

智能手机背面屏盲打输入法键盘布局设计研究

罗天伦, 邓清, 谭紫璇, 邱一耕, 武汇岳

(中山大学 传播与设计学院, 广州 510006)

摘要: **目的** 目前基于移动设备背面屏输入技术的相关研究, 大多集中于其在物理键盘布局或是体型较大的移动设备(如 iPad)上的探究, 而基于小型移动设备(如手机)的背面屏盲打输入法键盘布局的相关研究并不多见。手机背面虚拟键盘的使用可极大程度释放前屏空间, 实现前屏交互任务与背屏文本输入的同步进行。基于此研究意义, 探讨智能手机背面屏盲打输入法的可行性及设计方案。**方法** 通过用户访谈和文本输入测试, 采集并分析 24 167 条用户输入数据。**结果** 智能手机背面屏的横向 QWERTY 键盘布局为左右拆分式, 整体位于双手手持时偏上部的位置。**结论** 通过对用户在智能手机背面屏盲打输入偏好的研究, 可以得出一个具有较强一致性的横向 QWERTY 键盘布局, 为未来背面屏盲打输入法键盘布局设计提供指导。

关键词: 智能手机; 文本输入; 背面屏交互; 键盘布局; 移动设备

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)06-0069-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.06.010

Design of Keyboard Layout for Eyes-free Text Input on the Rear Screen of Smartphones

LUO Tian-lun, DENG Qing, TAN Zi-xuan, QIU Yi-geng, WU Hui-yue

(School of Communication and Design, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006, China)

ABSTRACT: Existing studies on rear screen text input mostly focus on exploring physical keyboard layout on large mobile devices (e.g., iPad), ignoring the exploration of soft keyboard layout on the back of small mobile phones. The application of soft keyboard on the rear screen may greatly release the space of the front screen of a smartphone, ensuring that the user can perform primary interactive tasks on the front screen while conducting eyes-free text input on the rear screen. The purpose of this paper is to explore the feasibility of eyes-free text input on the back screen of a smartphone. Based on field observation of participants' text input behaviors, 24, 167 user input data have been collected and analyzed. Participants preferred to divide the traditional QWERTY keyboard into left and right parts and placed them on the upper side of the rear screen of a smartphone for two-handed eyes-free text input. Based on the experimental results, we propose a general keyboard layout for eyes-free text input on the rear screen of a smartphone. We highlight the implication of this work for the design of all back-of-device-based applications.

KEY WORDS: smartphone; text input; back-of-device interaction; keyboard layout; mobile device

为了提高输入效率和用户体验, 人机交互领域的研究人员一直在研究和改进输入法。一些研究关注模糊输入, 即在输入有特定偏差的情况下, 屏幕仍然可

以显示正确的输出, 而不必遵循标准键盘, 例如 No Look Flick^[1]和 Hot-stroke^[2]等输入法。另外一些研究则提出了新型的空间分布设计, 例如将输入键盘置于

收稿日期: 2020-12-15

基金项目: 国家自然科学基金(61772564)

作者简介: 罗天伦(1998—), 女, 浙江人, 中山大学传播与设计学院硕士生, 主攻交互设计。

通信作者: 武汇岳(1979—), 男, 山东人, 博士, 中山大学传播与设计学院教授, 主要研究方向为人机交互、交互设计、智能媒体。

移动设备的侧面和背面等。还有一些研究利用多通道信息实现辅助输入,如通过语音、面部表情和脑电波实现输入。然而,输入准确性和其他可用性问题,导致移动设备上主流的输入方法仍然是虚拟键盘。

在移动设备正面触屏输入文本时,始终存在一些无法有效解决的问题,如胖手指问题(Fat Finger)、文本输入效率与屏幕视觉空间占用之间的矛盾问题、正面输入面临的肩窥问题(Shoulder Surfing)等。为了提升用户体验,减少视觉干扰,许多研究者^[3-4]提出牺牲可视键盘面积的设计方法,但这种方式会使用户的手指更容易遮挡键盘内容,进一步加剧胖手指问题,增加文本输入的错误率和降低输入效率。为此,研究人员提出了许多无眼文本输入技术,希望能在释放屏幕有限空间的同时,也能够减轻胖手指问题并提升输入效率。无眼文本输入主要有语音输入、手势输入及点击输入三种方式。语音输入在公共场合的社会可接受度较低^[5],容易引起隐私安全问题,并且识别性能不稳定。基于手势的文本输入研究目前仍处于探索性研究阶段。手势本身的记忆性及手势所对应的复杂交互语义等各种因素,使其更适合于完成对系统功能的交互输入而不是文本输入。目前,应用更为普遍的是点击输入,许多研究将点击输入转移到移动设备背面,这些研究解决了正面输入的胖手指问题,为文本输入争取了设备背面的额外空间。然而这种交互技术普遍存在手指定位不准确和缺乏视觉、触觉等反馈的可用性问题。针对用户是否需要定位和大量反馈的问题,研究结果表明,用户无需视觉反馈即可与空间界面交互^[6]。虚构的用户界面研究^[7]显示,用户可以与仅存在于其想象中的空间界面交互。由于QWERTY布局的优势和广泛应用,用户在关键位置上的记忆力足够强大,足以引导他们将触摸点降落在目标关键位置附近而没有视觉提示^[8]。另外,统计解码技术的进步也为虚拟键盘上的键入提供了越来越强的容错能力。

