

# 基于多通道交互技术的计算机辅助需求分析系统的研发

刘喆 李智

(广西师范大学计算机科学与信息工程学院 桂林 541004)

**摘要** 近年来,人机交互向着认知系统方向发展,以便提供自然与有效的交互原则。认知系统依靠来自多个传感器的数据的处理和融合算法的结合,通过动态地适应外界环境来改善人机交互体验。本原型作品在现有的面向问题的计算机辅助软件需求工程(Computer-Aided Requirements Engineering, CARE)工具的基础上,以及在人机交互理论和设计原则的指导下,针对需求展示的场合,提出了一种基于手势操作的交互方式,并在追踪识别手势的过程中运用多通道技术辅助追踪,从而大大加快了追踪与识别的速度,提高了精确度,提供了更好的用户体验。

**关键词** 人机交互,多通道交互技术,手势识别,计算机辅助需求工程(CARE),问题框架

**中图分类号** TP311 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2017.04.039

## Research and Development of Computer-aided Requirements Engineering Tool Based on Multi-modal Interaction Technologies

LIU Zhe LI Zhi

(College of Computer Science and Information Technology, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China)

**Abstract** Human-computer interaction is developing towards building cognitive systems in order to provide natural and effective interaction experience. By relying on data processing and data fusion algorithms from various sensors, cognitive systems can dynamically adapt to external environment to improve human-computer interaction experience. This paper proposed a natural way of human-computer interaction based on gesture operations in order to cater for particular kinds of usage scenarios of a computer-aided requirements engineering (CARE) tool, which makes further improvement on an existing problem-oriented CARE tool, under the principle and theory of human-computer interactions. A tracing method assisted by multi-modal techniques is applied in the gesture recognition process, which makes significant enhancement to the speed and accuracy of tracing and recognition, thus providing better user experience.

**Keywords** Human-computer interaction, Multi-modal interaction technology, Gesture recognition, Computer-aided requirements engineering(CARE), Problem frames(PF)

## 1 引言

问题框架方法是由软件工程领域著名学者迈克尔·杰克逊(Michael A. Jackson)教授提出的一种软件开发方法<sup>[1-2]</sup>。该方法中软件的问题源于现实世界,主要利用软件系统对现实世界进行刻画,使用现实世界相关领域的描述来表达需求的含义<sup>[2]</sup>。文献[3]基于问题框架的理论,设计并开发了一款计算机辅助软件需求分析工具,该工具在软件开发项目中为系统分析师对需求进行分析、建模等提供了有力支撑。文献[4]在功能易用性方面对上述的计算机辅助软件需求分析工具进行了扩展。在使用上述工具的过程中,整体需求设计完毕后需向程序员或者客户进行讲解展示,在讲解展示时使用传统的鼠标操作具有一定局限性,如大部分演讲者讲解 PPT

时使用翻页笔对 PPT 进行控制,但翻页笔的功能十分有限。因此使用上述工具展示、讲解需求时的人机交互体验有待提高,特别是多通道的交互模式。本文针对上述不足,提出一种拟人化的自然交互方式,即采用手势进行操作。

人机交互(HCI)指连接人类和机器的技术,或者说它是一个硬件和软件组建的系统,允许人类输入和接收来自计算机的结果。一个典型的人机交互系统如图1所示。当一个人希望与计算机交互时,必须将其思想转化为具体的行为,这些行为通过输入设备被送到机器;计算机识别用户的行为,解码这些行为进入一个任务,并执行任务;所执行的任务结果以一个适当的格式(如文本、图像、视频、声音等)通过输出设备传达给用户;用户能够通过其感觉器官来感知结果<sup>[5]</sup>。

到稿日期:2015-11-30 返修日期:2016-02-27 本文受国家自然科学基金(61262004),广西自然科学基金(2012GXNSFCA053010),广西科学研究与技术开发计划项目(桂科合 1347004-22),2013 年度广西高等教育教学改革工程项目(2013JG121),广西多源信息挖掘与安全重点实验室开放基金(14-A-03-01),“八桂学者”工程专项经费资助。

刘喆(1991-),男,硕士生,主要研究方向为软件需求工程、人机交互, E-mail: liuzhe910422@163.com; 李智(1969-),男,博士,教授,主要研究方向为软件需求工程、经验软件工程和软件测试, E-mail: zhili@gxnu.edu.cn(通信作者)。

