

笔式用户界面交互信息模型研究*

李杰⁺, 田丰, 戴国忠

(中国科学院 软件研究所 人机交互技术与智能信息处理实验室, 北京 100080)

Research on Pen-Based Interaction Information Model

LI Jie⁺, TIAN Feng, DAI Guo-Zhong

(Laboratory of Human-Computer Interaction and Intelligent Information Processing, Institute of Software, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

+ Corresponding author: Phn: +86-10-62561624 ext 8026, E-mail: lijie@iel.iscas.ac.cn, <http://iel.iscas.ac.cn>

Received 2003-11-01; Accepted 2004-03-29

Li J, Tian F, Dai GZ. Research on pen-based interaction information model. *Journal of Software*, 2005,16(1): 50-57. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/16/50.htm>

Abstract: Pen-Based user interface (Pen UI) is a primary style in Post-WIMP world. Two kinds of participants including the HCI designers and the user designers are involved in the development cycle of Pen UI. It is crucial to catch user's intention and accomplish the linkage between presentation and control of interaction information. According to the two dimensions, OICM (orthogonal interaction information architecture coordinate model) is developed. This model is described from four quadrants including problem domain knowledge, task information, rule collection, and context linkage. The main ideas and features of OICM are declared in detail, especially the implementation method based on XML technique. Eventually, a component-oriented UI platform built on this model and some relevant systems are introduced.

Key words: pen-based UI; pen-based interaction information; OICM (orthogonal interaction information architecture coordinate model); user designer; context linkage; XML

摘要: 笔式用户界面是 Post-WIMP 界面的重要形态,在许多领域得到广泛应用.笔式界面设计需要设计者和用户的共同参与.捕获用户使用意图是设计笔式用户界面的前提,连接交互信息的表示与控制则是成功构造界面的关键.依据笔式交互信息连续性及模糊性特征,从设计参与者与交互信息管理两个维度建立了笔式用户界面交互信息模型 OICM(orthogonal interaction information architecture coordinate model).从问题知识域、交互任务、规则集合以及上下文关联 4 个不同的象限对模型进行了详细的描述,并给出了基于 XML 的实现方法.在对模型进行分析后,介绍了基于 OICM 模型的开发平台和应用系统实例.

关键词: 笔式用户界面;笔式交互信息;OICM(orthogonal interaction information architecture coordinate model);用户设计者;上下文关联;XML

* Supported by the National Grand Fundamental Research 973 Program of China under Grant No.2002CB312103 (国家重点基础研究发展规划(973))

作者简介: 李杰(1977—),男,湖北荆门人,博士生,主要研究领域为人机交互技术,笔式计算;田丰(1976—),男,博士,主要研究领域为人机交互技术,虚拟现实;戴国忠(1944—),男,研究员,博士生导师,主要研究领域为人机交互技术,计算机图形学.

中图法分类号: TP391 文献标识码: A

基于纸笔隐喻(pen-paper metaphor)的笔式用户界面(pen-based user interface)是 Post-WIMP 的重要形态,在许多领域得到广泛的应用^[1],笔式用户界面的设计与开发也成为了 HCI 领域的研究热点.在以用户为中心的界面设计中,用户参与式设计^[2]逐渐被 HCI 工作者认可.这使得“迭代式开发(iterative development)”成为了笔式界面设计的主流方法.迭代式开发强调在设计的过程中发现问题,而后通过新的设计解决问题^[2],如此迭代反复.为了增强对系统的理解,迭代式开发要求将用户纳入到设计团队之中.

