

基于学科教育整体视角的 OAG设计原则

——以 PSMS 系统为例

冀付军¹, 何克抗²

(1.清华大学 软件学院, 北京 100084; 2.北京师范大学 教育技术学院, 北京 100875)

摘要 当前小学数学相关教育软件大都从小学数学某一方面进行开发,在内容覆盖、学习探究、纵横评价即时反馈、开放性等方面往往不能兼顾,没有在统一的开发原则指导下进行针对教学应用的设计与开发,指导小学数学学科教育软件开发的相关设计原则也非常缺乏。由此本文以笔者开发的 PSMS 系统为例,提出了基于学科教育整体视角的 OAG 设计原则,该原则从八个方面论述了小学数学相关教育软件开发过程中要注意的问题,为开发相关软件设定了框架,并提出了 OAG 设计原则指导下的开发步骤和“三同时”开发观点,最后阐述了 PSMS 系统的优势及其展望。

关键词 整体视角 小学数学 教与学支撑系统 OAG 设计原则

中图分类号 G434

文献标识码 A

一、背景

随着信息技术与数学课程的深入整合,涌现了较多的数学学习工具软件,较为常见的是“几何画板”和“Z+Z 智能教学平台”,此外还有“珠海海岸线”“开心指点”“金华数理平台”“图形计算器”“几何教师”“Logo 语言”“几何推理者”“Mathematics”“MP_Lab”“PG_Lab”等工具以及国外的 Math Workshop、Bingo、ClueFinders® 3rd Grade Adventures™、Carmen Sandiego Math Detective 等数学软件^[1]。其中文献^[2]提到一种计算机支持的基于学习对象的数学学习环境,该环境使用 Java 语言基于 IIRM (Interactive Instructors of Recreational Mathematics) 构建的电子协作学习环境,由娱乐导向的可交互学习对象构成,并与学习环境整合在一起,通过支持即时通讯、聊天室和多用户数学游戏的学习社区来支撑交互过程,但主要用于高中。文献^[3]提到一种基于 Web 的家庭作业分发和分级系统,文献^[4]提到多媒体白板系统在数学问题解决方面的开发和评价,文献^[5]提到面向一二年级学生的教育影碟游戏的设计和评价。笔者对这些软件逐一进行研究后发现,这些学习软件从内容上讲,以关注中学数学的较多,关注小学数学的较少,近两年小学数学相关软件开始有增多的趋势。

笔者长期以来一直从事小学数学相关教育软件的设计与开发,所开发的小学数学教与学支撑系统 (Primary School Math Teaching and Learning Support

System, 简称 PSMS 系统) 于 2009 年 7 月通过了教育部专家组鉴定。在该系统的设计与开发过程中,笔者总结出了一些该类软件开发的总体原则并应用于实际的开发过程中,取得了较好的应用效果。本文就以 PSMS 系统为例,详细阐述一下该原则以及如何在实际开发过程中应用该原则,以期引起小学数学软件的设计者和开发者的重视。

二、基于学科教育整体视角的系统设计原则综述

1. 现有软件对于数学教学特性的支持

从物数形自身呈现及物数关系、物形关系、数形关系的相互呈现、小学数学全部知识学习和测评的整体视角等方面(本文中的学习主要指新知识的学习)来看,现有各种软件的支持程度如下页表 1 和表 2 所示。

通过对比分析可以看出,当前的计算机辅助数学教学技术在数和形两个方面的支持已经相当成熟。同时这些软件本身在整体视角、物数关系、物形关系、数形关系、题目更新、多样化测评和网络支持方面还很薄弱。当前小学数学相关教育软件从知识方面讲大都支持小学数学某一方面知识,从功能方面讲往往支持新知识学习和旧知识练习巩固这两者中的一种(学习游戏实质是一种情景练习),在内容覆盖、学习探究、纵横评价、即时反馈、开放更新等方面往往不能兼顾。从学科整体视角和教育视角来看,尽管小学数学相关软件可服务于小学数学教学,但小学数学作为理科,各部分之间以较强的螺旋递进

