

移动环境中任务分析及任务建模方法

李娟妮 华庆一 姬翔

(西北大学信息学院计算机科学系 西安 710075)

摘要 随着移动时代的到来,准确地分析用户在动态环境中的任务,开发出具有好的用户体验的交互系统已成为人机交互领域的研究热点之一。针对这个问题,首先介绍了任务的相关概念,分析了移动环境中任务的特点,并对传统任务模型和动态环境中任务模型的差异进行了比较;然后阐述了动态任务建模过程中采用的关键技术;最后讨论了目前研究中存在的不足以及未来的研究方向。

关键词 动态环境,用户体验,上下文,任务模型

中图分类号 TP311 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2014.10.045

Task Analysis and Task Modeling Method in Mobile Environment

LI Juan-ni HUA Qing-yi JI Xiang

(Department of Computer Science, School of Information, Northwest University, Xi'an 710075, China)

Abstract With the emergence of mobile computing and wireless devices, accurately and comprehensively description user dynamic tasks and developing the interactive system with good user experience have recently become one of the hottest topics in the domain of Human-Computer Interaction(HCI). Aiming at this problem, firstly this paper introduced some related concept of task, summarized the characteristics of task in the mobile environment, analyzed the difference of task model between traditional static environment and the mobile environment, and then expounded the key technologies used in modeling process. Finally the prospects for future development and suggestions for possible extensions were discussed.

Keywords Dynamic environment, User experience, Context, Task model

1 引言

随着无处不在的计算和设备的迅猛发展,信息技术正在从单一的桌面设备逐步延伸到不断涌现的各种新型移动设备之中,交互软件也不再局限于办公人员的办公需求,而是普通大众生活和娱乐的需求。这给用户界面的设计者提出了新的挑战:设备如何为人们日常生活和工作提供有效、高效及满意的服务。

在以前的软件系统中,界面是领域内容的直接表示,设计人员预先定义交互过程和交互风格,旨在让用户能够正确理解和使用交互构建,其反映了设计者头脑中的系统模型;而在移动环境中,对于面向大众生活娱乐的系统,用户不能理解也不愿意理解界面上呈现的那些晦涩的领域概念,只想将软件作为一种简单实用的工具,帮助他们完成既定的目标。用户在使用软件时,潜意识中已经存在一个系统模型,它反映了用户根据以往的经验认定系统应该提供的服务,以及根据当前界面的内容和操作,推断出下一步应该得到什么结果,即“用户的概念模型”。对于一个高可用性的软件系统,设计者所设计的界面模型应该与用户的概念模型相一致^[1]。但在移动环

境中,用户头脑中潜在的那个系统模型是不精确的,具有二义性,受用户经验和使用环境的影响。设计者为了将用户头脑中的意图翻译成计算机中的对象和他们的操作,需要深入分析用户任务,理解用户在实际环境中完成目标执行任务的过程,并对任务分析的数据进行结构化、层次化的组织,最终建立系统设计过程中的任务模型。

移动环境的交互系统具有普适化和个性化的特点,用户的任务相对于传统环境也具有不确定性、多样性和易受外界干扰等性质;准确地分析动态环境中用户的任务,开发出具有好的用户体验的软件系统目前已成为人机交互领域的研究热点之一。国内外许多大学和科研机构对此展开了深入的研究,如意大利 HIIS 实验室^[2-5]、法国鲁汶大学^[6-8]、华盛顿大学^[9]、比利时林堡大学^[10]、IBM 研究院^[11]、中科院^[12]、清华大学^[13]、中国矿业大学^[14]、西北大学^[15]等。

本文对移动环境中任务分析和任务建模方法进行了综述,第2节简要介绍了任务的相关概念,分析了在移动环境中任务的特点;第3节总结了传统任务模型中描述任务的概念元素和任务之间的关系,分析了传统任务模型与移动环境中任务模型的差异;第4节介绍了移动环境中任务建模的关键

到稿日期:2013-12-31 返修日期:2014-04-09 本文受国家自然科学基金:基于感知控制论的移动设备用户界面建模方法及支持工具研究(61272286),高等学校博士学科点专项科研基金联合资助课题:基于感知控制论的高可用移动设备用户界面建模研究(20126101110006)资助。

李娟妮(1979-),女,博士生,CCF 会员,主要研究领域为人机交互与用户界面工程,E-mail: ayykikilee@gmail.com;华庆一(1956-),男,教授,博士生导师,主要研究领域为人机交互与用户界面工程;姬翔(1979-),女,博士生,主要研究领域为人机交互与用户界面工程。

