

doi:10.3785/j.issn.1006-754X.2020.00.020

可变摩擦力触感移动终端的汉语盲文编码设计

张 帆, 褚少微, 吉娜烨

(浙江传媒学院 媒体工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘 要:在智能触屏移动终端上表达盲文是一件具有深刻现实意义但又充满挑战的工作。为了让视障人士能够通过摸读智能触屏移动终端上的盲文来获取信息,提出了3种基于可变摩擦力触感的移动终端通用汉语盲文编码方法,分别为通用盲文编码方法、声调嵌入编码方法及4行2列编码方法。基于压电传感器的超声震荡波可在物体表面产生可变摩擦力触感的原理,在智能移动终端上实现汉语盲文触感编码。通过对12名盲人用户进行2次系统实验,从摸读效率、摸读准确率和用户满意度方面对编码方法进行可用性评估。首先,对3种编码方法进行可用性评估(实验1),然后基于实验1的结果,挑选4行2列编码方法与基于向右滑动摸读方式的振动马达触觉反馈编码方法进行可用性对比(实验2)。实验1结果显示,3种编码方法的平均摸读效率分别为8.82,4.91,4.12 s/汉字,平均摸读准确率分别为98.6%,96.8%,98.6%,4行2列编码方法在用户满意度方面的综合得分最高。实验2结果表明,与基于向右滑动摸读方式的振动马达触觉反馈编码方法相比,4行2列编码方法的摸读效率、摸读准确率及用户满意度更高。综上所述,采用4行2列编码方法能够在移动终端上实现对通用汉语盲文的编码和摸读,可为视障人士在智能移动终端上摸读汉语盲文提供新思路。

关键词:可变摩擦力触感; 汉语盲文编码方法; 用户体验; 人机交互

中图分类号:TP 391

文献标志码:A

文章编号:1006-754X (2020)02-0154-08

Chinese Braille encoding design for mobile terminal with variable-friction tactile

ZHANG Fan, CHU Shao-wei, JI Na-ye

(College of Media Engineering, Communication University of Zhejiang, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Characterizing Braille on the smart touch screen mobile terminal is a practically significant but difficult task. In order to enable the visually impaired obtain the information by touching the Braille on the smart touch screen mobile terminal, three common Chinese Braille encoding methods based on mobile terminal with variable friction tactile were proposed, which were general Braille encoding method, tone embedding encoding method and four-lines two-columns encoding method. According to the principle that the ultrasonic vibration generated by piezoelectric sensor could produce variable friction tactile on the object surface, the Chinese Braille tactile code was realized on the smart mobile terminal. Through two systematic experiments on 12 blind users, the usability of encoding method was evaluated from the aspects of reading efficiency, reading accuracy and user satisfaction. Firstly, the usability of three encoding methods was evaluated (experiment 1). Based on the results of experiment 1, the four-lines two-columns encoding method was selected to compare with the vibration motor tactile feedback encoding method based on right-sliding touch reading mode for usability. The results of experiment 1 showed that the average reading efficiency of three encoding methods was 8.82, 4.91 and 4.12 s/Chinese character, and the average reading accuracy was 98.6%, 96.8%, and 98.6%, respectively. Among them, the score of four-lines two-columns encoding method was the highest. The results of

收稿日期:2019-07-24

修订日期:2019-11-14

本刊网址·在线期刊:<http://www.zjujournals.com/gcsjxb>

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61502415);浙江省公益技术研究资助项目(2016C31087)

作者简介:张帆(1983—),男,广东潮州人,讲师,硕士,从事数字娱乐、人机交互技术研究, E-mail: FanZhang@cuz.edu.cn, <https://orcid.org/0000-0002-9534-1777>

experiment 2 showed that, compared with the vibration motor tactile feedback encoding method based on right-sliding touch reading mode, the four-lines two-columns encoding method had higher reading efficiency, reading accuracy and user satisfaction. In conclusion, using the four-lines two-columns encoding method is able to encode and read the common Chinese Braille on the mobile terminal, which can provide a new way for the visually impaired to read Braille on smart mobile terminal.

Key words: variable-friction tactile; Chinese Braille encoding method; user experience; human-computer interaction

现行 Braille 点盲文编码方法是一种应用广泛的盲文编码方案,由法国人 Braille 发明。该方法通过在盲文纸上标记凸点(raised dot)来实现文字的编码和摸读。Braille 盲文由 3 行 2 列的 6 个盲文点位(position of dot)组成,称为一个盲文方,简称为方(cell)。

现行汉语盲文是以 Braille 盲文为基础的拼音制盲文体系,其中声母和韵母各采用 1 个盲文方来表示。2018 年 7 月 1 日实施的《国家通用盲文方案》规定:通用盲文沿用现行盲文的声母和韵母,增加声调强制编码,即一般采用 3 个盲文方编码 1 个汉字。通用盲文方案摒弃了“一般不标调”规则,解决了阅读盲文时需猜测读音的问题,提高了汉语盲文的表意功能,可为盲文信息化、盲文无障碍交流提供保障,从而大力促进盲文教育、文化事业的发展^[1-2]。

