

坦克驾驶舱人机界面的几何建模方法

李娜 毛恩荣

(中国农业大学 工学院,北京 100083)

摘要 为了解决坦克驾驶舱人机界面设计中的人机工程问题,将虚拟设计的理论和计算机仿真技术引入坦克驾驶舱人机界面设计中。按照系统分析和人机工程学原理,对坦克驾驶舱人机界面的层次结构进行了划分,利用计算机图形学的相关方法,提出了坦克驾驶舱人机界面各组成部分的三维模型的构建方法,建立了坦克驾驶舱人机界面的元件库模型和人体模型;应用 OpenGL 三维计算机图形软件接口实现了坦克驾驶舱人机界面几何模型的构建,完成了坦克驾驶舱人机界面几何建模软件的开发。实际模拟结果显示,虚拟人机界面较为逼真,能满足人机工程学仿真的需要。

关键词 坦克驾驶舱; 人机界面; 几何建模

中图分类号 TJ 02

文章编号 1007-4333(2004)04-0058-04

文献标识码 A

Geometrical modeling method of human-machine interfaces for tank driver cabin

Li Na, Mao Enrong

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

Abstract The theory of virtual design and the technology of computer simulation were introduced into the design of human-machine interfaces for tank driver cabin. Human-machine interfaces of tank driver cabin was compartmentalized based on the System Analysis and Ergonomic Method, the constitution method of 3D model was put forward by using the method related with computer graphics. The parts' libraries of human-machine interfaces and human body model were carried out. Finally, the design software of human-machine interface of tank driver cabin was developed on the basis of OpenGL, which established the foundation for the virtual design of human-machine interface of tank driver cabin. The results showed that it could meet the need of Ergonomics simulation for human-machine interfaces of tank driver cabin.

Key words tank driver cabin; human-machine interface; geometrical modeling

人机界面的合理匹配问题自 20 世纪初就得到了重视,在兵器工业和重工业领域,许多重大的事故都源于人机界面匹配不当。研究坦克驾驶舱人机界面的合理匹配,并以此为基础研制适应未来高技术条件下新型驾驶舱人机界面,提高驾驶员的操纵工效,已经成为能否充分发挥新型坦克技战术性能的关键之一^[1]。

国外进行人机界面的设计研究较早,研究领域也逐步扩展,但对装甲车辆驾驶舱人机界面的虚拟

设计尚未见正式提出。其他相关的研究有控制面板布置、自动空间布置、驾驶室内部设计等,且这些研究多是针对某一具体问题,对于广泛使用仍具有很大的局限性;但是,其思想和方法在人机界面匹配设计中却有很多可借鉴之处。目前我国的坦克驾驶舱人机界面设计主要依靠设计人员的经验,采取传统设计方式,即,设计 试制样机 评价试验 改进设计 试制样机 最后定型,设计周期长、成本高。所以采用 MFC 软件平台和 OpenGL 三维图形库开发

收稿日期:2004-04-06

基金项目:国防科技“十五”预研项目子课题(2002D07)

作者简介:李娜,博士研究生;毛恩荣,教授,博士生导师,主要从事人机工程、车辆工程等方面的研究, E-mail: gxy15 @cau.edu.cn

一个能应用人机工程学设计准则的坦克驾驶舱人机界面的虚拟设计软件具有现实意义。本文中主要讨论坦克驾驶舱人机界面虚拟设计中的几何建模方法。

1 坦克驾驶舱人机界面的总体分析

坦克驾驶舱人机界面是指驾驶员与驾驶舱内元件之间相互作用的区域,本研究中将坦克驾驶舱人

机界面的模型划分为符合视觉需要、满足工效分析的人体模型和元件模型两大部分;按照系统分析方法,对元件模型的各元件的功能和使用频率进行分析,将元件模型划分为座椅、操纵杆、显示-控制面板、潜望镜、脚踏板、其他元件 6 个部分;对各部分细化,形成坦克驾驶舱人机界面元件库的层次结构。同样对人体模型也建立层次结构。最终形成的坦克驾驶舱人机界面层次结构见图 1。