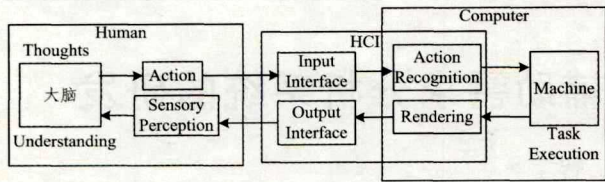


图1 典型的人机交互系统

多通道交互技术提供了一种强大、透明和高效的人机交互接口。Sharon Oviatt 提出了一个更加明确的定义:多通道交互技术可以协调处理多种自然输入模式,如语音、触摸、手势、眼神和身体运动<sup>[6]</sup>。多媒体与多通道的区别在于,前者主要传送文字、图片声音和影像等,而后者为人提供知觉上的通道<sup>[7]</sup>。多通道交互系统可以使用独立、混合的甚至紧密耦合的多种交互方式。

本原型工具作品是基于问题框架方法的计算机辅助需求工程(Computer-Aided Requirements Engineering, CARE)工具,针对展示需求的场合而提出的一种基于手势操作的交互方式。在识别追踪手势的过程中结合智能传感器并运用多通道的技术来提高识别的速度与精确度,从而改善交互的用户体验。

## 2 自定义的手势

手势是一种非语言形式的交流方式,通常被人类用来代替言语交际,其作为一种自然的交互方式,可以被记录和分析<sup>[8]</sup>。已存在多种方式对手势进行记录分析,随着技术的进步,现在可以实现通过远距离非接触的方式获取和处理手势,而不需要任何近距离接触。无约束的非接触式手势界面的关键组件是摄像头、软件跟踪及需要识别和理解的手势。目前单纯采用摄像头识别追踪手势存在较多不足,由于用户的手指相对较小且复杂,因此当用户握拳或者旋转时其会从软件视图中消失<sup>[9]</sup>,大大降低了手势识别的准确性,影响了体验。

通过对文献[4]中的计算机辅助需求工程工具的用户行为进行分析发现,用户主要有单击选择某一个控件、双击打开控件的属性以及移动控件的动作。考虑到主要展示因果关系的变化以及各种空间之间的关系,对需求修改的情况不多,在设计手势时无需考虑键盘的响应时间。

主要存在如下手势:

1)移动手势,如图2所示。大多数人在展示方案的过程中强调重点时,会用该手势指出重点的地方。使用该手势上下左右移动即可使得屏幕上的鼠标进行移动,以提示观众注意的重点。



图2 移动手势

2)选中手势,如图3所示。大多数人在点击鼠标时习惯采用食指按下,因此在该手势下可以模拟鼠标的单击事件,在展示讲解时使用该手势可以选中某一个控件对其进行讲解或者为其以后的变化因果关系做准备。

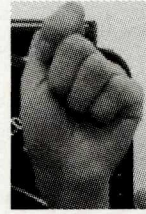


图3 单击手势

3)打开手势,如图4所示。当选中某个控件时伸出5个手指代表打开该控件的属性以供观众查看。



图4 打开手势

## 3 智能传感器的设计

### 3.1 惯性导航系统概述

惯性导航系统由惯性传感器与处理器构成,惯性传感器负责采集物体的运动方向以及各个方向的加速度,处理器负责处理信息以获取物体在三维空间内的坐标。惯性导航系统在工作时利用自己的特性即可获取空间的坐标信息,在获取空间信息的同时不易受外界干扰,因此利用惯性导航系统采集空间中的三维坐标是非常稳定的<sup>[10]</sup>。

### 3.2 惯性导航系统的硬件设计

该传感器主要由两部分构成:发送端和接收端。发送端与接收端通过无线进行数据通信。

发送端主要由微处理器、陀螺仪传感器与蓝牙发射模块构成,如图5所示。发射端的主要作用是将传感器绑在手臂上,实时监测手臂在空间中的运行轨迹,然后通过无线传输的方式将其发送到接收端。发送端的微处理器采用STM32系列的单片机,其针对高性能、低成本的嵌入式场合而设计,采用32位Cortex-M3 CPU,最高工作频率为72MHz,1.25 DMIPS/MHz,具有强大的计算功能,完全满足了系统的计算需求。陀螺仪传感器采用MPU6050六轴运动处理传感器,其集成了MEMS陀螺仪、加速度传感器,可测范围为 $\pm 250^\circ/\text{s}$ ,  $\pm 500^\circ/\text{s}$ ,  $\pm 1000^\circ/\text{s}$ ,  $\pm 2000^\circ/\text{s}$ (DPS),加速度计可测范围为 $\pm 2g$ ,  $\pm 4g$ ,  $\pm 8g$ ,  $\pm 16g$ ,完全满足了系统的精度要求。

