

人机界面自适应机制的设计和实现*

陈刚 吴刚 董金祥 何志均

(浙江大学人工智能研究所 杭州 310027)

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室 杭州 310027)

摘要 当前,自适应界面已成为人机界面研究的一个方向。首先介绍了有关自适应界面的一些基本概念,并在此基础上提出了一个人机界面的自适应机制。对该机制的系统结构、实现技术进行了广泛的讨论。该机制已被应用于集成化 CAD/CAPP/CAM 系统——GS-ICCC (Great Sky-Integrated CAD, CAPP and CAM) 的研制工作中,同时介绍了该机制的一些实现细节。GS-ICCC 的自适应机制已在 X-Window/Motif 环境下实现,并被证明其在提高人机交互有效性上具有良好效果。

关键词 人机界面,自适应界面,自适应机制,GS-ICCC (Great Sky-Integrated CAD, CAPP and CAM)。

中图法分类号 TP391

作为一个应用系统,通常并不只适用于一个特定用户或一项特定任务,它必须能为不同层次的用户使用,同时也可能被用来完成一系列功能。不同层次的用户对界面的要求经常是相互冲突的,比如初学者和专家之间的需求矛盾。初学者要求简易、实用且有支持对话的功能;而专家则要求快速、高效的对话,不必太多的支持;另外,这两者之间还可能随着时间的推移和任务的变化而相互切换。同时,不同的功能对界面的要求也可能大相径庭。这就要求我们把界面系统设计成某种意义上的“柔性”系统。“柔性”要求提供给用户更大的自由度,使用户、任务和系统特性三者更紧密地结合,以最大限度地提高用户的效率。

传统的迎合不同用户、不同环境和不同工作阶段的方法可归纳为3种:①为不同的用户设计不同的系统;②为用户提供个性化的裁剪手段或宏;③应用原语和类比的方法,使用户能接触系统的功能。

但是,这3种方法均难以提供一个十分满意的答案,而自适应界面则是解决上述问题的一个较好的选择。国外目前已存在一些自适应界面的例子,比较著名的有 Open Sesame!^[1], UIDE^[2]以及 Microsoft 的 Flexecl。总体上说,这些系统自适应功能有限,它们所提供的建议也是简单和常识性的,没有包括复杂的应用模型,一般只适用于某一特定的应用领域,并只作为总体界面功能的附属部分。而国内的自适应界面系统则还是比较少见的。

八五期间,我们承担了 CIMS 领域的 863 重大项目“集成化 CAD/CAPP/CAM 系统”的研究,并为此开发了集成系统——GS-ICCC (Great Sky-Integrated CAD, CAPP and CAM)。该项目已通过国家科委组织的专家组鉴定,并获得了好评。由于 CIMS 应用领域包含着 CAD 操作人员、数据库操作人员和机械工艺师等多种用户群体,不同的用户、不同的设计环境带来了不同的交互风格和喜好,因此,自适应界面就成了最佳选择。自适应机制的设计与实现是 GS-ICCC 系统集成的重要特色。与以上提到的一些自适应界面相比,该机制目前虽也仅应用于 CIMS 应用领域,但在总体结构和功能的设计上具有可扩展的更大余地。

本文是对这一研究工作的总结。本文第1部分定义了与自适应界面有关的一些基本概念,第2部分给出了 GS-ICCC 系统自适应机制的设计,第3部分描述了该机制的具体实现,最后是小结。

1 自适应界面概述

本节定义了 GS-ICCC 系统自适应机制设计中要明确的一些基本概念。

定义 1. 界面模式^[3]是 (L, S, A) 的三元组,其中 L 代表界面布局,它是主要交互对象如菜单、信息区等的显示属性

* 本文研究得到国家 863 高科技项目基金资助。作者陈刚,1973 年生,博士生,主要研究领域为 PDM,并行工程,人机工程。吴刚,1968 年生,博士,讲师,主要研究领域为人机工程,计算机图形学。董金祥,1945 年生,教授,博导,主要研究领域为 CAD, CIMS,面向对象数据库。何志均,1923 年生,教授,博导,主要研究领域为人工智能,计算机图形学, CAD。

