

农业装备驾驶室虚拟人机工程学设计与评价

仇莹, 朱忠祥, 毛恩荣, 宋正河^{*}, 刘慧, 徐静, 李晨程

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

摘要: 以拖拉机和联合收割机等典型农业装备驾驶室为研究对象, 建立了基于元件类型、元件、元件特征参数的“顶层、中间层、底层”三层驾驶室人机界面评价指标体系; 利用 OpenGL 参数化模型设计方法和虚拟现实交互技术, 研究了驾驶室分层次模糊综合评判的客观评价方法与基于虚拟漫游交互的主观评价方法; 基于 VS.NET 开发系统和 Multigen Vega Prime 仿真平台, 开发了农业装备驾驶室虚拟人机工程学设计与评价系统。对某国产拖拉机的应用结果表明, 基于所开发系统的客观评价和虚拟试验评价结果基本一致, 可作为一种设计和评价农业装备驾驶室的重要手段。

关键词: 农业装备, 人机工程学, 设计, 驾驶室, 虚拟现实, 评价

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.03.022

中图分类号: S225, TB18

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-03-0117-05

仇莹, 朱忠祥, 毛恩荣, 等. 农业装备驾驶室虚拟人机工程学设计与评价[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 117—121.
Qiu Ying, Zhu Zhongxiang, Mao Enrong, et al. Virtual ergonomics design and evaluation of agricultural equipment cab[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(3): 117—121. (in Chinese with English abstract)

0 引言

与交通运输车辆相比, 农业装备作业环境恶劣, 驾驶员连续工作时间长、劳动强度大, 并且驾驶室的操作元件和显示元件较多。因此, 不合理的驾驶室人机界面布局设计会降低驾驶员的工作效率, 甚至影响其身心健康^[1-3]。

随着信息技术的发展, 计算机辅助设计技术已广泛应用到农业装备设计。而将虚拟现实技术应用于产品的虚拟装配、虚拟维修和驾驶室设计等方面已经成为某些行业的主流方法, 尤其是在汽车、航空等领域^[4-7]。相比于传统的三维设计, 虚拟现实技术具有沉浸感和交互性等优势, 在产品开发前期, 国外 Case 公司和 John Deere 公司等著名农机企业已经引入虚拟现实系统, 用于虚拟样机的仿真研究^[8]。

本文以农业装备驾驶室为对象, 重点分析农业装备驾驶室人机界面构成, 并建立其评价指标体系。根据评价指标体系, 搜集整理相关的设计知识和评价知识, 形成知识库, 同时利用 OPENGL 函数建立三维参数化模型库; 采取分层次模糊综合评判的客观评价方法, 以及通过虚拟现实系统进行漫游交互并开展主观评价; 将设计与评价思想转化成 VS.NET 程序语言, 结合虚拟仿真软件 Vega prime 的二次开发, 形成设计与评价为一体的系统。

1 农业装备驾驶室人机界面评价体系

虽然不同类型的农业装备驾驶室的功能和用途上有所差异, 但是根据人机工程学原理^[9], 都可以归结为同样的体系结构。基于人机工程学原理, 可将农业装备驾驶室人机界面评价体系结构分为三层: 顶层为驾驶室元件所属类型(可分为座椅类、手操纵元件类、脚操纵元件类、仪表板类、显示元件类等), 底层为元件的特征参数(尺寸参数和位置参数等), 中间层为属于同一类的不同元件。这样的层次划分有利于设计与评价方法的建立, 本研究所采用的农业装备驾驶室人机界面的评价体系如图 1 所示。

2 虚拟人机工程学设计与评价系统的构建

虚拟人机工程学设计与评价系统由硬件平台和软件平台两部分组成, 系统的总体结构如图 2 所示。

2.1 硬件平台

硬件平台是实现数据的物理存储、虚拟漫游显示和人机交互的基础。系统的硬件平台包括一台用于设计与评价和数据存储的主机、一套用于虚拟漫游显示和人机交互的虚拟现实系统。其中虚拟现实系统包含三通道被动式投影系统和立体眼镜、位置跟踪器、数据手套等交互外设。

2.2 软件平台

软件平台主要由运行环境和集成开发环境组成, 主要包括 Visual Studio.NET 2003 编程软件、OpenGL 三维图形库、数据库管理软件 SQL Sever 和视景仿真软件 Multigen Vega Prime 2.0。