接收端的主要功能是接收发送端传输的数据,并通过USB接口发送到PC机上,如图6所示。接收端主控芯片依

然采用 STM32 单片机,全新 STM32 互联型系列微控制器增加一个全速 USB(OTG)接口,使终端产品在连接另一个 USB 设备时既可以充当 USB 主机又可充当 USB 从机;用硬件实现这个协议可降低 CPU 开销,提高实时应用和联网设备同步通信的响应速度。通过单片机处理蓝牙模块接收到的数据之后将其发送到 USB 接口上从而控制主机。

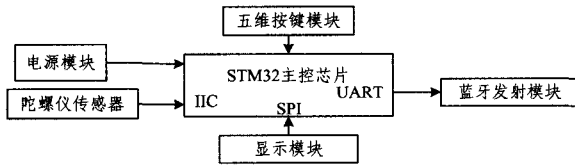


图 5 发送端硬件组成

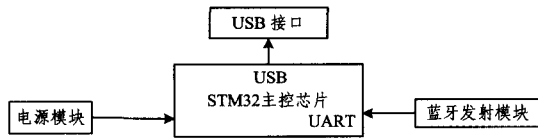


图 6 接收端硬件组成示意图

### 3.3 基于加速度的空间定位模型

由牛顿定律可知,以二重积分的方式根据物体的加速度即可求出物体在空间中的位移。在求手臂空间坐标时,连续检测物体各个方向角的加速度,然后对其进行积分运算即可求出目标物体在空间中的坐标。

加速度传感器对外输出的是一组离散的数据,由采样原理可知在足够短的时间内进行连续不断的采样可在采样的时间间隔内近似成一条直线,即可得出目标物体在空间中的运行轨迹。

## 4 多通道融合

在本原型作品中,惯性导航系统作为交互接口的一个通道,摄像头作为另外一个通道。将利用惯性导航系统获取的三维空间坐标融入到摄像头的坐标系中,以指导摄像头对某一确定的区域进行跟踪,从而使摄像头的追踪识别更加快速准确。

### 4.1 利用多通道技术改进追踪方式

针对单纯依靠摄像头进行追踪识别的方案,本原型作品提出了如下改进:1)针对跟踪的精确度,采用惯性导航传感器辅助摄像头进行追踪,其受外界的干扰因素较少,具有很高的稳定性,将其空间坐标转换为摄像头的坐标,即可实现对用户手势的跟踪。2)针对识别的精度,以惯性导航传感器的坐标为中心,根据其离摄像头的距离来确定识别图像区域的大小,以避免在整幅图像中进行搜索,大大降低了识别的复杂度,提高了识别手势的精度。

### 4.2 惯性导航系统的坐标与摄像头坐标的转换

摄像机的成像模型是指三维空间的物体到像平面的投影关系,理想的投影成像模型是光学中的中心投影(即针孔模型),如图 7 所示<sup>[11]</sup>。

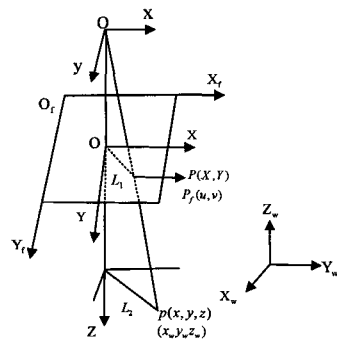


图 7 坐标系转换关系图

世界坐标系( $X_w, Y_w, Z_w$ )为现实世界的坐标系,即用户的空间坐标系,手掌就是在此空间内运动的。摄像机坐标( $x, o, y$ )为以摄像机的焦点为原点而建立的三维坐标系。图像坐标系是在计算机屏幕上以像素点为单位的平面直角坐标系。世界坐标与摄像机坐标之间的转换关系如下:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & T \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, $T$  是世界坐标系原点,矩阵  $R$  是正交旋转矩阵。 $R$  满足的约束条件如下:

$$\begin{aligned} r_{11}^2 + r_{12}^2 + r_{13}^2 &= 1 \\ r_{21}^2 + r_{22}^2 + r_{23}^2 &= 1 \\ r_{31}^2 + r_{32}^2 + r_{33}^2 &= 1 \end{aligned} \quad (2)$$

