

基于知觉控制的用户界面设计研究

蔚 娣 华庆一 王小文 李 珍 李 倩

(西北大学信息科学与技术学院计算机科学系, 西安 710127) (中国科学院计算机科学国家重点实验室, 北京 100190)

摘 要 随着普适计算环境的迅猛发展,越来越多的普通大众需要自己来完成过去必须由业务人员代理才能完成的任务。这使得传统面向业务的交互设计技术不再满足大众对普适计算的可用性需求。提出一种基于知觉控制的用户界面设计技术,旨在给普通大众提供一种易于学习、理解、操作的用户界面。该用户界面设计技术采用基于知觉控制的任务分析以及“参与式设计”的方法,使得用户能够在意图层次,而非业务层次,进行交互,以满足普适环境下可用性设计的需求。

关键词 知觉控制 任务分析 参与式设计 普适可用性

中图法分类号: TP301.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-8961(2010)07-1001-06

Research on Perceptual-control-based Design for User Interface

YU Di, HUA Qingyi, WANG Xiaowen, LI Zhen, LI Qian

(School of Information Science, Northwest University, Xi'an 710127)

(The State Key Laboratory of Computer Science, Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190)

Abstract With the soaring development of pervasive computing environment, an increasing number of folks need to conduct tasks that used to be completed with the help of business agents in the past. This makes traditional interactive design techniques of business orientation difficult to meet the common users' usability requirements for the environment. In this paper, we present a design technique for user interfaces based on the perceptual control theory. It enables to provide usable user interfaces, which are easy to learn, to understand and to manipulate for the common users. For the purpose of satisfying the usability requirements in the pervasive computing environment, this design technique introduces a technique of task analysis in accordance with perceptual control theory and a process of participatory design, to help the users making interaction at the task level instead of at the business level.

Keywords perceptual control theory, task analysis, participatory design, usability

0 引 言

传统的用户界面风格(如直接操作式用户界面)是为满足办公人员的需求产生的,旨在满足用户办公有效、高效的需求,为用户提供了办公应用的可用性,即传统可用性^[1]。这样的界面风格存在两方面的特征:其一是用户须在原子层次(即业务层次)上进行操作^[2],即用户操作的是与任务相关的

业务领域属性,要求用户必须掌握相应的领域知识,并理解操作的形式和顺序,这使得缺乏这些应用领域概念和业务经验的普通用户难于学习、理解和操作;其二是,这种界面设计强调办公的有效性和高效性,假定界面上呈现的业务信息和操作都是用户能够理解的。基于该假定,设计人员主要关注的是使用什么样的交互技术可以实现所需要的用户界面,为业务人员提供有效高效的支持,即传统的可用性。

然而,随着普适计算环境的迅猛发展,今天使用

基金项目:中国科学院计算机科学国家重点实验室开放基金项目(SYSKF0704);国家高技术研究发展计划(863)项目(2006AA01Z328);国家自然科学基金项目(60873095)

收稿日期:2010-03-19;**改回日期:**2010-05-05

第一作者简介:蔚 娣(1984—),女。西北大学软件与理论专业硕士研究生。主要研究方向为人机交互、软件工程。E-mail: yudi8521@gmail.com

计算机的群体不再局限于办公室人员,同时用户使用计算机想要完成的任务也不再局限于办公。日常生活中普通大众使用计算机自己完成业务的机会日益增加,如通过网上银行进行理财,通过网上订票系统预订机票、应用移动手持设备进行移动通信等,这些任务过去通常只能通过特定的内部业务人员代理来完成。然而,由于普通大众并不熟悉相应的业务领域知识,导致许多用户界面所提供的服务内容和操作流程不能被理解,使其难以使用。我们认为当前的用户界面设计应该首先关注的是普适可用性,即用户界面应易于学习、易于理解、易于操作,使得用户与计算机交互时只需告诉计算机做什么,即 WHAT 层次,而非告诉计算机应该怎么做,即 HOW 层次。其次才是任务执行的有效性和高效性。