技术;最后提出了现有理论中有待进一步研究的问题。

2 移动环境的任务概述

2.1 任务的相关概念

通常,一个任务可以被理解为人们为了完成某一个特定的目标而执行的一系列行为。为了更好地描述任务世界,需要对用户的任务进一步分析,即对人们在实际执行任务过程中的数据进行收集和分析,详细地刻画出任务世界中人机交互过程,确定从哪些方面去描述,抽象出描述任务的概念元素;在描述过程中选择合适的颗粒度(如果描述得过于细致,任务分析数据量会很大,不利于任务模型的建立,如果描述得太笼统,失去了任务分析的意义),采用什么样的方式去记录描述的过程、各个任务之间的关系等。任务分析获取数据的方法很多,如:访谈、观察、低保真设计稿等。对任务分析过程所获取的数据进行逻辑分析,并且将其结构化的过程称为任务建模^[16]。任务模型是整个任务分析过程的产物,它描述了完成任务所需的活动、相关任务之间的联系以及提供的服务等。

2.2 移动环境中任务的特点

移动互联网是移动通信网络与互联网的结合,是指用户使用移动设备(如智能手机、PDA、平板电脑等)通过移动通信网络(如3G、Wifi、GPRS等)访问互联网^[17]。用户在移动环境中的主要任务有:基于地理位置的信息搜索,移动社交活动(微博/微信),利用移动设备的强大功能随时随地记录环境信息(如:移动日记),在用户的碎片时间访问互联网,阅读,游戏,播放音频/视频等。在移动环境下,用户的移动性和设备的多样性给应用增加了动态性、多模态、上下文感知、个性化的属性。

与传统的用户任务相比,移动环境中的任务的特点体现在以下几个方面:

(1)更加贴近用户的生活

传统的PC应用中,用户的活动过程较为固定,环境较为单一,多为协助办公人员办公使用,任务中体现了应用领域的相关知识;而在移动环境中,软件系统更多地是面向普通大众的生活娱乐,用户的任务很少涉及专业领域的内容,也无固定的执行模式,不像传统任务那样具有高度的统一性和一体性,更多地体现了个性化和生活化。

(2)应用情境的多样性

以前用户在使用交互系统时,设备、交互方式和应用环境都比较单一,可以通过层次化分解,线性组织分析用户任务;各个子任务之间的关系的耦合性紧密,任务描述的内容很少涉及异常情况的发生,有些作者将其总结为“80/20-situation”^[18],描述内容中只涵盖了80%的典型的任务行为,而忽略了20%的异常行为。在移动环境中由于设备、交互方式和应用环境的多样性,任务具有不确定性和动态性,不适合大的任务分解体系,任务之间的关系也较为松散,不易线性组织;用户的移动性和应用环境的不确定性使得用户在完成任务时受外界干扰较多,不能完全忽略应用过程中的异常情况。

(3)用户在移动环境中完成任务的心理特征

从心理学的角度分析,用户在静态环境中完成任务,一般采用“结构化”认知模型和“刺激反应”模型,结构化模型认为所有行为由规划决定,将世界看成是静态的、不随时间变化的;因此要想完成任务达到目标,必须事先规划,只有当外部

世界与预先规划一致时,目标才能达到。而刺激反应模型则认为所有的行为由刺激引起,相同的刺激会得到相同的结果,没有考虑任务目标的改变和外界环境的干扰。而在移动环境中,用户的任务可能会随着时间、地点、周围环境等因素的变化而动态地改变,上下文信息与用户任务的关联程度远远高于静态的任务分析。人在此环境中处理事情大多是一种感知控制的过程^[19],通过考虑外部环境的影响,使其能够根据环境的变化调整自身的行为,最终达到任务目标。

3 移动环境中的任务模型

3.1 传统的任务模型

最早的任务模型是HTA模型^[20],它采用分层次的方式来记录任务活动,是任务模型发展的基石。在20世纪80年代初期,任务模型作为一种重要的理论进入了人机交互的研究领域。当时的研究主要分为两个方向:任务分析过程,如:GOMS模型^[21]和对任务知识的建模,如:TAKD模型^[22]和TKS模型^[23];还有一些方法主要从心理学观点出发,阐述任务执行的过程,如CTA模型^[24]。90年代以后,任务模型逐渐向增强描述能力和形式化方面发展,如GTA模型^[25],着重提高任务模型对复杂的协作任务的描述。在传统的任务模型中,用户的活动过程比较固定,交互系统的应用环境也比较单一,建模过程中主要强调了模型的描述方式和描述能力。

