

意义性笔手势的分类及其实验评估^{*}

徐礼爽⁺, 程铁刚, 田 丰, 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)

Classifications and Experimental Evaluation of Meaningful Pen Gestures

XU Li-Shuang⁺, CHENG Tie-Gang, TIAN Feng, DAI Guo-Zhong

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

+ Corresponding author: Phn: +86-10-62561624 ext 8035, E-mail: lishuang03@ios.cn, <http://www.iscas.ac.cn>

Xu LS, Cheng TG, Tian F, Dai GZ. Classifications and experimental evaluation of meaningful pen gestures. *Journal of Software*, 2006,17(Suppl.):46-56. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/17/s46.htm>

Abstract: In this paper, the characteristics and classifications of current used pen gestures are investigated. And characteristics with “good” and learnable pen gestures are analyzed through literatures and a questionnaire. Afterwards, the concept of “meaningful pen gesture” is presented according to the consideration whether there are tight relationships between a pen gesture and the corresponding command existing. And the meaningful pen gesture is divided into three categories: directive, object-metaphor and conventional. At last, an experiment is performed to validate the advantage of the meaningful pen gestures designed in this paper. The results show that the meaningful pen gestures are easier to learn and to use. These results can be interpreted by the dual-coding theory, and can be one of the basic guidelines for designing pen gestures.

Key words: meaningfulness; pen gesture; learnability; dual-coding theory; experimental evaluation

摘 要: 通过文献调研和用户问卷调查,探查现存的笔手势的特征和分类,分析探讨良好、易学的笔手势的应当具备的特征;然后,从命令与笔手势联结是否紧密的角度提出意义性笔手势的概念,并将意义性笔手势分为 3 类:指示性笔手势、实物隐喻笔手势和文化约定笔手势;最后,通过相应的学习实验来验证根据本研究的分类所设计的意义性笔手势在易学性方面的优势.结果表明,意义性笔手势比其他非意义性笔手势更易学、易用.此结果可以用心理学中双重编码理论进行解释,同时可以作为设计笔手势的基本指导原则之一.

关键词: 意义性;笔手势;易学性;双重编码;实验评估

近年来,笔式用户界面作为一种主要的 Post-WIMP 界面,研究者越来越多.笔式用户界面是基于纸笔隐喻而设计的.纸笔对于捕获日常经验、交流思想、记录重要事件、形成深层次思维和视觉表征都有非常重要的意义.笔式用户界面的研究试图使这种传统的活动计算机化,并保留纸笔的灵活性和流畅性.这样,人们能够在利用海量的计算机资源的基础上,更加容易地对信息进行操作,如记录、修改、恢复、传送、深层次思维和分析等.许

* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60503054 (国家自然科学基金); the National Fundamental Research Project of China under Grant No.2002CB312103 (国家重点基础研究发展规划 (973)); the Key Innovation Project from Institute of Software, the Chinese Academy of Sciences (中国科学院软件研究所创新工程重大项目)

Received 2006-03-15; Accepted 2006-09-11

多有名的系统都采用了笔式用户界面,例如 Tivoli^[23],LiveBoard^[6],SILK^[9],DENIM^[11],Cocktail Napkin^[7],Flatland^[18],Classroom 2000^[1],ASSIST^[2],Teddy^[8]等.一些公司如微软公司和苹果公司,已经将笔式交互技术嵌入到他们的操作系统,如 Windows XP Tablet PC Edition^[26]和 Mac OS X Tiger^[16].

在这些系统中,笔手势扮演了非常重要的角色.笔手势就是用笔画出的符号来调用计算机命令的技术.在笔式用户界面中,用户使用笔手势来完成不同的任务,如文字编辑、草图建模、UI 设计、3D 操作和导航等.

然而,在笔手势设计方面,目前尚未存在一个公认的设计指南或设计理念.很多研究者也提出,笔手势的设计对笔式系统的设计者来说是一个挑战^[15,23].Long^[12]的一个调查研究表明,用户希望笔式系统中应用更多的笔手势,但笔式系统中设计的笔手势“难于记忆”,而且,在当用户输入的笔手势被拒识或错误识别时,他们会感到很困惑.我们看到,在笔手势研究中,笔手势设计和笔手势的计算机识别是影响笔手势的可用性的两个重要方面.而在笔手势设计中,设计出用户容易学习和记忆的笔手势是笔手势的可用性设计中非常重要的方面.

为了帮助笔式系统设计者更好地设计出“良好”的易学易记的笔手势,我们进行了本研究.首先综述国内外笔手势设计的相关文献,以考察其他研究者对笔手势的研究情况;然后我们从命令与笔手势联结的角度,分析考察目前在笔式系统中已有的笔手势,发现目前的笔手势设计有 3 大类别,我们分别命名为意义性笔手势、字符性笔手势和与命令关联性小的笔手势.接下来,我们编制问卷对用户进行调查研究,以考察用户所认为的“良好”的笔手势应该具备什么样的特征,发现意义性笔手势更容易被用户认为是“良好”的笔手势.因此,我们重点研究意义性笔手势,并根据前面的文献和用户调查,将意义性笔手势进行了更进一步的分类,即分为 3 类:指示性笔手势、实物隐喻笔手势和文化约定笔手势.最后,我们通过一个学习实验,评估意义性笔手势在易学性上是否优于非意义性笔手势.

