

# PIBG Toolkit: 一个笔式界面工具箱的分析与设计

田 丰 秦严严 王晓春 敖 翔 王宏安 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)

**摘 要** PIBG Toolkit 是一个基于 PIBG 交互范式构造而成的笔式应用开发平台. PIBG Toolkit 中包含了纸、框等多种交互组件, 定义了纸、框和内容三个层次之间的静态结构和动态机制. 开发者开发笔式交互系统时, 可以用 PIBG Toolkit 来建立整体的软件框架和交互机制, 并有选择地在系统中添加 Toolkit 中所提供的交互组件. 这样, 开发者的精力将会集中在应用领域的内容上. 目前, 基于该平台已经开发出多个具有很好应用前景的笔式应用系统.

**关键词** 用户界面; 笔式用户界面; 界面范式; 界面工具箱; 组件

中图法分类号 TP311

## Analysis and Design on PIBG Toolkit: A Pen-Based User Interface Toolkit

TIAN Feng QIN Yan-Yan WANG Xiao-Chun AO Xiang WANG Hong-An DAI Guo-Zhong

(Intelligence Engineering Laboratory, Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

**Abstract** Pen-based user interface is one of the main styles in Post-WIMP user interface. It is designed on the pen-paper metaphor that is analogous to the user's real working environment. It is a natural way for recording, communicating and capturing daily experiences. PIBG Toolkit is a pen-based user interface software platform built on PIBG Paradigm. PIBG paradigm is based on Pen-Paper metaphor which is analogous to the user's real working environment. Compared with WIMP paradigm, widget containing application information is changed from Window to Paper and Frame. And user's action is changed from mouse pointing to pen gesture. In PIBG Toolkit, the architecture between Paper, Frame and other interaction widgets is defined. The inner structures of different widgets are also constructed in the toolkit. When PIBG toolkit is used to develop specific pen-based applications, the software architecture and interaction control can be constructed automatically based on the toolkit. Developers can choose various widgets defined in PIBG Toolkit to build their applications. Therefore, developers can put their focus on application domain instead of interaction devices, interaction techniques and other low-level issues. Currently, several applications are built based on PIBG toolkit.

**Keywords** user interface; pen-based user interface; user interface paradigm; user interface toolkit; widget

收稿日期: 2004-06-09; 修改稿收到日期: 2005-04-22. 本课题得到国家“九七三”重点基础研究发展规划项目基金(2002CB312103)、中国科学院软件研究所创新工程重大项目资助. 田 丰, 男, 1976 年生, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为笔式交互、虚拟现实、用户界面工具. E-mail: tf@iel.iscas.ac.cn. 秦严严, 男, 1978 年生, 博士研究生, 主要研究方向为笔式交互. 王晓春, 男, 1976 年生, 博士研究生, 主要研究方向为笔式交互. 敖 翔, 男, 1979 年生, 博士研究生, 主要研究方向为 Ink 计算. 王宏安, 男, 1963 年生, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向为人机交互技术、实时智能. 戴国忠, 男, 1944 年生, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向为人机交互技术、计算机图形学.

## 1 引言

用户界面的发展到现在经历了三个主要的阶段:批处理方式、命令行方式和 WIMP 方式。虽然 WIMP 界面较以前的界面形势而言,具有明显的优点。但随着计算机硬件设备的进步和软件技术的发展,WIMP 界面的缺点逐渐地体现出来。从 20 世纪 90 年代初开始,研究者们将焦点聚集到下一代的用户界面的研究上,提出了 Post-WIMP/Non-WIMP 界面。Green 教授等归纳了 4 种基本的 Non-WIMP 的交互风格:虚拟现实、笔式交互、普适计算和超媒体(Hypermedia)<sup>[1]</sup>。笔式交互是其中一种重要的交互风格,它基于纸笔交互的思想,模拟了人们日常的纸笔工作环境。这种交互方式对人们而言非常自然,同时它也是一种东方文化的完美体现。笔式交互方式可以帮助人们在日常工作中轻松地进行各种文档的处理、思想的捕捉、观点的交流、事件的记录、思维活动的辅助,等等。总而言之,笔式交互方式的研究是帮助人们在保持自然工作方式的同时可以充分利用强大的计算资源。在这种方式下,人们在同计算资源的交流过程中无需大的认知和交互负担,只需要保持原有的工作方式即可。

