

# 目标点击操作中不同方向对笔压性能影响的研究

辛义忠<sup>1</sup> 马燕飞<sup>1</sup> 李岩<sup>2</sup> 赵恒悦<sup>1</sup>

(沈阳工业大学信息科学与工程学院 沈阳 110870)<sup>1</sup> (沈阳体育学院体育信息技术系 沈阳 110102)<sup>2</sup>

**摘要** 在基于 Fitts 定理的目标点击任务中,不同的操作方向可能会对笔尖压力的使用性能产生影响,但 Fitts 定理却忽视了对方向因素的考察。因此,采用实证研究方法设计了两类方向,一类是矩形菜单栏方向(北-南,西-东,东北-西南和东南-西北),另一类是压力增减方向(分别在 4 种方向的矩形条菜单上逐步增大压力(Pressure Increase)或逐步减小压力(Pressure Decrease)来选择两个目标,分别称之为 PI Pointing 和 PD Pointing 操作),考察了在基于 Fitts 定理的点击任务中不同方向对笔压使用性能的影响。实验要求 12 名实验者依次获取并选择矩形条上的两个不同间距和不同大小的目标。实验结果表明,不同的压力增减方向对笔压的使用性能有影响,而不同的矩形菜单栏方向对笔压的使用性能没有显著性差异。本研究对基于笔压使用的用户交互界面设计具有帮助和指导作用。

**关键词** 点击任务,笔压性能,方向影响,笔式交互

**中图分类号** TP391 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2014.10.016

## Empirical Study of Direction Effect on Pen Pressure Performance in Pointing Tasks

XIN Yi-zhong<sup>1</sup> MA Yan-fei<sup>1</sup> LI Yan<sup>2</sup> ZHAO Heng-yue<sup>1</sup>

(Department of Information Science and Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China)<sup>1</sup>

(Department of Sports Information Technology, Shenyang Sports College, Shenyang 110102, China)<sup>2</sup>

**Abstract** Direction may have an effect on the performance of pen pressure in pointing tasks, but the impact factor is not considered in Fitts' Law. To investigate whether directions have an influence on the performance of the pen pressure in pointing operations, we designed the experiment which contains two kinds of directions. One is made up of four rectangular menus with different directions (North-South, West-East, Northeast-Southwest and Northwest-Southeast). The other is pressure direction. The participants increase pen pressure or decrease pen pressure to select the targets on the rectangular menu, and we referred to as PI Pointing and PD Pointing, respectively. Twelve participants are required to obtain and select two targets which have different distances (100, 200, 300 pixels) and different widths (20, 30, 40 pixels) on rectangular menus. Experimental results show that the pressure direction has an impact on pressure efficiency, while the different menu directions have no significant effect. The findings of this study will be useful for human-oriented pen pressure use in user interface designs.

**Keywords** Pointing tasks, Pressure performance, Direction effect, Pen-based interfaces

## 1 引言

现代计算机技术高速发展,人们对人机交互界面的自然性和使用效率也有越来越高的要求。其中,笔式交互因具有书写方便、学习时间短、支持直接操作、户外携带便利等优势而越来越受人们的欢迎,发挥着自身的使用价值和开发潜力。

但是,笔式交互也存在一些缺点。例如,在传统的笔式交互中,笔只支持笔尖的二维坐标信息,输入带宽低,不能连续地完成点击和命令选择两个任务。而鼠标等输入设备由于具有左右两个键而使它的输入能力远高于笔的输入能力。经过对笔式交互的进一步考察和研究之后,研究者们发现笔除了具有笔尖通道外还有一些固有的输入通道可以使用,例如,笔尖压力、倾斜角、方位角等输入模式,它们能提高笔的输入带

宽和输入能力。

本文系统地考察了笔压的相关性能,首先考察了不同方向的 pointing(点击)操作对人使用笔压能力的影响;其次,探究了在不同方向的影响下,人们使用笔压进行 Pointing 行为是否还会符合 Fitts 定理,也就是说,考察方向是否会对笔压的使用性能有显著影响;最后,针对实验结论展开分析讨论,探讨不同方向对笔压性能产生影响的原因,并展望未来工作。另外,我们总结了一些关于笔压交互设计的见解。