迭代式开发方法普遍存在着两个悬而未决的问题.首先是如何区分设计团队中的两类参与者:“用户设计者”与“HCI 设计者”.所谓“用户设计者”即是以用户的角色参与系统设计的设计人员.这两种角色通常会以不同的眼光审视整个交互信息的模型结构.前者强调将使用意图贯彻到界面设计的始终,甚至忽略系统实现.而 HCI 设计者兼顾系统构架与实现,侧重考虑每个模块和流程所要达到的目标.第 2 个问题是如何对交互信息进行管理.从信息本质来说,交互信息管理包括信息表示和信息控制两个方面,分别表明了界面系统中交互信息的存在及应用,实现这两者之间的连接是成功构造笔式用户界面的关键因素.上述这两个问题为笔式用户界面研究提供了两个正交的维度:设计参与者维度和交互信息管理维度.

笔式用户界面的组成往往比传统用户界面更为复杂,需要良好的界面模型来指导界面软件的制作.从不同的角度分析,往往能够获得不同的用户界面模型,例如认知模型、信息模型以及交互控制模型等.本文从交互信息的角度出发,根据参与者角色划分以及交互信息管理这两个维度建立了一个笔式用户界面交互信息模型 OICM(orthogonal interaction information architecture coordinate model for pen-based user interface).OICM 能够为笔式用户界面的开发提供一个模型基础.下面将分别讨论模型的结构、基于 XML 的模型表示方法、模型分析以及基于此模型的笔式界面平台和相关应用.

1 相关工作

当前有很多系统与工作致力于笔式用户界面交互信息模型的研究,JOT^[3]针对笔迹存储给出了一个 ink 描述的规范,并针对 ink 操作与平台间交互提出了通用的标准.Li^[4]提出了一种基于域模型参与管理 ink 数据信息和应用语义处理的方法.瑞典 Anoto 公司在数字笔的研究中也提出了关于笔交互信息的管理方法^[5].然而这其中大部分的系统都面向一个特定的应用需求,或者仅仅着眼于笔交互信息数据的管理,无法针对交互信息结构建立一个完备的模型.当前并不存在一个完备描述笔交互信息的框架.首先,缺乏管理笔式交互信息的标准.笔式交互信息本身具有丰富的表达能力,但目前对它缺乏一个完备的定义和规范.其次,对于笔交互的动态抽象特征,缺乏统一的描述方式.最后,应用语义支持相对比较落后,在笔交互信息与交互控制之间缺乏一根联系的纽带.同时,从笔交互模型到笔交互系统体系结构之间的映射也需要一个描述.

2 OICM 模型结构

OICM 结构类似于一个正交坐标系 XoY .如图 1 所示,两个坐标轴依照上述两个维度将其划分为 4 个象限,分别为知识域、任务模型、规则集合和上下文关联.知识域定义了笔式用户界面中的原数据信息,任务模型描述了笔式界面的交互任务,规则集合定义了一系列交互规则.这 3 个象限构成了 OICM 的主体框架,知识域是交互信息的基础来源,任务模型与规则集合是交互信息的目标体现.类似地,HCI 设计者着重刻画交互信息的构造组合,而用户设计者关注如何获得信息反馈并对其进行控制.与 HCI 设计者对比,用户设计者的意图具有不同于系统目标的非线性特征.而第 4 象限的上下文关联正是通过建立二者的映射关系,提供对开发的支持.

如同其名称所体现的,OICM 显示出了正交的特点.从交互信息管理的维度, X 轴将整个交互信息的描述分成交互信息表示 IIP(interaction information presentation)以及交互信息控制 IIC(interaction information control)两个部分.IIP 包括一、二象限,给出了交互信息的表示方法,IIC 包括三、四象限,给出了利用交互信息的方式.从设计参与者维度,类似 Rolland^[6]对用户需求的划分方法,界面系统被划分为使用世界 UW(usage world)与主体

世界 SW(subject world)^[7].UW 对应二、三象限,包括使用的目标以及意图.SW 对应一、四象限,包括界面中各个问题域以及与使用相关的上下文关联.HCI 设计者关注信息所在的问题域以及交互信息使用的上下文关联,而用户设计者则更重视自身的交互意图及在靠近交互意图的过程中遵循的交互逻辑.图 1 中的箭头代表了依赖关系,规则集合为知识域和任务模型提供支持,交互任务的完成依赖于对知识域信息的使用,而交互任务通常由交互规则和系统上下文结合起来确定.