本文通讯联系人:陈刚,杭州 310027,浙江大学人工智能研究所

本文 1997-05-29 收到原稿,1997-08-18 收到修改稿

集合;S代表交互风格,如菜单式界面、命令式界面、图符式界面等;A代表交互对象的属性值。

定义2. 自适应界面^[4,5]是能够改变自身界面模式,以适应不同用户、不同任务和不同阶段系统需求的界面系统。通常,一个设计良好的自适应界面系统应具有以下特点:①支持多种不同的界面模式;②允许用户在任意时刻切换界面模式;③界面模式的切换应尽量平滑、自然;④用户应能很容易地学习使用各种不同的界面模式。

定义3. 自适应操作是指对界面模式的修改。相应地可定义为(L_c, S_c, A_c)的三元组,其中L_c代表界面布局的修改,S_c代表交互风格的切换,A_c代表交互对象属性的修改。

定义4. 合理的自适应操作。如果 $\exists f \in F, m_i \in M, m_k \in M$ 并且 $m_i = f(m_k), V(m_i) > V(m_k)$,则称f为一次合理的自适应操作,其中F代表自适应操作集;M代表界面模式;V代表界面评价函数,>表示该界面模式在评价指标上占优。

在此,要注意一点:界面评价函数并不仅仅与当前界面模式有关,事实上,它可能还与当前用户、当前任务和当前使用阶段有关。例如,菜单式界面与命令式界面的评价函数相对于初学者和专家来说是不同的。

定义5. 自适应推理。设推理规则r是(p, f, D)的三元组,其中p代表前提;f代表自适应操作, $f \in F; D(m)$ 代表界面当前模式m的统计数据集, $m \in M$;则自适应推理就是找出一条合适的自适应规则r,要求当前的D(m)满足它的前提p,然后进行相应的自适应操作f。

定义6. 自适应过程是 $p_n = \bigcup_{i=0, \dots, n} m_i$ 的模式序列, m_0 为初始模式, $m_0 \in M, m_i = f(m_{i-1})$,并且f是一个合理的自适应操作的结果。

对以上的描述总结如下:①自适应操作所涉及的内容是界面的布局、交互风格和交互对象;②自适应操作的合理性是通过评价函数给出的;③自适应操作的依据是各种有效的统计数据;④自适应推理就是匹配用户的行为特征模式,并找出合适的自适应操作;⑤界面的精化是一个不断进行自适应操作的过程。

2 自适应机制的设计

通过对自适应过程的分析,并结合界面系统的设计经验,GS-ICCC系统采用了如图1所示的自适应机制。该机制认为,一个自适应系统应该包括3个概念模型:表达用户行为特征的用户模型、表示应用系统功能的领域模型和描述人机交互方法的交互模型,而每一个模型都包含了操作层和数据层两层视域,其中操作层定义了描述机制、评价机制以及相应的数据搜集或功能实现机制,数据层则定义了模型的具体内容。