## 2 相关工作

在人机交互操作中,很多操作可以映射为点击任务,比如选择一个菜单项,点击一个图标、按钮等,而 Fitts 定理是考核点击操作任务的一个健壮模型<sup>[1]</sup>。因此,在点击任务操作中,

到稿日期:2013-06-21 返修日期:2013-08-10 本文受国家自然科学基金(61100091),辽宁省高等学校优秀人才支持计划项目(LJQ2012007),教育部留学回国人员科研启动基金,沈阳工业大学青年学术骨干教师培养项目,微软亚洲研究院铸星计划项目等资助。

辛义忠(1976-),男,博士,副教授,主要研究方向为人机交互,E-mail:xyz@sut.edu.cn;马燕飞(1987-),女,硕士,主要研究方向为笔式交互;李岩(1974-),女,硕士,讲师,主要研究方向为人机交互;赵恒悦(1986-),女,硕士,主要研究方向为笔式交互。

很多前人的研究都是基于 Fitts 定理来考察笔的输入通道使用性能。Fitts 定理<sup>[2]</sup>描述了完成任务的操作时间(MT)与困难指数(ID)之间的线性关系。其中,困难指数  $ID = \log_2(A/W + 1)$ ,  $A$  表示移动距离,  $W$  表示目标的宽度,  $MT$  与  $ID$  的线性关系为:  $MT = a + b \times ID$ 。

有关笔的压力的文献是在新世纪后才陆续出现的,大部分文献关注的是新颖的交互应用程序设计。Mizuno 等人<sup>[3]</sup>发明了一个虚拟雕刻的用户交互系统,它通过控制笔的压力变化来改变雕刻的深度和角度,通过模拟实物来进行雕刻。Ramos 和 Balakrishnan 提出了压力标记<sup>[4]</sup>,它能够使用户在用笔绘画时通过压力控制来实现绘画和选择命令同时进行。

还有一些研究集中于通过使用笔压通道来增加笔的自由度。Ren 等人提出了一个可适应混合光标<sup>[5]</sup>,它是通过笔压自动地调整光标的大小来提高目标选择的能力。Brewster 和 Hughes 提出一种移动设备上基于压力的文本输入<sup>[6]</sup>,它是通过压力的大小来切换字母的大小写,从而缩短输入时间,增加输入的吞吐量。Hasan, K. 等人提出了 A-Coord Input<sup>[7]</sup>,探究了用户同时使用笔的两个输入通道协同操作时的控制能力和通道使用性能,发现用户可以很好地控制至少两个通道来协同操作。

另外还有一些研究集中探讨人类控制笔压的能力。Ramos 等人<sup>[8]</sup>研究了人类通过控制笔压来完成选择任务的能力,从中发现可以将压力空间平分为 6 个等级来到达最优的控制。在此基础上, Xin 等人<sup>[9]</sup>发现根据个体用户自然用笔时的压力分布图,可以把压力空间不平均地分成 8 个等级以达到最优的控制。Zhou 等人<sup>[10]</sup>考察了在滑动任务中 4 种不同的开始操作位置对用户操控能力的影响。此外, Dillen 等人<sup>[11]</sup>发现方向对光标移动的持续时间有影响。

从以上的研究成果可以看出,在人机交互中笔的压力作为一种输入模式的有效性。但是,仍然还有一些方面没有进行广泛的研究。在基于 Fitts 定理的点击操作中,关于笔压的一些研究仅局限于考察目标间的距离和目标的大小两个因素,而忽略了方向这一影响因素对笔压使用性能的影响。因此,本文研究探讨了这个问题。

### 3 实验

#### 3.1 实验者

邀请 12 位志愿者参与实验,其中有 4 位女性和 8 位男性,年龄区间在 20~35 岁。这些参与者都是沈阳工业大学的学生和老师,都有较高的教育程度,并且都至少已经使用计算机 3 年。为了保持实验的一致性,实验的所有参与者的惯用手都是右手。