3.1.1 传统任务模型的描述方式

早期的任务模型大多采用自然语言,文本方式记录任务执行的过程,GOMS模型注重任务活动的逻辑关系,采用程序方式和序列方式组织描述文本^[26];随着人们对软件功能性及可用性需求的提高,人们需要从更多的维度去了解任务世界,任务模型的描述方式也越来越丰富^[27]。TKS,MAD和GTA主要是通过图形方式去表示任务模型,目的是更好地强调层次结构。MAD,GTA采用层次结构描述主要任务过程,并且通过模板方式来描述设计细节内容。

3.1.2 传统任务模型中的概念元素

为了强调任务模型的共享性和可复用性,任务模型常常以任务本体即元模型的形式出现^[28],它通过实体-关系-属性的形式定义了各自的概念元素和任务之间的关系,从不同方面去描述用户和他们的任务世界。在传统的任务模型中,每个任务模型选择描述任务世界的角度都不相同;所抽象出的概念元素(如表1所列)以及任务之间的关系(如表2所列)反映了模型的描述能力。

表1 传统任务模型概念元素的比较

	Task	Goal	Plan	Operation / Action	Method	Selection Rule
HTA	✓	✓	✓	✓		
GOMS	✓	✓		✓	✓	✓
TKS	✓	✓	✓	✓		
MAD	✓			✓		
GTA	✓			✓		

表1(续) 传统任务模型概念元素的比较

	Object	Agent	Role	Constructor	Procedure	Event
HTA						
GOMS	✓	✓				
TKS	✓	✓	✓	✓	✓	
MAD	✓			✓		
GTA	✓	✓	✓			✓

表2 传统任务模型任务关系的比较

	Sequence	Choice	Iteration	Concurrent	Parallelism
HTA	✓	✓	✓		
GOMS	✓	✓	✓		
TKS	✓	✓	✓		
MAD	✓	✓	✓	✓	✓
GTA	✓	✓			✓

3.1.3 传统任务模型的特点

早期的任务模型主要反映了静态环境中描述任务世界的维度和构建任务体系的规则,根据不同的用户角色和用户目标,层次型分解、线性组织任务的对象元素,任务中的“对象”“选择策略”和“行为过程”在设计阶段已经被固化到程序之中;在任务的执行过程中,所有的活动按照既定的序列去执行,不能发生变化^[29]。各个子任务都是独立的,子任务之间不能进行信息的传递,在任务模型运行期间,不考虑外界环境的变化。此类模型描述的前提是:所描述的任务和完成任务的方法必须是确定的、没有干扰的;用户执行任务的方式必须是统一的、没有异常的,它排除了用户在做出行为时的情感、社会/物理环境等因素的干扰。

3.2 移动环境中的任务模型

在移动环境中,任务模型与环境信息的关联非常紧密,上下文信息复杂多变,为了让系统能更好地适应用户的需求,移动环境中的任务模型也像传统的任务模型一样,定义了“概念元素”和“任务之间的关系”,但在模型的构建机制上增添了动态的属性,将用户的活动、上下文和服务之间的连接关系延迟到系统运行期间再确定,我们称这种任务模型为“动态模型”。在文献[14]中提出动态任务模型的定义:指可以在运行阶段发生改变,即通过某种方法将一个模型与同类型的其它模型相结合,或是将模型的部分剪裁掉。动态模型任务的执行受到执行过程中动态因素的影响。

CTT(Couner Task Tree)模型^[30]是一种面向活动的动态的任务模型,它为任务的描述提供了一种带有语义的表示符号和丰富的暂态关系。CTT模型中定义了“enabling with information passing”和“concurrency with information passing”两种操作,使得任务模型在执行过程中,可以支持子任务之间的信息交换,前一任务的执行结果可以作为下一任务的输入条件;在并行任务中,两个子任务也可以相互影响。此时,对任务的组织不再是设计阶段预先定义的,而是在任务运行过程中受其它任务运行结果的影响。文献[10]提出了DynaMo-AID动态任务模型,在CTT模型的基础上,扩展了“Enabled Task Sets(ETS)”,增加了“上下文相关的决策点”,根据运行时刻的上下文信息来选择子任务,动态生成对话,描述在当前上下文信息的影响下,用户界面之间状态的变换。文献[31]提出了一种可执行的任务模型 Executable Task Model,针对CTT模型中提供的任务间信息交换的操作仅限于同一父任务的若干子任务之间,Executable Task Model为每个任务增加了输入/输出端口,实现了任何两个任务之间的信息交换操作,使得在动态环境中任务的构建更加灵活。文献[32]中提出一个支持非确定性上下文的任务模型 DAMo,主要面向任务之间信息交互的描述,适合于子任务之间存在复杂信息交互的任务建模;在DAMo中,每一个子任务都包含任务属性和实现方法两个部分,为了更加详细地描述信息

