

# 情境感知驱动的移动设备自适应用户界面模型

程时伟<sup>1)</sup> 刘肖健<sup>2)</sup> 孙守迁<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>(浙江工业大学计算机科学与技术学院, 杭州 310023) <sup>2)</sup>(浙江工业大学艺术学院, 杭州 310023)

<sup>3)</sup>(浙江大学计算机科学与技术学院, 杭州 310027)

**摘要** 为降低移动设备控制与对话中的用户认知负荷和操作难度,采取基于情境感知的自适应人机交互策略,分析其中的交互机制和可视化形式,建立用户界面模型指导界面设计和原型构建。该模型制定了原始情境数据的分类感知方式、作用机制和结构化组织形式,设定不同的自适应控制策略和情境触发规则,对自适应交互状态转移过程进行约束。形式化定义自适应过程中的界面模式及其转换函数,并提出重构、替代、几何变换、过滤和推送等具体可视化表达形式。根据用户反馈信息选取显性和隐性评价指标,构造评价函数评估自适应效果,对自适应机制进行相应调整与优化。应用此模型进行自适应手机名片夹界面的视觉设计和原型开发,测试结果表明,自适应界面能有效提高用户操作效率和主观满意度,进一步验证了模型的可行性与有效性。

**关键词** 自适应用户界面 情境感知 人机交互 移动设备

中图法分类号: TP391 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2010)07-993-08

## Context Awareness Driven Adaptive Mobile User Interface Model

CHENG Shiwei<sup>1)</sup>, LIU Xiaojian<sup>2)</sup>, SUN Shouqian<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>(College of Computer Science and Technology, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023)

<sup>2)</sup>(College of Art, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023)

<sup>3)</sup>(College of Computer Science and Technology, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

**Abstract** In order to reduce the cognitive workload and operation difficulty, this paper utilizes an adaptive human computer interaction strategy based on context awareness, and analyzes its interaction mechanisms and visualizations. A new user interface model is proposed to guide the interface design and prototype development. The model defines different types of channels for context data acquiring, and describes the context information's functions and logical structures. Adaptation triggering rules and controlling strategies are used to restrict the state transitions during the operation process. Interface modes and their transition functions are defined, and the related visualization presentations styles are described, such as reconstruction, replacement, geometry transition, filter and push. The model constructs the evaluation functions through the different metrics from the user feedback information, and it can help adjust and refine the adaptation mechanism. Finally, a prototype of adaptive user interface for mobile phone contact list is provided, and it supplies users with high efficiency and satisfactions during the user test. It illustrates the feasibility and effectiveness of the proposed user interface model.

**Keywords** adaptive user interface, context awareness, human computer interaction, mobile device

## 0 引言

传统的用户界面模型,如 Seeheim 模型<sup>[1]</sup>主要

由表示组件、对话控制部分和应用界面模型组成。该模型强调用户与系统之间的直接对话和控制作用。但对于日益广泛使用的手机、PDA(个人数字助理)等手持移动设备而言,由于受到键盘输入(小键

基金项目:国家自然科学基金(60975048);浙江省教育厅科研计划项目(Y200908290)

收稿日期:2010-03-16;改回日期:2010-04-23

第一作者简介:程时伟(1981—),男,讲师。2009年于浙江大学获计算机科学与技术专业博士学位。主要研究方向为人机交互技术、用户界面模型、可用性评估等。E-mail: swc@zjut.edu.cn

盘)、显示输出(屏幕小,显示区域受限),以及使用环境复杂多变等因素影响,导致用户的直接控制功能被弱化,人机对话的认知负荷增加。可见,已有用户界面模型不再适应手持移动设备人机交互功能的实际需求。

为此,从情境感知角度引入移动设备的自适应人机交互策略,为用户的控制与对话过程设计适度的自适应功能,建立自适应用户界面模型的框架结构,提出具体的自适应策略和实现方法,以减轻用户认知负荷,降低操作难度。

## 1 相关研究

自适应用户界面(AUI)根据用户个性化需求和外部环境等因素改变系统的显示模式、交互方式等,以提高用户界面的友好性与可用性,是目前解决复杂人机交互的有效途径之一<sup>[2]</sup>。研究人员针对 AUI 的机制、策略、设计与开发等展开研究,如徐礼爽等人<sup>[3]</sup>以笔式交互设备为研究对象,提出了由模型层、自适应引擎层和平台层构成的 AUI 软件概念框架、体系结构及相应的系统开发方法。岳玉娟等人<sup>[4]</sup>针对移动平台的电子地图提出了自适应要素的数据模型与组件结构。对于手持移动设备及其情境因素而言,Eisenstein 等人<sup>[5]</sup>提出的 AUI 模型以设备平台、交互行为、用户特征为情境要素,建立了底层交互对象到高层表示结构之间的映射机制。本文前期工作对移动设备的情境信息进行分类建模,应用活动理论描述自适应人机交互框架,提出了 AUI 的设计策略与方法<sup>[6]</sup>。高歌<sup>[7]</sup>则从具体设计流程的角度构建了 AUI 的设计生成模型。

