

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 **5**
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年5月 第17卷 第5期(总第193期)

目次

综述

- 中国图像工程:2011 章毓晋(603)
- 植物叶片表面质感建模与真实感绘制研究进展 田原,赵春江,陆声链,郭新宇(613)

图像处理和编码

- 高位有效位概率算术解码的图像密写改进算法 马丽红,吕先明,高小满(621)
- 滑动平均和改进权重函数的快速非局部平均图像去噪算法 熊波,尹周平(628)
- 提升小波的同态滤波在图像烟雾弱化中的应用 范有臣,李迎春,韩意,张来线(635)

图像分析和识别

- 基于彩色模型的重构标记分水岭分割算法 张桂梅,周明明,马珂(641)
- 均衡化特征匹配的非刚体细胞形态跟踪 陈莹,艾春璐(648)
- 图像斑状特征位置与尺寸的自动检测 王志衡,刘红敏(656)
- 改进极化白化滤波的边缘检测 邓少平,张继贤,李平湘,黄国满(665)
- 联合特征在行人检测中的应用 杨阳,杨静宇(671)
- Gabor 相位特征的人脸光照不变量提取 范春年,张福炎(676)

图像理解和计算机视觉

- 保持几何特征的自适应弹性二次曲线模型 蒋建国,郝世杰,郭艳蓉,詹曙,李鸿(682)
- 局部颜色映射的彩色夜视算法 钱小燕,张天慈,王帮峰,黄圣国(689)
- 结合分支定界法和线性规划的摄像机位姿估计 马文娟(694)

金字塔评分改进主方向模板匹配的实时目标检索 洪朝群,朱建科,李娜,卜佳俊,陈纯(700)

计算机图形学

类曲率在曲线相似性判定中的应用 于昊,赵乃良,陈小雕(707)

虚拟现实与增强现实

人机系统中视域评估的可视化 李倩,吉晓民,林文周(715)

遥感图像处理

小波方向子带偏微分方程遥感图像去噪 王相海,李放,王爽(721)

遥感图像理想均衡化及图像质量定量评价 孟天佑,汪云甲(729)

地理信息技术

点要素扇形缓冲区的设计与应用 侯景伟,孔云峰,张迪,吕可文(740)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996年创刊)

第17卷 第5期

2012年5月16日出版

主管单位 中国科学院

主 办 中国科学院遥感应用研究所

中国图象图形学学会

北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会

北京9718信箱 邮编 100101

电子信箱:jig@irsa.ac.cn

电话:010-68407995 010-82614429

网 址:www.cjig.cn

印刷装订 北京北林印刷厂

广告经营许可证 京朝工商广字第0346号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

国外发行 中国国际图书贸易总公司

(中国国际书店)

(北京399信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,

CAS China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational

Mathematics

Chief editor LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board

of Journal of Image and Graphics

(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)

E-mail:jig@irsa.ac.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers

and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading Corporation

(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)

Printed by Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTFXZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00元

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 5 May 2012

Contents

Review

- Image engineering in China: 2011 Zhang Yujin (603)
- Advances in appearance modeling and photorealistic rendering of plant leaves
..... Tian Yuan, Zhao Chunjiang, Lu Shenglian, Guo Xinyu (613)

Image Processing and Coding

- Most significant bits probability arithmetic decoding for improved image steganography
..... Ma Lihong, Lv Xianming, Gao Xiaoman (621)
- Fast non-local means for image de-noising on moving average and modified weight function Xiong Bo, Yin Zhouping (628)
- Weakening of smoke for homomorphic filtering Fan Youchen, Li Yingchun, Han Yi, Zhang Laixian (635)

