

盲人触觉图像显示器 Graille 设计研究

Graille: Design Research of Graphical Tactile Display for the Visually Impaired

焦 阳 Jiao Yang
 龚江涛 Gong Jiangtao
 徐迎庆 Xu Yingqing

内容摘要: 本文对面向盲人的低成本触觉图像显示器 Graille 进行了设计研究, 探索了如何设计盲人触觉交互系统及其可用性。Graille 采用了一种新型点阵驱动方式, 并引入触觉引导等辅助方式, 在降低设备成本的同时满足了用户体验的需要。盲人可以使用 Graille 学习、社交、上网, 从而真正享受到互联网带来的便捷。

关键词: 盲人、触觉图像、触觉辅助设备、触觉交互体验

DOI:10.16272/j.cnki.cn11-1392/j.2016.01.024

一、盲人对图形图像认知的困局

根据世界卫生组织 2014 年统计的最新数据, 全球视力受损人数为 2.85 亿, 其中包括 3900 万全盲患者。由于视力受损, 他们只能依靠触觉和听觉进行感官代偿, 当面对图形图像类信息时, 始终缺乏有效的信息获取方式。传统方法是通过纸张制作触觉图像, 比如通过压印、盲文触点打印、热塑等方式, 根据图形语义, 改变纸张的凸起, 承载触觉信息。但纸质触觉图像种类和内容有限, 不易长时间保存, 最重要的是, 在互联网时代, 纸张触觉图像无法实时、动态地承载触觉信息, 且无法帮助盲人使用互联网。与之相对, 一种更佳解决方案是能够快速刷新、将视觉的像素替换成触点的电子化触觉图像显示屏。

目前, IEEE on Haptics、Metec.AG 等多个学术和产业界机构在触觉图像显示器领域都进行了相关研究, 比如 HandyTech 公司的 GWP、KGS 的 Dots View 系列、Metec.AG 的 HyperBraille Display 7200 等。但它们之所以没有获得市场的积极反馈, 最大的障碍在于成本和售价过于高昂。目前大尺寸触觉图像显示器的售价为数十万元人民币, 绝大多数盲人无法承受, 用户体验便无从谈起。另外一些小尺寸设备虽然成本得到控制, 但违背了盲人一般的触摸习惯, 交互方式和交互体验不佳。本论文的核心目标是研究盲人触觉交互, 以及对触觉图像的认知特点, 并据此设计一款低成本、高用户体验的触觉图像显示器。

二、触觉图像用户研究

大多数盲人在日常生活中主要依靠语音和部分盲文, 而基本没有图形图像的概念, 我们推测其原因在于目前盲人的教育背景和生活环境, 于是参观了一所国内知名盲人学校和一个社会助盲公益组织。在盲校的参观中, 我们发现虽然学校拥有较好的纸质触觉图像教具及其制作设备 (Tiger Machine, 老虎机), 但盲人学生普遍不能理解这些纸质教具所承载的图像内容, 教具器材的利用率非常

低。而通过社会助盲组织, 我们接触了很多成年盲人, 发现目前大多数盲人在生活中广泛使用智能手机的语音辅助功能, 比如苹果手机的 VoiceOver 和安卓手机的 TalkBack, 仅仅依靠语音理解信息。综合以上, 我们认为, 正是因为纸质触觉图像不能满足盲人对图像认知的需求, 且大多数盲人无法承受价格数十万元的触觉显示器设备, 又因为当代智能手机的便利影响了盲人学生在校学习触觉图像认知的意愿, 导致了整个盲人群体对图形图像认知的困局。因此, 盲人图像认知问题的核心在于能否设计出一款盲人图形辅助设备, 满足盲人对图像认知的需求, 价格又能让大多数盲人接受。

为了研究盲人对触觉图像的认知, 我们邀请了 4 位盲人进行开放式访谈和触觉图像认知实验。前 3 位来自一家盲文出版社, 第 4 位来自一家社会助盲机构。表 1 是他们的信息。

在实验设计上, 我们先通过开放式访谈, 希望加深了解当代盲人的生活情况, 以及盲人对图形图像认知的需求和态度; 再通过触觉图像认知实验, 测试盲人对不同类型的触觉图像的理解能力和引入辅助方式的效果, 以确定触觉图像显示器的设计原则。

在开放式访谈中, 我们围绕着盲人的日常生活、智能手机的使用体验、触觉辅助设备和触觉图形图像进行讨论。盲人除了收听广播之外, 也与明眼人一样, 经常使用社交软件, 并通过 VoiceOver 等文字转语音 (TTS) 技术浏览好友动态, 但对图片分享无能为力。他们很少使用触觉辅助设备, 也没用过电子触觉图形显示器, 大多数对图形图像信息的认知理解基本是空白。