已有研究存在主要的问题是:1) 没有针对移动手持设备的特点建立完备和统一的情境模型,对情境信息的感知途径、组成描述和作用分析缺乏深入研究;2) 对自适应策略、自适应执行过程的研究不足;3) 没有引入反馈与评价机制,缺乏对自适应功能及时调整与优化的支持。针对这些问题,本文提出了情境感知驱动的手持移动设备自适应用户界面模型(CMAUI)。

## 2 CMAUI 模型

CMAUI 模型主要由感知模型、情境模型、自适应模型、表示模型、评价模型等 5 个子模型组成,其

基本架构与相互关系如图 1 所示。

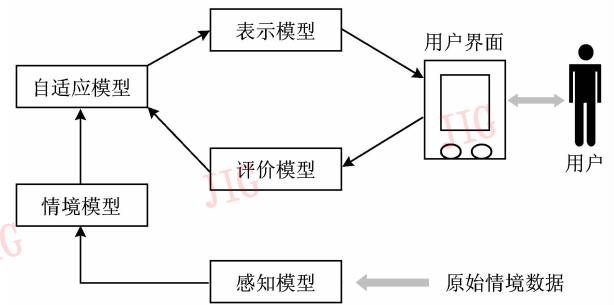


图 1 CMAUI 模型结构

Fig.1 Structure of CMAUI

感知模型描述原始情境数据的获取机制与途径,进而由情境模型进行结构化组织,然后通过自适应模型产生自适应触发命令,最后由表示模型指导具体用户界面的可视化显示,而评价模型则获取用户反馈信息进行自适应效果评估,及时进行调整与优化。

### 2.1 感知模型

感知模型主要描述移动设备原始情境数据的获取方式与途径。情境数据的获取方式分为两种<sup>[6]</sup>:

1) 本地感知 情境数据基于移动设备本身进行采样,对设备电力、计算和存储资源消耗较大,但数据采集的实时性强,属于直接感知。如图 2 所示,其中,①代表用户生理特征、操作行为等数据获取;②代表加速度、光线、温/湿度、气体、红外、压力等各类传感器数据的获取;③代表 GPS(全球定位系统)、基站定位、无线网络定位等数据的获取。

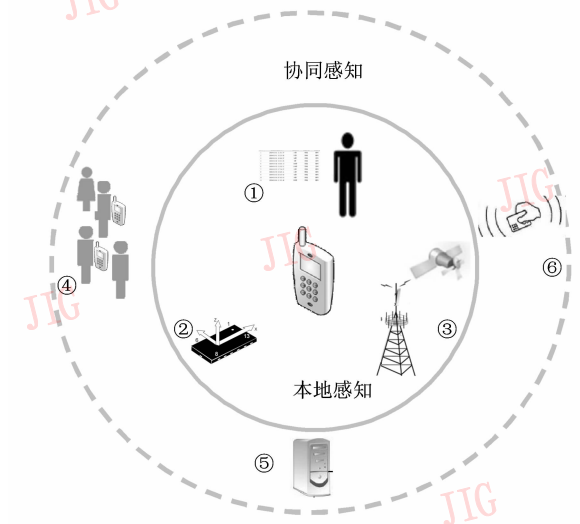


图 2 移动设备情境感知模型

Fig.2 Mobile device context awareness model

2) 协同感知 情境数据由外设、环境等间接提供,移动设备通过一定的途径获取和调用这些数据,使其仍然可以反映某些与移动设备有关的情境。例如 GPS 系统无法进行室内精确定位,但用户通过刷卡进入室内时,则可通过刷卡记录数据获取用户进入室内的信息,即对用户相关的地点情境进行了感知。这种间接感知方式对移动设备本身的资源消耗较小,降低了由于搭载各种传感器件而增加的成本。图 2 中④代表对通过短消息获取其他用户的情境信息;⑤代表通过网络获取运营商服务器上存储的通话信息(如图 3 通话历史记录中的通话日期、起始时间、通话时长等)以及短信收发、SP(服务提供商)等其他信息;⑥代表从 IC(集成电路)卡、RFID(射频识别)获取数据。

