

CAUXT:帮助研究人员在感兴趣的情境中采集用户体验数据

韩 立 刘正捷

(大连海事大学信息科学技术学院 辽宁 大连 116026)

摘 要 随着移动互联技术的快速发展和普及,产品的使用越来越无处不在,这也要求用户体验研究必须与情境紧密关联。但对于用户体验研究,现有的技术手段在识别和感知研究人员感兴趣的情境上还存在一定的困难,较难根据感兴趣的情境获取用户体验数据。其原因在于:现有系统工具的情境感知与用户体验研究人员的情境感知存在较大差异。目前,用户体验领域缺乏解决此类问题的研究,现有相关领域的此类研究也都是倾向于从算法和计算效率的角度来提升系统的数据采集能力,未从用户体验研究人员的情境感知机理角度来解决问题。文中创新性地通过借鉴认知科学和人机交互领域关于人认知的相关理论来构建用户体验研究人员的情境感知模型,并在此基础上利用情境感知计算技术构建具有情境感知能力的用户体验数据采集系统。通过初步的案例研究表明,此系统能够在一定程度上获取用户体验研究人员感兴趣的情境,并根据这些感兴趣的情境获取用户体验数据。

关键词 用户体验,认知科学,情境感知,情境,情境信息,传感器

中图分类号 TP311 文献标识码 A DOI 10.11896/j.issn.1002-137X.2018.07.048

CAUXT: A Tool to Help User Experience Researchers Capture Users' Experience Data in Context of Interest

HAN Li LIU Zheng-jie

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

Abstract With the rapid development of mobile internet technology, the usage of products is more and more related to context, which makes the users' experience researches more associated with context. But for the users' experience research, there are some difficulties in the existing technical means to capture the context of interest, and it is difficult to obtain users' experience data based on context of interest. One reason for this difficulty is that there is a big gap between the tool and user experience researchers' context-awareness. Researches are weak to deal with such problem, and the existing studies tend to improve the tools' ability from the algorithm and the computational efficiency, but few studies are given from the perspective of the user experience researchers' context-awareness mechanism. According to the context-aware theory in the field of cognitive science and human-computer interaction, this paper constructed a user experience researcher's context-awareness model, and built a system based on this model which can capture user experience data to a certain extent. Proved by the case study, this system can capture the contexts which researchers are interested in and can get the right UX data in those contexts.

Keywords User experience, Cognitive science, Context-awareness, Context, Context information, Sensor

1 引言

在用户体验(User Experience, UX)研究中,研究人员一般都认为情境是影响 UX 的核心因素,准确识别用户所处的情境是 UX 研究的基础^[1-3]。基于实践的方法论也认为在对用户进行研究的过程中需要超越孤立的用户和人造物之间的交互,应该更多地关注人、人造物和情境的相互联系^[4]。近年来,随着移动互联网的迅猛发展,用户使用产品时所处的情境也越来越多样化、碎片化和复杂化,传统方法也越来越难以在现实世界的各种情境中及时采集 UX 数据^[5-6]。

为了满足 UX 研究发展的需要,研究自动的具有情境感知能力的 UX 数据采集系统成为了研究重点。这类系统最大的优势是能够以经济、快捷的方式在真实世界的特定情境中采集 UX 数据,能够针对大样本、多样性的用户进行研究,并减少对用户的侵扰^[7-9]。

本文利用情境感知计算技术对 UX 研究人员在数据采集中的情境感知过程进行模拟,开发出具有情境感知能力的 UX 数据采集系统(Context-Awareness User Experience Research Tool, CAUXT)。

本文对认知科学和人机交互领域与认知相关的研究进行

到稿日期:2017-03-13 返修日期:2017-05-09

韩立(1980—),男,博士生,CCF 会员,主要研究方向为用户体验、人机交互等,E-mail:hherosoul@163.com;刘正捷(1958—),男,教授,博士生导师,CCF 高级会员,主要研究方向为用户体验、人机交互等,E-mail:liuzhj@dmlu.edu.cn(通信作者)。

分析,并结合 UX 研究人员采集数据的过程,构建出 UX 研究人员的情境感知模型:1)研究人员根据研究的目的、专业知识和研究经验确定感兴趣的情境和情境信息;2)研究人员感知用户活动中的情境信息;3)利用情境信息和已知情境构建用户的完整情境;4)根据感兴趣的情境采集 UX 数据。基于此模型,本文利用情境感知计算技术,在安卓智能手机上设计并开发了具有情境感知能力的 UX 数据采集系统 CAUXT。

希望通过对比研究来回答如下问题:1)系统能否感知到 UX 研究人员感兴趣的情境;2)系统能否根据感兴趣的情境采集到研究人员期望的 UX 数据。

通过对比研究发现,系统能够比较准确地识别 UX 研究人员感兴趣的情境,并获取他们期望的 UX 数据;同时,且用户研究人员对系统做出了较为正面的评价,他们有兴趣继续使用这个系统。

本文的贡献在于:1)基于认知科学、UX 研究和人机交互相关领域的知识,构建出 UX 研究人员的情境感知模型;2)基于 UX 研究人员的情境感知模型,利用情境感知计算技术构建出 UX 数据采集系统。

本文第 2 节介绍了相关工作;第 3 节基于认知科学和人机交互领域关于人的情境感知模型,构建了 UX 研究人员的情境感知模型;第 4 节基于 UX 研究人员的情境感知模型,利用情境感知计算技术来构建系统;第 5 节通过一个对比研究来验证系统的能力,并回答了两个研究问题;最后总结全文并展望未来。

2 相关工作

随着移动互联网技术的不断发展,基于移动设备的具有一定情境感知能力的数据采集系统被越来越多地应用到 UX 研究中,这类系统通常利用传感器来获取用户的相关情境,并利用自动记录法在用户未觉察的情况下记录用户使用设备时产生的相关数据。例如,W3Touch^[10]通过记录智能手机上产生的交互行为,帮助研究人员在特定的应用程序和用户界面上发现可能存在的 UX 问题;文献^[11]利用智能手机收集声音、光线和移动数据来研究用户的睡眠情况。

这类系统能够以一种比较可靠的方式来收集用户的行为数据和情境,能够在一定程度上理解用户在何时做了何事;但仅仅利用自动记录和传感器数据来推断用户活动的原因,以及用户的心理状态、期望、动机和意愿,仍然存在困难^[7]。

为了解决这类问题,一些研究者将传统的 ESM(Experience Sampling Method)方法与情境感知方法进行了融合。Intille 等首次提出了 CAES(Context-Aware Experience Sampling)^[12]的概念,它利用传感器来获取研究人员感兴趣的用户的活动,并基于事件和时间触发技术向用户推送特定的问题。文献^[8]也做了类似的研究,MyExperience 能够记录设备的使用状况,获取用户情境以及环境信息,并利用这些信息来获取用户的反馈。此类研究通常采用以下步骤来采集数据:首先,获取传感器和设备的相关数据;其次,通过情境推理算法来获取特定情境;最后,利用上述数据来触发问卷,以获取用