随后在触觉图像认知实验中, 我们通过面板和大头针制作了一系列静态触觉图像, 包括基本图形, 比如三角形、圆形、长方形,

序号	名称	年龄	性别	致盲时间	是否全盲
1	Guang	35	男	32 年	是
2	Zhen	33	女	25 年	否
3	Chenlin	24	男	10 年	是
4	Zhou	28	男	20 年	是

表 1. 参与用户研究的盲人信息

序号	三角形	圆形	长方形	汽车	房屋	马
1	是	是	是	VD	TG	TGVD
2	是	是	是	是	TGVD	VD
3	是	是	是	TGVD	TGVD	TGVD
4	是	是	是	TG	TGVD	TGVD

表 2. 触觉图像认知实验结果

和一些常见物体,比如汽车、房屋、马。图像为简笔画风格,点间距约为2.5毫米。当盲人认知图像有困难时,我们会按照其意愿引入语音说明或触觉引导的辅助手段,或同时引入这两种方法。“语音说明”指针对图像内容的一段文字描述,并朗读给盲人;“触觉引导”指工作人员用手扶着盲人手指,按照图像语意内容沿触觉图像的最优轨迹运动。表2是触觉图像认知实验结果:“是”表示盲人可直接理解;“TG”表示引入触觉引导辅助才可理解;“VD”表示引入语音说明辅助才可理解;“TGVD”表示同时引入盲人触觉引导与语音描述辅助才可理解。

实验结果表明:首先,4位盲人均可以理解基本图形,但对于常见物体很难理解,引入语音说明和触觉引导后,才可以完成图像的认知。可见语音说明和触觉引导对触觉图像的认知有很大帮助,尤其二者同时引入时,语音描述与触摸图像的位置互相匹配,可以直观地告知盲人目前触摸的内容,由局部到整体,从而认知整幅图像。其次,一般视觉图像和触觉图像的认知过程是相反的。一般健全人首先会关注视觉图像的整体,进行定性地认识,如有需要,再观察图像局部,增加细节理解,是从整体到局部。而盲人对触觉图像的认知是从局部到整体,因为他们从局部开始,通过有限大小的手指和手掌感知图像,经过多个局部积累,方能推导出整体。再次,保持点间距不变,选用更大尺寸的触觉点阵会改善对图像的理解,因为手指触觉感受器的分辨率约为2.5毫米,即10PPI(Pixel Per Inch),远低于视觉分辨率,大尺寸点阵对于触觉图形认知是必需的。

针对以上用户研究,我们抽取了几个关键点,指导触觉图像显示器的再设计:

第一,在相同点阵密度下,大尺寸的触摸点阵拥有更佳的图形认知效果。

第二,盲人对较复杂触觉图像的认知时

间较长,且触摸习惯有所差异。

第三,触觉引导和语音说明辅助手段对图像认知有很大作用。

第四,盲人成功认知图像后会表现出正向情绪,并表示愿意使用有类似用户体验的设备。

三、Graille:低成本的触觉图像显示器

1. 图像生成设计

基于以上用户实验和目前最新型的触觉图像显示设备,我们设计了新型触觉图像显示器Graille,意图在于解决良好用户体验与合理价格不可兼得的问题。以往昂贵的触觉图像显示器采用了压电陶瓷驱动器,每个压电陶瓷对应一个触点,数千个触点同时升起,产生触觉图像。然而盲人用户对触觉图像的瞬时响应并没有特别需求,本身也需要较长时间摸索图像。因此我们设计了一种新型触觉图像生成结构:分离驱动单元与点阵单元,从以往压电陶瓷与触点1:1,变成新型驱动器与触点1:n,一个驱动装置依次驱动多个触点,在不显著影响触摸体验的同时,适当减慢图像刷新速度,从而大幅降低材料成本。

实现点阵单元与驱动单元分离的核心手段是点阵的每个触点都含有“Push-Push”结构。此结构在生活中有很多应用,比如SD卡插槽、圆珠笔等,其特点是具有高低两种状态,且能在任何一种状态下锁定。点阵下方是设备驱动单元:可移动推拉式电磁铁组合。电磁铁向上产生推力,推动触点的“Push-Push”结构,从而改变点的高低状态。然后电磁铁平移,以遍历形式刷新每一个触点,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,可将触觉图像的平均刷新时间控制在30秒左右,保证了用户的触摸体验。图1至图3为点阵、驱动器及图像生成系统的原理图。采用以上图像生成原理的Graille拥有120×60、点

