

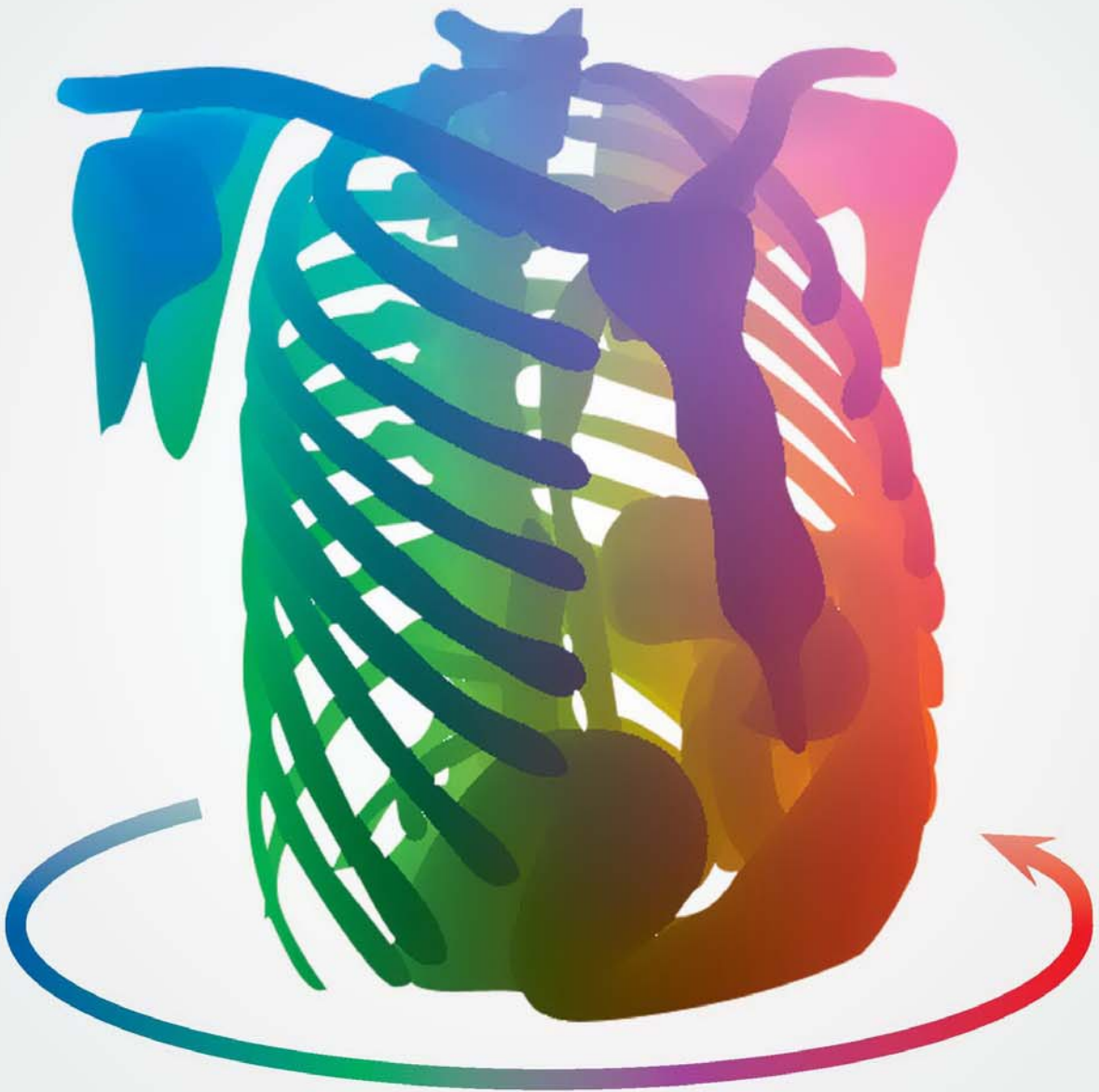


主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2015
02
VOL.20

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



等值面光线跟踪 P193



第20卷第2期（总第226期）

2015年2月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所

中国图象图形学学会

北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版《中国图象图形学报》编辑出版委员会

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@irsa.ac.cn

电 话 010-64807995

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司

（邮政信箱：北京399信箱 邮编：100048）

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS

China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@radi.ac.cn

Telephone 010-64807995

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation
(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China))

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

国内定价 50.00元



多尺度活动网格在云场景仿真中的应用(第0202页)



自然环境视频中基于显著鲁棒轨迹的行为识别(第0245页)



虚拟手抓持力觉生成算法真实性的评价(第0280页)

