

用 VAPS XT 与 OpenGL 进行三维视景开发

石磊, 张瑞平

(中航通飞研究院有限公司, 广东 珠海 519040)

摘要: 飞机座舱显示系统已经由传统的二维显示发展到多维显示方式, VAPS XT 作为一种辅助人机界面设计工具, 可以提高显示界面的设计效率, 但其并不直接支持对三维显示界面的开发。提出了一种对 VAPS XT 进行二次开发的方案, 可以在基本的 VAPS XT 配置模式下, 利用 OpenGL 库和 DEM 高程数据开展基本的三维视景仿真设计, 可以实现在 VAPS XT 环境下的三维视景开发。对利用 VAPS XT 开发三维视景的流程进行介绍, 包括 VAPS XT 的二次开发过程、三维高程数据库的处理、坐标变换和地形渲染的基础, 可以作为驾驶舱人机界面开发的一种新模式。仿真结果证明该方法是一种有效便捷的三维视景仿真验证技术。

关键词: 座舱显示; VAPS XT; 三维视景; OpenGL

中图分类号: V223; TN956 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2015)03-0097-04

Development of 3D Cockpit Display with VAPS XT and OpenGL

SHI Lei, ZHANG Rui-ping

(R&D Institute of China Aviation Industry General Aircraft Co. Ltd., Zhuhai 519040, China)

Abstract: Aircraft cockpit display system has developed from traditional 2D to multi-dimensional display mode. As a human-computer interface development tool, VAPS XT can improve the design efficiency of cockpit display, but does not support 3D display design directly. We proposed a scheme for second development of VAPS XT, which supports basic 3D cockpit display simulation design with default VAPS XT configuration by use of OpenGL library and DEM elevation database, thus to realize 3D cockpit display development with VAPS XT. This paper introduces the development process of 3D cockpit display with VAPS XT, including the user development process, data processing of 3D terrain database, coordination transformation, and foundation of rendering process. The whole process can be applied as new way for cockpit human-machine interface development. The simulation result shows that the process is an effective and convenient verification technology for 3D cockpit display design and simulation.

Key words: cockpit display; VAPS XT; synthetic vision; OpenGL

0 引言

近些年,飞机座舱显示已经发展演变到了综合显示阶段,飞行参数和系统状态可以统一显示在大尺寸显示器上,节省了布局资源,简化了人机界面。除了显示内容的极大丰富,座舱显示的维度也随着显示处理技术发展而不断进步,由二维显示发展到了三维显示,合成视景技术开始在飞机座舱中得到应用,提升了飞行员的空间环境感知能力。在座舱显示技术不断发展

的同时,驾驶舱人机界面的开发流程也不断演变,以 VAPS XT 为代表的代码自动生成工具的出现,缩短了座舱人机显示界面开发的周期^[1]。由于这类软件默认的开发界面都是面向传统的二维设计,如果想利用这些工具进行三维人机界面开发,就需要设计人员利用现有平台进行二次开发。

1 VAPS XT 的二次开发

VAPS XT 是由加拿大 Presagis 公司提供的一款商用货架软件开发工具,该软件为开发人员提供了驾驶舱显示图像接口,简化了开发流程。可扩展的 DO-178B 验证模块可以降低软件验证的难度,此外软件还

收稿日期:2014-05-16

修回日期:2014-05-30

作者简介:石磊(1983—),男,山西代县人,硕士,工程师,研究方向为民用飞机航空电子系统综合设计。

支持 ARINC661 标准^[2]。

凭借内置的代码生成工具 Code Generator, VAPS XT 将开发人员从代码编写工作中解放出来,使其专注于图形界面的设计。开发人员无需将代码编译,就可以对设计效果进行实时的验证,相对于直接应用 OpenGL 进行开发,使用 VAPS XT 可以大大缩短界面开发时间。当然,如果有需要,开放的架构还允许设计人员对自动生成的代码进行调整。VAPS XT 还通过 nCom 接口提供与当前各主流仿真设计软件的交互功能,包括 DOORs, Simulink 等,实现显示与控制界面的实时仿真。

除了系统默认提供的界面图形对象, VAPS XT 还提供两种类型的二次开发方式:利用用户自定义对象的方式直接使用系统自带的图形对象;利用用户编程对象的方式可以实现一些用户自定义对象无法实现的功能。

1.1 用户自定义对象

VAPS XT 支持通过系统默认的图形对象定制用户图形对象,设计人员可以通过添加行为响应和外部接口为这些基本的图形或其组合对象赋予新的特征。通过选择不同的基本图形对象,如线条、矩形或者圆形等,定义这些对象之间以及这些对象与输入输出接口之间的数据流,确定这些对象特有的行为。这种定义新图形对象的方式可以看作是对已有对象的组合和加工,不适用于包含大量复杂功能和数据的对象,如对大量三维高程数据的渲染。

