

直接和间接的笔倾斜输入性能对比

辛义忠 马莹 于霞

(沈阳工业大学信息科学与工程学院 沈阳 110870)

摘要 越来越多的笔式设备通过增加笔倾斜输入来提高其输入能力。但在直接输入设备和间接输入设备上执行笔的倾斜操作时,由于操作环境和视觉反馈的不同,往往会导致操作性能产生差异。本研究以探索笔倾斜输入在直接设备和间接设备上的性能差异为目的,以实证手段考察在两种设备上获取不同角间距下的不同笔倾斜目标时的操作速度、稳定性和准确性,讨论导致直接设备和间接设备笔倾斜性能不同的原因,并提出适用的角间距和倾斜目标位置。实验结果表明,在直接设备和间接设备上操作笔倾斜角时,在操作速度上直接设备优于间接设备,但在稳定性和准确性上,间接设备优于直接设备。 20° 的角间距对两种设备来说都呈现较好的性能,若需要在更小角间距内完成目标选择操作,在间接设备上的效果更好。最后,对两种设备的用户使用习惯进行了总结,为基于笔倾斜角的用户界面设计提供了帮助和参考。

关键词 人机交互,笔倾斜角,直接输入,间接输入

中图分类号 TP391 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.9.011

Comparison of Direct and Indirect Pen Tilt Input Performance

XIN Yi-zhong MA Ying YU Xia

(School of Information Science and Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China)

Abstract More and more pen devices introduce tilting to expend the parallel input capacity. However, when using pen tilt on direct device and indirect device respectively, due to the diversities of operating environment and visual feedback, the performance of direct and indirect pen tilt input are often discrepant. Aiming at exploring the differences of pen tilt input performance on these two kinds of devices, we empirically investigated the speed, stability and accuracy of pen tilt input in target selection tasks according to different angle interval. We discussed the possible reasons why the performances of pen tilt input are different and suggested the optimal tilt angle interval and tilt target. Experimental results indicate that the human abilities to control pen tilt in direct and indirect input device are different. That users complete tilt selection tasks on direct devices is faster but less stable and accurate than on the indirect ones. 20° tilt angle interval is the optimal interval for user to select both of devices, while the indirect one is better if smaller interval is given. Therefore, this study gave guidelines for pen interface designs in direct and indirect pen tilt conditions and presented user habits with these two kinds of devices as a reference.

Keywords Human-computer interaction, Pen tilt angle, Direct input, Indirect input

1 引言

近年来,人机交互对信息技术的发展产生了巨大的影响,如何充分发挥人和计算机各自的特长已经成为人机交互领域的研究热点^[1]。笔作为输入设备,因具有便于携带、学习周期短、支持直接操作并且易于书画等优势被越来越广泛地应用于平板电脑和移动电话等电子设备上,早期有研究人员提出运用笔式交互技术作为信息获取手段的草图理解技术^[2]。然而,由于传统的笔仅通过笔尖的 x-y 坐标信息实现输入,导致它的输入能力次于键盘和鼠标。研究人员发现,笔除了能够

提供 x-y 坐标信息外,还能够提供其他固有的信息作为输入通道,比如笔压、笔倾斜角和笔方位角。

为了探索笔的上述固有属性,文献[3,4]系统地研究了在笔式交互中笔压、笔倾斜角和笔方位角作为笔的输入通道的可能性和适用性。而文献[5-7]则证明了笔倾斜角的使用确实可以提高人机交互中的通信带宽。但是,怎样合理利用笔的倾斜特征特别是在直接和间接设备上如何使用笔倾斜输入,很少有文献研究。在直接输入设备上操作笔的倾斜角时,使用者可以直观地看见笔杆,这种手眼一致的视觉反馈是笔倾斜角作为输入通道的一个优势。然而,如果使用间接输入

到稿日期:2014-06-07 返修日期:2014-08-11 本文受国家自然科学基金:基于压力和角度的多自由度笔式交互策略研究(61100091),教育部留学回国人员科研启动基金:多自由度笔式交互策略的研究([2013]693),辽宁省高等学校杰出青年学者成长计划(LJQ2012007),沈阳工业大学青年学术骨干教师培养项目,沈阳工业大学博士科研启动基金项目资助。

辛义忠(1976-),男,博士,副教授,主要研究方向为人机交互、生物特征识别, E-mail: xyz@sut.edu.cn; 马莹(1989-),女,硕士,主要研究方向为笔式交互; 于霞(1977-),女,博士,讲师,主要研究方向为人机交互、智能系统。