图像处理和编码

引入神经网络中间神经元的快速小波图像压缩

张海涛, 张永霖 0159

拟正态分布扩散的图像平滑

周先春, 汪美玲, 周林锋 0169

可选特征的快速分形图像编码

袁宗文, 鲁业频, 杨汉生 0177

图像分析和识别

融合多尺度码本的全局编码图像分类

董振宇, 赵杰煜, 祝军 0183

计算机图形学

结合K-D树和Shell的快速动态等值面光线跟踪法

罗月童, 石放放, 张伟, 朱会国 0193

多尺度活动网格在云场景仿真中的应用

范晓磊, 张立民, 张建廷, 徐涛 0202

第十届和谐人机环境联合会议专栏

低资源语言的无监督语音关键词检测技术综述

杨鹏, 谢磊, 张艳宁 0211

快速离散Curvelet变换域的图像融合

杨勇, 董松, 黄淑英 0219

高效视频编码中变换跳过模式的快速选择

王宁, 张永飞, 樊锐 0229

主动学习的多标签图像在线分类

徐美香, 孙福明, 李豪杰 0237

自然环境视频中基于显著鲁棒轨迹的行为识别

易云, 王瀚漓 0245

特征变换和数据集分块的行人比对

沈洋, 林巍峭, 殷惠清 0254

移动手持环境下触摸式目标选择技术对比

辛义忠, 李岩, 袁伟强, 郑谦 0264

虚拟环境的用户意图捕获

程成, 赵东坡, 卢保安 0271

虚拟手抓持力觉生成算法真实性的评价

杨文珍, 许艳, 颜传武, 吴新丽, 张昊, 孟闯 0280

交互式乐器演奏的六自由度力觉渲染方法

童号, 史有姣, 王党校, 张玉茹 0288

CONTENTS

JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Multi-scale moving grids and its application in clouds scene simulation(P0202)



Action recognition from unconstrained videos via salient and robust trajectory (P0245)



Validation the Authenticity of Virtual fingers Grasping Haptic Algorithm(P0280)

Image Processing and Coding

- Fast wavelet image compression introducing neural network of relay neuron
Zhang Haitao, Zhang Yonglin 0159
- Image smoothing algorithm based on matching normal distribution diffusion
Zhou Xianchun, Wang Meiling, Zhou Linfeng 0169
- Optional features fast fractal image coding algorithm
Yuan Zongwen, Lu Yepin, Yang Hansheng 0177

Image Analysis and Recognition

- Image classification based on global coding combined with multi-scale codebook
Dong Zhenyu, Zhao Jieyu, Zhu Jun 0183

Computer Graphics

- Fast isosurface ray tracing method by combining K-D tree and Shell
Luo Yuetong, Shi Fangfang, Zhang Wei, Zhu Huiguo 0193
- Multi-scale moving grids and its application in clouds scene simulation
Fan Xiaolei, Zhang Limin, Zhang Jianting, Xu Tao 0202

Column of HHME'2014

- Survey on unsupervised spoken term detection for low-resource languages
Yang Peng, Xie Lei, Zhang Yanning 0211
- Image fusion based on fast discrete Curvelet transform
Yang Yong, Tong Song, Huang Shuying 0219
- Fast transform skip mode decision for high efficiency video coding
Wang Ning, Zhang Yongfei, Fan Rui 0229
- Online multi-label image classification with active learning
Xu Meixiang, Sun Fuming, Li haojie 0237
- Action recognition from unconstrained videos via salient and robust trajectory
Yi Yun, Wang Hanli 0245
- Pedestrian re-identification based on feature transformation and dataset classification
Shen Yang, Lin Weiyao, Yin Huiqing 0254
- Comparison of target selection techniques in mobile handheld environment
Xin Yizhong, Li Yan, Yuan Weiqiang, Zheng Qian 0264
- Intent understanding for virtual environments
Cheng Cheng, Zhao Dongpo, Lu Baoan 0271
- Validation the authenticity of virtual fingers grasping haptic algorithm
Yang Wenzhen, Xu Yan, Yan Chuanwu, Wu Xinli, Zhang Hao, Meng Chuang 0280
- Interactive simulation of music instrument playing by a six degree-of-freedom haptic rendering approach
Tong Hao, Shi Youjiao, Wang Dangxiao, Zhang Yuru 0288

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2015)02-0264-07

论文引用格式: Xin Y Z, Li Y, Yuan W Q, Zheng Q. Comparison of target selection techniques in mobile handheld environment[J]. Journal of Image and Graphics, 2015, 20(2): 0264-0270. [辛义忠, 李岩, 袁伟强, 郑谦. 移动手持环境下触摸式目标选择技术对比[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(2): 0264-0270.] [DOI:10.11834/jig.20150213]

移动手持环境下触摸式目标选择技术对比

辛义忠¹, 李岩², 袁伟强¹, 郑谦³

1. 沈阳工业大学信息科学与工程学院, 沈阳 110870; 2. 沈阳体育学院体育信息技术系, 沈阳 110102;