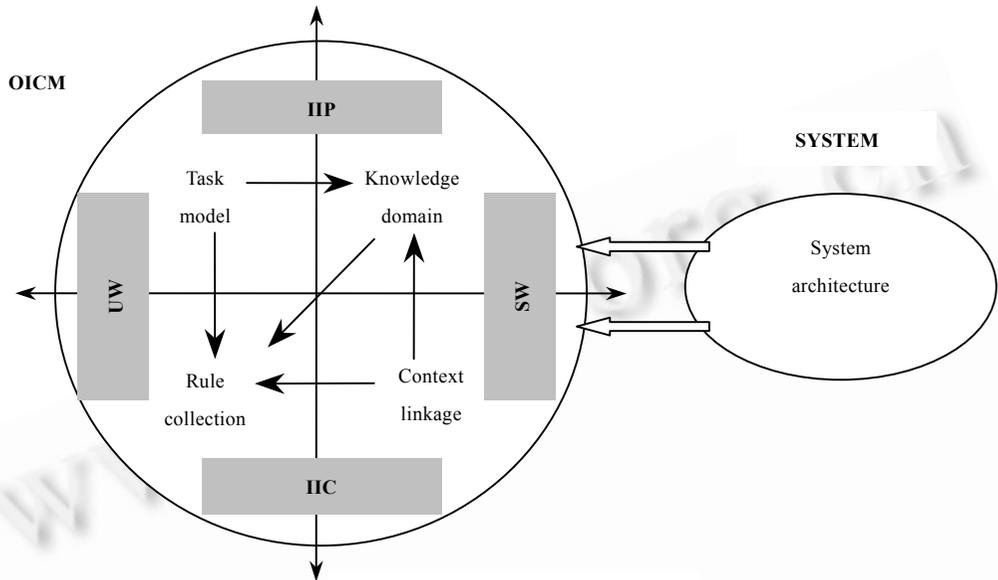


Fig.1 The framework of OICM

图 1 OICM 框架结构

2.1 知识域(knowledge domain)

知识域定义了笔式用户界面的原信息,例如文字、图形、图像、自由勾画以及手势等对象.从信息表示的角度看,知识域描述了交互信息的静态部分.知识域模型可以定义为一个五元组:

$$\langle \text{class, area, behavior, style, ink} \rangle.$$

class 表示根据所属问题域确定的对象类型.area 类似纸中的“片”,表示界面上的可视区域,确定了域内元素的坐标系.behavior 描述了域中的行为,实现了特定动作在交互上下文中的解释.style 描述了域外观风格.ink 则是域中笔交互信息的元数据描述,实现了域内交互信息的数据管理.

由于应用领域的多样性,知识域信息按照所属问题域(problem domain)进行划分.按照所属问题域的不同,知识域可以划分为若干子域,并允许嵌套与递归.这样形成了一个可分层、结构化的信息体系结构(information architecture),实现基于树状结构的数据管理,这有助于同领域知识的共享.

2.2 任务模型(task model)

在人机交互中,任务(task)通常是达到某个目标而执行的一个动作.OICM 用任务模型来刻画笔式用户界面中被执行的任务信息.任务模型中包含了用户设计者所关注的交互意图或目标,同时也是交互信息表示中动态部分的体现.参照笔式界面所基于的纸笔隐喻,任务模型可以用一个五元组来描述:

$$\langle \text{interface, action, object, feedback, intention} \rangle.$$

interface 是交互界面,相当于纸笔隐喻中的纸面或者纸面中的一个区域,这个区域未必是明显或具有规则外观的.action 表示交互动作,如手势等.object 是指交互对象,包括界面中的交互内容(content)或交互组件(widget).feedback 表示任务反馈,它是交互过程中用户最关心的内容.intention 表示用户交互意图,可以理解为一系列交互完成后所达到的最终状态,一般通过连续的勾画表现出来.