1.2 用户定义编程对象

VAPS XT 还支持通过 C++ 编程定制用户编程对象^[3],这种方式生成的对象拥有更加灵活的功能。设计人员首先要使用 VAPS XT 创建一个空的对象,定义好输入输出接口后,通过 CodeGEN 生成模板 C++ 工程,然后利用 Microsoft Visual Studio 2010 对模板 C++ 工程进行开发,引用 OpenGL 等开发库,编写用户代码,经过编译通过后,就可以被 VAPS XT 调用。本文介绍的开发流程主要基于这种方式,示例的代码均为 C++。

2 使用 VAPS XT 进行三维设计的过程

VAPS XT 本身也利用了 OpenGL 技术,并且对代码进行了封装,如果用户想引入自己的三维渲染代码,有许多准备工作要做,本文将对设计过程进行介绍。

1) 在新建窗口中创建“高级对象, Advanced Objects”中的“类, Class”,随着一个新的类被创建,接口定义窗口自动出现,可以在接口定义窗口中定义这个类的输入输出接口,并定义每一个参数的名称、类型、输入输出类型、初始值等。这些参数是 VAPS XT 与对象实现数

据交互所必须的,因此一定要合理规划,清晰定义。

2) 对创建并定义好接口的类,使用 VAPS XT 的“代码生成, CODE nGEN”功能,生成这个类对应的 C++ 模板工程。这些模板工程是引用了 VAPS XT 的库文件,并且工程的编译选项确保编译时引用和输出的文件都能够定义到对应的路径,省去了手动创建工程所需的繁琐设置过程。模板工程有不同的选项,可以生成动态链接库和静态链接库,分别应用于 VAPS XT 环境中的显示界面验证和独立于 VAPS XT 的显示界面验证。

3) 使用 Microsoft Visual Studio 2010(不同版本的 VAPS XT 指明了各自兼容的编译器版本)打开自动生成的模板工程,对类进行编程开发,添加用户自定义的代码,源代码的文件名一般会以类的名字命名。二次开发主要针对新创建类中的“vDraw”这一成员函数开展,需要注意的是,应当在类的头文件中添加对“vx-rtSVGPrim2f.h”和 OpenGL 库文件的引用。

4) 对代码进行调试,生成用户自定义类对应的动态链接库。需要说明的是,如果使用用户自定义对象的 VAPS XT 界面设计需要编译为可执行程序,独立于 VAPS XT 环境运行,则还需要修改编译选项,生成静态链接库。

5) 在新建窗口中创建“高级对象, Advanced Objects”中的“编程实例对象, Coded Implementation”,在“DLL Path, 动态链接库路径”中选择刚刚生成的动态链接库,这样就完成了用户编程对象的设计,可以在 VAPS XT 的显示界面中直接调用这个对象。需要注意的是,为了控制显示的布局效果,需要将用户编程对象放置到 Map2dOverlayGroup 对象下,可以实现与系统默认图形对象的有效隔离。通过以上步骤,可以让 VAPS XT 支持三维显示界面的开发能力,图 1 所示为在 VAPS XT 实现的可旋转的三维立方体的效果图。

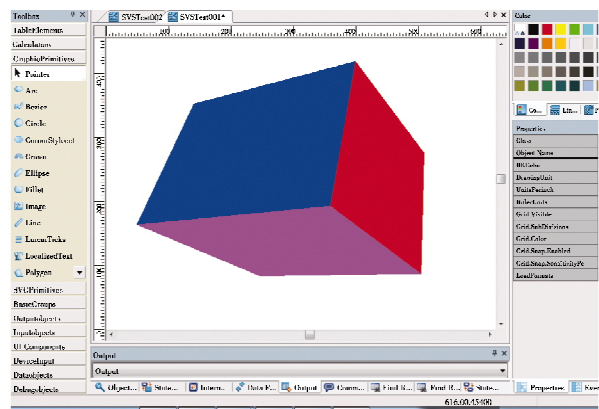


图 1 在 VAPS XT 中显示旋转立方体
Fig. 1 Rotating cube displayed in VAPS XT

3 VAPS XT 三维视景的仿真实现

3.1 VAPS XT 环境下的 OpenGL 的参数设置

由于 VAPS XT 默认的开发窗口采用的是正交视图,启用了色彩混合,禁用了深度测试,视口变换使用的参数为用户自定义界面的参数,为了使得用户编程对象不影响 VAPS XT 默认图形对象的显示效果,必须在渲染前后对 OpenGL 参数进行保存和恢复。

