

无障碍设计研究：面向视障人群的触觉图形显示设备

焦阳¹, 徐迎庆^{1,2}

1. 清华大学未来实验室, 北京 100084

2. 清华大学美术学院, 北京 100084

摘要 盲人可以通过盲文或读屏软件来学习理解文字内容,但目前缺乏帮助盲人有效学习和理解图形信息(例如数学中的几何知识、物理中的电路知识以及医学知识中的经络分布等)的工具和设备。从触觉及触觉显示设备的视角,针对盲人的触觉认知研究,剖析了盲人对图形的触觉认知机理,设计开发了触觉图形显示终端设备,并通过用户实验,验证了该设备的易用性。该设备采用创新的结构设计,实现了良好的触觉认知体验和相对低廉的成本控制,不仅能够动态生成布莱尔盲文和丰富的触觉图形信息,而且可以作为盲人学习、工作与生活的有效工具。

关键词 盲人;触觉图形;触觉图形认知;触觉图形显示器

世界卫生组织(WHO)2020年报告显示,全球约有2.53亿视觉受损人口,包括3600万全盲患者^[1]。2017年,《The Lancet》发表的一项研究指出根据1990—2015年间的统计数据估计,随着人口数量的增加和老龄化,到2050年时,全球全盲人群的数量可能将会增加至1.15亿^[2]。这对全人类来说是一个巨大的挑战。作为世界人口最多的国家,中国2012年残疾人联合会残疾人概况报告显示,2010年末中国视力残疾人数为1263万^[3]。同时根据中国教育部2019年年鉴数据,仅有大约4万视力

残疾儿童涵盖在国家教育系统中^[4-5]。绝大多数视力障碍患者由于残疾、出行条件、经济条件、学校累积等原因无法接受义务教育,这对视障患者、社会和国家都造成了很大影响,视障人群的学习问题也受到了越来越多的关注。

盲人主要依靠听觉和触觉获取信息,随着科技发展、互联网普及,盲人有了更多与外界交流的机会,也有了更多职业选择的机会。目前在中国特殊教育学校中,盲人学生普遍能通过电脑的读屏软件和盲文点显器来使用电脑,理解文字信息(图1)。

收稿日期:2022-03-15;修回日期:2022-08-30

基金项目:科学技术部重点研发课题(2016YFB1001402)

作者简介:焦阳,助理研究员,研究方向为人机交互设计、触觉认知与交互,电子信箱:jiaoyang7@tsinghua.edu.cn

引用格式:焦阳,徐迎庆.无障碍设计研究:面向视障人群的触觉图形显示设备[J].科技导报,2023,41(8):65-73;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2023.08.006



图1 盲人学生使用读屏软件和盲文点显示器

但是,当图片、视频等视觉信息成为知识传播中信息的主要来源,特别是互联网上的视觉内容日益丰富的时候,对于盲人而言,反而是一个巨大的障碍。因此,盲人迫切地需要可以便捷地阅读图形信息的无障碍设备。以往传统的方法是通过不同的材料制作盲人学习专用的触觉图形,比如压印、盲文触点打印、热塑等方式^[6]。这些触觉图形的方式原理相对简明,目前广泛应用于盲人学校的课堂教学。然而作为教具,这类触觉图形的内容种类有限、制作过程较为复杂、体积相对较大、无法实时动态地承载触觉信息,且不易长时间保存,无法满足信息时代盲人学习和生活的需求。因此,如何研发能够实时刷新、将视觉的像素替换成触点的数字化触觉终端成为研究者所面临的挑战。

通过可以刷新的触觉图形显示设备,盲人即可用手感知屏幕中的触觉图形,从而以一种自然的交互方式^[7]理解触觉图形^[8-9]。从1969年第一台盲人触觉辅助设备——视触觉替代系统(vision substitution by tactile image projection)^[10],到现今德国METEC.AG公司^[11]、日本KGS公司^[12-13]和清华大学等多家机构对于触觉图形显示器的研发,市面上已经出现了许多类似功能的触觉辅助设备;但目前仍然没有一款设备能广泛应用于盲人用户。究其原因,最大的障碍在于其成本和售价过于高昂,例如一些商用图形显示器价位普遍在数十万元人民币,绝大多数盲人甚至相关福利机构很难承受^[11,14]。产品价格门槛过高,对广大盲人群体的用户体验便无从谈起。另外,一些厂商为了控制成本,推出的小尺寸触觉图形显示器又违背了盲人一般的触摸习惯,交互方式和体验不佳。为此,本研究通过设计创新,研发了面向视障人群的触觉图形显示设备,希望该设备能广泛的应用在盲人用户的学习、工作