通话日期起始时间	通话时长	通话状态	通话类型	对方号码
2009-01-01 11:51:37	17秒	本地	被叫	13900000000
2009-01-01 15:23:56	57秒	本地	被叫	13900000000
2009-01-01 18:18:07	43秒	本地	主叫	13900000000
2009-01-02 18:21:25	5秒	本地	主叫	13900000000
2009-01-02 19:18:13	306秒	本地	被叫	13900000000
2009-01-03 13:02:21	104秒	本地	主叫	13900000000
2009-01-03 17:34:07	31秒	本地	被叫	13900000000
2009-01-03 18:10:41	11秒	本地	主叫	13900000000
2009-01-03 20:43:52	32秒	本地	被叫	13900000000

图 3 手机用户通话历史记录

(来源于中国移动公司网上营业厅个人用户数据查询)

Fig. 3 Data record of mobile phone calling history

## 2.2 情境模型

### 2.2.1 情境概述

情境被定义为描述实体状态特征的信息,实体可以是用户、地点或人造物,且这些实体与用户、应用程序及其之间的人机交互相关<sup>[8]</sup>。对于手持移动设备而言,情境决定或影响着移动设备与用户之间人机交互过程的状态和对话方式,其主要特点有:

1) 用户相关性,移动设备为用户的日常工作与生活提供各种服务,联系非常紧密,而用户的年龄、职业等个人特征也对其产生影响;2) 多样性,情境来源于用户、设备,以及外部环境等实体,分布广泛、组成复杂多样、异质化明显;3) 动态性,随用户、环境等变化,情境具有高度的动态性,体现在时间、空间、作用方式等方面;4) 社会性,用户将手机等移动设备作为社交活动的工具之一,通过其与家人、朋友进行联系沟通,受到社交活动和社会环境影响。

移动设备情境根据作用方式的不同,可分为状态性和对话性情境<sup>[6]</sup>。状态性情境主要作为一种描述性信息,强调情境信息语义的获取、表示与理

解,而对话性情境则主要作用于用户与设备之间的对话过程,强调情境引发的控制和调节。此外,根据情境信息来源的不同,又可分为以下几类:

1) 用户情境 描述用户的心智和物理信息,如情绪、知识、生理条件、活动状况、行为等,以及与人种学有关的职业、年龄、文化程度等背景信息;

2) 任务情境 描述用户在移动设备上所执行任务的目标、计划和操作过程等;

3) 设备情境 设备本身的体积、信号强度、电量水平、方位朝向、运动稳定性及软件性能等;

4) 环境情境 描述所处环境的物理信息,如环境光照和噪音水平、交通状况、风力与风向、降水情况、温度、湿度、气压、能见度、体感,以及周围人群密度等信息;

5) 社会情境 描述用户的社交圈组成结构、社会属性、社会行为等,如关于朋友、亲戚的信息,用户的角色等;

6) 时空情境 描述时间、地点等方面的信息,如基站标识、GPS 坐标、邮政地址、用户行动轨迹等。

### 2.2.2 情境建模

已有的 AUI 机制通常只考虑设备模型与任务模型所描述的情境信息,导致情境信息来源单一,作用有限。另外,对于以手机为代表的手持移动设备而言,设备属性繁多复杂,众多服务功能造成任务描述的困难与多样化,在这种情况下,如果仍旧依靠任务模型与设备模型之间的匹配进行 AUI 构建<sup>[5]</sup>,势必造成计算资源的较大开销。

为此,进一步扩大情境信息来源,综合考虑不同种类的情境信息,结合传统研究中的设备模型、任务模型、用户模型等对情境进行统一描述,建立集成化的情境模型。

**定义 1** 情境模型为一有限非空集合

$$C_M = (C_i | i = 1, 2, \dots, n) | R$$

其中,情境元素  $C_i = \langle c_i, v_i \rangle$ ,  $c_i$  为该情境元素名称,  $v_i$  为其相应的量化取值或属性描述标记;  $R$  定义各情境元素之间的约束关系。若  $R$  为合取关系,则有  $C_M = C_1 \wedge C_2 \wedge \dots \wedge C_n$ ; 若  $R$  为析取关系,则有  $C_M = C_1 \vee C_2 \vee \dots \vee C_n$ 。

### 2.2.3 作用机制

情境模型的作用主要包括两方面:1) 对话性情境作为动态构件,表示人机交互对话中的隐式输入,是 AUI 启动或转变的触发和驱动条件;2) 状态性情境作为静态构件,表示人机交互对话中的隐式输出,

是 AUI 可视化的信息来源与约束条件。

图 4 是对这两种作用机制的进一步描述。情境模型分别做出对话性和状态性的情境信息描述,对话性情境信息作为隐式输入作用于自适应模型,自适应模型对其进行分析处理,最终触发和激活相关自适应指令,并进一步调用表示模型发出绘制指令,生成与用户产生交互的图形界面;另外,状态性情境信息作用于表示模型,形成具体的表示对象和可视化结构描述,以隐式输出的形式作用于图形界面的显示。在实际应用中,这两种作用在一定条件下可以相互转化,也可以同时存在,并不是完全割裂与对立的。