户的心理感受、行为、动机和意愿等数据。

此类研究通常利用传感器数据来获取特定的低级情境,如人的特定行为^[13-14]、人体健康指标^[15]、环境信息(温湿压)^[16]、移动设备的使用状况^[17]等。但 UX 研究通常都是在复杂、多变和难以预知的真实世界中展开。首先,UX 研究人员不仅对一些低级情境(如位置、时间、行为等)感兴趣,还对高级情境(由低级情境组合而成)感兴趣,现有的系统和方法没有提供一种机制来感知高级情境;其次,根据研究目的,UX 研究人员通常只能确定部分感兴趣的情境,而在真实的研究中感兴趣的情境是动态变化的,现有的情境获取方法无法满足这方面的需求。

在 CAES 相关的研究中,主要利用问卷来获取用户的心理感受、行为、动机和意愿等^[7,18]。在 UX 研究中,为了得到研究人员期望的数据,除了问卷之外,通常还需要借助其他手段,例如录像、日志、录音、拍照等^[8],但是这些方法会对用户产生侵扰,如果在特定时机无法选择合适的数据采集方法,则用户会提供不准确的反馈,或者放弃提供反馈。

随着相关技术和研究的发展,基于情境感知的自动数据采集系统的性能得到了较大的提升;但与 UX 研究人员相比,目前的系统在真实环境中感知情境并采集 UX 数据的能力还存在较大不足,主要体现在以下两个方面:

1)较难准确识别 UX 研究人员感兴趣的情境,主要体现在无法感知 UX 研究人员感兴趣的高级情境,也无法及时更新感兴趣的情境;2)较难基于已知情境采集 UX 研究人员期望的 UX 数据。

目前,UX 领域缺乏解决此类问题的研究,相关领域的已有研究通常都是通过改进算法、系统架构和计算效率来提升能力,未考虑从 UX 研究人员的情境感知机理的角度出发来解决问题。针对上述不足,我们认为通过研究 UX 研究人员的情境感知机理,并将此机理与系统相结合是有效的解决方式。本文首先建立 UX 研究人员在 UX 数据采集过程中的情境感知模型,然后利用情境感知计算技术来构建具有情境感知能力的系统,并通过将 UX 研究人员的能力与系统相结合来提高系统的能力。

3 构建 UX 研究人员的情境感知模型

为了构建 UX 研究人员的情境感知模型,首先需要明确 UX 研究中情境和情境信息的相关定义,然后总结认知科学和人机交互领域对人的认知过程的研究成果,最后结合 UX 研究人员的情境感知的过程来构建模型。

3.1 定义情境及情境信息

1)情境。情境是指用户所处的状态或场景,用 CXT(Context)表示,可进一步分为低级情境(Low-Level Context, LCXT)和高级情境(High-Level Context, HCXT)。

①低级情境。在早期的研究中,将 UX 研究中的情境分为用户、环境、任务、社会、位置、时间、设备、基础设施 8 类^[19]。本研究中的低级情境对应以下 8 类情境之一:

$$LCXT \in \{ LCXT_{\text{用户}}, LCXT_{\text{环境}}, LCXT_{\text{任务}}, LCXT_{\text{社会}}, LCXT_{\text{位置}}, LCXT_{\text{时间}}, LCXT_{\text{设备}}, LCXT_{\text{基础设施}} \}$$

其中, $LCXT_{用户}$ 表示用户情境, $LCXT_{环境}$ 表示环境情境, ..., $LCXT_{基础设施}$ 表示基础设施情境。

②高级情境。高级情境由两个及以上低级情境通过特定关系(见定义3)组合而成:

$$HCXT=R(LCXT_1, LCXT_2, \dots, LCXT_i, \dots, LCXT_n)$$

其中, $LCXT_i \in \{ LCXT_{用户}, LCXT_{环境}, LCXT_{任务}, LCXT_{社会}, LCXT_{位置}, LCXT_{时间}, LCXT_{设备}, LCXT_{基础设施} \}; i \geq 2$ 且 $i \in N$ 。

2)情境信息。情境信息表征用户状态和场景的信息,用CXTI(Context Information)表示。例如, $LCXT_{任务}$ = “走路”, “走路”是 $LCXT_{任务}$ 的值, 而计算推理出走路状态的“三轴加速度”就是情境信息。

3.2 构建模型

在认知科学和人机交互领域中已经提出了许多描述人类认知过程的模型, 例如 MHP^[20], ACT-R^[21], SOAR^[22], CAPS^[23], EPIC^[24-25] 和 QN-MHP^[26] 等。虽然这些模型在细节和使用上存在差异, 但总体上这些模型将认知过程描述成以下3个基本部分。

- 1)感知(Perceptual): 利用视觉、听觉和体觉等感知外部环境信息;
- 2)认知(Cognitive): 对感知到的信息进行加工处理;
- 3)行动(Motor): 根据认知的结果采取行动。

本文在上述认知模型框架的基础上, 通过以下两个步骤来进行讨论和分析。

1)结合人的认知过程, 将 UX 研究人员的情境感知过程分为4个阶段: ①确定感兴趣的情境; ②感知情境信息(感知); ③处理情境(认知); ④采集数据(行动)。从而, 形成了一个基础的假设模型框架。

2)根据这个假设模型框架, 让其他 UX 研究人员根据他们实际参与的案例研究, 以故事的形式描述他们在真实研究中的情境感知过程, 然后对模型框架进行进一步细化, 从而形成最终的假设模型, 如图1所示。

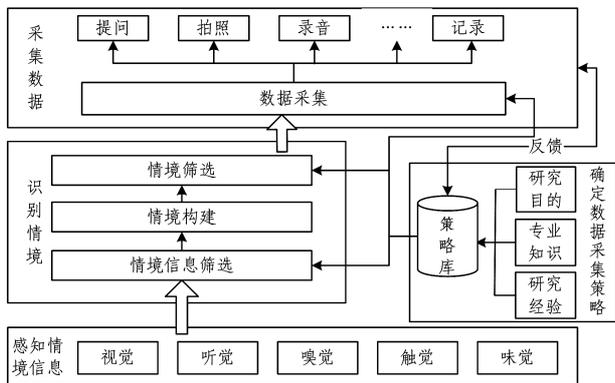


图1 UX研究人员的情境感知模型

Fig. 1 Context-aware model of UX researchers

①确定数据采集策略。在 UX 研究的准备阶段, 研究人员根据研究目的、专业知识和研究经验, 提前确定感兴趣的情境和情境信息, 以及情境和情境、情境和情境信息之间的关系, 并确定了在不同情境中采集不同 UX 数据的具体方法。研究人员感兴趣的情境信息、它们之间的关系列表以及 UX