和生活中,让盲人能享受科技创新所带来的便捷。

本文创新点为:从人的触觉生理构造及触觉认知特点出发,分析了视障人群对触觉图形的认知过程和机理;以视障用户为中心,设计开发了大幅面、易使用的触觉显示器,能够显示丰富的盲文和图形图像信息;通过13位盲人的触觉图形触摸和认知实验,验证了该触觉显示器的可用性和易用性。

1 触觉和触觉图形显示器

触觉是皮肤受到接触刺激时,通过皮肤内分布的感受器产生的触觉感觉^[15]。一般认为皮肤产生的感觉有4种,即对皮肤作机械刺激产生的触觉、由温度刺激产生的冷觉和热觉,以及由刺激产生的痛觉。不同感觉的感受区在皮肤表面呈互相独立的点状分布^[15-16]。同时,触觉感受器针对不同频率的触觉刺激划分为SA1(麦可尔盘)、RA(麦斯纳小体)、SA2(鲁菲尼终末)、PC(环层小体)4种,其中SA1感受器的触觉感受精度最高,在手指尖的触摸中心区域密度可达100个/cm²传入神经,即传入神经平均间距为1 mm,单一传入神经的感受区域大约为2.5 mm直径的圆^[17-18]。由此,盲人通过触摸,可以感知间隔2.5 mm以上的触点,其在触觉感受器上不存在相互干扰。但考虑到SA1传入神经1 mm的平均间距,并结合运动神经系统,手指、手掌、上肢和身体协同工作,从而让盲人摸出高分辨率的触觉图案,理论分辨精度最高可达1 mm^[19-21]。因此,国际通用的布莱尔盲文点间距为2.5 mm,以保证盲人用户能清晰的触摸理解。

针对人手的触觉特点,触觉图形显示设备有多重技术方案,根据触觉图形显示器的驱动特点,分为热刺激、电刺激和机械刺激。热刺激与电刺激通过温度变化和电流刺激表征信息,但由于人手对温度的感知能力有限,以及对电信号缺乏统一感知,这2类刺激方式通常作为辅助方式提供交互反馈。

机械刺激触觉显示器是目前研究领域最广泛,也是市场产品中出现最多的一种。机械刺激的原理是通过电磁、压电等技术控制点阵中任意点的高度,实现点阵高度差别。这类触觉显示器的显示原

理借鉴了传统的触觉图形纸张,即把隆起的触觉图形用一个个高度可控的触点代替,视觉像素点被转化为触点。利用触点的实时可控性,触觉显示器又可分为触点相对固定(静态图形)和手指相对固定(动态图形)的触觉显示器。触点相对固定是指人手在探索触觉图形时人手在移动,点阵为静止。这种原理延续了传统的纸质触觉图形,易于用户接受,触摸体验较好,如图2的触觉图形显示器。手指相对固定的触觉显示器是指人手在探索图形时是静止的,点阵通过高低控制模拟图形在手指触摸平面上移动的效果,即手不动,图形动。一个经典的例子是 Optacon^[22-23],用户左手放在触点上,右手握持摄像头,使之拍摄图书的一部分;摄像头捕捉书中文字的轮廓,映射到触点的起伏变化;用户操作摄像头在平面内移动,使摄像窗口扫描整个页面,用户就跟着摄像头“读”完了本页,这需要与用户建立起一套新的交互方式和体验。目前大部分原型和市场上的产品采用机械刺激的静态图形触觉显示器。以上触觉及触觉显示的相关研究为盲人触觉认知和显示器的设计开发奠定了理论和技术基础。

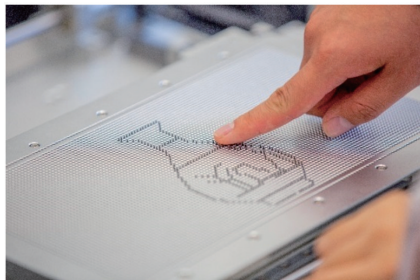


图2 清华大学团队的触觉图形显示设备

2 盲人的触觉图形认知

由于盲人缺失通过视觉获取信息的通道,触觉辅助设备的设计者们主要考虑通过触觉通道让盲人学习和理解信息,在一定程度上进行视觉的代偿。因此整个交互过程中,盲人用户如何以快速有效的、易于理解的触觉方式学习获取信息,即盲人的触觉认知,变成了首要问题。