Image Analysis and Recognition

- Image segmentation algorithm for reconstruction labeling watershed in color space Zhang Guimei, Zhou Mingming, Ma Ke (641)
- Non-rigid cell contour tracking method for balanced feature matching Chen Ying, Ai Chunlu (648)
- Automatically detecting position and size of blob features in images Wang Zhiheng, Liu Hongmin (656)
- Improved polarimetric whitening filter for edge detection Deng Shaoping, Zhang Jixian, Li Pingxiang, Huang Guoman (665)
- Pedestrian detection based on compound feature Yang Yang, Yang Jingyu (671)
- Illumination invariant extraction on Gabor phase Fan Chunnian, Zhang Fuyan (676)

Image Understanding and Computer Vision

- Adaptive geometrical-feature-preserving elastic quadratic wire model
..... Jiang Jianguo, Hao Shijie, Guo Yanrong, Zhan Shu, Li Hong (682)
- Color night vision algorithm based on local color mapping ... Qian Xiaoyan, Zhang Tianci, Wang Bangfeng, Huang Shengguo (689)
- Camera pose estimation using branch and bound method with linear programming Ma Wenjuan (694)
- Real-time object retrieval with dominant orientation template matching improved by pyramid scoring
..... Hong Chaoqun, Zhu Jianke, Li Na, Bu Jiajun, Chen Chun (700)

Computer Graphics

- Quasi-curvature and its application in similarity measurement of curves
..... Yu Hao, Zhao Nailiang, Chen Xiaodiao (707)

Virtual Reality and Augmented Reality

- Visualization of the visual range assessment in man-machine system Li Qian, Ji Xiaomin, Lin Wenzhou (715)

Remote Sensing Image Processing

- Remote sensing image de-noising on partial differential equation in wavelet directional subband
..... Wang Xianghai, Li Fang, Wang Shuang (721)
- Ideal equalization of remote sensing images and quantitative assessment of image quality Meng Tianyou, Wang Yunjia (729)

Geoinformatics

- Design and applications of sector buffers for point feature
..... Hou Jingwei, Kong Yunfeng, Zhang Di, Lv Kewen (740)

中图法分类号: TP391 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)05-0715-06

论文引用格式: 李倩, 吉晓民, 林文周. 人机系统中视域评估的可视化[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(5): 715-720

人机系统中视域评估的可视化

李倩¹, 吉晓民², 林文周¹

1. 西安理工大学机械与精密仪器工程学院, 西安 710048; 2. 西安理工大学艺术与 design 学院, 西安 710048

摘要: 为了达到视域评估的可视化效果, 文中构建了人眼可视范围的半透明模型, 并绑定到虚拟人的骨骼中, 通过驱动虚拟人, 以实时混合绘制技术完成动态视域评估。以龙门式数控加工中心造型设计模型为对象进行实例仿真, 结果表明逼真的可视化效果使得视域评估变得简单、快捷和直观, 避免了大量的人工运算, 提高了视域评估的速度、降低了人为失误。该方法可直接面向工程的实际应用, 满足各类布局设计的可视化评估要求。

关键词: 人机工程; 视域评估; 虚拟人; 可视化

Visualization of the visual range assessment in man-machine system

Li Qian¹, Ji Xiaomin², Lin Wenzhou¹

1. School of Mechanical and Precision Instrument Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;
2. College of Art and Design, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China

Abstract: Visual range assessment is an important part of the ergonomics analysis. In order to get achieve visual effects for the visual range assessment, we construct a translucent model of the human eyes' visible range and bind it to the bones of the ergonomic virtual human. Then, a real-time dynamic visual range evaluation is achieved by using real-time blend rendering technology. As an example, the gantry CNC machining center design model is taken to demonstrate the effectiveness of the method. It shows that the vivid visualization analysis not only makes the ergonomics analysis simple, fast, and visible, but also avoids many manual operations, improving the speed of the analysis, and reducing the human errors. The method can be applied in the practical engineering directly and it can support the visibility analysis of various types of layout design.