数据的采集方法都放在策略库中。

②感知情境信息。在 UX 研究的过程中, 研究人员通过视觉、听觉和体觉等感知到诸如形状、声音、温度等信息, 这些信息被称为情境信息, 用于表征情境的原始信息。

③识别情境。目前的相关研究还无法准确认识 UX 研究人员如何根据情境信息来识别情境的机制, 本文根据认知科学、人工智能和情境感知等相关研究将这个过程简化成以下步骤: 首先, UX 研究人员判断感知到的情境信息是否是感兴趣的, 如果是, 则进一步获取与当前情境信息相关的所有情境信息; 然后, 根据这些情境信息来构建情境, 并判断此情境是否是他们感兴趣的。

④采集数据。基于 UX 研究人员感兴趣的情境, 使用合适的策略来采集 UX 数据。

4 设计 CAUXT 系统

现有的计算机领域的情境感知计算过程大体可以分为3个阶段。

- 1)情境信息感知: 感知和采集情境信息;
- 2)情境处理: 将情境表示成形式化线索, 并利用情境推理来构建完整的用户情境;
- 3)服务调用: 利用情境来触发调用特定的服务。

本文将利用情境感知计算技术, 结合人工的方式来对 UX 研究人员的情境感知过程进行建模; 利用规则编辑、情境信息感知、情境处理和数据采集(服务调用)4个模块, 来模拟 UX 研究人员在数据采集过程中的情境感知机理。系统结构如图2所示。

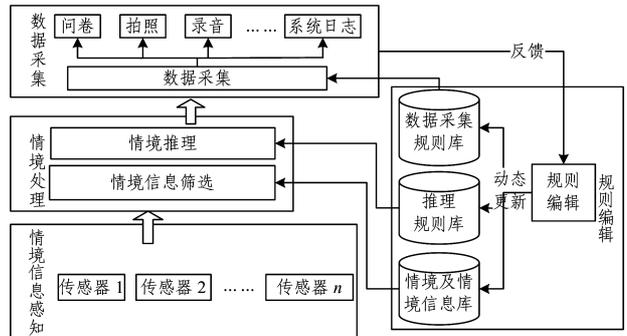


图2 系统结构

Fig. 2 System structure

4.1 规则编辑模块

本文采用人工和系统相结合的方法。首先, UX 研究人员确定其感兴趣的情境; 然后, 研究人员借助系统的编辑窗口将感兴趣的情境以树的形式划分成可直接获取的情境信息, 树的父子兄弟关系即为情境和情境信息、情境和情境之间的对应关系; 最后, 根据这些对应关系来编辑基于本体的情境推理规则和 IF-THEN 形式的 UX 数据采集规则。

4.1.1 确定 UX 研究人员感兴趣的情境

根据 UX 研究人员的研究目的、专业知识和研究经验来确定感兴趣的情境:

$$CT=\{CXT_1, CXT_2, \dots, CXT_i, \dots, CXT_n | i \in N\}$$

CT 表示在一次研究中研究人员感兴趣的情境集合。对于 UX 研究人员,提前确定的感兴趣的情境集合 CT 并不能完全准确地涵盖 UX 研究人员在实际研究过程中感兴趣的所有情境。为了解决这个问题,本文采集特定时间内(例如以一天为单位)的数据,并对其进行及时分析,如果发现新的感兴趣的情境 CXT,则在服务器端将 CXT 加入 CT,并更新相应的规则库;然后再对客户端升级。这样,便保证了 UX 研究人员感兴趣的情境能及时被系统捕获。

4.1.2 分解 UX 研究人员感兴趣的情境

研究人员借助系统,以可视化的方式将感兴趣的情境以树状结构分解成能够利用传感器或其他手段直接获取的情境信息集合 CI,树状结构即为情境和情境、情境和情境信息之间的关系。

算法 1 情境分解

输入:CT

输出:CI={CXI₁,CXI₂,...,CXI_i,...,CXI_n|i∈N}

Step 1 IF CT 中存在未被分解的 CXT_i(CXT_i∈CT,i∈N) THEN
 选取任一 CXT_i并进入 Step 2
 ELSE 结束
 Step 2 IF CXT_i=HCXT,THEN 将 CXT_i分解成 LCXT 的集合,并进入 Step 3
 ELSE 进入 Step 3
 Step 3 将所有 LCXT 分解成能够直接获取的情境信息集合 CXI_i,然后进入 Step 1。

其中,CXI_i是 CXT_i对应的情境信息集合。例如,对高级情境 CXT=“用户 A 和朋友在中午阳光下走路看手机视频”感兴趣。首先,将其进一步表示成低级情境的集合:CXT={LCXT_{用户},LCXT_{社会},LCXT_{时间},LCXT_{环境},LCXT_{设备},LCXT_{任务}}。其中,LCXT_{用户}=A;LCXT_{社会}=朋友;LCXT_{时间}=中午;LCXT_{环境}=阳光下;LCXT_{设备}=手机;LCXT_{任务1}=走路;LCXT_{任务2}=看视频。然后,将其中的低级情境进一步分解成能够利用传感器或其他手段直接获取的情境信息,如表 1 所列。

表 1 低级情境的分解

低级情境	情境信息
LCXT _{用户}	CXTI _{标签A}
LCXT _{社会}	CXTI _{系统时间} ,CXTI _{标签A}
LCXT _{时间}	CXTI _{系统时间}
LCXT _{环境}	CXTI _{光线强度}
LCXT _{设备}	CXTI _{手机信息}
LCXT _{任务}	CXTI _{三轴加速度} ,CXTI _{手机操作}

通过上述分解得到了情境信息集合:CI={CXTI_{标签A},CXTI_{系统时间},CXTI_{手机信息},CXTI_{光线强度},CXTI_{三轴加速度},CXTI_{手机操作}}。对 CI 中的情境信息进行赋值,具体的值由情境推理规则确定,从而得到感兴趣的情境信息集合 CXIV。树状结构中的根节点是高级情境,子节点是低级情境,叶子节点是情境信息。

