

基于动态随机点立体图的立体视觉深度运动特性分析

林丽媛¹, 侯春萍¹, 王 凯¹, 周志远²

(1. 天津大学 电子信息工程学院, 天津 300072; 2. 天津津航技术物理研究所, 天津 300308)

摘 要: 利用动态随机点立体图, 排除心理暗示线索对深度运动的影响, 对立体视觉深度运动特性进行了研究。利用主观实验, 分析了深度运动物体的运动位置、运动方向和运动速度等运动特性对于立体视觉舒适度(Stereo visual comfort, SVC)的影响, 并提出深度运动情况下的 SVC 与运动速度的预测模型。实验结果表明, 动态随机点立体图中, 运动物体的深度运动诱发了透视效果; 在交叉视差(屏幕前)和非交叉视差(屏幕后)情况下, 立体视觉深度运动导致的 SVC 不同。对计算得到的 SVC 的预测值和实测值进行相关性检测, 三种深度运动的皮尔森相关系数(Pearson correlation coefficient, PCC)分别为 0.956、0.972、0.977, 充分表明该预测模型能够准确地预测 SVC。

关键词: 立体视觉; 深度运动; SVC; 动态随机点立体图

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2015)04-1365-05

Depth motion characteristics analysis of stereo vision based on dynamic random dot stereograms

Lin Liyuan¹, Hou Chunping¹, Wang Kai¹, Zhou Zhiyuan²

(1. College of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. Tianjin Jinhang Institute of Technical Physics, Tianjin 300308, China)

Abstract: Dynamic random-dot stereograms which can eliminate the effects caused by psychological clues of stereo vision were used to study the depth motion characteristics of stereo vision. The effects on Stereo Visual Comfort(SVC) of the depth motion characteristics including motion positions, motion directions and motion velocities were analyzed by subject experiments and a prediction model of visual comfort and motion velocity during depth motion was built. The results show that depth motion induced perspective and depth motion make different visual comforts under crossed disparity (before the screen) or uncrossed disparity (after the screen) in dynamic random dot stereograms. The Pearson Correlation Coefficient(PCC) of three types of depth motion achieves 0.956, 0.972, 0.977, respectively, which indicates that the prediction model can more accurately predict the SVC.

Key words: stereo vision; depth motion; SVC; dynamic random dot stereograms

收稿日期: 2014-08-05; 修订日期: 2014-09-03

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)(2012AA03A301); 教育部博士点基金(20130032110010)

作者简介: 林丽媛(1985-), 女, 博士生, 主要从事运动立体 SVC 方面的研究。Email: linly@tju.edu.cn

导师简介: 侯春萍(1957-), 女, 教授, 博士生导师, 博士, 主要从事图像处理和移动通信方面的研究。Email: hcp@tju.edu.cn

0 引言

立体信息技术有着广泛的应用前景和重大的社会背景,广泛地用于科研、军事、娱乐、工业、医疗等诸多的领域。然而,现在面市的立体显示终端,都存在一个致命的问题,这就是立体视觉的不舒适问题^[1-2]。随着立体技术的不断发展、立体产品和立体影视作品的不断推广和应用,由此产生的视觉不舒适问题逐渐凸显出来。

SVC 问题的研究,主要针对静止立体图像和动态立体视频两类立体显示内容。当前,关于静止的立体图像与 SVC 的问题,已经取得了非常瞩目的成果;然而对于运动立体视频的 SVC 的研究却并不深入。已经有研究人员在该方向上进行了初步的实验并取得了一些成果。S. Yano 通过研究发现,立体视频中运动物体的视差随时间改变过快会降低 SVC^[3]。随后又通过实验发现,即使在舒适观看的景深范围内,如果物体在深度方向上按阶跃函数移动,观看者也会产生视疲劳^[4];F. Speranza 将立体视频中运动物体在深度方向上的运动进行快速、中速、慢速三种分类,研究得出视差量级随时间的变化比单纯的视差量级本身对 SVC 的影响更为重要^[5]。M. Lambooija 总结出立体序列深度运动的引入会导致调节响应的降低,并且 SVC 会明显地下降^[6]。Jing Li 通过研究随机点图中在不同深度平面上的马耳他十字的旋转运动,发现增大马耳他十字平面旋转运动的速率,更容易感觉到视觉不舒适度,并在此基础上建立了两个视觉不舒适度的模型^[7]。

