

测试测量设备虚拟维修样机行为建模研究

朱东方¹, 苏群星², 刘鹏远¹, 佟德飞¹

(1. 军械工程学院, 河北 石家庄 050003;

2. 武汉军械士官学校, 湖北 武汉 430075)

摘要:将测试测量设备虚拟维修样机划分为操作部件类和响应部件类, 对其行为属性建模方法进行研究。分析了操作部件行为约束关系, 基于 Vega 函数对操作部件的旋转和平移运动方式进行了实现; 根据测试测量设备仪表显示特点, 将响应部件类划分为数字显示、指示灯亮灭以及波形绘制等基本功能模块; 借鉴数码管亮灭控制方法, 使用视景仿真建模软件 Multigen Creator 中的 SWITCH 节点控制七段数码管的亮灭以显示数字; 采用空间绘制曲线的 GL-LINE-STRIP 算法, 基于 OpenGL Performer 实现了波形的动态显示。

关键词:测试测量设备; 虚拟维修样机; 行为建模; 响应仪表

中图分类号: TP39

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2011)05-0210-04

Research on Behavior-Modeling of Virtual Maintenance Prototyping of Test Equipment

ZHU Dong-fang¹, SU Qun-xing², LIU Peng-yuan¹, TONG De-fei¹

(1. Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China;

2. Wuhan Ordnance Non-Commissioned Officer Academy, Wuhan 430075, China)

Abstract: It classes VMPTE's behavior as operation part and response part and makes an research on their behavior modeling method. Analyzed operation part's behavior restriction and realised operation part's rotation and transition behavior with Vega function. According to the response part's characteristic, it classes response part as number display, indicator light and graph display; It shows numbers with SWITCH node using digital diode lighting as reference. And then using GL-LINE-STRIP arithmetic realised the real-time graph display on base of OpenGL Performer.

Key words: test equipment; virtual maintenance prototype; behavior modeling; response meter

0 引言

测试测量设备虚拟维修样机 (Virtual Maintenance Prototype of Test Equipment, 简称 VMPTE) 是虚拟维修样机技术在测试测量领域的应用, 通过构造测试测量设备虚拟维修样机, 测试及研究人员可以进入虚拟测试环境, 在不同的时间和空间尺度上对其进行观察、研究和训练^[1-3], 特别是在武器系统电子设备综合检测训练和操作过程维修训练等方面, 具有重要意义和作用。

虚拟维修仿真是以虚拟现实技术为依托的, 虚拟维修仿真中的模型是现实世界中的装备、物体或部件的表示。而客观世界中的装备或物体除了具有表现特

征如外形、质感以外, 还具有一定的行为, 虚拟维修样机部件为了完成某一功能, 要按照各自的行为规律以令人信服的方式进行运动, 只有这样虚拟世界的真实感才可能体现出来^[4-7]。因此需要对虚拟维修样机操作部件行为属性建模进行研究。

1 测试测量设备虚拟维修样机行为特征

VMPTE 行为建模与机械设备虚拟维修样机行为建模相比更为复杂。这是因为基于机械设备虚拟维修样机的行为一般只涉及被操作部件的状态变化。而基于 VMPTE 的维修操作行为, 不仅使操作部件的状态发生变化, 而且还会使响应部件 (如数字仪表、指示灯、数码管等) 状态发生变化。

根据 VMPTE 行为方式特点, 将其划分为操作部件类和响应部件类。操作部件的种类有按钮、连续旋钮、波段开关等, 响应部件包括数码管、指针以及波形显示屏等。

收稿日期: 2010-09-23; 修回日期: 2010-12-28

基金项目: 总装科研项目 (编号略)

作者简介: 朱东方 (1986-), 男, 河南郑州人, 硕士研究生, 研究方向为武器系统仿真; 苏群星, 教授, 博士生导师, 研究方向为武器系统仿真。

VMPTE 的行为属性特征如图 1 所示。

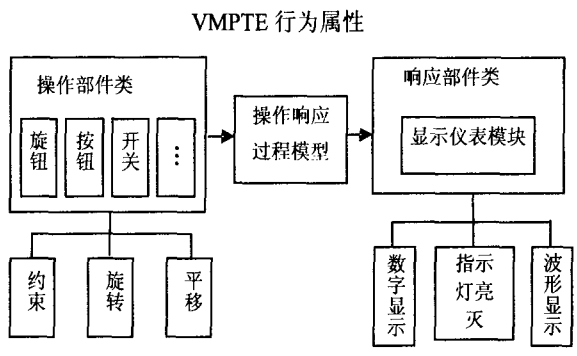


图 1 VMPTE 行为特征

2 操作部件行为建模及实现

2.1 操作部件行为约束关系描述

操作部件状态的变化(即产生运动行为),不仅要满足对操作部件的交互条件(如鼠标点击事件,虚拟手操作手势识别等),其行为的发生还要受到其它部件状态的约束。

测试测量设备的操作部件众多,操作行为关系复杂,通过分析,将操作部件类之间的约束关系分为三类描述:

(1)自身约束。

该操作部件自身的约束,如按钮只能单向运动,波段开关除波段状态外不能转动到其它部分等等。

(2)操作部件之间的约束。

被操作部件受到其它操作部件当前状态的影响。如某型装备综合测试设备的某加压控制旋钮,受锁紧开关约束,只有当锁紧开关处于解锁状态时,加压旋钮才对操作行为做出反应,否则,即使受到操作行为也不产生运动反馈。

(3)操作部件与响应部件之间行为约束。

操作部件的行为有效性受到响应部件的约束。如:在电源指示灯灭的情况下,对测试设备除电源开关外其它操作部件的操作没有任何意义。

根据约束关系,将操作部件在操作行为中的级别层次分为三层。

1)最高优先级。

只要操作动作的交互属性满足,则发生运动行为,其运动只受操作动作控制以及自身约束,不受其它部件影响。记为 a 类。 $a = \{a_i | \text{约束条件域:操作行为} \cap \text{自身条件约束 } i = 0, 1, \dots\}$ 。

2)次优先级。

不仅操作部件的交互属性需要满足,同时还受到最高优先级的 a 类操作部件的约束,同时受到其它操作部件或者响应部件的约束。记为 b 类。 $b = \{b_i | \text{约束条件域:操作行为} \cap \text{自身约束} \cap (\text{其它操作部件约}$

束 or 响应部件约束) $i = 0, 1, 2, \dots\}$ 。其中, a_i 和 b_i 代表其它操作部件约束。 a_i 代表最高优先级的约束, b_i 代表同类部件的约束。

3)最低行为级别。

处于操作部件行为层次的最低级,受到约束最多。记为 c 类。 $c = \{c_i | \text{约束条件域:操作行为} \cap \text{自身约束} \cap \text{其它部件约束} \cap \text{响应部件的约束 } i = 0, 1, 2, \dots\}$ 。其中 a_i 、 b_i 和 c_i 代表其它部件对当前操作部件的约束。 a_i 是最高优先级操作部件约束, b_i 是次优先级操作部件约束, c_i 是同级别操作部件的约束。

a, b, c 三种级别的约束,在操作行为判断中起到不同的作用,对操作部件的运动进行约束。

2.2 基于 Vega 的操作部件运动行为实现

(1)几何模型旋转和平移原理。

测试测量设备操作部件的最终运动行为是单纯的旋转或平移运动。以平移运动为例,对其几何变换过程进行分析和求解。

根据计算机图形学知识,在三维齐次坐标表示中,任意点 $P(x, y, z)$ 经以下平移变换移动至点 $P'(x', y', z')$ 的关系如下:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & 0 & t_y \\ 0 & 0 & 1 & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \tag{1}$$

参数 t_x, t_y, t_z 用来指定 x, y, z 坐标方向上的移动距离,它们均是实型。

三维空间中物体的平移通过平移物体的各个点来实现。对于由一组多边形面表示的物体,可将各表面的顶点作平移,然后绘制更新后的位置。

如果获得了世界坐标系中任意一个点的坐标 $P(x, y, z)$ 和需平移部件局部坐标系原点在世界坐标系中的坐标 $O(x_0, y_0, z_0)$,则通过计算各个坐标值的差值(见公式(2)),并将其代入 $vgTransMat$ 函数,就能够实现位移到空间任意点。

如果开启一个循环并设置位移步长,就能够实现位移的动画效果。

$$\begin{aligned} x' &= x - x_0 \\ y' &= y - y_0 \\ z' &= z - z_0 \end{aligned} \tag{2}$$

(2)操作部件行为实现。

在操作部件“感受”到操作行为并根据操作规则库完成约束判断后,即产生运动行为,改变自身状态。由于文中基于 Vega 平台开发^[8,9],因此,操作部件的运动行为使用 Vega 的旋转和平移类 API 函数实现。其基本实现流程如图 2 所示。