1 相关工作介绍

很多研究者试图通过开发笔手势的设计工具,以使笔式系统的设计者更容易创建和设计笔手势.Rubin 设计了 GRANDMA^[24]工具,这个工具可以让笔手势设计者通过多个样例训练来定义笔手势,并用更少的精力来设计基于笔手势的用户界面.Tracy Westeyn 介绍了乔治亚州工学院手势工具包 GT2k^[19],这个工具包与剑桥大学的语音识别工具 HTK 结合起来,提供了一个支持手势识别研究的工具.赵瑞提出了增强认知的概念和技术,以支持笔手势在基于手势的直接语法的编辑器中识别^[27].Peter Tandler 提供了一个增强的手势识别技术,允许用户在画笔手势时便立即提供连续性反馈,并允许及时修正.Allan Chris Long 先后开发了 gdt^[13]和 quill^[15]笔手势设计工具,允许设计者输入和编辑训练样例,并对设计者输入的笔手势样例进行识别.

但少数研究者发现,尽管设计者能够很容易地利用工具创建和设计笔手势,用户在使用笔手势时,仍然存在很多问题.Allan Chris Long 对 PDA 用户使用笔手势的情况做了一次调查^[12].结果显示,用户认为笔手势是非常强大的、高效的、自然的;但用户希望有更多的笔手势得以使用,而且用户发现笔手势难以记忆.从研究者对用户使用 Tivoli 情况的调查中,我们看到笔手势的问题是“新手用户很难记住他们^[23]”.我们认为,用户在使用笔手势时,不像菜单和按钮等形式的命令一样只需要用户再认(recognition),而需要用户先记住(remember)笔手势,然后进行回忆(recall)并正确的画下来.这样,笔手势的易学习性、易记忆性是笔手势可用性中非常重要的方面.

Allan Chris Long 在笔手势的易学性和易记忆性方面做了大量工作.他首先假设,用户记不住笔手势是设计者设计的一组笔手势中它们之间的相似性较大的缘故.因而,他做了一组实验,以研究用户为什么认为两个笔手势是相似的^[14].通过对实验结果进行分析,他提出了一个计算模型以预测笔手势之间的相似性,认为两个笔手势的观测数据之间相关为 0.56 时,被试就会感知到两者相似.他把这个结果应用于 Quill 工具之中^[15].Quill 是用来帮助笔式用户界面的设计者创建并改进笔手势的工具.Long 还做了一个实验研究,考察哪些因素影响了手势的易记忆性^[15].该实验显示,图标性(iconicness,或形象性)是影响笔手势易学性和易记忆性的最重要的因素.

Long 的实验中试图消除手势与命令名称之间的联结造成的影响,而单独研究笔手势组合和笔手势的几何特征对笔手势易学性和易记忆性的影响.我们认为,在笔手势的易学性与易记忆性方面,笔手势与命令名称之间的联结是否有意义是至关重要的.因为,用户对笔手势符号的学习与记忆的重点在于:需要对笔手势进行表象表

征,并通过复述存储于长时记忆中.根据双重编码理论^[28],用户学习笔手势不仅学习笔手势符号(需要先建立表象表征),还要将笔手势符号与笔手势的交互含义(命令,需要先建立命题表征)建立联结,即用户要将表象表征(笔手势符号)与命题表征(命令)联结在一起加以学习和记忆.由此可见,我们要让我们设计的笔手势交互具备易学性和易记忆性的特点,要关注和研究的,一是所设计的笔手势的符号是否有利于用户的表象表征,即形象性;二是笔手势能否促进用户的两个表征系统之间的联结,即联结的意义性.基于此,我们开展了本研究,本文下面的部分将从笔手势与命令间的联结的角度,通过文献调研和用户调查,对现存的笔手势进行详细调查,并对笔手势进行分类.

2 笔手势分类调查和分析

2.1 文献调研

通过查阅文献和实际调研,我们考查了 12 个有名的笔式系统,如 Windows XP Tablet Edition^[26],Mac OS X Tiger^[16],Newton^[20],Palm OS^[22],Cinema Listing Application^[21],Tivoli^[23],Quickset^[5],Teddy^[8],SILK^[9,10],Air Traffic Control^[4],CADesk^[3],MindManager^[17]等.我们考察了这些系统中的总共 100 多个笔手势.