笔者拟提出 3 种基于可变摩擦力触感的移动终端汉语盲文编码方法。利用装有可变摩擦力触感装置的移动终端,参考《国家通用盲文方案》,对汉语盲文进行编码设计,实现汉语盲文的触感摸读,并对盲文编码方法进行优化,使它更适用于移动终端的盲文摸读交互。

本文主要工作包括:

- 1) 提出 3 种基于可变摩擦力触感的移动终端通用汉语盲文编码方法。
- 2) 提出新的盲文触感摸读交互方式。
- 3) 对所提出的 3 种编码方法进行摸读效率、摸读准确率和用户满意度的可用性评估。

1 相关研究

在移动终端上表达盲文是一件具有深刻现实意义但又具有挑战性的工作。目前,对盲文表达的研究主要集中在利用振动马达来实现不同盲文信息的编码和交互方法上,如:

Al-Quadah 等^[3]提出了利用振动韵律对盲文进行摩斯电码编码的方法,可使平均阅读速度达到 855 ms/字符。该方法的优点是适用性强,可在带有振动马达的移动终端上应用;但其不足之处在于摸读准确率只有 71%,同时需要盲人熟悉摩斯电码的编码方

式,学习难度较大,此外由于采用的是被动式触觉感知方式,要求盲人对振动的频率、时长和韵律等有较敏锐的判断,且易产生触感疲劳,用户体验效果不佳。

褚少微等^[4-5]提出了通过指尖在屏幕上左右滑动、向右滑动、向下滑动三种盲文触感摸读的交互方式,利用驱动振动马达的振动对盲文进行编码,该方法将盲文的平均识别速度提高到 3.62~4.09 s/汉字,3 种方式的平均准确率分别达到 98.1%, 98.1% 和 96.9%。但是,这些方法的编码方式与现行盲文的空间分布样式区别较大,需要用户进行较长时间的学习和适应。

Jayant 等^[6]提出了 V-Braille 方法,该方法采用空间触感编码和振动马达相结合的方式,通过对智能终端屏幕进行区域划分,实现与 6 点盲文空间位置一一对应。用户指尖在触摸不同区域时,设备会根据盲文点位产生振动反馈,从而实现盲文的摸读。该方法的编码方式与现行盲文在空间分布上相同,而且是基于主动式的触觉反馈,因此易于学习和摸读。然而该方法的缺陷在于字符阅读效率较低,平均需要 4.2~26.6 s 来感知一个盲文,而且由于只能产生振动和不振动两种状态,所以对于汉字音标来说,需要用额外的盲文来表征。

Rentala 等^[7]首次提出了利用压电传感器和触屏智能终端相结合的方法来实现盲文触感摸读,基于振动强度、频率和韵律等对盲文点进行编码,用户通过在屏幕上滑动手指来触发屏幕振动,以达到摸读盲文的目的。但此种方法需要对智能终端进行特殊改造,设备成本较高,较难推广,且其平均识别正确率只有 70%。

Oliveira 等^[8]和 Southern 等^[9]同样采用屏幕空间划分和振动马达相结合的方式进行盲文摸读研究,但他们主要关注的是盲文的输入方式。

研究表明,高频率条件下振幅可变的超声震荡波作用在物体表面上即可产生可变滑动摩擦力触感^[10-12]。Mullenbach^[12-15]等将该原理运用到移动终端的触摸屏上,根据指尖在屏幕位置上的图像纹理样式动态调节超声波振幅,从而改变指尖与屏幕接触面的

摩擦系数,实现可编程、可控的可变摩擦力滑动触感的产生,并基于该技术设计了 Tpad 装置,实验证明该装置能表征很多触感纹理样式。与传统振动马达对比,Tpad 装置可为移动终端提供更丰富的纹理触感,使得在移动终端上实现更复杂的信息触感编码。此外,Tpad 装置可作为移动终端的一个外接模块,直接装配在现有的智能手机上,通过 Type-C 接口与智能手机直接进行通信,不需要对手机进行特殊改造。

可变摩擦力触感通常采用可视化的触感纹理来表征,一般情况下,用黑色触感纹理表征最大强度的摩擦力触感(即屏幕振动幅度为 0),用白色触感纹理表征最小强度的摩擦力触感(即屏幕振动幅度最大),用灰色触感纹理表征强度介于最大与最小之间的摩擦力触感。如图 1 所示,当手指在屏幕上滑动时,可感知不同位置的滑动摩擦力。

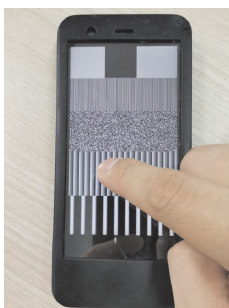


图 1 触感纹理感知

Fig. 1 Tactile texture perception

在文献[16]中,摩擦力触感纹理强度等级分为 36 个等级,摩擦力最强的等级为 35 级,摩擦力最小的等级为 0 级,若 2 种纹理的摩擦力触感强度对应的等级差超过 15 级,则它们较易被用户区分。因此,挑选出具有高区分度的条形触感纹理样式,分别为纯白色纹理和黑白条纹宽度为 0.2, 1.5 和 3.2 mm 的条形触感纹理,如图 2 所示,其摩擦力触感强度等级分别为 0, 33, 16 和 4 级。