为此目的,提出基于知觉控制的用户界面设计。从心理学的角度,知觉控制理论认为所有行为都是知觉控制^[3],强调的是设计者应考虑用户想要看到及控制的信息,而非首先考虑用户需执行什么动作。基于知觉控制的用户界面设计正是按照用户的意图划分任务,即在用户任务建模过程中按照基于知觉控制的任务分析理论,导出用户意图层次上的概念,得到意图用例,使得用户能够在意图层次而非原子层次上对系统进行控制。按照这样的方法得到的用户界面充分利用了用户的决策能力,满足用户的控制欲望,可以让用户完成特定的任务,同时也充分利用了计算机的精确计算能力,实现用户和计算机的共享控制,提高用户界面的可用性。本文重点探索的是在用户任务分析方面采用新的理论,同时使用许多已有技术,如参与式设计等。

1 相关工作

人机交互在其发展过程中利用了心理学上的相关模型。心理学上认为个体与外界环境交互有 3 种模型,分别是“认知”模型,“刺激—反应”模型及“知觉控制”模型^[4]。

今天仍然广泛应用于界面设计中的 GOMS (Goals, Operators, Methods and Selection rules) 模型^[5],采用的便是“认知”模型。“认知”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,即对外部世界进行精确建模。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。GOMS 模型是

以系统为中心的,以计算的术语和概念来表示人类的认知过程和交互^[6],需要指定可能的动作序列,同时也需指定用户需要知道的知识,如问题求解方法,以及需指定具体执行的技术细节。此时用户必须清楚地知道该问题的领域模型,即用户需在原子层次上进行操作,但这对于普通大众来说理解是很困难的。

人机交互中用于描述用户与系统之间如何交互的用例驱动建模方法^[7],采用了“刺激—反应”模型。“刺激—反应”模型,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。因此此模型没有对目标进行建模,即不能表示与目标相关的信息。此模型虽然建模了刺激,但是并没有对外部环境进行建模,因此当外界环境变化时,相同的刺激仍给出相同的反应。用例驱动建模方法造就了一个工程化的用户界面,决定了它所适应的是那些具有领域知识的内部用户^[6]。但是随着普适环境的发展,当前计算机的用户不在局限于那些具有领域知识的专业人员。同时用例驱动设计本质上仍然是面向系统的^[8-9],而非是以用户为中心进行设计的。

知觉控制论认为人在处理事情过程中使用的是“知觉控制”模型,其认为所有行为都是知觉控制。Powers 等人将“知觉控制”这一心理学概念引入到了人机交互这一领域中^[10]。他们通过分析比较上述 3 种心理学模型,指出“知觉控制”模型在处理计算环境不确定的问题中有极强的表现。因此此模型不仅对外部模型进行了建模,同时对与目标相关的内部进行了部分建模。通过对外部环境的建模,使得系统能够根据环境的变化调整其行为,同时通过对内部模型的部分建模,使得系统能够依据历史状态来调整其行为,这样操作的结果经过不断地迭代将更加接近用户的目标。“知觉控制”模型目前虽在工业控制及计算系统中有了广泛的应用^[11-12],但其均是从心理学角度进行了相应的分析,并没有提出相应的方法和技术,因而设计人员无法将此模型直接应用于用户界面的设计上。本文正是利用该模型来进行基于知觉控制的用户界面设计,通过基于知觉控制的任务分析捕捉用户想要看到和控制的信息,而传统的任务分析是把用户看作是输入输出设备,在于描述用户与任务相关的输入、输出和相关规则。

2 普适可用性与知觉控制原理

“一个可用的用户界面应当对用户的问题求解

过程提供有用概念的表示和操作,以使用户毋须分心于那些不必要的用户界面设计细节^[13]”。

为此本文所提及的普适可用性,不同于强调有效高效的办公应用可用性。今天普适计算环境下,很多使用计算机的用户不再局限于办公人员,这就使得我们在关注传统有效高效可用性的同时,更加注重的是可学习性、可理解性、可操作性。因此我们所认为的普适可用性包含以下两个主要特征:首先,用户界面呈现与用户意图相关的心理学属性,而非用户不熟悉的领域变量中的物理属性。此时就要求用户界面不但要给用户正确的“观与感”层次上的传统可用性,即语法层次,还要注重界面元素所表达的语义;其次,用户与系统共享控制——允许用户在意图层次对系统进行控制,而低级层次的领域变量则由系统控制,即把只使用感知决策知识的控制任务交给用户,而将枯燥、重复性的具体计算或者用户由于缺少领域知识不能完成的工作委托给系统来完成,这样使得用户很容易将其任务转化为相应的操作。由此可知普适可用性要求用户与系统交互时只需告知计算机做什么,而非传统上需要告知计算机怎么做。满足普适可用性的用户界面给用户提供更的可学习性、可理解性、可操作性、有助于解决用户任务目标与系统呈现信息不一致的问题,提高用户界面可用性。