#### 3.2 实验设备

实验中使用一个 Wacom Cintiq 21UX 液晶平板显示器和一个无线电子笔,显示器能够识别笔的操作。实验所用的程序是在 Java 编程环境中设计的,运行在带有 Windows XP 操作系统的计算机中。

实验者在笔尖上应用的压力可以被显示器所识别,并把 0~4N(牛顿)的压力分为 0~1023 个压力等级。如果压力超出 1023 也被认为是 1023。

#### 3.3 实验过程

实验者坐在一个水平放置的显示器前面,显示器的水平

高度要使实验者能够舒服地进行操作。显示屏上有个长度为 400 像素的菜单,400 像素的长度被映射成 1024 个压力等级,菜单有 4 个不同方向(北-南、西-东、东北-西南、西北-东南)。菜单上有两个长方形的目标,两个目标的初始颜色分别为灰色和黑色(见图 1)。每个目标有 3 个不同的宽度(20、30、40 像素),而两个目标之间的距离也有 3 种情况(100、200、300 像素)。

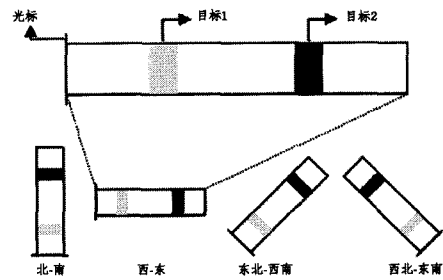


图 1 矩形菜单的 4 个方向

实验者的任务是通过控制压力的大小变化来依次获取并选择目标。实验开始时,菜单中出现两个分别为灰色和黑色的目标,光标定位在菜单的起初位置,对应压力为零。光标的位置会随着笔尖压力的大小而变化。首先实验者要以合适的压力来获取灰色目标(目标 1)并进行选择。当合适的压力使指针到达目标区域后,目标会变为黑色。当目标变为黑色时,我们用另一只手按下空格来代表目标已选择。但是如果没选中目标,结果区会显示“Error”。选择后第一目标变灰而第二目标(黑色目标)变为灰色。然后,在笔尖不离屏幕的情况下继续增大压力去获取灰色目标(目标 2)并进行选择。最后,再减小压力去获取并选择变为灰色的目标 1。实验中所用的选择方法是按空格键确认方式,在操作过程中要提醒实验者要尽力快而准地点击目标。

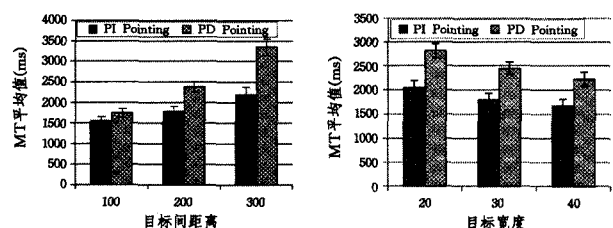
为了消除实验顺序对结果的影响,本次实验使用拉丁方的方法来确定每个实验者所做的 4 个菜单方向的顺序。每个菜单方向中的实验都重复地做一次,但每个实验出现的顺序是随机的。为了检测实验者的学习效果,把所有可能的实验放到一组中,每个实验者做 5 组实验。所以,总共实验数为:

$$12 \text{ 人} \times 5 \text{ 组} \times 4 \text{ 个方向} \times 3 \text{ 个宽度} \times 3 \text{ 个距离} \times 2 \text{ 个重复} = 4320 \text{ 次试验}$$

### 4 实验结果

#### 4.1 移动时间(MT)

移动时间是指实验者从确认选择目标 1 到确认选择目标 2 之间所用的时间。通过实验结果分析,如图 2(a)和图 2(b)所示,目标宽度越宽,两目标间的距离越小,实验者越容易控制目标。此外,PI Pointing 优于 PD Pointing。