2.1 触觉图形的认知需求

在盲人的触觉辅助设备中,触觉图形的生成与表达占据非常重要的地位和作用。从认知角度分析,盲人主要的认知方式有2种:通过语言(包括发声语言和盲文文字)学习和通过身处物理世界感知,而触觉触摸对物理世界的实体学习比较有优势。盲人在学习实体形态时,直接触摸实体本体来感知是最优的选择,但当实体本体过大(比如“楼房”)、过小(比如“细胞”)、触摸不到(比如“彩虹”)等情况时,直接触摸实体就难以理解,替代方式可以为盲人制作触摸尺寸合适的模型。事实上,中国的盲人学校均配备了一些三维模型的教具。但三维模型制作成本较高,制作周期较长,在频繁触摸使用后容易损坏,且不易储存。

相比模型的弊端,触觉图形更有优势,阐述使用不同材料制作的触觉图形。触觉图形广泛应用在盲人教科书中,比如课本的插图、图表;甚至盲人考试卷中也都用触觉图形来表示。以下着重分析触觉图形的认知机理、过程和特点。

2.2 空间到平面

盲人由于视力受损,尤其有很多先天或在幼年时致盲的群体,他们并没有物理世界的视觉经验,只能依靠触觉建立某一个实体的轮廓形状、材质纹理等触觉经验,而这种空间的触觉经验是三维的。与之对比,明眼人习惯用视觉作为物理世界的主要认知方式,将物理空间的三维视觉信息投射到眼睛的视网膜上,产生二维场景,被视神经读取和认知,然后通过双目视觉分析才能产生深度信息。因此明眼人对于二维平面图形认知是经验性的。人们根据具身的视觉经验,总结得出了“透视”(perspective)原理,即在平面上,用线条来显示物体的空间位置、轮廓和投影的原理与方法。明眼人因此广泛使用平面的图形来记录和表达信息。

盲人与明眼人在对物理世界的认知方式上呈现显著差别,对盲人来说,他们需要通过后天的知识学习建立物理三维世界的实体与平面二维的透视图形的关联。而由于盲人群体没有明眼人的透视经验,这种空间到平面的关联使得他们通过触觉的经验记忆和联想,进而建立映射。尤其在面对复

杂透视的平面图形时,他们的学习成本非常大。

因此,在针对盲人的触觉图形设计时,触觉图形往往被设计成平面的、非透视的,如平面图形、地图、物体的横切面等,使空间的物体与平面图形尽可能在相对比例上保持一致,便于盲人用户的触摸理解。尽管如此,某些物体的横切面选取角度如果不同,盲人触摸的认知结果也会有显著不同,归根结底还是由于盲人缺乏三维物体的视觉信息所导致的。概括地说,由空间到平面的转换,成为盲人认知触觉图形较大的障碍。

2.3 局部到整体

当明眼人看到一个物体时,通常会先看物体的整体,认识物体的类别、特点等整体信息,再根据需关注物体某个部位的细节。这种认知方式是由视觉认知特点决定的。视觉的“认知视窗”(window)很大,可以快速完成整体的认知和把握。

与明眼人相比,盲人群体在用手指进行触觉触摸认知时,瓶颈之一是手指的感受区域较小。手指尖区域的皮肤拥有相对高的触觉敏感度和触觉运动能力,但是每一个手指尖区域的皮肤面积仅约 2 cm^2 左右,认知视窗明显小于视觉。这限制了盲人用户把握触觉图形整体的能力。通常情况下,盲人用户需要将触觉认知视窗从触觉图形的某个局部开始,通过视窗的移动,获取多个局部信息,并逐渐拼成图形的整体信息,比如中学生物教材中DNA插图(图3)。该图尺寸较大,包含的信息较大,相

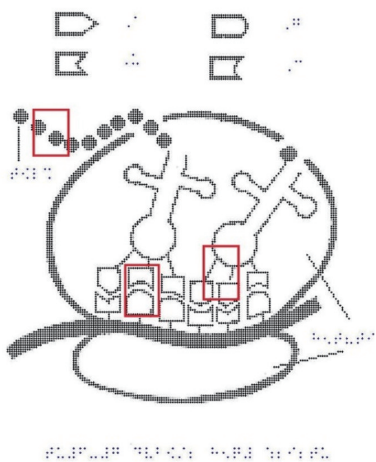


图3 DNA触觉图形

(来自北京盲校中学生物教科书纸质触觉图形)

比图形,用户的手指面积仅能覆盖图中的细节范围(如图3中红色框所示)。因此用户需要频繁移动手指,将局部细节信息逐步触摸理解和拼接,才能推知整个图形的意义。

2.4 直线到曲线

由局部到整体的认知过程衍生出了直线到曲线的问题。盲人用户一般都能理解直线触觉图形,但对曲线尤其是不规则的曲线,通常感觉比较困难。比如盲人通常难以准确触摸理解一条曲线的走向、趋势,如果图形中涉及到多条曲线,且曲线间有相互交叉与重叠时,大多数盲人无法通过触摸来理解。