知觉控制原理的核心是控制,其认为个体满足系统的参考状态并维持此参考状态。知觉控制过程是个体通过主动控制自身和环境的状态,使得外部环境对系统的干扰降到最低来实现的。知觉控制过程模型如图1所示,首先由用户的意图产生一个参考值信号传递到比较器,比较器通过比较参考信号和感应器传来的实际输出变量,得出一个比较结果(即差值)。然后将此结果通知给控制器,控制器通过对控制对象执行控制操作改变系统状态,通过不断迭代计算,使差值减小直到消失。同时控制对象

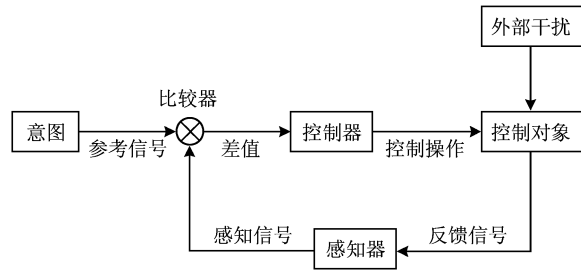


图1 知觉控制过程模型

Fig. 1 The model of perceptual control process

可能会受到外部环境的干扰。感应器是知觉控制过程的关键单元,它会时时感知控制对象的变化,并把控制对象的当前状态传递给比较器,起到了反馈的作用。采用知觉控制原理有助于解决外界不可预知的干扰对用户界面产生的影响。

人们调节水龙头就是一个人类感知控制的过程。在这个过程中,人们的意图是控制流出的水流和温度,人们会时刻观察(感知)当前的水流和温度,并比较目标和当前流水的状态,从而得出差值,继而控制水龙头的状态(如控制水流的流速),以减少意图(期望的水流和温度)和当前流水状态之间的差值,通过不断迭代达到人们的意图。在此过程中,用户只需理解与任务领域相关的水流和温度等概念,而不需要了解与应用领域相关的冷水和热水温度及流量等概念。

3 基于知觉控制的用户任务分析

用户界面设计模型是一个有关系统映像的概念化,包括系统的“观与感”和用户交互两个方面^[6]。在过去用户界面强调的是系统的功能性,而今天更多强调的是用户与系统的交互。

一个用户界面模型由用户任务模型、用户模型、领域模型、表示模型、对话模型组成。任务、用户和领域模型构成了用户界面交互方面的抽象模型,而表示模型和对话模型分别指定用户界面的观与感方面,表示了对该用户界面软件的设计^[6]。在此我们主要关注用户界面交互方面的用户任务模型,其他的模型均采用已存在的传统的方法来建模。

传统认知学认为用户想要完成任务必须建立有关一个系统如何工作的完整内部模型。即用户必须有与系统状态相关的应用领域概念的抽象表示,依据这些抽象表示执行或评估它的任务。然而通常情况下用户在完成任务过程中仅需建立与目标相关的部分模型(任务状态及含义),而系统建模外部环境,使得系统能够根据环境的变化调整其行为。通过两者之间协调,通信最终达到用户目标,而知觉控制模型刚好适合这种情况。

用户任务模型是关于用户通过用户界面可完成的任务的说明式描述。采用基于知觉控制的任务分析(如图2所示),基于知觉控制的任务分析^[14]和用户界面设计直接相关,它描述了显示变量和影响这些变量的动作,告诉用户界面设计人员应该将哪些

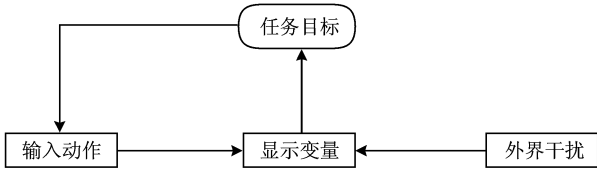


图 2 基于知觉控制的任务分析模型

Fig. 2 The model of perceptual-control-based analysis of task

变量显示在用户界面上,以及给用户哪些信息,如何显示变量,即用户如何与系统交互,满足新型可用性的设计需求。任务目标存在于系统用户的大脑之中,它们是显示变量的目标或意图状态。被控制的显示变量一般是呈现在计算机屏幕上。系统用户通过执行动作来控制显示变量,使其达到目标状态,从而完成任务目标。控制动作的结果依赖于外界干扰。在很大程度上,外界干扰也是显示变量是否表示以及如何表示的依据。系统通过对外部环境进行建模,处理不可预知的干扰产生的影响。