关系构成一个整体。而这些教学软件彼此不同,整体一致性自然谈不上。从小学数学学科知识来看,内容分布比较零散不系统,这导致数学教师在讲解不同知识时,往往需要单独搜索和学习与本知识点相关的数学学习工具,一般不同性质知识的学习工具也不同,操作方法各异,都需要单独学习,比较费时费力。比如有的软件在几何图形方面是一款优秀的认知学习工具,但是它在纵横测评、开放更新、物数关系、物形关系、序列和集合探究等方面却仍有很大的发展空间,有的软件则正好与之相反。

表 1 国内相关软件对数学教学特性的支持

编号	名称	物数互现	数	物形互现	形	数形互现	支持测评	题目更新	多样化测评	整体视角	网络支持
1	几何画板				√						
2	口算王		√				√				
3	灰鸭子幼儿启蒙之星		√				√				
4	少儿启蒙大师		√								
5	超级画板		√		√						
6	小学数学伙伴		√				√		√		
7	海峰学习课件		√				√				
8	DM_Lab				√						
9	PG_Lab				√						
10	MP_Lab				√						
11	金华科数理平台				√						
12	开心指点						√	√			√
13	珠海海岸线	√									
14	小学生数学益智游戏大全		√				√		√		

表 2 国外相关软件对数学教学特性的支持

编号	名称	物数互现	数	物形互现	形	数形互现	支持测评	题目更新	多样化测评	整体视角	网络支持
1	Matlab		√								
2	MathCAD		√								
3	Mathematic		√		√						
4	图形计算器		√		√						
5	Maple		√								
6	Bingo	√					√				
7	ClueFinders® 3rd Grade Adventures™						√		√		
8	Math Workshop						√		√		
9	Carmen Sandiego Math Detective						√		√		
10	基于 IIRM 的 MLE						√		√		√

2. 有关学科教育软件系统设计原则的研究

笔者首先进行了外文文献的检索,在 <http://www.sciencedirect.com> 上使用 math 和 principle 进行题名搜索,找到两篇不相关文献。接着使用 math 和 design 进行题名、关键字和摘要搜索,找到两百多篇文献,在结果中使用 principle 再次查询,找到 56 篇文献(2009 年 10 月 28 日查询),经过逐篇分析,找到一般相关文献 3 篇。文献[6]提到教育软件作为教

和学沟通的支撑作用,文献[7]提到基于计算机的集成学习系统(ILS),指出使用 ILS 应当结合的几个特征。文献[8]提出了使用计算机来丰富教育的启发式教学策略,均与数学学科教育软件系统设计原则的相关性不大。

其次,笔者在中国知网中国期刊全文数据库中以“系统设计原则”为篇名进行搜索,共找到 101 篇(2009 年 10 月 12 日查询)。接着作者在结果中再次全文搜索“教学”,只找到 18 篇文章,其中一般相关文献仅有 5 篇。文献[9]提到政府知识管理系统的设计

原则及功能需求;文献[10]提到语文作业系统的设计原则,界定了语文作业系统的范围,认为语文作业系统的设计原则是:系统性原则、针对性原则、启发性原则、开放性原则、灵活性原则;文献[11]提到高校教学管理信息系统的设计原则与开发组织,认为信息集成和支持以学生中心的教学管理模式是高校教学管理信息系统设计的重要原则;文献[12]提到网络教学系统导航功能的设计原则及实现手段,分析网络教学系统的导航功能及设计原则,指出作为学习环境的导航应在系统、内容、策略及扩展等层次为学习者提供全方位的支持;文献[13]介绍了英语学习词典机辅编写系统的设计原则以及一个原型系统的实现。这 5 篇相关文献没有一篇是与学科教育软件开发密切相关的,并且都与数学无关。

为了进一步找到有关数学的相关原则,作者使用“数学”和“原则”再次在中国知网中进行篇名查询,共得到 300 条记录(2009 年 10 月 14 日查询),经逐篇分析过滤查阅,结果找到一般相关文献 6 篇。其中文献[14]提到波利亚关于学与教的三个原则;文献[15]介绍了人教版“新课标”数学学具的设计原则,它们是科学性原则、教学性原则、创新性原则、安全、卫生、环保原则以及经济适用原则;文献[16]对数学教与学提出全新的基本的教学原则,即激发数学学习动机的原则、知识结构与数学认知结构相统一的原则、数学智能培养的原则;文献[17]提到了小学数学家指导的三种原则:目标性原则、针对性原则和转化性原则;文献[18]提到在学具操作活动中应遵循的几个原则:针对性原则、指导性原则、开放性原则和时控性原则;文献[19]提到中小学数学阶