造成该问题的原因有2点:(1)盲人的触觉视窗相对较小,从而制约着对曲线的认知理解。因为曲线的信息量远大于直线,用户在触摸时,会得到曲线的曲率、偏向、走势等大量信息,在手指移动时,前面的信息容易丢失。(2)由于触觉图形的制作限制,触点打印的触觉图形的分辨率有限,触觉打印纸(例如ViewPlus的触觉打印机,能在特殊纸上打印凸点以供盲人触摸)的图形触点间距最小约为 1 mm ,呈正方形排列,以等距的水平和垂直方向排布。因此,在描述曲线信息时,凸起的触点会以斜向延伸,包含曲线信息量的触点间距会更大(比如 45° 时,间距为 $\sqrt{1^2 + 1^2} = 1.4\text{ mm}$; 26° 时,间距为 $\sqrt{1^2 + 2^2} = 2.1\text{ mm}$; 16° 时,间距为 $\sqrt{1^2 + 3^2} = 3.2\text{ mm}$)。更大的间距带来更弱的精确度,就给盲人用户的认知造成了更多的困难。

2.5 触觉带宽显著小于视觉

就图形而言,视觉是信息获取能力最好的感官,跟随其后的是听觉和触觉。视觉的带宽大约是听觉的100倍,触觉的10000倍。换句话说,触觉的带宽只有视觉的万分之一^[18]。

需要注意的是,“带宽”是人感官的理论上限,而根据一些多感官的研究,在信息的输入获取方面,视觉大约占比83%,听觉11%,嗅觉3.5%,触觉1.5%,味觉1%^[24]。相比之下,每次触觉在进行摸读的时候能够获得的信息量显著少于视觉,这就是为什么在触觉图形中,只需要保留最重要的和区别性的特征信息。

3 触觉图形显示器设计开发

3.1 以用户为中心的场景和功能设计

当前,盲人用户访问互联网、获取信息的途径十分有限,尤其难以了解互联网中具象、实体的信息。清华大学未来实验室采用以用户为中心的设计方法,通过深度访谈、焦点小组、盲人体验的方式,展开触觉图形显示器设计开发研究,实现设计的有效性与准确性^[25]。本设备作为面向盲人用户的触觉图像终端,致力于为盲人架设互联网访问与浏览的桥梁,借助触觉图像显示技术,为盲人用户提供丰富的互联网图形图像信息。

触觉认知研究表明,在触觉图像的认知过程中,大幅面的图像对盲人的触摸与理解更加友好。因此,本研究的设备在原型设计阶段即采用了桌面式的大幅面触觉点阵,以实现图形图像的较高精度渲染。点阵中触点的排布间距为 2.5 mm,严格遵循国际布莱尔盲文规范,并借鉴了传统盲文图书与图像的设计经验。同时,考虑到盲人双手的触摸认知范围,并基于当前大幅面纸质图像的相关设计范例,本设备的原型幅面采用了长宽比为 2:1 的设计,而非视觉屏幕上常见的 4:3、16:9 等比例。2:1 的幅面相当于由 2 个正方形并排组成,在盲人用户的摸读过程中,双手可分别触及点阵的一半区域,在触摸认知上更符合触觉特点和盲人习惯。

为应对不同使用场景的多种需求,本设备具备大尺寸点阵屏幕和语音系统;针对信息的输出,能够实现盲文动态输出、触觉图形图像动态输出和声音(语音)输出;输入控制方面,在按键、功能等控制功能的基础上,还配备了键盘以实现文字录入;另外引入麦克风和基于云端的语音识别功能,用户可以通过语音的形式进行文字录入和设备控制;最后,在触觉图形图像的显示和交互层面,针对多曲线、多内容的复杂图像,本设备还构建了辅助性的触摸引导机构,帮助用户理解图像内容。

本设备具备的相关功能包括但不限于盲文与触觉图像显示、文本与盲文输入等课堂学习功能,语音识别、语音辅助及声音输出等可用于社交与分享的功能,以及网页、图像与音频搜索等网络功能。

3.2 硬件设计开发与触觉交互设计

作为盲人计算机的重要组成部分,触觉图形界面是触觉图像生成与显示的重要基础,它涉及到图形渲染的驱动原理、设备内部结构、图像点阵尺寸等关键因素。

当前,触觉显示多采用压电陶瓷驱动器,对每个触点单独控制,即驱动单元与点阵单元一一对应。显示触觉图像时,可以实现多个触点同时升降,进行高效地控制。随之而来的是单个设备高昂的成本,例如国外某公司的图形显示器,每台售价近 4 万欧元,约 30 万人民币。其他的触觉显示设备,如小型的盲文点显器,纵然成本相对较低,售价可降至 1~2 万元人民币,却只能显示单排盲文,且无法呈现图形图像信息。要显示多行盲文或触觉图形图像,还需要更大幅面的触觉点阵。