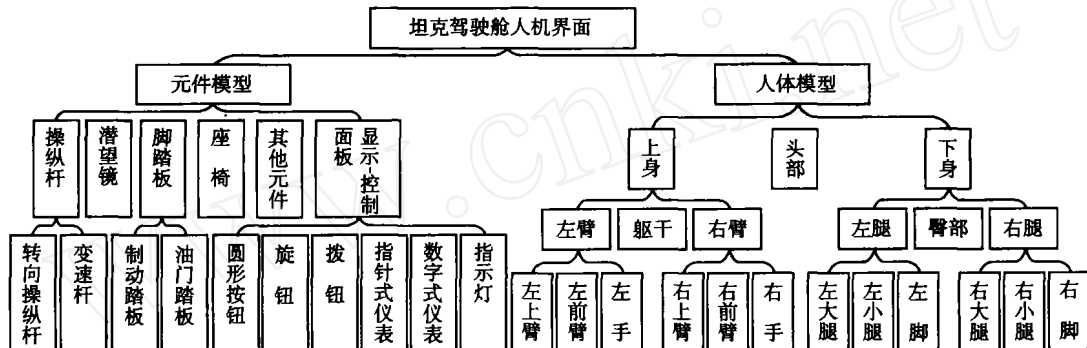


图 1 坦克驾驶舱人机界面的层次结构

Fig. 1 The hierarchy of tank driver cabin human-machine interface

2 坦克驾驶舱人机界面的几何建模

几何模型具有 2 种信息,一种是点的位置信息,另一种是用以说明这些点之间连接的拓扑结构信息^[2]。使用局部图形库可以把这些信息转换成几何模型。坦克驾驶舱人机界面的几何建模中应用了线框建模技术、曲面建模技术和三维实体建模技术。

1) 线框建模技术。

通过点元素和棱边元素定义并按层次排列成体-边-点关系,用物体的棱边或轮廓线描述元件的形状特征。

2) 表面建模技术。

用一组表面表示物体的外形,将棱边有序连接而构成实体的表面结构。

在坦克驾驶舱人机界面的几何模型中,驾驶舱应用了线框模型和表面模型。驾驶舱是驾驶舱内元件的安装空间和驾驶员的活动空间,线框模型所描述的驾驶舱各侧面和驾驶舱舱门,虽不能进行隐藏线面的消除,也不能显示物体的真实图像,但使得舱内物体具有了可观察性。而表面模型所描述的驾驶舱外壳的底面,强调底面的连续性,实现图形的消隐,产生色调图,从而使舱内物体更易观察。驾驶舱模型见图 2。

3) 三维实体建模技术。

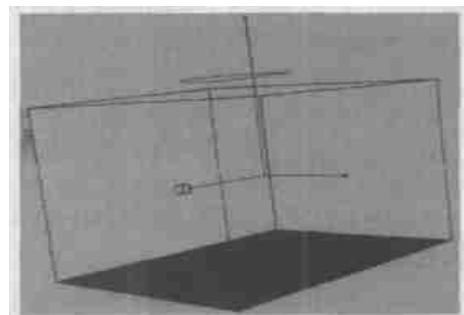


图 2 坦克驾驶舱几何模型

Fig. 2 The geometrical model of tank driver cabin

三维实体建模主要研究如何方便地定义简单的几何形体,以及经过适当的布尔集合运算构造出所需的复杂形体,并在图形设备上输出。坦克驾驶舱人机界面的几何建模中应用了如下 2 种方法生成实体。

构造实体几何法 (constructive solid geometry, CSG)。将一简单的实体 (又称为基本体素) 进行一定的集合运算构成要设计的复杂物体。实体被表示成了一个 CSG 树后,关于它的许多运算,如求体积和几何变换等,都可以递归进行 (遍历 CSG 树),逐层递归计算的过程事实上是将运算分解的过程,体现了“分而治之”的思想。采用 CSG 树表示的缺点是,没有显式地包含实体边界信息如顶点、边、表面等,给显示输入带来不便;也没有显式地建立实体与

空间的一一对应关系,要获取实体的有关信息需进行大量的计算。变速杆的几何建模过程,应用 CSG 树定义了变速杆的构成体素和构造方式。图 3 说明了变速杆的构造过程,记录了变速杆中所含的简单实体(立方体,圆柱体和球体)的全部定义参数,还附加了变速杆和简单实体的颜色等属性。