Key words: human engineering; visual range assessment; virtual human; visualization

0 引言

随着信息技术的飞速发展, 视觉信息岗位在劳动岗位中所占比重越来越大。有资料统计, 在人们认识世界的过程中, 约有 80%~90% 的信息是通过视觉系统获得的^[1]。视觉信息作业是以处理视觉信息为主的作业, 如控制室作业、办公室作业、目视检查作业以及视觉显示终端作业等。人的视觉特性

对显示器认读的速度与准确度, 对操作的可靠性与效率均是关键的因素。要获得高效安全的工作状态, 操作者必须要有良好的视物空间。

可视性检查(视域评估)作为人机工程分析中的重要组成部分, 对视物空间的设计起到了关键性的作用。在各类座舱设计中, 必须充分考虑乘务员的视域分布^[2], 因为座舱内各类仪器、仪表的布局及视野的合理性, 对乘务员正确完成各种操作极为重要。对于机械、仪表和控制器的设计, 必须十分注

收稿日期: 2011-05-25; 修回日期: 2011-09-24

基金项目: 陕西省自然科学基金项目(2010JM7011)

第一作者简介: 吉晓民(1958—), 男, 教授, 2001年在西安理工大学获机械设计及理论博士学位, 主要研究方向为有机设计理论与方法、产品造型与仿真、计算机辅助工业设计等, 发表论文 50 余篇, 出版著作 4 部。E-mail: jixm@xaut.edu.cn

意人与显示装置之间的相互关系设计,也就是重视人的视觉、仪器、仪表系统的设计是否协调匹配、控制面板的布局、显示屏尺寸等是否满足人机工程学的设计要求^[3]。在虚拟人的动作设计中,也必须考虑人的视觉特性,通过可视性检查可进一步改进虚拟人的姿态设计^[4]。

本文借助于虚拟人模型,结合人眼的 3 维视域模型,通过动态仿真,达到视域评估的可视化效果,从而广泛应用于视觉信息岗位中的机械、仪表、控制器等部件的设计,并寻求座舱内、控制台、车间以及室内各种设备的最佳布局方式,最终达到产品对人的适应。

1 视域评估的现状

早期的视域评估采用的是清单式或演练式,费时费力。后来借助于计算机的图形绘制能力,可输出视域与被测物体在空间分布的三视图,并作定性分析和判定。这种 3 维求解及绘制方法虽然简单,但是需要输入大量参数,且误差较大。

随着计算机技术的迅猛发展,使得人机工程分析不再局限于传统的数据积累等应用范畴^[5]。充分利用计算机的高效能图形计算能力,可以为人机工程学的研究手段和评价方法提供新的可能性。虚拟人体模型作为计算机辅助人机工程设计的关键性技术^[6],可以提高人机评价系统的交互性和沉浸感,是当前国外人机工程学的研究热点^[7-9]。国外的科研机构已开发了这方面的软件,如 Anybody, SAMMIE, Ecole 以及 Jack 等^[10]。目前国内许多高校,如浙江大学、西北工业大学、太原理工大学等也在从不同的角度对人机评价进行研究^[11-13]。但是由于起步晚,这些系统并不成熟,尚未实现商业化。

Jack 软件是目前公认较成功的人体仿真与工效评估软件^[14]。Jack 中为可视性提供了 3 个模块来分析:Eye View、View Cones 和 Visual Fields,它们基本上代表了视域可视化评估的 3 种实现方式。

第 1 种是平面的视域。如 Eye View 模块可以得到左眼、右眼及双眼的视域,但是这种 2 维视窗只能显示视野的范围,并不能看出物体是否在视距之内。

第 2 种是立体的视域。如 View Cones 模块提供了人眼看到物体时,眼光所扫描过的视锥。目前这种方式的缺点是,不能很好地分辨出物体到底是被

遮挡还是在视锥之内。

第 3 种是投影的视域。如 Visual Fields 模块能给出人眼感觉绿色、红色、蓝色、黄色的视域以及盲点的位置。这种方式的缺点是,计算复杂度高,给系统的实时性渲染造成了负担。