段性教学的设计原则:有序性原则、结构性原则和连续性原则。

以上 6 篇文献主要从数学教与学的角度提到了一些相关原则,但是这些原则均是用来指导教与学活动方向的,对于如何根据小学数学学科教育特点进行教与学支撑系统的整体开发并没有提及,也无法使用这些原则来指导小学数学学科教育软件的开发,因为它们对于软件开发而言还不具可操作性。但是它们给出了总方向,对于小学数学学科教育软件的开发仍然具有指向意义。显然,对于具体软件开发,仅仅具有指向意义是不够的,从具有指向意义到真正软件研发的实现,这个中间缺少一个科学的有效桥梁。这个桥梁一端连接学科教育,遵循贯彻教学原则,另一端则用来指导软件开发,使得相关教学原则不致落空或失控,这正是教育技术的一个本质作用之一。

尽管使用 sciencedirect 和中国知网进行查询不如专门的科技查新机构查询来得更为权威、准确和全面,然而,它至少可以从一个侧面上反映出,关于指导小学数学学科教育软件开发的相关设计原则研究非常缺乏。现有小学数学学习工具层出不穷,往往面向小学数学的某一个方面,唯独缺乏面向小学数学教与学整体的软件系统,思想指导着行动,在某种程度上,这种软件实体的缺乏正是学科教育整体开发设计原则思想缺失的外在反映。

三、基于学科教育整体视角开发 PSMS 系统的设计原则

基于学科教育整体视角,针对小学数学新课标的要求,借鉴现有的小学数学相关学习工具,笔者提出开发 PSMS 系统的物数形 (Object,Algebra and Geometry) 结合的设计原则(以下简称 OAG 设计原则)。OAG 设计原则的提出,主要来源于作者多年来亲历的一线教育实践以及长期的教育软件研发实践和应用实践,另外,基于学科教育整体视角设计开发 PSMS 系统的具体架构和编程实践,成为 OAG 设计原则提出的最直接因素,同时也离不开相关软件的需求调研和使用调研。

OAG 设计原则面向儿童心理特点,围绕数学语言,以物数形的相互呈现和自我呈现为核心,以过程动态性和评价纵横性为特征,以开放更新保持活力,构成一个类棱锥状示意图,见图 1。

具体来说,OAG 设计原则包括八部分,分别是数物图同变原则、联动呈现原则、双维操作原则、儿童适应原则、纵横评价原则、过程动态原则、语言描述原则和开放更新原则。

1. 数图(物)同变原则

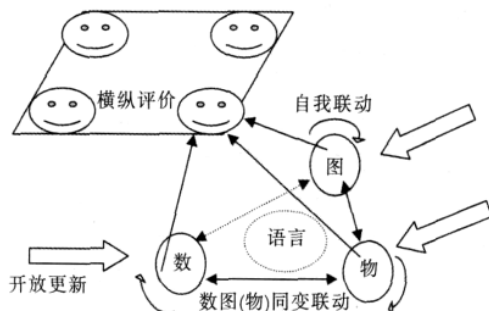


图 1 PSMS 系统的 OAG 设计原则示意图

要使用不同直观图形将抽象数字呈现出来,要允许学生对对象操作、自主设置参数、改变对象属性,这包括数图(物)两个方面,即数变则图(物)变,图(物)变则数变,据此来达到学生对数字的感知。具体如下:

(1) 学生直接对数学对象操作改变数学对象的呈现时,对象的数字属性自动改变并能立即实时显示。比如,多放一张人民币到框中,则框中的金额自动发生变化。再比如,当把汽车拖放到新位置时,汽车对应的位置数字自动显示当前位置。

(2) 学生改变数学对象属性时,数学对象的呈现也自动改变并可实时显示。比如,学生输入人民币框中的数字后,则人民币框中的人民币可以自动根据输入数字进行呈现,或者改变汽车的位置数字时,汽车自动移动到新位置。