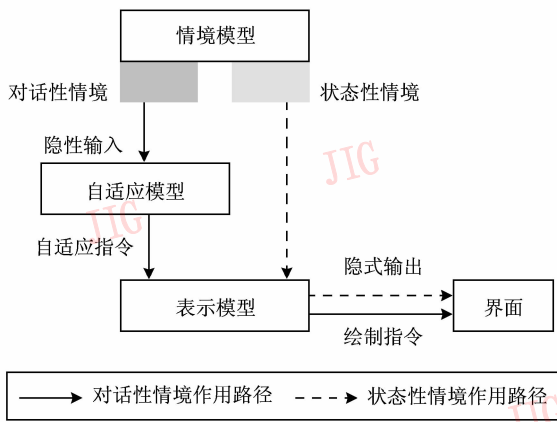


图 4 情境模型的作用机制描述  
Fig. 4 Mechanism of context model

### 2.3 自适应模型

自适应模型主要包含控制器与规则库两部分,如图 5 所示。

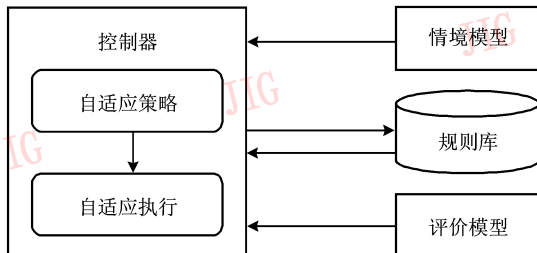


图 5 自适应模型结构  
Fig. 5 Structure of adaptation model

控制器根据情境模型的驱动和评价模型的反馈,决定自适应策略的选择与自适应执行过程的控制和调节。

#### 1) 自适应策略

在 AUI 自适应过程中,根据系统自主性和用户

自主性的强弱等因素可将自适应策略定义为以下 4 种:

- (1) 助手策略 系统主动产生的自适应行为必须得到用户确认后方可执行,且在任务执行中与任务完成后均及时向用户提供反馈。
- (2) 定制策略 用户预先根据自己的偏好定义相关自适应操作,然后交由系统自主执行。
- (3) 合作策略 用户与系统合作完成一些自适应操作,互相为对方提供请求与反馈。
- (4) 综合策略 对以上几条策略的综合应用。

#### 2) 自适应执行

自适应执行过程主要分为准备、初始化、建议、决策、运行、挂起、结束等状态,且在不同自适应策略指导下,各状态有着不同的配置与转换关系。如“助手”策略所主导的自适应执行过程可表示为图 6 所示的有限状态机。

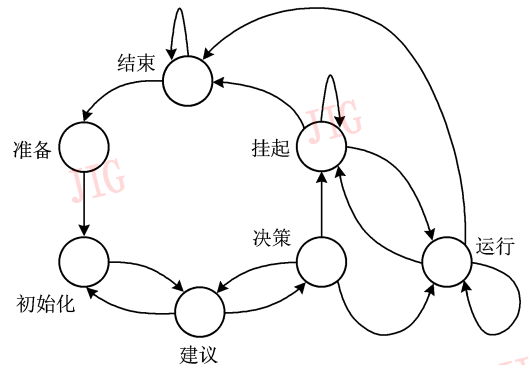


图 6 “助手”自适应策略执行过程的有限状态机表示  
Fig. 6 Finite state machine for adaptation strategy

图 6 中,经过准备阶段,系统进行自适应的初始化,然后向用户提出若干自适应建议,用户进行决策,若用户认可并决定执行系统的建议,则系统开始运行用户选择的自适应方案,直至结束;若用户对系统建议进行修改,则系统按照用户要求重新进行初始化,直至建议被用户接纳;若用户忽略系统建议,则进入挂起状态,等待用户决策或结束退出,此后系统将等待新的准备过程。

上述自适应执行过程中,准备状态在何种前提下触发和系统产生何种相应的自适应建议需要由一定的规则进行定义和约束。这里称其为自适应规则,用产生式的形式表示为

IF  $C_M$ , THEN AS

该产生式的条件部分由情境模型  $C_M$  (发挥动

态构件的作用)提供,而行动部分则为具体的自适应方案AS(具体见2.4节表示模型中界面模式的描述),二者之间构成因果逻辑关系。如一条针对手机屏幕界面背景亮度调节的自适应规则为“IF〈电量水平 = ‘低’〉 ∧ 〈环境光照强度 = ‘低’〉, THEN 〈屏幕背景亮度水平 = ‘低’〉”,则表示当手机电量和环境光强均较低时,其屏幕背景亮度也相应调低,以达到节约电量和避免光照刺眼的目的。

