

手机盲文触感阅读方法的设计与评估

褚少微, 朱科颖

(浙江传媒学院 新媒体学院, 浙江, 杭州 310018)

摘要: 提出了3种在智能手机上实现6点盲文触感摸读的新方法. 通过对手机振动触觉反馈以及手指在屏幕上滑动的不同方向进行编码, 共设计了左右滑动、向右滑动及向下滑动摸读3种方法. 结合用户实验数据对3种方法的触感参数进行了优化设计. 最后通过对12名用户的系统实验, 对所提出的3种方法进行了可用性评估. 实验结果表明3种方法平均每字符的阅读速度分别为3.62, 3.16, 4.09 s; 准确率分别为98.1%, 98.1%, 96.9%; 其中向右滑动的摸读方式交互效率较高, 用户满意度也最好.

关键词: 触觉感知; 触觉界面; 盲用; 用户体验; 人机交互

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-0645(2019)02-0181-06

DOI: 10.15918/j.tbit.1001-0645.2019.02.012

Designing for Tactile Braille Reading Methods on Smartphones

CHU Shao-wei, ZHU Ke-ying

(School of New Media, Zhejiang University of Media and Communications, Hangzhou, Zhejiang 310018, China)

Abstract: In this paper, three new methods were presented for tactile Braille reading on smart phones, including left and right sliding, sliding to the right, and sliding down. The three methods were designed based on vibrotactile feedback of mobile phone and the direction encoding of finger movements. A series of pilot studies were carried out to tune and optimize the tactile parameters. And then, twelve participants were invited to implement a formal user experiment, evaluating the usability of three methods. The experiment results show that the three methods can reach adequate speeds, in 3.62, 3.16 and 4.09 seconds for average every character. The accuracy of the gestures can reach 98.1%, 98.1% and 96.9% respectively. The method with sliding to the right gesture is the most efficient one and also the user's most satisfied one.

Key words: tactile perception; tactile interface; blind use; user experience; human-computer interaction

振动触觉反馈是当今手机上设计触感交互最主要的手段. 主要应用于如虚拟键盘的触觉反馈、消息提醒、紧急事件、导航、安全输入的反馈、盲用输入输出、触感阅读等领域^[1-3]. 近年来, 具有更高精度和更快反应速度的振动触觉传感器被应用于手机上, 如 iPhone 7 的 Taptic Engine. 设计触感交互的一个最大挑战是如何对触感进行编码从而能够表达文字信息^[4]. 当前主要的方法是通过振动反馈的

强度、频率、脉冲波型、韵律等进行设计, 再结合盲文、摩斯电码等进行触感编码从而表达字符信息等^[4-7].

6点盲文由 Braille 于 1880 年发明, 是触感文字编码应用最为广泛, 最易于大众所接受的触觉编码方案^[8]. 通过对 6 个盲文点的凹凸进行编码, 共可以表达 $2^6=64$ 个语义信息, 如图 1 为几个盲文编码的字符示例.

收稿日期: 2018-01-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61502415); 浙江省公益技术资助项目(2016C31G2240012)

作者简介: 褚少微(1982—), 男, 博士, 讲师, E-mail: chu@cuz.edu.cn.

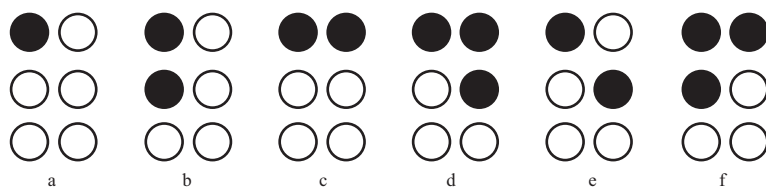


图1 6点盲文的编码

Fig. 1 The encoding of six-dot Braille

然而,在手机上如何通过振动触感来表达盲文仍是一件具有挑战性的工作.当前主要的方法是结合手指在触屏上滑动的方向反馈不同触感、点击屏幕上不同的区域反馈不同的触感、在时序上对触感进行编码等方案实现盲文触感阅读^[6-7, 9].这些方法将盲文的6点拆分开来,再依次获取每个盲文点的凹凸信息来实现触感阅读.通过对触感参数进行优化设计,以及让用户经过一段时间的学习,手机触感阅读可以达到一定的速度(0.85~26.60 s/字符)和准确率(68%~97%).但相比于纸质盲文的阅读效率(0.17 s/字符)还有较大差距.