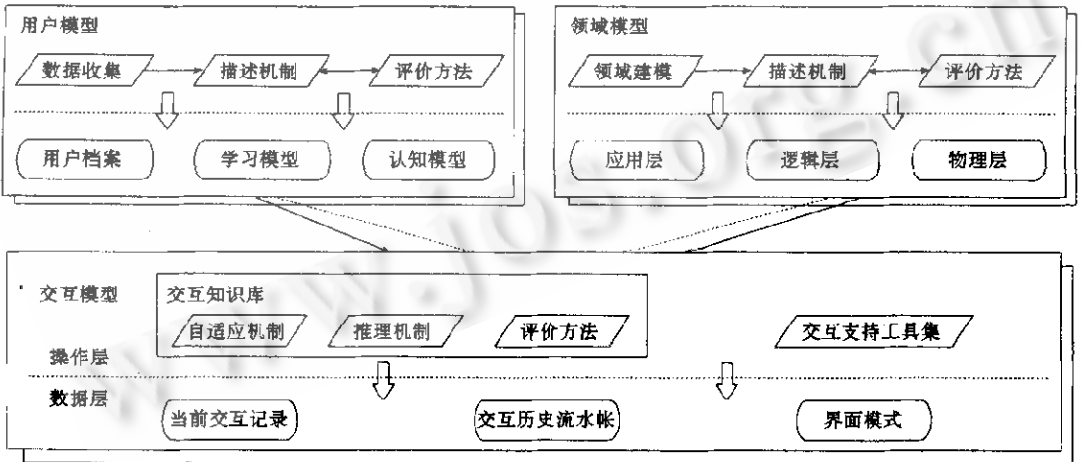


图1 自适应机制示意图

2.1 用户模型设计

GS-ICCC 自适应机制的用户模型按照用户行为特性把应用者分为外行型、初学型、熟练型和专家型4类。^[6]其定义分别为:

- ① 外行型 以前从未遇到过计算机系统的用户,对系统有很少或毫无认识。
- ② 初学型 尽管对新的系统不熟悉,但对计算机还有些经验的用户。

- ③ 熟练型 对系统有相当多的经验,并且是熟练的操作员,但并不具备扩展系统的能力。
- ④ 专家型 对系统的内部结构有较深的了解,有计算机方面的专长,具备对系统如何操作的良好知识以及维护、修改基本系统的能力。

其区分标准为:

- ① 完成指令出错概率;记为 N_e ,它对综合能力的权值记为 λ_e ;
- ② 完成指令平均迟误时间;记为 N_t ,它对综合能力的权值记为 λ_t ;
- ③ 复杂命令使用频度;记为 N_c ,它对综合能力的权值记为 λ_c ;
- ④ 求助概率;记为 N_h ,它对综合能力的权值记为 λ_h ;
- ⑤ 使用系统的频度;记为 N_f ,它对综合能力的权值记为 λ_f 。

用户的综合能力可按下列公式计算

$$N = (\lambda_e N_e + \lambda_t N_t + \lambda_c N_c + \lambda_h N_h) \cdot e^{\lambda_f N_f}$$

用户模型由用户档案、认知模型和学习模型3部分组成。用户档案记录了用户的背景、兴趣和行为特征。GS-ICCC系统描述用户档案采用了框架这一知识表达技术。一个典型的描述如下:

```

(Object 张三           // 用户名
  Type 初学者         // 用户类型
  StyleLike           // 用户交互风格喜好
    (WholeLike        // 用户整体界面风格喜好
      (Select1 图符式)
      (Select2 菜单式)
      (Select3 问答式)
      (Select4 命令式))
    (DialogLike       // 用户对话风格喜好
      (Select1 逐级弹出式)
      (Select2 表格式))
    (MenuLike         // 用户菜单风格喜好
      (Select1 固定式)
      (Select2 下拉式)
      (Select3 弹出式))
    (AcceleratorLike // 用户加速功能喜好
      (Select1 热键式)
      (Select2 宏命令))
  AppearLike         // 用户对界面外观的喜好
    (WindowLike      // 用户窗口风格喜好
      (Select1 单窗口)
      (Select2 多窗口))
    (HelpLike        // 用户帮助区布局喜好
      (Select1 常驻式)
      (Select2 弹出式))
    (ColorLike       // 用户颜色风格喜好
      (Select1 冷色调)
      (Select2 暖色调)))

```

认知模型记录了用户的计算机熟练程度、长期记忆能力、复杂命令识别能力等认知特性;在系统内部采用了三元组的表示方式,例如:

- <KeyStroke, VEL, 60> 意为当前用户的击键速度为60次/min;
- <Macro, FRE, 2> 意为当前用户每完成一次操作使用的宏命令平均为2次;
- <CascadeMenu, VEL, 3> 意为当前用户多层菜单的使用速度为3层/min;
- <ComplexComm, ERR, 0.3> 意为当前用户复杂命令的使用出错率为30%。

学习模型通过二维表的形式记录了与应用领域相关的用户特征,它的形式如表1所示。

表 1 学习模型的二维表

操作功能	复杂级别	操作时间	平均完成时间	出错概率	帮助概率	掌握程度	使用频度
AddFest	A	20	30	30	40	C	A
BoolOp	B	20	25	30	30	B	B
SaveFile	D	5	5	0	0	A	A
.....

