇总和分析用户自发的使用反应和长期思想变动性的分析能力。

上述 5 个基本原则中,持续性、真实性、用户的主动参与是 Living Lab 区别于其他方法论的最主要的特征。需要说明的是,尽管有些研究和实践工作的研究过程和方法符合 Living Lab 的基本原则,但由于学科背景、行业等方面的原因,并没有冠以 Living Lab 的名称,本文也将其视为 Living Lab 的工作。

1.3 研究概况

Living Lab 在国外的研究始于 2005 年。根据李青、娄秋艳的研究统计^[11];2005—2007 年,有关 Living Lab 的研究主要集中在欧洲;2008 年以后,欧洲的研究和实践仍旧非常活跃,同时其他地域的研究者也开始关注这个领域,Living Lab 已普及世界各大洲。从国外学者的研究类型和领域看,应用研究和理论研究居多,其中应用研究涉及的领域包括智慧生活、老年生活协助、医疗保健、智能城市、移动互联网、教育、商业服务等 7 个领域。

中国学者于 2006 年开始关注 Living Lab,比如北京邮电大学的纪阳教授积极引进该概念并在大学校园推动 Living Lab 探索和实践^[12,16]。Living Lab 的中文翻译也比较有争议,有“生活实验室”、“活性实验室”、“理唯实验室”、“实地实验室”等^[13],但这些翻译都只表达了它作为真实生活环境的研究平台,而难以表达它作为研究方法论的另一面,因此,本文作者仍然使用 Living Lab 的英文名称。国内在工业界实践方面相比欧美国家比较落后,根据欧洲 Living Lab 联盟(ENoLL)网上的公开信息,截至 2015 年 9 月全球共有 370 多家企业或研究机构成为 ENoLL 会员¹⁾,而中国会员只有 3 家,并且只有一家会员比较活跃(分布在中国台湾)。

在面向家庭计算机应用的研究工作中,Living Lab 主要应用于家庭 ICT 产品的创新设计,最初被应用于家庭消费产品,随后被应用到智能家居产品,并进一步扩展至移动电子产品^[18]。其应用案例包括:智能电表、智能电视、社交媒体、家庭劝导产品等智慧生活领域;日常活动和健康居住监测等老年生活协助领域;残障、痴呆病人的家庭护理等医疗领域等。

2 方法与工具

2.1 真实环境构建

真实性是 Living Lab 的基本原则和重要特征,开展 Living Lab 工作时首先需要构建用户真实环境。实践中,真实环境主要有以下两种类型。

(1)Living Lab 实验室

Living Lab 实验室提供可供用户长期居住或生活的模拟家庭环境(如家庭公寓),并安装可用于采集用户行为数据的观察和传感器设备。开展研究工作时,研究人员邀请用户在其中居住一段时间,进行概念产品的使用观察、原型验证等研究工作。例如,纽卡斯尔大学(Newcastle University)的 Ambient Kitchen 实验室(见图 2),其厨房烹饪器皿中嵌入的传感器可识别用户切、削、砍、炒等十几种备菜和炒菜动作^[22]。在一项研究工作中,研究人员邀请用户在该实验室生活一段时间,采集用户每日的烹饪习惯数据,用于分析用户的饮食偏好和体重健康之间的关系。

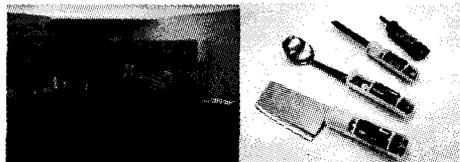


图2 嵌入厨房 Living Lab 实验室^[22]

¹⁾ <http://www.openlivinglabs.eu/livinglabs>

Living Lab 实验室可供研究人员近距离地观察和获取用户的行为数据,其提供的居住环境接近用户家庭环境,但难以模拟用户居住的社会环境。

(2) 用户家庭环境

另一类真实环境来源于用户家庭环境。与 Living Lab 实验室相比,用户家庭环境更符合真实性原则。鉴于用户家庭环境具有差异性和多样性,构建时需要考虑在居住面积、家庭人口结构、分布区域等方面具有差异性的家庭。其次,用户居住分散,现场采集数据方式的执行成本较高,通常需要根据研究需求,在获取用户同意的情况下,安装自动监测或远程数据采集工具(如 IP 摄像头、传感器、可视电话等),配置或改善用户家庭中的相关硬件设施(如路由器、电视信号接收器等)。

2.2 研究方法

Living Lab 既是长期卷入用户真实生活环境的平台,又是以用户为中心的设计方法论^[33,36]。根据以用户为中心的设计开发流程,Living Lab 在 HCI 设计开发中的主要应用内容包括:1)需求研究阶段探索需求场景和概念机会;2)设计迭代阶段吸引用户共同参与设计创新;3)测试评估阶段基于用户真实场景进行原型(或产品)验证并获取体验反馈。

传统参与设计中有多种不同的研究方法和工具来获取用户的需求、期望和体验反馈,比如访谈法、实验室测试等。面向家庭应用创新的 Living Lab 工作在选择研究方法和工具时,需要考虑家庭环境的特殊性以及 Living Lab 的基本原则。

2.2.1 早期研究方法

Living Lab 早期的研究方法主要采用参与设计、传统以用户为中心的设计方法。Marc Pallot 等人于 2009 年绘制的 Living Lab 研究方法地图^[20]中包括了传统的以用户为中心的设计(UCD)方法、用户体验方法(UX)、参与设计(Participative Design)方法等(见图 3)。