本文主要以提高触感阅读效率及准确度为目标,基于 Rentala 等^[6]的主动式摸读方法进行了改进和扩充.结合滑动手势以及振动触感提出3种新的盲文触感摸读方法:左右滑动、向右滑动和向下滑动.对3种方法分别进行了用户实验来优化触感参数的设计.并通过对12名用户的系统实验,对所提出的方法进行了可用性评估.实验分别测试了阅读盲文的手势交互效率,以及对触感的反应时间来评估盲文摸读的实际阅读速率.实验也对3种方法的用户主观满意度进行了评估.本文主要贡献概括如下:

- ① 提出了3种在手机上实现盲文触感摸读的方法,并进行了触感参数优化设计;
- ② 对所提出的3种方法进行了完整的可用性评估,从效率、用户满意度方面进行了分析;
- ③ 综合阅读效率等因素与传统盲文摸读方法进行了横向比较分析和讨论.

1 相关研究

在手机上实现触感阅读的关键是如何设计触感样式以及编码来表达字符信息.目前主流的方法是借助于6点盲文的编码进行设计. Rentala 等^[6]于2009年首次在触屏手机上实现了盲文触感摸读的方法,通过对手指滑动过程中的触觉反馈依次表达

6个盲文点的凹凸信息,从而达到摸读盲文的目的.然而,该方法主要局限在于需要安装特殊的压电传感器装置来提供触觉反馈,使得其并未得到广泛的应用.之后 Al-Qudahj 等^[7]进行了方案改良,使用手机振动触感进行了重新设计.通过对手机振动的韵律以及摩斯电码来编码盲文,取得了较好的应用效果.阅读速度平均可达每字符 855 ms,但阅读准确率只有 71%左右.然而基于韵律的方法是被动式触觉感知,使得其可控性差、学习难度较大,用户体验往往不佳^[10]. V-braille^[9]提出了主动式的空间触感编码的方案,通过对手机屏幕进行区域划分,与6点盲文的空间位置一一对应.手指触摸不同区域根据振动反馈的不同来判断对应盲文点的凹凸,进而达到阅读盲文的目的.由于所设计的空间触感位置与6点盲文点一一对应的优点,使得该方案易于学习掌握,适合于盲文的教学以及游戏当中^[11-12].然而这种方法最大的问题是字符阅读效率较低,平均需要 4.2~26.6 s 来阅读一个字符.

另外,由于近年来多设备互联技术的发展以及智能手表的涌现, Dhar 等^[13]提出了使用手机和智能手表互联同时呈现盲文的方法.将6点盲文前3个点通过振动编码呈现在手机上,后3个点呈现在手表上来表达盲文字符.虽然取得了较好的阅读效率,盲文阅读速度为 3.0~4.5 s、准确率在 92%左右.然而,此种方法需要用户同时使用手机和智能手表限制了应用的普及.

本文主要借鉴 Rentala^[6]的方法,结合滑动手势以及振动触感的基础上提出3种新的盲文触感摸读方法:左右滑动、向右滑动和向下滑动.3种方法具有操作简单、易于学习、阅读速度快等优点.