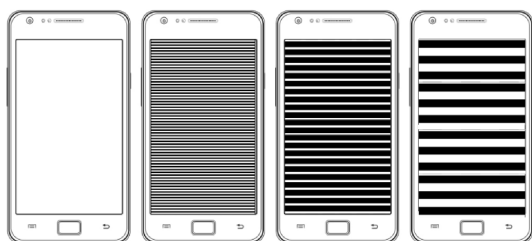


图 2 4 种区分度高的触感纹理

Fig. 2 Four highly distinguishable tactile textures

文献[17-18]利用上述条形触感纹理对阿拉伯数字进行了触感编码和相应摸读交互方法的研究,并提出了基于该技术的盲文编码设计准则,结果表明利用 TPad 装置可进行信息编码,但此种编码方式与现行

盲文的编码方法区别较大,交互时间较长。因此,本文仍基于可变摩擦力触感技术,但采用更贴近现行国家通用盲文编码方案的编码方式。

2 汉语盲文的编码方法

利用屏幕分割方式,把 1 个盲文方呈现在一个屏幕上,即把装有可变摩擦力触感装置的移动终端屏幕划分为左右对称的 2 个等分区域(2 列),再把左右 2 个区域均等分为 3 行或 4 行。每个区域代表不同的盲文点位,有触感纹理的区域代表盲文的凸点,白色纹理的区域代表盲文的凹点。具体交互方式为:用户通过手指在屏幕的左侧和右侧滑动来感知屏幕纹理的触感,实现盲文方的识别;当识别完成一个盲文方后,在屏幕右侧快速双击屏幕切换到下一个盲文方;上边界和下边界分别为屏幕的上边框和下边框,如需切换回上一个盲文方,则在屏幕左侧快速双击屏幕。

提出 3 种编码方法:第 1 种方法是按照《国家通用盲文方案》进行编码,第 2 种和第 3 种方法是对第 1 种方法的改进。

2.1 通用盲文编码方法

《国家通用盲文方案》规定,按照 Braille 盲文的标准,汉字的声母、韵母以及声调各用 1 个盲文方(3 行 2 列)表示。如图 3 所示,在通用盲文编码方法中,盲文凸点采用黑白相间条形触感纹理表示,条纹宽度为 0.2 mm,盲文凹点采用白色触感纹理表示,其中图 3(a)为《国家通用盲文方案》中汉语拼音“bian”的编码,图 3(b)为对应汉语拼音在屏幕上的盲文触感纹理编码。

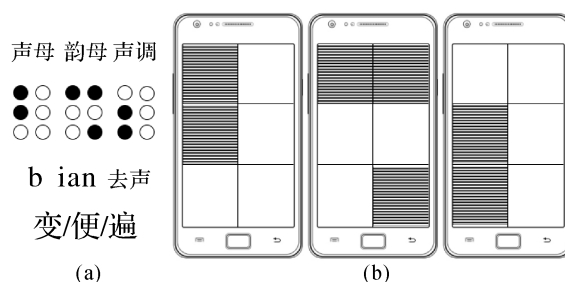


图 3 基于通用盲文编码方法的“bian”的编码

Fig. 3 Code of “bian” based on general Braille encoding method

2.2 声调嵌入编码方法

由于汉语拼音有 4 种音调,使用 2 个点位,共 4 种组合来进行声调编码。由韵母的通用盲文编码方案可知,1 个韵母至少使用 2 个凸点,因此可把声调(4 种声调)信息嵌入韵母位置上。阴平声调采用宽度为 0.2 mm 的黑白相间条形触感纹理;阳平声调采用宽

度为1.5 mm的黑白相间条形纹理,替代表示韵母的盲文方的第1个凸点;上声声调采用宽度为1.5 mm的黑白相间条形触感纹理,替代表示韵母的盲文方的第1个凸点和第2个凸点;去声声调采用宽度为3.2 mm的黑白相间条形触感纹理,替代表示韵母的盲文方的第1个凸点。该编码方式可将原来需要3个盲文方的拼音改用2个盲文方表示。以韵母“ian”为例,如图4所示,从左至右分别表示“ian”的阴平、阳平、上声和去声四个声调。