基于智能手机背面屏,提出一种可靠的无眼文本输入技术是十分必要的。不仅能够释放屏幕正面的有限空间,避免对用户的视觉干扰,提升用户体验,而且又缓解了胖手指问题。因此,本文针对用户横向抓握双面屏手机的使用场景,设计一种在后置屏使用双手输入文本的交互技术,并在此基础上讨论用户对QWERTY键盘的使用习惯和个性化偏好。

本文旨在分析用户需要横向抓握手机进行背后文本输入时的偏好规律,如抓握的姿势及使用的手指等;讨论用户对背屏软键盘布局的偏好;提出优化键盘布局的设计指南,为相关领域的研究提供借鉴和指导。

1 背面屏交互与文本输入的相关工作

触摸是当下移动设备最受欢迎的输入方式之一。然而,这种交互方式存在胖手指、输入效率低和肩窥

等问题。为了克服这些缺点,研究人员有了将交互行为转移到移动设备背面的设想,就像在 Behind Touch^[9]和 Hybrid Touch^[10]等研究里所探讨的那样。然而由于设备会阻碍用户看到自己的手,所以将输入移动到设备背面会带来一个新的遮挡问题。Wigdor 等人^[11]的研究表明,当用户看不见自己的手指时,准确输入的范围只能落在直径约 4.5 cm 的目标上。在考虑如何帮助用户准确定位手指方面, Wilson 等人的 Touch Light 系统^[12]使用了位于显示屏后面的两个摄像头,以帮助用户定位手的位置。然而这种设备需要在额外固定位置设置摄像头,因此设备的便携性大大受限。Wigdor 等人^[11]设计了一款双向交互触摸桌,将两个触摸表面结合,提供了在桌面背面输入的功能。类似的系统还有 Lucid Touch^[13],它将伪透明的设计应用到了移动设备上,可以在正面屏幕上显示目标对象背后的手指轮廓,使用户可以定位触摸输入的位置,并且支持多点触控输入。他们的研究结果初步表明,许多用户认为背面触摸比正面触摸更可取,因为它既可以提高精度,又能进行多手指输入。Lucid Touch 由于存在一个附加在显示器外的摄像头,所以设备尺寸变得很大。LimpDual Touch^[14]弥补了这一缺点,并实现了用于图形操作和井字游戏娱乐两种类型的应用程序,两类用户可以共享相同的显示屏,同步看到对方的手势或表情。Nano Touch^[15]则探索了伪透明在微型移动输入设备上的可能性,通过对比实验得知背后交互确实是一个可以将点击交互应用在小屏幕设备的有效方式。Wobbrock 等人^[16]研究了用户在移动设备的正面和背面的输入方式及输入性能的使用偏好。实验结果表明,在设备背面进行手写字母输入时,设备正面的视觉反馈与用户在背面的手指运动模式是镜像的,这一结论支持了 Wigdor 等人“透明设备”的设计理念,但研究结果也同时揭露了食指执行复杂手势能力的局限性。

伪透明可以快速定位手指位置,也符合用户的心理模型,但这种近似于虚拟现实的概念,同样面临着虚拟图像与现实图像重合导致视觉混乱^[12]的问题,也难以直接应用在现有的手机和平板等设备上。因此,除了尝试通过伪透明的方式得到定位,也有一些学者考虑通过物理按键或反馈的方式辅助前屏的交互。例如 Chordtap^[17]和 Blindsight^[18]系统,其通过在手机背后排布若干个物理按键的方式,实现了对正面文本输入的协助或调取日历、存储等功能。Jens Maiero 等人^[19]为智能手机引入了一个设备后力反馈系统,它结合设备背后的力的反馈,提高了前屏的交互。

随着智能手机的普及和硬件技术的进步,更复杂的背后交互技术被提出,其中一种就是背后的文本输入技术。与 Behind Touch 的思路一样,研究人员尝试将键盘迁移到移动设备的背后,从而增大前屏的显示空间,解决遮挡问题。Wobbrock 等人^[20]提出了一种

面向移动设备的手势文本输入方法。这种无键盘的设计,尝试让用户通过按压、推动、点击安装在手机正面或背面的等长操纵杆输入文字。这是一种创新性的输入方式,但对用户而言有一定的学习成本,并且仅依靠一根手指进行长时间的操控会增加疲劳度、降低输入效率。若考虑基于背后键盘的文本输入,则要求对键盘有相对精确的定位。为了解决这个问题,大部分的研究都是基于用户已经熟悉的 QWERTY 布局,帮助用户快速记忆键盘的相对位置。一些设计尝试通过在设备背后设计物理按钮的形式帮助用户定位。Scott 等人^[21]设计的 Rear Type 是安装在 iPad 大小的移动设备背后的物理键盘,它支持用 10 个手指打字,平均打字速度为每分钟 15 个单词。它的一个重要突破是折叠熟悉的三排按钮键盘的布局,使每个手指的字母分配保持相同,从而提高输入效率。Kim 等人^[22]提出的 Back Keyboard 则是在手机背面的物理键盘,便于用户竖着抓握手机时进行背后文本输入。尽管缩小了键盘尺寸,但用户也能够达到平均每分钟 15.3 个单词的文本输入率。这两者都是在设备背后设计物理键盘,但键盘所依附的设备尺寸和键盘布局都不相同。Sandwich Keyboard 沿用了 Rear Type 按钮布局^[23],基于用户手的尺寸和首选的抓握方式,为移动平板电脑设计了背面的虚拟键盘,探索了无物理反馈的键盘键入的可能性。