说明复杂级别:A 复杂,B 较复杂,C 一般,D 基本;掌握程度:A 完全掌握,B 基本掌握,C 不熟练,D 不会;使用频度:A 经常,B 一般,C 较少,D 不用

用户领域、认知模型和学习模型的数据是通过交互记录中的统计数据进行分析推理而得到的,这些数据同时也随式地随着统计数据的不断修改而更新。

2.2 领域模型设计

GS-ICCC 自适应机制的领域模型定义了与自适应操作的应用领域相关的内容,它包括运行系统模型、应用模型、设备模型和任务模型这些相关内容。具体地说,它是应用任务功能的划分和相应的系统对话和表现。下面是 GS-ICCC 系统的领域模型描述格式示例。

```

DOMAIN domain-name
TASK
    task_id task-name {
        task-type /* 任务的类型 */
        task_difficulty /* 任务的难度 */
        sub_task_list /* 子任务列表 */
    }
    .....
ENDTASK
OPERATION
    operation_id function-name {
        task_list /* 操作可发生的任务列表 */
        argument_type_list /* 参数类型列表 */
        successive_operation_list /* 后续可能操作列表 */
        similar_operation_list /* 相似操作列表 */
        exclusive_operation_list /* 互斥操作列表 */
    }
    .....
ENDOPERATION
ERROR
    error_id error_type error_message
    .....
ENDERROR
ENDDOMAIN

```

2.3 交互模型设计

交互模型用于监测系统的交互过程,其得到的监测数据用来推理用户的行为目的、认知特性和行为特征,系统可以据此调整自己的结构和操作模式。在交互模型的操作层中包括了两方面主要内容:① 通过交互记录来获得适当的原始数据;② 定义完善的推理规则,实现高效的推理机制。

GS-ICCC 的交互记录包括两部分内容:交互过程的统计信息和交互过程的流水帐信息。当用户完成某一交互动作时,相应的用户模型中的操作表就会更新平均完成时间、出错概率等项的内容。交互过程流水帐则以时间为序记录了与自适应机制相关的用户操作。

交互模型的核心是推理规则库,它采用了产生式规则的表达形式。GS-ICCC 采用的推理规则主要包括以下几大类:

(a) 操作的空间、时序关系,它所依据的统计数据内容包括:对象使用频度、相邻使用特性,操作对象相似性、操作移动距离等。典型的规则有:① 时序操作相邻的交互对象应放在空间相邻的位置上;② 使用频度最高的交互对象应放在最易操作的地方。

其具体推理规则示例:

```
IF FRQ(activate-button1, activate-button2, SEQ) > 70%
THEN PLINK(button1, button2)
```

该规则意义为:如果两个按键操作在时序上相邻使用的频度大于70%,则应把它们放在空间相邻位置上,其中FEQ(A)表示事实A的频度范围,PLINK(A,B)表示邻接放置对象A和B.

(b) 对话序列的提示.它根据领域模型数据、用户操作当前场景和用户操作统计数据提供可行的操作提示.其具体推理规则示例:

```
IF op=MAX-FRQ(focus-obj) and ENABLE(op)
THEN INSERT-PROMPT(op)
```

该规则意义为:如果当前聚焦对象中最频繁进行的操作是当前环境下可行的操作,则应把它放入提示表中.