2 盲文触感摸读方法设计

由于手机振动是使整个手机振动,在同一时间只能够表达一个触感,而不能像纸质盲文一样一次摸取6个盲文点,因此将盲文的6个点拆分开来,

利用不同触感依次顺序表达 6 个盲文点的凹凸信息,用户根据依次摸取的 6 个盲文点的凹凸信息来识别所摸读的盲文。在触屏上,用户可以点击任意位置然后滑动手指,系统根据手指滑动的不同方向(如左、右、下等)给予不同的触感,通过向不同方向上依次滑动手指来顺序摸读盲文的 6 个点的凹凸信息。

振动触感的设计主要通过振动频率参数设定,进而得到一个反应快速并且低噪音的振动触感。振动频率的振动时长为 50 ms,振动之间的间隔为 20 ms,反复循环。

根据以上设计思路,本文提出 3 种盲文触感摸读的方法,分别如图 2 所示。

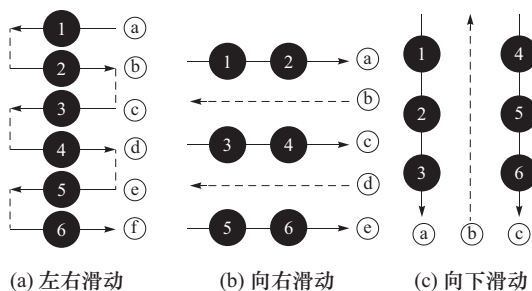


图 2 3 种盲文触感摸读方法

Fig. 2 Three tactile Braille reading methods

2.1 左右滑动

如图 2(a)所示,左右滑动摸读的方法为:首先,在屏幕上任意点位置按下手指然后向左滑动,如果当前设备所呈现的盲文所对应的第一个盲点为凸,则手机有振动触觉反馈;如果所对应的盲点为凹,则手机不反馈振动,此时用户操作记为①,并感知了第一个盲点的信息。其次,手指向相反方向(向右②)滑动摸取第二个盲点的凹凸信息。如果对应的盲文点为凸则手机有振动触觉反馈;如果所对应的盲点为凹则手机不反馈振动,从而摸取到第二个盲文点的信息。依次类推,手指在触屏上左右来回滑动 6 次即可完成一个盲文的摸读。其中,摸读过程中手指向不同方向滑动的距离阈值设定为 4 个像素,即手指向同一个方向连续滑动超过 4 个像素即判定为向该方向滑动的手势,手机立即响应振动触感的有无反馈给用户。因此,用户可以短距离滑动手指来感知触感,并快速的左右来回滑动手指来摸读盲文的触感。

2.2 向右滑动

如图 2(b)所示,摸读的方法为按行摸读,一次

摸取一行中的两个盲文点信息,向右滑动 3 次摸取 3 行的盲文点凹凸信息来完成一个盲文的摸读。具体摸读的过程为,首先在屏幕上任意点位置按下手指然后向右滑动。滑动过程中屏幕上有两个区域作为一行中两个盲文点凹凸信息的反馈,如下图 3 所示。两个区域的宽度及间距相同,记为 W 。当用户滑过第 1 个区域时如果所呈现的盲文所对应的盲点为凸起,则手机会产生振动触感,相反如果所呈现的盲文所对应的盲点为凹,则手机不会产生振动触感。2 个区域之间有间隔,用户可以根据滑动的距离判定手指当前滑动到了第 1 或第 2 个区域,通过感知到的振动触感摸取一行中的两个盲点凹凸信息。摸取一行的盲文点信息后,用户需要抬起手指并左移到屏幕左半部分区域再进行第 2 次向右滑动摸读,重复 3 次摸读完一个盲文。