在考虑移动设备背后键盘的设计时,鲜有研究考虑到移动设备的持握方式等因素,对文本输入时手指运动及点击性能的影响。前人有研究探讨了单手拇指、双手拇指的运动性能,如 Trudeau 等人^[24]基于抓握力无变化的前提,研究了用户拇指可以触达的区域范围,提出界面元素应该呈现在拇指的休息位置附近,而不是被功能区的位置所限制。另外,许多大型触屏设备虽已支持拆分键盘,但输入速率低,并且默认为左右各一半,没有研究按键的分配方式。对分割键盘的研究^[25]旨在优化 QWERTY 键盘的键入区域和按键尺寸,以此提高文本输入速率。同时,该研究表明,用户可能偏好用惯用手的手指来操纵更多的字母及按键。然而目前没有对移动设备背面的多指触摸行为的研究。

2 键盘布局设计依据与研究问题的提出

2.1 需求分析与田野调查

为了准确分析用户的实际需求,进行了一项田野调查,了解用户在手机背后进行文本输入时的键盘心理模型。招募了 30 名被试(10 名男性和 20 名女性)参与此次调查活动,年龄分布在 18~24 岁($M=21.8$, $SD=1.45$)。研究发现,超过 70% 的被试在横向持握手机进行手机背面的文本输入时,选择了横向键盘。两种不同方向分布的键盘布局见图 1,展现了以物理位

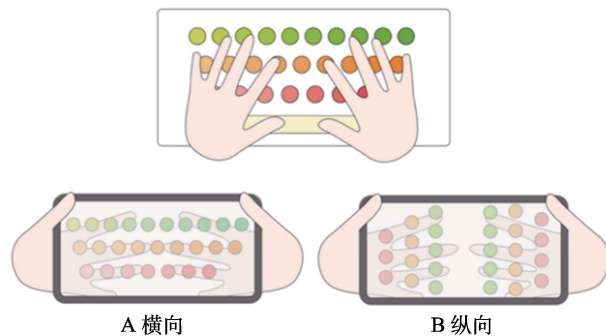


图 1 两种不同方向分布的键盘布局

Fig.1 Two different directional keyboard layouts

置关系进行映射的背后输入键盘和以手指与键盘相对位置关系进行映射的背后输入键盘。在随后的半结构化访谈中发现,大多数被试选择了横向键盘,其主要原因在于学习成本低;也有少量被试将手指与键盘的方向进行了一定的关系映射,因此在实际应用中可以通过设计一定的夹角满足这一需求。总的来说,根据调查结果,在进行手机背后的文本输入时,用户更加倾向于横向键盘,与日常的电脑键盘布局在方向上具有高度一致性,可以在一定程度上降低用户对背后布局键盘的记忆成本。

2.2 键盘横向布局设计依据

目前关于键盘布局的研究,大多以输入效率为核心出发点来进行优化,据此已经提出了许多不同键盘布局的设计方案。然而这样的设计往往面临着难以普及的困境,虽然在实验中受过特别训练的用户确实能够达到更高的输入速率与更低的错误率,但是现实中业余用户的数量远远超过了专业打字员人数,他们常常不愿意学习其他键盘的布局,从而限制了这些设计方案的广泛应用。更有研究进一步表明,这是由于用户面对新的虚拟键盘布局时,学习曲线陡峭^[26]。然而这一点在实际的设计应用中却是不可被忽视的,用户偏好对设计而言具有重要的指导意义。Nielsen 和 Levy 发现^[27],当被试使用一种他们更喜欢的技术时,他们对于问题的解决能力将会大大提高。同时偏好也已经被证明会影响部分表现的生理测量的水平^[28-29]。因此本文主要针对手机设备背后键盘布局的用户偏好的研究,从认知负荷的分析与田野调查的实例出发,在传统横向 QWERTY 的基础设计下,进行实验的设计与用户行为分析。

2.3 研究问题

由于手机本身遮挡了用户的视线,所以用户不得不将自己对 QWERTY 键盘的空间记忆转移到手机背面。因此后端键盘设计的一个关键问题在于,用户对 QWERTY 布局的空间记忆,是否能顺畅地帮助建立后端键盘盲打的心理模型。本研究的主要问题如下。

1) 当用户需要横向抓握手机进行背后文本输入

时会有什么习惯偏好(抓握的姿势、使用的手指等)?

2) 当后端软键盘横向平铺在手机的背面时,它的适当形式(布局、大小、位置等)是什么?

3) 用户对 QWERTY 布局的空间记忆是否能平稳地转移到背后输入这种形式?