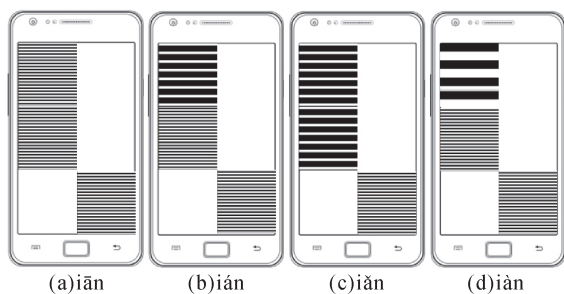


图4 基于声调嵌入编码方法的“ian”的声调编码

Fig. 4 Tone code of “ian” based on tone embedding encoding method

2.3 4行2列编码方法

把屏幕平均划分为4行2列的8个区域,前3行代表标准的Braille盲文编码,触感纹理仍采用宽度为0.2 mm的黑白相间条形触感纹理,最后一行的2个点位于声调编码,采用宽度为1.5 mm的黑白相间条形触感纹理,称之为声调纹理。其中:阴平声调是在2个声调点位均放置白色纹理;阳平声调是在第1个声调点位放置1个声调纹理,在第2个声调点位放置白色纹理;上声声调是在第1个声调点位放置白色纹理,第2个声调点位放置1个声调纹理;去声声调是在2个声调点位各放置1个声调纹理。如图5所示,从左至右分别表示“ian”的阴平、阳平、上声和去声四个声调。

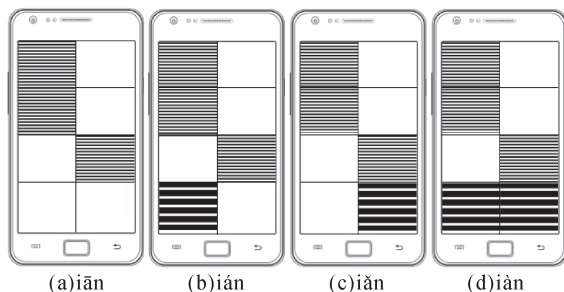


图5 基于4行2列编码方法的“ian”的声调编码

Fig. 5 Tone code of “ian” based on four-lines two-columns encoding method

3 编码方法可用性评估

对提出的3种盲文编码方法进行可用性评估,共

开展2次系统实验:实验1,分别从摸读效率、摸读准确率以及用户满意度三个方面对本文提出的3种盲文编码方法进行量化测试评估;实验2,挑选出实验1中综合得分最高的方法,与褚少微等^[4]提出的基于向右滑动摸读方式的振动马达触觉反馈编码方法进行对比。

3.1 实验1

从摸读效率、摸读准确率以及用户满意度三个方面对通用盲文方案编码方法、声调嵌入编码方法和4行2列编码方法进行可用性量化测试评估。

3.1.1 实验1设备

实验采用客户端/服务器(C/S)架构,1台搭载Android系统的TPad移动终端作为客户端(屏幕尺寸为4.7英寸(11.938 cm),分辨率为720×1280像素),1台Android平板电脑作为服务器端,客户端和服务端通过蓝牙进行网络通信。

服务器端用于生成汉字对应的盲文触感纹理编号并发送到客户端,客户端根据触感纹理编号生成相应盲文触感纹理并呈现在屏幕上,用户用手指在TPad屏幕上滑动并感知相应位置的纹理触感。服务器端根据用户在客户端的摸读时间,实时记录每个汉字的识别时间。

3.1.2 实验1受试者

邀请12名盲人作为受试者,6名为男性,6名为女性,平均年龄为27.6岁(标准差为0.6岁)。所有受试者均有通用盲文摸读经验,但未使用过TPad设备。每位受试者将得到100元的报酬。

3.1.3 实验1过程

将12名受试者随机划分为3组,每个小组4人,每个小组均用3种方法进行测试。为减小实验顺序对实验的影响,采用拉丁方设计(Latin square design)平衡实验顺序。

在实验开始前,实验人员先向受试者介绍实验设备、编码方式以及实验目标,并让受试者在TPad设备上感受和熟悉宽度分别为0.2,1.5,3.2 mm的黑白相间条形纹理的触感。在测试每种编码方法前,允许受试者对相应编码方法进行练习,熟悉每种编码的触感纹理,练习时间为10~15 min。

实验开始后,服务器端随机生成汉语拼音的触感纹理样式(每种编码方法随机生成10个汉字,每个已选汉字在每种方法测试过程中随机出现3次)并发送至客户端,受试者用手指在TPad屏幕上滑动以感知盲文。在完成识别后,向实验人员读出所识别的拼音,实验人员在服务器端屏幕上选择正确与否,并将它记录在服务器端的日志中。同时,当受试者滑动屏

幕进行摸读识别时,客户端会记录受试者开始摸读的时间以及识别完成的时间,并发送至服务器端,保存在日志中,用于计算摸读的交互时间。实验过程中始终保持周围环境安静,并为受试者戴上隔音耳机。实验现场如图6所示。



图 6 盲文摸读实验现场

Fig. 6 Braille reading experiment site

每种编码方法的测试总次数为 $10 \times 3 \times 12 = 360$ 次,则3种方法共计测试 $360 \times 3 = 1\,080$ 次。每个小组的实验过程共持续约 50 min,每位受试者在每个方法测试结束后休息 5 min。实验结束后受试者在实验人员帮助下填写 5 分制李克特量表(Likert scale)^[19],对3种编码方法进行主观评价。