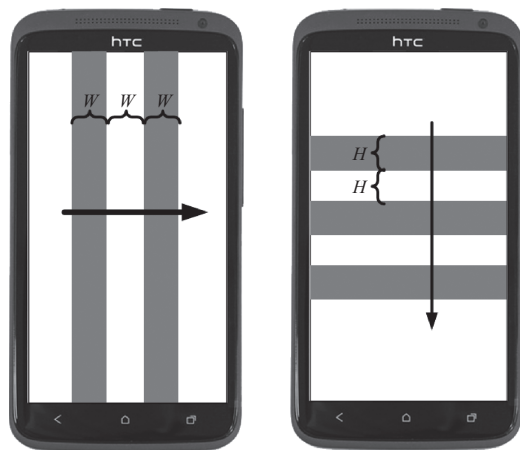


图 3 向右滑动、向下滑动两种摸读方法触感区域的设计

Fig. 3 Tactile regions and the spacing of sliding to the right and sliding down methods

经过测试,当区域宽度 W 值为 110 像素及以上时,识别准确率较高。因此,在考虑交互时间以及识别准确率两方面因素本文选定区域宽度 $W=110$ 像素。

2.3 向下滑动

如图 2(c)所示,摸读的方法为按列摸读,从上至下分 2 次,一次摸取一列 3 个盲文点信息,即可完成一个盲文的摸读。具体摸读的过程为,首先在屏幕上半部分任意点位置按下手指然后向下滑动。滑动过程中屏幕上 3 个区域作为一列中 3 个盲文点凹凸信息的反馈,如图 3 所示。3 个区域的高度及间距相同,记为 H 。用户当滑过第 1 个区域时如果所呈现的盲文所对应的盲点为凸起,则手机会产生振动触感,相反如果所呈现的盲文所对应的盲点为凹,

则手机会不产生振动触感. 3个区域之间有间隔, 用户可以根据滑动的距离判定手指当前滑动到了第1、第2或第3个区域, 通过感知到的振动触感摸取一系列中的3个盲点凹凸信息. 摸取一系列的盲文点信息后, 用户需要抬起手指并向上移到屏幕上半部分区域再进行第2次向下滑动摸读, 重复两次摸取完一个盲文.

经过测试, 当区域高度和间距 H 值为140像素及以上时, 识别准确率较高. 因此, 在考虑交互时间以及识别准确率两方面因素本文选定区域宽度 $H=140$ 像素.

3 系统评估

对提出的3种方法进行了可用性评估实验. 分别从盲文触感阅读的滑动手势交互效率、对触感的反应时间、阅读准确率以及用户主观满意度4个方面进行了量化评估.

3.1 实验设备

实验使用 HTC S720e 手机作为实验平台. 该手机配备了 4.7 inch 1 280×720 分辨率的屏幕, 130 g 的重量, 以及一个柱状振动马达传感器, 运行 Android 4.0 操作系统.

3.2 用户

实验共邀请了12名大学生作为实验对象, 5名

男生, 7名女生, 平均年龄 21.3 岁(标准差为 0.5). 所有实验对象均为新招募, 未与上节实验对象重叠. 实验对象都具有至少 2 年智能手机使用经验, 且为习惯为右手使用手机. 所有实验对象均未接触过盲文.

3.3 实验过程

受验者被邀请坐在椅子上, 右手单手握住手机, 使用右手大拇指进行操作. 接着, 实验人员向受验者介绍手机的振动触感, 并通过手机上的 App 软件让其体验预设的振动触感. 然后, 实验人员向受验者介绍 6 点盲文以及示范 3 种手机盲文触感的摸读方法, 再让受验者自己操作练习. 练习时间约为 10~15 min.

3 种方法的实验顺序为随机, 每种方法系统会随机选取 10 个不同的字符让用户摸读. 摸读过程中手指在屏幕上滑动的时间被记录在系统日志中, 作为盲文摸读的交互时间. 同时, 当用户摸读完一个盲文字符后, 需要立刻查看盲文表找到对应的盲文, 然后点击手机界面中的完成按钮, 点击完成按钮的时间作为盲文阅读效率的分析. 受验者点击完成按钮后向实验人员报出所摸读的盲文字符做正确率记录. 实验过程中受验者被要求戴上隔音耳机以防止振动的声音提示或环境干扰而影响触感识别, 实验场景如图 4 所示.