3. 中国人民解放军93010部队89分队, 沈阳 110015

摘要: 目的 触摸输入方式存在“肥手指”、目标遮挡和肢体疲劳现象,会降低触摸输入的精确度。本文旨在探索在移动式触摸设备上,利用设备固有特性来解决小目标选择困难与触摸输入精确度低的具体策略,并对具体的策略进行对比。**方法** 结合手机等移动式触摸设备所支持的倾斜和运动加速度识别功能,针对手机和平板电脑等移动式触摸输入设备,实证地考察了直接触摸法、平移放大法、倾斜法和吸引法等4种不同的目标选择技术的性能、特点和适用场景。**结果** 通过目标选择实验对4种技术进行了对比,直接触摸法、平移放大法、倾斜法、吸引法的平均目标选择时间,错误率和主观评价分别为(86.06 ms, 62.28%, 1.95), (1 327.99 ms, 6.93%, 3.87), (1 666.11 ms, 7.63%, 3.46)和(1 260.34 ms, 6.38%, 3.74)。**结论** 3种改进的目标选择技术呈现出了比直接触摸法更优秀的目标选择能力。

关键词: 人机交互; 触摸输入; 交互技术; 目标选择; 移动手持触摸设备

Comparison of target selection techniques in mobile handheld environment

Xin Yizhong¹, Li Yan², Yuan Weiqiang¹, Zheng Qian³

1. Department of Information, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China;

2. Department of Sports Information Technology, Shenyang Sport University, Shenyang 110102, China;

3. Sub-troops 89, The People's Liberation Army Troops 93010, Shenyang 110015, China

Abstract: **Objective** Fat finger, target occlusion, and physical fatigue often reduce the precision of touch input, and these factors might degrade mobile handheld touch conditions. This study aims to identify strategies by which to improve the accessibility of small target selection and touch input precision. Moreover, this work empirically investigates and compares the performances of these strategies. **Method** The tilt and movement acceleration detection function of mobile touch devices is used to explore the performance, characteristics, and suitable usage of four kinds of target selection techniques, namely, direct touch, shift & zoom, tilt, and attraction. Direct touch is a baseline technique used only for comparison. The other three are techniques proposed to improve target selection. **Result** The subjects used the longest time to select the target and to produce brief finger movement displacement. However, few selection errors were committed with the tilt technique. Shift & zoom was ranked as the most favored technique according to user evaluations. Attraction technique exhibited least selection errors and shortest selection time. The subjects committed the highest number of selection errors with direct touch tech-

收稿日期: 2014-07-23; 修回日期: 2014-09-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(61100091); 教育部留学回国人员科研启动基金(教外司留[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([2011]41); 沈阳工业大学博士科研启动基金项目([2011]30)

第一作者简介: 辛义忠(1976—), 男, 副教授, CCF 高级会员, 2010 年于日本高知工科大学获计算机专业博士学位, 主要研究方向为人机交互和生物特征识别。E-mail: xyz@sut.edu.cn

Supported by: National Natural Science Foundation of China (61100091)

nique. The targets located in the northwest or southwest corners of the screen are likely to be successfully selected. The following are the average selection time, error rate, and subjective evaluation of the four target selection techniques: 86.06 ms, 62.28%, and 1.95; 1 327.99 ms, 6.93%, and 3.87; 1 666.11 ms, 7.63%, and 3.46; and 1 260.34 ms, 6.38%, and 3.74. **Conclusion** The three improved target selection techniques outperform direct touch. Each method presents individual characteristics and discrepancies. This study presents guidelines for touch interaction design on mobile devices in target selection.

Key words: human-computer interaction; touch input; interactive technique; target selection; mobile handheld touch device

0 引言

触摸技术被逐渐应用在智能手机、平板电脑和数字交互平台上。研究表明^[1-2], 触摸输入提供了一种更加直观和自然的人机交互方式, 对用户界面设计产生了重要影响。然而, Albinsson 和 Zhai^[3]的研究指出: 触摸输入方式存在“肥手指”、目标遮挡和肢体疲劳现象, 会降低触摸输入的精确度, 特别是在多点触摸环境下, 由于多个手指的同时输入, 这种问题更为突出, 并直接导致输入性能的整体下降。

围绕上述问题, 研究人员展开了大量的研究工作, 并从技术方面为“肥手指”和目标遮挡问题提供了解决方案。1988年, Potter 等人^[4]就提出了“Take-off”技术, 将光标的出现位置移至手指触摸位置的上方, 进而通过控制光标位置实现目标的选择。Vogel 和 Baudisch^[5]进一步提出了“Shift”技术, 通过一个弹出区域(CallOut)来显示当前被手指遮挡的内容。Albinsson 和 Zhai^[3]设计了一系列的辅助小器件, 实现了精确度可达1像素的输入。通过调整“控制—显示比”(control-display ratio), Benko 等人^[6]实现了对小目标的精确选择。Hajri 等人^[7]引入了“Hold”技术, 降低了处于移动状态目标的选择难度。Weir 等人^[8]提出了一种基于个人输入模型的机器学习策略, 提高了触摸输入精度。通过检测手指的近距离悬空接触状态, Yang 等人^[9]改进了现有的目标选择技术。在直接触摸设备上, Wang 等人^[10]提出了一种可检测用户触摸时手指指向的算法, 并利用手指指向开发了一系列新颖的应用。Möllers 等人^[11]的研究发现, 在大屏幕触摸设备上, 手指当前的点击会对后续点击产生影响, 利用这一影响, 他们提出了手指点击修正算法, 提高触摸输入精度。

