

激光扫描显示对视觉感知的影响

孙红进, 帅仁俊

(南京工业大学 信息科学与工程学院, 江苏 南京 210009, E-mail: sunhjin@yeah.net)

摘 要: 研究了激光扫描显示(LSD)对视觉感知的一些重要影响。LSD 可提供一种能对视觉系统产生特殊影响的高亮度单色图像。在受试者观看激光扫描显示或投影视频时, 对其视觉调节进行了测量。单色显示器可能由于色适应对感知产生影响。在使用显示器之前和之后测试了受试者的色觉。当用激光扫描显示器时, 发现视觉调节量不断增加, 但影响的强度由显示器扫描速度来界定。调节方差的最大差异出现在处于低速扫描的视频显示器和激光扫描显示器之间。在一些受试者中, 观看激光扫描显示还导致了可测的色觉变化。实验结果表明: 观看激光扫描显示器会对视觉调节反应和色觉产生影响。

关 键 词: 视觉调节; 激光扫描; 色觉

中图分类号: TN873; O432.2

文献标识码: A

1 引 言

现在, 除了人们常用的直接观看式的 CRT、LCD、PDP 等显示器之外, 虚拟显示器也已崭露头角, 并以其体积小、分辨率高、显示效果好、成本低的优点广泛应用于军事、工业、医学、娱乐等各个领域。头盔式显示器(HMDs)和平视显示器(HUDs)都属于虚拟显示器。HMDs 主要应用于飞机上, 它将处理后的图像和信息直接显示到 HMDs 的面罩上, 无论飞行员将视线转向何方, 都可以从 HMDs 的面罩上读取虚拟平显信息, 而不必像 HUDs 那样, 只有当飞行员平视前方时, 才能从固定的 HUDs 上读取信息。随着汽车工业的发展, 很多高档轿车上也配装了 HUDs, 驾驶者不必交替观察前下方仪表和正前方场景, 减少了视觉中断, 使驾驶者能够连续观察路况, 减少事故发生。这类显示器必须有足够高的亮度才能使图像在强光背景下清晰显示。激光扫描显示器(LSDs)是可以满足 HMDs 和 HUDs 所需的高亮度的新型显示器件。激光扫描显示器使用快速扫描、亮度可调的激光束, 直接在视网膜或一个用户可以观看的中间屏幕上生成图像。现在的 LSDs 一般是单色的, 当然, 也可以用多束不同激光来产生彩色 LSD, 但在色彩上每种颜色仍然是窄带的。

除了提供高亮度, LSDs 还有轻微的延时。

实验中让受试者设法保持平视显示器上的中心条纹与小圆圈的中心对齐, 通过监测平视显示器中心线偏离小圆圈中心的像素数目来评估跟踪性能。通常, 人眼看到的不是单色图像, 并且观看这样的单色图像会影响人眼的调节反应。随着眼睛调节能力的变化, 被引入图像的色差度也发生变化。研究表明, 图像的色差在调节反应中扮演重要角色, 并且相对于其它因素, 某些人可能更依赖于色差。如果使用单色显示器, 这将有效地消除色差, 但这可能会给合理地注视显示器带来更多困难。因此, 通过实验调查了许多受试者的视觉调节, 以确定当使用 LSD 时他们是否能够维持一个稳定的视觉调节水平。另一个问题是, 由于对单波长的色适应, 单色显示器会对所感觉到的色彩产生影响, 视觉暴露于激光下可导致色觉(可逆)的变化, 本文研究了色觉受单色显示器影响的可能性。

2 研究方法

2.1 相关显示描述

测试所用的显示器是一款早期的 Microvision 显示器, 它用一倍频的 Nd:YAG 激光器提供波长 532 nm 的绿光。这项研究中, 简化了光学组件,

由一块散射屏和一个焦距长 25 mm 的凸透镜组成,有 12 mm 的出瞳和一副光学距离为 5.9 m 的图像(符合视频投影显示器的实际距离)^[1,2],如图 1 所示。显示器的分辨率是 VGA(640×480 像素),刷新率为 60 Hz。将激光扫描显示器投影到距离实验者 5.9 m 的墙上,并与标准(白光) VGA 显示器相比较。激光扫描显示器亮区的亮度为 30 cd/m²(产品的理论值可能要高得多),背景是 0.8 cd/m²。为获得较高亮度,用最小边界法将激光扫描显示器和视频投影显示器进行匹配。