摄像机中的坐标转换为图像中的坐标:

$$\begin{cases} X = f_x/z \\ Y = f_y/z \end{cases} \quad (3)$$

将式(3)进行变化得:

$$\begin{cases} u - u_0 = X/d_x = s_x X \\ v - v_0 = Y/d_y = s_y Y \end{cases} \quad (4)$$

其中, $u_0, v_0$  是图像中心坐标, $d_x, d_y$  分别表示屏幕上的一个像素在水平方向与竖直方向的物理尺寸, $s_x = \frac{1}{d_x}, s_y = \frac{1}{d_y}$  分表示水平方向与竖直方向上单位长度的像素个数。

所以最终的转换关系为:

$$\begin{cases} u - u_0 = f s_x x/z = f_x x/z \\ v - v_0 = f s_y y/z = f_y y/z \end{cases} \quad (5)$$

其中, $f_x, f_y$  分别是水平方向与竖直方向的等效焦距。

综上所述,通过对相机坐标与图像坐标的建模,将惯性导航传感器的空间坐标带入上述的公式,即可求出惯性导航传感器在图像中的像素坐标。

### 4.3 图像区域的自适应调节

在识别与追踪手势时大多是从摄像头采集的一整张图像中进行搜索匹配,但真正的手势在图像中又占很少的一部分,这样大大浪费了计算的时间,且抗干扰性不强。如图 8 所示,真正识别处理的区域在方框中。



图8 手势识别区域

本原型作品利用惯性导航传感器,通过真实世界与图像之间的坐标关系来准确、动态地调整识别区域的大小以及位置。

在追踪之前需要对位置信息进行定位。在屏幕上初始化一个识别区域,将手掌置于摄像头前方,当手掌刚好铺满识别区域时,开始对手势进行追踪。

根据摄像机成像的原理形成空间映射图,如图9所示, $M$ 为惯性导航传感器的中心位置,平面 $I$ 为成像平面,也即屏幕 $m$ 是惯性导航传感器中心点 $M$ 在平面 $I$ 的映射,矩形 $II$ 是以 $m$ 为中心点在平面 $I$ 上初始化的识别区域。根据坐标的转换关系,当手势离摄像头较近时就将识别的区域放大,当手势离摄像头较远时就将识别区域缩小,以减少系统的识别计算量,加快识别速度。