的传递,DAMo中引入了任务通道的概念,当不同任务之间进行操作时,它定义了任务属性之间的影响方式。

相对于传统的任务模型,动态任务模型更加适用于移动环境中应用情境的复杂性和外界干扰的不确定性,移动任务模型与传统任务模型的主要差异如表3所列。

表3 移动任务模型与传统任务模型的主要差异

	传统的任务模型	移动环境中的任务模型
可用性	为静态环境中用户的任务实现提供了有效、高效的支持	在动态环境中,帮助用户有效、高效完成任务的同时,更加注重用户的体验
普适性	较少地考虑上下文信息	实时感知上下文信息,作为任务执行过程中选择策略的依据
灵活性	任务“对象”“选择策略”和“行为过程”是在设计阶段预先定义的	用户的活动,上下文与服务之间的关系是在运行过程中确定的
复杂度	任务组建体系的规模庞大,层次性分解,线性组织,任务之间关系为紧耦合	小型的任务构件,非线性组织,任务之间是松耦合关系
描述能力	只能描述任务过程中典型的行为活动,很少涉及异常情况	除了描述典型的行为活动外,还包括不同用户在不同情境中为了完成特定的目标而执行的特殊的任务过程

4 移动环境中任务建模的关键技术

在移动环境中,动态任务模型是在传统任务模型的基础上,改变了其固定的任务组织形式,取而代之的是一种受上下文信息影响的动态构建方法。目前对动态任务的研究主要体现在以下两个方面:(1)充分考虑上下文信息与任务的联系,为移动环境中交互式系统的可用性提供保障^[33-36]; (2)移动环境中设备、平台和使用情境的多样性给用户界面开发带来了挑战,通过对任务模型形式化的描述和模型之间转换,最终实现自动(半自动)生成用户界面^[37-39]。

4.1 上下文感知技术

随着信息技术和物理空间的融合越来越紧密,环境信息对用户任务的影响远胜于传统的用户任务,为了给具有移动属性的用户提供更具可用性的服务,交互式系统应该能够根据环境的变化自动做出相应的改变。此时,用户的输入已不再是系统唯一的驱动,而是应该结合为了达到用户的目标与用户任务相关的所有隐式存在的信息(即上下文信息),作为确定系统行为最有力的依据。文献[10]中提出对于一个上下文感知的交互式系统应该能够适应环境的变化,这种变化包括:平台、网络能力、物理环境(光线、温度等)。文献[40]中更加详细地定义了上下文信息,将其分为3类:计算上下文、用户上下文和物理上下文。计算上下文包括网络的可用性、网络带宽、通信资源等;用户上下文包括用户的特征、地理位置、社会关系等;物理上下文包括光线、噪声、温度等。但移动环境复杂多变,通过传感器所获得的上下文信息在感知方法、数据类型、表示形式上存在显著的差异。对于这个问题文献[41]中提出对上下文进行预处理的方法,屏蔽了获取数据具体格式上的差异,在语义层面上进行描述,向高层应用提供格式统一、只与当前应用语义相关的上下文信息。

早期的上下文感知信息大多采用非形式化的方式表示,将同一种类型的上下文封装在一个类中,通过类之间的关系建立上下文之间的联系,但这种方式不支持上下文共享、重用和推理。随着研究的深入,研究者尝试将上下文信息的共性抽象,并对其进行形式化规范,构建上下文感知模型。文献

[42]提出了一种“key-value”模型,其适用于分布式服务架构,在交互式系统中定义环境变量,根据上下文信息提供环境变量值。这种模型数据结构类型简单,易于操作和管理,但不能处理复杂的数据关系。文献[43]提出了一种基于对象的上下文建模方法,其结合了实体-关系-属性和 UML 图形两种表示方法,将上下文信息定义为结构化的实体集合,每个实体都描述了物理的或概念化的对象及它们的属性,通过定义各个实体与属性之间的关系,结构化关联之间的限制,标识上下文之间的依赖关系,最终得到图形化的上下文信息模型。这种模型通过接口访问上下文信息,利用面向对象技术的封装性和重塑性,解决移动计算中上下文的不确定性。文献[10]通过定义“Concrete Context Object(CCO)”“AbstractContext Object(ACO)”和“Context Control Unit(CCU)”来组织上下文信息与任务模型之间的联系。CCO 表示底层传感器采集的信息对象,ACO 表示从上下文模型到对话模型和任务模型之间的一个具有上下文属性的对象,它可以直接被系统调用;CCU 可以监测上下文变化,完成 CCO 到 ACO 的映射,实现对上下文信息的调度和控制。除此之外,还有一些研究者致力于研究方便知识共享、支持逻辑推理、便于知识重用的本体模型^[44,45]。通过上下文模型的建立,上下文信息不再作为独立的信息源,而是整个语义体系的一个子集,与任务模型建立依赖关系,通过上下文推理技术^[46,47]为用户提供更加智能的服务。