2.3 系统坐标体系

在人机工程学中, 一般以人体坐标系(H点为原点, 人体测量基准轴为坐标轴)作为基准坐标系。为了方便

收稿日期: 2010-06-24 修订日期: 2010-09-19

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划重大项目(2006BAD11A01)

作者简介: 仇莹(1984—), 女, 河北承德人, 博士生, 主要从事农业装备人机工程学的研究。北京 中国农业大学工学院, 100083。

Email: cheering_qiu@126.com

*通信作者: 宋正河(1973—), 男, 山东日照人, 教授, 博士生导师, 主要从事车辆人机工程学和农业装备工程方向的研究。北京 中国农业大学工学院, 100083。Email: songzhenghe@gmail.com

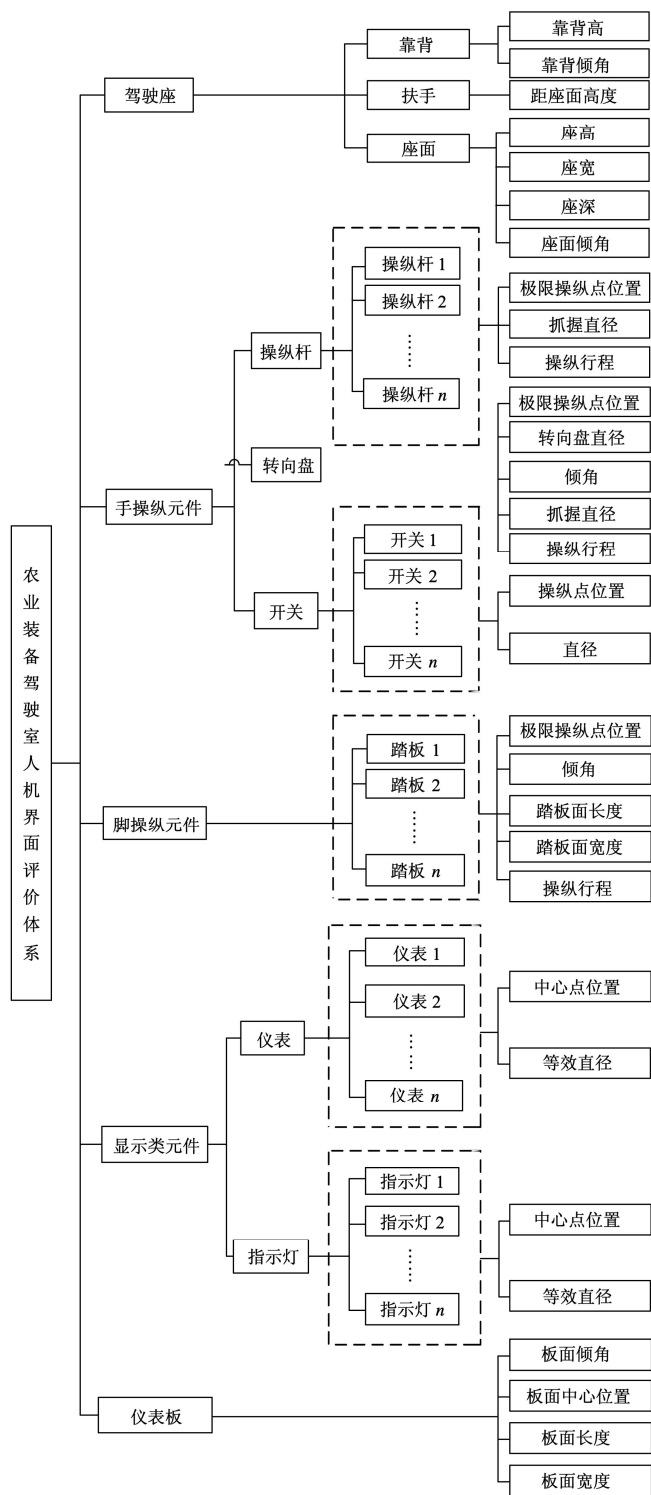


图 1 农业装备驾驶室人机界面评价体系

Fig.1 Ergonomics evaluation index system for agricultural equipment

农业装备驾驶室人机界面空间尺寸的测量, 本文采用人体坐标系进行变换后的坐标系作为农业装备驾驶室人机界面的基准坐标系。将人体 H 点向驾驶室底板表面做铅垂投影, 并将投影点作为农业装备驾驶室人机界面设计的坐标原点。以坐标原点为基准点, 按照右手螺旋定则建立三维直角坐标系, Z 轴平行于人体测量基准轴的铅垂轴, 向上为正方向; X 轴平行于人体测量基准轴的矢状轴, 指向驾驶室前方为正方向; Y 轴平行于人体测量基准轴的