然而, 上述文献中所涉及的技术很少考虑触摸输入的设备特征, 也很少考虑屏幕尺寸的差异对输入产生的影响, 而且它们在手持触摸设备上的实际性能未经验证。对于手机、平板电脑等移动式手持设备, 一部分触摸输入是在单手握持设备的情况下完成的, 距离手指较远的目标与较近的目标在选择上的公平性上存在差异。这些变化对以上技术的实际性能很可能会产生影响。另外, 当前的智能手机等移动式设备中通常配有陀螺仪或加速度计等传感器件, 可实现对手机的倾斜和位移变化的检测, 这些功能的提供对于解决触摸输入中的现存问题存在潜在可能。综合这些实际因素, 本研究旨在考察移动手持触摸设备环境下的目标选择技术相关的性能、特点和差异。结合一些移动式触摸设备所支持的倾斜和加速度识别功能, 针对手机和平板电脑等移动式触摸输入设备, 实证考察了4种不同的目标选择技术的性能、特点和适用场景, 给出了几种技术在移动式设备的触摸交互设计中的指导意义。

1 目标选择技术设计

基于手持式触摸设备, 实现并对比了直接触摸法、平移放大法、倾斜法和吸引法4种目标选择技术, 旨在发现不同的选择方法的性能差异和适用环境, 并找出适合于在移动手持式触摸上进行精确操作的方法。

直接触摸法允许用户通过手指直接触摸目标以完成选择。这种方法不向用户提供额外的视觉反馈, 能够反映用户在不借助其他辅助手段的情况下以触摸方式完成目标选择的性能。本文将这种方法作为基准, 用来实现与其他方法的性能对比。

平移放大法(图1)的设计理念基于“Shift”^[5]技术。当用户手指触摸屏幕并与屏幕保持接触时, 一

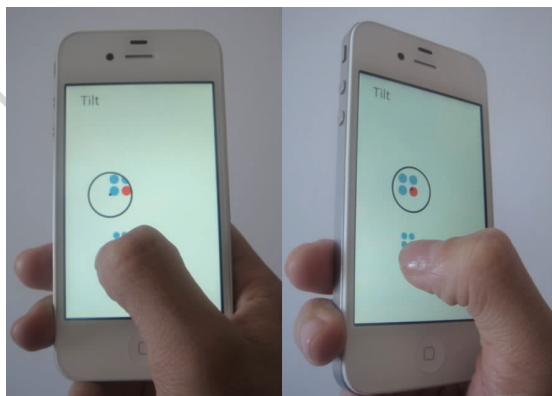
个位于手指触摸位置上方的圆形区域会被弹出。这个被弹出的区域内实时显示被手指遮挡的内容,并以 1.5:1 的比例将内容放大后呈现。弹出区域的位置会随着手指触摸位置的变化而变化。在圆形弹出区域中心的光标对应着当前的控制点,用户通过滑动手指来移动圆形弹出区域及控制点光标,若用户手指抬起时,控制点光标位于目标内,则目标选择成功。



图 1 平移放大法

Fig. 1 Shift & zoom

倾斜输入^[12-13]可以作为传统输入方式的潜在补充,倾斜法(图 2)的实现依赖于手持式触摸设备的硬件支持。用户通过倾斜触摸设备实现对目标的选择,当用户手指触摸屏幕并与屏幕保持接触时,一个位于手指触摸位置上方的圆形区域会被弹出。这个被弹出的区域内实时显示被手指遮挡的内容,光标位于圆形弹出区域的中央。用户在保持手指不动且与屏幕接触的情况下,可以通过倾斜手机来移动圆形弹出区域和光标,在移动过程中,光标始终位于圆形区域的中心。用户抬起手指时,若光标处于目



(a) 倾斜前

(b) 倾斜后

图 2 倾斜法

Fig. 2 Tilt

标内,则目标选择成功。根据设备倾斜的方向和角度,圆形弹出区域和光标将会以速度 $V = \mu A$, μ 是速度系数,初值为 6,这个初值通过展开 12 个人的预备实验和问卷调查得出。 A 是在倾斜方向的加速度, A 由设备内置的重力加速度传感器检测。设备的倾斜角度越大, A 的绝对值也就越大, A 的取值范围为 $-1 \leq A \leq 1$ 。 V 的采样频率为 60 Hz。