4.1.3 编辑情境推理规则

本研究中的推理规则 R=⟨P,C⟩(其中,R 表示规则,P

表示前提集合,C 表示结论)主要通过两种方式建立:1)本体推理规则,基于描述逻辑来建立;2)用户自定义的推理规则,基于一阶逻辑来建立。

1)本体推理规则

描述逻辑是一种以形式化方式表示对象知识的方法,建立在概念和关系之上,为本体提供了一种逻辑形式。具体的本体推理规则的描述如表 2 所列。

表 2 本体推理规则

名称	描述
subClassOf	(a,b);R-subClassOf,(b,c);R-subClassOf→(a,c);R-subClassOf
TransitiveProperty	(a,b);R-TransitiveProperty,(b,c);R-TransitiveProperty→(a,c);R-TransitiveProperty
InverseOf	(P,Q);R-inverseOf,(a,b);P→(b,a);Q
SubPropertyOf	(a,b);R-SubPropertyOf,(b,c);R-SubPropertyOf→(a,c);R-SubPropertyOf
SymmetricProperty	(a,b);R-SymmetricProperty→(b,a);R-SymmetricProperty

在具体的使用过程中,可以使用本体规则进行推理和一致性检测。

2)用户自定义推理规则

用户自定义的推理具有很强的灵活性,用户自定义的规则在一阶逻辑的规范内建立。基于用户自定义的推理规则,可以完成以下操作:1)利用情境信息来推理获取情境;2)利用已知的情境来构建用户的完整情境。

表 3 给出一些推理规则的示例。

表 3 用户自定义的推理规则

情境	推理规则
在实验室	(用户,Value,A)∧(网络,Value,WIFI)∧(WIFI,Value,SEUC-3)→(位置,Value,实验室)或(用户,Value,A)∧(经纬度,Value,[121.5270±0.0003,38.8680±0.0003])→(位置,Value,实验室)
睡觉	(用户,Value,A)∧(系统时间,Value,[23:00-07:00])∧(网络,Value,离线)∧(光线,Value,<100)→(任务,Value,睡觉)
开会	(用户,Value,A)∧(系统时间,Value,[9:00-11:30,15:00-17:00])∧(网络,Value,WIFI)∧(WIFI,Value,SEUC-1)∧(噪音水平,Value,HIGH)→(任务,Value,开会)

在 UX 研究中,用户自定义规则的建立通常可以通过以下两种方式来确定:1)通过预研究和研究经验来确定;2)通过对已知数据进行训练得出需要的推理规则。

4.1.4 编辑数据采集规则

为了保证能够得到高质量的 UX 数据,需要在特定的情境下采用合适的数据采集方法。本文基于前期调研,询问用户期望的数据采集手段,并对相关文献进行分析来确定数据采集方法的集合,然后建立了如下形式的数据采集规则:

IF CXT THEN method_i

其中,UX 数据采集方法 method_i∈M(i∈N),M={问卷,拍照,录音,录像,系统日志,传感器,...}。

例如,如果环境噪音太大或者在移动过程中用户不方便

填写问卷,我们就采用录音、录像或者拍照等方法采集数据。同时,我们还提供了一个方法列表,允许用户自己选择以何种方式来采集数据。

4.2 情境信息感知模块

为了模拟 UX 研究人员通过五官感知情境信息的过程,利用传感器来获取每个情境信息集合 CXI 的值集合 V_{CXI} 。

算法 2 情境信息获取

输入:CI

输出: $V_{CI} = \{V_{CXI1}, V_{CXI2}, \dots, V_{CXIn} \mid V_{CXTi} \in V_{CXI}, i \in N\}$

Step 1 传感器以特定频率采集 CXTI(其中, $CXTI \in CXI, CXI \in CI$) 的值 V_{CXTI} ;

Step 2 IF $V_{CXTI} \in CXIV$ (CXIV 是与 CXI 对应的 UX 研究人员感兴趣的情境信息集合) THEN 采集所有 CXI_i 的值集合 V_{CXI} (其中, $CXI_i \in CI$ 且 $CXTI \in CXI_i, i \in N$)

ELSE 进入 Step 1

值得注意的是,如果情境信息的种类较多,则需要的传感器种类也会相应增多,这时需要采用并发机制来提高情境信息获取的及时性。

4.3 情境处理模块

本体方法由于具有表达能力强、支持逻辑推理、易于理解以及便于知识重用和共享等优点,适合描述和定义情境以及情境之间的关系,也便于计算机进行情境表示和推理^[27]。因此,本文采用了基于本体的表示和推理方法来进行情境处理。

4.3.1 情境表示

为了利用情境信息得到情境以及利用已知情境来构建用户的完整情境,我们定义了 3 种条件。

定义 1(情境信息取值条件) $CXTIV = \langle CXTI, Value, V_{CXTI} \rangle$:表示情境信息 CXTI 的取值是 V_{CXTI} 。例如,大连海事大学的经纬度是: $\langle CXTI_{经纬度}, Value, [121.111; 37.222] \rangle$ 。

定义 2(情境取值条件) $CXTV = \langle CXT, Value, V_{CXT} \rangle$:表示情境 CXT 的取值是 V_{CXT} 。例如, $CXT_{任务} = \langle 看视频: \langle CXT_{任务}, Value, 看视频 \rangle \rangle$ 。

定义 3(情境关系条件) $CXTR = \langle CXT, relation, CXT \rangle$:表示低级情境之间的具体关系。例如,用户在某地: $\langle CXT_{用户}, 位于, CXT_{位置} \rangle$ 。

其中的情境、情境信息、关系和值均为本体或本体属性。利用本体模型将低级情境和低级情境、低级情境和情境信息之间的关系表示成两个层次,顶层对应的是 8 种低级情境之间的关系,底层是与低级情境对应的情境信息^[19]。因为高级情境是研究人员根据研究目的而确定的,更类似于自然语言,为了能够复用这种本体表示模型,本文未将高级情境纳入到该模型中,而是将高级情境定义为两种及以上低级情境基于特定关系的组合。

4.3.2 情境推理

本研究中定义了两种类型的推理,即基于情境信息的推理和基于已知情境的推理。

1) 基于情境信息的推理

定义 4(基于情境信息的推理) 基于情境信息的推理是情境 CXT 的值 V_{CXT} 和与之关联的情境信息集合 $CXI_R =$

$\{CXTI_1, CXTI_2, \dots, CXTI_i, \dots, CXTI_n\}$ 的值 $V_{CXIR} = \{V_{CXTI1}, V_{CXTI2}, \dots, V_{CXTI3}, \dots, V_{CXTIn}\}$ 的映射 φ , 即 $V_{CXT} = \varphi(V_{CXIR})$ 。映射由规则组成,规则由本体表示的条件组成,条件包括:情境信息取值条件: $CXTIV = \langle CXTI, Value, V_{CXTI} \rangle$ 和情境取值条件: $CXTV = \langle CXT, Value, V_{CXT} \rangle$ 。

定义 5 映射 φ 的推理规则 $R\varphi = \langle P, C \rangle$, 其中 P 表示前提, C 表示结论:

① $P \subseteq \{CXTIV\}$, 其中 $P \neq \emptyset$;

② $C \subseteq \{CXTV\}$, 其中 $C \neq \emptyset$ 。

具体的推理过程可描述为:当存在与条件 P 匹配的规则 $R\varphi = \langle P, C \rangle$ 时, C 成立。例如, $P = \{CXTIV = \langle 光照, Value, 大于 2000 \rangle\}$, $C = \{CXTV = \langle LCXT_{环境}, Value, 阳光明媚 \rangle\}$ 。

2) 基于已知情境的推理

定义 6(基于已知情境的推理) 基于已知情境的推理是情境 CXT 的值 V_{CXT} 和与之关联的情境集合 $CT_R = \{CXT_1, CXT_2, \dots, CXT_i, \dots, CXT_n \mid i \in N\}$ 的值 $V_{CTR} = \{V_{CXT1}, V_{CXT2}, \dots, V_{CXT3}, \dots, V_{CXTn}\}$ 及关系集合 $R_{CTR} = \{r(CXT_i, CXT_j) \mid i \neq j, \text{且 } CXT_i \in CT_R, CXT_j \in CT_R, i \in N, j \in N\}$ 的映射 ω , 即 $V_{CXT} = \omega(V_{CTR}, R_{CTR})$ 。映射由规则组成,规则由本体表示的条件组成,条件包括情境取值条件: $CXTV = \langle CXT, Value, V_{CXT} \rangle$ 和情境关系条件: $CXTR = \langle CXT, relation, CXT \rangle$ 。

定义 7 映射 ω 的推理规则 $R\omega = \langle P, C \rangle$, 其中 P 表示前提, C 表示结论:

① $P \subseteq \{CXTV, CXTR\}$, 其中 $P \neq \emptyset$ 且必有 $CXTV \in P$;

② $C \subseteq \{CXTV\}$, 其中 $C \neq \emptyset$ 。

具体的推理过程可描述为:当存在与条件 P 匹配的规则 $R\omega = \langle P, C \rangle$ 时, C 成立。例如, $P = \{CXTR = \langle 用户, 位于, 室内 \rangle, CXTV = \langle 环境, Value, 嘈杂 \rangle, CXTV = \langle 时间, Value, 工作时间 \rangle, CXTV = \langle 用户, Value, 静止 \rangle\}$, $C = \{CXTV = \langle 任务, Value, 开会 \rangle\}$ 。

基于上述定义,将 UX 研究人员筛选情境信息、构建和筛选情境的过程外化成算法 3 所示的情境处理过程。

算法 3 情境处理

输入: V_{CI}

输出:CXT

Step 1 IF V_{CI} 中存在未标记的 V_{CXI} , 则提取 V_{CXI} 并进入 Step 2 ELSE 结束

Step 2 IF 情境推理规则库中存在与 V_{CXI} 匹配的规则 $V_{CXI} \rightarrow CXT$ THEN 进入 Step 3 ELSE 进入 Step 1

Step 3 IF $CXT \in CT$ THEN 结束 ELSE 在已知情境中搜索 CXT_i (CXT 和 CXT_i 同时出现在推理规则的前提 P 中, 其中 $i \in N, R\omega = \langle P, C \rangle$)

Step 4 IF CXT_i 存在 THEN 根据情境推理规则 $R\omega = \langle P, C \rangle$ 获取感兴趣的情境 CXT ELSE 进入 Step 1

4.4 数据采集模块

通过情境处理模块得到情境 CXT, 表示此时用户处在 UX 研究人员感兴趣的情境中, 接着可以根据具体的 UX 数据采集规则, 执行 UX 数据采集动作。

UX 数据包括主观数据和客观数据。主观数据是指用户的心理感受、行为、动机和意愿等,可以通过录音、录像、问卷等方式获取;客观数据是指除主观数据以外,可利用传感器等方法获取的所有数据。

5 实验设计

为了验证系统的能力并回答两个研究问题,本文开展了案例研究。相比 UX 研究人员,此系统主要受以下 4 个方面的制约。

- 1) 此系统是根据我们所提出的理论和方法而设计和开发的初级版本,还不够完善;
- 2) 目前,认知科学和人机交互领域的相关研究还不能清楚地了解人的认知机理,这决定了目前我们无法清楚地认识 UX 研究人员的情境感知机理;
- 3) UX 研究人员通常无法完全把自己的情境感知过程外化成具体的情境推理和数据采集规则;
- 4) 受限于目前的传感技术以及现有传感器的精度和成本,我们不能完全获取 UX 研究人员感兴趣的情境和 UX 数据。

鉴于上述限制,根据目前系统所具备的能力,我们对 UX 研究人员在真实研究中感兴趣的情境和要采集的 UX 数据进行了一定的简化,选择在实验室中进行受控环境下的案例研究。为了充分测试系统的能力,我们选择使用得最频繁的移动应用——微信,来研究 6 位学生在实验室学习期间使用微信的行为模式(每次使用微信的平均时长和使用具体功能的频率)和 UX 状况。对研究做了一定程度的简化,但保留了对实验目的而言最主要的情境和 UX 数据,这样的研究能够从感知情境和采集 UX 数据方面体现所提理论和方法的价值,也能在一定程度上证明从 UX 研究人员的情境感知机理出发来提高系统的能力是有效的。

在研究过程中,利用人工(影随)和工具辅助(CAUXT 系统)两种方式采集数据。实验结束后,UX 研究人员对以影随和系统两种方式采集的数据进行对比分析,基于 4 个指标来验证系统能力,并回答了两个研究问题。

5.1 用户

实验招募了 6 位大学生,其中 1 位男性,5 位女性,平均年龄为 23.2($SD=0.8$)。选择 6 位用户的原因在于:首先,因为本案例所使用的系统是初级版本,为使实验顺利进行,招募的用户需要是对系统具有一定使用经验的学生,因此用户数量受限;其次,影随方式需要耗费大量的人力和物力,这也限制了用户的数量;最后,本案例的主要目的是通过对比研究来回答两个研究问题,并为接下来的案例研究和系统升级做铺垫,6 位用户是可以满足要求的。

5.2 实验方法

实验采用远程的方式展开,将系统安装到用户的安卓手机上。由于学生在实验室学习的时间主要集中在周一至周五(上午 8:00—11:00,下午 2—5:00),因此我们计划采集 6 天的数据,每天采集上午 8:00—11:00 和下午 2:00—5:00

这个时间段的数据。同时,我们还使用影随的方式来采集同一用户在相同时间段的数据。

实验之前,对用户进行访谈,以介绍研究的目的、使用系统的注意事项和数据采集要求。实验分为两部分:

- 1) 对同一用户同时使用 CAUXT 系统和影随方法采集两份数据:将利用影随方式采集到的数据作为基准数据,然后与系统采集的数据进行对比分析来评估系统的能力;
- 2) 数据采集结束后,同一个研究人员独立对两份数据进行分析。

5.2.1 影随

利用高清摄像头记录用户在上午 8:00—11:00 和下午 2:00—5:00 之间使用微信的情况,并要求他们在发现 UX 问题时反映具体情况,将其录入视频。

5.2.2 CAUXT 系统

对于开展此项研究的 UX 研究人员来说,其感兴趣的情境是“学生在实验室学习期间使用微信”。在研究中,当研究人员感知到此情境时,他们会观察并记录此情境下的用户行为、设备和环境信息。为了使 CAUXT 系统能够像 UX 研究人员一样完成此工作,UX 研究人员将其感兴趣的情境进一步分解成集合 $CT = \{CXT_1 = \text{“用户在实验室学习期间开始使用微信”}, CXT_2 = \text{“用户在实验室学习期间停止使用微信”}\}$,并利用规则编辑器将感知情境和基于情境采集 UX 数据的过程转化为具体的规则(如表 5、表 6 所列)。当工具感知到 CXT_1 时,采集时间、经纬度、位置、网络类型、电量、光照强度、距离、加速度和应用列表;如果感知到情境 CXT_2 ,则除了采集上述设备信息外,还需要弹出问卷(用户在回答开放性问题时,可以通过列表来选择录音、录像、截屏等适合的方法)来询问用户使用微信的体验状况。问卷包含两个问题,即一个封闭性问题和一个开放性问题,如表 4 所列。

表 4 实验问题
Table 4 Experimental problems

问题	选项
用微信干什么?	使用钱包
	看朋友圈
	购物
	浏览公众账号
	游戏
	聊天
本次使用遇到了什么体验问题?	—

在本案例中,我们根据对用户实验前的访谈和前期的相关研究,确定了如下形式的 UX 数据采集规则(如表 5 所列),其中的 CXT_1 和 CXT_2 如表 6 所列。

表 5 数据采集规则
Table 5 Data capturing rules

编号	规则
1	IF CXT_1 THEN 采集时间、经纬度、位置、网络类型、电量、光照强度、距离、加速度和应用列表
2	IF CXT_2 THEN 采集时间、经纬度、位置、网络类型、电量、光照强度、距离、加速度和应用列表
3	IF CXT_2 THEN 弹出问卷和数据采集方法列表

表6 情境推理规则

Table 6 Context reasoning rules

情境	规则
1	$(\text{用户}, \text{Value}, A) \wedge (\text{网络}, \text{Value}, \text{WIFI}) \wedge (\text{WIFI}, \text{Value}, \text{SEUC-3}) \wedge (\text{系统时间}, \text{Value}, [8:00-11:00, 14:00-17:00]) \wedge (\text{手机}, \text{Value}, \text{点击微信图标}) \rightarrow \text{CXT}_1$
2	$(\text{用户}, \text{Value}, A) \wedge (\text{网络}, \text{Value}, 4G) \wedge (\text{经纬度}, \text{Value}, [121.5270 \pm 0.0003, 38.8680 \pm 0.0003]) \wedge (\text{系统时间}, \text{Value}, [8:00-11:00, 14:00-17:00]) \wedge (\text{手机}, \text{Value}, \text{打开微信}) \rightarrow \text{CXT}_1$
3	$(\text{用户}, \text{Value}, A) \wedge (\text{网络}, \text{Value}, \text{WIFI}) \wedge (\text{WIFI}, \text{Value}, \text{SEUC-3}) \wedge (\text{系统时间}, \text{Value}, [8:00-11:00, 14:00-17:00]) \wedge (\text{手机}, \text{Value}, \text{退出微信}) \rightarrow \text{CXT}_2$
4	$(\text{用户}, \text{Value}, A) \wedge (\text{网络}, \text{Value}, 4G) \wedge (\text{经纬度}, \text{Value}, [121.5270 \pm 0.0003, 38.8680 \pm 0.0003]) \wedge (\text{系统时间}, \text{Value}, [8:00-11:00, 14:00-17:00]) \wedge (\text{手机}, \text{Value}, \text{微信进入后台}) \rightarrow \text{CXT}_2$

5.3 实验实施

在6天的研究和实施过程中,最初遇到了用户不小心用垃圾清理软件将系统进程关闭的问题,为了避免出现类似的情况,我们在初期每隔一段时间会提醒用户。在每天的实验结束之后,对数据进行归档整理。

在收集系统数据时,偶然发现用户在停止使用微信时可能不是退出,而是直接锁屏,从打开微信到锁屏也可以计为一次有效数据,因此锁屏也成为我们感兴趣的一个情境,即 $\text{CXT}_3 = \text{"用户在实验的学习期间以锁屏方式停止使用微信"}$,但由于 CXT_3 出现的次数较少,因此本次实验并没有把 CXT_3 加入到感兴趣的情境集合 CT 中。但是,以上充分说明了 CAUXT 能够帮助 UX 研究人员及时发现新的感兴趣的情境。

5.4 结果分析

6位研究人员(同时也是用户)有平均1.75年的UX研究和学习经验($SD=0.35$),他们交叉地对他人的数据进行初步筛选。影随数据是以视频的形式记录的,研究人员利用暴风影音的3倍速度快进处理数据,并从视频中将数据提取出来。CAUXT系统所采集的数据存储在txt文档中,在具备其他条件的情况下,如果微信进入前台运行,就表示用户开始使用微信;如果微信进入后台,就表示用户停止使用微信。我们将微信进入前台并最后进入后台作为一次有效数据,UX研究人员手动从原始数据中提取有效数据。本文作者对初步筛选后的数据进行详细分析,并利用指标1来回答第一个研究问题;利用指标2—指标4来回答第二个研究问题。具体指标如下:

1)情境的数量;

2)有效数据的数量:对于影随,“一份有效数据”是指从打开微信到关闭微信或微信退至后台这段时间所采集的数据;对于工具,“一份有效数据”是指从打开微信到弹出问卷期间所采集的数据(如果问卷作答,则包括问卷数据);

3)研究人员发现的UX问题数量;