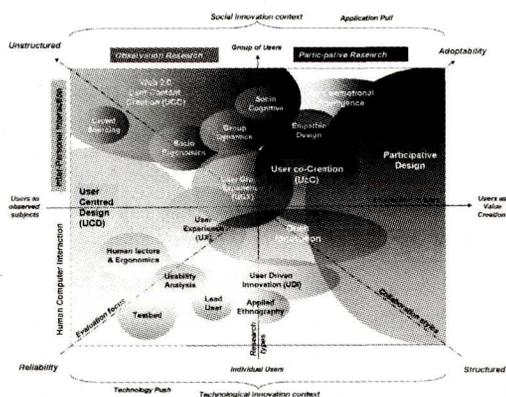


图 3 Living Lab 研究方法地图^[20]

Feurstein 和 Schumacher 于 2008 年调查了欧洲 8 个 Living Lab 联盟^[19],共包括 Erisson, Microsoft, Telia sonera, Mobilkom Austria, Philips 等 20 多家知名企业和研究机构。这些联盟在设计开发的不同阶段(注:Feurstein 和 Schumacher 把设计开发过程划分为需求(Idea)、概念(Concept)、开发(Development)、发布阶段(Lanch) 4 个阶段)使用了多种研究方法(见图 4)。

需求	概念	开发	发布
传统方法 - 顾客抱怨 - 访谈法 - 焦点小组 - 移情设计 - 参与设计 - 故事讲述 - 顾客建议 - 领先用户创意征集 - 创意小组 - 在线方法 - 线上访谈 - 线上座谈会 - 线上建议箱 - 线上创意小组 - 市场情报	传统方法 - 联合分析 - 质量功能展开 - 领先用户概念测试 在线方法 - 基于网络的联合分析 - 用户设计	传统方法 - 消费者专题会议 - 原型测试 - 可用性测试 - 现场试验 - 工程对标 在线方法 - 动态社会网络日志 - 经验抽样法 - 虚拟原型测试 - 基于网络的计算机设计 - 用户工具	传统方法 - 产品测试 - 市场测试 - 可用性测试 传统方法 - 眼动追踪 - 时间-动作分析 - 虚拟产品测试 - 虚拟市场测试 - 虚拟原型测试

图 4 传统 Living Lab 研究方法^[19]

根据 Feurstein 和 Schumacher 的调研,需求阶段使用最为普遍的研究方法为访谈法(Interviews)、焦点小组(Focus Groups)、移情设计(Empathic Design)和顾客建议(Customer Suggestions);概念阶段使用最为普遍的研究方法为用户设计(User Design),而便于和用户在家庭环境中交流的民族志方法^[55-57](Ethnography)却很少得到使用;开发和发布阶段使用最为普遍的研究方法为可用性测试(Usability Testing)和顾客工作坊(Workshops with Costumers)。

早期的研究方法应用于 Living Lab 实践工作时存在一些不足。首先,部分研究方法(如测试方法)与用户真实生活环境关联度不高,用户是被研究的对象,这与 Living Lab 主张真实生活环境和用户积极主动参与的原则契合度不高。其次,基于人工的面对面方法较多,在线或远程研究方法较少^[4]。人工方法在用户家庭现场进行数据采集时成本高,且干扰用户生活。因此,早期的研究方法和工具需要改进和发展。

2.2.2 研究方法的最新探索

最近 15 年^[21],家庭 HCI 的研究工作成为主流。新技术(智能手机、无线局域网、传感器等)开始普及并为面向家庭环境应用创新的 Living Lab 研究工作带来了新的应用机会^[22,27,45]。此外,参与设计方法中还出现了文化因素研究方法^[58-60,62]、与用户互动和共同创建(Co-creation)的方法^[61,64]。这些因素共同推进了 Living Lab 研究方法和工具的改进与发展。

作者采用 Living Lab, Study Technology in the Home, CO-Design 等英文关键词在百度学术、ACM 数据库、IEEE/IET 数据库、Springerlink 全文期刊数据库中检索论文,选出引用量靠前或同行评阅的论文及其参考文献,从中筛选出 33 篇面向家庭应用创新的 Living Lab 实践工作的论文^[22-54]。根据统计,需求研究阶段主要采用的研究方法有民族志、文化探查、技术探查、在线观察和交流、传感器数据监测等方法;设计迭代阶段主要采用的研究方法包括创新工作坊、快速原型测试等方法;测试评估阶段主要采用的研究方法包括用户家庭场景的测试和 Living Lab 实验室测试等方法(见图 5)。

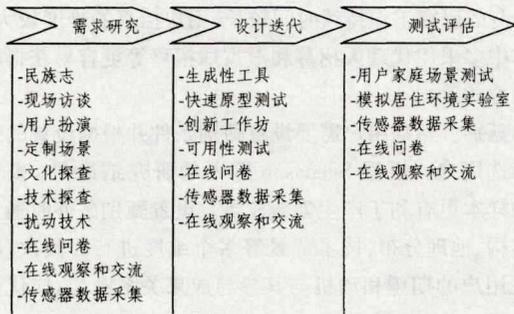


图 5 最新 Living Lab 研究方法^[22-54]

对比 Feurstein 和 Schumacher 调研的早期研究方法,最新的 Living Lab 研究方法主要有以下不同:

1)采用基于用户家庭环境、方便与用户交流的研究方法,包括民族志方法(Ethnography)^[22,26,45]、现场访谈(On-Site Interviews)^[36-37,42]、家庭场景评价(Living Lab Home Context Evaluation)^[33-34,38,42]等。

2)出现了较多便于用户参与和共同设计的工具,包括创新工作坊(Creative Workshop)^[37,40]、文化探查(Culture Probes)^[27,31]、技术探查(Technology Probes)^[41]、用户扮演(User Enactments)^[25]、定制场景(Tailored Scenarios)^[23-24]、技术扰动方法(Disruptive Techniques)^[29]等。

3)传感器和远程在线工具在洞察研究、原型迭代和测试评估中应用普遍,包括在线问卷^[23-24,27,33,36]、在线观察和交流^[45,50]、传感器数据采集^[22,33,42]等。

2.2.3 应用案例分析

(1)家庭能源回馈产品开发项目^[26]

