

多维信息空间中视觉人机交互舒适度量化关键方法研究

吕文¹, 康文科²

(1.四川省工业和信息化研究院,四川成都610017;

2.西北工业大学,陕西西安710072)

摘要:随着信息交换种类的增加和信息交换速度的加快,人们在追求快速高效的交互效果的同时也开始在生理和心理上追求自然和谐的人机交互舒适性体验。因此,人体感知舒适度成为现代人机交互系统设计的重要指标。但是,由于舒适度是人的主观感受,在设计过程中难以实现量化的测量和评价,这就给计算机智能人机交互设计和科学评价带来极大的困难。视觉是人类最重要的感觉,人们从外界接收的各种信息中80%以上是通过视觉获得的。视觉是复杂多维信息空间中重要的人机交互手段,也是人体舒适度感知最直观的来源和效果体现。通过大量试验,将试验数据导入Origin软件,绘出视觉舒适度随阅读时间的变化曲线,以S型曲线为参考进行拟合,得出了视觉舒适度与阅读时间之间的关系式,建立阅读时间与视觉舒适度关系的数学模型,并进行试验验证了相应的数学模型关系式。

关键词:视觉;人机交互;舒适度量化;多信息融合;匹配模型

中图分类号: TB18

文献标识码: A

文章编号: 1673-0356(2022)01-0025-05

随着经济和社会的发展,自然和谐的交互方式已经成为现代和未来人机交互设计的最终目标,而自然和谐的人机交互需要人体视觉、听觉、力触觉等多感官的协调参与;同时,随着智能化和信息化技术的飞速发展,现代产品的操控系统越来越复杂,人机交互信息量大,信息类型多,这就要求人机交互系统更加准确、快速、高效和舒适。为了达到这个目的,在人机信息交互过程中,必须充分发挥人体视觉、听觉、力触觉等多种感知方式的综合效能,形成全方位的多信息融合交互系统,使操控者能够全面感知和掌握信息,同时,平衡各种感觉器官的感知能力,使每一个感觉器官的感知能力最大化,从而提升人机交互的综合效率。

1 视觉人机交互

1.1 研究背景和意义

视觉是人类最重要的感觉,舒适度是人的主观感受,特别是计算机和网络技术的广泛运用使得对色彩的准确测量和科学的表达显得非常重要和迫切^[1]。目前对舒适度的研究中普遍都是定性描述,量化计算难度很大,无法建立视觉人机交互与舒适度之间的

量化测量模型,无法完成人机交互过程中实时量化测量的需求,无法提供科学化、量化的设计参考及评价标准,无法满足未来计算机人机交互智能设计的要求。因此,研究多维信息空间中视觉人机交互的感知特性,视觉、力触觉、听觉等感知系统的融合机理,视觉的舒适度的量化检测,构建综合视觉、听觉及力触觉的多维信息空间中人机交互舒适度量化计算模型,这些试验既可以单独测定每一个感知系统的舒适度,也可以同时测定多感知的综合舒适度,实现视觉、听觉、力触觉等多信息有机融合,对不同要求使用不同方法,由此得出最符合人机工程的结果。提高复杂人机交互系统的效率和质量,为消费者提供更加自然的人机交互体验,具有重大的理论意义及应用价值。

手机阅读是当下流行的一种碎片化时间管理方式,人们通过手机阅读新闻、小说等来获取多方位多样化的信息。《2019年度中国数字阅读白皮书》显示(图1),截至2019年,中国数字阅读用户总量达到了4.7亿。中国新闻出版研究院公布的第十八次全国国民阅读调查数据亦显示,2020年数字化阅读方式(网络在线阅读、手机阅读、电子阅读器阅读、Pad阅读等)的接触率为79.4%,较2019年的79.3%增长了0.1个百分点。由此可见,人们每天会花费大量的时间在手机阅读上,可以说手机阅读已成为人们生活的一部分。但