设备操作,屏幕与笔不在同一视线内,会产生手眼不一致的现象。所以,设备的不同会对笔倾斜的操作造成一定影响。鉴于此,本研究将致力于:①分析对比直接设备和间接设备下执行笔倾斜输入操作的性能;②探索适用的角间距;③探索易于操作的倾斜目标;④讨论导致直接设备和间接设备笔倾斜性能不同的原因,并在笔式界面设计方面给出相应的指导方针。

2 相关工作

2.1 直接输入和间接输入

Forlines 等人^[8]研究了在桌式设备上直接触摸与鼠标输入在单手操作和双手操作上的不同。这两组实验表明,使用者在执行双手实验任务时,直接触摸的输入方式表现出较好的操作性能,而当用户使用单手进行交互时,使用鼠标输入较为合适。Forlines 和 Balakrishnan^[9]探讨了直接和间接的笔式输入对点击和交叉选择实验的影响。他们的结果表明在交叉选择中直接输入明显优于间接输入,但是在点击选择中两种模式是等价的。

另一方面,有一些研究调查了绝对和相对的映射,Forlines 等人^[10]研究了在小屏幕和大屏幕上绝对直接和相对直接的笔式交互。研究发现,在小屏幕上绝对映射要优于相对映射;然而,在大型的挂墙式设备上,若需要将光标移动很长一段距离时,相对映射优于绝对映射。Sears 和 Shneiderman^[11]比较了相对间接的鼠标输入和绝对直接的触摸屏输入,发现当目标为 16 像素宽或者更大时,用触摸屏的绝对直接选择比鼠标的相对间接选择更快。进一步,对宽度是 32 像素的目标来说,绝对直接的触摸屏选择可以减少 66% 的错误。

2.2 笔的倾斜输入

最初,对倾斜的研究主要针对设备的倾斜角度,其中主要是研究小屏幕设备(比如 PDA)的物理操作。Fitzmaurice 等人^[12]的早期研究研讨了基于 Chameleon 系统的位置和倾斜动作的操作。他们将倾斜动作开发成一种自然的命令触发方式,例如向上或向下滚动。TiltType^[13]和 TiltText^[14]都是为移动设备设计的文本输入技术。移动设备的倾斜方向和倾斜角度都是为了帮助使用者在给定的参数范围内选择字符。

Rahman 等人^[15]分析了基于手腕的交互设计和手腕的控制能力。通过分析影响倾斜控制的因素,他们总结出用户能够舒适地控制至少 16 级的旋前/旋后轴。Leitner 等人^[16]进行了多点触控和笔的倾斜之间的性能对比研究,并提出了不同用途的倾斜变化。

另一种技术是倾斜菜单^[17],其扩展了使用 3D 笔定位信息的笔式交互界面的选择能力。Oshita^[18]设计了一个控制虚拟人物的操作系统,其不仅使用笔的压力,而且使用笔的倾斜来移动虚拟人物。Bi 等人^[19]研究了笔绕笔管做径向旋转时的操作性能,并且区分了用户的有意转笔和偶然转笔动作。

虽然上述研究探讨了直接和间接输入以及笔的倾斜角输入,但是鲜有文献定量研究直接与间接设备对操作笔的倾斜角的影响。笔的操作环境以及视觉反馈的不同会对倾斜角的控制造成怎样的影响也是未知的。而在对基于笔倾斜角使用的笔式界面进行设计时,用户对不同设备的不同使用习惯也是设计者的重要参考依据。因此,直接和间接设备对笔倾斜

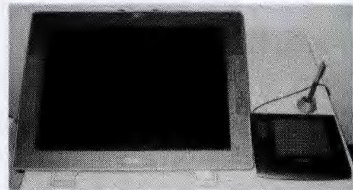
角的影响应该被系统地研究,本文对该问题进行定量分析、探讨。

3 实验

3.1 实验者和实验设备

本实验邀请 12 位大学生参与(6 男 6 女),他们的年龄均在 18 岁到 25 岁之间。为了尽可能保证实验结果的一致性,本实验确保所有参与者的惯用手为右手。

实验中的直接设备为 Wacom Cintiq 21UX 交互式数位屏,间接设备为 Wacom Intuos 3 交互式数位板。两种设备均搭配无线电子笔使用,如图 1 所示。



左为 Wacom Cintiq 21UX 液晶平板显示器,右为 Wacom Intuos 3 绘图板,绘图板上方为无线电子笔

图 1 实验设备

实验程序是在 Java 编程环境中设计的,运行在装有 Windows XP 操作系统的计算机中。显示器的分辨率设置为 1280×1024 像素,每像素 96 dpi(0.27mm)。