针对这些问题,本研究在硬件结构上进行突破创新,分离了驱动单元与点阵单元,从传统的驱动与触点 1:1,改为新型驱动器与触点 1:n 的结构,一个驱动装置依次驱动多个触点。在保证图像完整显示的同时,适当减慢图像刷新速度,既不破坏盲人的触摸体验,又能大幅降低材料成本。

新型驱动器减少了驱动装置的数量,本设备采用了二维驱动平台的结构设计,位于驱动平台上的传送机构用于带动滑台沿与触摸点阵的平行方向移动,因此本平台仅需 6 组传动组件即可控制所有的自锁机构。通过电磁铁的平移,每一个触点都能够以遍历形式被刷新,点阵屏幕即可产生触觉图像。驱动单元采用多组电磁铁同时刷新触觉点阵,可保证触觉图像在的刷新速度大于盲人触摸速度,保证了用户的触摸体验。

为配合此新型驱动,本设备为每个触点配备了“Push-Push”结构,即自锁机构(图 4)。自锁机构本身具备高低 2 种状态,且均能自行锁定。点阵由下方的可移动推拉式电磁铁驱动,电磁铁通电产生磁力后,能够推动触点的“Push-Push”结构,从而改变点的高低状态,实现每个触点的升降。

基于以上硬件结构,本设备的触觉显示幅面上共装配 120×60 个触点,点间距 2.5 mm,全幅面尺寸为 15 cm×30 cm,近似 A4 纸的大尺寸点阵能克服

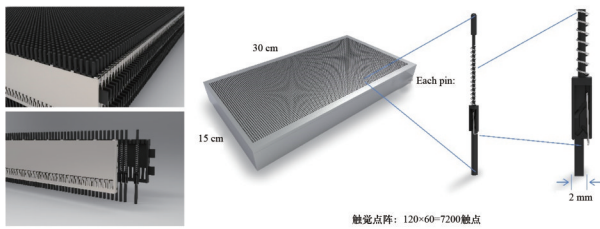


图4 自锁机构阵列示意

触觉分辨率低的问题,呈现单张触觉图像所需的信息量。

通过硬件设备上的技术创新,盲人用计算机实现了较低成本下的大幅面触觉显示,既保留了大幅面的触觉显示界面,又有效降低了设备的材料成本,突破性的解决了盲人触觉显示设备中“大幅面”与“成本控制”难以兼得的核心问题。

此外,为实现对盲人用户的引导,本设备还在触觉屏幕上方约 10 mm 处设计了辅助性的触觉引导装置。触觉引导装置依赖电机、滑轨等元件运行,可以进行纵深方向的运动。水平与纵深配合运动,从而使引导环在触摸显示器上方的水平面进行二维运动,完成触摸引导的功能(图5)。触觉引导的目的是引导用户按图像语意的最优路线触摸,借助引导环,能够模拟“老师在手把手带着盲人同学触摸”的体验,辅助盲人用户触摸增强对图像内容的理解。

针对触觉图像的触摸引导问题,本设备还结合主动与被动触摸方式^[26],进行了一系列针对盲人触觉图像引导识别效果的用户实验。结合分析主观与客观实验结果可知,触觉图像的复杂度对主动或被动触摸的效果有不同的影响。适当的触摸引导,能够帮助盲人用户掌握曲线的走向、图像的层次划分,也能够提升对复杂图像的理解。因此,引入被

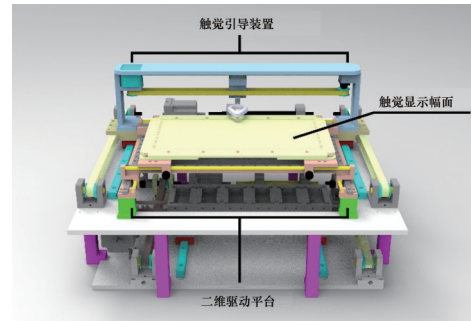


图5 盲人用计算机结构示意图

动的引导触摸,为不同类型的触觉图像提供适宜的触摸路径,对触觉界面的交互设计多有助益,能够改善盲人用户的触觉交互体验。

同时,本设备可根据引导滑块了解用户的当前触摸位置,进行有针对性的语音说明,打通用户触觉认知与听觉理解的通道,使触觉、听觉认知同步进行,实现触、听觉同步理解图形图像的良好体验,创造了盲人辅助设备的交互新模式。