2. 联动呈现原则

对于关联对象,什么条件时哪个对象动,以及本对象动对其他对象的影响性,均要可设置并能动态呈现。如画圆,当半径变化时,对应圆要联动发生相应变化并呈现出来;再比如两车行驶的相遇问题,如果汽车动,则两车相应的行驶路程也要自动发生变化,与两车相关的距离提示也要自动发生变化,一旦相遇自动执行设定的相遇事件处理。可以设定的相遇事件包括停止、反向行驶、停止并掉头、时间停止等,其中停止属性为复杂行程题目的多步呈现提供了条件。

(1) 允许学生自主设置第三方动作条件,并在动作条件满足时自动发生相关动作,比如可以设置当两辆汽车相遇时,自动向相反方向行驶。

(2) 在对象动作进行中,相关联对象的性状要同时发生改变并实时呈现,比如两辆不同车速汽车同时行驶时,一辆汽车移动一定位置,另一辆汽车自动同时移动到对应新位置。

3. 双维操作原则

双维是指正反两个维度,双维操作性是指支持对象的生成操作,也支持对象的消亡操作。对于对象本身,则支持随时可逆操作。

(1) 对象随时可以清除和添加。在基于学科教育

整体视角开发 PSMS 系统中,包括大量的小学数学对象,比如几何对象、车路对象、序列对象、统筹安排对象、测评对象、度量对象等等,无论哪个对象,都可以随时添加入系统内的探究平台,也可以随时移除。

(2)对对象本身的可逆操作是指:对象静止时,学生随时可以对对象进行鼠标左键拖拽放大缩小和右键方法属性操作,对象动作时随时可以暂停和继续。所有操作均有其可逆操作,所有对象均包括规范统一的基本操作,这体现了操作一致性,方便了使用者的快速学习。

4. 儿童适应原则

主要考虑教学对象是小学生,初始界面应该尽可能简单形象化,适应小学生心理。具体包括以下三个方面:

(1)一旦进入界面,所有变量自动全部使用默认值,学生直接操作一次即可看见效果,并且能够及时响应,有操作即有所变。

(2)任何对象均响应右键,这样学生无需记忆命令,想对谁操作直接单击右键即可。右键弹出菜单中自动列出本对象所支持的各种操作。

(3)界面简单性不排斥高级运用复杂性,要像 Office 一样,设置选项菜单或者工具按钮并设好初始默认值,以便支持用户进行傻瓜式操作的同时也能支持高级控制使用。比如行驶问题,添置道路对象和车对象后,即可单击鼠标让车开动,再次单击停止行驶,让学生感觉很简单,容易上手。在使用熟练后,则可以逐步开始设置道路长度、汽车速度、另一辆汽车速度、两车相遇时是否暂停或继续行驶或向相反方向行驶、到达指定位置时是否停止或向相反方向行驶或暂停时间、行驶指定时间后是否停止或向相反方向行驶、第三次相遇后停止等,以实现相遇问题的逐步深入学习。

5. 纵横评价原则

纵横评价性主要用来帮助学生了解自身的学习掌握情况,它包括横向和纵向两个评价维度。由于横向评价使得某些孩子总是受表扬,而另外一些孩子总是受批评,因此要设置纵向评价,为每个孩子的发展提供激励。

(1)每个工具都有相关知识点的学习掌握情况评价工具,所有评价工具都包括数变图变和图变数变的评测内容,每个评测工具都使用共同的成绩评语激励库。

(2)所有评价分数出来后,马上显示出来,并在与之前此知识点的成绩相比后显示纵向评价激励语。

(3)在联网条件下,将评价分数自动上报至教师机,并自动与其他学生成绩集成,由教师控制给出横

向评价激励语,教师机也可以同时按照谁进步最大来进行纵向激励。

6. 过程动态原则

教材都是静的,作为教材辅助支撑软件,要更好地贯彻新课改理念,为小学生提供大量的表象材料,进而为提高抽象思维能力打下基础,因此应该将数学内容动态化、可操作化、可探究化。尤其在讲解相遇或行程等问题时,过程动态性更为重要,这对学生准确理解题意有很好的帮助作用,符合孩子的认知特点。

现代数学教学理论认为,数学教学的根本任务在于发展学生的数学思维,教学应注意知识的形成、发展过程,解题思路的探索过程,解题方法和规律的概括过程,使学生在这些过程中展开思维,从而发展他们的能力。^[20]