案例源自于英国伦敦中部持续 4 年的 Living Lab 项目——家庭能源回馈数字产品开发项目(LEEDR 项目),其目的是帮助用户减少能源需求,节省社会能源消费。在项目早期阶段,研究人员希望进入当地居民的家庭,跟踪观察用户家庭相关产品的使用情况,从中发现产品设计机会。

为了深入理解用户的日常生活,研究人员采用了民族志方法。在初次进入用户家庭时与用户一起绘制各个房间的草图,然后邀请用户家庭成员各自使用带有编号的彩色不粘贴在草图上描绘出典型的一天中,他们在每个房间的例行事项和进出活动(见图 6)。为了获取人与环境的详细信息,邀请用户带领研究人员在现场拍摄他们的生活场景,比如布置家庭、做卫生、通风换气等工作。



图 6 平面图制作活动^[26]

上述做法有利于激发用户讲述出一些他们很少主动提及的行为与活动,不同家庭成员的作品还可以互相印证,有利于研究人员获取自然、真实的家庭生活场景。家庭摄像记录了用户家庭环境、每天的生活、家庭成员之间的关系和情感、相关产品和使用等详细信息。

主要不足:首先,在用户家庭开展研究需要花费较高的人

工成本和时间成本;其次,难以避免对用户的生活产生侵扰。

相关探索:为了减少对用户生活的侵扰并降低民族志研究的成本,一些 HCI 研究人员探索了远程数据采集工具和民族志方法的结合应用,例如:Sarah Martindale 等人采用安装在用户家庭的 IP 摄像头和可穿戴微型摄像机远程获取用户的媒介使用行为、用户购物行为和消费体验^[50];Lydia Plowman 在研究儿童学习和使用玩具的行为时,要求父母使用智能手机拍照和拍摄视频,然后发送给研究人员^[45]。

(2)用户需求和期望探查实践^[29]

设计产品时,一个很重要的工作是理解用户的需求和期望,但用户往往说不清楚自己需要什么。S. Poole 等人采用改变用户日常生活习惯的全新技术原型来探查用户的需求和期望。他们把一个普通的垃圾箱和嵌入在上盖内侧的智能手机组成具有互联功能的垃圾箱(见图 7),智能手机在用户丢垃圾时自动拍照丢弃的垃圾并上传图片至 Facebook,用户及公众可以查看这些图片、评价和交流存在的浪费行为。



图 7 互联网垃圾桶 BinCam^[26]

研究表明,BinCam 的存在减少了用户的浪费行为。研究进一步表明,手机拍照的快门声响起了用户的警觉并促使他们反思自己的浪费行为。在后续的产品设计中,声音设计变成一个重要的研究内容。

相关探索:除了采用技术原型外,HCI 研究人员还采用文化探查获取用户的需求和期望。Birgitta 等人在老年人居住健康研究中让参与的老人采用一次性照相机、笔记本等工具记录每天的生活情况^[40];Jan Hess 等人在研究家庭日常媒介使用行为时,让参与者采用家庭日记、数码相机等工具记录家庭生活^[31],具体的任务包括记录每次使用多媒体的具体时间、在场人员、观看内容等详细信息,以及绘制家庭布局草图和每个房间的技术设备,并标出他们最喜欢的地点等。

采用技术探查和文化探查方式有助于获取用户表达不清楚的需求和期望。

(3)老人居住监测的传感器开发与测试^[28]

案例源自在荷兰开展的针对老人家庭居住环境进行传感器监测的开发和测试项目,其目的是及早发现老人日常活动的异常,如活动减少等,以便于护理人员及早进行干预或提供治疗。由于项目开发人员对老人的认知和身体限制等情况了解较少,在该产品开发过程中采用了卷入老人及其真实居住环境的 Living Lab 方法。

在测试产品时,研究人员采用了 Living Lab 实验室测试方法,他们招募老人在装有传感器的公寓中(见图 8)居住一个星期,让他们按照自己的生活习惯和意愿使用 App,并反馈自己的意见。由于难以找到愿意长期居住在该公寓的老人,

最终只开展了2个用户的测试。尽管如此,还是发现了很多基于实验室测试难以发现的细节,比如老人用户非常关心自己的监测数据,他们一天中数次查看App,而且这成为了他们和其他老人交流的话题。



图8 监测系统模型和App(左)传感器公寓(右)^[28]

主要不足:真实环境测试方法主要应用于对设计的测试评价阶段,可以获取更多、更真实的使用体验反馈,但不足之处在于用户招募和测试环境搭建难度较大。

2.3 研究方法的使用

开展 Living Lab 研究时可以应用的方法较多,需要根据研究的需要使用适合的方法。现有研究工作中对研究方法的应用具有如下特点。

1)多种方法并用。某一种研究方法或工具提供的信息往往不够全面,多种方法和工具组合使用可以互相补充和印证,有利于提高研究结果的效度。例如观察、访问、日志、摄像等方法 and 工具通常组合使用^[34-45];探查法和生成性方法包含多个研究工具,通常以工具组合的方式使用^[1,23-24,27,31,41]。

2)定性和定量结合。定性的研究方法如座谈会、深访、情景询问等对于深刻理解用户的动机和需求很有帮助,但也存在用户对习惯性行为视而不见、表述误差、故意隐瞒等不足。此外,定性方法的样本量通常较小,难以进行统计分析。传感器、在线监控等方式采集的定量数据可以弥补定性方法的不足^[23-24,26,30]。

3)对应设计开发阶段。研究方法的选用应考虑不同设计工作阶段的需求。需求研究阶段主要的任务是洞察机会和提出概念,这个阶段使用的方法多是探索性方法和工具,比如访谈法、文化探查、技术探查等^[23-24,27,31,41];设计阶段需要快速验证设计和原型,通常采用一些快速验证工具,比如快速原型、可用性测试^[27];测试评估阶段需要验证产品的性能和使用体验,通常需要在用户真实环境中进行长期的验证测试和用户体验跟踪^[33,36]。