4)从数据中得出的用户行为模式的异同。

指标比较的结果如表7所列。

表7 指标比较

Table 7 Comparison of indexes

方法	指标1		指标2	指标3
	CXT_1	CXT_2		
影随	2511	2511	2511	8
CAUXT	2381	2278	2278	10

1)情境的数量

采用影随方式共获取了2511个 CXT_1 和2511个 CXT_2 , 平均从每个用户处获取418.50($SD=78.77$)个;系统共捕捉了2381(平均从每个用户处获取396.83, $SD=73.60$)个 CXT_1 和2278(平均从每个用户处获取379.67, $SD=71.66$)个 CXT_2 ,系统捕捉情境 CXT_1 和 CXT_2 的准确率分别为94.82%和90.72%。对于 CXT_1 来说,系统进程被不小心关闭是造成误差的主要原因;对于 CXT_2 来说,除系统被不小心关掉进程外,造成误差有些用户使用微信后直接将其锁屏而未退出也会造成系统无法捕捉到 CXT_2 。

2)有效数据的数量

采用影随方式获取了2511份有效数据,系统获取了2278份有效数据,准确率为90.72%。造成误差的主要原因是用户无意之间关闭了系统进程。

3)研究人员发现的UX问题数量

系统共捕获了2278个 CXT_2 ,理想情况下应该能够收集2278份问卷,但实际回收了2046(平均每个用户回答了341.00份问卷, $SD=23.41$)份问卷,是理想情况的89.82%。产生误差的主要原因是问卷被弹出,用户忘记作答。

影随方式的报告了8个UX问题,系统方式的报告了10个UX问题(因为微信已经很成熟,所以UX问题较少)。采用影随和系统方式获取的UX问题也基本相似,差距主要是因为系统会自动弹出问卷,对用户起到实时提醒的作用,当遇到UX问题时,一般不会忘记提交报告;但对于影随方式,即使遇到了UX问题,用户有时也会忘记报告自己的感受。

4)从数据中得出的用户行为模式的差异

从影随的数据可知,用户每次使用微信的平均时长为23.00s($SD=5.55$),最常使用的功能是聊天,其次是看朋友圈,使用得最少的功能是购物。

由系统数据可以得知,用户每次使用的微信的平均时长为21.50s($SD=5.13$),最常使用的功能为聊天,其次是看朋友圈,最少使用的功能是购物。

在使用时长和使用功能上,两种方法基本相同。使用时长很短的原因是用户在学习时间不会长时间使用微信,但由于习惯因素,每隔一段时间,会打开微信,通常浏览一下就关闭。对于使用时长的不同,主要是因为系统记录的时间很准确,而根据影随方式得到的数据计算出的时间存在一定的误差。

针对使用微信的具体功能排序,两种方法得出的结论是一致的,差别在于具体的使用数量上,这是因为系统没有完整捕捉所有数据所致。

从上述4个指标的分析中可以得出,CAUXT系统能够

感知 UX 研究人员感兴趣的情境,并能够根据这些情境采集其想要的 UX 数据。

5.5 讨论

数据分析完成后,对研究人员进行访谈,以进一步了解 UX 研究人员在使用系统时存在的 UX 问题。访谈中涉及以下 5 个问题:

1)分析两种数据时效率如何?

影随:使用暴风影音的 3 倍速度来快进处理数据,平均用时 1046.0 min($SD=50.56$)(该时间不包括休息时间,仅指从视频中提取数据的时间)。在大约 17.43 个小时的时间内从视频中提取数据是一项非常艰苦的工作。

系统:共使用 334.00 min($SD=42.92$),费时较多,未来我们会在呈现方式上做改进,以提高数据分析的效率。

2)在利用系统采集数据的过程中遇到了什么问题?

UX 研究人员在使用系统的过程中最常遇见的问题是用户误操作而杀死系统进程;

3)期望以什么方式呈现数据?

UX 研究人员希望系统能够以结构化的形式可视化地呈现数据,从而提升数据分析的效率;

4)用户在使用工具的过程中发现了什么问题?

我们虽然为用户解释了采集数据的用途和保密方式,但还是不能消除用户对隐私泄露的担忧;另外,系统方式虽然比影随方式的侵扰程度小,但还是存在一定的侵扰。

结束语 我们基于 UX 研究人员的情境感知模型构建了初级版本的 CAUXT 系统——一个基于安卓的 APP,它可以在一定程度上模拟 UX 研究人员的情境感知机理,根据研究人员感兴趣的情境来采集 UX 数据;基于 6 位用户进行了对比实验,发现系统能够获取 UX 研究人员感兴趣的情境,并能够根据这些情境来采集他们想要的 UX 数据。虽然目前这个初级版本的系统能力还不够,并不能完全像人一样进行 UX 研究,但它已经能够证明我们所提出的理论和方法的价值和意义,也为我们接下来的研究指明了方向。随着系统感知能力、计算能力和稳定性的进一步提升,相信系统会越来越接近 UX 研究人员的情境感知能力。整个实验过程中,UX 研究人员对系统给予了正面的评价,并表示有兴趣继续使用。

根据 UX 研究人员和用户的反馈,未来将针对以下问题展开进一步研究。

1)对 UX 研究人员情境感知机理的研究属于 UX 领域的首次探索,而且相关领域关于人认知的研究也有待进一步深入,因此所构建出的理论模型也必然存在较大的不足。在接下来的研究中,将继续深入探索 UX 研究人员的情境感知机理,并在此认识的基础上进一步提升系统感知情境和采集 UX 数据的能力。

2)受传感器精度、手机存储空间和计算能力的限制,系统的稳定性和性能存在不足,这在一定程度上限制了系统的性能。在接下来的研究中,将通过提升稳定性和性能来进一步增强系统的能力。

3)对于 UX 研究人员,提前确定的情境集合并不能完全

涵盖 UX 研究人员在实际研究过程中感兴趣的所有情境,下一步我们将研究如何使系统像研究人员一样能够自动更新感兴趣的情境集合。

4)用户对自身隐私的关注度不断提高,工具在对比研究中的一个突出问题就是用户担心自己的隐私会被泄露,因此如何消除用户的顾虑是下一步研究需要解决的问题。

5)我们将在下一步研究中引入云计算和可视化数据分析技术。将移动端感知到的情境和基于此情境采集到的 UX 数据实时传送到云端,然后通过可视化的方式将其展示,这样既能进一步明确情境和 UX 数据之间的关联性,又能帮助 UX 研究人员在第一时间发现数据中存在的问题,并通过在线升级的方式及时调整情境感知和 UX 数据采集规则,进一步提升识别情境和采集 UX 数据的准确性和有效性,减轻 UX 研究人员分析数据的负担,提升数据的分析效率。