3.2 实验过程

屏幕上显示一个半径为 300 像素的半圆,取顺时针方向距水平线 30° 到 150° 的区间,将这 120° 的范围按照 4 种倾斜角间距($5^\circ/10^\circ/20^\circ/30^\circ$)等分。图 2 为按照这 4 种角间距进行分割的示意图。每一种等分方式都用虚线将各个连续的目标分割开,即相邻的虚线之间为实验者需要选中的倾斜角区域。图中其中一端固定在圆心处的灰色光标映射了当前操作的笔的倾斜角变化。根据实验者的操作,灰色光标或顺时针变化,或逆时针变化。

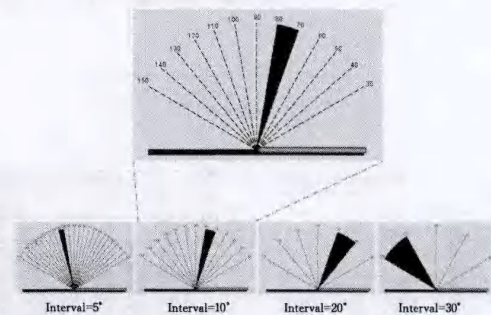


图 2 实验界面示意图

实验前,设备水平放于桌面上,实验者正坐在设备前。每组实验中,屏幕上的其中一个倾斜角区域会显示黑色,该区域则为目标倾斜角所在区域。实验者需要控制手中的笔,将笔尖与操作平面接触,尽量保持笔尖不动,根据灰色光标的反馈,调整笔的倾斜角至目标区域。当灰色光标进入目标区域后,实验者需要另一只手操作键盘,按空格键表示确认选择。接着会出现下一个黑色目标,按照同样的方式进行操作。如果选择错误,会发出“叮”的提示音。图 3 展示了实验过程。

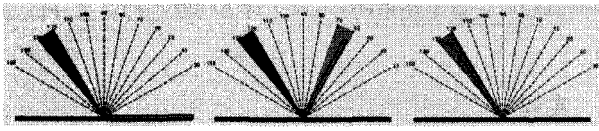


图3 实验过程示意图

需要注意的是,在直接设备上操作时,实验者被要求控制笔尖落在屏幕上显示的圆心点,即屏幕上反馈的笔尖处,不可落在直接设备屏幕上的其它位置,因为如果位置偏差大,实验环境将类似于间接设备。间接设备对笔尖的落笔位置没有特定要求。同时,实验者被要求在操作时权衡速度与准确度。

实验按照全因素组内重复实验的方式设计。实验的自变量有输入设备(直接设备/间接设备)、倾斜角间距($5^{\circ}/10^{\circ}/20^{\circ}/30^{\circ}$)和倾斜目标($35^{\circ}/57^{\circ}/79^{\circ}/101^{\circ}/123^{\circ}/145^{\circ}$)。倾斜目标的选取原则为:在 30° 到 150° 之间均匀分布且相对于 90° 位置对称的6个倾斜角。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倾斜目标的顺序。为了观察两种设备的学习效果,每个实验者将进行5组实验,每组实验重复进行两次。综上所述,实验总数为:

12人 \times 2个设备 \times 4种倾斜角间距 \times 6个倾斜目标 \times 5组 \times 2次重复=5760次实验

4 实验结果

4.1 选择时间

选择时间是指从屏幕上出现目标区域的时刻开始到实验者按键盘空格键确认选择为止的时间段。对选择时间的分析能够发现两种设备的操作速度。图4展示了实验组数(a)、倾斜角间距(b)和倾斜目标(c)分别在直接设备和间接设备下对操作时间的影响。

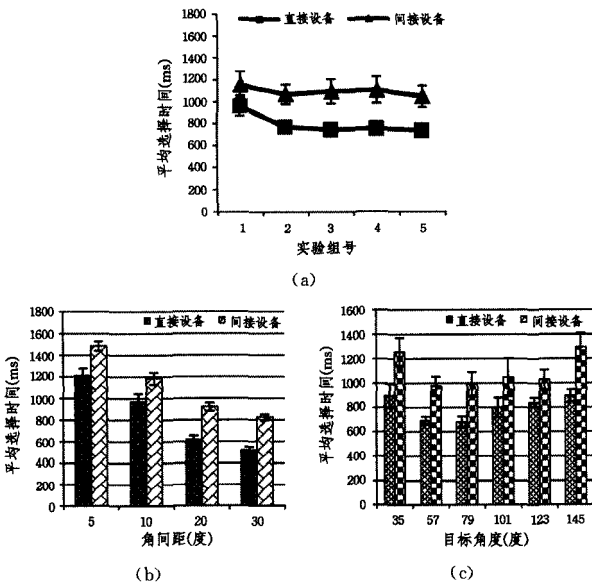


图4 平均选择时间

重复测量的方差分析可以得出,实验组数($F_{4,44}=7.487, p<0.001$)、角间距($F_{3,33}=135.05, p<0.001$)和目标角度($F_{5,55}=13.041, p<0.001$)对选择时间均有显著影响。而设备($F_{1,11}=6.913, p=0.023$)也对选择时间有影响。但设备 \times 实验组数($F_{4,44}=1.665, p=1.75$)、设备 \times 角间距($F_{3,33}=$