基于知觉控制的任务分析认为没有一组固定的动作来达到任务目标。用户所执行的动作依赖于外界环境对显示变量的不确定干扰。这样为了达到同一个任务目标,每次需要执行不同的动作序列。而传统的任务分析认为只有一组确定的动作可以达到任务目标。因此,基于知觉控制任务分析的结果不是一组特定的动作,而是描述了系统用户可以控制的一系列的动作,这些动作的组合可以控制显示变量来抵消环境中所有可能的外界干扰,来达到任务目标。

4 基于知觉控制的用户界面设计方法

按照用户为中心的观点,上面说明了这样一个关键的“Why”和“What”方面,即为什么需要基于知觉控制以及知觉控制是什么;那么我们还需要给出“How”方面,即如何能够建立基于知觉控制的用户界面。在普适环境下,计算环境的不确定性和用户知识的不完备性,使得很多事情是不可预测的。正因为没有办法预测,所以只能“摸着石头过河”。那么如何从交互世界中提取与用户任务相关的信息是我们关注的主要问题。

我们应该考虑的是用户想要做什么以及想要控制什么信息,而非系统能够做什么,这样可以避免两个问题:一是我们关注于系统的使用环境,用户的知

识,而不是使用计算的概念来描述系统的特征;二是使得我们可以在意图层次更为抽象地描述用户的行为,用户可以很容易控制系统,而非传统的指定界面设计的需要,指定用户如何来操作一个系统。从此观点出发,在解决如何设计基于知觉控制的用户界面时采用基于知觉控制的任务分析,使得用户可以将注意力集中于较高功能层次的处理。基于此考虑,下面给出用户任务分析的过程。

首先根据基于感知控制的任务分析理论进行用户任务建模,包括任务的内部表示和外部表示,以及两者之间的交互关系。即通过识别主要用户来理解用户的需要,从用户的观点描述任务情节,得到与任务相关的概念及其之间的关系,用以描述用户在交互过程中的活动及所使用的物理对象。

其次根据基于知觉控制的任务分析理论导出在用户任务层次上的对象表示(如目标、意图、信念等)及其这些内部概念之间的关系(包括用户的心理和知觉行为),采用交互世界中存在的对象表示外部概念,将注意力集中于任务的状态改变上,我们仅是整合这些早已存在的概念来描述交互的概念和关系,旨在为设计者提供一个需求工程模型。

最后依据任务建模导出合理的意图用例,即有关操作意图和获取信念的表示,使得能够在意图层次上建模用户的任务。意图用例用于描述用户如何使用业务领域的表示对象,而非应用领域的表示对象。

不难看出,基于知觉控制的任务分析表示了一个迭代过程。通过迭代过程我们可以识别那些与任务相关的信息,得出什么信息应该被表示,使得用户界面呈现的信息可以与内部模型进行比较。在此将注意力集中在用户想做,但没有能力做的事情;或者用户能做,但不愿那样做的事情,即在高级功能层次上帮助用户完成他们力所不及的任务。

同时采用已存在的“参与式设计”方法^[6]。在设计过程中用户的作用不再局限于界面的使用者,而是参与设计的团队成员。用户将其熟悉的信息告知设计者,这就避免了用户界面上会出现用户不可理解的领域信息。参与式设计具有 3 个主要特征。首先,它旨在改进工作环境和任务,这使得设计和评估面向的是用户的任务,而不是面向系统;其次,它具有合作的特征,用户可以参与设计的各个阶段,同时,该方法是通过不断迭代达到用户目标。