3 用户研究

使用绿野仙踪法,模拟用户在手机背面键盘输入文本的场景,记录用户在输入每一个字母时点击的位置坐标数据,供后续的探讨和分析。

3.1 被试

在参加了田野调查的 30 名被试中,通过模拟文本输入测试,筛选出同时具有较强 QWERTY 键盘盲打能力和触摸屏键盘输入经验的 11 名被试(5 名女性和 6 名男性),平均年龄为 22 岁($SD=0.74$)。所有被试均为右利手,并且都是在校大学生。

3.2 实验设备

在一个可用性实验室展开本实验研究。实验前通过 node.js 搭建系统服务器,以小米 8 手机为输入设备,屏幕为 1 080 像素 $\times$ 2 249 像素,采用 APPLE iMac (MK452CH/A) 进行用户点击的坐标位置的计算处理。在手机端通过 IP 地址进入预先写好的空白网页点击,此时 PC 端作为服务器接收信号,显示对应字母并记录下数据。同时,用另一部小米 Note 手机打开同一 IP 地址下的不同端口,将其作为退格按钮,以允许用户纠正误触行为。

在实验中,被试反向抓握手机,手机背面朝向被试,正面背对被试,实现手指的虚拟键盘输入。虚拟键盘以保持熟悉的 QWERTY 的横向分布来进行分配。同时,由于输入键盘的不可见性,在输入设备中增加了音效与震动,增加用户在听觉与触觉上的反馈,以增强对输入的影响效果^[21,30]。

根据田野调查,不同被试横向抓握手机的习惯与方式(如斜度、放在屏幕背后的手指数量等)都有所不同。因此允许被试以自己最舒适自然的方式,在背后屏幕进行键盘输入。每当被试的手指点并离开屏幕时^[23,31],都会得到一个接触点的横纵坐标位置,以 1 像素为单位进行记录。相较于接触时就记录数据的检测方式,手指离开屏幕时再检测的方式,允许用户在平坦表面上进行预备动作,一定程度上减少了误触产生的误差。为了更精确地记录用户输入时的状态,在输入的同时,用手机设备 iPhone 7 及 iPhone 12 分别对输入过程进行了录像。

3.3 实验任务及流程

在告知被试实验相关信息,并请他们签署知情同意后,记录被试的个人基本信息,并测量被试双手的中指指长与各手指点击屏幕的接触面积。

完成这项工作后,让被试坐在 iMac 电脑屏幕前,要求他们以自己习惯的方式双手横屏握持摆放在桌上的小米 8 手机,保持屏幕背对自己,同时注意音量键朝上。

实验开始前,建立一个包含 85 个英文测试短句的文本集,短句主要随机抽取于 MacKenzie 的词组库^[32]和 Pangram 网站,将其排列在一个 PowerPoint 文件中,每隔 4 个普通短句插入一个 Pangram,以保证所有字母都有一定的出现几率。由于实验任务较为单调,在流程中插入休息页面,缓解被试在实验过程中可能产生的疲劳感。出于同样的目的,在实验过程中还会为被试播放节拍,以及与实验设备所能支持的最高输入频率相近的经典游戏《超级马里奥》的背景音乐。

按照前文所述的方法连接好设备后,在 iMac 电脑上打开文本集,要求被试想象手机背面屏幕的字母按键排布方式,并根据屏幕显示的文本在手机背面屏幕上点击输入。当被试完成一次点击时,会收到来自手机的震动和音效反馈。同时,被试输入的文本也会在电脑屏幕中的另一个窗口呈现。假设被试输入的字母全部正确,并告知被试如果感觉自己输错位置,可以点击桌面上的另一个小米 Note 手机屏幕进行退格操作。

在每个实验中,都有一个实验人员全程陪同跟进并完成辅助工作,包括视频记录和协助翻页、收集反馈等。

适应阶段:让被试先尝试 5 个短句的输入,在被试完成后,实验人员会与其进行简单对话,了解并记录其在实验中遇到的困难或即时产生的想法。适应阶段旨在让被试熟悉测试规则,寻找适合自身的握持方式,减少正式实验中错误操作导致的偏差。

正式实验:完成适应阶段后,实验人员引导被试进入正式实验。在正式实验中,被试总共需要输入 80 个短句,每完成 10 个短句的输入,被试会得到 1~2 min 的休息时间。实验人员会记录这些时间里被试的任何反馈。正式实验过程持续 30~40 min。

数据清理:在实验完成后,实验人员对数据进行清理。根据程序设定,被试的退格输入和休息页中的输入在后台数据集中都有特殊标记,利用这些特殊标记删除所有噪音数据和适应阶段的数据,最终每位被试都会生成一份包含 2 197 次输入的数据样本供后续分析。

3.4 实验结果

总共收集了 24 167 个数据点(80 个测试短语中的 2 197 个字母 $\times$ 11 个被试)用以分析被试的文本输入偏好。

3.4.1 握持手势角度偏好分析

通过观看实验中的录像回放,分析被试使用手机

背面虚拟键盘的握持手势偏好。

沿手机屏幕的边缘作垂直平分线,沿垂直平分线作坐标轴 OXY,每隔 30°划分一个区域,将坐标轴的 4 个象限共分为 12 个区,x 轴正方向自上到下分别命名为 L1~L6,x 轴负方向自上到下分别命名为 R1~R6。坐标轴见图 2。

接下来,以被试小指与食指关节连线为纵轴,分别作垂直于纵轴的射线 L 和 R,以屏幕中点方向为正,分别测量 L/R 与 x 轴负/正方向的夹角,判定被试握持手势与手机横向中轴线夹角,并根据前述坐标系进行角度区域编码。用户左右手的握持手势偏好区域分别标记为 L5 和 R4。被试双手坐标系及手机屏幕坐标系见图 3。