$0.699, p=0.577$)和设备 \times 目标角度($F_{5,55}=2.005, p=0.092$)对选择时间没有显著的交互影响。成对比较发现,每两个实验组号、角间距和目标角度之间都存在不同程度的差异,尤其在每种角间距($p<0.001$)之间,均存在显著差异。

从图4(a)中可以看出,随着实验次数增多,在直接设备上的操作时间有明显下降的趋势,间接设备上虽然没有直接设备明显,但也能看出学习效果。从图4(b)中可以明显看出,无论是使用直接设备还是间接设备,角间距越大,平均选择时间越短。而且,在全部4种角间距中,直接设备的操作时间都明显比间接设备短。从图4(c)中可以看出, 57° 和 79° 的目标选择时间最短, 35° 和 145° 的目标选择时间较其他目标更长。

4.2 穿过数

在选择目标位置的过程中,实验者可能会无意地在目标区域左右晃动,并越过目标区域的界限。穿过数指实验者在确认选择前,笔所操控的粉色光标进入目标区域或离开目标区域的次数减1(光标进入目标区域时,穿过数至少为1)。穿过数的多少能够反映实验中笔倾斜角作为输入通道的稳定性。图5展示了实验组数(a)、倾斜角间距(b)和倾斜目标(c)分别在直接设备和间接设备下对穿过数的影响。

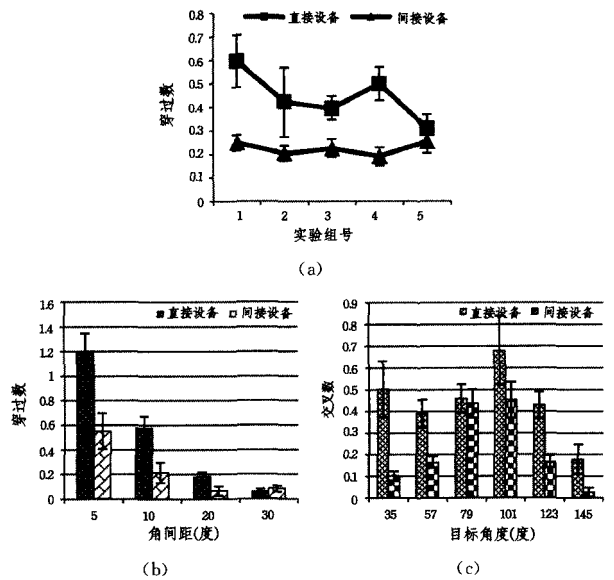


图5 穿过数

重复测量的方差分析显示,实验组数($F_{4,44}=1.357, p=0.264$)对穿过数没有显著影响。而角间距($F_{3,33}=77.248, p<0.001$)、目标角度($F_{5,55}=12.504, p<0.001$)和设备($F_{1,11}=12.414, p=0.005$)对穿过数有显著影响。同时,设备 \times 角间距($F_{3,33}=8.385, p<0.001$)存在交互影响。设备 \times 实验组数($F_{4,44}=1.465, p=0.229$)和设备 \times 目标角度($F_{5,55}=1.329, p=0.266$)对穿过数没有显著的交互影响。成对比较发现,每两个实验组号、角间距和目标角度之间都存在不同程度的差异。尤其除了 20° 和 30° 的角间距($p=0.099$)之间不存在显著差异之外,其余角间距的穿过数($p<0.001$)之间均存在显著差异。

从图5(a)中可以看出,随着实验次数增多,穿过数并没有明显减小的趋势,说明两种设备均没有明显的学习效果。从图5(b)中可以看出,角间距越大,穿过数越少,即目标的范围

越大,操作就越稳定。当角间距是 5°、10°和 20°时,直接设备的穿过数比间接设备的穿过数明显多一倍以上;但当角间距为 30°时,间接设备的穿过数略高于直接设备。从图 5(c)中可以明显看出,目标接近 90°时穿过数相对多一些,尤其是 101°时,穿过数最高;目标为 145°时,穿过数最少,说明这是操作最稳定的一个目标位置。

4.3 错误率

错误率是指实验者选择错误目标的实验数与总实验数之比。错误率能够反映操作的准确性。图 6 展示了实验组数(a)、倾斜角间距(b)和倾斜目标(c)分别在直接设备和间接设备下对错误率的影响。