2.4 研究过程管理

Living Lab 强调长期性,通常需要长期、多次卷入相同的用户开展研究工作。从现有面向家庭应用创新的实践工作看,项目持续的时间通常为数月甚至几年,如在德国锡根(Siegen)和英国兰卡斯特(Lancaster)开展的两个有关家庭娱乐的设计创新项目的跨度长达4年。纵向固定样本能提供更深刻的体验反馈及更多细节的思考^[67],但也带来了大量复杂的日常工作,比如用户招募、建立信任、激励用户和后勤保障等,需要付出更多的努力进行过程管理。

2.4.1 招募用户

1)招募。招募用户的方法有直接招募和间接招募两种方式。直接招募需要由研究人员发布招募信息并进行招募,间接招募通常是采用代理人或滚雪球方式进行招募。由于 Li-

ving Lab 的研究工作持续时间较长,用户招募的难度较大,实践工作中多采用代理人招募和滚雪球招募等更容易获得用户参与的方式。

2)甄别。甄别用户需要设置甄别条件并根据设置的甄别条件筛选用户。根据 Svensson 等人的研究结论^[68],多样差异化的样本更有利于产生创新成果。设置甄别条件时通常从家庭结构、地理分布、技术背景等多个维度进行。其次,心理学发现用户的期望和动机与其参与成果关系密切,应优选有热情和愿意分享的申请者。

3)样本量。Living Lab 需要长期、深度卷入用户及其生活环境,开展研究工作时,单个样本花费的时间和资金成本都较高,实践中卷入的用户家庭数多在30户以下^[33,36,42]。由于样本量较小,Living Lab 研究的成果在支持决策时还需要大样本的市场研究验证。

2.4.2 建立信任

建立用户信任有利于提高用户的参与热情和积极性。根据德国锡根(Siegen)和英国兰卡斯特(Lancaster)长期卷入用户的经验,以下做法有利于建立用户信任:1)设置固定的用户联络人,负责联络用户、组织活动、收集和解答用户问题;2)保持与用户的联络,包括举办一些非正式交流,比如举办活动、聚会等;3)对用户的建议及时进行反馈,使用户感到被重视和尊重;4)与用户接触的研究人员具有轻松、愉快、友好的职业形象。

2.4.3 激励用户

用户的参与热情一般在项目开始时较高,后期会出现衰退,甚至会有用户退出;此外,周围环境的变化可能会对用户的动机产生影响,比如类似的上市产品的出现、用户家庭结构的变化等。因此,需要做好用户的动机管理和激励工作。

用户激励需要结合用户参与的动机,有些用户希望得到物质激励,可以激励配套服务,比如配备网络、手机话费充值、免费使用新产品等。有些用户希望表达自己的思考、参与活动和获得重视,可以积极表达对他们参与活动的重视和反馈建议的采纳情况。

2.4.4 后勤保障

Living Lab 实践工作发现^[36],测试产品出现故障时,用户期望的维修速度会参照正常商品的速度,尤其是当原型的故障会对用户的的生活产生影响时,延迟服务可能导致用户的抱怨和失望。从维护 Living Lab 用户参与积极性的角度,需要做好后勤保障工作。

3 困难与挑战

3.1 真实环境搭建

搭建 Living Lab 实验室需要提供场地、布设家庭生活环境,还要安装研究设备(如隐藏观察设备和各类传感器)。研究设备要满足特定的研究需求,通常无法从市场上购买获得,需要进行定制或开发,例如,纽卡斯尔大学(Newcastle University) Ambient Kitchen 实验室^[22]中可识别烹饪行为的烹饪炊具。对于一些规模较小的 HCI 研究团队,搭建 Living Lab 实验室存在资金和研究设备开发方面的困难。

在用户家庭环境中开展 Living Lab 研究可以减少场地和

环境布置方面的投入,但在布设研究设备时可能存在更多的困难和挑战。例如,S. P. Le Blond 等人在 100 户家庭中开展家庭能源消费智慧监测系统研究工作^[32],需要在每个用户家中安装 ZigBee 无线模块传输研究数据。用户家中的网络防火墙阻止外部访问,开放防火墙存在安全隐患,且有些用户忘记了账号和密码。他们在安装电能数据采集模块时,有些用户家庭中的电表箱由于放置位置过高或在室外,大大增加了安装困难;有些家中的电表箱内部空间过小,根本无法放置数据采集模块。

3.2 现场数据采集和分析

在理解用户生活和洞察用户需求时,HCI 研究人员通常需要深入用户家庭生活空间,观察用户的真实使用场景,获取用户的情感和态度反馈。在实践工作中,项目开展的周期长^[33,36],用户家庭分散在不同地点,研究人员多次深入不同用户家庭中开展数据采集时,需要花费较高的人力和时间成本。

在一些家庭能源消费、家庭媒介消费和生活方式研究工作中,研究人员采用传感器、网络摄像头等工具自动监测和传输研究内容^[28,38,43]。传感器自动采集数据节省了人力成本,但会产生大量的原始数据,需要借助数据挖掘方面的分析技术或专业对这类数据进行分析。

3.3 管理挑战

3.3.1 用户激励

家庭是用户及其家人生活的场所。长期卷入真实家庭环境和深入用户生活空间的 Living Lab 工作会对用户的正常生活产生侵扰,比如需要用户预留时间、接受访问、参加活动等。用户通常不愿意自己的家庭生活被打扰,研究人员采集数据时可能会造成用户疲劳和烦躁,可能导致用户参与热情下降甚至中途退出。例如,在德国 Siegen 大学开展的一个持续 4 年的 Living Lab 项目的一次家庭访问中,当研究人员出示需要下周完成的日记工作内容时,用户这样对研究人员说:“Oh, no, not again!”(哦,不要,再也不要了!)^[36]。开展 Living Lab 工作时需要寻找到愿意长期合作且符合研究需求的用户,并需要在项目开展过程中做好与用户的沟通,鼓励用户自始至终积极参与。