由于笔手势是以符号的形式表征的,因此,我们首先从笔手势符号的物理特征的角度来考察分析这些笔手势.我们知道,Rubine 总结了笔手势的 11 个几何分类特征^[25],但他的分类特征是从计算机对笔手势的特征识别的角度来考虑的.我们从用户对笔手势的符号形状的特征识别的角度,对笔手势符号进行物理特征分析.我们发现,所有的笔手势中均包含有 3 个基本的几何元素:圈(○)、弯(∠)和线(—).用户在识别区辨一个笔手势时,很容易根据这 3 个几何元素的数量(如这个笔手势有一个圈还是两个圈)、所在空间方位(如圈位于上方还是下方),以及时间维度上的笔画顺序点(如圈是起笔的时候画的还是落笔的时候画的)来进行识别区辨.我们以图 1 的笔手势来进行说明.我们看到,图 1 中的笔手势(粗线)中,有线和圈两个几何元素,其中圈位于右侧,而且在笔画顺序上位于过渡阶段.





图 1 笔手势物理特征分析


因此,我们认为,能够影响用户识别和区辨一个笔手势的物理特征有如下几个方面.

- (1) 几何元素及数量.主要有 3 种几何元素:圈、弯和线.
- (2) 几何元素所在的空间方位.可以分为 4 个方位:上、下、左和右.
- (3) 画笔顺序点.可以分为:起笔、过渡和落笔.



通过上述分析,我们认为,在设计笔手势时,为了不使一组笔手势中的两个笔手势过于相似,至少要使两个笔手势的基本几何元素的数量、空间方位和笔画顺序点等方面中有两个方面不同.




另外,我们发现,从笔手势符号的物理特征上分析对设计高可用性的笔手势帮助有限,因为用户在使用笔手势调用命令时,关注的焦点不在于笔手势的物理特征,而在于笔手势是否好用(重点在于易学易记性上),且笔手势能否顺利调用想要的命令.因而,我们从另外一种角度,也就是从笔手势与命令之间的联结的角度,来对调查的这些笔手势进行分析.调查结果发现:

- (1) 有 64% 的笔手势与它们所代表的命令有形象性的、意义性的联结.如  表示“右对齐”,这个笔手势有向右的方向指示性,比较形象,并与命令的意义相符合.
- (2) 有 12% 的笔手势用所代表的命令名称的首字母来表示,如  表示“复制(Copy)”.

(3) 有 24%的笔手势与命令没有什么明显的关联,如  表示“剪切”,笔手势符号与命令没有明显关联。

据此,我们可以把现存的笔手势分为 3 类:与所代表的命令有形象性、意义性联结的笔手势,我们取名为“意义性笔手势”;是由所代表的命令名称的首字母表示的笔手势,我们取名为“字符性笔手势”;是与命令关联性小的笔手势,我们称之为“非意义性笔手势”。

同时,我们发现所调查的这些系统的笔手势设计中存在两个问题。首先,一个系统中,存在不同类别的笔手势。例如,在 SILK^[9]中,存在“删除”笔手势  和“复制”笔手势 。前者属于意义性笔手势,而后者属于字符性笔手势。如果一个系统中的笔手势组中使用两种类别的笔手势,可能使用户感到疑惑,并影响用户对这些笔手势的学

习和记忆。其次,一个笔手势在不同的系统中代表不同的命令。例如,在 Tivoli 中,  和  笔手势分别代表“向下翻”和“向上翻”命令;而在 Mindmanger 中,两者却分别代表“缩小”和“放大”命令。在 Air Traffic Control 中,  代表“撤销”命令;而在 Quickset 中,代表的却是“删除”命令。一旦用户需要使用两个系统,将很容易使其导致错误的操作。因此,我们认为,规范笔手势设计显得非常必要。

2.2 用户调查





基于以上发现,我们进一步编制调查问卷,让用户评估笔手势与命令之间的联结程度,并探查良好的笔手势应具备哪些特征,为笔手势的设计寻找依据。我们从文本编辑器(如 MS Word)中选择我们认为适合用笔手势实现的命令,并将每个命令的可能符合的笔手势尽可能多地罗列出来。笔手势的来源有两个:从文献调查中研究者设计的笔手势,以及我们自己小组讨论和征询专家而得到的笔手势。

本问卷中,调查对象假设自己正在用手写笔编辑一篇电子文档,并将用笔手势来完成一些任务(命令操作)。问卷一共有 20 道题,每道题中有一个命令,并列出了 4 个与命令相关的笔手势,让调查对象对这些手势按符合程度由高到低进行排序。问卷示例如下:

1、删除		排序:	
			
1	2	3	4

在问卷最后提出了一个开放题,以了解调查对象认为良好的笔手势会具备哪些特征。


我们选择某名牌大学的信息科学学院和心理学院以及某研究所的研究生作为调查对象,他们均能熟练使用计算机和 Microsoft Office,对问卷中的命令很熟悉。一共发出 60 份问卷,回收 58 份问卷。回收问卷后,对结果用 SPSS 进行统计分析。排序的记分编码为:排在第 1 位记 3 分,第 2 位记 2 分,第 3 位记 1 分,排在第 4 位的计 0 分。将编码结果输入到 SPSS 软件,通过重复测量方差分析,可以从每题的 4 个手势中,选出分数显著高于其他 3 个的一个笔手势。