对 11 名被试适应阶段及正式实验的 8 个阶段(每 10 个输入短句为 1 个阶段)的握持手势角度进行编码后发现,所有用户的左手握持偏角区间均在 L3~L6,右手握持区间均在 R3~R6。被试左手握持角度区域偏好分布见表 1。被试右手握持角度区域偏好分布见表 2。

尽管被试在实验过程中通常会改变握持手势,但 11 名被试中只有 1 名被试在实验过程中左手握持手势覆盖了 3 个区域,没有被试在实验过程中右手握持

手势覆盖超过 2 个区域。

对被试握持区域的分布做了卡方检验,通过结果可知,左手的 $\chi^2=54.899$, $p=0.000$,有统计学差异;右手的 $\chi^2=46.091$, $p=0.000$,同样具有统计学差异。

3.4.2 键盘拆分情况分析

接着对具体的每一个字母点击区域做了数据分析。对共采集到的 24 167 个坐标数据进行 95%置信椭圆聚类分析与热力图分析,可以发现键盘整体位置偏手机上部,呈左右拆分的趋势。因此分别对键盘的横纵向布局进行分析与进一步验证。11 位被试键盘点击位置的散点分布和 95%置信度椭圆见图 4。11 位被试键盘点击位置的热力图见图 5。

首先分析键盘的纵向分布。将手机高度(1 080 像素)的 1/2 处作为纵向划分的中心轴,分别得到上半区点数为 17 301,临界值点数为 38,下半区点数为

表 1 被试左手握持角度区域偏好分布
Tab.1 Distribution of the holding angle area for the participants' left hand

角度区域	L3	L4	L5	L6
频次/次	8	55	24	12

表 2 被试右手握持角度区域偏好分布
Tab.2 Distribution of the holding angle area for the participants' right hand

角度区域	R3	R4	R5	R6
频次/次	6	51	27	15

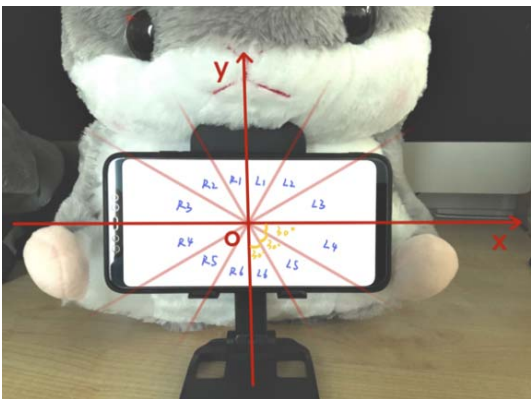


图 2 坐标轴
Fig.2 Coordinate axis

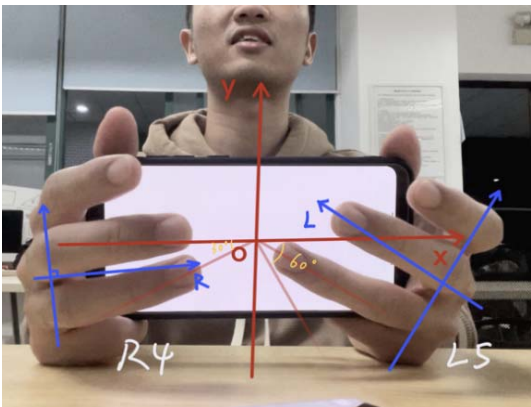


图 3 被试双手坐标系及手机屏幕坐标系
Fig.3 Coordinate systems of two hands and mobile phone screen

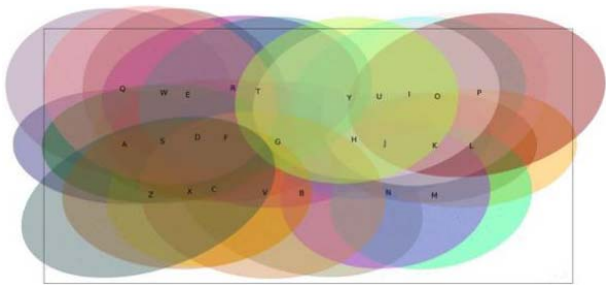


图 4 11 位被试键盘点击位置的散点分布和 95%置信度椭圆

Fig.4 Scatter plots and 95% confidence ellipses of 11 participants' touch points on the back screen

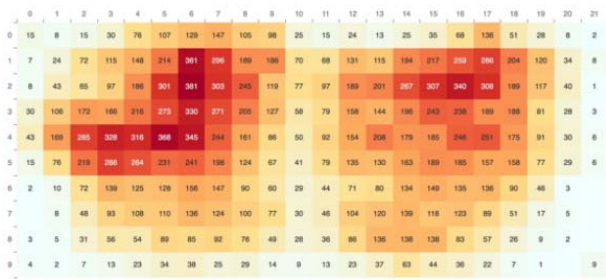


图 5 11 位被试键盘点击位置的热力图
Fig.5 Heat map of 11 participants' touch points on the rear screen