3.1.4 实验1结果

分别从摸读效率、摸读准确率和用户满意度三个方面对3种编码方法进行可用性评估,其中:摸读效率为每个受试者平均摸读一个汉字所需时间;摸读准确率用于衡量每种编码方法的平均识别正确率;用户满意度用于调查用户对每种编码方法的主观满意度,包括学习难易程度、易用性、舒适度以及整体评价。

1) 摸读效率。

图7所示为3种编码方法的摸读效率,其中,通用盲文编码方法的平均摸读效率为 8.82 s/汉字(标准差为 2.31 s/汉字),声调嵌入编码方法的平均摸读效率为 4.91 s/汉字(标准差为 1.23 s/汉字),4行2列编码方法的平均摸读效率为 4.12 s/汉字(标准差为 1.11 s/汉字)。根据方差分析结果可得,在摸读效率上,通用盲文编码方法与另外2种编码方法存在显著差异($p < 0.01$);声调嵌入编码方法和4行2列编码方法没有显著差异($p > 0.05$)。由此可得,通用盲文编码方法的摸读效率最低,其他2种方法的摸读效率相当。

2) 摸读准确率。

图8所示为3种编码方法的摸读准确率,由图可知3种方法都具有较高的平均摸读准确率,分别为:通用盲文编码方法为 98.6%(标准差为 10.21%),声调嵌入编码方法为 96.8%(标准差为 12.42%),4行2列编码方法为 98.6%(标准差为 7.21%)。方差分析得出

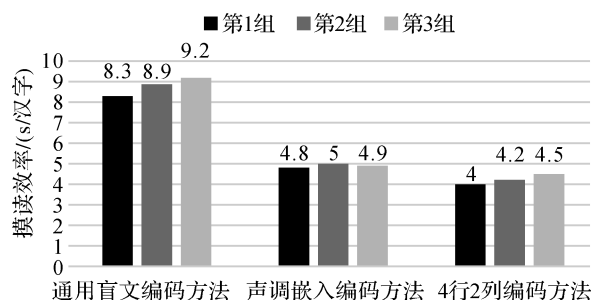


图 7 3种编码方法的摸读效率

Fig. 7 Reading efficiency of three encoding methods

声调嵌入编码方法与其他2种方法的摸读准确率存在显著差异($p < 0.05$),即声调嵌入编码方法的准确率较其他2种方法要低。

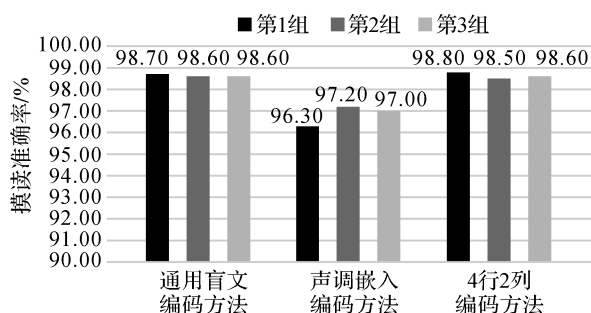


图 8 3种编码方法的摸读准确率

Fig. 8 Reading accuracy of three encoding methods

3) 用户满意度。

利用 5 分制李克特量表对3种编码方法进行主观评价,结果如图9所示。

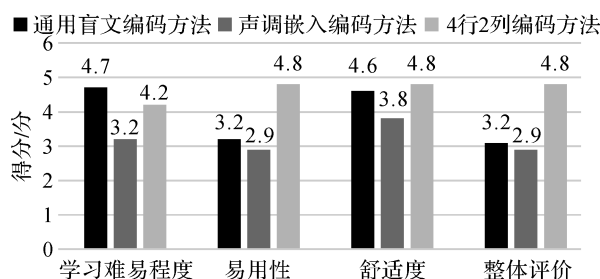


图 9 3种编码方法的用户满意度

Fig. 9 User satisfaction of three encoding methods

由图9可知:

①学习难易程度方面。通用盲文编码方法的得分均值为 4.7 分,标准差为 0.41 分;声调嵌入编码方法的得分均值为 3.2 分,标准差为 0.73 分;4行2列编码方法的得分均值为 4.2 分,标准差为 0.52 分。方差分析结果表明通用盲文编码方法与其他2种编码方法在学习难易程度上存在显著差异($p < 0.01$),即通用盲文编码方法的学习难度最低。

②易用性方面。通用盲文编码方法的得分均值为 3.2 分,标准差为 0.62 分;声调嵌入编码方法的得分均值为 2.9 分,标准差为 1.13 分;4行2列编码方法

的得分均值为4.8分,标准差为0.81分。方差分析结果表明,4行2列编码方法与其他2种编码方法在易用性上存在显著差异($p<0.01$)。因此,4行2列编码方法的易用性最高。

③舒适度方面。通用盲文编码方法的得分均值为4.6分,标准差为0.91分;声调嵌入编码方法的得分均值为3.8分,标准差为1.12分;4行2列编码方法的得分均值为4.8分,标准差为0.70分。方差分析结果表明声调嵌入编码方法与其他2种方法在舒适度上存在显著差异($p<0.01$)。因此,声调嵌入编码方法的舒适度最低。