3.3.2 过程管理

Living Lab 实践工作表明,长期卷入用户时需要建立与用户的沟通机制(如网上交流群),需要在研究工作中建立用户信任,需要在不同的研究阶段管理用户的动机和预期,还需要做好研究执行的后勤保障等,这些都需要研究人员付出大量的工作和较多的时间。

3.3.3 伦理问题

家庭 Living Lab 工作应尊重用户的生活和隐私,包括由用户自主选择或决定参加活动^[17],在合适的时间访问用户,保护用户家庭隐私。照相、摄像、录音、传感器数据采集等工具的使用需要征得用户的知情同意,采集的数据应确保安全保存并只用于研究。在研究规划和工作开展时,应尽可能避免给用户带来负担,应评估技术改变或技术干预可能给用户家庭生活带来的影响,避免过多的内容安排或交付任务可能导致的用户疲劳。此外,用户情感也是需要关注的问题,应尽

量避免用户在与研究人员互动的过程中感受到失望、被忽略和不受重视^[18]。

4 未来的研究课题

面向家庭应用创新的 Living Lab 方法发展时间较短,很多方法和工具是从传统研究方法和工具中借用的。鉴于家庭环境的特殊性,这些传统的方法和工具在应用时需要进一步发展和完善。在未来一段时间内,以下一些方面的内容将可能成为未来研究的课题。

4.1 情境感知数据采集

早期家庭研究工作主要由研究人员人工进行数据采集,例如访谈、观察等。这些方法在家庭环境中开展研究时可能对用户生活产生影响或侵扰,而且研究人员的人工成本和时间成本高。随着家庭网络、摄像工具和社交媒体的普及,一些 HCI 研究人员采用互联网、穿戴设备、智能手机等新技术与传统的研究方法结合在一起开展研究工作,比如在线问卷、远程观察和交流、用户自拍并上传视频或照片等。这些方法和工具使得研究人员可以远距离开展研究工作。

近年来,采用传感器自动采集数据并利用家庭网络传送数据的家庭数据采集应用逐步增多。传感器采集数据可以减少数据采集成本,而且不存在随机误差,但产生的数据量通常较大,如监测用户家庭的日常能源使用、房间温度和湿度^[43]。如果采用情境感知工具和方法进行数据采集,可以针对项目需求进行数据采集,从而大大减少无用数据采集,提升研究工作效率。

4.2 用户协同创新方法

理解用户的真实需求,并让用户参与创新过程是 Living Lab 协同创新的挑战。Gaver(1999)和 Hutchinson(2003)等人提出了文化探查和技术探查方法来洞察用户的需求和期望,探查创新机会。近几年,研究人员积极探索了新的用户协同创新方法,比如构建研究方法(Constructive Research)^[63,65]和生成性工具(Generative Tools)^[64,66]。

此外,家庭 Living Lab 工作的开展需要长期卷入用户及其家庭成员,如何吸引家庭用户积极参与也是一个难点问题。除招募工作外,从研究方法和工具的角度也可以做出改进和创新,比如减少对用户生活的侵扰,改进研究方法和工具的参与性、趣味性、体验感等。

4.3 不同文化环境的实践探索

Living Lab 的概念起源于欧美,目前主要的研究成果和实践经验也来自欧美国家。这些实践和经验推广至其他区域和文化时可能需要探索新的困难和挑战,比如参与动机、家庭观念等。Living Lab 概念在中国的传播和实践相对较晚,需要更多的中国 HCI 研究人员展开探索和实践。

结束语 Living Lab 强调积极卷入真实用户和用户真实生活环境开展创新。学习和应用 Living Lab 方法对面向家庭的新技术的应用创新具有积极意义。国内开展 Living Lab 应用的研究起步较晚,因此积极探索适合中国特殊文化环境和社会环境的 Living Lab 方法和实践应用也具有重要意义。

家庭是一个很特殊的应用领域,对这一领域的研究、设计和创新方法将会对其他领域具有广泛的借鉴意义。互联网、

普适计算、家庭机器人等新技术越来越广泛地走进用户家庭,这为面向家庭应用创新的 Living Lab 研究工作带来了新的发展机遇。情境感知数据采集、用户协同创新方法、不同文化环境的应用探索将可能成为未来研究的热点课题。