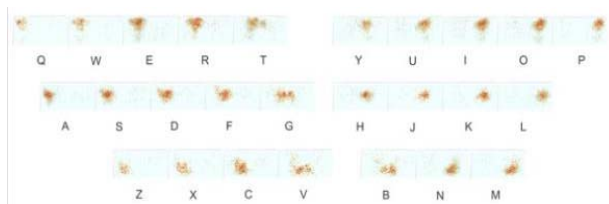


图6 11位被试键盘点击位置每个字母的分布热力图
Fig.6 Heat map of the alphabet for all 11 participants

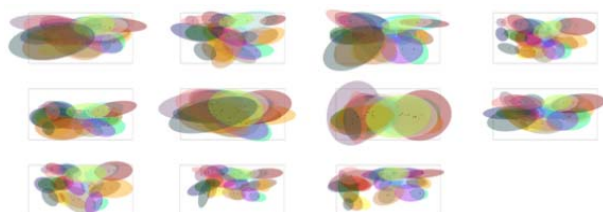


图7 11位被试键盘点击位置的散点分布和95%置信度椭圆

Fig.7 Scatter plots and 95% confidence ellipses of 11 participant's touch points on the back screen

6 828。通过上下区域分布偏好的卡方检验 $p=0.000$, 说明键盘在手机背后分布的上下区域存在显著性差异, 根据数据和图像可分析得知整体分布偏上。

其次分析键盘的横向分布。在分析 95%置信椭圆聚类图时发现, 键盘呈明显的左右拆分趋势; 在分析 26 个字母单独的热力图时发现, 键盘中间字母, 如 T、Y、G、H、V、B, 可能会存在左右两边输入都很多, 或者说在不同被试间存在不同的字母分配情况, 因此会对中间字母进行进一步处理与分析。11 位被试键盘点击位置每个字母的分布热力图见图 6。

绘制出了 11 位被试的 95%置信椭圆, 针对中间字母的分布区域进行数据处理和分析, 并且通过卡方检验来检验被试对字母分布偏好的显著性。11 位被试键盘点击位置的散点分布和 95%置信度椭圆见图 7。

首先是字母 Y 和 H, 将屏幕横坐标分为左边区域 (0~1 124.5 像素) 和右边区域 (1 124.5~2 249 像素), 分布在右边区域的被试为 11 名。因此字母 Y 和 H 的分布区域在屏幕的右半区。

其次是字母 G、T、V, 通过计数得到偏好左边区域点击的被试均为 9 名, 偏好右边区域点击的被试均为 2 名。字母 G、T、V 左右区域分布偏好的卡方检验 $p=0.065$, 说明被试的偏好无显著性差异。

输入字母 B 时, 有 7 名被试偏好左边区域点击, 4 名被试偏好右边区域点击。字母 B 左右区域分布偏好的卡方检验 $p=0.549$, 说明被试的偏好无显著性差异。

进一步将字母输入时的点击坐标的横坐标进行处理和分析。输入字母 B 时, 11 名被试共有 223 次偏好左边区域点击, 有 228 次偏好右边区域点击。字母 B 左右区域分布偏好的卡方检验 $p=0.071$, 说明被试的偏好无显著性差异。

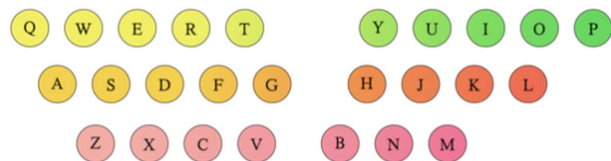


图8 左右拆分式横向键盘设计布局建议
Fig.8 Left and right split type horizontal keyboard design layout proposal

同样, 输入字母 V 时, 11 名被试共有 278 次偏好左边区域点击, 有 151 次偏好右边区域点击。字母 V 左右区域分布偏好的卡方检验 $p=0.000$, 说明被试的偏好具有显著性差异。

输入字母 G 时, 11 名被试共有 335 次偏好左边区域点击, 有 215 次偏好右边区域点击。字母 G 左右区域分布偏好的卡方检验 $p=0.000$, 说明被试的偏好具有显著性差异。

输入字母 T 时, 11 名被试共有 1 404 次偏好左边区域点击, 有 466 次偏好右边区域点击。字母 T 左右区域分布偏好的卡方检验 $p=0.000$, 说明被试的偏好具有显著性差异。

在进一步分析字母 B 时, 考虑先手动筛去一部分明显为噪声的数据。字母 B 的总点击频次为 451 次, 将屏幕划分为上屏幕区域 (0~540 像素) 和下屏幕区域 (540~1 080 像素), 字母 B 的纵坐标 y 大于 540 的频次为 384, 总坐标 y 小于 540 的频次为 67, 字母 B 上下区域分布偏好的卡方检验 $p=0.000$, 说明被试的偏好具有显著性差异。根据这一显著差异, 手动剔除了纵坐标 y 小于 540 的点击数据, 剔除后的字母 B 点击总频次为 384 次。输入字母 B 时, 11 名被试共有 135 次偏好下屏幕左边区域点击, 有 249 次偏好下屏幕右边区域点击。字母 B 左右区域分布偏好的卡方检验 $p=0.000$, 说明被试的偏好具有显著性差异。

研究表明, 被试能够很好地将 QWERTY 键盘映射在手机屏幕背面进行文本输入, 并且对具体字母在屏幕左右区域的分布存在清晰的分布一致性。在纵向上, 被试偏好布局整体偏手机上部。在横向上, 被试偏好将第一行中的 Q、W、E、R、T, 第二行中的 A、S、D、F、G 和第三行中的 Z、X、C、V 划分在屏幕的左边区域, 将剩余字母划分在屏幕右边区域。可以观察到的是, 用户偏好左边区域分布更多的字母, 可能的原因是被试均为右利手, 倾向于使用右手提供更多的力支撑手机, 使左手的文本输入更加灵活, 从而会更多地利用屏幕左边区域。