④整体评价方面。通用盲文编码方法的得分均值为3.1分,标准差为0.82分;声调嵌入编码方法的得分均值为2.9分,标准差为1.23分;4行2列编码方法的得分均值为4.8分,标准差为0.61分。方差分析结果表明,4行2列编码方法与其他2种方法存在显著差异($p<0.01$)。由此可以看出,受试者对4行2列编码方法的整体评价优于其他2种方法。

3.1.5 实验1结果讨论

实验1结果表明:通用盲文编码方法的摸读准确率高,学习难度最低,但其摸读效率最低;声调嵌入编码方法的摸读效率高,但其摸读准确率、易用性、舒适性和整体评价偏低,且学习难度较大;4行2列编码方法的摸读效率、摸读准确率、易用性和整体评价最高。

大多数受试者(11/12)认为,通用盲文编码方法的编码方式与现行通用盲文规范一致,学习难度较低,但需要连续摸读3个盲文方,识别效率较低;对于声调嵌入编码方法,需要先熟悉新的编码方式,在同时识别盲文和声调对应的触感纹理的过程中容易混淆,导致舒适度和准确率低;对于4行2列编码方法,虽然它与现行通用盲文规范有所区别,但这种新的编码方式很容易掌握,摸读准确率和舒适度较高。

3.2 实验2

根据实验1的结果挑选出综合得分最高的4行2列编码方法,与基于向右滑动摸读方式的振动马达触觉反馈编码方法进行摸读效率、摸读准确率和用户满意度的比较。如图10所示,基于向右滑动摸读方式的振动马达触觉反馈编码方法把屏幕划分为3行2列(左侧列:盲文点位1,2和3;右侧列:盲文点位4,5和6),每行盲文用一个二等分屏幕触感纹理进行表征;若盲文点位为凸点,则手机产生振动触觉反馈,若该点位为凹点,则手机不产生振动反馈。用户手指在屏幕上从左到右滑动感知第1行至第3行盲文点位的振动反馈。由此可知,在该方法中,1个盲文需要3个触感纹理来表征,同时需进行3次从左到右的滑动摸读

操作。

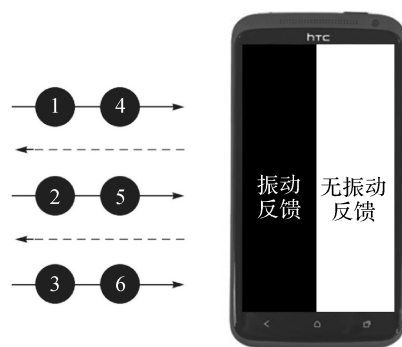


图10 基于向右滑动摸读方式的振动马达触觉反馈编码方法
Fig. 10 Vibration motor tactile feedback encoding method based on right-sliding touch reading mode

3.2.1 实验2设备

测试4行2列编码方法时采用实验1中的设备;测试振动马达触觉反馈编码方法时使用搭载Android 4.0操作系统,内置柱状振动马达传感器的智能手机HTCS720e。

3.2.2 实验2受试者

受试者为实验1的12名受试者。每位受试者将得到100元的报酬。

3.2.3 实验2过程

受试者分别用2种方法进行摸读测试。为减小实验顺序的影响,将受试者分为2组,每组各6位。第1组先进行4行2列编码方法的测试,再进行振动马达触觉反馈编码方法测试;第2组与第1组的测试顺序相反。

由于受试者已经熟悉4行2列编码方法,在进行实验2时,实验人员只需向受试者介绍振动马达触觉反馈编码方法,并给予10~15min的练习时间,以熟悉该方法的编码方式和摸读方式。

采用客户端-服务器端架构进行实验。实验开始后,服务器端随机生成汉字并发送至客户端,客户端根据服务器端生成的汉字进行触感编码。受试者在识别完成后,向实验人员读出所识别的拼音,实验人员在服务器端上选择正确与否,并记录在日志中。同时,当受试者滑动屏幕进行摸读识别时,客户端记录受试者开始摸读的时间以及识别完成的时间,并发送到服务器端,保存在日志中,用于计算摸读的交互时间。实验过程中始终保持周围环境安静,并为受试者戴上隔音耳机。

本实验中,系统每次实验共生成10个汉字,每个汉字在每种方法的测试过程中随机出现3次,因此每种方法的测试总次数为 $10 \times 3 \times 12 = 360$ 次。每位受试者测试2种编码方法的实验过程共持续约30 min,每

位受试者在每个方法测试结束后休息 5 min。实验结束后,受试者在实验人员帮助下填写 5 分制李克特量表,对 2 种编码方法进行主观评价。

3.2.4 实验 2 结果

1) 摸读效率。

4 行 2 列编码方法的平均摸读效率为 4.05 s/汉字(标准差为 1.20 s/汉字),振动马达触觉反馈编码方法的平均摸读效率为 4.93 s/汉字(标准差为 1.82 s/汉字)。方差分析结果表明 2 种编码方法的摸读效率存在显著差异($p < 0.05$)。因此,4 行 2 列编码方法比振动马达触觉反馈编码方法具有更高的摸读效率。