3.3 触觉图像生成算法设计

触觉图像的呈现算法关系到如何控制创新设计的硬件结构,及如何实现图像的触觉渲染。本设备包含了2种渲染机制,首先,针对需要快速显示的内容,可以采用最短路径(最短时间)的渲染算法,即根据整个幅面的尺寸和电磁铁驱动阵列的排布,通过“之”字形(zig-zag)使驱动器以最短路径遍历所有触点,并跳过无需渲染的位置(图6)。

针对有逻辑顺序的内容,则采用基于图像语义的分时渲染方式。根据图像的内容,基于大数据学习,以特定的顺序渲染图像语义信息,使用户更准确的认知和理解图像。该渲染算法可以帮助用户理解图形图像的生成过程。用户同步触摸,图形同步生成,且生成速度大于用户的触摸认知速度,更

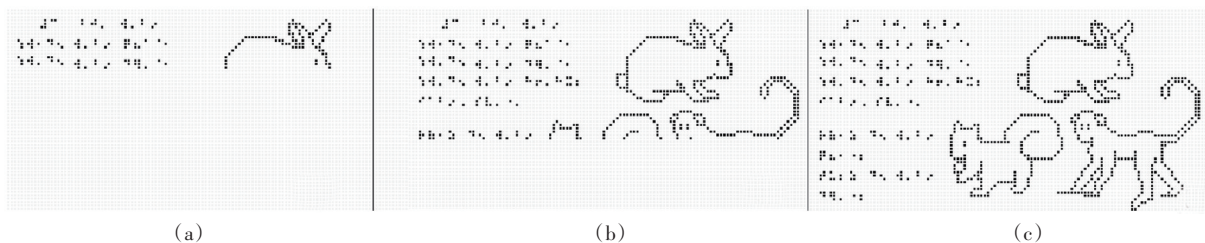


图6 最短路径(最短时间)渲染(自上而下全幅面渲染)

能提高认知绩效,用户体验更佳(图7中左侧盲文“谁的尾巴长”和猴子的图像同步出现,“谁的尾巴

短”和兔子同步出现,“谁的尾巴好像一把伞”和松鼠同步出现,实现图文同步渲染)。

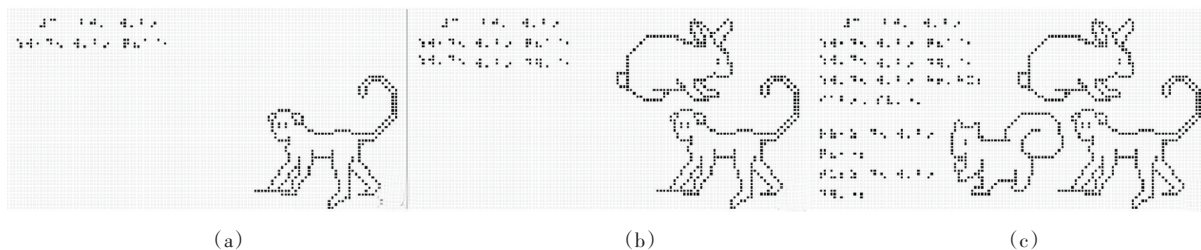


图7 基于图像语义的分时渲染(图文分区同步渲染)

基于以上渲染算法,本设备能够为盲人用户提供易于理解、图文并茂的触觉信息,在盲人的生活、学习等场景中发挥重要作用。

3.4 用户实验与评估

为了验证设备触觉交互的可用性与易用性,项目组与北京盲人学校合作,选取了“勾股定理”和“三角函数”的2个章节进行了示范课的设计开发,并邀请了13位全盲学生,进行学习和体验。示范课包含的图形内容均依照目前国内外的触觉图形设计准则^[27-29]制成。示范课的实验包括实验引导语、实验前测、课程讲授、实验后测、主观评价共5个步骤。13位全盲学生参与了全部实验,因此得到13位盲人的10个知识点测试的前后数据,以及实验后的20个主观评价数据。

实验结果显示,客观知识点方面,13位盲人学生在课程学习后掌握的知识点都增加了。在10个知识点中,有12位盲人全部掌握,仅有一位实验者没有掌握全部知识点。通过配对样本T检验,总体掌握的知识点实验前为:平均数 3.615, $n=13$,标准偏差 1.85; 试验后为:平均数 9.923, $n=13$,标准偏差 0.277。2组对比显著性为 $1.986 \times 10^{-8} < 0.05$, $P=95\%$,可得出实验后知识点的掌握情况显著好于实验前。这表明该示范课程能显著的帮助盲人学生的知识学习。