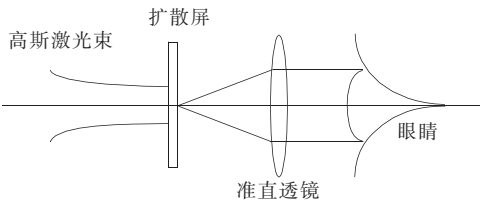


图 1 显示光学示意图
Fig. 1 Simplified display optics

2.2 视觉激励

目标激励类似于一个简单的飞机平视显示器的成像图^[1,3],如图 2 所示,示意图设计得十分简单和整洁。激励图不应受显示器间图像质量变化的过度影响,图像大小可能不相匹配,但显示器设置产生的图像要尽可能相似。图 2 显示了在 5.9 m 的距离上所看到的两种显示器激励的表观尺寸。

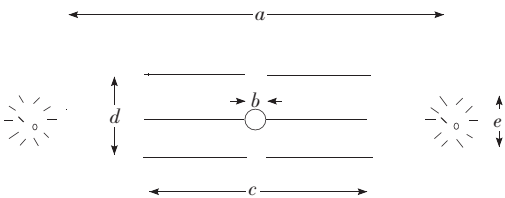


图 2 视觉调节激励
Fig. 2 Stimulus for visual accommodation

这项研究中,3 条中心条纹只是垂直移动。中心条纹的移动由一长周期的振荡器来驱动,这一振荡器由 5 个指定周期、相移全不相同的正弦谐波构成。改变基波周期就可改变振荡的平均速度。图像移动的主观迹象是中心条纹的漂移(速度和方向随机改变且明显),实验者用操纵杆(定位于他们的左侧)执行跟踪任务,必须保持中心条

纹与中心圆环在一条线上,如图 2 所示,对激光扫描显示器 a、b、c、d、e 分别取 125, 12, 144, 96, 55 cm;对视频投影显示器分别取 75, 7, 90, 60, 33 cm。在任务执行期间记录跟踪精度(像素偏离中心位置)。任务难度有两个层次:简单、慢跟踪和困难、快跟踪。其中快跟踪所用的正弦基波周期是慢跟踪中的 4 倍。任何一次漂移的实际速度由振荡器和实验者的控制输入联合确定。

2.3 视觉调节研究

16 名受试者(12 名男性,4 名女性;中位年龄:28 岁,年龄范围:20~40 岁)参与了这项视觉调节研究。所有参与者视力正常且无色盲。在实验开始前,所有受试者须先熟悉实验步骤,并且给机会让他们练习操作和经历测试步骤。实验由两个不同速度下的跟踪任务构成,两个不同速度通过使用两种不同类型的显示器来实现,因此,有 4 个不同的任务:(1)激光扫描显示器,慢速跟踪;(2)视频投影显示器,慢速跟踪;(3)激光扫描显示器,快速跟踪;(4)视频投影显示器,快速跟踪。每一任务持续 2 min,同时每隔 12 s 测量一次视觉调节。

2.4 实验步骤

执行每个任务要均衡,让每个参与者按不同顺序完成实验任务,控制好顺序和每日时间的影响。

其次,执行每次任务之前和之后都要进行色觉测试。当然,在一次任务完成后,执行下一次任务之前要留有时间让受试者的色觉恢复。在执行每项任务时,用新日本(Shin Nippon)的 SRW5000 自然视力自动验光仪对视觉调节进行测量。这台自动验光仪利用红外光测量眼调节,可有效地实现测量^[4]。在每次实验过程中,实验者每隔 12 s 测量一次,但由于眨眼或头部移动,偶而会使测试落空。

受试者坐在一个黑暗的房间里,距投有视频图像的墙 5.9 m。用一个下巴和前额架来定位和稳固受试者,以便视觉调节的测量。所有任务中,仅用右眼观看图像。对于视频投影显示器,左眼被遮挡并且视觉调节测量取自右眼;对于激光扫描显示器,需要在受试者与新日本自动验光仪之间放一个观察光学系统,来自激光扫描显示器的图像仅呈现给右眼,视觉调节测量取自左眼,因为激光扫描显示器观察光学系统阻止从右眼测量。这种观察安排妨碍了前额架的使用,会出现更多

的头部轻微移动,所以有时不能全部获得视觉调节的 10 个测量值。

3 实验结果

3.1 跟踪性能

受试者的任务是设法保持平视显示器的中心条纹与小圆圈的中心对齐。通过监测平视显示器中心线偏离小圆圈中心的像素数目来评估跟踪性能。对每一受试者,记下偏离的像素数目,然后取平均值,结果列于表 1。

表 1 不同条件下轨迹偏离中心点的平均像素数目
Table 1 Tracking deviation measured in pixels from the centre point for different conditions