我们对 20 组笔手势中分数显著高于其他 3 个的笔手势进行特征分析,发现有 19 个笔手势(占 95%)符合我们前面所定义的“意义性笔手势”。例如:整段选择— , 左缩进— , 右缩进—  (还有一部分已在后续实验中作为实验材料,请看表 1)等。在问卷最后的开放题中,94%调查对象也认为形象的、有意义性的笔手势更容易记忆和学习,符合认知习惯;应该多用“通用的符号”作为笔手势。有 1 个笔手势是“字符性笔手势”,如:复制(copy)— 。这说明,意义性笔手势更容易被用户认为是“良好”的笔手势。

3 意义性笔手势及其分类

综合前述的文献调查和用户问卷调查,我们提出了笔手势设计的几个基本原则.

首先,良好的笔手势应该相对于它所代表的命令来说是形象的、有意义的,即良好的笔手势应该被设计成是“意义性笔手势”.





其次,笔手势应该操作简单;一般笔手势符号不应超过 3 个圈(如 ) 的复杂程度.


再次,一组笔手势中两两之间相似性应该尽量小^[14].如文献调研中所述,至少要使两个笔手势的基本几何元素的数量、空间方位和笔画顺序点等方面中有两个方面不同.


还有一点,笔手势可以考虑用命令首字母表示的“字符性笔手势”,但我们认为一组字符性笔手势中会存在命令首字母重复、用户对字母的理解有差异等问题.



用户调查结果表明,用户更希望笔式系统中采用“意义性笔手势”.但是,这个概念很难明确界定.通过查阅文献我们发现,Cassell^[29]根据人们说话时的言语和其对应的手势(手语手势)之间的关联,对手语手势进行了界定和分类: 直证的或指示的(Deictic)手势,如用手指点实物和其方位等; 图标的或形象性的(iconic)手势,即用手形象地比划所描述的事件或行动的特征; 隐喻性(Metaphoric)手势,即用手来表征抽象概念,如当某人说“一遍又一遍发生”时,重复地画着圆圈; 击打(Beat)手势,如人们为了强调自己所说的话而双手向下一顿,就是击打手势.

受 Cassell 的分类的启发,结合笔手势与命令联结的特点,我们把意义性笔手势分为以下 3 类,这些分类也体现了这一概念的定义与范畴.

(1)指示性笔手势.这类笔手势有方位指向性或动作指向性,如“上翻”、“下翻”命令的笔手势分别为  和  (圆点处为笔手势的起笔点,下同),这两个命令的笔手势就有方位指向性.指示性笔手势还可以细分为两个子类,一个子类是命令的名称和笔手势均有方位指向性,如“上翻”和其笔手势 ,我们命名为“双指示性笔手势”;另外一个子类是命令的名称无方位指向性,而笔手势有方位指向性,如“撤销”命令及其笔手势 ^[15],我们命名为“单指示性笔手势”.

(2)实物隐喻笔手势.这类笔手势的形状是从具体实物中简化出来的,其内涵具有实物的隐喻意义.如“放大”的笔手势为 ,可以是对“放大镜”的简化,即该笔手势内涵“放大镜”的实物隐喻意义.

(3)文化约定笔手势.这类笔手势符合特定文化里约定俗成的用法.例如,对于出版社编辑来说,“删除”文字的校对符号是 ,这个符号是约定俗成的,这个符号可以称作文化约定笔手势.其中,文化约定又包括全球性的文化约定,地域相关的文化约定,职业领域相关的文化约定(如出版社编辑的校对符号)等.

需要明确的是,上述分类并不是像一般情况下的离散性的分类,它是对意义性笔手势不同特征的侧面进行归纳概括,而“特征”是有连续性的.因而,往往有可能针对一个命令设计的两个笔手势都有“指示性”(或“实物隐喻”、或“文化约定”),但它们的指示性的明确程度是不同的,其意义性的程度也就不同.例如针对“上翻”命令设计的两个笔手势:  和 ,两者均有一定的“指示性”,但可以看出前者比后者的指示性的明确程度强.另外,还需说明一点的是,针对一个命令设计的意义性笔手势可以是属于不同的分类的,即我们既可以设计成指示性笔手势,也可以设计成实物隐喻的笔手势或文化约定的笔手势.