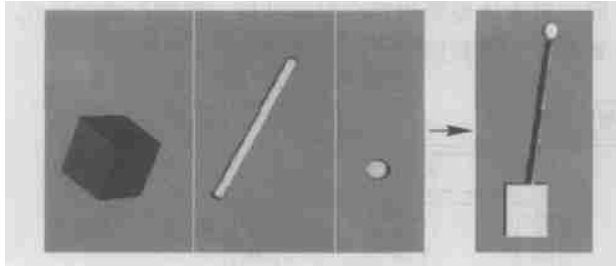


图 3 CSG操作生成变速杆模型

Fig. 3 CSG operation building gear lever model

下面给出应用 OpenGL 构造变速杆的程序代码:

```
glColor3f(1.0f, 0.8f, 0.7f) ;// 设置当前颜色值
glPushMatrix() ;// 存入当前矩阵堆栈
glTranslated(x, y-20 * modulus, z) ;// 当前矩阵
乘以变换矩阵
glTranslated(0.0, 10 * modulus, 0.0) ;
auxSolidBox(50 * modulus, 20 * modulus, 50 *
modulus) ;// 生成变速箱
glRotated(angle-90, 1.0, 0.0, 0.0) ;// 当前矩
阵乘以旋转矩阵
glTranslated(0.0, length/ 2-headl/ 4, 0.0) ;
auxSolidBox(20 * modulus, length-headl/ 2-20 *
modulus, 6 * headw/ 5) ;// 生成转动杆
glColor3f(0.9f, 0.8f, 0.7f) ;
glTranslated(0.0, length/ 2 + headl/ 4-10 * mod-
ulus, 0.0) ;
auxSolidBox(15 * modulus, headl, headw) ;// 生
成手柄
```

glPopMatrix() ;// 弹出当前矩阵堆栈

边界表示法 (boundary representation, B-rep)。通过描述物体的表面边界来表示一个物体。边界表示包含了 2 类主要信息:几何信息——物体几何元素的尺寸数据,描述物体的大小、位置、形状等;拓扑信息——几何元素之间的连接关系,构成物体的“骨架”^[3]。边界表示法强调实体的外表细节,详细记录构成实体的几何信息和拓扑信息,可以直接取得实体的各个组成面、面的边界以及各个顶点的定义

数据,有利于以边和面的运算和操作。但是,其数据量大,数据关系复杂,对几何特性的整体描述能力弱,不能反映实体的构造过程和特点,也不能记录实体组成元素的原始特性。边界表示法的数据结构是一个层次结构,以体-面-边-点的拓扑连接确定物体的形状。图 4 为用边界表示法得到的仪表层次结构。

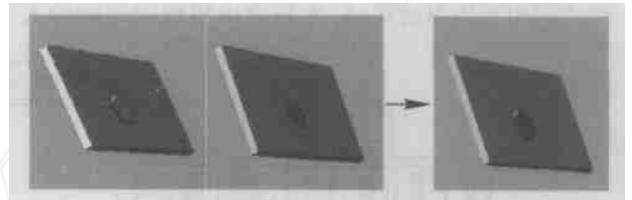


图 4 边界表示的仪表层次结构

Fig. 4 Boundry represent of the hierarchy of instrument

应用 OpenGL 圆形仪表的实现程序如下:

```
OpenGLColor(color) ;// 设置当前颜色
glPushMatrix() ;// 存入当前矩阵堆栈
OpenGLPosition(pos) ;// 平移至相对坐标原点
glTranslated(-x, y, 0.0) ;// 当前矩阵乘以变
换矩阵
glTranslated(0, 0, 0.03) ;
glRotated(90, 1, 0, 0) ;// 当前矩阵乘以旋转
矩阵
OpenGLCircle(dia) ;// 生成仪表表面
glRotated(90, 1, 0, 0) ;
OpenGLCylinder(dia/ 2, 0.03) ;// 生成仪表
侧面
glPopMatrix() ;// 弹出当前矩阵堆栈
```

3 坦克驾驶舱人机界面的参数化设计

参数化设计以规则或代数方程的形式定义尺寸间的约束关系,建立相应的推理和求解机制,把线框模型、表面模型和实体模型纳入统一的系统,形成统一的数据,以便在模型修改或变型时,设计者可以分析修改某些参数(如长度、角度),得到相应的几何模型,实现动态修改元件几何模型的需要。要实现参数化设计,必须先建立元件的参数化模型。

在坦克驾驶舱人机界面的几何建模的过程中,经常需要适应新的设计要求,为此,引入了参数化的设计方法。坦克驾驶舱人机界面的参数化设计步骤为:根据人机工程学原理,研究坦克驾驶员作业空间,人机界面各元件的单因素人机工程学设计准则;选定各元件的位置参数、几何参数或特征模型、特征