Jack 虽然能够生成逼真的视域,并给出评估者一个定性评估结果,但是视域模型过于简化且不能修改,并且软件昂贵,也不利于人机功效分析的推广和普及。更最重要的是,现有的视域评估方式只包含视野方面,而忽略了视距方面的限制,因此不适合精确评估的要求。针对上述问题,较研究包括视域评估在内的更加有效和方便的可视化功效评估方式,从而改进当前软件在可视性评估中的不足。

2 视域的实时可视化研究与评估

为构建实时的动态视域可视化评估,本文尝试用半透明的 3 维视域模型绑定功效虚拟人,然后在虚拟环境中驱动虚拟人做静态或动态的仿真评估。通过开启颜色混合绘制,可实时观测出虚拟人的可视性范围,经颜色差异分辨出环境中操纵设备、显示装置、工作台面等各种物体相对于视域的分布位置。方法的整个流程如图 1 所示。

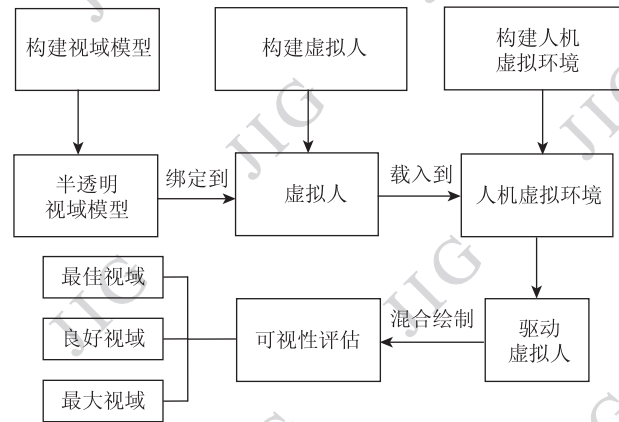


图 1 视域评估流程图

Fig. 1 Flow chart of visual field assessment

2.1 视域建模

人在头部固定且眼球不转动的条件下能够看到的空间范围称为视野,常以角度来表示。视域评估一般以静视野为依据进行设计,以减少人眼的疲劳。人的正常视力范围比视野要小,这是因为视力范围是要求能迅速、清晰地看清目标的细节,所以只能是视野的一部分。通常在水平面内的视野是:双眼视

野大约在左右 60° 以内的区域。在垂直平面内的视野是:最大视域为标准视线以上 50° 和标准视线以下 70°^[15]。实际上,人的自然视线是低于标准视线的。在一般状态下,站立时自然视线低于标准视线 10°;坐着时低于标准视线 15°;在很松弛的状态中,站着和坐着的自然视线偏离标准视线分别为 30° 和 38°。

视距是指人在操作系统中正常的观察距离。一般操作的视距范围在 38 ~ 76 cm 之间,而机动车辆驾驶员的视距一般在 150 cm 以上。视距过大或过小都会影响认读的速度和准确性,而且观察距离与工作的精确程度密切相关,一般可以分为最精细的工作、精细的工作、中等粗活、粗活、远看等几种。

现根据中等粗活对视野及视距的要求来绘制可视范围的 3 维模型,如图 2 所示,这个视域范围可以用作一般性的可视性检查。如果要进行更精细的工作或远看等任务时,则需要调整视域模型的大小来满足具体的要求。