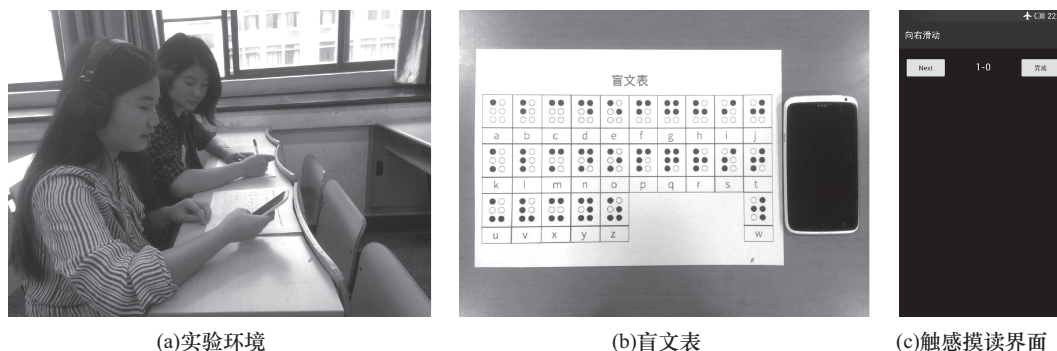


图4 实验环境、盲文表和触感摸读界面

Fig. 4 Experimental environment, Braille table and tactile reading interface

实验总次数为: 3 种方法×10 个字符×3 组重复实验×12 个用户=1 080 次. 整个实验共持续约 45 min, 每组 10 个字符的实验结束后休息 1~2 min. 试验结束后用户填写一份 5 分制的李克特量表对 3 种方法做主观评估.

3.4 实验结果

用户主观评价方面主要从易用性、可控性、阅读

效率、准确率以及整体评价等进行了评估. 结果如图 5 所示. 在易用性方面左右(均值为 3.9, 标准差为 0.6)、向右(均值为 4.1, 标准差为 0.6)两种方法优于向下(均值为 3.3, 标准差为 0.7)摸读方法, ANOVA 分析显示向右与向下具有显著差异性, $p=0.02<0.05$. 在可控性、准确率、效率以及整体评价方面 3 种方法的用户评价结果相似, 未发现有

显著性差异,但用户普遍更偏向于向右滑动的摸读方法,平均给出4.4分,标准差为0.7。

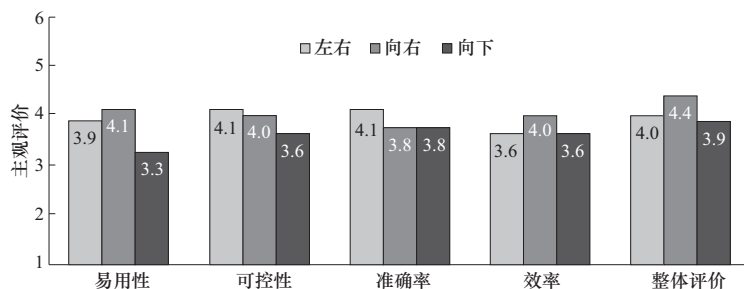


图5 3种盲文触感阅读的主观评价

Fig. 5 The subjective assessment on the three tactile Braille reading methods

阅读效率方面的结果如图6所示。3种方法都达到了较高的阅读准确率,平均分别为:98.1%(标准差为13.8),98.1%(标准差为13.8),96.9%(标准差为17.2)。ANOVA方法分析并没有发现3种方法在阅读准确率方面有显著差异, $p=0.64>0.05$ 。摸读时间方面3种方法的平均交互时间分别为:3.62(标准差为1.16),3.16(标准差为0.67),4.09 s(标准差为1.21);摸读后查阅盲文表的时间