1) 针对投影方式的设置。

通过 `glPushMatrix` 函数保存 VAPS XT 当前的变换矩阵(否则 VAPS XT 默认的图形对象也会因为后续变换而变形),然后通过 `glMatrixMode` 函数结合 `glLoadIdentity`, `gluPerspective`, `gluLookAt`, `glRotatef`, `glTranslatef` 等函数对模型和视角进行设置,最后通过 `glPopMatrix` 恢复 VAPS XT 的当前矩阵。

2) 针对深度测试的设置。

在用户代码开始的时候启用深度测试。

```
{ glClear( GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT );
```

```
    glClearDepth( 1.0f );
```

```
    glEnable( GL_DEPTH_TEST ); }
```

在用户代码结尾的地方关闭深度测试。

```
    glDisable( GL_DEPTH_TEST ); }
```

3) 针对混合模式的设置。

在用户编程语句开始处通过 `glDisable(GL_BLEND)` 函数禁用色彩混合,在用户编程语句结尾处通过 `glEnable(GL_BLEND)` 启用色彩混合。

4) 针对视口大小的设置。

为对象定义 4 个接口,包括视口定位坐标和视口尺寸,然后通过 `glGetIntegerv` 函数获取 VAPS XT 环境的参数并赋值,具体代码如下。

```
{ glGetIntegerv( GL_VIEWPORT, ViewPort)
```

```
    mp_ViewPortX = ViewPort[ 0 ];
```

```
    mp_ViewPortY = ViewPort[ 1 ];
```

```
    mp_ViewPortW = ViewPort[ 2 ];
```

```
    mp_ViewPortH = ViewPort[ 3 ]; }
```

3.2 数字高程模型数据的准备及处理

进行三维视景开发过程中需要用到数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)数据,DEM 是通过航空航天影像、地面测量、地图采集等手段获取的用于描述表示地面高度信息的有序数值。

有两种常用的 DEM 数据库:GTOPO30 数据库是美国地质勘探局提供的覆盖全球的地形数据库,分辨率为 30";SRTM 数据库只覆盖了南纬 56°到北纬 60°之间的范围,在美国本土的分辨率可以达到 1",其他区域只有 3"的数据公开发布。

SRTM 地形数据库可以从官网获取^[4],包括 3"和 1"两种精度,分别称为 SRTM3 和 SRTM1。两种精度的地形数据都以 1° × 1° 的范围为基本单位,例如 N58W135. raw 文件就存储了北纬 58°到北纬 59°,西经 135°到 134°范围的地形数据。3"分辨率的存储格式为 1 201 × 1 201,1"分辨率的存储格式为 3 601 × 3 601,所有的数据都按照 16 位大端格式存储,如果数据要应用于 x86 架构处理器下的仿真,则需要做大小端转换。

此外,初始的 SRTM 数据由于采集误差存在一些缺陷点(Voids),这些点的值默认为 -32 768,如果不加处理,会出现地形渲染异常,因此需要通过数据拟合的方式进行填充修正,为了简化处理,本文使用一款名为“VTBuilder”的免费软件进行自动填充修正,修正后的结果如图 2 所示。



a 处理前



b 处理后

图 2 使用 VTBuilder 进行数据修正

Fig. 2 Data correction with VTBuilder

3.3 DEM 数据的准备及处理

从 SRTM 地形文件中获得的地球某一坐标高度信息可以通过 LLE(经度 λ 、纬度 φ 、高程 h)坐标表示,其中的高程是相对于 WGS-84 的大地基准面。飞机的姿态信息包括俯仰、滚转和偏航,通过经纬度和高度定位,为了将地形信息、飞机位置姿态等信息统一显示,需要进行坐标变换。

1) 要把地形的 LLE 坐标变换为 ECEF 坐标,本文选择的 ECEF 坐标采用 WGS-84 模型,为了简化,使用参考椭球面 Ellipsoid 近似代替大地基准面 Geoid。根据模型提供的地球参数信息,可以计算出 LLA(精度、纬度、高度)对应的 ECEF 坐标为

$$\begin{cases} x = (R_N + h) \cos(\varphi) \cos(\lambda) \\ y = (R_N + h) \cos(\varphi) \sin(\lambda) \\ z = [(1 - e^2) R_N + h] \sin(\varphi) \end{cases} \quad (1)$$

式中, e 和 R_N 分别为参考椭球的焦距和曲率。

2) 根据大地纬度(Geodetic Latitude)计算地心纬度。

3) 将 ECEF 坐标变换为 OpenGL 的世界坐标, 首先绕 Z 轴顺时针旋转经度的角度, 其次绕 Y 轴顺时针旋转 $\frac{\pi}{2} - \varphi_c$ 的角度, 此时 ECEF 坐标轴与 OpenGL 的世界坐标重合。