(a) 压力增减方向×距离的移动时间 (b) 压力增减方向×宽度的移动时间

通过对数据进行方差分析中的重复度量分析后,可以得到压力增减方向( $F_{1,11}=31.114, p<0.001$ )和菜单方向( $F_{3,33}=5.576, p<0.01$ )对选择时间有显著的影响,而且压力增减方向 $\times$ 距离( $F_{2,22}=46.389, p<0.001$ )和点击方向 $\times$ 宽度( $F_{2,22}=10.262, p<0.01$ )对选择时间有显著的交互影响。这个实验结论表明用户控制压力从小到变化比控制压力从大到小变化更容易、更快速。但是,菜单方向 $\times$ 宽度( $F_{6,66}=1.148, p=0.345$ )、菜单方向 $\times$ 距离( $F_{6,66}=1.413, p=0.223$ )和菜单方向 $\times$ 压力增减方向( $F_{3,33}=2.165, p=0.111$ )对选择时间没有显著的交互影响。

如图3和图4所示,实验数据MT(移动时间)和ID(困难指数)的线性回归结果说明双目标的目标选择实验与Fitts定理有高的拟合度。在不同压力增减方向和不同方向矩形菜单的目标选择任务中, $R^2$ 都大于0.89,特别是PI Pointing和西北-东南菜单方向上, $R^2$ 都大于0.94,说明与Fitts定理的拟合程度非常高。从以上的实验结果可以看出,在考虑方向因素的影响下,笔的压力在点击任务中仍然符合Fitts定理。

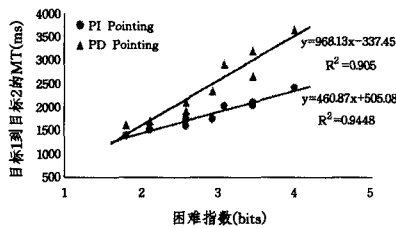


图3 不同压力增减方向上 MT 与 ID 的线性回归

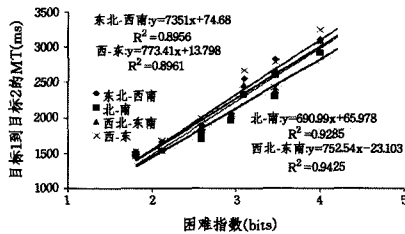


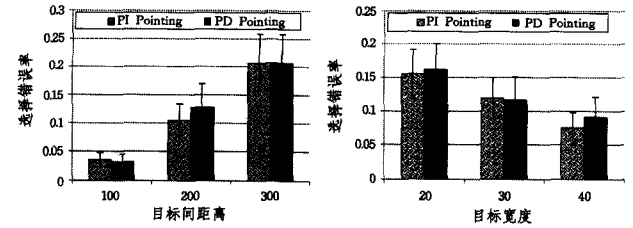
图4 不同方向矩形菜单上 MT 与 ID 的线性回归

## 4.2 选择错误率

选择错误率是指实验者选择目标1错误的实验个数与总的试验个数之比。实验结果表明不同压力增减方向对目标选择错误率没有显著影响,但是,当两个目标间距离为200像素并且目标宽度为40像素时,PI Pointing的错误率明显低于PD Pointing的错误率(如图5(a)和(b)所示)。

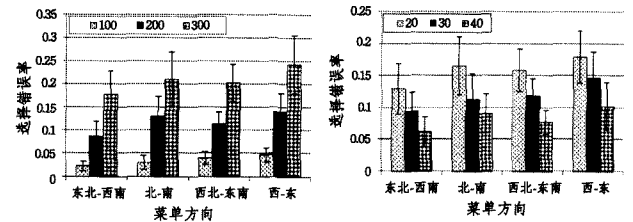
通过对数据进行方差分析中的重复度量分析后,可以得到目标间的距离( $F_{2,22}=18.236, p<0.001$ )和目标宽度( $F_{2,22}=20.790, p<0.001$ )对选择错误率有显著的影响,此外,目标间距离 $\times$ 目标宽度( $F_{4,44}=5.390, p<0.01$ )对选择错误率也有显著的交互影响。但是,通过实证数据分析(如图5(a),5(b),6(a)和6(b)所示),我们发现压力增减方向( $F_{1,11}=0.463, p=0.510$ )、菜单方向( $F_{3,33}=2.663, p=0.064$ )、菜单方向 $\times$ 目标宽度( $F_{6,66}=0.342, p=0.912$ )、菜单方向 $\times$ 目标间距离( $F_{6,66}=0.715, p=0.639$ )、压力增减方向 $\times$ 目标间距离( $F_{2,22}=0.986, p=0.389$ )、压力增减方向 $\times$ 目标宽度( $F_{2,22}=1.252, p=0.305$ )和菜单方向 $\times$ 压力增减方向( $F_{3,33}=0.947, p=0.429$ ) (见图7)对选择错误率没有显著的影响。