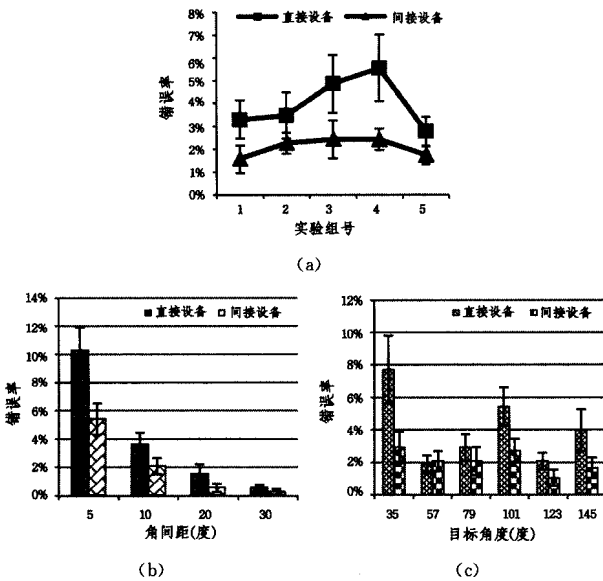


图 6 错误率

重复测量的方差分析可以得出实验组号($F_{4,44} = 2.279, p = 0.076$)对错误率没有显著影响。角间距($F_{3,33} = 59.683, p < 0.001$)、目标角度($F_{5,55} = 4.525, p = 0.002$)和设备($F_{1,11} = 5.223, p = 0.043$)对错误率有影响。设备 \times 实验组号($F_{4,44} = 0.573, p = 0.684$)、设备 \times 角间距($F_{3,33} = 2.837, p = 0.053$)和设备 \times 目标角度($F_{5,55} = 2.010, p = 0.092$)对错误率没有显著的交互影响。成对比较发现,每两个实验组号、角间距和目标角度之间都存在不同程度差异。除了 20°和 30°的角间距($p = 0.133$)之间不存在显著差异之外,其余角间距的错误率($p < 0.001$)之间均存在显著差异。

从图 6(a)可以看出,随着实验次数增多,错误率有减小趋势,即两种设备下的准确率均有学习效果。从图 6(b)可以看出,角间距越大,错误率越小,即目标的范围越大,操作越准确,且直接设备的错误率要高于间接设备。从图 6(c)可以明显看出,目标为 35°和 101°时,错误率相对较高;目标为 57°和 123°时,错误率较低,说明这是比较容易准确操作的目标位置。

4.4 释放错误率

实验者在调整笔的倾斜角到目标位置的过程中,笔尖有可能无意中离开了接触面,导致本次实验失败,本研究将这种情况定义为释放错误。释放错误率是指实验者发生该错误的实验数与总实验数之比,该值能反映实验操作的稳定性。图 7 展示了实验组数(a)、倾斜角间距(b)和倾斜目标(c)分别在直接设备和间接设备下对释放错误率的影响。

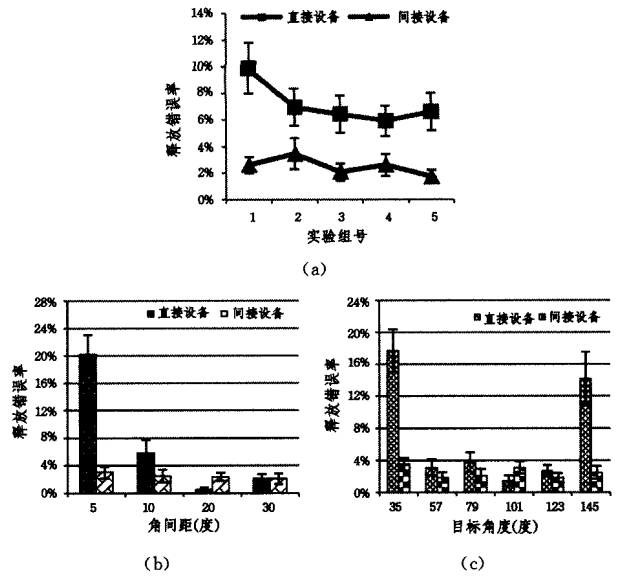


图 7 释放错误率

重复测量的方差分析可以得出实验组号($F_{4,44} = 2.217, p = 0.083$)对释放错误率没有显著影响。而角间距($F_{3,33} = 24.174, p < 0.001$)、目标角度($F_{5,55} = 16.262, p < 0.001$)和设备($F_{1,11} = 12.704, p = 0.004$)对释放错误率有影响。设备 \times 角间距($F_{3,33} = 27.960, p < 0.001$)和设备 \times 目标角度($F_{5,55} = 14.067, p < 0.001$)在释放错误率上有显著的交互影响。而设备 \times 实验组号($F_{4,44} = 1.372, p = 0.259$)没有交互影响。