2.3 规则集合(rule collection)

交互规则体现了界面系统对所有交互信息的控制,为知识域和任务模型提供支持.从使用的角度,用户设计者利用任务模型和规则集合共同刻画笔式界面系统的使用部分.笔交互信息作用的对象可以划分为3类.(1) 纸(paper),通常代指整个交互界面;(2) 区域(region),可以是规则或非规则的操作区域;(3) 实体(entity),区域中的内容.3类对象在空间上是包含关系.图2描述了笔交互信息从截取到加工的处理过程.

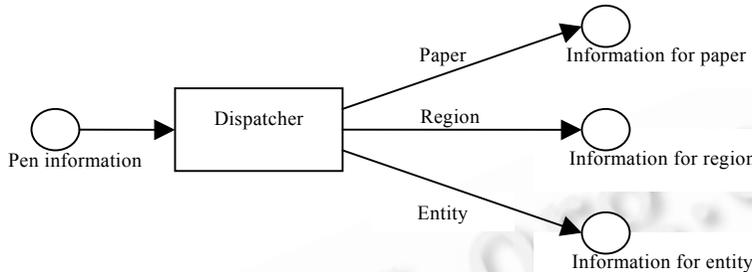


Fig.2 The process of interaction information dispatching

图2 交互信息分发过程

研究表明,笔式交互信息具有连续性与模糊性的特点^[8].连续性体现在交互信息处理上,模糊性体现在交互信息的理解上.笔式交互信息理解一般遵循从“普通白纸”到“完全理解”的规律,即从模糊到精确的过程.基于这样两个特征,本文用如下一个有限的状态转换图来描述规则集合.交互信息的分发由系统运行时参与交互的对象类型来决定.图3给出了笔式用户界面的几个基本状态.状态转换是有限且确定的,后续状态随着交互信息输入的改变而变化,在该状态图中,各种状态转换可以自由增减,建模时可以视具体应用类型而定.

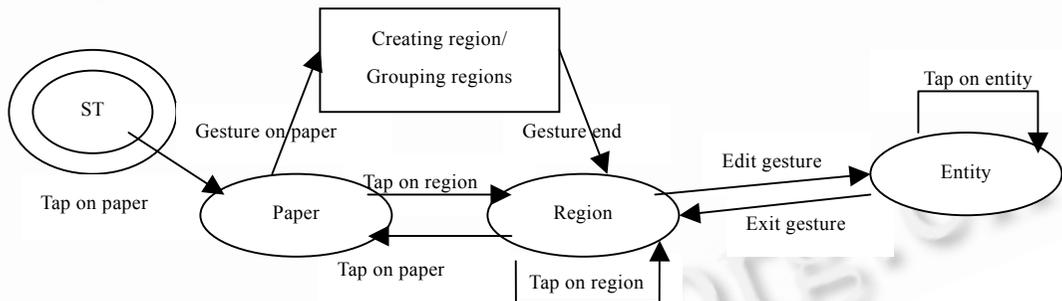


Fig.3 The description of interaction information of Pen UI

图3 笔式界面的交互信息描述

2.4 上下文关联(context linkage)

知识域、任务模型及规则集合形成了 OICM 的主体框架.用户设计者关心界面的内容和最终交互目的,其意图体现在交互任务与交互规则上.HCI 设计者则依据问题域的对象知识设计交互语义,其意图体现在知识的领域特征及其相关操作上.两类设计者固有的不同导致 UW 与 SW 之间的转化并非线性的,因此很难将用户头脑中存在的概念对象直接映射到对应的知识域中去.如何实现这种映射正是笔式用户界面设计要解决的主要问题.类似地,针对交互信息的管理,表示与控制之间应该具备一条联系的纽带,为交互信息从表示到使用提供必要的语义支持.用户通过它学习基于过程的交互任务及规则.