间距2.5毫米的点阵布局。近似A4纸的大尺寸点阵能克服触觉分辨率低的问题,呈现单张触觉图像所需的信息量。

2. 触觉交互模式设计

触觉认知的用户研究表明,盲人用户在语音说明和触觉引导的辅助下能显著提高触觉图像的认知能力,因此Graille引入了内置的语音说明和触觉引导系统。触觉引导的目的是引导盲人按图像语意的最优路线触摸,因此我们在触觉屏幕上方约10毫米处设计了辅助引导滑块。将手指伸入引导滑块中,引导滑块在点阵上方二维平面移动,带动盲人手指按语义最优线路触摸图形,并可与触觉图像的驱动刷新联动,驱动装置按引导路线优先刷新图像,用户触摸理解与图像刷新同步进行,弥补了刷新时间的不足。

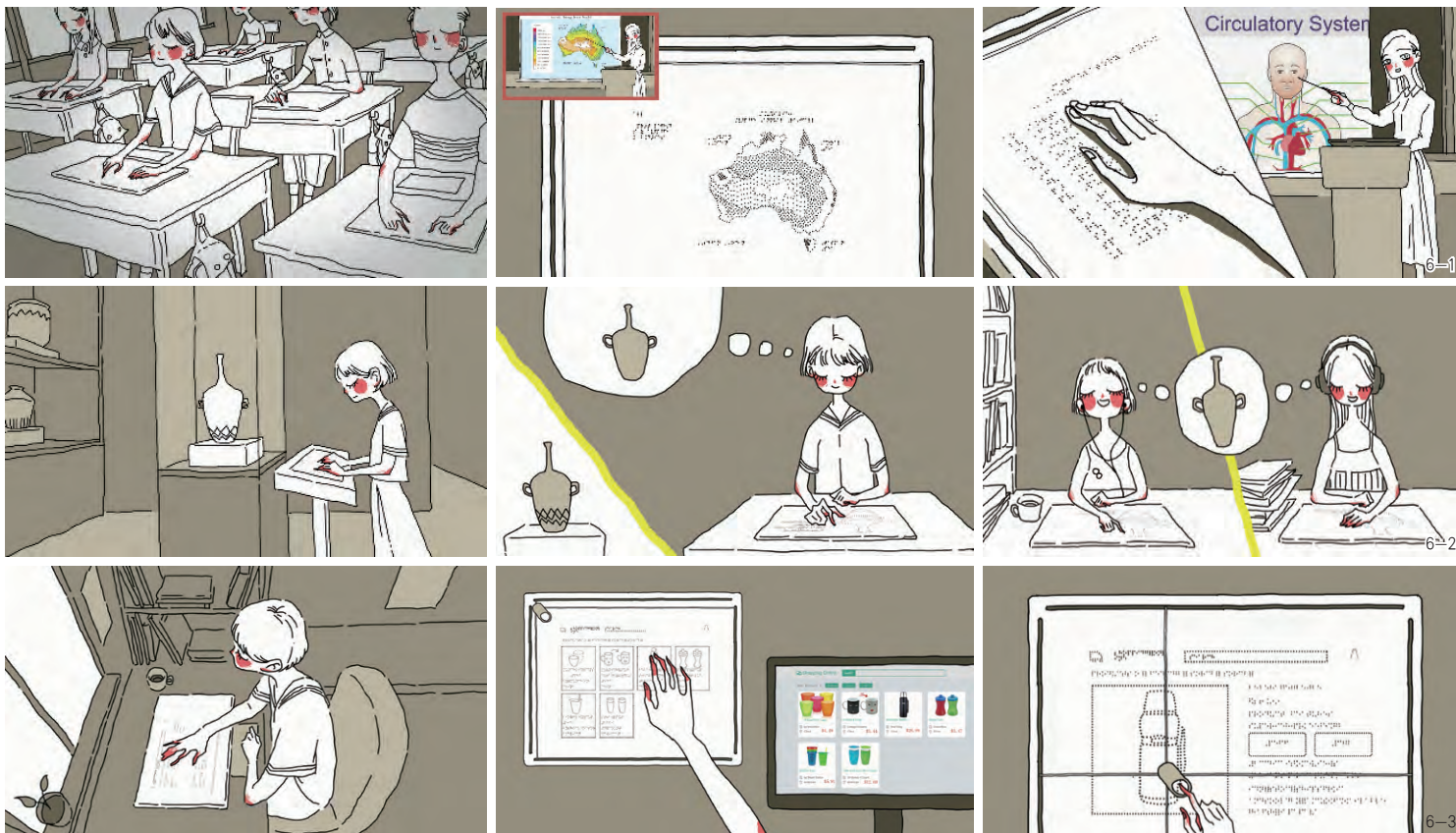
同时,该设备可根据引导滑块了解用户的当前触摸位置,进行有针对性的语音说明。它打通了用户触觉认知与听觉理解的通道,使触听觉认知同步进行,互为辅助。在认知能力上,触觉与听觉通道占用不同的脑力资源;在交互界面上,触觉、听觉信息拥有相互独立的传输空间,不存在相互干扰。用户可将抽象的语言描述与具象的图像关联对应,从而更立体地理解信息,实现触、听觉同步理解图形图像的良好体验。