参考文献

- [1] NORMAN D A. The Design of Everyday Things[M]. Duple-day, 1990.
- [2] COUGHLAN T, MACKLEY K L, BROWN M, et al. Current Issues and Future Directions in Methods for Studying Technology in the Home[J]. Psychology Journal, 2013, 11(2): 159-184.
- [3] POOLE E S, EDWARDS W K, JARVIS L. The Home Network as a Socio-Technical System; Understanding the Challenges of Remote Home Network Problem Diagnosis[J]. Computer Supported Cooperative Work, 2009, 18(2/3): 277-299.
- [4] HAN L, LIU Z J, ZHANG J, et al. Remote User Experience Evaluation Review; Tools, Methods and Challenges [J]. Computer Science, 2014, 41(10): 196-203. (in Chinese)
韩立, 刘正捷, 张军, 等. 远程用户体验评估综述: 工具、方法和挑战[J]. 计算机科学, 2014, 41(10): 196-203.
- [5] ERIKSSON M, KULKKI S. State-of-the-art in utilizing Living Labs approach to user-centric ICT innovation-a European approach[J]. Technology, 2005, 1(13): 1-13.
- [6] ERIKSSON M, NIITAMO V P, KULKKI S, et al. Living labs as a multi-contextual R&D methodology[C]//2006 IEEE International Technology Management Conference. 2006.
- [7] FOSTAD A. Living labs for innovation and development of communication technology; a literature review [J]. The Electronic Journal for Virtual Organisations and Networks, 2008, 10: 99-131.
- [8] ALMIRALL E, WAREHAM J. Innovation; a question of fit-the Living Labs approach[C]//Symposium on Transversal Topics, Esade-HEC. Barcelona, Spain, 2009.
- [9] ELIZABETH B N. Sandersa, Stappers P J. Co-creation and the new landscapes of design[J]. CoDesign, 2008, 4(1): 5-18.
- [10] PALLOT M. The Living Lab Approach; A User Centred Open Innovation Ecosystem [OL]. <http://www.cwe-projects.eu/pub/bsew.cgi/715404>.
- [11] LI Q, LOU Q Y. Living Lab Literature review on foreign[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications (Social Sciences Edition), 2012, 14(1): 88-93. (in Chinese)
李青, 娄秋艳. Living Lab 国外研究概况综述[J]. 北京邮电大学学报(社会科学版), 2012, 14(1): 88-93.
- [12] WANG X Y, LOU Q Y, LU W K, et al. Practical education in Universities under the Living Lab innovation system[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications (Social Sciences Edition), 2013, 1(1): 104-110. (in Chinese)
王新宇, 娄秋艳, 卢文凯, 等. Living Lab 创新体系下的大学实践教学探索[J]. 北京邮电大学学报(社会科学版), 2013, 1(1): 104-110.
- [13] 纪阳. Living Lab 创新体系概述[M]. 北京: 人民邮电出版社, 29-39.
- [14] BERGVALL-KÅREBORN B, STÅÖST A. Living Lab; an open and citizen-centric approach for innovation[J]. Int. J. Innovation and Regional Development, 2009, 1(4): 356-370.
- [15] BERGVALL-KÅREBORN B, et al. A Milieu for Innovation-Defining Living Labs[C]//Proceedings of the 2nd ISPIM innovation symposium; Simulating recovery-the Role of innovation management. New York, USA, 2009.
- [16] CAO J, GOU X R. Exploration of campus innovation practice based on Lab Living model[J]. Modern Educational Technology, 2013, 23(8): 122-126. (in Chinese)
曹静, 勾学荣. 基于 Living Lab 模式的校园创新实践探索[J]. 现代教育技术, 2013, 23(8): 122-126.
- [17] BOYLE M, NEUSTAEDTER C, GREENBERG S. Privacy Factors in Video-Based Media Spaces[M]//Media Space 20+ Years of Mediated Life. 2009: 97-122.
- [18] LEY B, OGWONOWSKI C, MU M, et al. At Home with Users; A Comparative View of Living Labs[J]. Interacting with Computers, 2015, 27: 21-35.
- [19] FEURSTEIN K, HESMER A, HRIBERNIK K A, et al. Living Labs: A New Development Strategy [M] // European Living Labs-A New Approach for Human Centric Regional Innovation. 2008: 1-14.
- [20] PALLOT M, TROUSSE B, SENACH B, et al. Living Lab Research Landscape; From User Centred Design and User Experience towards User Cocreation [J]. First European Summer School "Living Labs", 2010.
- [21] BROWN M, COUGHLAN T, PLOETZ T, et al. Editorial; Methods for Studying Technology in the Home[J]. Interacting with Computers, 2015, 27(1): 1-2.
- [22] PLÖTZ T, MOYNIHAN P, PHAN C, et al. Activity Recognition And Healthier Food Preparation[J]. Activity Recognition in Pervasive Intelligent Environment, 2011, 4: 313-329.
- [23] BROWN M, COUGHLAN T, BLUM J, et al. Tailored Scenarios; A Low-Cost Online Method to Elicit Perceptions of Home Technologies Using Participant-Specific Contextual Information [J]. Interacting with Computers, 2014, 27(1): 60-71.
- [24] COUGHLAN T, BROWN M, LAWSON G, et al. Tailored Scenarios; A Low-Cost Online Method to Elicit Perceptions on Designs using Real Relationships[C]//Chi 13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. 2013: 343-348.
- [25] ODOM W, ZIMMERMAN J, DAVIDOFF S, et al. A fieldwork of the future with user enactments[C]//Proceedings of the Designing Interactive Systems Conference. ACM, 2012: 338-347.
- [26] MITCHELL V, MACKLEY K L, PINK S, et al. Situating Digital Interventions; Mixed Methods for HCI Research in the Home[J]. Interacting with Computers, 2015, 27: 3-12.
- [27] SUIJKERBUIJK S, BRANKAERT R, KORT Y A W D, et al. Seeing the First-Person Perspective in Dementia; A Qualitative Personal Evaluation Game to Evaluate Assistive Technology for People Affected by Dementia in the Home Context[J]. Interacting with Computers, 2015, 27: 47-59.
- [28] KANIS M, ROBBEN S, HAGEN J, et al. Sensor Monitoring in the Home; Giving Voice to Elderly People[C]//2013 7th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth). IEEE, 2013: 97-100.
- [29] POOLE E S, COMBER R, HOONHOUT J. Disruption as a Research Method for Studying Technology Use in Homes[J]. Interacting with Computers, 2015, 27(1): 13-20.