根据以上研究结果, 给出智能手机背面屏盲打输入法键盘布局的设计建议, 见图 8。

4 结语

本文针对智能手机前屏文本输入的常见问题进行了总结分析, 提出了一种背面屏盲打输入法键盘布

局设计方案, 并招募用户进行了探索性研究。研究结果表明: (1) 被试均具有较强的 QWERTY 键盘记忆能力, 可以以正确的字母相对位置, 在手机背面虚拟键盘上进行文本输入; (2) 被试偏好将手机背面横向键盘的布局拆分成左右两块区域; (3) 被试横向持握手机时偏好角度的一致性较高, 集中在 L4 和 R4 区域。本文结果对智能手机背面屏盲打输入法键盘布局设计有重要的借鉴意义。同时也存在一些问题尚未解决:

(1) 未考虑被试其他自然状态 (如躺卧、站立等) 下的握持输入姿势, 以及其他可能的输入方式 (如滑动输入等); (2) 进一步测试左利手的偏好也有助于键盘的定制化设计; (3) 在未来的研究中, 可以考察更多现实情况和更多类用户群体, 进一步泛化结论; (4) 对本研究提出的键盘设计进行实际输入速率与错误率的测试也能够实现键盘布局的进一步优化。

手机背面的虚拟键盘输入是一种实用且易于学习的界面系统。基于研究结论, 双面屏手机研发者及设计师们能够了解用户的持握手机和文本输入的偏好, 进一步把握文本输入的规律, 设计开发更有效的手机背面键盘交互技术。

参考文献:

- [1] FUKATSU Y, SHIZUKI B, TANAKA J. No-look Flick: Single-handed and Eyes-free Japanese Text Input System on Touch Screens of Mobile Devices[J]. *Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services*, 2013.
- [2] CUI W, ZHENG J, LEWIS B, et al. Hot-strokes: Word-gesture Shortcuts on a Trackpad[C]. *Glasgow: Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2019.
- [3] LI F C Y, GUY R T, TRUONG K N. The 1 Line Keyboard: a QWERTY Layout in a Single Line[J]. *User Interface Software and Technology*, 2011.
- [4] MOTTELSON A, LARSEN C, LYDERIK M, et al. InvisiBoard: Maximizing Display and Input Space with a Full Screen Text Entry Method for Smartwatches[C]. *Florence: Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*. ACM, 2016.
- [5] SEI Y, FUNAKOSHI M, SHIZUKI B. Expanding One-Handed Touch Input Vocabulary Using Index Finger on and Above Back-of-Device[J]. *Human-Computer-Interaction*, 2019.
- [6] GUSTAFSON S, BIERWIRTH D, BAUDISCH P. Imaginary Interfaces: Spatial Interaction with Empty Hands and Without Visual Feedback[C]. *New York: Proceedings of the 23rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 2010.
- [7] LI F C Y, DEARMAN D, TRUONG K N. Virtual Shelves: Interactions with Orientation Aware Devices[C]. *Victoria: Proceedings of the 22nd annual ACM symposium on User Interface Software and Technology*, 2009.
- [8] ZHU S, LUO T, BI X, et al. Typing on an Invisible Keyboard[C]. *Montreal QC: Chi Conference*, 2018.
- [9] HIRAOKA S, MIYAMOTO I, TOMIMATSU K. Behind Touch, a Text Input Method for Mobile Phones by the Back and Tactile Sense Interface[J]. *Information Processing Society of Japan*, 2003: 131-138.
- [10] SUGIMOTO M, HIROKI K. HybridTouch: an Intuitive Manipulation Technique for PDAs Using their Front and Rear Surfaces[C]. *Helsinki: Proceedings of the 8th Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, 2006.
- [11] WIGDOR D, LEIGH D, FORLINES C, et al. Under the Table Interaction[C]. *Montreux: Proceedings of the 19th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 2006.
- [12] WILSON A D. TouchLight: an Imaging Touch Screen and Display for Gesture-based Interaction[C]. *Los Angeles: Proceedings of the 6th International Conference on Multimodal Interfaces*, 2004.
- [13] WIGDOR D, FORLINES C, BAUDISCH P, et al. Lucid Touch: a See-through Mobile Device[C]. *Newport: Proceedings of the 20th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 2007.
- [14] IWABUCHI M, KAKEHI Y, NAEMURA T. LimpiDual Touch: Interactive Limpid Display with Dual-sided Touch Sensing[C]. *Los Angeles: SIGGRAPH Posters*, 2008.
- [15] BAUDISCH P, CHU G. Back-of-device Interaction Allows Creating very Small Touch Devices[C]. *Boston: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2009.
- [16] WOBBROCK J O, MYERS B A, AUNG H H. The Performance of Hand Postures in Front-and Back-of-device Interaction for Mobile Computing[J]. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2008, 66(12): 857-875.
- [17] WIGDOR D, BALAKRISHNAN R. A Comparison of Consecutive and Concurrent Input Text Entry Techniques for Mobile Phones[C]. *Vienna: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2004.
- [18] LI K A, BAUDISCH P, HINCKLEY K. Blindsight: Eyes-free Access to Mobile Phones[C]. *Florence: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2008.
- [19] MAIERO J, EIBICH D, KRUIJFF E, et al. Back-of-device Force Feedback Improves Touchscreen Interaction for Mobile Devices[J]. *IEEE Transactions on Haptics*, 2019, 12(4): 483-496.
- [20] WOBBROCK J O, CHAU D H, MYERS B A. An Alternative to Push, Press, and Tap-tap-tap: Gesturing on an Isometric Joystick for Mobile Phone Text Entry[C]. *San Jose: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2007.
- [21] SCOTT J, IZADI S, REZAI L S, et al. Rear Type: Text