在实际应用中,可记录不同情境下用户的交互操作及其对界面的需求信息,建立情境与相应界面之间的映射关系,在此基础上建立决策表,应用粗糙集方法对其进行约简,得到最简形式的自适应规则,并对产生冲突的规则(不同规则其条件部分相同而行动部分不同)进行有效的冲突消解,具体见参考文献[6,9]。

规则库对这些自适应规则进行存贮和管理,在自适应控制器请求下进行相关规则的检索和输出,并根据评价模型的反馈信息对规则进行增加、修改和删除,尽量确保规则利用的准确性和效率。

## 2.4 表示模型

### 2.4.1 模型结构

表示模型(presentation model)对用户界面的组成结构(如窗口组件)及其转换、可视化表示等进行描述与分析。自适应过程中的界面表示变化可视为不同界面模式之间的转换<sup>[10]</sup>。因此,将表示模型建立在界面模式基础之上,作如下定义:

**定义2** 表示模型结构为  $P_M = (I_{MS}, I_{M_i}(t), P(t), k, T)$ , 其中:

$I_{MS}$ 为表示模型所包含的界面模式集合  $I_{MS} = \{I_{M_i} \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ ; 当前时刻  $t$ , AUI的界面被其中一种模式  $I_{M_i}$  主导, 记为  $I_{M_i}(t)$ ;  $P(t)$  为当前时刻界面模式的稳定系数, 当其值小于预置的阈值  $k$  时, 将启动界面的自适应转换执行过程;  $T$  为转换函数, 它决定界面模式转换的速度、时延(确保界面模式的转换平滑、自然)和转换方式(如允许用户在任意时刻自行转换界面)等,  $T$  可根据具体应用进行详细定义。

**定义3** 界面模式表示为一个四元组  $I_M = (ID, UL, IS, IA)$ 。其中:

$ID$  为该界面模式的标示符;  $UL$  表示界面布局, 它描述界面上组件对象的组织架构, 相互之间的空间约束与拓扑关系, 如菜单、工作区的分布关系, 以及窗体之间的嵌套等;  $IS$  为交互风格, 如命令行界

面、图形界面、触摸式界面等;  $IA$  表示界面组件对象集合  $IA = \{\langle o_i, A_i \rangle \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ ,  $o_i$  表示某个对象或某类对象,  $A_i$  为相应的视觉属性和交互属性集合, 视觉属性一般包括位置(对象中心坐标)、大小(屏幕上所占像素数)、透明度(0为正常显示, 100为不可见)、色彩(RGB)等, 而交互属性则包括能否点击、输入、拖拽和缩放等操作特征。

### 2.4.2 界面模式转换

表示模型的主要作用是决定界面模式的转换, 将其定义为

**定义4**  $\exists I_{M_i} \in I_{MS}, I_{M_j} \in I_{MS}$ , 满足  $P(t) < k$  且  $T: I_{M_i}(t) \rightarrow I_{M_j}(t + \Delta t)$ , 称为界面模式转换。

其中  $t$  为界面模式转换前的时刻, 若稳定系数  $P(t)$  小于阈值  $k$ , 在转换函数  $T$  的作用下,  $t$  时刻下的界面模式  $I_{M_i}$  转换为  $\Delta t$  时间间隔之后的界面模式  $I_{M_j}$ 。

在实际应用中, 界面模式的具体转换形式可以分为5类:

- 1) 重构 对界面区域进行组合、分离、分割和链接重置等操作<sup>[11]</sup>;
- 2) 几何变换 对界面组件对象进行缩放、旋转、平移等几何变换操作, 如根据移动设备的特性, 将界面对象以合适的大小、结构表现在显示屏窗口上;
- 3) 替代 界面组件对象的种类、数目、属性等被替代, 如在分辨率低的普通手机上, 图片链接被文字链接所替代;
- 4) 过滤 界面组件对象被过滤, 如一些文本或图片被隐藏, 不再显示于界面上;
- 5) 推送 一些重要的界面组件对象在界面上显示或突出强调, 如图标持续闪烁, 以引起用户注意。

## 2.5 评价模型

AUI不仅要能保证自适应过程在一定程度上减少用户的认知负荷和操作劳动, 还要保证用户接受这一形式, 对自适应服务满意, 在主观体验上不产生厌烦和抵触情绪。这就需要建立一套评价机制, 对用户在使用 AUI 过程中的反馈信息及时收集并进行评价, 作为调整和完善自适应功能的重要依据。