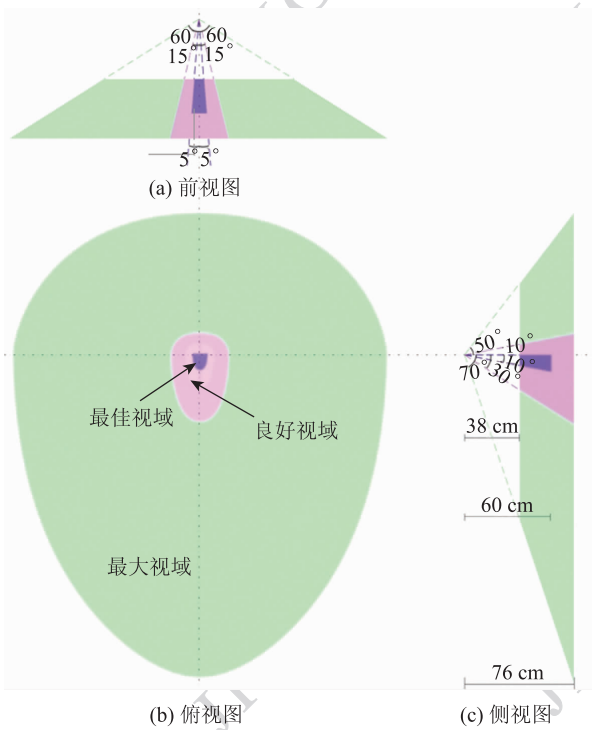


图 2 视域 3 维模型

Fig. 2 The three-dimensional visual field model

2.2 虚拟人

引入虚拟人可极大地增强沉浸感,并实现动态检测效果。虚拟人是产品人机交互设计与评价仿真中必不可少的技术手段。虚拟人模型一般由 69 个

段和 68 个关节构成,共 135 个自由度。如果将关节看成点,关节之间的骨骼看成是链,就可以按照运动关系将各肢体链接起来,从而用一个树形结构来表达人体模型的层次关系。由此构建的层次虚拟人各肢体之间存在着运动连带关系,并分为主要的 5 条运动学链。转动头部主要涉及头链(CHAIN_HEAD);颈部—头部—眼睛。因此将视域模型绑定到头部中的眼睛部位,即可以让虚拟人的头部带动视域模型一起运动。

文献[16]的方法,并按国标 GB1000-88 中我国成年女子第 95 百分位为基准,构建虚拟人的静态模型。将视域模型绑定到虚拟人头骨的眼睛部位,如图 3 所示,通过驱动虚拟人行走、转身、扭头等动作,视域模型也跟着一起移动。

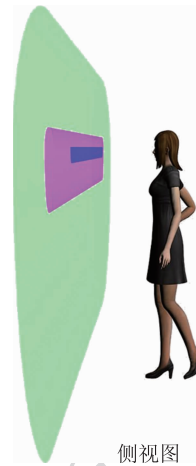


图 3 视域绑定到虚拟人

Fig. 3 Bind the visual field model to the virtual human

2.3 混合绘制

将视域模型设置为半透明混合绘制时可以达到类似体积光的可视化效果,从而满足可视性评估的需要。在 RGBA 模式下,可开启混合,即调用 glEnable(GL_BLEND)。已知混合两个像素的公式为

$$O = S \otimes \lambda_1 + D \otimes \lambda_2$$

式中, O 表示混合后的像素值(Output Pixel), S 为源颜色(Source Pixel), λ_1 为源因子(Source Blend Factor), D 为目标颜色(Dest Pixel), λ_2 为目标因子(Dest Blend Factor),符号 \otimes 表示分量相乘。源因子和目标因子设置的不同将直接导致混合结果的不同。

源因子和目标因子可以通过 glBlendFunc 函数来进行设置。glBlendFunc 有两个参数,前者表示源

因子,后者表示目标因子。如常用的 `glBlendFunc (GL_SRC_ALPHA, GL_ONE_MINUS_SRC_ALPHA)`,它表示源颜色乘以自身的 alpha 值,目标颜色乘以 1.0 减去源颜色的 alpha 值,这样一来,源颜色的 alpha 值越大,则产生的新颜色中源颜色所占比例就越大,而目标颜色所占比例则减小。

在绘制半透明物体时前,需要将深度缓冲区设置为只读形式,即调用 `glDepthMask (GL_FALSE)`,否则可能出现画面错误。部分 OpenGL 伪代码如下:

```
void myDisplay( void)
{
    ..... // 定义一些材质颜色
    glClear( GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT); // 清除屏幕
    glEnable(GL_BLEND); // 启动混合
    glBlendFunc( GL_SRC_ALPHA, GL_ONE_MINUS_SRC_ALPHA); // 设置混合因子
    ..... // 绘制所有实体
    glDepthMask( GL_FALSE); // 将深度缓冲设置为只读
    ..... // 双面绘制半透明视域模型
    glDepthMask( GL_TRUE); // 将深度缓冲区恢复为可读可写的形式
    glutSwapBuffers();
}