4.2 中间件技术

上下文感知模型能够获取并组织上下文信息,通过上下文推理和形式化表述,可向其它模型或系统提供具有语义、格式统一的上下文信息^[48]。但如果上下文信息的采集、处理过程与应用逻辑紧密耦合,每个应用都需要调用感知设备采集的信息,就会增加开发成本,降低上下文信息的可复用性;若将这种上下文自适应机制集成操作系统中实现,又会面临当感知设备发生变化时修改工作量大,复杂度高,缺乏灵活性。所以研究者们将中间件的思想引入到上下文感知系统的构建中,上下文感知中间件独立于感知系统之外,分离了上下文信息的采集处理与上下文感知应用的开发,通过获取各种感知设备的信息,对应用的开发者提供统一的架构和应用程序接口。上下文感知中间件的结构可以分为 3 层,如图 1 所示。其中上下文感知中间件屏蔽了上下文信息的异构性,向上层应用提供了统一的上下文信息接口。

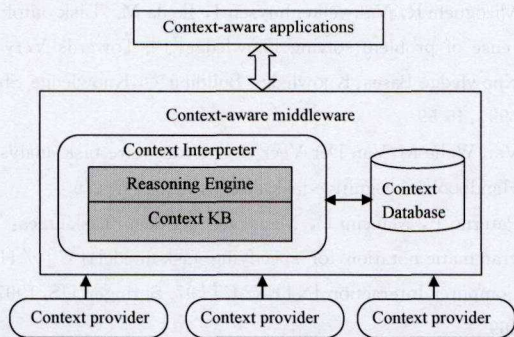


图 1 上下文感知系统层次结构

目前上下文中间件采用的架构主要有以下几种:智能代理架构^[54-56]、面向服务的架构^[51-53]、面向数据流的架构^[49,57]

和面向对象的架构^[41,50]等。文献[58]中针对不同架构的中间件进行了比较和分析。

4.3 描述动态任务模型的形式化方法

随着模型驱动体系结构(MDA, Model Driven Architecture)^[59]在软件工程领域研究的逐渐升温,人机交互的研究者也在探索如何将模型驱动的思想引入用户界面自动(半自动)生成过程中,减轻用户界面开发人员在设计适配多平台、多设备的交互界面的负担^[5,7,61,62]。多数研究采用了模型变换的方法开发,将高级抽象模型逐步映射为最终的代码,Cameleon 参考框架^[60]表示了当前研究的特性(见图 2):任务和概念层次指定用户如何与系统交互来达到他的目标;抽象界面模型层次指定与技术环境无关的交互结构;具体界面模型层次表示了与具体平台相关,但和实现语言无关的界面模型;最终用户界面即所实现的源代码。要实现模型之间的转换同时使得这些模型和构造技术满足不同使用上下文开发界面的可用性需求,需要使用一种形式化的语言来描述任务模型。UsiXML^[6,7,61]是由法国天主教鲁汶大学开发的一种基于 XML 的标记语言,它可以描述不同使用情境下的用户界面;UsiXML 采用多个元模型描述用户界面的不同方面,用一个转换模型来定义不同模型之间的转换关系。MARIA XML^[62]是一种基于模型的用户界面语言,他描述了如何为不同的设备和平台开发不同的用户界面。MARIA XML 分别从 4 个方面去抽象描述平台和资源相关的交互信息:(1)数据模型,使用 XSD 类型定义语言描述界面元素的值之间的相关性,条件表示连接,条件布局和制定输入值的格式;(2)事件模型,描述事件被触发后,用户界面如何恢复,事件的抽象定义包含了最终用户界面动态行为的生成信息;(3)支持 Ajax 脚本,允许局部界面连续更新;(4)用户界面元素的动态集合。文献[63]提出了一种能够表示任务执行效果并能处理移动应用中复杂行为过程的形式化建模语言 TAMOGOLOG。为了恰当地描述任务模型,TAMOGOLOG 通过谓词结构的方式定义了 3 个基本的任务类型:UnitTask(α),WaitingTask($\bar{\omega}$),CompositeTask(φ),其中 WaitingTask($\bar{\omega}$)不同于其它模型的任务类型, $\bar{\omega}$ 表示一个只有前置条件满足或有事件触发才能执行的任务。UnitTask(α),WaitingTask($\bar{\omega}$)在原子层次上执行,它们的结果同样在原子层次上显示,CompositeTask(φ)由多个步骤组成,每个步骤是一个单元/等待任务或是一个条件,每个任务按照顺序执行,直到组合任务达到目标状态。