立体视觉的深度运动特性,主要体现在视差的时间分布和空间分布,以及二者的关系——运动上,具体表现在运动物体的运动速度、运动位置、和运动方向等方面。目前,对立体视频的 SVC 的研究,基本上都集中在视差大小和类型上,而对于立体视觉深度运动特性导致的 SVC 问题,却并没有深入的研究。同时当前研究采用的测试序列主要为包含运动物体的三维场景的视频,由 3D Studio Max, Maya 等 3D 建模软件制作而成,其中包含了遮挡、阴影、纹理等多种心理暗示线索,因此实验结果并不能准确保证是由视差的时空分布与运动关系造成的。所以,文中为了更好的研究视差与运动的关系对 SVC 的影

响,采用了排除其它心理暗示线索的运动随机点图进行测量,分析了包括运动位置、运动方向和运动速度在内的深度运动特性对 SVC 的影响,建立了能够准确预测 SVC 深度运动模型。

1 实验设计

1.1 被试者

24 位被试者参与此次试验,其中 11 名男生,15 人曾有过立体图像测试的实验经历。参加实验的被试年龄范围为 21~38 岁,平均年龄为 26 岁,所有被试经测试都是立体视觉正常或矫正正常。

1.2 实验装置

实验采用的 19 寸立体显示器为双屏液晶显示器,分辨率为 1 280×1 024,使用线性偏光立体眼镜,其中左右眼正交,具有很高的对比度和透光率,可以较好地减轻串扰对 SVC 的影响。实验装置如图 1 所示,舒适观看距离为 0.9 m,3 倍显示器高度^[8-9]。

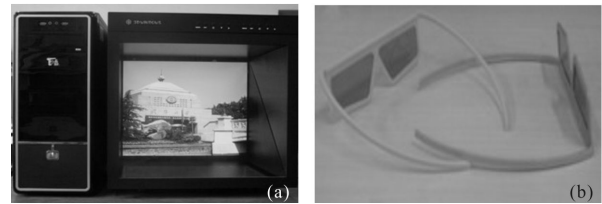


图 1 3D windows 显示器和偏振眼镜

Fig.1 3D display and polarized glasses

1.3 测试序列

参考赵丽等人单帧图像序列的制作方法^[10],实验采用动态随机点立体图像作为测试序列,同 Maya 等 3D 建模软件制作的测试序列相比,可以排除其它心理暗示线索的影响。测试序列由 Matlab 生成,可以精确地控制运动物体的运动位置、运动方向和运动速度,并能消除测试序列帧间随机点的相关性。生成的序列分辨率为 1 280×1 024,白点为背景,黑点大小为 4×4,密度为 50%,运动物体的大小占整个图像大小的 30%;测试序列时长为 1 min,帧速率为 25 fp/s。

1.4 实验步骤

实验参考 ITU-R BT.1438 和 ITU-R BT.500^[8-9],设计了适合动态随机点立体图的改进 5 分制评分准则,具体如表 1 所示。主要对以下四项进行评测:隐藏图形的完整性(大小判断),隐藏物体的位置和深度的辨识度,隐藏物体运动的激烈程度,观看的视疲劳

程度。SVC 分值范围为 0~5,最小量值为 0.1。

表 1 动态随机点立体图的主观评价准则

Tab.1 Subjective evaluation criteria of dynamic random dot stereograms

SVC	Shape	Position and depth recogniton	Motion perception	Visual fatigue
Very comfortable	Intact	Easily	Easily	None
Comfortable	Intact	Able	Able	None
Slightly uncomfortable	Basically intact	Slightly hard	Slightly hard	Slightly
Relatively uncomfortable	Obscure	Relatively hard	Relatively hard	Intensively
Very uncomfortable	Damaged	Unable	Unable	Severlly

深度运动的位置分别在 0~0.3D(屏幕前), -0.3D~0.3D(全程)和 -0.3D~0(屏幕后)之间;深度运动速度为匀速运动 30 cm/s、45 cm/s、60 cm/s、75 cm/s 和 90 cm/s,一共进行 15 组实验。实验过程如图 2 所示,实验前,被试者经 1 min 的预实验(A1)适应并了解实验过程,休息 2 min(B1);之后根据实验要求,测试 1 min,休息 2 min,交替进行,为了避免由于观看时间过长而产生视疲劳,整个过程不超过 30 min。实验中深度方向运动的效果如图 3 所示。