参数,建立人机界面各元件的参数化模型。坦克驾驶舱人机界面的参数化模型的建立采用如下2种方法。

1) 基于约束的尺寸驱动方法。将几何模型中的一些基本图素进行约束(尺寸约束和实体关系约束),当尺寸变化时,必须仍满足其约束条件,从而达到新的尺寸平衡,即模型一旦建好后,尺寸的修改立即会自动转变为模型的修改。如人体的参数化建模过程中,首先将人体分解为若干肢体和关节等相对简单的几何体素,然后分别用椭球体和圆球体来表示肢体和关节,再通过图形之间的约束(上臂长、前臂长、前臂长、小腿长、手长、手宽、肩宽、足长、足宽等)对生成的简单几何体素进行处理,得到所需的几何模型(图5)。

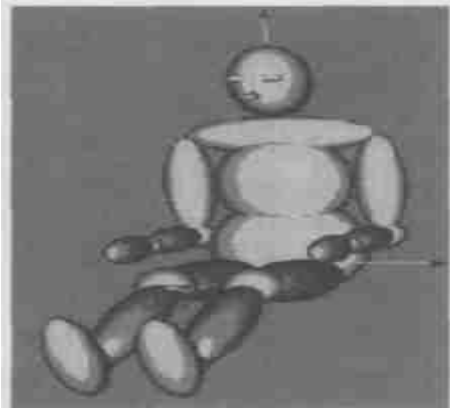


图5 基于约束的参数化人体模型
Fig. 5 Parametrical human body model based on the restrains

2) 基于特征的特征化建模方法。将特征造型技术与参数化技术有机地结合起来,实现了对多种设计方式(自顶向下或自底而上等)和设计形式(初始设计、相似设计和变异设计等)的支持。其主要过程:基于约束的特征描述;特征结构图元参数化建模;特征之间的约束建模。^[4]

显示-控制面板的参数化建模过程如下:a. 对不同类型的显示-控制面板进行分析,将显示-控制面板描述为几何形状特征的集合,归纳出6类显示-控制元件,圆形按钮、旋钮、拨钮、指针式仪表、数字式仪表和指示灯。b. 将上述6种几何形状特征分别用特征结构图元的形式表示。c. 将特征结构图元参数化,以定位点为基准,根据相应的位置关系与尺寸关系建立约束方程。d. 在程序中建立显示-控制面板结构的特征参数化模块,表示特征结构图元的几何

结构,根据约束关系建立约束方程,方程变量主要取各特征图元的特征坐标点。e. 建立显示-控制面板上各元件形状特征模型简图。e. 用二叉树表达零件特征模型的拓扑结构。f. 根据显示-控制面板的几何形状特征模型简图,确定各特征模型之间的约束关系,各特征之间是同面约束关系。显示-控制面板模型见图6。

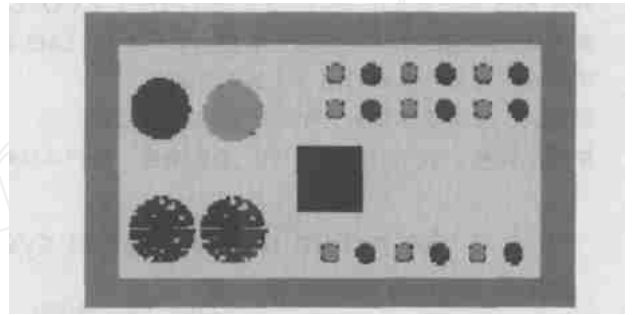


图6 基于特征的特征化显示-控制面板模型
Fig. 6 Parametrical display-control panel model based on characteristics

4 结束语

利用人机工程学理论和计算机图形学的相关方法建立的坦克驾驶舱人机界面的几何模型,能够对坦克驾驶舱人机界面对象的几何尺寸和位置进行较好的模拟,并减少尺寸和位置的计算量,最终形成的虚拟界面较为逼真,效果较好,能满足人机工程学仿真的需要。但因为人机界面具有对象位置变化,碰撞等动态特性,因此应进一步研究坦克驾驶舱人机界面的动态建模方法来完善人机界面的虚拟设计。同时,随着计算机图形处理技术的不断提高,用计算机模拟出更逼真的坦克驾驶舱人机界面的几何模型是完全可能的。

参 考 文 献

- [1] 梁瑞雪,刘勇. 坦克驾驶员仪表盘人机匹配的若干方案[A]. 见:龙升照. 人-机-环境系统工程的研究进展(第五卷)[C]. 北京:海洋出版社,2001. 193
- [2] 刘宏增,黄靖远. 虚拟设计[M]. 北京:机械工业出版社,1999. 84
- [3] 孙正兴,周良,郑宏源. 计算机图形学基本教程[M]. 北京:清华大学出版社,2004. 127~147
- [4] 陈定方,罗亚波. 虚拟设计[M]. 北京:机械工业出版社,2002. 63~84