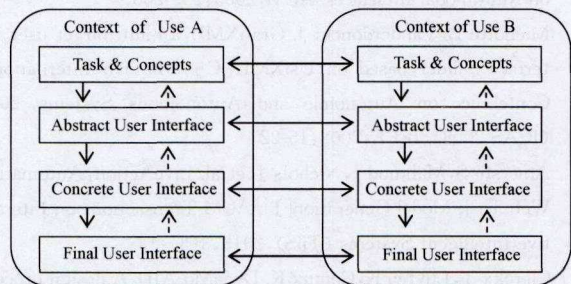


图 2 CAMELEON 参考框架

结束语 随着通信设备、计算机网络等构成的信息空间与人们生活和工作的物理空间逐渐地融合,应用环境的开放性、动态性、异构性、分布性等特点给任务模型提出了新的挑战。在移动环境中,任务分析和任务建模方法应该能够满足

动态需求;更好地支持移动性,并且能够无缝地跨越多个应用环境;更好地适应任务执行过程中的不确定性因素。近年来,为了开发出具有好的用户体验的移动应用软件,动态环境中的任务分析和上下文感知任务模型在学术界和工业界得到广泛关注和应用,但依然存在大量问题需要进行深入、细致的探讨和研究,如,(1)目前的许多动态任务模型构建的心理学基础依然沿用传统桌面系统采用的“结构化认知模型”和“刺激-反应模型”,没有充分意识到在移动环境中,用户不希望在与界面元素交互过程中进行认知活动,更多的希望是一种下意识的感知行为,将他的注意力完全放在需要完成的任务上,而不是对交互工具的理解和使用上。(2)任务模型本身的可用性问题。在移动环境中,任务的执行过程会受多个条件的制约,用户自身的操作,通过设备感知到的上下文信息等;如果要全面地考虑这些因素势必会增加任务模型的复杂度和设计人员的学习难度,所以在使用任务建模方法提高交互系统可用性的同时,还需要关注任务模型自身的可用性问题。

参 考 文 献

[1] Sharp H, Rogers Y, Preece J. Interaction design: beyond human-computer interaction[J]. West Sussex, England: John Wiley & Sons, 2007

[2] Paternò F, Santoro C, Tahmassebi S. Formal Models for Cooperative Tasks: Concepts and an Application for En-Route Air-Traffic Control[C]//DSV-IS. 1998; 71-86

[3] Paternò F. Tools for Task Modelling: Where we are, Where we are headed[C]//TAMODIA. 2002; 10-17

[4] Paternò F, Santoro C, Spano L D. Improving support for visual task modelling[M]// Human-Centered Software Engineering. Springer Berlin Heidelberg, 2012; 299-306

[5] Paternò F, Santoro C. A logical framework for multi-device user interfaces[C]//Proceedings of the 4th ACM SIGCHI symposium on Engineering interactive computing systems. ACM, 2012; 45-50

[6] Limbourg Q, Vanderdonckt J, Michotte B, et al. USIXML: A User Interface Description Language Supporting Multiple Levels of Independence[C]//ICWE Workshops. 2004; 325-338

[7] Stanciulescu A, Limbourg Q, Vanderdonckt J, et al. A transformational approach for multimodal web user interfaces based on UsiXML[C]//Proceedings of the 7th International Conference on Multimodal Interfaces. ACM, 2005; 259-266

[8] Michotte B, Vanderdonckt J. GrafiXML, a multi-target user interface builder based on UsiXML[C]// Fourth International Conference on Autonomic and Autonomous Systems, 2008 (ICAS 2008). IEEE, 2008; 15-22

[9] Amershi S, Mahmud J, Nichols J, et al. LiveAction: Automating Web Task Model Generation[J]. ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems (TiiS), 2013, 3(3): 14

[10] Clerckx T, Luyten K, Coninx K. DynaMo-AID: A design process and a runtime architecture for dynamic model-based user interface development[M]//Engineering Human Computer Interaction and Interactive Systems. Springer Berlin Heidelberg, 2005; 77-95

[11] Berry D, Mullaly J. Designing for the user with OVID: bridging user interface design and software engineering[M]. Indianapolis,