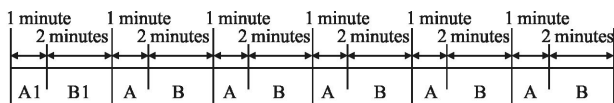


图 2 实验过程

Fig.2 Experimental process

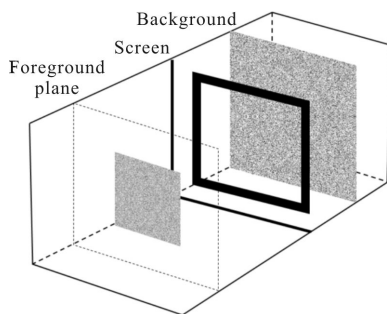


图 3 深度方向运动效果图

Fig.3 Effect diagram of motion in depth

2 实验结果及分析

2.1 实验结果

对主观测试结果进行统计分析,剔除不合格的数据,置信区间为 95%。将符合要求的 15 组实验结果分成三组分别采用对数回归分析进行趋势预测,计算得出深度运动情况下的 SVC 与运动速度的拟合公式如下所示:

$$y = \begin{cases} -1.13\ln(x)+7.7213 & R^2=0.9972 \text{ behind the screen} \\ -1.15\ln(x)+7.5319 & R^2=0.9876 \text{ the whole path} \\ -1.436\ln(x)+7.5319 & R^2=0.9792 \text{ before the screen} \end{cases}$$

式中: x 为深度方向上的运动速度,单位为 cm/s ; y 为 SVC 值; R^2 为对数回归分析的测定系数(拟合优度),表示深度运动的拟合公式对通过主观评价得到的 SVC 均值的拟合程度,取值范围为 $[0, 1]$ 。 R^2 越接近 1,说明回归曲线对观测值的拟合程度越好。

根据实验结果绘制三种深度运动情况下 SVC 与深度方向上运动速度关系图,如图 4~7 所示。其中 x 为轴深度方向上的运动速度, y 轴为主观测试的 SVC 均值,范围为 0~5,误差值为 $\pm\text{SEM}$ (均值标准误差)。

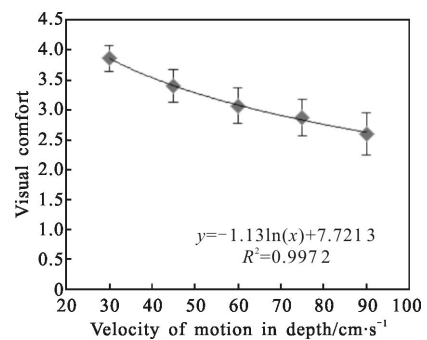


图 4 屏幕后深度运动

Fig.4 Motion in depth behind the screen

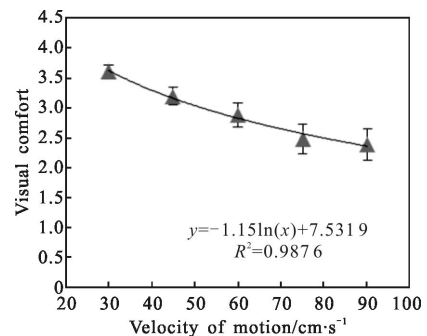


图 5 全程深度运动

Fig.5 Motion in depth of the whole path

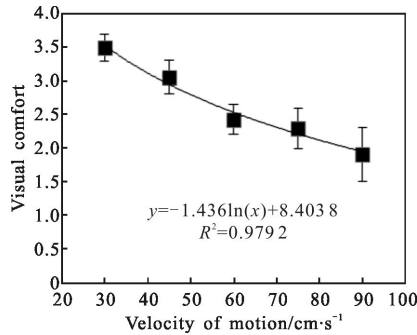


图 6 屏幕前深度运动

Fig.6 Motion in depth before the screen

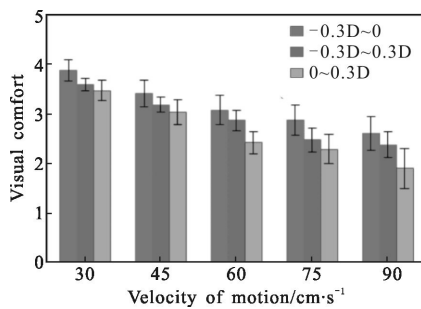


图 7 三种深度运动的 SVC 对比

Fig.7 Visual comfort and three kinds of motion in depth

2.2 分析与讨论

由图 4~6 可以看出, SVC 随着深度方向运动速度的增大而减小, 误差随着深度方向运动速度的增大而变大。其中, 在图 5 所示的全程运动中, 分析五种速度分类的主观实验结果, 发现当目标物体匀速从屏幕后逐渐向屏幕前往返运动时, 被试者感受到的屏幕前后的运动速度并不一致: 当物体在屏幕前面运动时, 感受到的速度要比在屏幕后面的要快, 并且识别也更困难一些。同时, 当运动物体在由屏幕后向屏幕前面运动的过程中时, 被试者感觉到当物体越来越远时, 形状也越来越大, 反之, 运动物体逐渐远离被试者时, 感觉上越来越小, 有透视的效果出现。