吸引法(见图 3)通过将目标吸引至手指在屏幕上的触摸点位置附近,再通过手指移向目标实现选择。当用户手指接触手机屏幕后,系统便自动将屏幕上的所有目标(包括待选目标)复制并以半圆形方式排列在手指触摸位置周围,颜色为红色的目标仍然是当前待选目标。当手指向某一目标方向划动时,对应目标会被放大。当用户手指继续向该目标划动并穿过该目标时,对应目标被选中。



图 3 吸引法

Fig. 3 Attraction

2 实验设计

2.1 实验参与者

共有 18 名志愿者参与实验(8 女 10 男),其中包括在校大学生 8 名,保洁人员 2 名,教师 3 名,中学生 2 名,退休人员 2 名,公司管理人员 1 名。平均年龄为 36.7 岁。为了保证实验的客观性,实验参与者均为正常视力(包括矫正以后视力),惯用手均为右手,并且他们当中 15 人有使用过触摸设备的经历。

2.2 实验设备

实验使用的设备是 Apple 公司的 iPhone 4S 手机。该手机的屏幕为 3.5 英寸,分辨率为 960 像素 $\times$ 640 像素,每英寸像素数为 326,每像素的长度

为 0.078 ms。实验程序运行在 iOS 6.1 操作系统上。实验程序由 Objective-C 开发,集成开发环境 (IDE) 为运行在 Mac OS 10.7.4 操作系统上的 XCode 4.5。

2.3 实验任务

在实验过程中,实验者分别使用前述 4 种方法选择目标。为了研究目标大小对于目标选择性能的影响,实验中共设计了 3 种尺寸的目标。目标直径的选择主要参考了日常手机操作,其中,小目标的直径为 25 像素,接近于图标下名称文字的大小;中目标的直径为 50 像素,接近于手机中复选框的大小;大目标的直径为 75 像素,接近于手及上 QWERT 键盘上字母的大小。在每一种尺寸的目标下,所有的目标被分为 5 组,并且分别位于屏幕上的 5 个位置,分别为东北、西北、中央、东南和西南 (如图 4 所示)。每一组由 4 个目标组成。在同一时刻,只有一组目标会出现。在出现的某一组目标中,其中随机一个目标变红,其余目标为蓝色。红色的目标是用户需要选择的目标。进行一次目标选择,完成一次实验。在实验过程中,实验者被告知需要又快又准确地完成每一次实验。

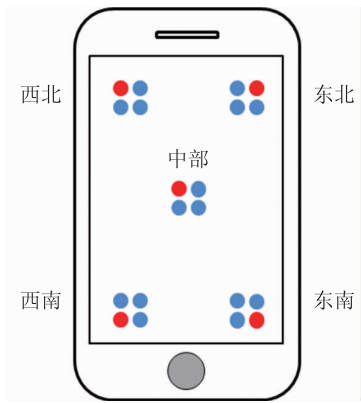


图 4 每组目标在屏幕上出现的位置
Fig. 4 Positions of target groups on screen

实验采用组内全因素可重复度量方案设计。自变量为方法 (直接触摸法、平移放大法,倾斜法和吸引法)、尺寸 (小、中、大) 和位置 (东北、西北、中央、东南和西南)。因变量为目标选择时间和选择错误率。为了消除技术的使用顺序对于实验结果的影响,技术的使用顺序通过拉丁方来平衡。为了考察实验者对于不同技术的学习效果,每位实验者共需要进行 3 组实验。处在相同条件下的实验重复 2

次。在每 1 组实验中,不同条件下实验的次序为随机出现。因此,实验中选择目标的次数共包括 18 位实验者 $\times$ 4 种技术 $\times$ 3 种目标尺寸 $\times$ 5 种目标位置 $\times$ 4 个目标 $\times$ 3 组实验 $\times$ 2 次重复 = 25 920 次目标选择任务。

3 实验结果

3.1 目标选择时间

目标选择时间从手指接触屏幕开始计算,到手指离开屏幕完成目标选择时截止。通过重复度量方差分析显示:技术 ($F_{3, 51} = 187.918, p < 0.001$) 和尺寸 ($F_{2, 34} = 381.734, p < 0.001$) 对于选择时间具有显著性影响。此外,技术和尺寸对于选择时间也存在显著的交互影响 ($F_{6, 102} = 90.438, p < 0.001$),目标位置对于选择时间也具有显著影响 ($F_{4, 68} = 4.85, p < 0.05$),位置处于中部和西南的目标所需选择时间最少,位置处于西北和东北的目标所需选择时间其次,东南位置目标所需选择时间最多。

不同大小目标平均选择时间的实验结果如图 5 所示。其中,实验者使用倾斜法选择目标所花费的时间最长,平移放大法和吸引法次之,直接触摸法所需时间最短。然而,在实验过程中参与者时常抱怨小目标难以选择,而且目标越小,花费的选择时间越长。当使用直接触摸法时这种情况尤其严重。当使用平移放大法 ($F_{2, 34} = 113.874, p < 0.001$),倾斜法 ($F_{2, 34} = 139.102, p < 0.001$) 和直接触摸法 ($F_{2, 34} = 7.142, p < 0.005$) 时,目标尺寸对于选择时间具有显著影响。然而,当使用吸引法 ($F_{2, 34} = 0.97, p = 0.908$) 时,目标尺寸对于选择时间没有显著的影响。