7. 语言描述原则

当小学生在进行学习探究操作时,系统可以在界面上出现以数学术语和概念为核心的数学语言,以便加深学生对数学概念的理解和掌握。当学生以后遇到相关数学语言时,能够在脑中立即呈现相关的恰当情境,这样有助于迅速正确理解题意,把握问题要害,从而为顺利解决问题提供方便。

8. 开放更新原则

开放更新包括两部分:软件数据和软件程序。其中软件数据主要包括知识点相关数据(知识点节点数据、学习数据、测评数据、探究工具数据、Flash 动画、图片、视频等)和程序设置相关数据(如教材单元菜单数据、工具栏工具数据等)。其相应实现方式是把更新权交给用户,系统提供开放的框架接口,允许广大用户进行自我更新。实际上提供了一个类似于知识点学习测评制作的后期平台。对于程序自身的开放更新,其相应实现方式是程序的版本升级,这也是实现了自我更新。自我更新原则解决了 PSMS 系统的可持续发展问题。

基于学科教育整体视角开发 PSMS 系统的 OAG 设计原则,在信息技术与小学数学课程深层次整合和软件开发之间搭建了一个桥梁,在此原则指导下可以创新 PSMS 系统软件开发,借鉴该原则也可以创新其他相关学科教学支撑系统软件开发,从而为推动信息技术与其他学科课程的深层次整合做出贡献。

四、基于 OAG 设计原则的 PSMS 系统开发步骤和“三同时”开发

基于学科教育整体视角的 OAG 设计原则保证了 PSMS 系统的学科内容完整覆盖性、功能层次递进性、学习与评价反馈一致性、应用简单性、网络开放性。

1. 基于 OAG 设计原则开发 PSMS 系统的步骤

方法

学科教育软件主要是针对某一学科的,所以需求带有确定性。并且教育软件带有教育性,所以也有教育功能确定性,比如支持知识点的学习和评测,这其中又包括知识点的表示和存储及其开放共享。

笔者基于 OAG 设计原则,结合常规软件开发的需求分析,提出 PSMS 系统的开发步骤如下:

(1)参照学科教师需求及新课改学科知识目标系统,从内容本质角度归纳知识点,并进行整理,分清层次。

(2)对整理后的知识点进行对象确定、对象分析、对象功能转述,全面考虑所有知识点,进行整体设计,并适当调整知识点,尽可能保证功能唯一,并覆盖到所有知识点。

(3)逐个进行各功能点的学习、实验和评测、呈现、存储和网络开放等具体设计。

(4)根据设计进行开发实现。

(5)进行所开发系统的测试、应用和完善(含知识点补充、细化等)。

其中第(2)(3)部分为落实 OAG 设计原则的核心步骤,需要针对每个设计根据 OAG 设计原则进行检查,尽可能遵循设计原则。

例如,PSMS 系统中的人民币框、物数互现工具、汽车工具、天平工具等正是在数图(物)同变原则指导下设计开发出来的。系统中的相遇模型工具等则体现了联动呈现原则。放置到系统平台上的所有对象全部可以缩放、保存、重现、移除、添加,这体现了双维操作性。儿童适应性则体现在 PSMS 系统中图文并茂的题目、趣味性学习游戏、精彩的 Flash 动画、儿童喜欢的、基本操作简单,操作即有所见。另外所有平台学习对象均支持右键,无需记忆,降低儿童操作复杂性。纵横评价原则在系统中则体现在四个方面:一个是系统提供了小学数学新课标所有知识点的相关测试题,可呈现含图或 Flash 的题目,支持自动评分,可以记录成绩并和以前成绩做比较,给出纵向激励;二是可以通过网络将成绩报送至教师机,由教师机根据成绩和做题时间自动反馈,给出横向激励;三是成绩评价,横向评价和纵向评价的具体评语完全可由教师定制;四是系统中具备多样化的测评方式,除了常规练习外,还有编码测评、统筹安排测评、序列测评、类别测评、连线测评等多种方式,均可自动评判。汽车的仿真动态可控行驶、三维立方体的动态可控旋转等则体现了过程动态原则。教师可以自主出题、收藏夹中的资源可以自由更新、可以从系统外部自由粘贴图片、艺术字等到系统平台上、发布更新后学生机可自动更新等功能均体现了开放