	视频显示器		激光扫描显示器	
	低速	快速	低速	快速
像素数目	11	20	12	20.5

将跟踪速度和显示器类型作为自变量,平均跟踪误差作为因变量,进行方差分析。分析发现,跟踪速度对平均误差 $[F(1,60)=81.08,p<0.0001]$ 有重要影响,但是显示器类型对平均误差没有显著影响,跟踪速度与显示器类型之间没有显著的相互影响。因此,不管是用激光扫描显示器,还是用视频投影显示器,都不会对跟踪性能产生影响。这一结果意味着,激光扫描显示器和视频投影显示器图像质量的区别不会削弱跟踪性能。

3.2 视觉调节

每一显示条件下的平均调节水平如表 2 所示。鉴于调节的真实水平很可能受到激光扫描显示器一些不确定因素的影响,比如近端调节和感知距离,本文没有对这些数据做进一步分析,而是集中分析了调节反应随时间的变化。所有受试者眼调节水平的均方差如表 3 所示。

将显示器类型、跟踪速度看作自变量,调节水平随时间的变化量作为因变量,对表中数据进行

表 2 所有受试者的平均调节水平(屈光度)
Table 2 Mean accommodation level measured in dioptres from all participants

	视频显示器		激光扫描显示器	
	低速	快速	低速	快速
调节平均水平(m^{-1})	0.035	0.011	-0.142	-0.057

表 3 不同条件下的屈光度均方差
Table 3 Mean accommodation variance measured in diop-tres for different conditions

	视频显示器		激光扫描显示器	
	低速	快速	低速	快速
调节水平的均方差(m^{-1})	0.018	0.028	0.119	0.061

方差分析。

计算发现,显示器类型对调节方差有非常重要的影响 $[F(1,60)=18.69,p<0.0001]$,但跟踪速度对调节方差无重大影响。显示器类型和跟踪速度之间有显著的相互影响 $[F(1,60)=4.66,p<0.05]$ 。

用 Neuman-Keuls 检验对表 3 中结果进行两两比较,如表 4 所示。影响显著的($p<0.05$)以黑体标出。

从表 3 和表 4 可以看出,在激光扫描显示器上进行低速跟踪时,视觉调节方差最大,有几位受试者的调节水平超过了 $1 m^{-1}$ 。

表 4 Neuman-Keuls 检验结果
Table 4 Results of Neuman-Keuls test

	(1)	(2)	(3)	(4)
	0.119	0.061	0.016	0.028
LSD 低速(1)		0.014	0.000 3	0.000 5
LSD 快速(2)	0.014 0		0.112	0.131
Video 低速(3)	0.000 3	0.112		0.613
Video 快速(4)	0.000 5	0.131	0.613	

3.3 色觉测试

在每一测试条件之前和之后分别对所有受试者进行色觉测试,结果如表 5 所示。

从表中可以看出,大部分错误伴随着观看激光扫描显示器而发生,尤其是低速漂移条件下。一

表 5 色觉测试结果
Table 5 Results of colour vision test

	视频显示器				激光扫描显示器			
	低速		快速		低速		快速	
	之前	之后	之前	之后	之前	之后	之前	之后
所有错误	2	2	1	1	1	8	2	3

些受试者还报告,在激光扫描显示器上看到有色残像。当使用视频投影显示器时,并没有这种情况,这表明使用视频投影显示器进行跟踪不会引发临床色缺陷。

4 分析与讨论

这项研究揭示了观看激光扫描显示器所产生的许多令人关注的影响。从这些显示器在未来系统中的应用角度看,最重要的影响是:

(1)当使用激光扫描显示器时,虽然影响程度取决于观看条件,但视觉调节表现出较大的变化;

(2)观看激光扫描显示器会扭曲色觉,扭曲程度还取决于观看条件。

如果激光扫描显示器用于未来的显示系统中,这些研究结果应当引起重视。在飞行中,不适当的视觉调节将带来隐患,并且,如果参与者不能维持一个稳定的调节水平超过 2 min,那么在一次持续几小时的飞行中,这个问题很可能加剧。

尽管没有足够的数据来进行统计分析,但激光扫描显示器对色觉的影响值得关注,因为大多数测试错误是在激光扫描显示器低速漂移条件下产生的,并且一些受试者看到了有色残像。下一步的工作是用更精确的测量色觉变化的技术来量化这些影响。对色觉的粗略检查表明,在一定条件下,激光扫描显示器会影响色觉。如果这种情况发生在显示器产品上,那么可能会对正确感知与激光扫描显示器结合使用的其它显示器或真实现象造成严重影响。