上下文关联(context linkage)通过扮演两个角色来完成这样的映射与连接.(1) 记录并跟踪与交互任务、交互规则相关的知识域实体;(2) 鉴别知识域实体上的交互操作.在模型中,采用叙述性(declarative)的方式说明上下文关联,将 OICM 视为两个空间^[7],每个空间具有3个维度,在模型之间一一对应.图4描述了这样的转换与映射.上下文关联把面向使用的交互任务与交互规则映射为面向主体的语义操作集合.利用上下文关联,将使用与主体特征及操作非线性地联系起来,使得交互界面形态与人机对话达成和谐统一.解决了 UW 中交互任务、交

互规则与 SW 中知识域信息互相转化与映射的问题,为交互信息的表示与控制提供了应用语义的支持.

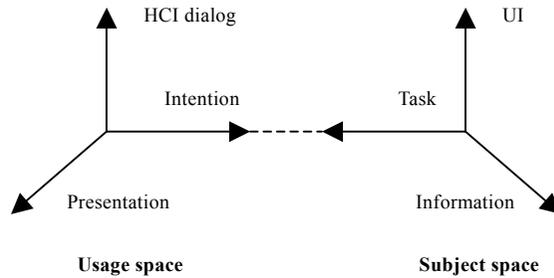


Fig.4 The description of context linkage

图 4 上下文关联描述

3 模型表示

OICM 的表示方法可以是多样的,选择使用 XML 进行表示主要是考虑到它强大的数据描述能力.为了更清楚地确定模型表示的数据含义,整个设计过程分为两个阶段:文档建模和文档设计.如图 5 所示,OICM 到 XML 的映射与具体设计技术分别是独立的,文档模型侧重于 OICM 本身,确定文档中信息的含义;文档设计侧重于设计技术,确立整个文档的模式(schema).下面分别讨论这两个阶段的工作.

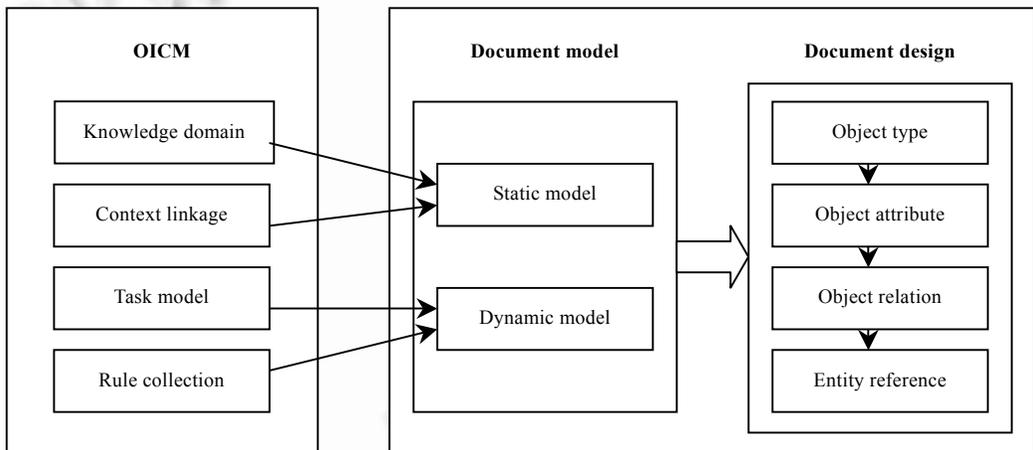


Fig.5 The representation of OICM

图 5 OICM 的表示过程

3.1 文档建模

文档模型的作用是理解 XML 文档的信息结构和含义.根据 OICM 的结构,可以将文档模型划分为静态模型与动态模型两部分.静态模型侧重于信息状态的表达,用于表示知识域及上下文关联.按照知识域的分类方式,可以为各类原信息定义充要的描述元素.首先标识事物并分类,将各类事物组织为具有层次的类对象.而后通过添加特性填充类对象.整个建模过程是按照面向对象的思想完成的.