4 实验评估

4.1 实验设计





































为了对意义性笔手势进行可用性评估,我们做了一个学习实验,目标是考察意义性笔手势是否比其他非意义性笔手势更加容易学习;意义性笔手势的 3 个分类在易学性方面是否存在差异.由于选择非意义性笔手势材料的难度较大,而如果我们自己设计非意义性笔手势则会有自我验证的危险,因而,我们采取了这样的思路:我们首先选取一些典型的命令,根据我们所提出的 3 类意义性笔手势设计出我们认为与命令匹配良好的笔手势.然后,我们需要做比较研究,与目前学术界所公认的较好的笔手势设计进行比较.Berkley 的 Long 在笔手势研究方面有很高声誉,因此,我们以其作为我们的比较对象.这样,我们选择了 3 个组作为自变量的 3 个水平. 实验组:我们所设计的意义性笔手势; Long 组:Chris Long 设计的与命令联系最紧密的“图标式的”笔手势(有很多符合意义性笔手势的定义,见后面的分析)^[15],作为我们设计的笔手势的效标; 对照组:是目前的笔式系统和其他研究者所设计的笔手势^[4,9,10,16,17,20],作为前面两个组的对照.这 3 个组的实验材料一共为 12 个编辑命令分别与 3 组笔手势所形成的对偶材料,具体见表 1.


我们看到,这些笔手势都符合操作简单的原则:根据对笔手势的几何特征分析,每个笔手势组均一共有 6 个圈和 9 个弯,可以说明在物理的复杂程度上是相近的;每组内部的笔手势之间均符合“一组笔手势之间的相似性应该较低”的原则^[14].

在实验组中,有 8 个为指示性笔手势:撤销、旋转、全选、齐左、齐右、下翻、重做、上翻;有 3 个为实物隐喻笔手势:放大、缩小、剪切;有 1 个为文化约定笔手势:删除.在 Long 组中,有 8 个符合我们所定义的指示性笔手势:撤销、齐左、齐右、下翻、重做、上翻、放大、缩小,“剪切”手势可能是“X”的连笔写,可能是由快捷键“Ctrl+X”联想而来,属于字符性笔手势,“删除”、“旋转”和“全选”笔手势似乎没有明显的意义.在对照组中,有 3 个符合我们所定义的指示性笔手势:放大、缩小、旋转;有一个符合我们所定义的文化约定笔手势:删除;其他 4 个手势似乎没有明显的意义.

我们采用被试间的实验设计,因变量考察被试的学习遍数和回忆错误次数.

表 1 实验材料

命令	撤销	旋转	全选	齐左	齐右	剪切
实验组						
Long 组						
对照组						
命令	下翻	放大	重做	上翻	缩小	删除
实验组						
Long 组						
对照组						

注:有一部分笔手势,如  ,看起来似乎是两笔,事实上,这种手势是可以一笔写完的.

4.2 实验工具和场地

在两个标准的实验室里放有两台 CPU 为 Pentium IV,1.7G,内存为 256 兆、显示器为 WACOM 的 15 英寸手写液晶屏的计算机和一支手写笔.显示器分辨率为 1024×768 像素.其他工具有:长时记忆实验用纸以及被试知情及个人信息表.

4.3 被试

被试者为某名牌大学二年级和三年级的大学生,通过海报一共招聘被试 51 人.他们中有 4%的人有使用过手写 PDA 的经历.被试者获得 20 人民币的报酬.这些被试被随机分配到实验组、Long 组和对照组 3 个组中,每组的实验被试基本均衡.

4.4 实验过程

实验程序是用 VB6.0 编写的,在 MS Windows XP 上运行.程序向被试呈现实验任务,并记录实验数据.

具体的实验过程为:实验程序首先以 2s 每对的速度随机呈现命令和笔手势配对的实验材料(呈现阶段).每名被试学习一组材料中的 12 对材料,并尽量记住这些实验材料.接下来,程序进入测验阶段,只呈现命令名,要求被试回忆与之配对的笔手势符号,并将其用手写笔画在计算机屏幕上,4s 后,程序向被试反馈正确答案.主试记录被试回忆正确与否.被试如果在一遍回忆中不能完全回答正确,主试要求被试再做一遍,直到被试能够对该组材料连续两遍无误的回忆出来为止.

4.5 结果分析

4.5.1 3 组材料的学习遍数比较

实验材料的学习遍数是笔手势易学性的主要指标.我们先对学习实验的 3 组材料的学习遍数进行比较.它们的描述统计如图 2 所示.

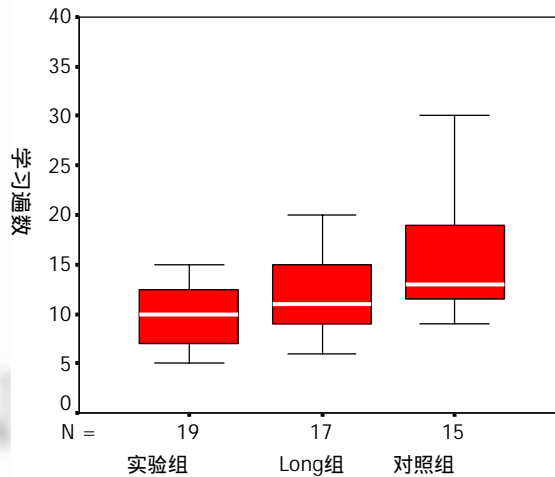


图 2 学习实验描述统计

对 3 组材料分别进行两两的两独立样本非参数 Mann-Whitney 检验,统计结果见表 2.