参考文献

- [1] FORLIZZI J, FORD S. The building blocks of experience: an early framework for interaction designers[C]// Proceedings of the 3rd conference on Designing Interactive Systems: Processes, Practices, Methods, and Techniques. New York, USA, 2000: 419-423.
- [2] HASSENZAHL M, TRACTINSKY N. User experience—a research agenda[J]. Behaviour & Information Technology, 2006, 25(2): 91-97.
- [3] KANKAINEN A. UCPCD: User-centered product concept design[C]// Proceedings of the 2003 Conference on Designing for User Experiences. San Francisco, USA, 2003: 1-13.
- [4] JAMES P, YOLANDE S, PHOEBE S, et al. Introduction to the special issue on practice-oriented approaches to sustainable HCI [J]. ACM Transactions on Computer-Human Interaction, 2013, 20(4): 1-8.
- [5] BLOM J, CHIPCHASE J, LEHIKOINEN J. Contextual and cultural challenges for user mobility research [J]. Communications of the Acm, 2005, 48(7): 37-41.
- [6] CHERUBINI M, OLIVER N. A refined experience sampling method to capture mobile user experience [C]// Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Boston, USA, 2009: 1-12.
- [7] MEHROTRA A, VERMEULEN J, PEJOVIC V, et al. Ask, but don't interrupt: the case for interruptibility-aware mobile experience sampling [C]// Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers. Osaka, Japan, 2015: 723-732.
- [8] FROEHLICH J, CHEN M Y, CONSOLVO S, et al. MyExperience: A system for in situ tracing and capturing of user feedback on mobile phones [C]// Proceedings of the 5th International Conference on Mobile Systems, Applications and Services. Puerto Rico, 2007: 57-70.

- approach to forecast several hour ahead electricity prices and loads in deregulated market[J]. *Energy Conversion and Management*, 2006, 47(15-16): 2128-2142.
- [8] WU C H, TZENG G H, LIN R H. A Novel hybrid genetic algorithm for kernel function and parameter optimization in support vector regression[J]. *Expert Systems with Applications*, 2009, 36(3): 4725-4735.
- [9] DOUAK F, MELGANI F, BENOUDJIT N. Kernel ridge regression with active learning for wind speed prediction[J]. *Applied Energy*, 2013, 103: 328-340.
- [10] EXTERKATE P, GROENEN P J F, HEIJ C, et al. Nonlinear forecasting with many predictors using kernel ridge regression [J]. *International Journal of Forecasting*, 2016, 32(3): 736-753.
- [11] KIM H H, SWANSON N R. Forecasting financial and macro-economic variables using data reduction methods; New empirical evidence[J]. *Journal of Econometrics*, 2014, 178: 352-367.
- [12] ZHANG Y L, LUO G M. Short term power load prediction with knowledge transfer[J]. *Information Systems*, 2015, 53: 161-169.
- [13] KOPRINSKA I, RANA M, AGELIDIS V G. Correlation and instance based feature selection for electricity load forecasting[J]. *Knowledge-Based Systems*, 2015, 82: 29-40.
- [14] DAI W, YANG Q, XUE G R, et al. Boosting for transfer learning[C]// *Proceedings of the 24th International Conference on Machine Learning*. 2007: 193-200.
- [15] PARDOE D, STONE P. Boosting for Regression Transfer[C]// *Proceedings of the 27th International Conference on Machine Learning (ICML-10)*. 2010: 863-870.
- [16] REIS A J R, DA SILVA A P A. Feature extraction via multi-resolution analysis for short-term load forecasting[J]. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2005, 20(1): 189-198.
- (上接第 285 页)
- [9] WILSON D H, LONG A C, ATKESON C. A context-aware recognition survey for data collection using ubiquitous sensors in the home [C]// *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Portland, USA, 2005: 1865-1868.
- [10] NEBELING M, SPEICHER M, NORRIE M. W3Touch: metrics-based web content adaptation for touch [C]// *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Paris, France, 2013: 2311-2320.
- [11] JUN-KI M, AFSANEH D, JASON W, et al. 'N' turn: smartphone as sleep and sleep quality detector [C]// *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Toronto, Canada, 2014: 477-486.
- [12] INTILLE S S, RONDONI J, KUKLA C, et al. A context-aware experience sampling tool [C]// *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Fort Lauderdale, USA, 2003: 972-973.
- [13] FIGUEIREDO I N, LEAL C, PINTO L, et al. A lemos exploring smartphone sensors for fall detection [J]. *The Journal of Mobile User Experience*, 2016, 5(1): 1-17.
- [14] HONG J H, RAMOS J, DEY A K. Toward personalized activity recognition systems with a semipopulation approach [J]. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 2016, 46(1): 101-112.
- [15] BRICON-SOUF N, NEWMAN C R. Context awareness in health care: a review [J]. *International Journal of Medical Informatics*, 2007, 76(1): 2-12.
- [16] BAE N J, KWAK K H, et al. Context-aware control service model based on ontology for greenhouse environment [J]. *Advances in Computer Science and Its Applications*, 2014, 279: 321-326.
- [17] CAPRA L, EMMERICH W, MASCOLO C. CARISMA: context-aware reflective middleware system for mobile applications [J]. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 2003, 29(10): 929-945.
- [18] FETTER M, GROSS T. CAESSA: visual authoring of context-aware experience sampling studies [C]// *CHI'11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 2011: 2341-2346.
- [19] HAN L, LIU Z J, LI H, et al. A method based on context-aware for remote user experience data capturing [J]. *Chinese Journal of Computer*, 2015, 38(11): 2234-2246. (in Chinese)
韩立, 刘正捷, 李晖, 等. 基于情境感知的远程用户体验数据采集方法[J]. *计算机学报*, 2015, 38(11): 2234-2246.
- [20] CARD S, MORAN T P, NJWELL A. *The psychology of human-computer interaction* [M]. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1983.
- [21] ANDERSON J R, LEBIERE C. *Atomic components of thought* [M]. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1998.
- [22] LAIRD J E, NEWELL A. SOAR: An architecture for general intelligence [J]. *Artificial Intelligence*, 1987, 33(1): 1-64.
- [23] JUST M A, CARPENTER P N. A capacity theory of comprehension: individual differences in working memory [J]. *Psychological Review*, 1992, 99(99): 122-49.
- [24] MEYER D E, KIERAS D E. A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance: Part 1. Basic mechanisms [J]. *Psychological Review*, 1997, 104(1): 3-65.
- [25] MEYER D E, KIERAS D E. A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance: Part 2. Accounts of Psychological Refractory Period Phenomena [J]. *Psychological Review*, 1997, 104(4): 749-791.
- [26] LIU Y, ROBERT F, TSIMHONI O. Queuing network-model human processor (QN-MHP): A computational architecture for multitask performance in human-machine systems [J]. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 2006, 13(1): 37-70.
- [27] MO T, LI W P, WU Z H, et al. Framework of context-aware based service system [J]. *Chinese Journal of Computer*, 2010, 33(11): 2084-2092. (in Chinese)
莫同, 李伟平, 吴中海, 等. 一种情境感知服务系统框架 [J]. *计算机学报*, 2010, 33(11): 2084-2092.