但是,有一点需要引起我们注意:当菜单方向为东北-西南时,选择错误率是最少的,这与我们的预期结论和实验者的主观评价是不一致的。



(a) 压力增减方向 $\times$ 目标间距离的目标选择错误率 (b) 压力增减方向 $\times$ 目标宽度的目标选择错误率

图5



(a) 菜单方向 $\times$ 目标间距离的目标选择错误率 (b) 菜单方向 $\times$ 目标宽度的目标选择错误率

图6

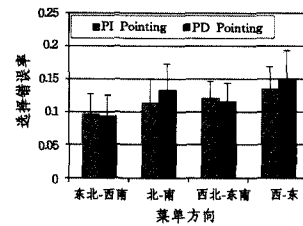


图7 菜单方向 $\times$ 压力增减方向的目标选择错误率

## 5 结果分析与讨论

### 5.1 关于笔压性能的讨论

我们采用了困难度、疲劳度、紧张度等主观指标来衡量用户使用笔压的能力,发现实验者更喜欢PI方向和北-南方向。这些实证研究结论可以用于提高笔在界面设计中的自然性和易用性,为相关笔式设备和笔式界面的设计提供基础性的参考依据。

一方面,我们探究了压力增减方向对MT产生影响的原因,这是由于用户对于不同的压力等级控制能力是不一样的。在压力变化方向PI上,由于有平板显示器对于笔尖的支撑,因此用户在增加压力的过程中,平板显示器会给用户同样大小压力的反馈,这种反馈能让用户比较容易控制压力从小变大;而在PD方向上,即用户控制压力由大变小时,缺少了支撑反馈物体,需要花费更多的时间来仔细谨慎地逐步减小笔尖的压力。此外,主观评价也显示所有的实验者感觉控制压力变大比控制压力变小更容易操作,而且小压力范围不好控制。另一方面,在本文中我们还考虑了菜单方向对笔压性能的影响,但是根据实验结果发现菜单方向在结合其他因素的情况下对笔压的性能没有很大的交互影响。可能原因是在实

验操作中选择两个目标时,笔尖的位置不需要移动,只需要改变笔尖的压力大小变化,因此,在不同菜单方向上进行目标选择时的压力控制方式实质上没有差别。不同的菜单方向仅仅是不同方向上视觉反馈的差异,由此导致对 MT 的显著影响,但是综合考虑其他交互因素,不同的菜单方向不会对笔压的使用性能造成显著差异。

## 5.2 笔压交互设计的见解和应用场景

笔的压力作为一种辅助输入通道,可以增加笔的输入带宽,提高笔的输入能力。通过本论文的研究发现,可以为基于笔压的界面设计给予以下启示。

(a)小压力范围不容易掌控。因此,在小压力范围的目标要尽量地远于起始点,并要有一定的宽度,这样用户才能快而准地进行操作;一些常用的菜单项或者工具可以对应于大压力范围,以减小操作时间,提高操作效率。另外,触发命令时可以使用压力由小变大的方式。例如,在正常书写绘画中,通过增大压力来将笔画加粗或颜色变深。

(b)对于两个经常要进行切换的目标,要把它们之间的距离拉近,这样可以减少用户的操作时间,从而提高操作效率。例如,复制和粘贴是经常要一起出现的命令,在设计菜单时应该把这两个命令目标之间的距离尽量缩小,以使用户操作方便。