盲人用户主观评价方面,本研究设置了1~7分(非常负面~非常正面)的主观评价选项。绝大部分的主观评分都是正向的,甚至在各维度共260个分数中,有159个“7分-非常正面”的反馈。从整体

的可用性和易用性角度,平均分都在6分以上,可见盲人用户同意或非常同意该学习方式能够帮助勾股定理和三角函数的学习和理解,且学习方法易于使用,感到舒适。从图形显示、分布式显示、语音讲解、引导环4个分项角度,平均分也都高于6分,说明它们的可用性易用性都非常好。针对未来是否愿意自己使用和推荐给别人使用的问题,所有盲人都给出了非常正向的反馈,平均分为6.69和6.92。说明该学习方式有非常大的应用市场和空间,触觉图形显示设备的未来应用前景非常广阔。

该设备的研发成功也进一步推动众多针对盲人用户的无障碍应用的发展。针对盲人的学习、工作和生活3大应用场景,都有对于具象的图形信息的获取需求。首先,在课堂学习中,图形显示器改善了纸质图形定位困难的问题,其“动态”优势赋予了更多师生实时互动和人与设备交互的可能,互动性显著提高。

再者,在众多公共教育空间,如博物馆中,该设备能够将无法被直接触摸的珍贵文物以触觉图形的方式展示给用户,供用户触摸理解。用户还可以将实体图形分享给别人,通过实体动态渲染和语音通信,以触觉、听觉沉浸式的方式呈现分享。

最后,设备内置的网络浏览器是作为互联网访问的重要接口。用户可以通过触摸理解目前互联网上以图形为主要呈现方式的网页信息,并辅以语音说明,以具象实体和抽象文字的方式实现触觉、听觉同步理解图形的良好体验。图8为触觉图形显示终端的未来应用场景设计。



(a) 盲人学生在图书馆使用显示设备, 理解触觉图形, 学习文字信息



(b) 盲人参观博物馆, 通过显示设备 触摸展品照片, 理解展品



(c) 盲人使用显示终端网上购物, 并利用 缩放理解服装纹理细节

图8 触觉图形显示终端的应用场景设计

4 结论

置身于互联网时代, 面对大量信息的冲击, 盲人急需能够理解认知文字和图形等数字信息的工具。本研究从盲人触觉入手, 引入了盲人阅读触觉图形的辅助设备——触觉图形显示器, 再针对不同原理的图形显示设备进行分析综述, 同时剖析了盲人对图形的触觉认知机理。基于以上分析, 介绍了触觉图形显示设备的设计开发, 并通过示范课验证了该设备的可用性和易用性。该触觉图形显示器原型的结构创新实现了相对低成本的触觉图形显示, 并带有触觉引导装置, 配合语音描述, 能提供更好的触觉认知及交互体验。

参考文献 (References)

- [1] World Health Organization. World report on vision[M]. Geneva: World Health Organization, 2020: 22-26
- [2] The Lancet Global Health. Blindness affects 36 million people globally, with greatest burden in developing countries[EB/OL]. (2017-08-02)[2022-06-30]. https://www.eurkalert.org/pub_releases/2017-08/tl-tlg080117.
- [3] 中国残疾人联合会. 2010年末全国残疾人总数及各类、不同残疾等级人数[EB/OL]. (2021-02-20)[2022-06-30]. <https://www.cdpf.org.cn/zwgk/zccx/cjrgk/15e9ac67d7124f3fb4a23b7e2ac739aa.htm>.
- [4] 中华人民共和国教育部. 特殊教育学校基本情况[EB/OL]. (2021-08-31)[2022-06-30]. http://www.moe.gov.cn/jyb_sjzl/moe_560/2020/gedi/202109/t20210901_557344.html.
- [5] 中华人民共和国教育部. 特殊教育基本情况[EB/OL]. (2021-09-01)[2022-06-30]. http://www.moe.gov.cn/s78/A03/moe_560/jytjsj_2018/qg/201908/t20190812_394169.html.
- [6] 梁晓. 盲文显示用压电执行器阵列的驱动系统研究[D]. 宁波: 宁波大学, 2012.
- [7] Hiroshi I, Dávid L, Leonardo B, et al. Radical atoms: Beyond tangible bits, toward transformable materials[J]. Interactions, 2012, 19(1): 38-51.
- [8] 蒋小艳, 胡作进. 基于电极刺激原理的盲文点显器的设计与实现[J]. 计算机应用, 2014, 34(S1): 334-337
- [9] 吴丹玥, 干静. 辅助盲人访问Internet的力/触觉交互技术[J]. 工程设计学报, 2010, 17(2): 128-133
- [10] Bach-y-Rita P, Collins C C, Saunders F A, et al. Vision substitution by tactile image projection[J]. Nature, 1969, 221: 963-964.
- [11] Völkel T, Weber G, Baumann U. Tactile graphics revised: The novel BrailleDis 9000 pin-matrix device with multitouch input[C]//Lecture Notes in Computer Science. Heidelberg: Springer, 2008: 835-842.
- [12] Moriguchi K. Library helps the blind enjoy graphics[EB/OL]. (2002-04-23)[2022-06-30]. <http://www.japantimes.co.jp/news/2002/04/23/national/library-helps-the-blind-enjoy-graphics/#.VzqsA6Es-GN>.
- [13] Shimojo M, Shinohara M, Tani M, et al. An approach for direct manipulation by tactile modality for blind computer users: Principle and practice of detecting information generated by touch action[M]//Lecture Notes in Computer Science. Heidelberg: Springer, 2004: 753-760.
- [14] Goldstein E B. Sensation and perception[M]. Belmont: Wadsworth Publishing, 2014: 5-11.
- [15] 江宁, 鲁晓波, 李元, 等. 面向盲人的图形显示设计方法及其用户体验研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2011, 23(9): 1539-1544.
- [16] Hertenstein M, Weiss S. The handbook of touch: Neuroscience, behavioral, and health perspectives[M]. Heidelberg: Springer, 2011: 128-129.