收稿日期:2021-12-01;修回日期:2021-12-10

作者简介:吕文(1974-),男,高级工程师,主要研究方向:工业设计和包装管理,E-mail:lvsasa@163.com。

是人们在长时间使用手机阅读后,常会出现眼睛干涩酸痛、头晕、头痛等视疲劳(asthenopia)现象。视疲劳“asthenopia”一词是衍生于希腊语,原意是眼睛无力的意思,长时间用眼后产生的眼眶疼痛、视物模糊、眼部灼热感、眼睛干涩、流泪等不良反应。

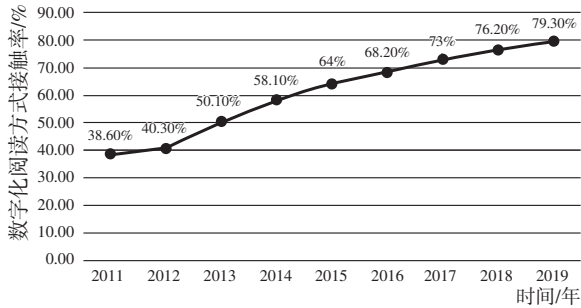


图 1 2019 年度数字阅读白皮书

个人电脑、计算机系统的视觉显示终端(Visual Display Terminal, VDT) 随着计算机技术的快速发展与普及,手机和平板电脑也都可以纳入 VDT 的范畴。VDT 综合症就是指由于眼睛长时间注视视屏终端引起的眼睛不适等综合症状^[2]。视觉舒适度就是指眼睛接受 VDT 等外界电磁波时眼睛主观的舒适感受,具体表现在用眼一段时间后眼睛的疲劳程度、眨眼频率、视力状况等。人类的感知活动大部分是通过视觉系统完成,目前模拟视觉感知主要是基于模型的方法,其中传感信息被用来重构关于感知世界的模型^[3]。本研究采用理论分析和试验验证的方法研究基于视觉的多维信息感知舒适性,以阅读手机电子书为例,研究被试者阅读手机电子书一段时间之后的视觉舒适程度,并且跟踪一定条件下其视觉舒适度与时间的关系,实现视觉信息感知的舒适度量计算,建立以视觉为基础的多维信息人机交互舒适度量化模型,最后进行验证试验对模型加以验证。研究成果可广泛应用于复杂操作系统、虚拟现实等系统环境中,对于提升人机交互设计的水平具有重要的理论与应用价值。

1.2 国内外研究现状分析

现如今国内相关研究的主要方向是电子显示设备各方面因素与人体视觉舒适度的研究,如环境照度、字体、字号、间距、色彩搭配等,比较契合时代发展中人的视觉应用场景,其中的大部分研究是针对某一特定使用环境下的部分主要因素的研究,其相关成果有:姜颖等通过主客观试验相结合对面向视觉显示终端(VDT)

的信息显示界面视觉舒适度进行研究总结的量化模型,该研究以不同色彩组合的仪表界面为测试对象,以被试者的脑电信号等生理特征为客观依据,辅以被试者对表盘界面的舒适度主观评分,评价方法较科学;侯冠华等对于字号、间距影响数字阅读体验的年龄差异研究,综合考虑了不同年龄的群体阅读体验特征,采用主客观测评相结合的方式,选取文字字号、间距作为研究变量,以视觉舒适度为标准研究不同字号、间距对不同年龄段用户阅读体验影响的差异;另外还有刘畅等定量研究色度对立体图像视觉舒适度的影响;蔡建奇等针对 iPad 等类电子产品的睡前使用环境进行的环境照度对人体视觉舒适度的影响。由此可以看出,目前针对视觉舒适度的总体量化研究较少。