盲人用户在理解触觉显示器的信息后,还能以触觉方式操作控制。除了功能按键等基础的触觉操作手段,Graille还在点阵平面中引入了压力传感器,可以识别用户的按压操作,并做出实时反馈,所触即所得。Graille以此实现了触觉呈现—触觉认知—触觉操控—一再反馈的交互环路,以触觉为主,触听同步,创造了盲人辅助设备的交互新模式。

交互模式与功能离不开硬件支持。Graille使用Intel Edison中央平台作为控制核心,控制电磁铁及滑台,刷新触觉图像;



1. 点阵 2. 驱动器 3. 图像生成系统 4. 引导装置 5. Graille 设备



6. Graille 使用场景

控制引导滑块移动, 辅助用户触摸; 管理语音输出模块, 辅以语音描述; 还有语音识别、按压感应、无线通信、盲文键盘模块, 以传统桌面台式电脑的形式, 为用户提供优秀的触听觉操作体验。图 4 和图 5 为触觉引导系统的外观图和设备整体图。

3. 功能及使用场景设计

通过硬件设计, Graille 具有大尺寸点阵屏幕和语音系统, 可以实现盲文输出、触觉图像输出、声音输出、文字输入及语音识别输入功能, 其设计致力于成为盲人访问互联网的接口。盲人用户可以使用 Graille 上课学习, 通过 Graille 学习并理解老师上课的文稿和其他材料, 比如地图或数学、物理图表等图像信息, 还可以使用盲人键盘记笔记, 并通过触觉屏幕阅读、校对文字。在公共空间, 诸如公园、博物馆等, Graille 可作为盲人的信息亭, 获取周边地图与相关介绍等信息。Graille 还可用于家中上网、社交、图像分享、网上购物等场景, 成为专为盲人设计的桌面电脑。图 6 展示了 Graille 的众多使用场景。

四、总结与展望

本文对 Graille 这一低成本触觉图形显示器的设计进行了研究, 通过同类产品调研和盲人用户研究, 探索了盲人触觉交互以及对触觉图形进行认知体验, 并以用户体验为中心进行设计创新。该设计采用了新型的点阵驱动结构, 通过大尺寸点阵屏幕显示触觉图形图像, 并辅以触觉引导和语音说明, 帮助盲人用户理解图像信息, 实现了完整的触觉交互环路, 在大幅降低设备成本的同时, 保证了用户体验的效果。Graille 可用于课堂学习、社交分享、上网购物等场景。我们希望它能为盲人开辟新的领域, 成为盲人工作生活中不可缺少的辅助设备。

* 基金项目: 国家自然科学基金项目“自然人机交互基础理论和研究方法”(项目编号: 61232013)。

参考文献:

- [1] 江宁:《关于触觉交互的辅助设备研究——盲人触觉交互设备设计》, 北京, 清华大学, 2011.4。
- [2] 朱小杰:“图形用户界面设计中隐喻的作用研究”《装饰》, 2014.3。

[3] 吴丹玥、干静:“辅助盲人访问 Internet 的力触觉交互技术”,《工程设计学报》, 2010.4。

[4] Vidal-Verdú, F., Hafez, M.: *Graphic Tactile Displays for Visually-Impaired People*. IEEE Transactions in Neural Systems and Rehabilitation Engineering 15(4), 2007, 119 - 130.

[5] KJ Kokjer, "The information capacity of the human fingertip" [C]. IEEE Transactions on systems, man and cybernetics, vol. SMC-17, 1987, pp100-102.

[6] Bruce Goldstein, "Sensation and Perception" [M]. Belmont: Wadsworth Publishing, 2002, pp5-11.

[7] HandyTech[OL]. Available: <http://www.handytech.de> Handy Tech. Horb, Germany.

[8] Display 7200, a tactile graphical display by Metec-AG[OL]. Available: <http://web.metecag.de/graphik%20display.html>

[9] M. Shimojo, M. Shinohara, M. Tanii, and Y. Shimizu, "An approach for direct manipulation by tactile modality for blind computer users: Principle and practice of detecting information generated by touch action" [C]. New York: Springer-Verlag, vol. 3116, Lecture Notes Computer Science, pp753 - 760.

焦阳 / 龚江涛 / 徐迎庆 (通讯作者)
清华大学美术学院