冠状轴, 指向驾驶室左侧方向为正方向。

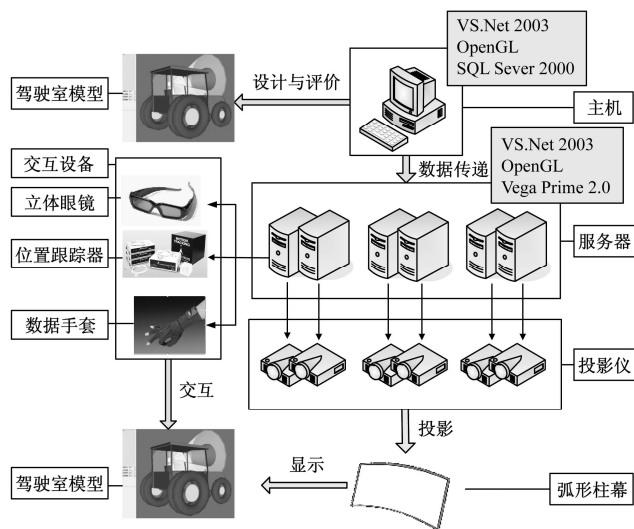


图 2 虚拟人机工程学设计与评价系统结构图

Fig.2 Structure chart of virtual ergonomics design and evaluation system for agricultural equipment

2.4 系统功能

2.4.1 驾驶室设计模块功能

驾驶室设计模块功能包括驾驶室元件设计和人体模型设计。该模块可以通过参数设置建立不同类型和尺寸的驾驶室元件、不同百分位的人体模型以及相应的手脚伸及范围和视野范围轮廓曲面。采用 VS.NET 自带三维图形类库 OpenGL 实现农业装备驾驶室人机界面各元件和人体模型的计算机仿真显示; 通过 SOCKET 数据传输、OpenGL 与 VP 的融合技术^[10], 实现驾驶室人机界面的设计效果在设计主机和虚拟现实系统的同步显示。

此外, 采用链表结构管理模型数据, 使所添加的各种模型可以随时修改或删除, 便于设计方案的修改。

2.4.2 驾驶室评价模块功能

驾驶室评价模块主要实现对单个元件的评价, 并运用分层次模糊综合评价法, 对整个人机界面进行客观综合评价。软件能够自动生成评价结果报告, 评价报告包含评价项目、评价结论、评价等级和改进建议等。

该模块还能够通过虚拟漫游交互进行主观评价。在交互过程中, 操作者可以检验驾驶室中元件是否超出伸及范围、是否存在干涉等问题; 交互结束后将自身感受转化为对元件的评价, 将评价结果和操作者个人信息存储在数据库, 作为数据积累, 用于后期统计研究。在交互过程中, 还可以通过位置跟踪器设备读取人体关节坐标的静态数据和操作过程动态数据, 用于操作行为研究。

2.4.3 知识管理模块功能

知识管理模块用来录入、修改和保存驾驶室设计与评价知识, 能够根据输入信息类型的限制条件对所输入信息进行判断, 对不符合要求的信息输入要求重新输入。在设计驾驶室元件时, 系统自动判断用户输入内容是否在知识库提供的设计范围, 并自动给出提示。在技术上, 采用 SQL Server 软件的数据管理功能和 ADO 数据接口技术, 将知识库与设计系统相结合。