2 评价指标

视觉健康舒适度是对眼部视觉疲劳进行客观量化的指标,它基于人的眼轴和角膜屈光的变化,实现了对人眼健康舒适度的客观评价^[4]。影响视觉舒适度的主要因素有光照水平^[5]、屏幕显示的亮度对比^[6]以及光环境(如运动场、会客厅、卧室等)、文字大小、文字间隔、用眼时间、照度、色彩组合、年龄等。在建立视觉舒适度的数学模型时,必须考虑到视觉舒适度具有“心理感觉量”和“取决于多种不确定因素”这两个特征。以随阅读时间变化的阅读舒适度变化为例开展研究,根据文献分析,确定可用性、感知的视觉舒适度为主观测量指标,在试验时直接询问被测试者的感受,运用量表对被测试者的主观感觉进行量化,这一方法是评价视觉是否舒适的最直接方法。研究量表见表 1。

表 1 视觉舒适度限定范围及人的表征状态

| 视觉舒适度值 | 状态 |
|--------|----------------|
| 0 | 没有疲劳感 |
| 1 | 基本没有疲劳感 |
| 2 | 有轻微疲劳感 |
| 3 | 有明显疲劳感,但在耐受范围内 |
| 4 | 疲劳感加剧,出现多种眼部不适 |

3 试验部分

试验采用组间重复测量试验设计方案,选择了手机自带阅读 app 作为测试标准。被试者为 20 位年龄

在19~22岁之间的志愿者,均为来自于西北工业大学的大学生,无重度近视和散光(近视在300度以内,散光在-100度以内)。

在舒适度的研究中,疲劳是影响舒适度心理因素中最重要的因子^[7],在室内正常照明、安静、舒适的环境下进行,为避免视力疲劳的干扰,所有被试者在测试前均有充足的睡眠,且安排在测试前闭眼休息至完全无疲劳状态,以保证被试者在测试过程中能够处于良好的心理和生理状态。

试验开始前,录入被试者基本信息,并向未被试者讲解试验流程,统一安排被试者休息至舒适度测试为0(完全舒适)的状态下,开始试验。被试者每使用手机阅读5 min电子书,立刻询问被试者的主观视觉舒适度后填写量表。每位参与者需50~60 min完成所有内容。试验流程如图2所示。

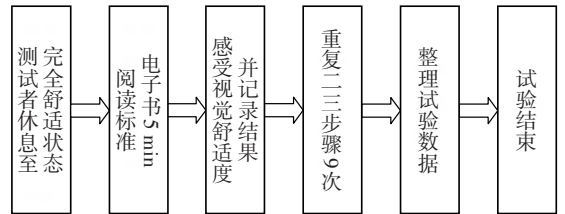


图2 视觉舒适度测试流程

4 视觉舒适度量化学模型的建立

由于研究仅分析阅读时间对视觉舒适度的影响,而要得到视觉舒适度信息感知的数学模型,以及视觉舒适度与时间之间的普遍规律,就必须保证其他因素不变,仅记录不同时间下视觉舒适度的数值,故试验采用控制变量法,对20个被测者在相同时间段、相同地点进行了多次试验,共计20组数据,相关数据见表2。