评价模型主要由评价指标与评价函数构成。评价指标又分为显性评价指标和隐性评价指标, 前者根据用户的问卷、打分等显性反馈信息制定, 而后者则根据后台程序对用户的操作行为、绩效等隐性信

息记录制定。具体包括:

显性评价指标:

1) 用户对自适应主观满意度的评分记为  $M_s$ , 在评价函数中的权重为  $w_s$ ;

2) 用户对自适应建议接受程度的评分记为  $M_a$ , 在评价函数中的权重为  $w_a$ ;

3) 用户对自适应必要性的评分记为  $M_n$ , 在评价函数中的权重为  $w_n$ ;

隐性评价指标:

4) 用户开启自适应功能的频度记为  $F_o$ , 在评价函数中的权重为  $w_o$ ;

5) 用户开启自适应功能后平均任务完成时间记为  $T_c$ , 在评价函数中的权重为  $w_c$ ;

6) 用户开启自适应功能后操作出错的频度记为  $F_e$ , 在评价函数中的权重为  $w_e$ ;

7) 用户开启自适应功能后帮助功能的使用频度记为  $F_h$ , 在评价函数中的权重为  $w_h$ 。

在实际应用中,可根据具体情况选取上述指标。进一步定义评价函数。

**定义 5**  $E = (M_s w_s + M_a w_a + M_n w_n + F_o w_o) / (T_c w_c + F_e w_e + F_h w_h)$ 。

其中  $M_s, M_a, M_n$  由系统生成等距量表后根据用户的主观评分统计得到;  $F_o, T_c, F_e, F_h$  是系统通过后台程序记录和统计所得; 权重  $w_s, w_a, w_n, w_o, w_c, w_e, w_h$  可根据具体实验设定,并满足  $w_s + w_a + w_n + w_o + w_c + w_e + w_h = 1$ 。  $M_s, M_a, M_n, F_o$  越高, 评价函数值越大, 说明自适应效果越好; 而  $T_c, F_e, F_h$  越高, 评价函数值就越小, 说明自适应效果越差。若设定一个最小值  $q$  为自适应效果阈值, 当  $E < q$  时, 则说明自适应功能效果欠佳, 增加了用户认知和操作上的难度, 降低了主观满意度, 系统应暂时停止自适应功能, 并进行相应的调整和完善。

此外, 设 AUI 系统在时刻  $t_i$  和  $t_j (t_j > t_i)$  的评价函数值分别为  $E(t_i)$  和  $E(t_j)$ , 令  $m = E(t_j) / E(t_i)$ , 若  $m < 1$ , 则说明自适应功能的效果呈现下降趋势, 系统应适当限制自适应功能; 若  $m \geq 1$ , 则说明自适应功能效果保持平稳或上升趋势, 系统可以继续保持或提升相关的自适应功能。

### 3 应用实例及评估

#### 3.1 手机名片夹 AUI 设计

为验证 CMAUI 模型的可行性与有效性, 基于塞

班手机平台的 S60 系统, 进行名片夹 AUI 的原型设计与开发。传统名片夹仅提供按姓名等固定排序的联系人列表, 用户需进行较多的翻页查找, 即使利用关键字搜索, 用户也需要输入一定的字符, 这在光线较弱或运动、拥挤的环境中(如公交车上), 存在一定操作困难。此外, 有的手机显示已通话号码, 但仅提供有限数目的最近通话联系人列表, 缺乏灵活性。而本文设计的 AUI 能有效根据情境信息(通话地点、时间等)预测用户当前最有可能通话的联系人, 作为推荐名单列表单独显示, 方便用户快速选择, 以提高操作效率。

下面描述 CMAUI 各子模型在其中的具体应用:

根据感知模型采用本地感知和协同感知相结合的策略, 利用 GPS 和无线网络对手机用户通话时的位置信息进行精确定位; 然后采用协同感知的形式, 利用运营商网站上的通话记录获取用户通话的时间段、对方号码等信息。