更新原则。

2. 基于 OAG 设计原则开发 PSMS 系统的“三同时”思想

环境保护界有“三同时”制度,“三同时”制度是建设项目环境管理的一项基本制度,即,建设项目中环境保护设施必须与主体工程同步设计、同时施工、同时投产使用。^[2]

笔者认为,基于学科教育整体视角开发 PSMS 系统也有“三同时”,即同时学习、同时测评、同时开放。或者说基于学科教育整体视角开发 PSMS 系统,其学习功能、测评功能和开放功能这三者需要一同设计、一同开发、一起使用,这样,对小学生的数学学习将是全方位的促进。

学习是保证学生获得新知识的较好途径,测评保证学生对原有知识的掌握和巩固,开放则是教育软件的活力和生命力所在,保证无论是课件还是知识点或者作品应具有可扩充、可共享、可与外界交换功能,保障自身不断前进。任何一款一成不变、不能自我更新的软件都会在科技发展的潮头中逐渐被抛弃。OAG 设计原则体现了三同时思想,如开放更新原则和纵横评价原则体现三同时中的测评和开放,而其他原则服务于三同时中的学习。

包含了“三同时”思想在内的 OAG 设计原则开发的 PSMS 系统,能够不断保障学习者的学习质量和软件系统本身的生命延续,有利于学习者和软件相互可持续发展。

五、基于 OAG 设计原则的 PSMS 系统优势及展望

1. 具有小学数学工具集成的系统性和灵活性优势

在 OAG 设计原则指导下开发的 PSMS 系统,是在借鉴现有小学数学辅助工具优势的基础上,面向小学数学新课程标准内容开发的有效工具集成系统。由于所有工具都是按照统一要求开发,各工具可建立关联,所有资源、工具、测评都能整合共享。操作具有统一性,简单易用,系统性较强。

作为基本覆盖小学数学所有知识点的系统学习工具集成系统,PSMS 自身具有很好的数据相通性,工具应用灵活,可以通过改变参数改变自身的表现状态,外来的图形和数据可以导入平台中加以利用,还可以通过网络共享小学数学教与学支撑软件系统制作的作品;允许教师自主出题,自由统筹安排,自主编码,任意设置三级评价的梯度和具体评语,可以自动评分,允许教师设置多样化情境,因此具有较强的灵活开放性。

2. 具有较高的知识适应性和认知适应性

小学数学教与学支撑系统针对的对象就是小学

数学新课标,从软件建构上,也是通过对小学数学新课标知识点的完整梳理、逐层建构实现的,所以它具有较高的小学数学知识适应性和覆盖性。另外, OAG 设计原则充分考虑了小学生学习的认知特点和需求,注重动手能力的实现,注重表象材料的积累,注重将抽象内容形象化,注重将复杂界面简单化,注重不同年级学生的工具复用及其逐层复杂化,工具最大程度的复用使得工具的数量减至最少,这样也是为了达到让小学生感到简单和熟悉,从而避免畏难心理并增强自信。

3. 具有计算机仿真探究平台的特性

(1) 使学习者远离危险:如测量井的深度、体验汽车的速度、感受直线的长度等,很可能会有危险,甚至做不到,但在虚拟学习环境中时,可以避免这些危险。

(2) 呈现现实中不存在或不易看清的数学相关概念或者事物:如物的数属性、物的形属性、直线、射线、N 边形、重心、球心、正方形车轮的自行车及其相应路面等等,这部分知识在现实中无法看到,不好描述,而在计算机上就完全可以很容易地形象描述出来。

(3) 节约学习用具投入,减少为进行数学学习而需要的用具准备时间:比如学习重量时用到的天平、学习时间时用到的各种钟表、学习速度时用到的汽车或轮船模型等等,用计算机呈现和模拟操作,既节约了用具,节约了准备时间,同时还更能有效呈现和仿真动态呈现。小学数学教与学支撑系统使用的信息可以来源于网络,网络上的丰富资料,大都可以免费应用,对事物(图形)的更改也较纸张方便快捷、有效。

基于 OAG 设计原则的小学数学教与学支撑软件系统能够为小学数学全部内容提供一个自助、探究、合作的,体现教师主导、学生主体的数学学习环境,学生在这个教与学支撑系统下,可以自主进行数学实验、探究数形规律、与老师同学合作、积累表象、启迪思维。