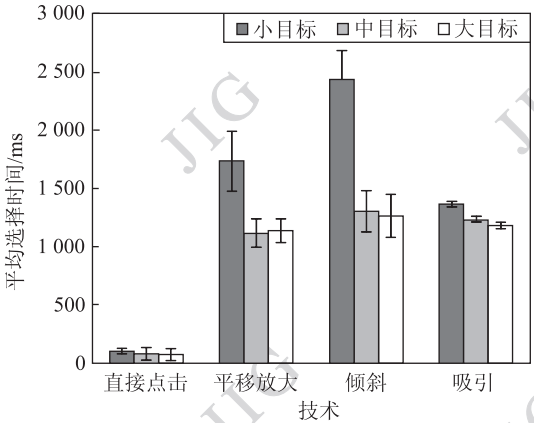


图 5 不同技术的平均选择时间
Fig. 5 Selection time per technique

3.2 选择错误率

选择错误率是同技术和目标尺寸的条件下,用户产生误操作的次数占总操作数的比。重复度量方差分析显示:技术($F_{3,51} = 441.055, p < 0.001$)和尺寸($F_{2,34} = 321.031, p < 0.001$)对于错误率具有显著性影响。此外,还可以观察到技术和尺寸对于选择错误率也存在着显著的交互影响($F_{6,102} = 48.172, p < 0.001$)。

图6显示了选择平均错误率的实验结果。实验者使用直接触摸法产生误操作的次数最多,其中在小目标、中目标和大目标的平均出错率分别为92.33%, 72.44%和37.08%。其他3种方法均在较大程度上降低了出错率。当实验者使用直接点击($F_{2,34} = 104.384, p < 0.001$)、平移放大($F_{2,34} = 44.177, p < 0.001$)和倾斜($F_{2,34} = 59.512, p < 0.001$)方法时,目标尺寸对于错误率具有显著的影响。然而,使用吸引法时,目标尺寸对于错误率没有显著影响($F_{2,34} = 1.109, p = 0.342$)。

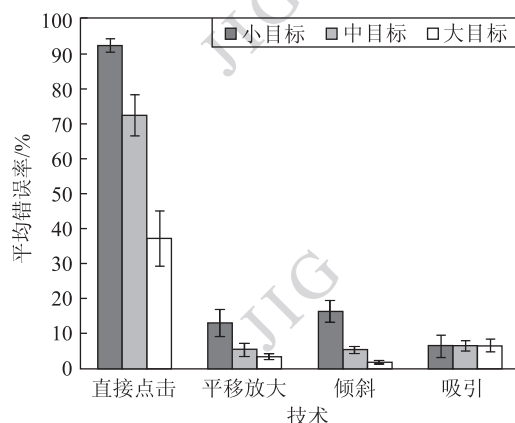


图6 不同技术的平均错误率

Fig. 6 Error rate per technique

除此之外,还有一个有趣的发现:目标在屏幕上的位置对于错误率具有显著的影响($F_{4,68} = 21.904, p < 0.001$)。如图7所示,分布在屏幕上5个位置的目标平均选择错误率由高到低分别为东南(11.97%)、东北(10.83%)、中央(8.94%)、西南(5.58%)和西北(7.59%)。因此,根据本研究观察到的目标位置效应,可发现,与屏幕上其他位置的目标相比,位于屏幕上西南和西北方的目标更容易被正确地选择。

3.3 手指移动距离

手指移动距离记录了在每一次实验中,从接触

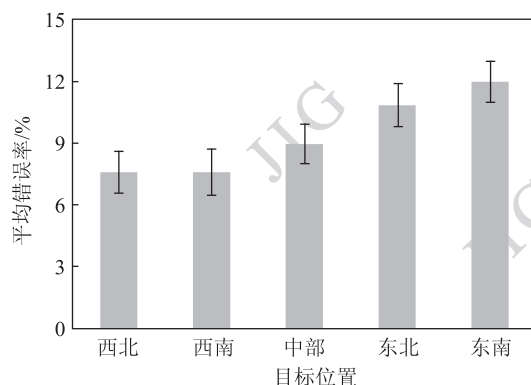


图7 屏幕不同位置的平均错误率

Fig. 7 Error rate per target group position

到离开屏幕,在手机屏幕上手指划动所产生的距离。重复度量的方差分析显示:技术($F_{3,51} = 69.535, p < 0.001$)、尺寸($F_{2,34} = 115.534, p < 0.001$)和目标位置($F_{4,68} = 7.367, p < 0.001$)对于手指移动距离都具有显著性影响。技术和尺寸对于选择时间存在显著的交互影响($F_{6,102} = 62.020, p < 0.001$)。图8为在不同技术和不同目标尺寸条件下的手指移动距离。