IN; Macmillan Technical Pub., 1998

[12] 樊银亭, 滕东兴, 杨海燕, 等. 基于经验感知的自适应用户界面模型[J]. 计算机学报, 2011, 34(11): 2211-2223

[13] 高崇南, 余宏亮, 郑纬民. 一种自动推断复杂系统层次结构任务模型的方法[J]. 计算机学报, 2010, 33(1): 119-127

[14] 刘厚泉. 移动位置服务动态任务模型及信息交互模式研究[D]. 中国矿业大学, 2009

[15] 杨凡, 华庆一, 周杰. 移动环境下信息采集与处理的非线性任务模型[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2012, 27(5): 90-94

[16] Helander, Martin G, Landauer T K, et al. Handbook of human-computer interaction[J]. Access Online via Elsevier, 1997

[17] 孟祥武, 胡勋, 王立才, 等. 移动推荐系统及其应[J]. 软件学报 2013, 24(1): 91-108

[18] Szwillus G. Task Models in the Context of User Interface Development[M]//Model-Driven Development of Advanced User Interfaces. Springer Berlin Heidelberg, 2011; 277-302

[19] St Amant R, Riedl M O. A perception/action substrate for cognitive modeling in HCI[J]. International Journal of Human-Computer Studies, 2001, 55(1): 15-39

[20] Annett J, Duncan K. Task analysis and training in design[J]. Occupational Psychology, 1967, 14: 211-221

[21] Card, Stuart K, Moran T P, et al. The psychology of human computer interaction[M]. Routledge, 1983

[22] Johnson P, Diaper D, Long J. Tasks, skills and knowledge: task analysis for knowledge based descriptions[C]// Human-Computer Interaction-INTERACT. 1984, 84: 499-503

[23] Johnson P, Johnson H, Waddington R, et al. Task-related knowledge structures: analysis, modeling and application[C]// BCS HCI. 1988; 35-62

[24] Barnard P J. Cognitive resources and the learning of human-computer dialogs[C]//Interfacing thought: Cognitive aspects of human-computer interaction. MIT Press, 1987; 112-158

[25] Van Der Veer G C, Lenting B F, Bergevoet B A J. Gta; Groupware task analysis—modeling complexity[J]. Acta Psychologica, 1996, 91(3): 297-322

[26] Kieras D. GOMS models for task analysis[M]// The handbook of task analysis for human-computer interaction. 2003; 83-116

[27] Limbourg Q, Pribeanu C, Vanderdonckt J. Towards uniformed task models in a model-based approach[M]// Interactive Systems: Design, Specification, and Verification. Springer Berlin Heidelberg, 2001; 164-182

[28] Mizoguchi R, Vanwelkenhuysen J, Ikeda M. Task ontology for reuse of problem solving knowledge[J]. Towards Very Large Knowledge Bases; Knowledge Building & Knowledge Sharing, 1995; 46-59

[29] Van Welie M, Van Der Veer G C. Groupware task analysis[J]. Handbook of cognitive task design, 2003; 447-476

[30] Paternò F, Mancini C, Meniconi S. ConcurTaskTrees: A diagrammatic notation for specifying task models[C]// Human-Computer Interaction INTERACT'97. Springer US, 1997; 362-369

[31] Klug T, Kangasharju J. Executable task models [C]// Proceedings of the 4th international workshop on Task models and diagrams. ACM, 2005; 119-122