- [17] Sherrick C E, Craig J C. The psychophysics of touch[M]// Tactual Perception: A Sourcebook Edited by William Schiff and Emerson Foulke. Cambridge: Cambridge University Press, 1982: 55–81.
- [18] Kokjer K J. The Information capacity of the human fingertip[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1987, 17(1): 100–102.
- [19] López-Krahe J. Information technologies for visually impaired people[J]. Upgrade, 2007, 8(2): 5–9.
- [20] Salzer Y, Oron-Gilad T, Ronen A. Thermoelectric tactile display based on the thermal grill illusion[C]//Proceedings of the 14th European Conference on Cognitive Ergonomics: Invent! Explore(ECCE '7). New York: Association for Computing Machinery, 2007: 303–304.
- [21] Roberta L K, Amukta N, Isobel S, et al. Detection and identification of pattern information on an electrostatic friction display[J]. IEEE Transactions on Haptics, 2019, 12(4): 665–670.
- [22] Stein D K. The Optacon: Past, present, and future[EB/OL]. (2010-01-01)[2020-09-05]. <https://nfb.org/images/nfb/publications/bm/bm98/bm980506.htm>.
- [23] Linvill J G, Bliss J C. A direct translation reading aid for the blind[J]. Proceedings of the IEEE, 1966, 54(1): 40–51.
- [24] U.S. Department of Labor. Presenting effective presentations with visual aids[R]. Washington DC: OSHA Office of Training and Education, 1996: 1–2.
- [25] Cooper A, Reimann R, Cronin D. About face 3: The essentials of interaction design[M]. Indianapolis: Wiley Publishing, 2007: 46–48.
- [26] Richardson B, Symmons M, Accardi R. The TDS: A new device for comparing active and passive-guided touch [J]. IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, 2000, 8(3): 414–417.
- [27] Lederman S J, Campbell J I. Tangible graphic displays in the education of blind persons[J]. Human Factors, 1982, 24(1): 85–100.
- [28] Guidelines and standards for tactile graphics[M]. Baltimore: Braille Authority of North America, 2010: 1–16.
- [29] Kim D, Lim Y. Handscope: Enabling blind people to experience statistical graphics on websites through haptics [C]//Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '11). New York: Association for Computing Machinery, 2011: 2039–2042.

Accessible design research: A graphical tactile display for the visually impaired

JIAO Yang¹, XU Yingqing^{1,2}

1. The Future Laboratory, Tsinghua University, Beijing 100084, China

2. Academy of Arts & Design, Tsinghua University, Beijing 100084, China

Abstract Blind people can already use Braille to learn words, and also use voice-assisted software such as screen readers to communicate through voice. However, there is very limited tool to help the blinds learn and understand graphical information (Such as: geometric knowledge in mathematics, circuit knowledge in physics, and meridian distribution in medical knowledge). This research reviewed sense of touch and tactile displays, studied tactile cognition for blind people, and analyzed the mechanism of blind people's spatial tactile cognition. Then a graphical tactile display was designed and developed, followed by a set of user study to prove its usability. The device adopts an innovative structural design to achieve good tactile cognitive experience with low-cost integration. It not only can dynamically generate Braille and rich tactile graphical information, but also can be used as an effective learning tool.

Keywords visually impaired people; tactile graphics; graphical tactile cognition; graphical tactile display ●



(责任编辑 徐丽娇)