2) 摸读准确率。

4 行 2 列编码方法的平均摸读准确率为 98.2%(标准差为 6.57%),振动马达触觉反馈编码方法的平均摸读准确率为 98.3%(标准差为 13.2%)。方差分析结果表明,2 种编码方法在摸读准确率上不存在显著差异($p = 0.65 > 0.05$)。因此,这 2 种方法的摸读准确率都比较高,但从稳定性上看,4 行 2 列编码方法的稳定性更高。

3) 用户满意度。

①学习难易程度方面。4 行 2 列编码方法的得分均值为 4.3 分(标准差为 0.76 分),振动马达触觉反馈编码方法的得分均值为 3.8 分(标准差为 0.54 分)。方差分析结果表明 2 种编码方法在学习难易程度上存在显著差异($p < 0.01$)。因此,4 行 2 列编码方法的学习难度较低。据受试者反映,振动马达触觉反馈编码方法与传统盲文编码方法区别较大,需要一定的时间来学习和熟悉。

②易用性方面。4 行 2 列编码方法的得分均值为 4.78 分(标准差为 0.77 分),振动马达触觉反馈编码方法的得分均值为 4.69 分(标准差为 0.69 分)。方差分析结果表明 2 种编码方法在易用性上不存在显著差异($p > 0.05$)。因此,这 2 种方法都有较高的易用性。

③舒适度方面。4 行 2 列编码方法的得分均值为 4.8 分(标准差为 0.91 分),振动马达触觉反馈编码方法的得分均值为 4.05 分(标准差为 1.2 分)。方差分析结果表明 2 种编码方法在舒适度上存在显著差异($p < 0.01$)。因此,4 行 2 列编码方法的舒适度较高。

④整体评价方面。4 行 2 列编码方法的得分均值为 4.8 分(标准差为 0.58 分),振动马达触觉反馈编码方法的得分均值为 3.56 分(标准差为 1.02 分)。方差分析结果表明 2 种编码方法在整体评价上存在显著差异($p < 0.01$)。因此,4 行 2 列编码方法的整体评价较高。据受试者反馈,相较于 4 行 2 列编码方法,振动马达触觉反馈编码方法与传统盲文编码方法的区别

较大,需要一定时间适应,且在识别时需要进行语义转换。

3.2.5 实验 2 结果讨论

实验 2 结果显示:在摸读效率上,与振动马达触觉反馈编码方法相比,4 行 2 列编码方法具有较高的摸读效率;在摸读准确率上,2 种编码方法都有很高的准确率,但 4 行 2 列编码方法具有更高的稳定性;在用户满意度上,4 行 2 列编码方法的学习难易程度比振动马达触觉反馈编码方法低,当用户熟悉 2 种方法之后,其易用程度相当,但用户更倾向于使用 4 行 2 列编码方法,这是因为振动马达触觉反馈编码方法与传统盲文编码方法的区别较大,需要一定时间适应,且在识别时需要进行语义转换。

综上所述,相比于基于向右滑动摸读方式的振动马达触觉反馈编码方法,4 行 2 列编码方法具有更强的实用性。

5 结 语

提出了 3 种基于可变摩擦力触感的移动终端汉语盲文编码方法,分别为通用盲文方案编码方法、声调嵌入编码方法及 4 行 2 列编码方法。在装有可变摩擦力触感装置的移动终端上,参考 Braille 盲文标准和《国家通用盲文规范》,把触感屏幕划分为 3 行 2 列(或 4 行 2 列)等分区域,每个区域采用不同的触感纹理来表征盲文的凹凸点。结果表明 3 种编码方法的平均摸读效率分别为 8.82, 4.91, 4.12 s/汉字;3 种编码方法都具有较高的准确率,平均准确率分别为 98.6%, 96.8%, 98.6%;用户对 4 行 2 列编码方法的整体评价较高。对比 4 行 2 列编码方法与基于向右滑动摸读方式的振动马达触觉反馈编码方法发现,4 行 2 列编码方法更优。综上所述,4 行 2 列编码方法更适用于装有可变摩擦力触感装置的移动终端。

但用户反映,此种设备触感偏弱,屏幕尺寸稍大,因此在下一步的工作中将通过优化触感硬件设备来提升触感反馈;同时,将采用尺寸较小的屏幕来提高摸读效率。此外,在今后的研究中,将尝试完成数字、英文字母、标点符号、词语、语句等的编码方法设计和可用性评估。

参考文献:

- [1] 中国残疾人联合会教育就业部. 国家通用盲文方案: GF0019—2018[S]. 北京:求真出版社, 2018: 1.
Ministry of Education and Employment, China Disabled Persons' Federation. Chinese common Braille scheme: GF0019—2018 [S]. Beijing: Publishing House of Qiuzhen, 2018: 1.