同时,在用户管理方面,将用户分为专家用户、设计师用户和系统管理员3类,不同用户权限不同,从而提高了系统的安全性。

3 虚拟人机工程学评价方法

虚拟人机工程学评价采用主客观综合评价方法,其中客观评价采取分层次模糊综合评判^[9],主观评价为用户通过漫游交互体验给出主观评价。

3.1 客观评价

根据图1中所建立的评价体系,建立了评价知识库,它包含对底层因素的评价隶属度函数,以及各层次的权重系数。根据评价隶属度函数,以底层评价结果为基础,逐级加权,最终对评价结果进行归一化处理,得到系统的综合评价结果。对操纵类元件的评价包含元件尺寸评价和操纵位置评价。该类元件尺寸的评价隶属度来源于国内外标准、人机工程学经验积累;元件位置的评价转化为对人操纵该元件时的姿态进行评价^[11]。仪表板和显示类元件的评价包含元件尺寸评价和显示位置评价。该类元件尺寸的评价隶属度来源于国内外标准、人机工程学经验积累;元件位置的评价转化为对人观察元件时的视角和视距进行评价。

3.2 主观评价

主观评价主要涉及驾驶室模型在虚拟现实系统中的漫游与交互。由于OpenGL和Vega Prime有很好的兼容性,可以通过坐标变换,使OpenGL模型在VP场景中直接显示。场景的自动漫游路径通过VP中的Path tool相关函数进行设置,另外可以通过鼠标键盘控制视点的平移和转动,实现自动漫游和手动漫游相结合。交互操作需要位置跟踪器和数据手套等外部设备,通过设备驱动实时获取传感器的坐标位置,再将坐标位置数值实时赋给场景中的模型,即可实现操作者与场景中模型的交互。

4 实例分析

以某国产拖拉机为例,按照实际尺寸数据建立了三维模型(见图3)。根据2.3中的坐标体系,其中座椅的SIP点坐标位置为(0, 0, 497 mm),转向盘的中心点坐标位置为(474, 0, 808 mm)。

然后,分别添加年龄在18~25岁之间的第90、95百分位男性人体模型,得出评价结果(见图4)。

此外,在虚拟现实系统中,以弧形柱幕的地面圆心点作为场地坐标原点进行标定,将位置跟踪器的输出数据转化为与场地坐标系一致的数据。选择年龄在18~25岁之间的90百分位和95百分位男性各5名作为试验样本,坐于原点处座高400 mm的座椅上,即实际座椅的SIP点场地坐标位置为(0, 0, 497 mm),右肩、右肘、右腕分别贴位置跟踪器的3个传感器。此时三通道投影系统中显示的虚拟转向盘坐标位置为(474, 0, 808 mm),虚拟手的坐标位置为试验者手腕处传感器的坐标位置。当虚拟手抓握到虚拟转向盘右侧点时,读取试验者右肩、右肘、右腕处的传感器坐标位置数据,三点的XZ平面坐标数据分别为 (x_1, z_1) 、 (x_2, z_2) 和 (x_3, z_3) ,如图5所示。