表 2 3 组材料的学习遍数差异检验

	实验组	Long 组
Long 组	126.5(.265)	
对照组	60.0(.004)**	78.5(.063)

注:数据区括号外为 U 值,括号内为近似的显著性水平 p ; **表示 $p < .01$

从表 2 的结果中我们可以看出,在学习实验中,实验组与 Long 组的学习遍数之间不存在显著差异,说明实验

组和 Long 组的学习效果差异不显著,但实验组的学习遍数显著少于对照学习遍数,这说明实验组的学习效果显著好于对照组.表中还可看出 Long 组与对照学习遍数差异不显著.

4.5.2 意义性笔手势与非意义性笔手势之间的差异分析

我们看到,在 Long 组有 3 个笔手势(“旋转”、“全选”和“删除”)是非意义性笔手势,而实验组设计的是意义性笔手势(“旋转”、“全选”为指示性笔手势,“删除”为文化约定笔手势).我们将这 3 个命令对应于实验组的 3 个笔手势结合起来,命名为“意义组”,将对应于 Long 组的 3 个笔手势结合起来,命名为“非意义组”.我们比较意义组和非意义组是否有差异,并将它们在学习实验中的回忆错误次数作为学习效果的指标进行考察,描述统计如图 3 所示.

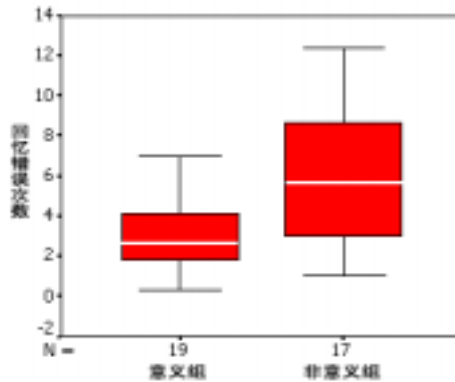


图 3 意义组和非意义组回忆错误次数的描述统计

对两组结果进行两独立样本非参数 Mann-Whitney 检验,结果表明,意义性笔手势的回忆错误次数显著少于非意义性笔手势($U=77.0, p=.007<.001$).这说明:意义性笔手势比非意义性笔手势更容易学习.

4.5.3 3 类意义性笔手势之间的差异分析

前面提到,我们把意义性笔手势分为指示性笔手势、实物隐喻笔手势和文化约定笔手势 3 类.我们看到,实验组、Long 组和对照组中,“放大”和“缩小”笔手势的设计分别属于不同的意义性笔手势类别,实验组设计的是实物隐喻的笔手势(用“放大镜”代表放大,头朝下表示“缩小”),而 Long 组设计的是指示性笔手势(旋转向外表示放大,旋转向内表示缩小),对照组设计的是另外一种指示性笔手势(指向上表示放大,指向下表示缩小).

我们将“放大”和“缩小”命令对应于实验组的两个笔手势结合起来,并命名为“实物隐喻组”;将对应于 Long 组的两个笔手势结合起来,并命名为“指示性组 1”;将对应于对照组的两个笔手势结合起来,并命名为“指示性组 2”,并将它们在学习实验中的回忆错误次数作为学习效果的指标进行考察,描述统计如图 4 所示.

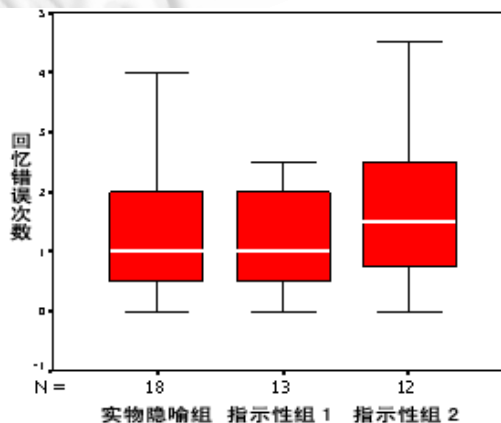


图 4 3 组的回忆错误次数描述统计

注:存在极端样本,实验组中已剔除 1 个,Long 组中已剔除 4 个,对照组中已剔除 3 个

分别进行两两的两独立样本非参数 Mann-Whitney 检验,统计结果见表 3.

表 3 3 个组的非参数差异检验结果

	实物隐喻组	指示性组 1
指示性组 1	117.0(.729)	
指示性组 2	90.5(.283)	76.5(.477)

注:数据区括号外为 U 值,括号内为近似的显著性水平 p ; **表示 $p < .01$

可以看到,3 个组均有较低的回忆错误次数,而且 3 组之间均没有显著差异.这可能部分地说明,意义性笔手势中的其中两个分类——指示性笔手势和实物隐喻笔手势——都有利于被试的学习,而且它们的效果是差不多的.