## 2 相关工作介绍

Igarashi 就纸笔交互环境提出了 Freeform UI 的思想<sup>[2]</sup>。这种交互思想通过建立纸笔环境的界面设计框架,它可分为三个基本的部分:笔画的输入、笔画的处理、结果信息表示。这种思想力图在纸笔交互环境中建立起 Non-Command 交互的方式,但其研究并没有涉及纸笔环境下的交互范式等相关的研究。目前也有一些针对纸笔环境下交互范式的研究成果<sup>[3,4]</sup>,但其研究主要都集中在笔式交互特征的研究上。针对具体界面构造方面的并不多见。

当前,有许多应用可以支持用户使用笔进行勾画的手势操作。在过去,那些应用往往都是在 GUI 中添加笔式交互的功能,从整体界面风格的角度没有采取真正的非正规的、笔式的界面风格。而目前,越来越多的系统采用了这种风格,无论是对笔迹不进行处理<sup>[5~7]</sup>的系统,还是对笔迹进行内部处理而只显示未处理的笔迹的系统<sup>[8~11]</sup>。在这些应用中,包含了一些笔式交互的共同功能<sup>[12]</sup>。包括:将笔交

互原语作为基本的交互原语,通过具体的任务上下文,来分析交互原语的具体用途,是进行 Ink 的输入还是进行手势的操作等;对笔交互原语进行解释的功能,该功能可以对原语进行解释和处理;对笔迹信息以及笔迹生成的其它信息的组织、管理功能等。这些功能都是在整体的笔式界面风格的基础上基本功能的具体体现。但这些功能都是离散的,由各个应用系统分别建立。因此,需要有一个统一的开发环境来支持笔式交互系统的开发。该开发环境根据统一的笔式交互范式来构造,在开发环境中合理地包含这些功能。

目前存在着一些商业化的笔交互开发环境,如 Palm 公司的 Palm OS,微软公司的 Table PC SDK, Apple 公司的 Newton 等。但是这些环境都是建立在传统的图形用户界面的思想之上,添加了一些支持笔交互的功能。从设计上并没有遵循笔式用户界面的思想,没有建立在一种新的笔式交互范式的基础上。因此,用这些开发环境来构造笔式交互系统,只能在图形用户界面上添加一些笔式交互的功能,如手写识别等。从界面特征、交互方式、软件框架等多个方面来看,用这种开发环境构造的应用与真正的笔交互应用而言有很大的区别。同时也无法做到功能的良好扩展。

SATIN<sup>[12]</sup>是一个较为成功的笔式交互开发平台,基于 SATIN 已经开发出一些著名的笔交互系统,如 DENIM<sup>[13]</sup>,SketchySPICE 等<sup>[12]</sup>。从设计角度来看,SATIN 力图将目前笔式交互系统中需要的功能封装起来,用于支持笔式交互系统的开发。但 SATIN 并没有考虑一些基本的笔式交互特征,同时整个平台的构造缺少统一的笔式交互范式来指导。

## 3 笔式交互范式的分析和研究

笔式用户界面与传统的用户界面有着很大的不同。首先,人同计算机之间的交互方式不再模拟桌面环境,而是模拟人在纸笔环境下进行交互。与 WIMP 交互方式相比,界面的隐喻(Metaphor)由桌面环境(Desktop)变为纸笔环境(Pen/Paper)。在 Pen/Paper 隐喻下,WIMP 交互范式已变得不再适用。其次,由于笔式交互同基于鼠标和键盘的交互相比具有信息连续性、信息多维性、交互隐含性等新的特征,如何在新的交互范式中利用这些新的交互特征也是需要研究的问题。