```

2.4 可视性评估

可视性评估分为视野和视距两部分。以透过视域观测球体为例,当球体从后往前不断向视点靠近,截取 4 种情形(球体全部在最大视距之外、球体一部分在视距之内、球体一部分超出最小视距、球体完

全超出最小视距),如图 4 所示。视野的评估很简单,凡是处于视域轮廓之内的区域都表明在视野内,否则在视野之外。视距的评估需要通过颜色来分辨。为体现出双面混合绘制的优越性,先将视域模型进行单面绘制,得到图 4(a)~(d) 4 幅不同情形下的效果图。画面中可观察到最多 3 种不同的颜色,一种是视域的颜色(区域①),该区域内包含的其他颜色区域都表示在视野之内;一种是球体的颜色(区域③),该颜色区域表示 \leq 最小视距;另外一种颜色为混合色(区域②),该区域表示 \geq 最小视距,因此这种普通的方法不能够判断出视野内的区域到底是被视域遮挡还是处于视距之内。本文方法将视域模型采用双面绘制,可得到图 4(e)~(h) 4 幅不同情形下的效果图。此种情况下可观察到最多 4 种不同的颜色,一种是视域的颜色(区域④),该区域内包含的其他颜色区域都表示在视野之内;一种是球体的颜色(区域⑦),该颜色区域表示 \leq 最小视距;另外两种颜色为混合色(区域⑤和⑥),区域⑤表示 \geq 最大视距,区域⑥表示 \geq 最小视距且 \leq 最大视距。综合视野和视距,得出区域⑥在可视范围之内。

利用上面的方法,人眼可通过颜色对比,清晰地分辨出 3 维场景中视域模型与周围物体间的前后遮挡关系。需要注意的是,视域模型所采用的颜色跟被检测对象的颜色须保持一定差异性,另外视域的透明度在 20% 左右时,能达到较好的视觉效果。

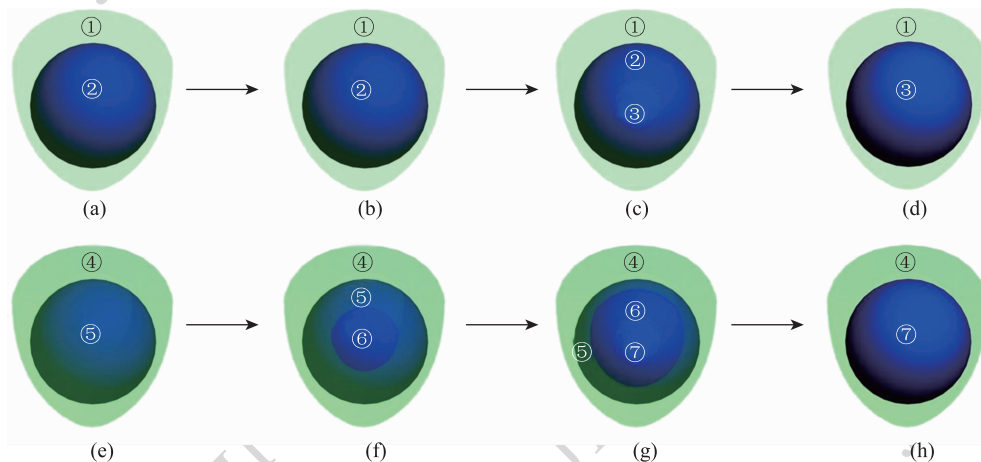


图4 视域与球体的混合绘制效果

Fig. 4 Hybrid rendering effect of the visual field model and the sphere

3 应用实例

数控加工中心是提升一个国家装备制造能力的先进机械加工设备,国内外著名机床制造企业均将其作为优先开发的产品之一。随着用户对人性化和美观要求的不断提高,越来越多的机床制造企业开始重视其造型设计及人机评估。以课题组为某国有企业设计的龙门式数控加工中心造型设计模型^[17]为对象,对其进行视域评估。