平均为:2.80(标准差为1.78),2.30(标准差为1.47),2.53 s(标准差为1.72)。ANOVA方差分析发现向右摸读方式与其他两种方法的阅读时间都具有显著差异, $p<0.05$, $p<0.05$;而左右和向下摸读方式也具有显著差异, $p<0.05$ 。从摸读后查阅盲文的效率方面分析,3种方法中左右滑动与其他两种方法的阅读时间都具有显著差异, $p<0.01$, $p=0.038<0.050$;向右和向下滑动摸读方法交互时间

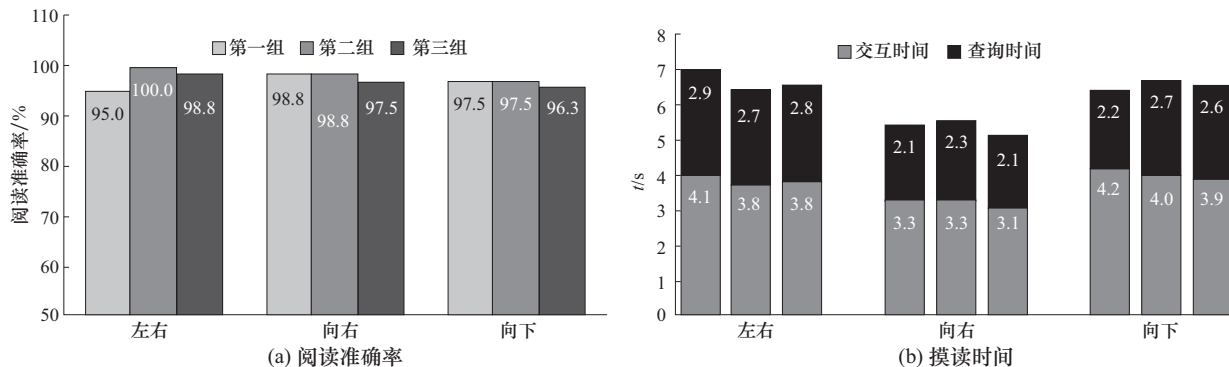


图6 3种盲文触感阅读的阅读效率

Fig. 6 The efficiency of three methods of tactile Braille reading

没有显著性差异, $p=0.054>0.050$ 。

4 讨论

通过对实验结果的分析可以获知,在阅读速度方面,3种方法的阅读速度分别为:6.67(标准差为2.1),5.38(标准差为1.47),6.59 s(标准差为2.04)。将摸读的交互时间和根据触感检索盲文的时间进行了分开计算。由于实验的用户对盲文编码的熟悉程度有限,因此使用查阅盲文表的方式估算用户感知到触感之后再反应到对应盲文的时间。结果表明用户从感知到触感到查找其所对应盲文字符的时间约为2~3 s。这个时间长度对于已经熟练掌握盲文的用户来说会进一步缩短。

3种方法的阅读准确度都比较高,分别达到97.7%(标准差为14.3),98.3%(标准差为12.8),97.1%(标准差为16.8)。原因是因为3种方法都为主动式的触感摸读^[9,14],使用过程中用户可以自由控制手指滑动的速度和幅度。因此,用户可根据自己的熟练程度灵活调节摸读的速度来保证较高的准确度。相比于被动式的触感阅读方法,如文献[7],本文主动式的摸读方法准确度有大幅度的提升。被动式的触感编码是在短时间内触感一次性反馈给用户,用户不需要移动手指。但被动式的感知方案往往需要用户提前做较长时间学习,并且使用中需要高度集中注意力才能够准确感知识别^[10]。

用户体验方面,用户普遍对向右滑动摸读的方

式更加喜欢. 原因是向右摸读更符合平常文章阅读从左向右逐行依次阅读的习惯. 向下滑动摸读的方法易用性相比其他两种方法最低, 主要原因是用户容易混淆屏幕上的第1和第2个触感区域所导致, 特别是当第1个区域没有触感而第2个区域有触感时更易混淆.