针对这两个方面,我们提出了 PIBG 交互范式<sup>[14]</sup>. PIBG 范式采用 Pen/Paper 隐喻,模拟人们数千年来形成并熟悉的纸笔交互环境来构造笔式用户界面.从信息呈现和交互方式两个方面有了根本性的改变, $P, I, B, G$  分别与 WIMP 范式的  $W, I, M, P$  相对应.在 PIBG 范式中,承载应用信息的交互组件由窗口(window)变为物理对象(physical object), $P$  是这一类交互组件的统称,主要包括 Paper 和 Frame 两类交互组件. $I, B$  表示此范式中与具体语义无关的直接操纵组件, $I$  是 Icon,  $B$  是 Button.在此范式中摒弃了 Menu 类的交互组件,尽量多地使用 Icon 和 Button,这样可以大大增加直接操纵在整个交互方式中的比例,提高系统的操作效率. $G$  表示 Gesture,是指此范式中所采用的主要的交互方式.与 WIMP 交互方式比较,用户的交互动作由鼠标的点击(pointing)变为笔的 Gesture. PIBG 范式并没有在各个方面完全替代 WIMP 范式,它保留了 Icon, Button 等直接操纵组件.

Gesture 是 PIBG 范式中用户同界面交互的主要方式,用户通过 Gesture 来对纸、框或其它组件以及框中的特定内容进行处理.基于 Gesture 的交互方式同样模仿了人们千百年来在纸上用笔进行交互的方式,可以减轻用户对交互方式的认知负担,减少用户的训练时间,提高操作效率.同时,基于 Gesture 的交互方式通过笔在特定的信息上进行直接操纵.这种方式与 WIMP 范式下利用菜单、按钮等交互组件的方式不同.这种方式不需要用户关注任务的执行过程,避免了所关注的焦点发生变化,从

而能减轻用户的认知负担,提高操作效率.

## 4 PIBG Toolkit 体系结构设计

PIBG Toolkit 是一个基于 PIBG 交互范式思想构造而成的笔式应用的开发平台.开发者可以利用 PIBG Toolkit 来轻松地构造笔式应用. PIBG Toolkit 总体的软件体系结构设计为一种多代理结构.在这种结构中,每一种交互组件,如纸、框等,都是一种具有定智能的代理.它可以根据自己所具有的知识动态地分析用户的输入,根据当前的上下文的知识进行处理.同时,它还可以接受用户的主动介入来更改自己的处理结果.此外,代理之间可以通过发送高级的笔交互原语来进行通信.

在此软件体系结构中,我们可以按照粒度不同分成三个层次:纸、框、内容.纸、框和特定的内容模块都可以看成是一个代理.同时它们之间是相互包含的关系.纸中包含框、框中包含相应的内容.在使用 PIBG Toolkit 时,系统会自动构造这样的三层体系结构和各个层次之间的静态组织和动态联系.这样,程序员在使用 PIBG Toolkit 时,就可以不用在建立系统的软件体系结构上花费精力,而将重点放在具体的应用语义的实现上.

对于笔式交互任务的生成,我们可以用分层的方式来设计统一的任务生成框架.此框架可以用来构造笔式交互的核心模块.此框架共有四个层次:硬件层、交互信息产生层、交互原语构造层和交互任务构造层,如图 1 所示.

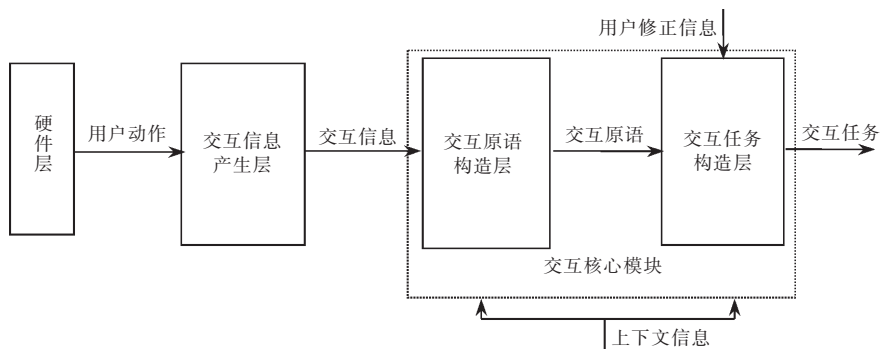


图 1 笔式交互任务的产生框架

在硬件层部分,用户为了达到交互的目的,通过交互设备产生了一定的交互动作.这些交互动作是依赖于所使用的交互设备的,交互设备的不同决定了交互动作的不同.比如为了执行对象选择这样的交互任务,用户可通过笔产生一个动作.同时用户的