首先将虚拟人加载到场景中,然后采用静态和动态两种方式进行评估。透过虚拟人眼的角度可以判断出观测部位在最佳区域、良好区域和最大区域内的分布情况。此外,也可以设置固定的视点位置,或者采用360°方式以任意的角度来观测。如图5所示,当走到机床门口时,可通过两边的窗口来观察数控加工中心内部机床的运行状况。对窗口的可视性检测时,精确性要求不高,只要整体造型美观,且保证眼高附近的玻璃面积很大就可以。图6为虚拟人走到操控面板旁的情形,可以观察到面板中的显示屏处在了良好视域之上。这种设计容易造成眼睛和脖子的疲劳,因此需要将整个操控面板向下调整。图7是从虚拟人眼的观测角度进行评估的情形,可以看出下调21 cm后的操控面板有3/4都处在了良好视域之内,而剩余的1/4没有被视域遮挡。查找原因后知道,由于墙面的倾斜设计,导致该部位距离虚拟人眼的距离小于最小视距。调整虚拟人远离操控面板一步后,可以令操控面板的大部分处于良好视域之内。经过调整后,操控面板的布局在可视性方面有了很大的提高。



图5 窗口的可视性评估

Fig. 5 Visual assessment of window

通过上述工作,令视域评估较早地介入了龙门数控加工中心的产品研发过程,从真正意义上实现了产品对人的适应,提高了机床的工作效率和安全性,并提升了市场竞争能力。

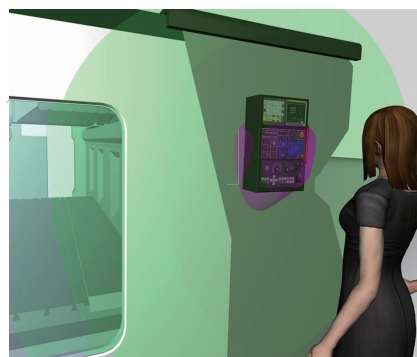


图6 操控面板的可视性评估

Fig. 6 Visual assessment of operation control panel

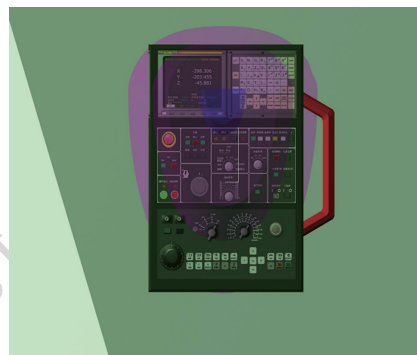


图7 从虚拟人眼角度观测

Fig. 7 Observations from the virtual eye point of view

4 结论

本文采用视域模型绑定功效虚拟人的方法,可以完成视域检测的动态仿真。同时也证明了,在采用双面颜色和混合绘制相结合的方式下,可以轻松分辨出物体相对于可视范围的分布状况,达到一目了然的可视化效果。这种方法与已有的工效分析软件相比,在视域的准确性和可视性的效果上都有了很大的改进。整个评估过程达到了简单、快捷、逼真的效果,避免了大量的人工运算、提高了分析速度、降低了人为失误,并可直接面向工程的实际应用来做工效分析,从而为布局的优化设计提供改进依据。

参考文献 (References)