实验组和对照组的“删除”命令笔手势都是文化约定笔手势,非参数 Mann-Whitney 检验表明两者在回忆错误次数上不存在显著差异($p=.067$,但两者的回忆错误次数均显著少于 Long 组($p<.001$),Long 组的设计属于非意义性笔手势.由于 3 组中没有一个命令,同时适合于设计成实物隐喻笔手势和文化约定笔手势,或同时适合于设计成指示性笔手势和文化约定笔手势,因而,我们没有对文化约定笔手势与其他两类意义性笔手势进行比较.

5 讨论

研究结果表明,被试更容易学习和记忆那些指示明确的、实物隐喻的、符合文化约定的意义性笔手势.这种结果可以用双重编码理论来获得解释.

Paivio 的双重编码理论认为^[28],大脑中存在两个相互独立又彼此联系的系统来对信息进行表征与加工:一个是非言语系统(表象系统),一个是言语系统(命题系统).Paivio 认为两个系统均有其基本表征单位:在言语系统中是词元(logogen),在非言语系统中是象元(imagen).词元是通过联想和层级关系组织起来的,而象元是通过半全的关系(part-whole relationships)组织起来的.双重编码理论提出了两个系统如何联系起来的 3 个过程: 表征过程,这个过程直接激活言语表征或非言语表征; 指示性联系过程,这个过程中,言语系统激活表象系统,或者相反; 联想过程,这个过程在相同的言语或非言语系统中完成表征激活.我们的实验任务可能要求经过所有的过程.我们看到,言语系统和表象系统通过词元和象元之间的指示性联系而相互关联.如果外界刺激(笔手势符号与命令含义)能促进两者之间的联结,这两个系统对用户记忆刺激会有叠加的促进作用.从上述试验也可以看出,由于对照组所采用的笔手势中有些手势并没有或者有很弱的意义性,不利于促进两个表征系统建立联结,从而从双重编码理论来说,这些手势不方便用户的学习和记忆,上述试验的结果也说明了这一点,而我们的实验组和 Long 组的手势经过精心设计,是具有指示明确的、实物隐喻的或文化约定的意义性笔手势,既有利于用户的表象表征,又能够促进两个表征系统建立联结.因而,被试更加容易学习和记忆它们.也为我们设计新的笔手势提供了理论指导.

6 将来的工作

我们的实验设计没有像典型的心理学实验设计那样有严格的变量及其处理水平.这是我们已经意识到的问题,也是个一个比较难处理的问题.然而,从易学性的角度去研究笔手势的设计,研究其设计原则和设计依据是否合理可能更为合适.我们所提出的意义性笔手势可能的贡献就是能够给设计者一个设计框架或依据,这样人们可以设计出指示明确的、实物隐喻的或文化约定的笔手势.当然,我们在结果分析中已经有一些对比分析,比如意义性笔手势与非意义性笔手势之间的易学性差异分析等,但我们希望经后能够找到更好的办法,设计出更加严格的实验.

本文我们考察了意义性笔手势的易学性问题,接下来的一个问题是我们所设计的这些意义性笔手势能否

易于被计算机程序所识别,这是我们将来需要做的一项重要工作。

另外,我们发现,画笔手势的运动轨迹对用户学习笔手势效果产生影响,如用户习惯轨迹和用户非习惯轨迹会对用户学习效果产生不同的影响,下一步我们将研究这将对用户产生怎样的影响。

同时,我们将综合文献,结合我们的研究,形成一个笔手势设计的指南,为我们设计开发笔手势库和笔手势管理工具提供理论依据。

致谢 在此,我们向对本文的工作给予支持和建议的同事,尤其是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主任王宏安研究员,以及在讨论会提供积极意见的老师和同学表示感谢。

References:

- [1] Abowd GD, Atkeson CG, Feinstein A, Hmelo C, Kooper R, Long S, Sawhney N, Tani M. Teaching and learning as multimedia authoring: the classroom 2000 project. In: Proc. of the 4th ACM Int'l Conf. on Multimedia, Boston, United State, 1996. 187-198.
- [2] Alvarado CJ, Davis R. Resolving ambiguities to create a natural sketch based interface. In: Nebel B, ed. Proc. of the IJCAI-2001. Washington: Morgan Kaufmann Publishers, 2001. 1365-1371.
- [3] Bimber O, Encarnacao LM, Stork A. A multi-layered architecture for sketch-based interaction within virtual environments. Computers & Graphics, 2000,24:851-867.
- [4] Chatty S, Lecoanet P. Pen computing for air traffic control. In: Human Factors in Computing Systems (SIGCHI Proc.). ACM, Addison-Wesley, Apr. 1996. 87-94.
- [5] Cohen P, Johnston M, McGee D, Oviatt S, Pittman J, Smith I, Chen L, Clow J. Quickset: Multimodal interaction for distributed applications. In: ACM Int'l Multimedia Conference. New York, 1997. 31-40.
- [6] Elrod S, Bruce R, Gold R, Goldberg D, Halasz F, Janssen W, Lee D, McCall K, Pedersen E, Pier K, Tang J, Welch B. LIVEBOARD: A large interactive display supporting group meetings, presentations, and remote collaboration. In: Proc. of the ACM Conf. on Human Factors in Computing Systems: CHI'92. Monterey, 1992. 599-607.
- [7] Gross MD. The electronic cocktail napkin—A computational environment for working with design diagrams. Design Studies, 1996,17(1):53-69.
- [8] Igarashi T, Matsuoka S, Tanaka H. Teddy: A sketching interface for 3D freeform design. In: Computer Graphics Proc., Annual Conference Series. ACM SIGGRAPH, 1999. 409-416.
- [9] Landay JA, Myers BA. Interactive sketching for the early stages of user interface design. In: Proc. of CHI'95. 1995. 45-50.
- [10] Landay JA, Myers BA. Sketching interfaces: Toward more human interface design. IEEE Computer, 2001,34(3):56-64.
- [11] Lin J, Newman M, Hong J, Landay J. DENIM: Finding a tighter fit between tools and practice for web site design. CHI Letters: Human Factors in Computing Systems, CHI 2000, 2000,2(1):510-517.
- [12] Long Jr. AC, Landay JA, Rowe LS. PDA and gesture use in practice: Insights for designers of pen-based user interfaces. Technical Report, UCB//CSD-97-976,U.C. Berkeley, 1997. Available at <http://bmc.berkeley.edu/papers/1997/142/142.html>
- [13] Long Jr. AC, Landay JA, Rowe LA. Implications for a gesture design tool. In: Human Factors in Computing Systems (SIGCHI Proc.). ACM Press, 1999. 40-47.
- [14] Long Jr. AC, Landay JA, Rowe LA, Michiels J. Visual similarity of pen gestures. In: Proc. of the Human Factors in Computing Systems SIGCHI 2000. 2000,2(1):360-367.
- [15] Long Jr. AC. Quill: A gesture design tool for pen-based user interfaces. Berkeley: University of California, 2001.
- [16] Apple Corporation. MAC OS X Tiger, 2005. <http://www.apple.com/macosex/overview/>
- [17] Mindjet Corporation. MindManager, 2005. <http://www.mindjet.com>
- [18] Mynatt ED, Igarashi T, Edwards WK, LaMarca A. Flatland: New dimensions in office whiteboards. In: Proc. of the CHI'99 Human Factors in Computing Systems, Pittsburgh, PA, 1999. 346-353.
- [19] Westeyn T, Brashear H, Atrash A, Starner T. Georgia tech gesture toolkit: Supporting experiments in gesture recognition. In: Proc. of the 5th Int'l Conf. on Multimodal Interfaces. New York: ACM Press, 2003. 85-92.
- [20] Apple Computer, Inc., Newton, 1997, <http://www.apple.com>

- [21] Nicholson M, Vickers P. Pen-Based gestures: An approach to reducing screen clutter in mobile computing. In: Brewster S, Dunlop M, eds. MobileHCI 2004. LNCS 3160, 2004. 320–324.
- [22] Palm, Inc., Palm Computing. 2005. <http://www.palm.com>
- [23] Pedersen ER, McCall K, Moran TP, Halasz FG. Tivoli: An electronic whiteboard for informal workgroup meetings. In: Proc. of the ACM INTERCHI'93 Conf. on Human in Computing Systems. 1993. 391–398.
- [24] Rnbine D. Specifying gestures by example. In: Computer Graphics. Addison Wesley: ACM SIGGRAPH, 1991. 329–337.
- [25] Rnbine D. Combining gestures and direct manipulation. In: Proc. of the SIGCHI Conf. on Human Factors in Computing Systems. 1992. 659–660.
- [26] Microsoft Inc., Windows XP Tablet PC Edition, 2005. <http://www.microsoft.com/windowsxp/tablet/default.aspx>
- [27] Zhao R, Kaufmann H-J, Kern T, Miiller W. Pen-Based interfaces in engineering environments. In: Anzai Y, Ogawa K, Mori H, eds. Int'l Conf. on Human-Computer Interaction, Vol.20B of Advances in Human Factors/Ergonomics. Information Processing Society of Japan and others, Elsevier Science, 1995. 531–536.
- [28] Eysenck M, Keane MT. Cognitive psychology: A student's handbook. 4th ed., Psychology Press, 2000.
- [29] Cassell J. A framework for gesture generation and interpretation. Computer Vision in Human-Machine Interaction. Cambridge University Press, 1998. 191–215.

附中文参考文献:

- [28] 艾森克,基恩著,高定国等译.认知心理学(第4版).上海:华东师范大学,2004.391–398.



徐礼爽(1982 -),男,安徽潜山人,博士生,主要研究领域为笔式交互,最终用户编程.



田丰(1976 -),男,博士,助理研究员,主要研究领域为笔式交互,虚拟现实,用户界面工具.



程铁刚(1979 -),男,硕士,主要研究领域为用户体验,交互设计,可用性.



戴国忠(1944 -),男,研究员,博士生导师,主要研究领域为人机交互技术,计算机图形学.