- [2] 钟经华. 国家通用盲文方案研究[J]. 中国特殊教育, 2018(6):41-46. doi:10.3969/j.issn.1007-3728.2018.06.008
ZHONG Jing-hua. On the common Chinese Braille [J]. Chinese Journal of Special Education, 2018(6): 41-46.
- [3] AL-QUDAH Z, DOUSH I A, ALKHATEEB F, et al. Reading Braille on mobile phones: a fast method with low battery power consumption [C]//Proceedings of the 2011 International Conference on User Science and Engineering (i-USEr). Shah Alam, Selangor, Nov. 29-Dec. 1, 2011. doi:10.1109/iUSEr.2011.6150549
- [4] 褚少微, 朱科颖. 手机盲文触感阅读方法的设计与评估 [J]. 北京理工大学学报, 2019, 39(2):181-186. doi: 10.15918/j.tbit.1001-0645.2019.02.012
CHU Shao-wei ZHU Ke-ying. Designing for tactile Braille reading methods on smartphones [J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2019, 39(2):181-186.
- [5] 褚少微. 振动触觉的量化感知与触觉文字编码设计 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2019, 31(6):1046-1052. doi: 10.3724/SP.J.1089.2019.17291
CHU Shao-wei. Understanding the perception of vibrations and designing tactile reading on smartphones [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2019, 31(6): 1046-1052.
- [6] JAYANT C, ACUARIO C, JOHNSON W, et al. V-braille: haptic braille perception using a touch-screen and vibration on mobile phones [C]// Proceedings of the ASSETS. Orlando, FL, Oct. 25-27, 2010. doi:10.1145/1878803.1878878
- [7] RANTALA J, RAISAMO R, LYLYKANGAS J, et al. Methods for presenting Braille characters on a mobile device with a touchscreen and tactile feedback [J]. IEEE Transactions on Haptics, 2009, 2(1): 28-39. doi: 10.1109/TOH.2009.3
- [8] OLIVEIRA J, GUERREIRO T, NICOLAU H, et al. BrailleType: unleashing Braille over touch screen mobile phones [C]//Proceedings of the IFIP Conference on Human-computer Interaction. Berlin: Springer-Verlag, 2011: 100-107. doi:10.1007/978-3-642-23774-4_10
- [9] SOUTHERN C, CLAWSON J, FREY B, et al. An evaluation of BrailleTouch: mobile touchscreen text entry for the visually impaired [C]//Proceedings of the 14th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services. San Francisco, Sep. 21-24, 2012. doi:10.1145/2371574.2371623
- [10] WATANABE T, FUKUI S. A method for controlling tactile sensation of surface roughness using ultrasonic vibration [C]//Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Nagoya, May 21-27, 1995.
- [11] DAI X, COLGATE J E, PESHKIN M A. LateralPaD: a surface-haptic device that produces lateral forces on a bare finger [C]// Proceedings of the 2012 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS). Vancouver, Mar. 4-7, 2012. doi:10.1109/HAPTIC.2012.6183753
- [12] MULLENBACH J, SHULTZ C, COLGATE J E, et al. Exploring affective communication through variable-friction surface haptics [C]// Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Toronto, Apr. 26-May 1, 2014. doi:10.1145/2556288.2557343
- [13] MULLENBACH J, SHULTZ C, PIPER A M, et al. Surface haptic interactions with a TPad tablet [C]// Proceedings of the Adjunct Publication of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. Scotland, United Kingdom, Oct. 8-11, 2013.
- [14] WINFIELD L, GLASSMIRE J, COLGATE J E, et al. T-pad: tactile pattern display through variable friction reduction [C]//Proceedings of the Second Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems (WHC'07). Tsukuba, Mar. 22-24, 2007. doi: 10.1109/WHC.2007.105
- [15] MULLENBACH J, SHULTZ C, PIPER A M, et al. Tpad fire: surface haptic tablet [C]//Conference of HAID Haptic and Audio Interaction Design, Daejeon, Apr. 4-5, 2013.
- [16] CHU S W, ZHANG F, JI N, et al. Experimental evaluation of tactile patterns over frictional surface on mobile phones [C]// Fifth International Symposium of Chinese CHI, Guangzhou, Jun. 8-9, 2017. doi:10.1145/3080631.3080639
- [17] ZHANG F, CHU S W, JI N, et al. Design and evaluation of tactile number reading methods on smartphones [C]// Proceedings of the 2018 IEEE/ACIS 17th International Conference on Computer and Information Science (ICIS). Singapore, Jun. 6-8, 2018. doi:10.1109/ICIS.2018.8466412
- [18] ZHANG F, CHU S W, JI N, et al. Defining a model for development of tactile interfaces on smartphones [C]// Proceedings of the International Conference on Human-Computer Interaction. Las Vegas, Jun. 15-20, 2018. doi: 10.1007/978-3-319-91244-8_50
- [19] JOSHI A, KALE S, CHANDEL S, et al. Likert scale: explored and explained [J]. British Journal of Applied Science & Technology, 2015, 7(4): 396-403. doi:10.9734/BJAST/2015/14975