交互动作和硬件设备的选择也与所采用的交互技术相关.在不同的交互技术中,同一种交互设备在执行同一个交互任务时可以产生不同的交互动作.交互信息产生层用来捕捉交互动作的执行过程中所产生的交互信息,并将它转化为计算机可表示的数据.所

产生的数据是与硬件设备相关的. 在执行同一种交互任务时, 用户使用不同的交互设备产生了不同的交互动作, 相应地转化为不同表示形式的交互信息, 但这些交互信息所表示的内容是一致的. 交互原语构造层用来将各种交互信息转变成特定类型的交互原语: Stroke, Tap 等. 因此, 在交互原语构造层必须能够识别各种设备所产生的各种类型的交互信息, 并将它们转变为预先定义好的某种类型的交互原语. 由于交互信息是与硬件相关的, 随着硬件的不断发展, 所产生的交互信息也在不断变化. 因此, 我们将交互原语构造层设计为可扩充的结构. 在硬件和交互信息增加时, 我们可以产生新的构造子模块来分析这些新的交互信息, 产生交互原语, 而交互原语是不会发生变化的. 交互任务构造层用来根据上下文, 将交互原语整合为特定的交互任务.

笔式交互任务构造器核心是一个原语解释装置, 如图 2 所示. 此原语解释装置中的原语控制器首先接收到交互原语产生层所产生的交互原语. 接着, 原语控制器分析该原语是否为当前交互组件接收, 若不是, 则直接将交互原语发送到其它交互组件. 同

时, 原语控制器也可以接收由其它组件发来的交互原语. 接下来, 原语控制器将交互原语发给任务整合器进行原语的整合工作. 在任务的整合过程中, 任务整合器需要利用手势识别模块来进行原语的解释工作. 同时, 任务整合器还需要参照当前的上下文信息来辅助任务的构造过程. 同时, 在原语解释完成后, 用户可以根据实际情况来调整原语的解释结果.

### 5 PIBG Toolkit 的组件结构设计

下面我们来介绍一下 PIBG 范式中的基本组件: Paper 和 Frame. Paper 的结构如图 3 所示. 它由四个主要的模块组成. 框管理模块负责管理 Paper 中的各种框, 包括框的生成、删除、框之间的叠放关系和激活关系管理(在纸中, 各种框不仅有在 Paper 平面坐标系中的位置, 还有相应的 Z 值, Z 值越大的框位置越靠上, 用户所交互的框是当前笔信息所在点 Z 值最大的框)、一组框的操作等. 信息分发装置用来接收用户所产生的笔交互信息, 根据当前所管理的组件的激活状态进行操作, 如果有被激活的组件(或一组组件), 就将交互信息发给相应的组件(或一组组件), 由相应的组件来处理该交互信息. 若当前没有被激活的组件, 则由纸自己处理交互信息. 首先将交互信息发送给自身的原语产生装置, 此装置负责产生四种类型的笔交互原语, 并在此过程中进行相应的词法反馈. 在原语产生装置产生交互原语后, 原语处理装置负责分析得到的交互原语, 执行语法层和语义层的处理. 如果发现本组件并不处理此交互原语, 则将此原语发送给其它相关的组件(如框发送给纸等). 因此在此通信模式下, 当前活动的组件负责接收消息, 进行消息处理. 组件之间的通信一般都通过发送高层的原语来进行. 同时, 在原语处理