- [1] Fu P. Virtual human study of computer aided ergonomics design [D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2003. [付鹏. 计算机辅助人机工程设计的虚拟人研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2003.]
- [2] Chevaldonné M, Ballaz C, Mérienne F, et al. Field-of-view tests for a virtual cockpit application [J]. Journal of Electronic Imaging. 2006, 15(2):020501(1)-020501(3).
- [3] Bolton M L, Bass E J, Comstock J R. Spatial awareness in synthetic vision systems: using spatial and temporal judgments to evaluate texture and field of view [J]. Human Factors: the Journal of the Human Factors and Ergonomics Society. 2007, 49(6):961-974.
- [4] Marler T, Farrell K, Kim J, et al. Vision performance measures for optimization-based posture prediction [C] // Proceedings of the 2006 SAE DHM Conference. Lyon, France, 2006:2334
- [5] Luo S J, Sun S Q, Tang M X, et al. Study on computer-aided ergonomics design [J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2005, 39(6):805-809. [罗仕鉴, 孙守迁, 唐明晰, 等. 计算机辅助人机工程设计研究[J]. 浙江大学学报:工学版. 2005, 39(6):805-809.]
- [6] Lu Z L, Tang W C. Review on Theory, Technology and Application Research of Ergonomics in Industrial Design [J]. Journal of Engineering Graphics, 2009, 6: 1-9. [卢兆麟, 汤文成. 工业设计中的人机工程学理论、技术与应用研究进展[J]. 工程图学学报, 2009, 6:1-9.]
- [7] Maatta T J. Virtual environments in machinery safety analysis and participatory ergonomics [J]. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing, 2007, 17(5):435-443.
- [8] Lamkull D, Hanson L, Ortengren R. The influence of virtual human model appearance on visual ergonomics posture evaluation [J]. Applied Ergonomics. 2007, 38(6): 713-722.
- [9] Siefert A, Pankoke S, Wolfel H P. Virtual optimization of car passenger seats: Simulation of static and dynamic effects on drivers' seating comfort [J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2008, 38(5-6):410-424.
- [10] Xu M, Sun S Q. Progress of Research on Computer-Aided Ergonomics [J]. Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics, 2004, 16(11): 1469-1474. [徐孟, 孙守迁. 计算机辅助人机工程研究进展[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 16(11): 1469-1474.]
- [11] Chai C L, Huang Q, Dong Z X, et al. Home Appliance-Oriented Ergonomics Analysis and Evaluation System [J]. Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics, 2006, 18(4): 580-584. [柴春雷, 黄琦, 董占勋, 等. 面向家电产品的人机工程分析与评价系统[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006, 18(4): 580-584.]
- [12] Gou B C, Song M X, Yu S H, et al. Research on 3-Dimensional Digitized Man-Machine Design and Evaluation System [J]. Mechanical Science and Technology, 2005, 24(10): 1154-1157. [苟秉宸, 宋明轩, 余隋怀, 等. 三维数字化人机设计与评价系统研究[J]. 机械科学与技术, 2005, 24(10): 1154-1157.]
- [13] Xiao D J, Ren J J, Wu F L. Analysis and Evaluation System of Ergonomics of Exercises Equipment [J]. Mechanical Management and Development, 2009, 24(2): 43-44. [肖东娟, 任家骏, 吴凤林. 健身器材的人机工程分析与评价系统[J]. 机械管理开发, 2009, 24(2): 43-44.]
- [14] Ma Z, Xue H J, Su R E. Human-modeling and Analysis of Ergonomics Based on Jack [J]. Aeronautical Computing Technique. 2008, 38(1):97-100. [马智, 薛红军, 苏润娥. 基于Jack的人体建模与人机工效分析[J]. 航空计算技术. 2008, 38(1):97-100.]
- [15] Ding Y L. Ergonomics [M]. Beijing: Beijing Institute Technology Press, 2002. [丁玉兰. 人机工程学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2002.]
- [16] Li Q, Ji X M, Wang M L. Virtual human simulation method based on Java 3D [J]. Journal of Computer Applications. 2010, 30(11):3084-3086. [李倩, 吉晓民, 王明亮. 基于Java 3D的虚拟人仿真方法[J]. 计算机应用. 2010, 30(11):3084-3086.]
- [17] Lin W Z. Gantry CNC machining center modelling design and virtual display [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2011. [林文周. 龙门式数控加工中心造型设计与虚拟展示[D]. 西安:西安理工大学. 2011.]