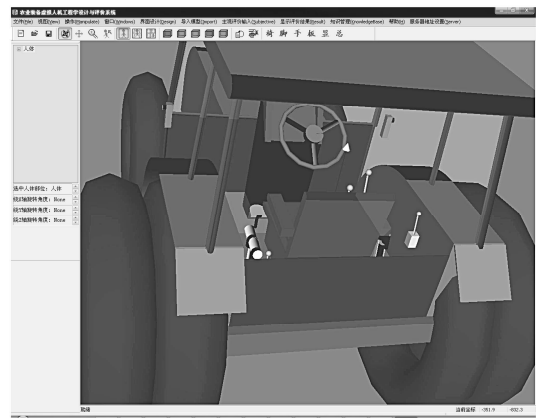


图3 某国产拖拉机驾驶室三维模型
Fig.3 3D model of a tractor made in china

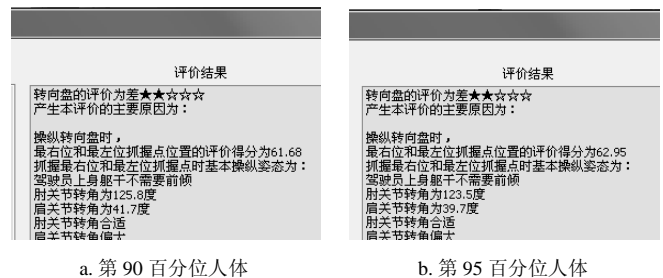


图4 某国产拖拉机转向盘评价结果
Fig.4 Evaluation result of the steering wheel

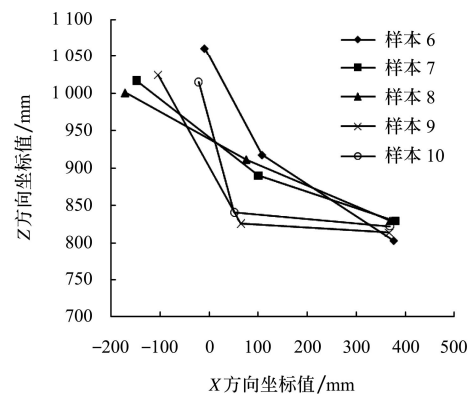
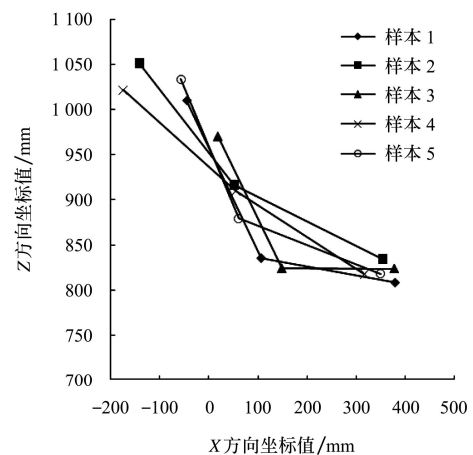


图5 人体上肢关节点坐标

Fig.5 Coordinates of articulation point on upper limb

根据试验者的右臂 3 个关节坐标数据, 计算出肩关节转角 α (上臂与竖直面夹角) 和肘关节转角 β (上臂与前臂夹角), 见表 1。其中

$$\alpha = \arctan \left[\frac{z_1 - z_2}{x_1 - x_2} \right] \quad (1)$$

$$\beta = \alpha + \arctan \left[\frac{z_2 - z_3}{x_3 - x_2} \right] \quad (2)$$

表 1 试验样本抓握方向盘最右点得出的上肢关节角度

Table 1 Joint angle on upper limb of subjects when grabbing the right point of steering wheel

	90th			95th	
	α	β		α	β
样本 1	40.840	136.482	样本 6	39.246	152.276
样本 2	54.992	160.127	样本 7	62.947	165.104
样本 3	41.608	131.632	样本 8	70.185	175.734
样本 4	64.191	173.635	样本 9	40.463	132.703
样本 5	37.118	138.995	样本 10	22.691	115.981
平均值	47.750	148.174	平均值	47.106	148.360

注: α 为肩关节转角; β 为肘关节转角。

结果表明, 图 4 中系统客观评价得出的数据和表 1 中虚拟试验得出的数据较为相近, 但存在差异, 此差异的原因主要有 2 个方面:

1) 试验样本的身高与标准人体一致, 但他们的坐姿肩高、上臂长、前臂长等人体测量尺寸均不相等, 与标准人体的相应尺寸不同。

2) 实际人体坐姿与系统中的人体模型有差异。系统中的人体模型没有考虑脊柱弯曲角度, 而是简化的刚体模型, 而实际人体坐姿因人而异, 略有差别。

因此, 虚拟人机工程学设计与评价系统中的客观评价运算可以作为产品研发初期的重要参考, 而此系统中的虚拟现实平台可以作为试验研究真实人体参与虚拟设计、虚拟试验、主观评价的手段。

5 结 论

1) 本文提出的三层次农业装备驾驶室人机界面评价体系结构有利于设计与评价方法的建立, 能够适应不同类型农业装备驾驶室的设计和评价需求。

2) 所采用的分层次模糊综合评判的客观评价方法, 既能够进行单因素评价, 又能够通过逐级加权得出人机界面系统的评价结果, 可作为一种驾驶室人机界面的评价方法。

3) 所开发的农业装备驾驶室虚拟人机工程学设计与评价系统具有沉浸感和交互性, 能够实现驾驶室人机界面设计在虚拟现实系统中的直观显示, 并具有主客观评价功能, 可作为一种设计和评价农业装备驾驶室的重要手段。

【参 考 文 献】

[1] 孔德刚, 张帅, 朱振英, 等. 机械化播种作业中驾驶员疲

劳分析与评价[J]. 农业机械学报, 2008, 39(8): 74—78.
Kong Degang, Zhang Shuai, Zhu Zhenying, et al. Driver's Fatigue Evaluation and Analysis in Mechanized Sowing Work[J]. Transactions of the CSAM, 2008, 39(8): 74—78. (in Chinese with English abstract)

[2] 仇莹, 朱忠祥, 毛恩荣, 等. 联合收获机驾驶室人机界面布局优先序研究[J]. 农业机械学报, 2009, 40(12): 43—47.