从图 7(a)中可以看出,随着实验次数增多,释放错误率有减小的趋势,说明两种设备下的操作稳定性均有学习效果。从图 7(b)中可以看出,角间距越大,释放错误率越小,即目标的范围越大,操作就越稳定;且当角间距是 5°和 10°时,直接设备的释放错误率要高于间接设备,但是当角间距是 20°时,直接设备上的释放错误率明显低于间接设备,当角间距是 30°时,两种设备的释放错误率不相上下。从图 7(c)中可以明显看出,目标为 35°和 145°时释放错误率最高,最不稳定;其它目标位置的释放错误率差不多。

5 讨论

5.1 适用角间距的选取

表 1 列出了 4 种角间距下在两种设备上实验的各个评价指标的平均数据。从表中能够看出直接设备在速度上明显优于间接设备,这与实验者预期的相同。但在稳定性和准确性上,间接设备优于直接设备,尤其当角间距较小(5°和 10°)时。从总体上看,20°和 30°的角间距之间的性能差距不大,这两种角间距都比 5°和 10°的好。

本研究的研究目的之一就是探索一个适用的角间距。由于西方人的握笔习惯与东方人存在差异,本研究仅有条件对东方人使用笔的习惯进行实验分析,因此结果仅针对惯用手为右手的东方人。结果表明以 20°和 30°作为角间距的性能较好,但对于笔式界面设计来说,30°的角间距会对选项个数造成限制,相比之下 20°更具有实用性,因此本研究推荐 20°作为角间距。但若需要使用更小的角间距,则在间接设备上操作效果更好。

表1 4种角间距下直接设备和间接设备的各个评价参数,每种角间距下性能较好的一个设备被标记(*)

设备	评价指标	5°	10°	20°	30°
直接设备	平均选择时间(ms)	1211 *	967 *	615 *	515 *
	穿过数	1.19	0.57	0.18	0.06 *
	错误率(%)	10.28	3.61	1.53	0.56
	释放错误率(%)	20.13	5.83	0.55 *	2.08
间接设备	平均选择时间(ms)	1484	1183	919	822
	穿过数	0.55 *	0.22 *	0.07 *	0.08
	错误率(%)	5.42 *	2.08 *	0.56 *	0.28 *
	释放错误率(%)	3.05 *	2.5 *	2.36	2.08

5.2 适用目标角度的选取

从实验数据来看,除35°和145°之外,位于屏幕垂线右侧的目标(57°和79°)比左侧的目标(101°和123°)更易操作。根据调查,对于使用右手操作的人来说,当操作右侧目标时,手腕与操作平面接触,选择目标时手部有手腕的支撑,所以操作比较稳定;但操作左侧目标时,手部和腕部几乎完全离开操作界面,选择目标时没有支撑,导致操作不稳定。

另外,目标为101°时,穿过数最多,错误率也非常高。这个位置接近90°,实验者在寻找101°这个目标时,偏重于先寻找90°。而实验者对控制笔在90°的状态下极度自信,认为可以很快、很准确地确认位置,但事实上,这样的不经意会导致错误的发生。35°和145°是相对于90°对称的两个角度,但是35°没有145°容易操作,这一点是由于人手的构造导致的,使得35°这样的小角度难以一次性到达,可能需要调整握笔姿势再进行选择。

5.3 视觉反馈对操作性能的影响

通过在实验后对12名实验者的调查问卷分析发现,其中10个人认为直接设备好。当问到为何选择直接设备时,有人说“直接设备的反馈非常直观,操作简便;但对于间接设备来说,操作时需要通过一个间接的平台,不够直观”,“操作直接设备时,目光聚焦在一个界面上即可;但是操作间接设备时,眼睛需要在手和屏幕之间交替观察”。也有人认为间接设备好,“因为间接设备操作时,手不会遮挡屏幕,方便寻找目标”。

但事实上,直接设备的表现并没有预期的好,尤其是在准确度和稳定性上,都不及间接设备。经过分析,原因是实验者对操控直接设备过于自信,认为不容易出错,导致操作时大意,反而小心翼翼地操作间接设备。