(c)从实验结果得出双目标的压力点击行为是符合 Fitts 定理的,这样设计者就可以把 Fitts 定理的一些研究成果应用于基于笔压的交互设计中。

综上所述,在笔压的应用场景设计中可以有如下启示。

(1)将笔尖可用的压力空间划分,并将不同的等级空间映射为不同的菜单项,即通过控制压力的大小变化来进行菜单的选择。设计这种压力菜单时应注意将用户经常使用的菜单项对应于大压力范围,以便于用户操控,省时省力。

(2)在笔式交互设备中进行自由书写绘画时,可以通过控制笔压变化来调节笔画的粗细,例如,用户在书写绘画时增大压力,此时笔尖的轨迹就会变粗。

(3)大压力对于用户来说容易掌控。因此,可以使用大压力作为模式切换开关。例如,用户在笔的书写模式下将笔尖压力增大到一定范围,则触发笔的模式转换操作,将笔转换为命令模式,以进行菜单的选取等命令操作。

**结束语** 本文探究了基于 Fitts 定理的点击操作中方向对于笔压使用性能的影响。实验结论表明,整个压力范围内的双目标压力点击行为还是符合 Fitts 定理的。考虑到方向因素对笔压性能的影响,我们发现如下结论。

### (a)压力增减方向

在移动时间(MT)的考察中,我们发现大压力比小压力好控制,增大压力去选择目标比减小压力选择目标所花费的时间短,通过对选择错误率(ER)的分析考察,我们发现不同的压力增减方向之间没有显著性差异。

### (b)菜单方向

根据实验结果分析可以发现 4 种菜单方向上的移动时间

(MT)没有显著性差异,不同的菜单方向只是提供了不同的视觉效果,对操作性能没有显著影响;同样,菜单方向对选择错误率(ER)也没有显著的影响。

下一阶段工作中,我们将进一步探究方向对于笔的其他输入通道操作性能的影响,比如笔的倾斜角、方位角和旋转角等通道。然后将这些通道的性能进行对比研究,考察不同通道下用户的使用能力。此外,我们还会进一步研究双通道融合操作的性能和用户控制能力,探索更加人性化的通道使用策略。

## 参考文献

- [1] Kenzie S M, Fitts' Law as a Research and Design Tool in Human-Computer Interaction[C]//Proceedings of the Conference on Human Computer Interaction (HCI). 1992;91-139
- [2] Fitts P M. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement [J]. Journal of Experimental Psychology, 1954, 47: 381-391
- [3] Mizuno S, Kobayashi D, Okada M, et al. Virtual sculpting with a pressure sensitive pen[C]//Proceedings of ACM Conference on SIGGRAPH. 2003; 1
- [4] Ramos G, Balakrishnan R. Pressure marks[C]//Proceedings of ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI). 2007;1375-1384
- [5] Ren Xiang-shi, Yin Ji-bin, Zhao Sheng-dong, et al. The adaptive hybrid cursor: a pressure-based target selection technique for pen-based user interfaces[C]// Proceedings of Conference on INTERACT. 2007;310-323
- [6] Brewster S A, Hughes M. Pressure Based Text Entry for Mobile Devices[C]// Proceedings of ACM Conference on MobileHCI. 2009;1-4
- [7] Hasan K, Yang X, Bunt A, et al. A-Coord Input: Coordinating Auxiliary Input Streams for Augmenting Contextual Pen-Based Interactions[C]// Proceedings of ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI). 2012;805-814
- [8] Ramos G, Boulos M, Balakrishnan R. Pressure widgets [C]// Proceedings of ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI). 2004;487-494
- [9] Xin Yi-zhong, Bi Xiao-jun, Ren Xiang-shi. Natural Use Profiles for the Pen: An Empirical Exploration of Pressure, Tilt, and Azimuth[C]//Proceedings of ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI). 2012;801-804
- [10] Zhou Xiao-lei, Ren Xiang-shi, Hui Yue. Effect of Start Position on Human Performance in Steering Tasks[C]// International Conference on Computer Science and Software Engineering (CSSE). 2008;1098-1101
- [11] Dillen H, Phillips J G, Meehan J W. Kinematic Analysis of Cursor Trajectories Controlled With a Touchpad [C]//International Journal of Human-Computer Interaction (IJHCI). 2005; 223-239