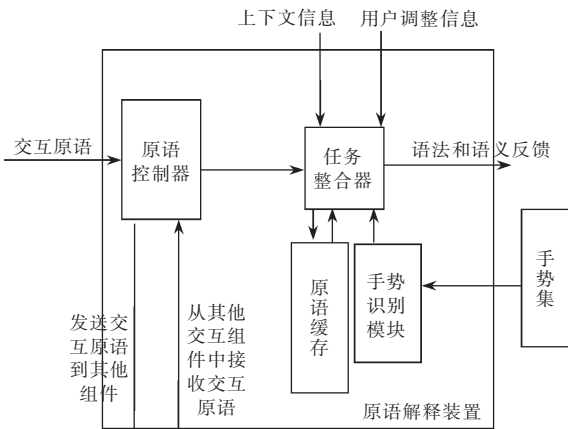


图 2 笔交互任务的生成过程

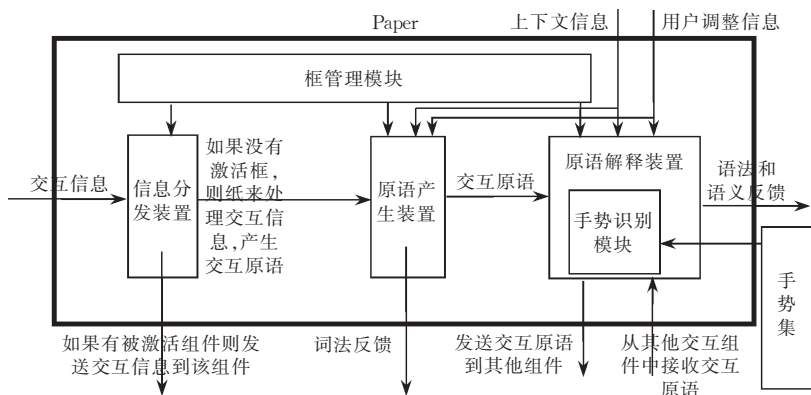


图 3 Paper 的基本结构

装置中包含了手势识别模块,这是一个在整个平台中通用的模块.不同的组件都可以使用此模块进行手势的识别.原语解释装置负责解释这些原语,并执行相应的操作.在原语解释装置中包含有一个手势识别模块.此模块可以对用户输入的交互原语进行识别,它通过基于统计的模式识别方法,与一个公用的手势集进行匹配,得出相应的手势.同时,原语解释装置根据当前的交互上下文,可以发送交互原语到其它的交互组件,也可以从其它交互组件那里接收交互原语.

Paper 可以看成是管理各种组件的一个容器,而 Frame 则是用来管理数据的组件.每一种框都

与一种类型的数据相对应. Frame 的主要结构和 Paper 是一致的,减少了原语分发装置和框管理模块,增加了框属性管理模块和框内特定内容管理模块.框接收到交互信息后,由原语产生装置进行分析,此装置与 Paper 的是一致的.生成交互原语后由原语解释装置进行相应的解释,原语解释装置的结构和功能同 Paper 中的一致.框属性管理模块用来管理框自身的属性,如大小、位置、背景和框颜色等.框内特定内容管理模块在不同类型的框中是不一样的,它用来管理各种类型的数据,如文本、Ink、数学公式、三角符号、图片等.框的结构如图 4 所示.

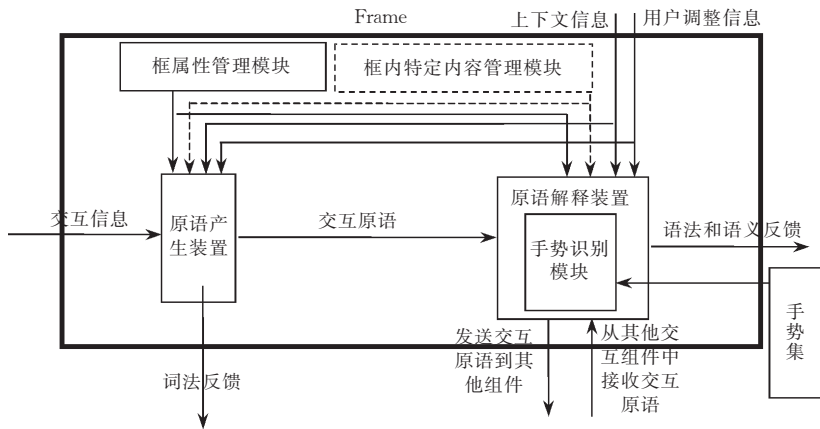


图 4 Frame 的基本结构

## 6 基于 PIBG Toolkit 的应用构造

利用 PIBG Toolkit,可以方便地构造各种笔式交互系统.目前利用 PIBG Toolkit 已经开发出多个具有良好应用前景的笔式交互系统.