应该强调,以上所描述的影响属于研究者所关心的部分,并不能保证这些影响一定会出现于激光扫描显示器。然而研究结果表明,有一些重要的人为因素与激光扫描显示器的使用相关联。今后,在这类显示器中,这些因素可能得到解决,或由经验、训练来改善^[2]。例如,与观看视频显示器一样,用单眼看激光扫描显示器,就去除了另一

个刺激眼调节的强烈信号。但是,随着激光扫描显示器的发展,文中所列的问题应该加以考虑。

视觉调节反应的变化、显示器类型和跟踪速度之间存在相互影响,这是值得深入研究的课题。特别是在激光扫描显示器上进行低速跟踪时,眼调节反应的均方差明显高于其它情况。这是个令人费解的结果,可能工作量和色差间有内在联系,这种联系会影响调节反应,但没有相关的文献,也没有真正的理由说明存在这样一个内在联系。最可能的解释是:在跟踪速度、色适应水平和眼调节反应的变化三者间存在一种复杂的相互作用。在进行低速跟踪时,抬头显示器的条纹与中心的偏离很小,这样在给定的时间里就会扫出一个较小的区域。因此,色适应的区域很可能比较小,但适应的强度相对会更大。与其它情况相比,进行激光扫描显示器低速跟踪时,受试者犯了更多的错误,上述解释符合这一结果。色适应水平的提高对视觉调节反应的较大变化和色觉影响都有一定的作用,这必然是一个值得深入研究的领域。调节的变化会受任务类型、显示器的影响,这对用于激光扫描显示器的符号设计有重要意义,今后评估激光扫描显示器应该考虑这些问题。

5 结 论

研究发现,激光扫描显示(LSD)对视觉感知有一些重要影响,LSD 可提供一种能对视觉系统产生特殊影响的高亮度单色图像,单色图像可能由于色适应对感知产生影响。在使用显示器之前和之后测试了受试者的色觉。当用激光扫描显示器时,发现视觉调节量不断增加,调节方差的最大差异出现在处于低速扫描的视频显示器和激光扫描显示器之间。在一些受试者中,观看激光扫描显示还导致了可测的色觉变化。实验结果表明:观看激光扫描显示器会对视觉调节反应和色觉产生影响。

参 考 文 献:

- [1] Edgar Graham K, Edgar Helen E, Ward Patrick A. The effect of viewing a laser-scanned display on colour perception and the visual accommodation response [J]. *Displays*, 2008,29(2):100-105.
- [2] [日]大石严,畑田丰彦,田村彻. 显示技术基础 [M]. 北京:科学出版社, 2003.
- [3] 刘榴娣. 显示技术 [M]. 北京:北京理工大学出版社, 1993.

[4] Wolffsohn J S, Gilmartin B, Mallen E A H, *et al* Continuous recording of accommodation and pupil size using the Shin-Nippon SRW-5000 autorefractor[J]. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 2001,21:108-113.

Effects of Laser-Scanned Display on Visual Perception

SUN Hong-jin, SHUAI Ren-jun

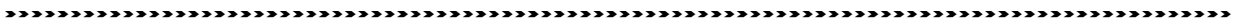
(College of Information Science and Engineering, Nanjing University of Technology,
Nanjing 210009, China,E-mail sunhjin@yeah.net)

Abstract

Some important effects of viewing a laser scanned display (LSD) on visual perception was investigated. LSDs could provide a highly bright, monochromatic image which could have particular effects on the visual system. Participants' accommodation was measured while they viewed an image on either a laser-scanned or video-projected display. Furthermore, monochromatic displays may affect perception as a result of chromatic adaptation. Color vision of participants was also assessed before and after using the displays. Increased variability of the level of accommodation was found when using the laser-scanned display, but the magnitude of the effect was mediated by how fast elements of the display were moving. The biggest difference in accommodative variance was between a video display with slow-speed scanning and an equivalent laser-scanned display. Viewing of the laser-scanned display also led to measurable changes in color perception in some participants. The experimental results showed that viewing a laser-scanned display affect the accommodation response and color perception.

Key words: visual accommodation; laser-scanned display; color vision

作者简介:孙红进(1985—),男,江苏南京人,硕士研究生,主要研究方向:数字信号处理、显示技术。



网上看《液晶与显示》

向《液晶与显示》投稿,经审查发表,将以印刷版、光盘版、网络版同时出版。若您想从网上阅读《液晶与显示》,请点击:

<http://www.yjyxs.com>(《液晶与显示》期刊网址);<http://yjys.chinajournal.net.cn>(“中国期刊网”《液晶与显示》的网址);<http://yjyxs.periodicals.net.cn/default.html>(“万方数据资源系统(ChinaInfo)”《液晶与显示》的网址)。