Qiu Ying, Zhu Zhongxiang, Mao Enrong, et al. Study on priorities of human-machine interface in combine harvester cab[J]. Transactions of the CSAM, 2009, 40(12): 43—47. (in Chinese with English abstract)

[3] De Temmerman J, Deprez K, Anthonis J, et al. Conceptual cab suspension system for a self-propelled agricultural machine, Part 1: Development of a linear mathematical model[J]. Biosystems Engineering, 2004, 89(4): 409—416.

[4] Lee S S, Lee C H, Lee J Y. A Study on operation of Man-Machine Interface for Tractor 3-point Hitch[J]. Journal of Biosystems Engineering, 2007, 32(5): 284—291.

[5] 王龙江, 荆旭. 虚拟现实技术在汽车设计中的应用[J]. 农业装备与车辆工程, 2006(11): 7—9.

Wang Longjiang, Jing Xu. Applications of virtual reality in the automobile's design[J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2006(11): 7—9. (in Chinese with English abstract)

[6] Chryssolouris G, Mavrikios D, Fragos D, et al. A virtual reality-based experimentation environment for the verification of human-related factors in assembly processes[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2000, 16(4): 267—276.

[7] Jayaram U, Jayaram S, Shaikh I, et al. Introducing quantitative analysis methods into virtual environments for real-time and continuous ergonomic evaluations[J]. Computers in Industry, 2006, 57(3): 283—296.

[8] Grimsel Matthias, Bernhardt Gerd, Höfle Jörg Jens. An interactive driving simulator for tractors: Virtual reality in agricultural engineering[C]//Conference on Agricultural Engineering, 2007: 109—112.

[9] 毛恩荣, 张红, 宋正河. 车辆人机工程学[M]. 第 2 版. 北京: 北京理工大学出版社, 2007: 172—185.

[10] 方琦峰, 康凤举, 张楚鑫, 等. OpenGL 在 Vega Prime 开发环境中的应用研究[J]. 计算机仿真, 2008, 25(6): 191—194.

Fang Qifeng, Kang Fengju, Zhang Chuxin, et al. Application of OpenGL in vega prime development environment[J]. Computer Simulation, 2008, 25(6): 191—194. (in Chinese with English abstract)

[11] 祁丽霞, 宋连公, 白雅娟, 等. 基于坐姿的脚控操纵装置安装位置评价方法[J]. 机械设计, 2007, 24(3): 34—36.

Qi Lixia, Song Liangong, Bai Yajuan, et al. Research on evaluation method of installing position of foot controlled manipulating device based on sitting posture[J]. Journal of Machine Design, 2007, 24(3): 34—36. (in Chinese with English abstract)

Virtual ergonomics design and evaluation of agricultural equipment cab

Qiu Ying, Zhu Zhongxiang, Mao Enrong, Song Zhenghe^{*}, Liu Hui, Xu Jing, Li Chencheng

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: In this paper, ergonomics and virtual reality were used to evaluate the agricultural equipment cab. Firstly, typical agricultural equipments such as tractors and combine harvesters were chosen as the research object. The ergonomics evaluation index system was established, and parametric model was designed by using OpenGL and virtual reality system was developed for interactive features. The objective evaluation method based on hierarchical fuzzy synthetically evaluation and subjective evaluation method based on virtual cruise and interaction were researched. Finally, based on VS.NET development system and Multigen Vega Prime VR platform, the virtual ergonomics design and evaluation system for agricultural equipment was realized. The cab of a tractor was built and evaluated through the system. The results show that the system is an important approach to design and evaluate agricultural equipment cab.

Key words: agricultural machinery, ergonomics, cab, design, virtual reality, evaluation