表2 测量数据

| 人 次 | 时 间/min | | | | | | | | | | | |
|-----|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |
| 1 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.05 | 0.14 | 0.34 | 0.78 | 1.48 | 2.19 | 2.66 | 2.90 | 2.99 |
| 2 | 0.01 | 0.10 | 0.15 | 0.25 | 0.33 | 0.64 | 0.84 | 1.50 | 2.00 | 2.80 | 2.90 | 3.00 |
| 3 | 0.01 | 0.05 | 0.05 | 0.10 | 0.20 | 0.50 | 0.90 | 1.35 | 1.90 | 2.50 | 2.70 | 2.90 |
| 4 | 0.01 | 0.02 | 0.04 | 0.06 | 0.12 | 0.36 | 0.72 | 1.44 | 2.20 | 1.90 | 1.80 | 2.00 |
| 5 | 0.01 | 0.10 | 0.15 | 0.18 | 0.35 | 0.70 | 1.35 | 1.80 | 2.20 | 2.70 | 2.85 | 2.95 |
| 6 | 0.01 | 0.05 | 0.10 | 0.10 | 0.15 | 0.40 | 0.75 | 1.45 | 2.10 | 2.55 | 2.75 | 2.80 |
| 7 | 0.01 | 0.02 | 0.08 | 0.12 | 0.16 | 0.30 | 0.70 | 1.40 | 2.15 | 2.75 | 2.85 | 2.95 |
| 8 | 0.01 | 0.07 | 0.16 | 0.21 | 0.38 | 0.62 | 0.98 | 1.38 | 2.04 | 2.41 | 2.68 | 2.87 |
| 9 | 0.01 | 0.01 | 0.06 | 0.12 | 0.21 | 0.33 | 0.89 | 1.41 | 1.88 | 2.34 | 2.79 | 2.96 |
| 10 | 0.01 | 0.02 | 0.09 | 0.15 | 0.31 | 0.73 | 1.05 | 1.48 | 1.95 | 2.42 | 2.73 | 2.84 |
| 11 | 0.01 | 0.09 | 0.16 | 0.31 | 0.45 | 0.68 | 1.01 | 1.42 | 1.89 | 2.43 | 2.82 | 3.01 |
| 12 | 0.01 | 0.03 | 0.05 | 0.09 | 0.21 | 0.44 | 0.83 | 1.34 | 1.98 | 2.56 | 2.87 | 2.96 |
| 13 | 0.01 | 0.08 | 0.14 | 0.23 | 0.31 | 0.69 | 0.98 | 1.44 | 2.08 | 2.77 | 2.93 | 3.05 |
| 14 | 0.01 | 0.02 | 0.05 | 0.17 | 0.29 | 0.49 | 0.89 | 1.35 | 2.11 | 2.57 | 2.72 | 2.90 |
| 15 | 0.01 | 0.02 | 0.04 | 0.09 | 0.19 | 0.36 | 0.82 | 1.31 | 2.20 | 1.97 | 2.10 | 2.30 |
| 16 | 0.01 | 0.07 | 0.15 | 0.26 | 0.35 | 0.81 | 1.25 | 1.70 | 2.12 | 2.52 | 2.85 | 3.15 |
| 17 | 0.01 | 0.01 | 0.10 | 0.13 | 0.21 | 0.40 | 0.85 | 1.52 | 1.89 | 2.33 | 2.55 | 2.73 |
| 18 | 0.01 | 0.02 | 0.04 | 0.10 | 0.15 | 0.30 | 0.63 | 1.20 | 2.05 | 2.75 | 2.82 | 3.14 |
| 19 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.07 | 0.17 | 0.42 | 0.96 | 1.32 | 1.93 | 2.52 | 2.86 | 2.97 |
| 20 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.08 | 0.26 | 0.45 | 0.89 | 1.56 | 2.20 | 2.70 | 2.86 | 3.06 |

对于测量得到的数据,以试验记录次数为 x 轴,以视觉舒适度为 y 轴,如图3所示在 $x-y$ 坐标系里画出散点图,从图3可以看出这25个被测者的视觉舒适度变化都大致分为三个阶段:平稳增长期、迅速增长期、增长缓慢期,随着时间 t 的增加,视觉舒适度 y 开始几乎不增长,然后迅速增长,最后增长速度减慢,且点的分布越来越接近于一条平行于 x 轴的直线,因此 y 值