[32] 刘厚泉, 谭海樵, 吕琳琳, 等. 基于动态任务模型的 LBS 架构的

- 研究[J]. 小型微型计算机系统, 2009, 5(5):1013-1016
- [33] Henricksen K, Indulska J, Rakotonirainy A. Generating context management infrastructure from high-level context models[C]// 4th International Conference on Mobile Data Management (MDM)-Industrial Track. 2003
- [34] Leong L H, Kobayashi S, Koshizuka N, et al. CASIS: a context-aware speech interface system[C]// Proceedings of the 10th international conference on Intelligent user interfaces. ACM, 2005:231-238
- [35] Byung Kwon O. Modeling and generating context-aware agent-based applications with amended colored Petri nets[J]. Expert Systems with Applications, 2004, 27(4):609-621
- [36] Korpipää P, Malm E J, Salminen I, et al. Context management for end user development of context-aware applications[C]// Proceedings of the 6th international conference on Mobile data management. ACM, 2005:304-308
- [37] Ponnekanti S R, Lee B, Fox A, et al. ICrafter: A service framework for ubiquitous computing environments[C]// Ubicomp 2001; Ubiquitous Computing. Springer Berlin Heidelberg, 2001: 56-75
- [38] Berti S, Correani F, Mori G, et al. TERESA: a transformation-based environment for designing and developing multi-device interfaces[C]// CHI'04 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2004:793-794
- [39] Kolovos D S, Paige R F, Polack F A C. Model comparison: a foundation for model composition and model transformation testing[C]// Proceedings of the 2006 International Workshop on Global Integrated Model Management. ACM, 2006:13-20
- [40] Schilit B, Adams N, Want R. Context-aware computing applications[C]// First Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, 1994 (WMCSA 1994). IEEE, 1994:85-90
- [41] Salber D, Dey A K, Abowd G D. The context toolkit: aiding the development of context-enabled applications[C]// Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems; the CHI is the limit. ACM, 1999:434-441
- [42] Welbourne E, Lester J, LaMarca A, et al. Mobile context inference using low-cost sensors[M]// Location and Context-Awareness. Springer Berlin Heidelberg, 2005:254-263
- [43] Kim S, Suh E, Yoo K. A study of context inference for Web-based information systems[J]. Electronic Commerce Research and Applications, 2007, 6(2):146-158
- [44] Gruber T R. A translation approach to portable ontology specifications[J]. Knowledge acquisition, 1993, 5(2):199-220
- [45] Strang T, Linnhoff-Popien C. Service interoperability on context level in ubiquitous computing environments[C]// Intl. Conf. on Advances in Infrastructure for Electronic Business, Education, Science, Medicine, and Mobile Technologies on the Internet (SS-GRR2003w). 2003
- [46] Gundry A, McBride C, McKinna J. Type inference in context[C]// Proceedings of the third ACM SIGPLAN workshop on Mathematically structured functional programming. ACM, 2010:43-54
- [47] Clark A, Eyraud R, Habrard A. A polynomial algorithm for the inference of context free languages[M]// Grammatical Inference: Algorithms and Applications. Springer Berlin Heidelberg, 2008:29-42
- [48] 李蕊, 李仁发. 上下文感知计算及系统框架综述[J]. 计算机研究与发展, 2007, 44(2):269-276
- [49] Rice III J L. System and method of permissive data flow and application transfer; U. S. , Patent 7,424,543[P]. 2008-9-9
- [50] Chen H, Finin T, Joshi A. Semantic web in the context broker architecture[R]. Maryland Univ Baltimore Dept of Computer Science and Electrical Nginieering, 2005
- [51] Gu T, Pung H K, Zhang D Q. A service-oriented middleware for building context-aware services[J]. Journal of Network and computer applications, 2005, 28(1):1-18
- [52] Song Z, Masuoka R, Agre J, et al. Task computing for ubiquitous multimedia services[C]// Proceedings of the 3rd international conference on Mobile and ubiquitous multimedia. ACM, 2004:257-262
- [53] Korpipaa P, Mantyjarvi J, Kela J, et al. Managing context information in mobile devices[J]. Pervasive Computing, IEEE, 2003, 2(3):42-51
- [54] Khedr M, Karmouch A. ACAI: agent-based context-aware infrastructure for spontaneous applications[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2005, 28(1):19-44
- [55] de Rocha R C A, Endler M. Middleware: Context management in heterogeneous, evolving ubiquitous environments[J]. Distributed Systems Online, IEEE, 2006, 7(4):1-1
- [56] Wooldridge M, Jennings N R, Kinny D. The Gaia methodology for agent-oriented analysis and design[J]. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 2000, 3(3):285-312
- [57] Banavar G, Kaplan M, Shaw K, et al. Information flow based event distribution middleware[C]// Proceedings 19th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshops on Electronic Commerce and Web-based Applications/Middleware. IEEE, 1999:114-121
- [58] Abhishek S, Conway M. Survey of Context aware Frameworks-Analysis and Criticism[J]. North Carolina Raleigh; Information Technology Services, University of NorthCarolina of Chapel Hill, 2006
- [59] Soley R. Model driven architecture[J]. OMG white paper, 2000, 308:308
- [60] Calvary G, Coutaz J, Thevenin D, et al. A unifying reference framework for multi-target user interfaces[J]. Interacting with Computers, 2003, 15(3):289-308
- [61] Limbourg Q, Vanderdonck J, Michotte B, et al. USIXML: A language supporting multi-path development of user interfaces [M]// Engineering human computer interaction and interactive systems. Springer Berlin Heidelberg, 2005:200-220
- [62] Paterno F, Santoro C, Spano L D. MARIA: A universal, declarative, multiple abstraction-level language for service-oriented applications in ubiquitous environments [J]. ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI), 2009, 16(4):19
- [63] Humayoun S R, Catarci T, Dubinsky Y. A dynamic framework for multi-view task modeling[C]// Proceedings of the 9th ACM SIGCHI Italian Chapter International Conference on Computer-Human Interaction; Facing Complexity. ACM, 2011:185-190