完整的小学数学内容支撑系统软件的实现以及基于该新技术的创新教学应用模式的规模化应用,再辅以教师的科学引导,必将进一步推动信息技术与小学数学课程深层次整合,有利于小学生实际动手操作能力和自主探究能力的形成,提高学生整体素质,并最终有利于小学数学教学质量和效率的整体提升。

参考文献:

- [1] 冀付军. 小学数学教与学支撑系统的设计开发和应用[D]. 北京:北京师范大学博士毕业论文, 2008.
- [2] Gabriel Lopez-Morteo and Gilberto Lopez. Computer support for learning mathematics: A learning environment based on recreational learning objects[J]. Computers & Education, 2007, 48(4): 618-641.
- [3] Vicki Roth, Volodymyr Ivanchenko and Nicholas Record. Evaluating

- student response to WeBWorK, a web-based homework delivery and grading system[J]. Computers & Education, 2008, 50(4): 1462-1482.
- [4] Wu-Yuin Hwang, Nian-Shing Chen and Rueng-Lueng Hsu. Development and evaluation of multimedia whiteboard system for improving mathematical problem solving[J]. Computers & Education, 2006, 46(2): 105-121.
- [5] Ricardo Rosas, Miguel Nussbaum, Patricio Cumsille, Vladimir Marianov, Monica Correa, Patricia Flores, Valeska Grau, Francisca Lagos, Ximena Lopez, Veronica Lopez, Patricio Rodriguez and Marcela Salinas[J]. Beyond Nintendo: design and assessment of educational video games for first and second grade students[J]. Computers & Education, 2003, 40(1): 71-94.
- [6] Rupert Wegerif. The role of educational software as a support for teaching and learning conversations[J]. Computers & Education, 2004, 43(1-2): 179-191.
- [7] Henry Jay Becker. Mindless or mindful use of integrated learning systems[J]. International Journal of Educational Research, 1994, 21(1): 65-79.
- [8] T.A. Dwyer. Heuristic strategies for using computers to enrich education[J]. International Journal of Man-Machine Studies, 1974, 6(2): 137-154.
- [9] 马东升. 政府知识管理系统的设计原则及功能需求[J]. 档案学研究, 2008, (1): 47-49.
- [10] 刘志云, 董京峰. 语文作业系统的设计原则[J]. 文教资料, 2006, (3): 69-70.
- [11] 刘霓, 钱晓群, 何虎. 高校教学管理信息系统的设计原则与开发组织[J]. 西南交通大学学报(社会科学版), 2005, (9): 59-62.
- [12] 杨树林. 网络教学系统导航功能设计原则及实现手段[J]. 北京印刷学院学报, 2003, (6): 16-21.
- [13] 陈国华, 熊文新. 英语学习词典机辅编写系统的设计原则与实现[J]. 外语电化教学, 2007, (10): 3-11.
- [14] 耿春梅, 潘小明. 波利亚学与教三原则及其对数学课程教学的指导意义[J]. 科教文汇, 2007, (12): 82-83.
- [15] 生振东. 人教版“新课标”数学学具设计原则[J]. 中国教育技术装备, 2003, (7): 1-2.
- [16] 蒋善翠, 苏琳. 试论数学教与学的基本原则[J]. 江苏广播电视大学学报, 1997, (1): 74-79.
- [17] 徐寰华. 小学数学学法指导的原则及几种类型[J]. 湖南教育, 2000, (13): 40-41.
- [18] 谭拥军. 以学具为纽带全面实践新课程——浅谈数学学具操作的原则及作用[J]. 2004, (12): 38-39.
- [19] 刘伟燕, 董湘. 中小学数学阶段性教学的设计原则[J]. 湖南教育, 2008, (5): 27-28.
- [20] 孙国富. 中学数学的难点成因分析及其教学对策[J]. 中学数学, 2003, (3): 4-6.
- [21] 国务院, 国家环保总局, 国家发展改革委. 国家环境保护“十一五”规划[J]. 环境保护, 2007, (12A): 7-20.

作者简介:

冀付军 助理研究员, 博士后, 研究方向为计算机教育软件开发、计算机测评、软件服务外包(jifujun@tsinghua.edu.cn)。

何克抗 教授, 博士生导师, 主要研究方向为教育信息化工程、中小学教学改革和教育创新理论。

收稿日期 2009 年 9 月 12 日
责任编辑 冯小强