- Entry Using Keys on the Back of a Device[C]. Lisbon: Proceedings of the 12th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services, 2010.
- [22] KIM H, ROW Y K, LEE G. Back Keyboard: a Physical Keyboard on Backside of Mobile Phone Using Qwerty [C]. Austin: CHI 2012, 2012.
- [23] SCHOENLEBEN O, OULASVIRTA A. Sandwich Keyboard: Fast Ten-finger Typing on a Mobile Device with Adaptive Touch Sensing on The Back Side[C]. Munich: Proceedings of the 15th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services, 2013.
- [24] TRUDEAU M B, YOUNG J G, JINDRICH D L, et al. Thumb Motor Performance Varies with Thumb and Wrist Posture during Single-handed Mobile Phone Use[J]. Journal of Biomechanics, 2012, 45(14): 2349-2354.
- [25] YAZDI M A A, NEGAHBAN A, CAVUOTO L, et al. Optimization of Split Keyboard Design for Touchscreen Devices[J]. International Journal of Human-Computer Interaction, 2018, 35(4): 1-10.
- [26] BI X, ZHAI S. IJQwerty: What Difference Does One Key Change Make? Gesture Typing Keyboard Optimization Bounded by One Key Position Change from Qwerty[C]. San Jose: Chi Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2016.
- [27] NIELSEN J, LEVY J. Measuring Usability: Preference vs Performance[J]. Communications of the ACM, 2010.
- [28] GRIMES D, TAN D S, HUDSON S E, et al. Feasibility and Pragmatics of Classifying Working Memory Load with an Electroencephalograph[C]. Florence: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2008.
- [29] NACKE L E. Wiimote vs Controller: Electroencephalographic Measurement of Affective Gameplay Interaction [J]. The Future of Game Design and Technology, 2010.
- [30] HOGGAN E E, BREWSTER S A, JOHNSTON J. Investigating the Effectiveness of Tactile Feedback for Mobile Touchscreens[C]. Florence: Conference on Human Factors in Computing Systems, 2008.
- [31] SALTHOUSE, TIMOTHY A. Perceptual, Cognitive, and Motoric Aspects of Transcription Typing[J]. Psychological Bulletin, 1986, 99(3): 303-319.
- [32] MACKENZIE I S, SOUKOREFF R W. Phrase Sets for Evaluating Text Entry Techniques[J]. Human Factors in Computing Systems, 2003.

(上接第 52 页)

- [13] 林会杰, 贾珈, 王晓慧, 等. 基于 B/S 模式的 3D 双语虚拟说话人的研究与实现[C]. 南京: 第七届和谐人机环境联合学术会议(HHME), 2011.
- LIN Hui-jie, JIA Jia, WANG Xiao-hui, et al. 3D Bilingual Virtual Speaker Based on B/S Model[C]. Nanjing: [O]HHME, 2011.
- [14] MCNEILL D. Gesture and Thought 1st Edition[M]. Chicago: University of Chicago Press, 2017.
- [15] 陈浩, 师雪姣, 肖智议, 等. 高表现力情感语料库的设计[J]. 计算机与数字工程, 2014, 42(8): 1383-1385.
- CHEN Hao, SHI Xue-jiao, XIAO Zhi-yi, et al. High Performance Emotional Corpus[J]. Computer & Digital Engineering, 2014, 42(8): 1383-1385.
- [16] 赵力勤. 基于 TED 演讲语料库的多模态隐喻手势语研究[J]. 现代交际, 2019, 9: 106-107.
- ZHAO Li-qin. Multi-modal Metaphorical Gesture Language Based on TED Talk Corpus[J]. Modern Communication, 2019, 9: 106-107.
- [17] MELVILLE P, GRYC W, LAURENCE R D. Sentiment Analysis of Blogs by Combining Lexical Knowledge with Text Classification[J]. ACM SIGKDD, 2009: 1275-1284.
- [18] EKMAN P. An Argument for Basic Emotions[J]. Cognition & Emotion, 1992, 6(3-4): 169-200.
- [19] CALBRIS G. Elements of Meaning in Gesture[M]. Amsterdam: John Benjamins Publishing Company, 2018.
- [20] LHOMMET M, MARSELLA S. From Embodied Metaphors to Metaphoric Gestures[C]. Proceedings of the Cognitive Science Society, 2016.
- [21] WANG Xiao-hui, DING Xiao-xue, LI Jin-ke, et al. Little World: Virtual Humans Accompany Children on Dramatic Performance[C]. Seattle: 28th ACM International Conference on Multimedia, 2020.
- [22] HU Si-yu, SHUI Bo, JIN Si-yu, et al. AI Mirror: Visualize AI's Self-knowledge[C]. Seattle: 28th ACM International Conference on Multimedia, 2020.