对于用户界面和应用之间的合作和通信问题,

采用感知控制代理来解决此问题。与感知控制代理相关的内容参见文献[15]。

5 案例研究——多变量控制问题

Bass 等人总结了 27 个可用性场景^[16]。其中“多变量控制”可用性场景描述为:一个操作可以控制多个变量,用户仅需在意图层次上进行控制,而不需要计算任务目标和领域变量之间的对应关系,系统自动匹配任务目标和领域变量之间的关系。而在传统系统中,一个操作只能控制一个领域变量,用户要达到任务目标,需要自己计算任务目标和领域变量之间的对应关系,并对多个领域变量进行控制。

以多变量控制的代表问题——水龙头用户界面设计为例。调节水龙头这个简单过程的任务描述为:用户使用该系统,系统根据经验给出水流的描述,但用户不满意,自己指定想要的水流的描述,系统通过不断迭代给出正确的响应。在此任务建模过程中以普通大众为中心,其任务目标在于控制流出水流的流速和温度,即得到想要的一定温度一定流量的水流。图 3 给出了此过程中用户任务与对象的层次关系。

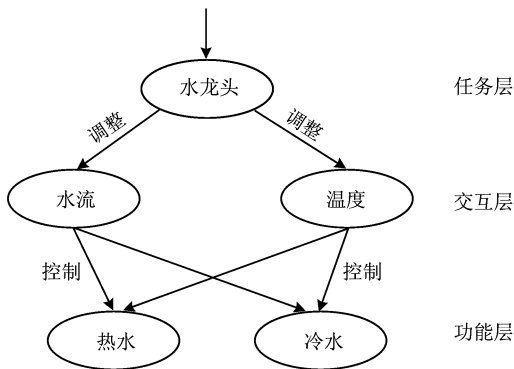


图 3 水龙头中用户任务与对象的层次关系
Fig. 3 Hierarchical relationship of user task and object in water tap

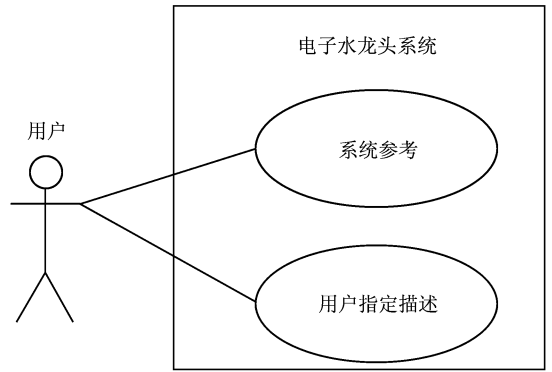


图 4 水龙头意图用例
Fig. 4 Intention use case of the water tap



图 5 传统水流控制
Fig. 5 The traditional flow control

该系统的部分模型,即要求较少的活动和知识,使得用户的注意力可以集中在其想要完成的任务上。利用基于知觉控制任务分析的用户界面设计方法,根据意图用例,开发了一个电子水龙头原型(图 6)。在此原型中用户仅需在意图层次上进行控制,给出期望值(目标水流的大小与温度),而不需要将期望值转化为领域变量(高温水流与低温水流的大小)的状态,此转化工作将由知觉代理来完成。知觉代理通过迭代计算匹配用户期望与领域变量之间的非线性关系。而在传统的控制系统中,用户操作仅是对领域变量的直接控制,用户完成任务,需要计算期望与领域变量之间的对应关系,并在低级层次(领域层次)进行控制,这样增加了用户的认知负担。同时此原型允许用户将历史状态保存为 XML 格式,方便用户显示查看,恢复历史状态,并能够动态显示当前流水的状态。

根据图 3 导出其意图用例模型,如图 4 所示。

传统的用户界面设计(图 5)中,使用的是正向控制方式^[3],控制器需要建模一个有关需控制系统的完备模型,要求用户花费更多的心理和物理活动及具备更多的问题求解知识,即用户需要了解冷水和热水流量的概念。而采用知觉控制的交互则使用了任务领域相关的概念(如水流和温度),仅需建模