同时,有用户反映,在直接设备上笔的倾斜角度与屏幕给出的视觉反馈有不一致现象发生,特别是在90°~120°之间,由于笔对目标区域的遮挡,导致操作不便,而且笔在一定程度上是一种干扰,导致使用者注意力分散。尤其是当角间距为5°时,手中的笔把屏幕上的目标位置几乎完全遮挡了,但当角间距大于30°时,视觉差不明显。但直接设备的优点是可以将笔与视觉反馈所提供的角度进行实时对比,调整过程较快;而间接设备的视觉界面干净利落,几乎不存在视觉干扰,但在操作间接设备时存在实际量和感知量之间的转换,微调的过程可能较长。用户在调整笔倾斜角目标时,基本上调整过程是在空中进行的,而落笔后只是进行微调。相比而言,间接设备第一次落笔时估计的值往往没有直接设备准。

6 未来工作

本文探讨了直接设备和间接设备下操作笔倾斜角的差

异,但未考虑笔方位角和笔压力在两种设备下的区别。未来的研究或许可以给出在不同设备下不同参数的对比结果。

另外一个有趣的发现是,直接设备本身的倾斜角度对笔操作也有影响,尤其是对笔倾斜角的操作影响更大。本文的设备都是平放在水平桌面上的,但也许这并不是一个最佳的操作角度。未来的研究可以致力于寻求最优的设备倾斜角,从而优化笔式操作。

结束语 本文探究了在直接设备和间接设备上执行笔的倾斜操作的性能差异。通过对比基于不同的角间距下执行不同倾斜目标的选择时间、穿过数、错误率和释放错误率,分别分析出两种设备的操作速度、稳定性及准确度。研究发现,在操作速度上,直接设备优于间接设备;在稳定性和准确度上,间接设备优于直接设备;20°的角间距对两种设备来说都呈现出较好的性能,但若必须使用更小的角间距时,在间接设备上的操作效果更好;而位于垂线右侧的倾斜目标比左侧的倾斜目标更易选取。通过本文对两种设备的对比及分析,能够在笔式界面设计方面给出相应的指导帮助。

参考文献

- [1] 曹娟,张颖淳,赵玲. 基于人机交互的混合算法在约束布局中的应用[J]. 计算机科学,2013,40(7):226-228,265
Cao Juan, Zhang Ying-chun, Zhao Ling. Human-computer hybrid algorithm and its application in constrained layout [J]. Computer Science, 2013, 40(7): 226-228, 265
- [2] 周若鸿,孙正兴,张莉莎,等. 草图理解技术研究进展[J]. 计算机科学,2004,31(4):140-146
Zhou Ruo-hong, Sun Zheng-xing, Zhang Li-sha, et al. Sketch Understanding: Review and Research [J]. Computer Science, 2004, 31(4): 140-146
- [3] Xin Y, Bi X, Ren X. Natural use profiles for the pen: an empirical exploration of pressure, tilt, and azimuth [C] // Proceedings of the 29th Annual of ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Vancouver, Canada, 2011: 801-804
- [4] Xin Y, Ren X. A study of inherent pen input modalities for precision parameter manipulations during trajectory tasks [J]. Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Transactions on Information and Systems, 2009, E92-D(12): 2454-2461
- [5] Kuroki T, Kawai S. An interface technology for pen devices using tilt information [J]. Interactive Systems and Software, 1999, VII: 1-6
- [6] Tian F, Ao X, Wang H, et al. The tilt cursor: enhancing stimulus-response compatibility by providing 3D orientation cue of pen [C] // Proceedings of the 25th Annual ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. San Jose, USA, 2007: 303-306
- [7] Xin Y, Bi X, Ren X. Acquiring and pointing: an empirical study of pen-tilt-based interaction [C] // Proceedings of the 29th Annual ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Vancouver, Canada, 2011: 849-858
- [8] Forlines C, Wigdor D, Shen C, et al. Direct-touch vs. mouse input for tabletop displays [C] // Proceedings of the 25th Annual ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems.

[9] Forlines C, Balakrishnan R. Evaluating tactile feedback and direct vs. indirect stylus input in pointing and crossing selection tasks[C]//Proceedings of the 26th Annual ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Florence, Italy, 2008; 1563-1572

[10] Forlines C, Vogel D, Kong N, et al. Absolute vs. relative direct pen input[R]. Mitsubishi Electric Research Labs Tech Report, 2006

[11] Sears A, Shneiderman B. High precision touchscreens: design strategies and comparisons with a mouse[J]. International Journal of Man-Machine Studies, 1991, 34(4): 593-613

[12] Fitzmaurice G W, Zhai S, Chignell M H. Virtual reality for palmtop computers[J]. ACM Transactions on Information Systems, 1993, 11(3): 197-218

[13] Partridge K, Chatterjee S, Sazawal, et al. TiltType: accelerometer-supported text entry for very small devices[C]//Proceedings of the 15th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. Paris, France, 2002; 201-204