动态模型侧重于描述对信息的处理,用于表示任务模型及规则集合,这里采用数据流模型与用例(use case)两种技术来实现.数据流模型包含数据存储、处理器和数据流 3 个部分.其中数据存储规定了信息的保留方式,处理器反映了数据的操作,数据流则负责数据的传递.数据流模型可以很方便地描述任务模型.用例分析了特定任务是如何完成的,最常见的是采用用户/系统对话框来集中说明交互信息,从而分层次地描述规则集合.需要强调的是,数据流模型与用例只说明交互信息,而并不解释对话框的显示.这使得 XML 文档的信息内容自然而

然地独立于表示细节。

3.2 文档设计

OICM 表示的最终形态为 XML 文档。文档设计的主要作用是将文档模型转换为一组规则,确立文档模式。文档设计共分 4 个步骤进行,包括对象类型表示、属性表示、关系表示和实体引用,以便创建文档。

首先应将文档模型中的对象类型转换为 XML 中的元素类型,包括命名元素和对象分层两方面内容。对象类型是类层次的一部分,通过类层次,可以确定从哪一层开始建立 XML 元素。随后的属性表示主要包括属性命名与属性值编码两个方面。表示关系要结合 XML 的具体实现技术,元素间所有的关系大体上可分为 3 类:嵌套、并列、链接,分别对应于父子关系、兄弟关系以及其他离散关系。

XML 实体也是文档设计的重要环节。它不仅仅是物理文档的一部分,逻辑上也具备很强的用途,尤其是对于表示上下文引用有很好的作用。结合信息所有者与信息生存周期考虑,外部实体能够独立于文档的其余内容而独立更新,这种控制能力比由共享公共内容而产生的空间节省更加重要。

4 模型分析

在 OICM 的 4 个象限中,知识域、任务模型与规则集合之间具备偏序依赖关系。这种面向不同对象分离且偏序依赖的建模方式为系统设计与实现提供了便利,并且有效地防止了知识域内的交互信息泄露到 UI 界面中去^[7]。上下文关联依赖知识域与规则集合,提供对任务模型的支持,增强了意图提取与界面智能化的能力。

OICM 符合笔式用户界面的交互特征。首先是模糊性特征。非精确交互是笔式界面最直观和突出的特征^[4],OICM 采用面向用户与面向设计的方式划分模型结构,利用上下文关联建立使用世界 UW 与主体世界 SW 之间的联系,将来自使用意图的模糊交互转化为系统可以处理的精确状态变换,从而为开发者提供了软件体系结构上的依据。其次是连续性特征。知识域将问题域细化为各个子域,连续与离散的交互信息由分层次的信息问题域分别描述,避免了传统的将交互过程描述为一个一个 token 的组成方式^[9]。系统可以很好地区分和处理两类交互信息,并为用户提供透明的反馈。为满足笔式用户界面的实时要求,OICM 利用任务模型定义交互任务,多个动作可以在不同上下文中并行。最后是对多通道交互的支持。OICM 中任务模型与规则集合分离,且任务模型依赖于规则集合,正是为了给用户输入提供更大可能的扩展性。上下文关联依赖于规则集合,所有交互动作对规则是透明的。任务模型并没有限制源事件的类型,为多通道的输入及输出提供了透明的接口。交互信息表示与控制的分离也有助于不同通道交互信息的整合与利用。

OICM 对于笔式用户界面开发也提供了多方面的支持。笔式用户界面开发方法的研究体现在界面模型、交互设计和界面制作上。设计人员基于界面模型,以交互设计方法为指导,使用界面软件工具进行制作,而最终体现的是界面交互风格。OICM 的 4 个部分对于交互信息管理、以用户为中心的交互设计、交互控制以及面向构件的开发等方面都提供了支持。