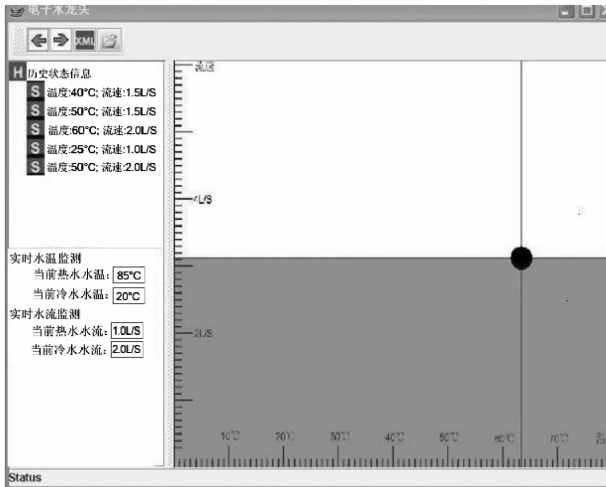


图 6 电子水龙头原型

Fig. 6 The prototype of electronic tap

6 结 论

通过分析普适计算环境下用户群体及用户任务性质发生的变化,得出当前用户界面不能够满足普适可用性的需求,在此基础上,提出基于知觉控制的用户界面设计方法,此方法采用基于知觉控制的任务分析理论及参与式设计。案例研究表明,较传统的用户界面设计方法,该方法更能满足普适可用性的需求,帮助用户在高级功能层次上完成他们的任务。

目前,我们的研究尚处于初始阶段。进一步的工作是应用基于知觉控制的任务分析设计出更多的案例,提供设计这种用户界面的工具箱,以支持用户迅速构建符合此原理的用户界面。

参考文献 (References)

[1] Sino European Usability Center. ISO 9241 the definition of usability [EB/OL]. (2004-12-22) [2009-12-12]. <http://usability.dlmu.edu.cn/chinese/kyxrd.htm>. [中国欧盟可用性中心. ISO 9241 可用性定义[EB/OL]. (2004-12-22)

[2009-12-12]. <http://usability.dlmu.edu.cn/chinese/kyxrd.htm>.]

[2] Gentner Don, Nielson Jakob. The anti-mac interface [J]. Communications of the ACM, 1996, 39(8) : 70-82.

[3] Powers William. Behavior: the Control of Perception [M]. Chicago: Baker & Taylor Books, 1973 : 53-68.

[4] Bourbon W. Thomas, Powers William T. Models and their worlds [J]. Human-Computer Studies, 1999, 50(6) : 445-461.

[5] Card S K, Moran T P, Newell A. The Psychology of Human-computer Interaction [M]. California: Lawrence Erlbaum Associates, 1983 : 139-192.

[6] Hua Qingyi. Research on the User-centered Process for System Analysis, Modeling and Design [D]. Xi'an: Northwest University, 2006. [华庆一. 以用户为中心的系统分析、建模与设计过程研究 [D]. 西安: 西北大学, 2006.]

[7] Jacobson I, Booch G, Rumbaugh J. The Unified Software Development Process [M]. New Jersey: Addison-Wesley, 1999 : 75-102.

[8] Alistair Cockburn. Structuring use cases with goals [J]. JOOP/ROAD, 1997, 10(5) : 15-39.

[9] Lif M. User-interface modeling-adding usability to use cases [J]. Human-Computer Studies, 1999, 50(33) : 243-262.

[10] Diego San. A meta-study of algorithm visualization effectiveness [C] // International Journal of Human-computer Studies. New York: Academic Press, 1994 : 1071-5819.

[11] Wiley John, Parekh S. Feedback Control of Computing System [M]. Canada: Wiley-IEEE Press, 2004 : 13-22.

[12] Xing G Q, Parvez S A, Folta D. Design and implementation of synchronized autonomous orbit and attitude control for multiple spacecraft formation using GPS measurement feedback [J]. Frontier Science, 2008, 1(2) : 63-76.

[13] Hua Qingyi. From conceptual modeling to architectural modeling—A UCD method for interactive systems [R]. Darmstadt, Germany: Information and Life, 2003.

[14] Marken Richard S. PERCPLATE: perceptual control analysis of tasks [J]. Human-Computer Studies, 1999, 50(6) : 481-487.

[15] Hua Qingyi, Liu Qingfang, Yu Di, et al. A perceptual-control-based agent of architecture model [J]. Journal of Software, 2009, 20(suppl.) : 76-83. [华庆一, 刘庆芳, 蔚娣, 等. 基于感知控制的代理体系结构模型 [J]. 软件学报, 2009, 20(增) : 76-83.]

[16] Bass L, John B E, Kates J. Achieving usability through software architecture [R]. Pittsburgh: Carnegie Mellon University, 2001.