根据情境模型生成具体的情境信息数据结构, 如一条情境信息可表示为“{<地点, ‘宿舍’>, <通话时间段, ‘中午’>, <联系人, ‘小明’>}”。

根据自适应模型, 设定名片夹自适应策略为“助手”策略, 并设计如图 7 所示的具体交互流程。

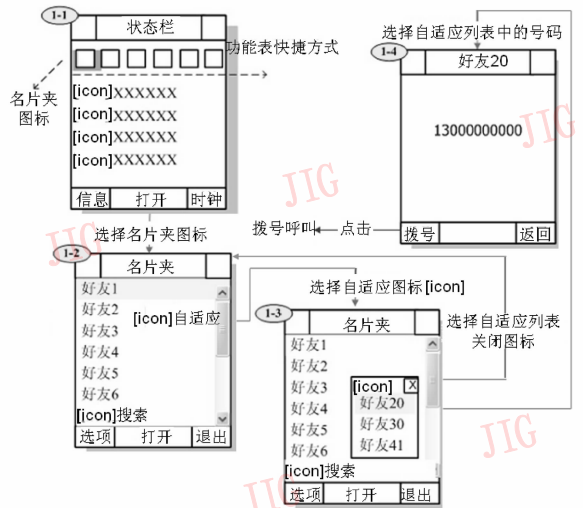


图 7 自适应名片夹的交互设计流程  
Fig. 7 Interaction process of adaptive contact list

系统根据“IF<地点 = ‘宿舍’> ^ <通话时间段 = ‘中午’>, THEN<联系人 = ‘小明’>”之类的自适应规则, 从地点和时间等情境信息预测当前状态下用户最有可能通话的联系人, 将其名单列表单独显示在名片夹界面上, 并提示当前自适应功能的开启与

关闭状态,允许用户随时进行状态切换。

根据表示模型定义名片夹表界面为〈“推荐名单开启模式”,“推荐名单关闭模式”〉。以“推荐名单开启模式”为例,可设为〈ID = “开启”,UL = “嵌套于主界面”,IS = “图形界面”,IA = “〈提示文字:‘推荐已打开’,大小:‘五号字’,‘上方’,‘r:248g:239b:54’,透明度:‘0’〉,〈关闭按钮:‘☒’,大小:

‘10×10 像素’,‘上方’,‘r:255g:255b:255’,透明度:‘0’,‘可点击’〉,〈列表:‘联系人号码’,大小:‘四号字’,‘下方’,‘r:255g:255b:255’,透明度:‘0’〉”,具体视觉形式如图 8(a)所示。

缺省情况下,系统根据自适应规则转换到“推荐名单开启模式”,在用户点击关闭按钮后,将转换到图 8(b)的“推荐名单关闭模式”。



(a) 推荐名单开启



(b) 推荐名单关闭

图 8 自适应名片夹界面

Fig. 8 Adaptive contact list

根据评价模型,显性指标选取主观满意度评分  $M_s$ ,隐性指标记录用户开启推荐名单列表的频度  $F_o$ ,开启推荐名单列表后的联系人号码搜索平均完成时间  $T_c$ 。则最终得到评价函数  $E = (M_s w_s + F_o w_o) / T_c w_c$ ,取  $w_s = 0.3, w_o = 0.3, w_c = 0.4$ 。根据 5 点等距量表(1~5 分,1 分为很不满意,5 分为很满意)得到某用户对自适应推荐列表的满意度  $M_s$  为 4 分;根据后台记录程序得出自适应推荐列表开启频度  $F_o$  为 0.7(开启次数与使用总次数之比),联系人号码搜索平均完成时间  $T_c$  为 6.9 s。则根据公式计算得到  $E = 0.5$ 。若预设自适应效果阈值  $q = 0.4$ ,则此时有  $E > q$ ,说明用户在使用自适应名片夹过程中的效果良好,则系统将保持缺省状态的界面模式为“推荐名单开启模式”。

### 3.2 原型测试与评估

原型系统测试用户共 20 名,均为在校大学生和公司白领,年龄介于 20~30 岁,男性 13 名,女性 7 名,手机平均使用经验为 4.5 年。无色弱,矫正视力 1.0 以上。测试前安排用户阅读实验指导,熟悉任务后进行原型系统的短时试用,然后开始正式测试。测试过程根据用户所处的实际情境进行名片夹联系人列表名单的推荐,选择上午(7:00—11:00)、中午

(11:00—14:00)、下午(14:00—18:00)、晚上(18:00—22:00)4 个时段,确保每名用户在各个时段中至少拨打一次电话,测试过程持续 3 天。同时采取对比实验。为消除学习效应,在每个测试时段中,将 20 名用户随机分成两组,一组先使用普通名片夹,另一组先使用自适应名片夹。