笔式电子教学系统是基于 PIBG Toolkit 构造的一个面向教师的应用系统套件.此系统面向普教、职教和幼教领域,是一种完全基于笔的电子备课和授课系统.备课系统实现包括文字、图片、图形、自由勾画和其它多媒体文件的输入和编辑;授课系统根据教学过程中的特征需求而设计,用户在教学过程中,采用电子笔在电子白板上直接操作计算机,在课件的放映过程中,直接书写、即时交互、即兴标注、自由勾画;使课堂教学丰富多彩,提高教学效率,提升教学效果,实现传统教学方式到计算机多媒体教学的平滑过渡.

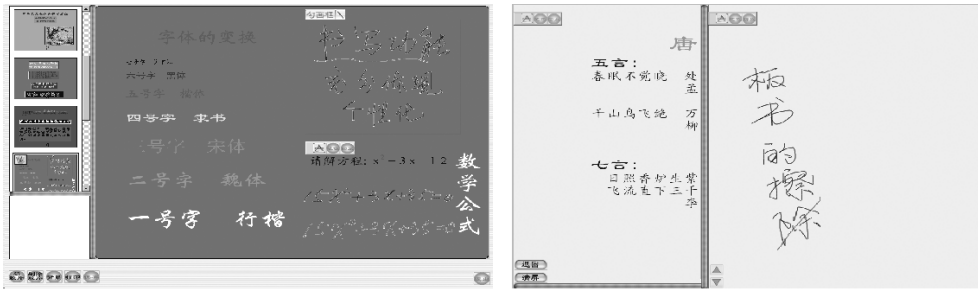
基于数字笔的科学跳水训练管理系统是专门为国家跳水队设计制作的训练辅助系统.该系统采用

笔式交互方式,灵活方便地辅助教练员为队员制定训练计划、记录队员的训练成绩、对训练计划和训练质量进行分析统计,进行人员管理.利用该系统,教练员可以对运动员的训练情况进行有效跟踪,为教练员完成计划的制定提供科学的辅助决策功能.

笔式数学公式计算器为用户在计算设备上提供自然而新颖的输入方式——手写公式输入.用户可以像使用普通的笔和纸一样,自由地手写输入公式,系统智能化地将用户手写公式输入识别成标准公式格式,使得公式输入高效、自然.同时系统具有上下文感知的特性,可以根据用户新输入的符号,调整以前的识别结果.

## 7 结 论

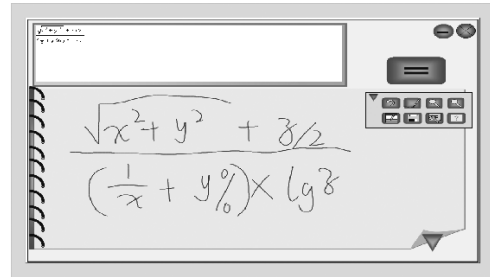
在笔式交互范式分析和研究的基础上,本文构造了一种新的笔式界面工具箱:PIBG Toolkit,用来支持笔式应用的快速构造和开发.PIBG Toolkit 中包含了纸、框等多种交互组件,定义了纸、框和内容



(a) 笔式电子教学系统



(b) 基于数字笔的科学跳水训练管理系统



(c) 笔式数学公式计算器

图 5 基于 PIBG Toolkit 构造的应用系统

三个层次之间的静态结构和动态机制. 开发者开发笔式交互系统时, 可以用 PIBG Toolkit 来建立整体的软件框架和交互机制, 并有选择地在系统中添加 Toolkit 中所提供的交互组件. 基于该平台已经开发出多个具有良好应用前景的笔式交互系统. 以 PIBG Toolkit 为基础, 下一步我们将考虑实现一个笔式界面设计和生成工具, 从而能实现更加高效、自然、快速的笔式界面软件的设计开发工作.