不会无限增大。

根据散点图中视觉舒适度的变化规律及趋势线,发现视觉舒适度与时间的变化趋势线近似为S型,将数据代入Origin非线性拟合,通过对比,得出拟合模型为Slogistic11 S型函数时拟合度最高,R平方为0.991此时方程为:

$$y = \frac{a}{1 + e^{-k(x-x_c)}} \quad (1)$$

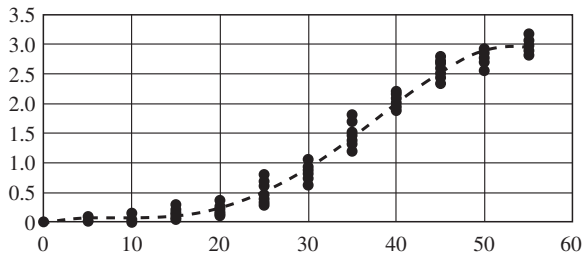


图3 试验时间与视觉舒适度的关系曲线

拟合曲线如图4所示。

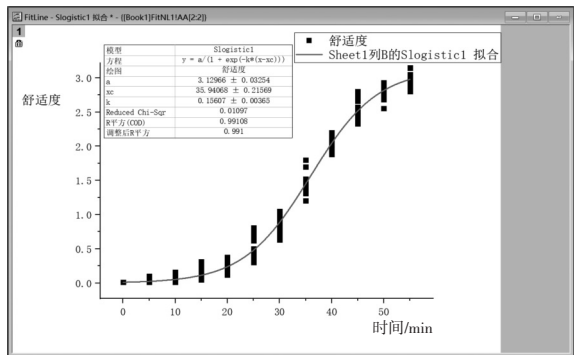


图4 拟合曲线

拟合方程各参数为： $a = 3.129\ 66, x_c = 35.940\ 68, k = 0.156\ 07$ 。

故拟合方程为：

$$y = \frac{3.129\ 66}{1 + e^{-(0.156\ 07) \times (x - 35.940\ 68)}} \quad (2)$$

公式(2)就是所求的信息感知中的视觉舒适度值 y 与时间变量 x 之间关系的表达式。视觉舒适度量化模型建立已实现。

5 舒适度量化的数学模型验证

为了验证该数学模型关系式的准确性,又对另外的5名试验者在相同的条件下进行模型验证试验。将试验数据舒适度和通过数学模型关系式转化得出的视觉舒适度进行比较。验证数据见表3。图5为验证数据相较于关系式曲线的散点图。

从表3中的验证数据看,从试验中的原始数据经过关系表达式的计算得出的视觉舒适的数学模型基本符合。由此可以验证文中提出的通过试验测量舒适度数据,分析数据得出数学模型,最后通过数学模型推算相应时间的整个过程是正确的。

表3 模型验证数据

| 人 次 | 时 间/min | | | | | | | | | | | |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
| | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |
| 1 | 0.01 | 0.03 | 0.05 | 0.10 | 0.28 | 0.52 | 0.99 | 1.45 | 2.10 | 2.58 | 2.75 | 2.98 |
| 2 | 0.01 | 0.02 | 0.04 | 0.06 | 0.12 | 0.36 | 0.72 | 1.44 | 2.06 | 2.46 | 2.62 | 2.90 |
| 3 | 0.01 | 0.05 | 0.15 | 0.18 | 0.35 | 0.66 | 0.89 | 1.50 | 2.05 | 2.62 | 2.75 | 2.95 |
| 4 | 0.01 | 0.05 | 0.15 | 0.26 | 0.35 | 0.70 | 0.92 | 1.55 | 2.10 | 2.50 | 2.85 | 3.15 |
| 5 | 0.01 | 0.01 | 0.10 | 0.13 | 0.21 | 0.62 | 0.85 | 1.52 | 1.99 | 2.62 | 2.80 | 3.00 |
| 计算得出的舒适度的值 | 0.011 42 | 0.024 82 | 0.053 67 | 0.114 79 | 0.240 09 | 0.480 36 | 0.887 26 | 1.450 17 | 2.044 58 | 2.517 43 | 2.815 85 | 2.977 6 |