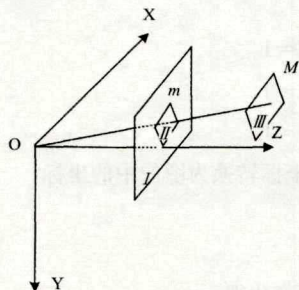


图9 空间映射图

## 5 原型工具功能介绍

本原型作品建立在文献[3]的基础上,为问题建模及其可视化变换工具提供了问题图建模以及问题变换的功能。采用该工具对胰岛素泵控制系统进行刻画,如图10所示。

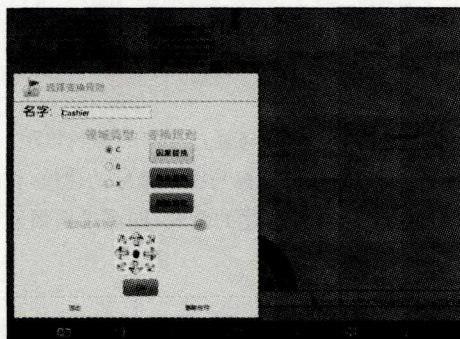


图10 可视化变换工具

图11示出了惯性导航的硬件部分,该硬件部分设计成长方形的窄条形式以方便在手上固定。

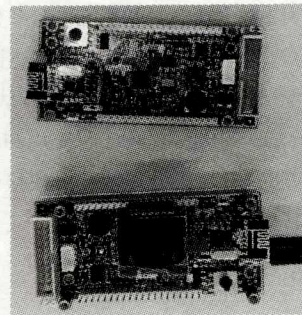


图11 惯性导航系统硬件

图12示出了展示需求的人员可以通过手势配合惯性导航传感器对该工具实现远距离的控制,远程实现选中某一控件、对因果关系进行变化以及查看相关属性等。

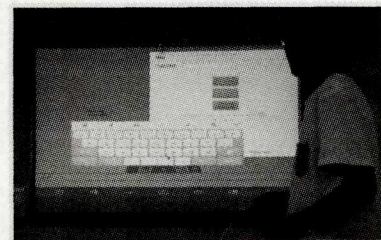


图12 展示需求

**结束语** 本原型作品根据计算机辅助需求分析系统的展示需求的场合,提出一种基于手势操作的自然交互方式,并根据人机交互的可用性原则对当前手势识别与追踪所存在的不足提出了利用多通道的技术进行改进,从而大大改善了人机交互的体验。

## 参考文献

- [1] JACKSON M. Software requirements and specifications; a lexicon of principles, practices and prejudices[M]. Boston: Addison-Wesley, 1995.
- [2] JACKSON M. Problem frames; analyzing and structuring software development problems [M]. Boston: Addison-Wesley, 2001.
- [3] LIU G Y, WAN G H, PANG L, et al. Research and Development of Computer-aided Requirements Engineering Tool Based on Problem Frames[J]. Computer Science, 2014, 41(11): 137-168. (in Chinese)  
刘国源, 万光海, 庞柳, 等. 基于问题框架的计算机辅助需求工程工具的研发[J]. 计算机科学, 2014, 41(11): 137-168.
- [4] HE Z H, LI Z. Research and Development of Computer-aided Requirements Analysis Tool Based on Human-computer Interaction[J]. Computer Science, 2015, 42(12): 181-194. (in Chinese)  
何正海, 李智. 基于人机交互的计算机辅助软件需求分析工具的研发[J]. 计算机科学, 2015, 42(12): 181-194.
- [5] NANDAKUMAR K, FUNK J L. Understanding the timing of economic feasibility: The case of input interfaces for human-computer interaction[J]. Technology in Society, 2015, 25(1): 33-49.
- [6] VERTEGAAL R. Attentive User Interfaces[J]. Communica-

tions of the ACM, 2003, 46(3):30-33.

- [7] OVIATT S, DARRELL T, FLICKNER M. Multimodal Interfaces That Flex, Adapt, and Persist[J]. Communications of the ACM, 2004, 47(1):30-33.
- [8] SONG Y, DAVIS R. Continuous body and hand gesture recognition for natural human-computer interaction[C]//International Conference on Artificial Intelligence. AAAI Press, 2015.
- [9] KIM K, KIM J, CHOI J, et al. Depth camera-based 3D hand ges-

ture controls with immersive tactile feedback for natural mid-air gesture interactions[J]. Sensors, 2015, 15(1):1022-1046.

- [10] XU R, ZHOU S, LI W J. MEMS Accelerometer Based Nonspecific-User Hand Gesture Recognition[J]. IEEE Sensors Journal, 2012, 12(5):1166-1173.
- [11] ZHANG Z. A Flexible New Technique for Camera Calibration [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2000, 22(11):1330-1334.

(上接第152页)

按航空公司查询(QueryByAirline)。送票服务(TicketDelivery)构件包括送票上门(HomeDelivery)和机场打印(AirportPrint)两个子构件。机票更改处理构件(FlightChange)包括机票退订(TicketRefund)和机票改签(FlightAlter)两个子构件。VehicleBooking包含单订车自驾租赁(RentNoDriver)和带司机租赁(RentWithDriver)两种服务构件。HotelBooking则包括已付费订单处理(PaidOrder)、未付费订单处理(NoPaidOrder)和房间选择(SelectRoom)3个子构件。从PaidOrder到SelectRoom的态射表明,只有付费的用户才有权限选择房间。

图2中,3个抽象层次的体系结构模型构成了一个体系结构空间,每一层的模型都是符合定义9的一个类型范畴图,相邻模型之间的映射关系即可依据定义11描述为体系结构映射函子。位于图2左边的两个实线宽箭头表示不同抽象层间的模型转换,而右边的两个虚线宽箭头则表示模型转换的过程中伴随着体系结构特征的逐步精化。范畴理论有许多成熟的支撑工具<sup>[13]</sup>,可用于语义规范的自动化组合、分析和推理。将这些工具集成到基于模型驱动的软件开发环境中,便可实现范畴论语义特性的自动化验证。限于篇幅,这些内容将在后续研究中阐述。