5 开发平台与应用系统

基于 OICM 开发了面向构件的笔式用户界面平台 PenUI Platform^[10]。平台处理了大量的笔交互信息,既包括手写字、勾画、图形等表示内容的笔迹信息,也包括手势、点击等表示命令的信息。图 6 显示了一些基本的交互信息。在这个平台基础之上,HCI 设计者与用户设计者利用迭代式的开发方式,共同设计、评估及检测,可以比较方便、快捷地创建整套笔式用户界面。

在应用实例的开发中,OICM 模型可以帮助设计者准确地定位用户需求。模型是在迭代式开发的背景下提出的,以用户为中心是模型建立的基本思想。模型中利用上下文联接实现使用意图到相关问题域的映射,用户设计者无须考虑具体的技术实现,鼓励了以使用为导向定位用户需求。另一方面,OICM 模型也帮助开发者省去了大量从底层开发的编码工作。对应 OICM 模型结构的一、二象限,Pen UI Platform 将基础交互单元封装为基于交互信息表示(IIP)的构件(component),可供开发者直接调用。

基于 XML 的表示方法也有助于笔式用户界面的开发。首先,模型表达尽可能使用通用的方式,例如,数学公

式使用 MathML^[11]标准,而勾画笔迹则借鉴 InkML^[12]规范.其次,保持 XML 文档与 OICM 的结构一致性,利用实体引用保持物理文档的独立性与重用性.这样既促进了开发效率,又减少了构件描述的耦合错误.



Fig.6 Interaction information of Pen UI Platform

图 6 Pen UI Platform 的交互信息

许多笔式用户界面系统在 OICM 基础之上完成.Pen Office^[10]是一个面向教学领域的基于笔的备课工具,利用 Pen Office,教师可以使用笔自由地制作包括文字、白板、图像、图形、表格在内的多种形式的教学素材,系统提供随堂演讲时的实时交互功能,方便师生之间更生动灵活的互动.Creative Pen^[13]是一个面向儿童的绘图系统,并且支持多线程以及多通道交互,儿童可以使用笔并结合语音简单、快速地绘制三维动物实体.

6 总 结

对于笔式用户界面而言,如何捕获用户使用意图是设计界面的前提,实现交互信息管理和控制之间的连接则是成功构造界面的关键.按照以用户为中心的思想,本文从两个维度建立了笔式用户界面交互信息模型 OICM.文章还给出了基于 XML 的模型表示方法.笔式界面开发平台 Pen UI Platform 是在 OICM 基础上开发的,使用该平台可以帮助设计者定位用户需求,也能够提高开发效率,本文以实例说明了这些优点.

在未来的工作中,我们将对 OICM 模型各部分给出更全面、更详尽的描述和定义.对于上下文关联,要完善其叙述性描述,提出更多指导具体设计实现的方法.此外,对多通道交互如何提供更强的支持以及实现途径也是需要思考的问题.

致谢 作者所在的 Pen UI Group 众多研究人员,包括秦严严、王晓春、敖翔等人对本文的验证做了大量工作,并提出了很多有益的建议,在此一并表示感谢.

References:

- [1] Abowd GD, Mynatt ED. Charting past, present, and future research in ubiquitous computing. *ACM Trans. on Computer-Human Interaction*, 2000,7(1):29-58.
- [2] Carroll JM. Human-Computer interaction: Psychology as a science of design. *Int'l Journal of Human-Computer Studies*, 1997,46(4): 501-522.
- [3] Slate Corporation Scottsdale, AZ. JOT: A specification for an ink storage and interchange format. Version 1.0. 1993. <http://hwr.nici.kun.nl/unipen/jot.html>
- [4] Li Y. Research on pen_based user interfaces, theory, technique and implementation [Ph.D. Thesis]. Beijing: Institute of Software, The Chinese Academy of Sciences, 2002. 49-56 (in Chinese with English abstract).
- [5] Anoto Co.ltd. 2003. <http://www.anotofunctionality.com/navigate.asp>
- [6] Rolland C, Prakash N. From conceptual modelling to requirements engineering. *Annals of Software Engineering*, 2000,10(2): 151-176.