(c) 用户模型的修正.它主要包括以下几种形式:

(1) 统计模型的修正.其具体推理规则示例:

```
IF ACTIVATED(menu-item) and SUCCEED(menu-item-proc)
THEN INC(menu-item-operation-number-in-profile)
```

该规则意义为:如果当前菜单项被激活且菜单功能被成功完成,则该菜单项的使用次数加1.

(2) 用户学习模型的修正.其具体推理规则示例:

```
IF FRQ(operation-error) > 50%
THEN DEC(user-operation-knowledge)
```

该规则意义为:如果当前用户的操作错误率大于50%,则表达该用户知识情况的数值降低.

(3) 自适应帮助的产生.其具体推理规则示例:

```
IF (user-operation-knowledge < THRESHOLD) and (operation-error)
THEN PROMPT-HELP(operation)
```

该规则意义为:如果当前用户知识值小于阈值且当前操作错误,则出现当前操作的提示信息.

(d) 用户自适应行为的推理.它包括以下3部分内容:

(1) 用户对自适应机制掌握程度

```
IF SUCCESS-USE-ADAPTION() and ADD-NEW-ADAPTION()
THEN INC(user-self-adaption-preference)
```

(2) 对自适应建议的接纳程度

```
IF ACCEPTED-ADAPTION-SUGGEST()
THEN INC(adaption-suggestion-preference)
```

(3) 自适应阈值的调节

```
IF CHANGE(user-self-adaption-preference) and CHANGE(adaption-suggestion-preference)
THEN UPDATE(adaption-threshold)
```

(e) 基于用户认知特性的推理.它包括:

(1) 基于交互数据,推导出用户的空间感、命令掌握程度等用户认知特性

```
IF interface-style=COMMAND and FRQUENCE-OF-COMMAND-ERROR > 50%
THEN user-command-experience=LOW and user-spatial-ability=LOW
```

(2) 根据用户认知特性的变化,更改界面交互形式

```
IF user-command-experience=LOW and user-spatial-ability=LOW
THEN CHANGE-INTERFACE-STYLE(MENU)
```

(3) 根据用户综合能力的变化,启动层次转换开关

```
IF CALCULATE-ABILITY-LEVEL(user)=EXPERT
THEN CHANGE-INTERFACE-STYLE(COMMAND) and ENABLE-MACRO-ADAPTION()
```

3 自适应机制的实现

GS-ICCC 的自适应机制主要提供了以下功能:

- (1) 快速简化键的定义;
- (2) 菜单、对话框的重组;
- (3) 建议的宏命令语言;
- (4) 启动层次转换开关;
- (5) 进行自适应帮助;

- (6) 命令、对话序列辨识以及自动提示;
- (7) 对话缺省值的自动更新;
- (8) 对自适应操作自身的裁剪。

GS-ICCC 系统自适应机制的实现模型如图2所示。GS-ICCC 系统自适应机制的具体实现采用了显式和隐式两种方式。

显式实现方式是通过自适应工具箱的形式提供给应用系统的,它包括自适应建议器、自适应提示器、自适应定义器、自适应浏览器、自适应帮助器5个部分。具体描述为:

(1) 自适应建议器。它表示系统产生了新的自适应建议,通过提示器的形式,使用户不必马上从当前的任务中转移注意力,只需在方便的时候去阅读。

(2) 自适应提示器。它表示在系统的自适应队列中,存在用户不曾阅读和使用的自适应建议,并提示用户使用该自适应建议。

(3) 自适应定义器。用户可通过它启动自适应定义界面,定义自己的自适应行为。

(4) 自适应浏览器。用户可利用它浏览已定义的自适应行为,并可选择相应的自适应行为进行编辑。

(5) 自适应帮助器。向用户解释自适应行为,并对自适应行为进行评价。

隐式实现则指通过系统内部的推理行为实现自适应功能。GS-ICCC 自适应推理机的算法采用了标准的基于产生式规则的前向推导机制。

4 小 结

GS-ICCC 的自适应机制是比较全面的,其中采用的不少自适应规则均参考了国外一些著名 CAD 软件,如 Euclide, CADD5 等。目前,GS-ICCC 的自适应机制已在 X-Window/Motif 环境下实现。在此给出一个该机制应用的简单实例:GS-ICCC 的 CAD 子系统可以根据当前使用者的操作习惯以及当前设计任务的特点,自动配置系统右下角的常驻功能区,该功能区内存放了一些常用的菜单命令,并可自动生成宏命令。用户普遍对系统的此类自适应功能给予了较高的评价。