### 参 考 文 献

- Green M., Jacob R. J. K.. Software architectures and metaphors for Non-WIMP user interfaces. *Computer Graphics*, 1991, 25(3): 229~235
- Igarashi Takeo. Freeform user interfaces for graphical computing[Ph. D. dissertation]. Graduate School of Information Engineering, University of Tokyo, Tokyo, Japan, 1999
- Moran T. P., Chiu P. *et al.*. Implicit structures for pen-based systems within a freeform interaction paradigm. In: *Proceedings of CHI'95*, Denver, Colorado, USA, 1995, 487~494
- Ehnes J., Knöpfle C., Unbescheiden M.. The pen and paper paradigm supporting multiple users on the virtual table. In: *Proceedings of VR'01*, Yokohama, Japan, 2001, 157~164
- Davis R. C. *et al.*. NotePals: Lightweight note sharing by the group, for the group. In: *Proceedings of CHI '99*, Pittsburgh, PA., USA, 1999, 338~345
- Schilit B. N., Golovchinsky G., Price M. N.. Beyond paper: Supporting active reading with free form digital ink annotations. In: *Proceedings of CHI '98*, Los Angeles, CA, USA,

- 1998, 249~256
- 7 van de Kant M. *et al.*. PatchWork: A software tool for early design. In: *Proceedings of CHI'99*, Los Angeles, CA, USA, 1999, 221~222
- 8 Gross M. D., Do E. Y.. Ambiguous intentions: A paper-like interface for creative design. In: *Proceedings of UIST'96*, Seattle, WA, USA, 1996, 183~192
- 9 Landay J. A., Myers B. A.. Interactive sketching for the early stages of user interface design. In: *Proceedings of CHI'95*, Denver, Colorado, USA, 1995, 43~50
- 10 Moran T. P., Chiu P., van Melle W.. Pen-based interaction techniques for organizing material on an electronic whiteboard. In: *Proceedings of UIST '97*, Banff, Alberta, Canada, 1997, 45~54
- 11 Saund E., Moran T. P.. A perceptually-supported sketch editor. In: *Proceedings of UIST'94*, Marina del Rey, CA, USA, 1994, 175~184
- 12 Hong J., Landay J. A.. SATIN: A toolkit for informal ink-based applications. In: *Proceedings of UIST'00*, San Diego, CA, USA, 2000, 63~72
- 13 Lin J., Newman M., Hong J., Landay J. A.. DENIM: Finding a tighter fit between tools and practice for web site design. In: *Proceedings of CHI'2000 Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2000, 510~517
- 14 Tian Feng, Mu Shu, Dai Guo-Zhong, Wang Hong-An. Research on a pen-based interaction paradigm in Post-WIMP environment. *Chinese Journal of Computers*, 2004, 27(7): 977~984 (in Chinese)

(田 丰,牟 书,戴国忠,王宏安. Post-WIMP 环境下笔式交互范式的研究. *计算机学报*, 2004, 27(7): 977~984)



**TIAN Feng**, born in 1976, Ph. D. .

His major research interests include pen-based interaction, virtual reality, user interface tools.

His major research interest is pen-based interaction.

**AO Xiang**, born in 1979, Ph. D. candidate. His major research interest is ink computing.

**WANG Hong-An**, born in 1963, professor and Ph. D. supervisor. His major research interests include human-computer interaction, real-time artificial intelligence.

**DAI Guo-Zhong**, born in 1944, professor and Ph. D. supervisor. His major research interests include human-computer interaction, computer graphics.

**QIN Yan-Yan**, born in 1978, Ph. D. candidate. His major research interest is pen-based interaction.

**WANG Xiao-Chun**, born in 1976, Ph. D. candidate.

## Background

This research is part of the project named Research on Pen-based Interactive System and Its Applications in Personal Office Environment, which is supported by Key Innovation Project from Institute of Software, Chinese Academy of Sciences. The project is focused on Pen-based user interface software field. The research content includes scenario-based design, software architecture, user interface toolkit, user interface design tool, and usability evaluation of pen-based software.

This research is supported by the National Basic Re-

search Program of China (973 Program) under grant No. 2002CB312103; Theory and Method of Natural and Harmonious Human-Computer Interaction. This project is focused on the important theories and methods of next generation user interface, especially related to virtual reality. The research about PIBG Toolkit is partly based on the research of this project, and the research result of PIBG Toolkit can be applied in the project for future research on pen-based 3D interaction, etc.