- [7] Hua QY, Wang H, Muscogiuri C, Niederée C, Hemmje M. A UCD method for modeling software architecture. In: Dai G, ed. Proc. of the APCHI 2002. Beijing: Science Press, 2000. 729–743.
- [8] Oviatt S, Cohen P, Wu LZ, Vergo J, Duncan L, Suhm B, Bers J, Holzman T, Winogard T, Landay J, Larson J, Ferro D. Designing the user interface for multimodal speech and pen-based gesture applications: State-of-the-Art systems and future research directions. In: Sinha AK, Landay JA, eds. Proc. of the 5th Int'l Conf. on Multi-Modal Interfaces Human-Computer Interactions. New York: ACM Press, 2003. 263–322.
- [9] Nelson L, Ichimura S, Pedersen ER, Adams L. Palette: A paper interface for giving presentations. In: Altom M, Ehrlich K, Newman W, eds. Proc. of the ACM Conf. on Human Factors in Computing Systems. New York: ACM Press, 1999. 354–362.
- [10] Dai GZ, Tian F, Li J, Qin YY, Ao X, Wang WX. Researches on pen-based user interfaces. In: Stephanidis C, ed. Proc. of the HCI Int'l 2003. Greek: Lawrence Erlbaum Associates, 2003. 54–60.
- [11] Math Working Group (MWG). W3C. Mathematical Markup Language (MathML™) 1.01 Specification. W3C Recommendation, Revision of 7, 1999. <http://www.w3.org/tr/Rec-MathML/>
- [12] Multimodal Interaction Working Group (MMIWG). W3C. Ink Markup Language (InkML™). W3C Working Draft 6, 2003. <http://www.w3.org/tr/InkML/>
- [13] Li J, Tian F, Wang WX, Dai GZ. A multimodal interaction system for children. Journal of Software, 2002,13(9):1846–1850 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/13/1846.pdf>

附中文参考文献:

- [13] 李杰,田丰,王维信,戴国忠.面向儿童的多通道交互系统.软件学报,2002,13(9):1846–1850. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/13/1846.pdf>

2005 年软件过程技术国际研讨会

征文通知

2005 年软件过程技术国际研讨会将于 2005 年 5 月 24 日~26 日在北京召开。会议主题是统一软件过程宏观与微观研究体系。研讨会内容包括:世界最顶尖软件过程研究者与使用者的特邀报告;针对软件过程挑战与解决方法的论文报告;工具演示;关于软件过程研究方向的专题讨论会。这次研讨会将提供一个论坛,系统展示当今软件过程研究成果,共同洞察软件过程未来方向,朝着统一软件过程宏观与微观研究体系的目标迈进。会议论文计划收录在 Springer-Verlag 出版的 Lecture Notes in Computer Science 中。

一. 征文范围

有关软件过程的经验、描述和方法等各相关研究领域的论文。例如,过程内容(文档驱动的、变化驱动的、体系结构驱动的、风险驱动的、涉众驱动的, …),过程表示与分析,过程工具和度量,过程中的人为因素,等。

二. 征文要求

论文需用英文书写,长度为 10 页或 10 页以内,格式为 PDF, LaTeX 或 MS Word。建议通过 E-mail 投寄电子版论文。

三. 重要日期

征文截止日期:2005 年 1 月 17 日

录用通知日期:2005 年 3 月 21 日

提交正式论文截止日期:2005 年 4 月 25 日

四. 联系方式

100080 北京中关村南四街 4 号 中国科学院软件研究所 2005 年软件过程技术国际研讨会组织委员会

E-mail: spw2005@iscas.ac.cn

<http://www.cnsqa.com/~spw2005>; <http://www.iscas.ac.cn/~spw2005>