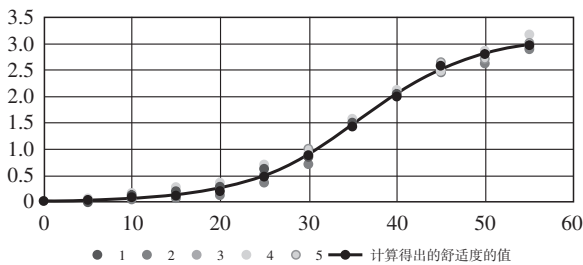


图5 验证数据相较于关系式曲线的散点图

6 结论

通过对试验对象进行大量试验,将试验数据导入Origin软件,绘出视觉舒适度随阅读时间的变化曲线,以S型曲线为参考进行拟合,得出了视觉舒适度与阅读时间之间的关系式,建立阅读时间与视觉舒适度关

系的数学模型。结果表明:得出的数学模型能较好地反应视觉舒适度随阅读时间变化的客观规律,该数学模型可以为设计生产中的视觉时间配置提供理论依据,使产品在视觉人机交互方面更加人性化,更符合“以人为本”的设计理念。当然,在实际设计、生产中也可以把这部分作为一个指导方案,所以该模型有着重要的实用价值。

由于人眼视觉系统的复杂性以及视觉舒适度影响因素的多样性,因此视觉舒适度量化研究必须是一个长期的、系统的过程,本文只针对阅读时间对视觉舒适度的影响进行了研究,对于其他影响因素,如闪烁、双眼亮度差、双眼色差等,以及人眼的个体生理因素仍需进一步的研究与探索。

参考文献:

- [1] 康文科,张定华,余隋怀.色彩分析仪的色彩转换关键方法研究[J].计算机工程与应用,2010,46(1): 51-53.
- [2] 蔡建奇,杜 鹏,郭 娅,等. iPad使用过程中环境照度对人眼视觉质量的影响研究[J].照明工程学报,2016,(6):6-9.
- [3] 康文科,张 全,张定华. 产品色彩智能设计中的复合思维研究[J].计算机应用研究,2009,26(6):2 083-2 085.
- [4] 蔡建奇,王 薇,邵光达. LED电视在3D模式下的视觉健康舒适度测试研究[J].电视技术,2014,38(24):55-57.
- [5] TAPTAGAPORN S, SAITO S. Visual comfort in VDT operation: Physiological resting states of the eye[J]. Industrial Health, 1993,31(1): 13-28.
- [6] WANG A H, CHEN M T. Effects of polarity and luminance contrast on visual performance and VDT display quality[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2000,25(4): 415-421.
- [7] 罗仕鉴. 基于生物学反应的驾驶舒适度研究[D].杭州:浙江大学,2005.

Research on Key Methods of Quantitative Comfort of Visual Human-computer Interaction in Multidimensional Information Space

LV Wen¹, KANG Wen-ke²

(1.Sichuan Institute of Industry and Information Technology, Chengdu 610017, China;

2.Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: With the increase of the kinds and the acceleration of the speed of information exchange, people not only pursue the fast and efficient interaction effect, but also begin to pursue the natural harmonious human-computer interactive comfort experience in physiology and psychology. Therefore, human perceptual comfort has become an important index of modern computer interaction system design. However, because comfort is the subjective feeling of the human body, it is difficult to achieve quantitative measurement and evaluation in the design process, which brings great difficulties to computer intelligent human-computer interaction design and scientific evaluation. Vision is the most important feeling of human beings, and more than 80% of the information people receive from the outside world is obtained through vision. Visual is an important means of human-computer interaction in complex multidimensional information space, and it is also the most intuitive source and effect embodiment of human comfort perception. A large number of experiments were carried out, the experimental data were imported into Origin software. The curve of visual comfort with reading time was drawn, and the relationship between visual comfort and reading time was obtained by fitting the S-shaped curve with reference. The mathematical model of the relationship between reading time and visual comfort was established, and the corresponding mathematical model was verified by experiments.

Key words: vision; human-computer interaction; comfort quantification; multi-information fusion; matching model

欢迎订阅《纺织科技进展》杂志!

邮发代号:62-284

海外发行代号:DK51021