[14] Wigdor D, Balakrishnan R. TiltText: using tilt for text input to mobile phones[C]//Proceedings of the 16th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. Vancouver,

[15] Rahman M, Gustafson S, Irani P, et al. Tilt techniques: investigating the dexterity of wrist-based input[C]// Proceedings of the 27th Annual ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Boston, USA, 2009; 1943-1952

[16] Leitner J, Powell J, Brandl P, et al. Flux: a tilting multi-touch and pen based surface[C]// Proceedings of the 27th Annual ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Boston, USA, 2009; 3211-3216

[17] Tian F, Xu L, Wang H, et al. Tilt menu: using the 3D orientation information of pen devices to extend the selection capability of pen-based user interfaces[C]// Proceedings of the 26th Annual ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Florence, Italy, 2008; 1371-1380

[18] Oshita M. Pen-to-mime: a pen - based interface for interactive control of a human figure[C]// Proceedings of the 1st EUROGRAPHICS Workshop on Sketch-Based Interfaces and Modeling. Grenoble, France, 2004; 43-52

[19] Bi X, Moscovich T, Ramos G, et al. An exploration of pen rolling for pen-based interaction[C]// Proceedings of the 21th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. Monterey, USA, 2008; 191-200

(上接第 40 页)

图 10 是所得到的路网和路口交叉点的结果中随机选取的一个区域与 Google Earth 卫星地图、shp 地图的比较结果。从整体上看,本文提取的路网、路口交叉点与参考路网基本一致。

结束语 道路拓扑和网络距离计算是路径规划的前提,本文利用出租车 GPS 轨迹数据对北京市城区主干道进行了路网提取,然后提出了一个得到路口交叉点及道路交叉点之间连通性的方法。该方法基于特定对象或人物的出行轨迹,生成适合特定对象或人物出行的道路拓扑结构,从而可以进一步规划和优化其出行路径。实验结果表明,在道路拓扑生成效果方面,本文方法能有效提取各个道路交叉点,并能构建各点之间的拓扑关系,在复杂路网中提取道路交叉点的正确率达到了 87.08%,而且这些正确的交叉点位置与真实道路交叉点中心位置相差不大。

参 考 文 献

[1] Haklay M, Weber P. OpenStreetMap: User-Generated Street Maps[J]. IEEE Pervasive Computing, 2008, 7(4): 12-18

[2] 张小国,王庆,王宁,等. 电子地图道路网模型及其自动生成算法研究[J]. 中国图像图形学报, 2001, 6(5): 481-485
Zhang Xiao-guo, Wang Qing, Wang Ning, et al. A Study on Road Network Model in Digital Maps and the Automatic Generation Algorithm of its Database[J]. Journal of Image and Graphics, 2001, 6(5): 481-485

[3] Stefan S, Kiri W, Seth R. Mining GPS Traces for Map Refinement[J]. Data Mining and Knowledge Discovery, 2004, 9(1): 59-87

[4] Stefan E, Stefan S. Route Planning and Map Inference with Global Positioning Traces[J]. Computer Science in Perspective, 2003, 2598; 128-151

[5] Alireza F, John K. Detecting Road Intersections from GPS Traces[J]. GIScience, 2010, 6292; 56-59

[6] 欧阳鸿,刘建勋,刘毅志,等. 基于步行 GPS 轨迹的路网提取方法[J]. 计算机与现代化, 2014(2): 124-128
Ouyang Hong, Liu Jian-xun, Liu Yi-zhi, et al. An Extraction Method of Road Network Based on Walking GPS trajectories [J]. Computer and Modernization, 2014(2): 124-128

[7] William A, Gordon A, et al. Automating the Detection and Simplification of Junctions in Road Networks[J]. GeoInformatica, 1999, 3(2): 185-200

[8] 谢松云,张振中. 脑电信号的若干处理方法研究与评价[J]. 计算机仿真, 2007, 24(2): 326-330
Xie Song-yun, Zhang Zhen-zhong. Research and Evaluation on Some EEG Processing Methods[J]. Computer Simulation, 2007, 24(2): 326-330

[9] Zhang L, Thiemann F, Sester M. Integration of GPS traces with road map[C]// Proceedings of the Second International Workshop on Computational Transportation Science, 2010. ACM, 2010; 17-22

[10] 建设部主编. 城市道路交通规划设计规范[S]. 北京:中国计划出版社, 2012; 7-8
The ministry of construction. Code for Transport Planning on Urban Road[S]. Beijing. China Planning Press, 2012; 7-8

[11] Liu X, Zhu Y, Wang Y, et al. Road recognition using coarse-grained vehicular traces[R]. Technical Report HPL-2012-26, 2012