- [30] BROWN M, COUGHLAN T, LAWSON G, et al. Exploring Interpretations of Data from the Internet of Things in the Home [J]. *Interacting with Computers*, 2013, 25(3): 204-217.
- [31] HESS J, LEY B, OGWONOWSKI C, et al. New technology@home: impacts on usage behavior and social structures[C]// *Proceedings of the 10th European conference on Interactive tv and video*. ACM, 2012.
- [32] BLOND S P L, HOLT A, WHITE P. 3eHouses: A smart metering pilot in UK living labs[C]// *2012 3rd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe)*. IEEE, 2012: 1-6.
- [33] SCHWARTZ T, DENEFF S, STEVENS G, et al. Cultivating energy literacy: results from a longitudinal living lab study of a home energy management system[C]// *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 2013: 1193-1202.
- [34] OBERZAUCHER J, WERNER K, MAIRBÖCK H P, et al. A Videophone Prototype System Evaluated by Elderly Users in the Living Lab Schwechat[M]// *HCI and Usability for e-Inclusion*. Springer Berlin Heidelberg, 2009: 345-352.
- [35] SCHURMAN D, MOOR K D, MAREZ L D, et al. A Living Lab research approach for mobile TV[J]. *Telematics & Informatics*, 2011, 28(4): 271-282.
- [36] OGWONOWSKI C, LEY B, HESS J, et al. Designing for the Living Room: Long-Term User Involvement in a Living Lab[C]// *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 2013.
- [37] PANEK P, HLAUSCHEK W, SCHRENK M, et al. Experiences from User Centric Engineering of Ambient Assisted Living Technologies in the Living Lab Schwechat[C]// *International Conference on Concurrent Enterprising*. 2011: 1-8.
- [38] AGERSKOV M L, HOJ J C L. Lessons learned from the Danish EV living lab[C]// *Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27)*, 2013 World. IEEE, 2013: 1-7.
- [39] BENAVENT J, COLOBRANS J, MARI S, et al. Lessons learned from users: The development of the Living Lab 4 carers platform case[C]// *International Conference on Concurrent Enterprising*. 2011: 1-8.
- [40] BERGVALL-KÅREBORN B, HOWCROFT D, STÅHLBRÖST A, et al. Participation in Living Lab: Designing Systems with Users [J]. *Ifip Advances in Information & Communication Technology*, 2010, 318: 317-326.
- [41] BOURGEOIS J, LINDEN J, PRICE B, et al. Technology Probes: Experiences with Home Energy Feedback[J]. *Methods for Studying Technology in the Home*, 2013, 7(7): 58-62.
- [42] JAKOBI T, STEVENS G. Always beta: cooperative design in the smart home[C]// *ACM Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing Adjunct Publication*. 2013: 837-844.
- [43] LIEDTKE C, BAEDEKER C, HASSELKUB M, et al. User-integrated innovation in Sustainable Living Labs: an experimental infrastructure for researching and developing sustainable product service systems[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 97: 106-116.
- [44] BLASCOR, MARCOÁ, CASAS R, et al. A smart kitchen for ambient assisted living[J]. *Sensors*, 2014, 14(1): 1629-1653.
- [45] PLOWMAN L. Researching Young Children's Everyday Uses of Technology in the Family Home[J]. *Interacting with Computers*, 2014, 27(1): 36-46.
- [46] WINTHEREIK J C T, MALMBORG L, ANDERSEN T B. Living Labs as a Methodological Approach to Universal Access in Senior Design[M]// *Universal Access in Human-Computer Interaction, Addressing Diversity*. Springer Berlin Heidelberg, 2009: 174-183.
- [47] KEYSON D V, MAHMUD A A, ROMERO N. Living Lab and Research on Sustainability: Practical Approaches on Sustainable Interaction Design[M]// *Ambient Intelligence*. Springer International Publishing, 2013: 229-234.
- [48] MALAVASI M, AGUSTO R, IOELE F M, et al. Living in the Living Lab! Adapting Two Model Domestic Apartments for Experimentation in Autonomous Living in a Context of Residential Use[M]// *Ambient Assisted Living*. Springer International Publishing, 2014: 325-333.
- [49] OLIVIER P, XU G, MONK A, et al. Ambient kitchen: designing situated services using a high fidelity prototyping environment [C]// *Proceedings of the 2nd International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*. ACM, 2009.
- [50] SHIPP V, COUGHLAN T, MARTINDALE S, et al. Wearables or infrastructure: contrasting approaches to collecting behavioural data in the home[C]// *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing; Adjunct Publication*. ACM, 2014: 931-938.
- [51] LIN C K E, WANG T H, YANG J F K. TOUCH Doctor—A Nutrition Control Service System Developed under Living Lab Methodology[J]. *International Journal of Automation & Smart Technology*, 2012, 2(3): 253-263.
- [52] ERICKSON T, PODLASECK M, SAHYU S, et al. The dubuque water portal: evaluation of the uptake, use and impact of residential water consumption feedback[C]// *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 2012: 675-684.
- [53] BRUSH A J B, JUNG J, MAHAJAN R, et al. Digital neighborhood watch: investigating the sharing of camera data amongst neighbors[C]// *Proceedings of the 2013 Conference on Computer Supported Cooperative Work*. ACM, 2013: 693-700.
- [54] YANG R, NEWMAN M W. Learning from a learning thermostat: lessons for intelligent systems for the home[C]// *Proceedings of the 2013 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*. ACM, 2013: 93-102.
- [55] ANGROSINO M. *Doing Ethnographic and Observational Research*[M]. SAGE Publications Ltd, 2007.
- [56] BLOMBERG J, BURRELL M. *An ethnographic approach to design* (2nd edition) [M] // Sears A, Jacko J, eds. *The Human-Computer Interaction Handbook*. New York: Lawrence Erlbaum Associates, 2007: 965-988.
- [57] GOLD R. Roles in sociological field observations [J]. *Social Forces*, 1958, 36(3): 217-223.
- [58] HUTCHINSON H, MACKAY W, WESTERLUND B, et al. *Technology Probes: Inspiring Design for and with Families*[C]// *Proc. of Chi'03*. ACM, 2003: 17-24.