**结束语** 本文将类型范畴理论和特征建模等概念有机地结合在一起,为构件式软件模型的描述和转换建立了一种统一的语义描述框架。该框架遵循模型驱动的软件开发理念和实质要求,为研究模型驱动开发和模型转换提供了新的理解、认知和学习的指导架构。下一步的研究工作将基于本文的框架,建立常规模型转换的语义计算理论,对转换前后模型描述之间应满足的语义特性和约束进行深入的分析 and 探讨,最终实现语义特性的自动化验证。

## 参考文献

- [1] MAO X J, DONG M G, QI Z C, et al. Running mechanism and implementation technique of self-adaptive software in open environment [J]. Chinese Journal of Computers, 2015, 38(9):1893-1906. (in Chinese)
- 毛新军,董孟高,齐治昌,等. 开放环境下自适应软件系统的运行机制与构造技术[J]. 计算机学报, 2015, 38(9):1893-1906.
- [2] HE X, MA Z Y, WANG R C, et al. Semantics-Configurable model transformation[J]. Journal of Software, 2013, 24(7):1436-1454. (in Chinese)
- 何啸,麻志毅,王瑞超,等. 语义可配置的模型转换[J]. 软件学报, 2013, 24(7):1436-1454.

- [3] MENS T. A survey of software refactoring [J]. IEEE Trans. on Software Engineering, 2004, 30(2):126-139.
- [4] MENS T, VAN EETVELDE N, Demeyer S, et al. Formalizing refactorings with graph transformations[J]. Journal of Software Maintenance and Evolution: Research and Practice, 2005, 17(4):247-276.
- [5] LIU H, MA Z Y, SHAO W Z. Description and Proof of Property Preservation of Model Transformations [J]. Journal of Software, 2007, 18(10):2369-2379. (in Chinese)
- 刘辉,麻志毅,邵维忠. 模型转换中的特性保持的描述与验证 [J]. 软件学报, 2007, 18(10):2369-2379.
- [6] NATHAN W, RUZANNA C, AWAIS R. Formal semantic conflict detection in aspect oriented requirements [J]. Requirements Engineering, 2009, 14(4):247-268.
- [7] MICHAEL B, CHARLES W. Category theory for computing science [M]. New Jersey: Prentice-Hall, 1990.
- [8] HOU J K, WAN J C, YANG X, et al. Formal semantics of component-based architecture model mapping [J]. Journal of Computer Research and Development, 2009, 46(2):310-320. (in Chinese)
- 侯金奎,万建成,杨潇,等. 构件式体系结构模型映射的形式化语义[J]. 计算机研究与发展, 2009, 46(2):310-320.
- [9] WANG Z J, XU X F, ZHAN D C. Feature-Based component model and normalized design process [J]. Journal of Software, 2006, 17(1):39-47. (in Chinese)
- 王忠杰,徐晓飞,战德臣. 基于特征的构件模型及其规范化设计过程[J]. 软件学报, 2006, 17(1):39-47.
- [10] JIA Y, GU Y Q. Domain feature space based semantic representation of component [J]. Journal of Software, 2002, 13(2):311-316. (in Chinese)
- 贾育,顾毓清. 基于领域特征空间的构件语义表示方法[J]. 软件学报, 2002, 13(2):311-316.
- [11] LU R Q. Towards a mathematical theory of knowledge[J]. Journal of Computer Science and Technology, 2005, 20(6):751-757.
- [12] WANG C J, LUO H M, ZUO Z K. Formal software specification generation approach based on problem patterns[J]. Journal of Computer Research and Development, 2013, 50(2):352-360. (in Chinese)
- 王晶晶,罗海梅,左正康,等. 基于问题模式的形式化软件规格说明生成方法[J]. 计算机研究与发展, 2013, 50(2):352-360.
- [13] SRINIVAS Y, JULLIG R. SPECWARETM: Formal support for composing software; Technical Report KES. U. 94. 5[R]. California: Kestrel Institute, 1994:22-39.