自适应界面设计的难点在于用户特征、用户角色、用户推理的复杂性。目前,国际上对本领域的研究专注于强调自适应设计过程与人的信息处理过程之间自然合理的匹配。其最终目的就是使系统最大限度地满足和应用用户的经验、意图和知识,从而最大限度地提高系统的效率,这也是我们今后的研究发展方向。

参 考 文 献

- 1 Harmon P. Open sesame! — an intelligent interface learning agent. *Intelligent Software Strategies*, 1995, 11(5): 1~5
- 2 Sakaviriya P. From user interface design to the support of intelligent and adaptive systems. *Knowledge-based Systems*, 1993, 6(4): 220~229
- 3 吴刚. 可视化、智能化用户界面管理系统的模型和实现技术的研究[博士论文]. 浙江大学研究生院, 1996
(Wu Gang. Research in the model and implementation technology of the visual, intelligent user interface management system [Ph. D. Thesis]. The Graduate College of Zhejiang University, 1996)
- 4 Benyon D R, Murray D. Adaptive systems: from intelligent tutoring to autonomous agents. *Knowledge-based Systems*, 1993, 6(4): 197~219
- 5 Thomas C G. Design, implementation and evaluation of an adaptive user interface. *Knowledge-based Systems*, 1993, 6(4): 230~238
- 6 陈家正, 龚杰民等译. 人-计算机界面设计. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1991
(Chen Jia-zheng, Gong Jie-min et al (translated). *The Designing of Human-Computer Interface*. Xi'an: Xi'an Electronic Technology University Press, 1991)

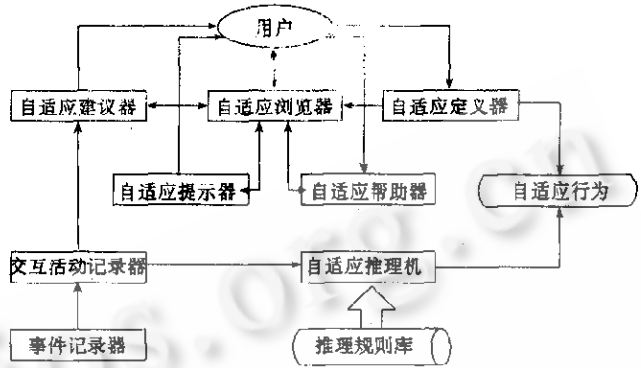


图2 GS-ICCC系统自适应机制的实现模型

Design and Implementation of the Adaptive Mechanism for User Interface

CHEN Gang WU Gang DONG Jin-xiang HE Zhi-jun

(Artificial Intelligence Institute Zhejiang University Hangzhou 310027)

(State Key Laboratory of CAD & CG Zhejiang University Hangzhou 310027)

Abstract Most recently, attention has focused on adaptive interface in the human-computer interface domain. In this paper, several fundamental concepts of adaptive interface are introduced at first, then an adaptive mechanism of user interface is presented based on these concepts. The structure and technology of this architecture are discussed in detail. This architecture has been applied to GS-ICCC (GreatSky-Integrated CAD, CAPP and CAM), which is an integrated CAD/CAPP/CAM system. Some details when implementing this architecture are also described. The adaptive architecture of GS-ICCC has been implemented based on X-Window/Motif environments. It has been proved to be highly efficient.

Key words Human-computer interface, adaptive interface, adaptive mechanism, GS-ICCC (GreatSky-Integrated CAD, CAPP and CAM).