目前工作的局限是未对所提出技术的实际应用场景及典型用户, 如盲人和视觉障碍人士等, 作实际应用测试. 当前工作主要是提出在手机上实现非视觉触感文字阅读的具体方案, 并通过实验验证其可行性及用户阅读效率. 今后的工作中将进一步开展实验探讨技术在盲人用户中的应用效果.

5 结 论

本文提出了3种在智能手机上实现6点盲文的触感摸读新方法. 通过对手机振动触觉反馈以及对手指在屏幕上滑动的不同方向进行编码设计, 共设计了左右滑动、向右滑动和向下滑动摸读3种方法. 平均摸读速度分别达到3.62, 3.16, 4.09 s/字符; 具有较高的准确率, 分别达到98.1%, 98.1%, 96.9%; 其中向右滑动的摸读方式交互效率较高, 用户满意度最好, 是较为理想的触感摸读方式.

今后研究中将进一步针对特殊人群, 如盲人、视觉障碍人士等, 进行可用性评估实验. 对比正常人与盲人使用该触感阅读方法在效率方面的异同, 进而针对特殊人群进行优化设计. 同时将进一步设计多字符连续阅读的方法, 以及完成交互界面的设计, 实现诸如返回、前进, 触感参数个性化设置等功能.

参考文献:

- [1] Saket B, Prasojo C, Huang Y, et al. Designing an effective vibration-based notification interface for mobile phones [C] // Proceedings of the 2013 Conference on Computer Supported Cooperative Work. [S. l.]: IEEE, 2013: 149 - 1504.
- [2] Grussenmeyer W, Folmer E. Accessible touchscreen technology for people with visual impairments: a survey [J]. Acm Transactions on Accessible Computing, 2017, 9(2): 1 - 31.
- [3] Nicolau H, Montague K, Guerreiro T, et al. HoliBraille: multipoint vibrotactile feedback on mobile devices [C] // Proceedings of the 12th Web for All Conference. [S. l.]: IEEE, 2015: 1 - 4.
- [4] Spirkovska L. Summary of tactile user interfaces techniques and systems[R]. [S. l.]: NASA Ames Research Center, 2005.
- [5] Ahmaniemi T, Marila J, Lantz V. Design of dynamic vibrotactile textures [J]. IEEE Transactions on Haptics, 2010, 3(4): 245 - 256.
- [6] 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.
- [7] 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 User Science and Engineering (i-USEr), 2011 International Conference on. [S. l.]: IEEE, 2011: 118 - 123.
- [8] Guerreiro J, Gon D, Marques D, et al. The today and tomorrow of Braille learning [C] // Proceedings of the 15th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility. [S. l.]: ACM, 2013: 1 - 2.
- [9] 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 12th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility. [S. l.]: ACM, 2010: 295 - 296.
- [10] Al-Qudah Z, Doush I A, Alkhateeb F, et al. Utilizing mobile devices' tactile feedback for presenting Braille characters: an optimized approach for fast reading and long battery life [J]. Interacting with Computers, 2014, 26(1): 63 - 74.
- [11] Milne L R, Bennett C L, Ladner R E. VBGhost: a braille-based educational smartphone game for children [C] // Proceedings of International ACM Sigaccess Conference on Computers and Accessibility. [S. l.]: ACM, 2013: 1 - 2.
- [12] Milne L R, Bennett C L, Ladner R E, et al. BraillePlay: educational smartphone games for blind children [C] // Proceedings of International ACM Sigaccess Conference on Computers & Accessibility. [S. l.]: ACM, 2014: 137 - 144.
- [13] Dhar A, Nittala A, Yadav K. Tact back: vibrotactile Braille output using smartphone and smartwatch for visually impaired [C] // Proceedings of the 13th Web for All Conference. [S. l.]: IEEE, 2016: 1 - 2.
- [14] Lederman S J. The perception of surface roughness by active and passive touch [J]. Bulletin of the Psychonomic Society, 1981, 18(5): 253 - 255.

(责任编辑: 李兵)