- [59] GAVER W, DUNNE A. Projected Realities; Conceptual Design for Cultural Effect[C]//Proc of the CHI 99 Conference on Human Factors in Computing Systems; the CHI is the limit. 1999: 600-607.
- [60] GAVER W W, DUNNE A, PACENTI E. Cultural Probes[J]. Interactions, 1999, 6(1): 21-29.
- [61] VISSER F S, STAPPERS P J. Contextmapping; experiences from practice[J]. Codesign, 2005, 1(2): 119-149.
- [62] VAN LEEUWEN J P, KARNIK M, KEANE K. Discovering Madeira; a case study of cultural probes[C]//Proceedings of the Second Conference on Creativity and Innovation in Design. ACM, 2011: 439-447.
- [63] KOSKINEN I, KUUSELA K, BATTARBEE K, et al. Morphome; a constructive field study of proactive information technology in the home[C]//Conference on Designing Interactive Systems. 2006: 179-188.
- [64] SANDERS B N, STAPPERS P J. Probes, toolkits and prototypes; three approaches to making in codesigning[J]. Codesign International Journal of Cocreation in Design & the Arts, 2014, 10(1): 5-14.
- [65] BROTMAN R, BURLESON W, FORLIZZI J, et al. Building Change; Constructive Design of Smart Domestic Environments for Goal Achievement[C]//CHI. 2015: 3083-3092.
- [66] SANDERS B N. Generative tools for co-designing[M]. Springer London, 2000.
- [67] VISSER F S, VISSER V. Re-using users; co-create and co-evaluate[J]. Personal & Ubiquitous Computing, 2006, 10(2/3): 148-152.
- [68] SVENSSON J, ERIKSSON C I, EBBESSONE. User Contribution in Innovation Processes-Reflections from a Living Lab Perspective[C]//46th Hawaii International Conference on System Sciences. IEEE Computer Society, 2010: 1-10.
- (上接第 30 页)
- [51] TRIBASTONE M, GILMORE S. Automatic translation of UML sequence diagrams into PEPA models[C]//Quantitative Evaluation of Systems, 2008. Washington: IEEE, 2008: 205-214.
- [52] BOWLES J, KLOUL L. A Strongly Consistent Transformation from UML Interactions to PEPA Nets[C]//Computational Science and Its Applications, 2014. Berlin Heidelberg: Springer, 2014: 90-105.
- [53] LI Q S, CHU H, CHEN P. The Formal Semantics of UML Sequence Diagram Based on Process Algebra [J]. Computer Science, 2004, 31(4): 173-175, 183. (in Chinese)
李青山, 褚华, 陈平. 基于进程代数的 UML 序列图的形式语义[J]. 计算机科学, 2004, 31(4): 173-175, 183.
- [54] ZHAO Y F. The study on formal semantics of dynamic UML diagrams [D]. Shanghai: East China Normal University, 2010. (in Chinese)
赵也非. 动态 UML 子图的形式语义研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2010.
- [55] QIAN C, YAN X F, ZHOU Y, et al. Model checking consistency of sequence diagram and state machine based on state reduction [J]. Application Research of Computers, 2014, 31(5): 1452-1455. (in Chinese)
钱成, 燕雪峰, 周勇, 等. 基于状态约简的顺序图和状态图一致性检测[J]. 计算机应用研究, 2014, 31(5): 1452-1455.
- [56] LIMAV, TALHI C, MOUHEB D, et al. Formal verification and validation of UML 2.0 sequence diagrams using source and destination of messages [J]. Electronic Notes in Theoretical Computer Science, 2009, 254: 143-160.
- [57] YOUNSI N, AMIRAT A, MENASRIA A. From UML 2.0 Sequence Diagrams to PROMELA code by Graph Transformation Using AToM3 [J/OL]. [2015-10-1]. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.231.9003>.
- [58] ZHANG T. Research on formal verification methods of model of complicated information system [D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2012. (in Chinese)
张涛. 复杂信息系统模型的形式化验证方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2012.
- [59] CENGARLE M, KNAPP A. Operational semantics of UML 2.0 interactions, TUM-I0505 [R]. Institut für Informatik; Technische Universität München, 2005.
- [60] GIRAULT C. 系统工程 Petri 网[M]. 王生原, 余鹏, 霍金健, 译. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [61] STAINES T S. Transforming UML Sequence Diagrams into Petri Nets [J]. Journal of Communication and Computer, 2013(10): 72-81.
- [62] BOUABANA-TEBIBEL T, RUBIN S H. An interleaving semantics for UML 2 interactions using Petri nets[J]. Information Sciences. 2013, 232(5): 276-293.
- [63] BOUARIOUA M, CHAOUI A, ELMANSOURI R. From UML Sequence Diagrams to Labeled Generalized Stochastic Petri Net Models Using Graph Transformation[M]//e-Technologies and Networks for Development. Springer Berlin Heidelberg, 2011: 318-328.
- [64] YANG N H, YU H Q, SUN H, et al. Modeling UML sequence diagrams using extended Petri nets [J]. Telecommunication Systems, 2012, 51(2/3): 147-158.
- [65] FARIA J P, PAIVA A C R. A toolset for conformance testing against UML sequence diagrams based on event-driven colored Petri nets [J]. International Journal on Software Tools for Technology Transfer, 2016, 18(3): 1-20.
- [66] TAN H B, YAO S Z, XU J J. Behavioral Consistency Analysis of the UML Parallel Structures[J]. Natural Biotechnology, 2004, 22(9): 1146-1149.
- [67] OUARDANI A, ESTEBAN P, PALUDETTO M, et al. A Meta-modeling Approach for Sequence Diagrams to Petri Nets Transformation within the requirements validation process [J/OL]. 2006 [2015-10-1]. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.460.2653>.
- [68] GUO Y Y, LIU J L. Formalization for model Element of UML Statechart in RSL [J]. Computer Science, 2013, 40(5): 177-183, 205. (in Chinese)
郭艳燕, 刘惊雷. UML 状态机模型元素的 RSL 形式化定义[J]. 计算机科学, 2013, 40(5): 177-183, 205.