对比图 4~6 可以发现, 三种不同位置下的深度运动与 SVC 的曲线, 落在在 y 轴上的取值范围不同, 证明三种深度运动类型对 SVC 的影响程度不同。由图 7 可以发现, 当物体在屏幕前面运动时, SVC 最低, 反之, 当物体在屏幕后运动时, SVC 最高。三种深度运动曲线的测定系数 R^2 分别为 0.9972, 0.9876, 0.9792, 证明该对数回归曲线对 SVC 主观评价值的拟合程度较高。

图 8 是 SVC 的预测值与主观评价值的散点图, 从图上可以看出, 三种深度运动情况下的 SVC 主观评价值与预测值集中分布在对角线附近区域, 说明预测值与主观评价值具有高度的一致性。进一步计算得到三种深度运动情况下 PCC 值, 分别为 0.998、0.993、0.989, 相关程度很高, 充分表明该预测模型能够准确地预测运动立体视频的 SVC。

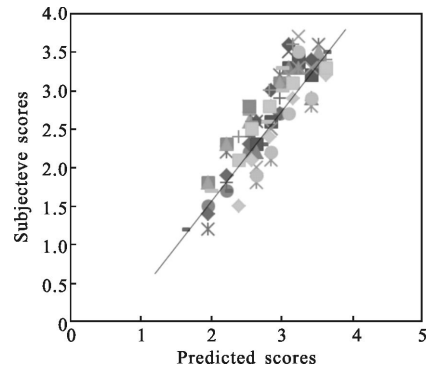


图 8 预测值与主观评价值的散点图

Fig.8 Scatter plot of the predicted scores and the subjectives scores

由此可以推断, 当立体视频中目标物体的运动速度越快, 人眼识别运动物体的形状和运动的位置越不容易, 为了跟上物体的运动变化, 被试者需要高度集中注意力, 所以会更容易感觉到视疲劳。而当物体在屏幕前面运动时, 人眼感受到的运动效果显得更为激烈, 更容易产生不舒适感。

3 结论

文中采用动态随机点立体图作为测试序列来探索立体视觉深度运动特性, 排除其它心理暗示线索的影响, 通过改变运动物体的运动位置, 运动方向和运动速度, 进行测试, 对得到的实验数据进行对数回归分析预测, 建立了三种情况下的深度运动与 SVC 的拟合公式, 并分别计算三种深度运动情况下 PCC 值, 证明了该预测模型能够准确地预测运动立体视频的 SVC。实验结果表明, 动态随机点立体图能够诱发透视的视觉效果; 运动物体在深度方向上的运动速度越大, SVC 越差; 当物体在屏幕前面运动时, 被试者更容易感受到视疲劳。文中的实验结果, 对建立符合人眼视觉规律的立体视频拍摄及处理的规则具有借鉴作用, 为解决观看立体视频带来的不舒适感提供了参考方向。

参考文献:

- [1] Lambooi M, Fortuin M, IJsselsteijn W A. Measuring visual discomfort associated with 3D displays [C]//IS&T/SPIE Electronic Imaging, International Society for Optics and Photonics, 2009: 72370K-72370K-12.
- [2] Lambooi M, IJsselsteijn W A, Heynderickx I. Visual discomfort in stereoscopic displays: a review [C]//Electronic Imaging 2007, International Society for Optics and Photonics, 2007: 64900I-64900I-13.
- [3] Yano S, Emoto M, Mitsuhashi T. Two factors in visual fatigue caused by stereoscopic HDTV images [J]. *Displays*, 2004, 25(4): 141-150.
- [4] Yano S, Ide S, Mitsuhashi T. A study of visual fatigue and visual comfort for 3D HDTV/HDTV images [J]. *Displays*, 2002, 23(4): 191-201.
- [5] Speranza F, Tam W J, Renaud R. Effect of disparity and motion on visual comfort of stereoscopic images [C]//Electronic Imaging 2006, International Society for Optics and Photonics, 2006: 60550B-60550B-10.
- [6] Lambooi M, Fortuin M, Heynderickx I. Visual discomfort and visual fatigue of stereoscopic displays: a review [J]. *Journal of Imaging Science and Technology*, 2009, 53(3): 30201-1.
- [7] Li J, Barkowsky M, Wang J. Study on visual discomfort induced by stimulus movement at fixed depth on stereoscopic displays using shutter glasses [C]//Digital Signal Processing (DSP), 2011 17th International Conference on IEEE, 2011: 1-8.
- [8] ITU-R BT.1438, Subjective Assessment of Stereoscopic Television Pictures[S]. 2000.
- [9] ITU-R BT.500, Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures[S]. 2002.
- [10] Zhao Li, Zhao Yuming, Wan Changming. Composition method of color stereo image based on single frame image [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2003, 32(4): 382-385. (in Chinese)
赵丽, 赵宇明, 万长明. 基于单帧图像的彩色立体图像的生成[J]. *红外与激光工程*, 2003, 32(4): 382-385.