以搜索联系人的平均完成时间(即从用户打开名片夹到点击联系人号码开始拨号)为例,其结果如图 9 所示。

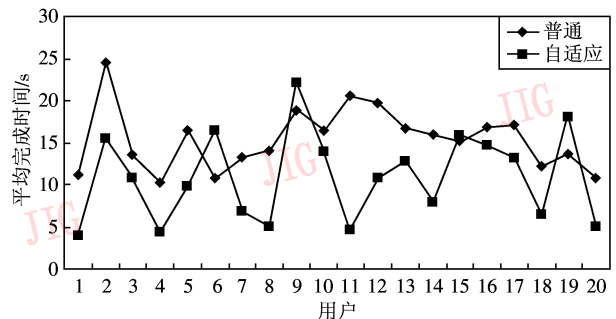


图 9 普通与自适应名片夹搜索任务平均完成时间

Fig. 9 Average search time for contact list

认为搜索平均完成时间服从正态分布,因此可以对两种情况下的数据进行  $t$  检验。设零假设  $H_0$ :普通

名片夹的搜索完成时间不大于自适应名片夹。那么进行  $n = 20, \alpha = 0.05$  的单边检验, 拒绝域为  $t \geq t_{\alpha}$ , 经计算得到  $t = 3.887 > t_{\alpha}(n-1) = t_{0.05}(19) = 1.729$ , 检验统计量落在拒绝域内, 故在  $\alpha = 0.05$  水平下拒绝零假设, 即认为普通名片夹搜索时间大于自适应名片夹, 即表明具有自适应功能的名片夹 AUI 能有效提高用户操作效率。

此外, 通过 5 点等距量表(1~5 分, 1 分为很不满意, 5 分为很满意) 统计得出: 用户在使用普通名片夹和自适应名片夹时的平均主观满意度分别为 3.25 和 4.23 分, 可见自适应名片夹 AUI 还能有效提高用户的主观体验。

## 4 结 论

鉴于手持移动设备的人机交互研究尚缺乏一种较为完备与通用的用户界面模型, 引入自适应交互策略, 对情境感知驱动的移动交互过程进行分析, 建立了以情境感知、情境建模、自适应控制与决策、界面表示、评价为体系的 CMAUI 自适应用户界面模型, 用于指导设计开发人员迅速完成界面设计和原型构建。通过手机名片夹 AUI 应用实例的设计与评估, 验证了该模型的可行性与有效性。

下一步工作将对 CMAUI 模型进行完善和优化, 为模型各部分制定更详细的描述规范。同时, 深入研究模型重用问题, 使其能较好支持手机触控界面、声控界面等新兴移动交互设备的用户界面设计。

## 参考文献 (References)

- [ 1 ] Green M. Report on dialogue specification tools[G]//Pfaff G. User Interface Management Systems. Berlin: Springer Verlag, 1985: 9-20.
- [ 2 ] Dieterich H, Malinowski U, Kühme T, et al. State of the art in adaptive user interfaces[G]//Schneider-Hufschmidt M, Kühme T, Malinowski U. Adaptive User Interfaces-principles and Practice. Amsterdam: North-Holland, Elsevier Science, 1993: 13-48.
- [ 3 ] Xu Lishuang, Zhou Mingjun, Deng Changzhi, et al. A conceptual framework for developing adaptive pen-based user interface[J]. Journal of Software, 2008, 19(10): 2681-2693. [徐礼爽, 周明俊, 邓昌智, 等. 自适应笔式用户界面开发的概念框架[J]. 软件学报, 2008, 19(10): 2681-2693.]
- [ 4 ] Yue Yujuan, Cai Zhongliang, Gong Jianhua. Study on design and test for user model supporting adaptive map visualization[J]. Geography and Geo-Information Science, 2009, 25(5): 21-25. [岳玉娟, 蔡忠亮, 龚建华. 支持地图自适应可视化的用户模型设计及试验研究[J]. 地理与地理信息科学, 2009, 25(5): 21-25.]
- [ 5 ] Eisenstein J, Vanderdonck J, Puerta A. Adapting to mobile contexts with user-interface modeling[C]//Proceedings of the Third IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (Wmcsa'00). Washington, DC: IEEE Computer Society, 2000: 83-92.
- [ 6 ] Cheng Shiwei. Research on Adaptive User Interface Design for Mobile Device Based on Context-awareness[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2009. [程时伟. 基于上下文感知的移动设备自适应用户界面设计研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2009.]
- [ 7 ] Gao Ge. Model Based Adaptive User Interface Development in Mobile Phone[D]. Changsha: Hunan University, 2009. [高歌. 手机自适应用户界面生成与模型构建[D]. 长沙: 湖南大学, 2009.]
- [ 8 ] Dey A K. Understanding and using context[J]. Personal Ubiquitous Computing, 2001, 5(1): 4-7.
- [ 9 ] Cheng Shiwei, Sun Shouqian, Chai Chunlei. Rough sets method of rule reasoning for adaptive human-computer interface[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2008, 20(12): 1623-1629. [程时伟, 孙守迁, 柴春雷. 自适应人机界面规则推理的粗糙集方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2008, 20(12): 1623-1629.]
- [ 10 ] Wu Gang. Research on Model and Implementation Technology for Intelligent and Visual User Interface Management System[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 1996. [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[D]. 杭州: 浙江大学, 1996.]
- [ 11 ] Menkhous G, Pree W. A hybrid approach to adaptive user interface generation[J]. Journal of Computing and Information Technology, 2002, 10(3): 171-179.