4) 对于使用 LLA 坐标表示的飞机位置坐标, 利用 1) ~ 3) 步计算出其在 OpenGL 世界坐标系中的坐标, 将 OpenGL 摄像头的位置移动到飞机所在的位置 $[0, 0, z_w]$, 并依据飞机的姿态对摄像头的姿态进行设置。

OpenGL 提供了实现坐标变换的一些常用语句, 可以很方便地实现以上提到的坐标变换过程。

3.4 三维视景的处理流程

掌握了利用 VAPS XT 进行三维设计的基本流程, 就可以开始进行三维视景的设计了。在地形渲染过程中, 需要用到光照、着色、贴图、CLOD(持续细节层次算法)^[5]等方面的技术, 由于本文研究的重点不是这些算法的优化, 因此仅应用一些经典和基本的算法作示例。

1) 在用户编程对象的构造函数中将存储在 raw 文件中的高程数据读取到内存中, 进行大小端处理, 转换成 ECEF 坐标(也可以预先对 raw 文件进行预处理); 利用输入给用户编程对象的飞机位置信息对摄像头参数进行初始化, 对光照、着色、CLOD 算法等参数进行初始化。

2) 在用户编程对象的 vDraw 函数中, 进行 OpenGL 环境参数的设置, 通过坐标变换算法计算摄像头的位置姿态参数, 使用 CLOD 算法根据摄像头位置和姿态的变化实时更新待渲染的 CLOD 数据包, 并使用 `glVertex3f` 函数对网格进行渲染。

3) 通过对象外部接口, 持续读取飞机的姿态和位置参数, 重复 2)。

测试通过的代码可以按照 3.1 节介绍的流程编译生成动态链接库文件, 进而生成编程实例对象, 该对象可以直接应用到显示界面中。

通过二次开发使 VAPS XT 具备了应用 OpenGL 编程的能力, 就可以参照其他领域中的三维应用开发流程, 添加丰富的阴影、贴图效果, 优化渲染效率。图 3 是使用本文的设计流程在 VAPS XT4.0 软件中开发的三维视景界面, 所使用的三维高程数据文件为“N58W135.raw”。

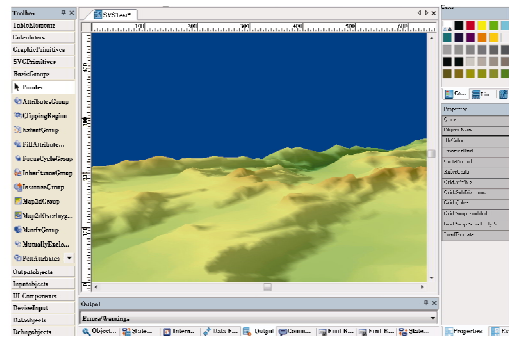


图3 使用 VAPS XT4.0 设计的三维视景显示

Fig.3 The 3D visual display designed with VAPS XT4.0

4 结论

经过实际验证, 本文提供的方法可以实现基于 VAPS XT 的三维视景开发。通过叠加常规的飞行参数显示界面, 显示效果可以满足驾驶舱三维显示界面开发的需求, 降低了前期开发验证的成本, 缩短了开发时间, 对三维视景的开发和应用具有一定的参考价值。本文演示的基于 VAPS XT 进行三维视景开发的流程是对 VAPS XT 二次开发在三维显示系统开发领域应用的一种探索, 可以协助设计人员便捷地利用有限的设计资源对三维视景的现实效果进行验证。在后续的驾驶舱三维视景开发应用过程中, 还可以进一步研究基于多线程技术的地形数据持续读取、处理技术、更加逼真和高效的地形渲染算法, 采用 VAPS XT 面向 Linux 等开源操作系统的底层开发库, 并对用户二次开发代码进行严格的软件测试, 以使基于 VAPS XT 的三维视景开发满足实际驾驶舱显示界面研发的需要。

参考文献

- [1] 许剑明, 王永, 周建亮. 基于 VAPS 的机载多功能显示器的仿真研究[J]. 电光与控制, 2005, 12(3): 36-39. (XU J M, WANG Y, ZHOU J L. Simulation of airborne multi-function display based on VAPS[J]. Electronics Optics & Control, 2005, 12(3): 36-39.)
- [2] Presagis. VAPS XT User's guide V3.2[M]. Montreal: Presagis Press, 2011.
- [3] Presagis. VAPS XT CODE nGen programmers guide[M]. Montreal: Presagis Press, 2011.
- [4] U. S. Geological Survey. SRTM topography[DB/OL]. [2014-05-15]. http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/Documentation/SRTM_Topo.pdf.
- [5] POLACK T. Focus on 3D terrain programming[M]. Cincinnati: Premier Press, 2002.