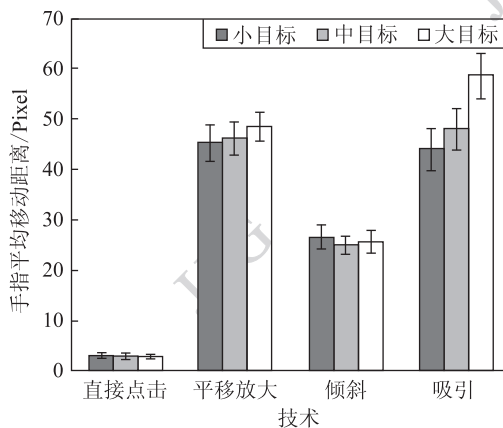


图8 不同技术的手指移动距离

Fig. 8 Finger movement displacement per technique

在吸引法中,由于完成目标选择需要将手指划向“被吸过来”的目标,因此平均移动距离较大,在平移放大法中,由于目标被放大,用户选择指定目标所划动的距离相应增加,因此也产生了较大的手指移动距离。而在吸引法中,用户粗略移动后,精确的调整是通过倾斜手机完成,因此移动距离较小。而对于直接点击,用户基本上一次性触摸在目标位置附近并完成选择,因此产生的手指划动非常小。从目标位置来看,选择西南方目标所产生的手指划动距离最小,西北方其次,选择东北方目标所产生的手

指划动最多。

3.4 实验者主观评价

每位实验者做完实验之后需填写一份调查问卷,并采用5级李克特量纲对实验过程中每项技术的难易程度和疲劳程度进行评价。主观评价的最终结果取决于所有实验者给出分数的平均值(1代表最不喜欢,5代表最喜欢)。方差分析显示不同技术之间的主观评价结果存在着显著的差异($F_{3,51} = 140.897, p < 0.001$)。综合考虑到所有尺寸的目标,4种技术的最终主观评价结果为1.95(直接触摸法),3.87(平移放大法),3.46(倾斜法),3.74(吸引法)。另外,所有的实验者在实验调查问卷中都表示,使用改进的目标选择技术来选择小目标和被遮挡的目标非常有效。

4 讨论

通过实证的方法,研究了用户使用不同目标选择技术在移动触摸设备上的性能表现。定量和定性分析显示:与传统的直接触摸方法相比,平移放大法,倾斜法和吸引法均有效地降低了精确目标的选择错误率。实验结果显示出了一个整体的趋势:随着目标尺寸的增大,选择时间和错误率都呈递减趋势。但是,吸引法的选择时间和错误率,以及直接触摸法的选择时间却一直很稳定,没有随着目标尺寸的改变而有显著变化。造成这种现象的可能原因是:1)使用吸引法选择目标时,无论目标尺寸有多大,用户只需要将手指向待选目标的方向移动,然后释放手指完成目标选择。因此,目标的尺寸并不会显著地影响选择时间和错误率。2)使用直接触摸法选择目标时,用户通常会直接点击目标,然后迅速释放手指完成本次目标选择。因此,直接触摸法的选择时间也不会显著地被目标尺寸影响。

本研究中,每一种技术都展示出了独特的特性。为了进一步揭示这些特性,总结了每一种技术的平均选择时间,平均错误率以及实验者的主观评价,如表1所示。

平移放大法展现出了令人满意的综合性能表现,显著地降低了选择精确目标的错误率。在所有技术中,平移放大法得到了最高的主观评价。实验者喜欢该技术的主要原因在于:尽管花费的时间长于直接触摸法和吸引法,平移放大法也依然很容易

表1 平均选择时间、平均错误率以及主观评价结果

Table 1 Average selection time, error rate and subjective evaluation

技术	选择时间/ms	选择错误率/%	主观评价
直接触摸	86.06	67.28	1.95
平移放大	1 327.99	6.93	3.87
倾斜	1 666.11	7.63	3.46
吸引	1 260.34	6.38	3.74

使用,并且该技术平均选择时间对实验者也是可接受的(1 327.99 ms)。在实验过程中,所有实验者都一致认为平移放大技术很容易使用。一些实验者还说道“这就像在屏幕上使用一个放大镜一样”。因此,综合上述优点,平移放大技术是一个有效的目标选择技术,适合进行小目标、相邻目标以及被遮挡目标的精确选择。

吸引法展现出了最低的错误率,第2短的平均选择时间以及与平移放大法接近的用户评价,并且该技术呈现出了稳定的性能,选择时间和错误率不会随着目标尺寸的变化而显著变化。可见,吸引法呈现出了最优的综合性能。然而,需要指出的是,吸引法需要使用额外的屏幕显示区域来放置被吸引的目标。因此,在小屏幕触摸设备上使用该技术时,所设计的用户界面需要进行目标的布局考虑。