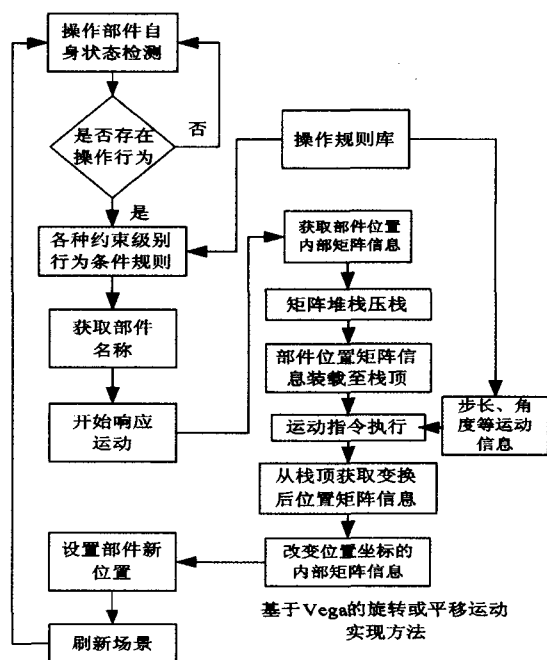


图2 基于 Vega 的运动行为实现流程

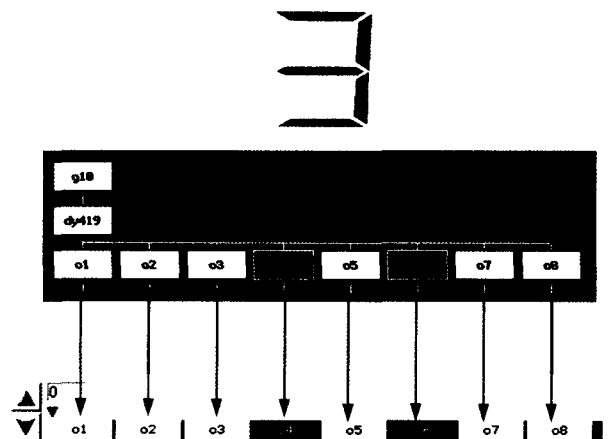
3 响应部件类行为建模

3.1 数字显示功能的实现

(1) 数码管几何建模。

七段数码管建模方法是:建立七个形状相似的几何体,将它们拼接成一个数码管的形状。由于数码管模型存在若干种状态,如显示 0,1,2...,因此,为七段数码管每一段增加 Switch 节点,利用 Switch 节点的切换作用,实现数码管的不同数字状态。

OpenGLFlight 模型数据提供的 Switch 节点是一种可以控制其子节点显示状态的特殊节点类型,该节点可以包含一系列的节点掩码,每个掩码都可以对应一种子节点的显示状态组合。其中一种状态“3”的 Switch 节点控制方式如图 3 所示。



图中每个竖条代表一个子节点(按照从左到右的

顺序对应子节点),白色代表显示对应的子节点,黑色代表隐藏对应的子节点。

(2) 数码管显示控制实现。

要实现数码管数字的动态显示和实时控制,在几何建模时使用 Multigen Creator 中的 Switch 类型节点,然后需要在仿真引擎 Vega 中对 Switch 节点进行实时控制,实现七段数码管的显示。Vega 中没有提供直接控制 Switch 类型节点的函数,需要使用 OpenGL Performer 中的函数进行实现。

数码管建模使用的是 Multigen Creator,其节点为 OpenFlight 层次结构。而 OpenGL Performer 使用的是场景图结构,二者之间不存在明确的意义对应关系。使用 OpenGL Performer 函数控制 Multigen Creator 模型的关键在于能否将 Creator 的层次节点关系成功映射到 OpenGL Performer 场景图层次结构中。

由于目前没有文献对两者之间的节点对应关系进行完整的描述。文中经过大量比对试验发现,一个 flt 格式数码管的模型加载进 Performer 场景图后,会返回一个 pfNode 表示模型的组节点,组节点下面是该模型的各层次上的其它节点。对于 OpenFlight 中的 Switch 类型的节点,在场景图中则直接对应 pfSwitch 节点。据此,使用 OpenGL Performer 函数对 Switch 节点进行控制。OpenGL Performer 提供了 pfSwitch 类,可以对 pfSwitch 节点进行操作。在系统中使用了 pfSwitch 类的 pfSwitchVal 函数,在实现过程中,只需要控制 Switch 节点对数码管各段进行相应的显示或隐藏即可实现数码管控制。

具体形式为:

```
pfSwitchVal ( pfSwitch * sw, int val );
```

//sw 为 pfSwitch 节点对应的指针, val 为掩码值,不同的掩码值对应 Switch 类型节点不同的状态。

3.2 基于 Performer 的波形绘制

虚拟现实环境下绘制波形,与传统的基于 MATLAB 或电路仿真软件绘制波形不同,它是在三维虚拟现实空间内进行波形的绘制。

文中采用 OpenGL 函数库中的 GL-LINE-STRIP 算法^[10-12]在三维空间由离散点进行画线,其基本思想是:从 V_0 到 V_1 绘制一条直线,然后从 V_1 到 V_2 绘制一条直线,接下来依此类推,最后绘制的是从 V_{n-2} 到 V_{n-1} 的直线,在 $n(n > 1)$ 个离散点之间依次绘制 $n-1$ 条直线。

具体实现方法如下:

(1) 生成几何元素集。

1) Performer 函数绘制波形曲线的数据,来自于样机中电路板仿真引擎模块实时仿真的结果数据点。由

电路仿真程序获得动态曲线的各个点,并经坐标变换后存于对应的指针中。兼顾真实感和仿真速度的要求,文中选取的仿真点数为60。

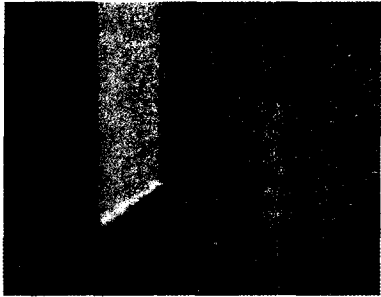
为方便地存储几何数据,建立顶点表和多边形表。物体的每个顶点坐标值存储在顶点表中。含有指向顶点表指针的边表,用来为曲线标示顶点,如图4所示。

顶点表	边表
V1:x ₁ ,y ₁ ,z ₁	E1:V ₁ ,V ₂
V2:x ₂ ,y ₂ ,z ₂	E2:V ₂ ,V ₃
V3:x ₃ ,y ₃ ,z ₃	E3:V ₃ ,V ₄
.....

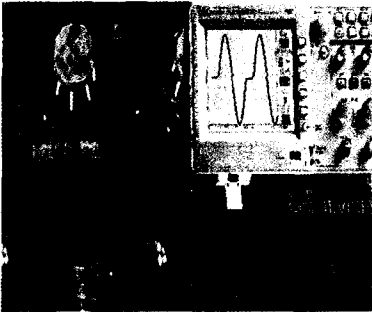
图4 数据点存储表

- 2) 设置几何体绘制的类型和属性,包括材质、光照、透明属性等;
 - 3) 将设置的几何体属性与几何体相关联;
 - 4) 设置几何体中几何元素的数目为60;
 - 5) 设置几何元素类型为由一系列点顺序相连而成的折线,在点比较密集时,就可以近似曲线;
 - 6) 将几何元素中的顶点指定为预先定义的顶点。
- (2) 与 OpenGL Performer 场景图中的节点进行关联。

使用 `vgGetPartPfNode()` 获得 OpenGL Performer 中对应的节点,并判断类型,如果为组节点,则获得组节



(a) 数字显示实现



(b) 波形绘制实现

图5 样机行为属性建模实现

点的子节点;如果子节点类型为 `pfGeode`,则可在为此节点增加 `pfGeoSet` 类型的几何体。

(3) 使用 `pfRemoveGSet` 函数删除几何元素集合,完成示波器动态波形的绘制。

4 实现

选定待测节点后,按下测量按钮进行测量,旋转量程调节旋钮,将波形调整至适合屏幕。其操作响应过程是通过操作响应模型进行控制的。实现效果如图5所示。

5 结束语

文中通过对测试测量设备虚拟维修样机的行为特征进行分析,对操作部件和响应仪表的行为建模分别进行了研究和实现,为构建测试测量设备虚拟维修样机打下了基础。

参考文献:

[1] Lee, Hyeongcheol. Virtual Test Track[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1995, 53(6): 1818-1826.

[2] 李伯虎, 柴旭东, 熊光楞, 等. 复杂产品虚拟样机工程的研究与初步实践[J]. 系统仿真学报, 2002, 14(5): 336-341.

[3] Vora J, Nair S, Gramopadhye A K, et al. Using virtual reality technology for aircraft visual inspection training presence and comparison studies[J]. Applied Ergonomics, 2002, 33: 559-570.

[4] 王 强, 宋建社. 复杂装备虚拟维修训练技术[J]. 兵工自动化, 2009, 28(12): 1-3.

[5] 董 博, 马立元, 韩 东. BOM 技术在复杂电路虚拟维修系统中的应用[J]. 装甲兵工程学院学报, 2009, 23(4): 67-68.

[6] 李 春. 虚拟样机技术在航空发动机设计中的应用[J]. 现代制造工程, 2007(10): 55-57.

[7] 张晓华. 系统建模与仿真[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.

[8] 刘雁菲, 邵晓东, 李 冉. 基于 Vega 的虚拟漫游场景中的路径规划研究[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(6): 8-9.

[9] 王 乘, 李利军, 周均清, 等. Vega 实时三维视景仿真技术[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2004.

[10] 杭后俊, 孙丽萍. 任意多边形窗口的圆裁剪算法[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(5): 27-28.

[11] Zhou Fengqi, Liu Zhiping, Zhou Jun. Guidance and Control System of Unpowered Vehicle[J]. Journal of Astronautics, 2007, 28(2): 11-12.

[12] 郭兆荣, 李 菁, 王 彦. Visual C++ OpenGL 应用程序开发[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006.