倾斜法选择目标所花费的平均选择时间是最长的,错误率比平移放大法略高,主观评价结果排名第3。其中,有5名实验者指出,长时间持续使用该技术之后,会感觉到明显的疲劳。但是,即使会产生疲劳,大多数的实验者仍然认为该技术是有前途的,同时也是有趣的。因为使用倾斜法选择目标时并不需要用户移动手指,只需要将设备向特定的角度进行倾斜,所以倾斜技术可以用在多通道的输入环境中作为一种辅助的输入通道,而且可以通过探索更适合的倾斜/光标移动映射算法来改善性能。

尽管直接触摸法所花费的时间最短,但是由于其错误率最高,很难成功地选择目标,其主观评价也是最差的,因此直接点击技术并不适合在高精度的环境下进行目标选择。

通过对不同实验者进行观察,发现较年青的实验者所花费的平均选择时间稍短,受教育程度较高和经常使用手机的实验者所呈现出的学习效果不明

显。在选择小目标时,中学生更注重减少出错率,因此花费的选择时间比在校大学生稍长。退休人员是在佩戴眼镜的情况下完成实验,对改善小目标对象的选择技术需求较突出。保洁人员和退休人员对于实验的理解时间稍长,但在正式实验之前,已经对全体实验者进行短暂练习以确认其可以顺利准确地完成全部实验。

除此之外,研究中还发现了目标位置效应:位于屏幕西北(左上角)和西南(左下角)位置的目标更容易被成功地选择。因此,该效应可为触屏智能手机的用户界面节目设计提供参考依据,比如可将最常用的功能按钮和选项放置在屏幕的左上角或者左下角。由于所有实验参与者的惯用手都是右手,因此该效应适用于右手使用习惯的用户界面。对于惯用手为左手的用户来说,相反的方向(右上角和右下角)是否为理想的目标布局位置还有待进一步验证。

5 结 论

本文设计和实现了直接接触法、平移放大法、倾斜法和吸引法从而完成手持触摸设备中小目标的选择,并通过实证手段验证了几种方法的性能。与直接接触法相比,其他几种方法各自呈现了更优秀的目标选择能力,特别是在选择小目标和被遮挡的目标时更加有效。结果分析和用户评价显示:平移放大法表现出了较优的综合性能;吸引法呈现出了最稳定和最优秀的综合性能,然而,这种方法却需要额外的屏幕空间开销。尽管倾斜法选择目标时所花费的时间最长,但该技术仍可作为一种辅助方式实现目标选择。另外,研究还发现了目标的位置效应:位于屏幕西北(左上角)和西南(左下角)位置的目标更容易被成功地选择。

参考文献(References)

- [1] 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. San Jose, California, USA: ACM, 2007: 647-656.
- [2] Matejka J, Grossman T, Lo J, et al. The design and evaluation of multi-finger mouse emulation techniques[C] //Proceedings of the 27th annual ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Boston, USA: ACM, 2009: 1073-1082.
- [3] Albinsson P, Zhai S. High precision touch screen interaction[C] //Proceedings of the 21st annual ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Vancouver, Canada: ACM, 2003: 105-112.
- [4] Richard P, Weldon L, Shneiderman B. Improving the accuracy of touch screens: an experimental evaluation of three strategies[C] //Proceedings of the 6th Annual ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York, USA: ACM, 1988: 27-32.
- [5] Vogel D, Baudisch P. Shift: a technique for operating pen-based interfaces using touch[C] //Proceedings of the 25th annual ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. San Jose, USA: ACM, 2007: 657-666.
- [6] Benko H, Wilson A, Baudisch P. Precise selection techniques for multi-touch screens[C] //Proceedings of the 24th annual ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Montreal, Canada: ACM, 2006: 1263-1272.
- [7] Hajri A A, Fels S, Miller G, et al. Moving target selection in 2D graphical user interfaces[C] //Proceedings of the 13th Annual Interact. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2011: 141-161.
- [8] Weir D, Rogers S, Murray R S, et al. A user-specific machine learning approach for improving touch accuracy on mobile devices[C] //The 25th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. New York, USA: ACM, 2012: 465-476.
- [9] Yang X, Grossman T, Irani P, et al. TouchCuts and TouchZoom: enhanced target selection for touch displays using finger proximity sensing[C] //Proceedings of the 29th Annual ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Vancouver, Canada: ACM, 2011: 2585-2594.
- [10] Wang F, Cao X, Ren X, et al. Detecting and leveraging finger orientation for interaction with direct-touch surfaces[C] //The 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. Boston, USA: ACM, 2009: 23-32.
- [11] Mollers M, Dumont N, Ladwig S, et al. Improving touch accuracy on large tabletops using predecessor and successor[C] //Proceedings of the 31st annual ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Paris, France: ACM, 2013: 755-758.
- [12] Wigdor D, Balakrishnan R. TiltText: using tilt for text input to mobile phones[C] //Proceedings of the 21st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. Vancouver, Canada: ACM, 2003: 81-90.
- [13] 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: ACM, 2011: 849-858.