导弹投射区域可视化中的坐标变换研究

郭文普,孙继银,王 鹏
(第二炮兵工程学院四系,陕西 西安 710025)

摘 要:导弹投影区域可视化是实现投射模拟训练及匹配基准图制备的关键环节。为了利用真实地形地物数据,生成在真实的飞行参数及摄像机参数下导弹攻击路径上各个视点的导弹投射区域场景,通过WGS-84坐标与高斯平面坐标间的坐标转换关系,结合计算机图形学中三维图形坐标变换,采用参数数据的高斯平面坐标作为场景的观察坐标,应用OpenGL实现了真实坐标参数下的场景生成。最后给出了OpenGL的关键代码和场景效果图,结果表明这种方法十分有效,对应用OpenGL进行交互视景仿真具有借鉴意义。

关键词:视景仿真;OpenGL;坐标变换;视景体
中图分类号:TP39 **文献标识码**:A **文章编号**:1673-629X(2010)04-0207-04

Study on Coordinate Transformations in Missile Shooting Area Visualization

GUO Wen-pu, SUN Ji-yin, WANG Peng
(The Fourth Department of The Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025, China)

Abstract: Missile shooting area visualization is very important to achieve shooting simulation training and prepare refence map. In order to construct the scene with the true data of flight parameters, terrain and surface features, discuss the transformation between WGS-84 coordinates and Gaussian plane coordinate, introduce the three-dimensional graphics transform of Cyber Graphics and its OpenGL functions. At last, present the key code of OpenGL and the scene image. This paper is useful to study interactive visual simulation with OpenGL.

Key words: visual simulation; OpenGL; coordinate transformation; viewing volume

0 引 言

精确制导武器是高技术条件下信息化战争的主要兵器,对于基于电视制导或图像匹配制导的精确制导导弹,投射模拟训练或匹配基准图的制备是一个非常关键的环节,其中导弹投射区域的可视化更是必须解决的问题。导弹投射区域的可视化与其它的视景仿真应用如三维游戏等相比,最大的区别是导弹投射区域的可视化追求的不仅仅是视景仿真中的真实感,更重要的是其真实性。许多视景仿真应用[1~3]追求的真实感、沉浸感主要是通过增强显示效果来实现的,而导弹投射区域可视化的真实性则主要是通过真实的地形地表数据、真实的飞行参数数据来实现。

收稿日期:2009-08-15;**修回日期**:2009-11-17
基金项目:武器装备预研基金项目(513220208)
作者简介:郭文普(1976-),男,河北河间人,讲师,博士研究生,研究方向为景像匹配制导中的三维基准图生成技术;孙继银,教授,博士生导师,研究方向为指挥自动化工程及空间信息应用技术。

1 导弹投射区域可视化的基本步骤

为了实现导弹投射区域的可视化,首先是要利用卫星影像或遥测技术获取导弹投射区域的地形DEM(Digital elevation model,数字高程模型)数据、正射影像DOM数据和投射区地物(如建筑物)的三维数据;其次,利用这些数据生成导弹投射区域的三维场景;最后,利用给定的模拟飞行参数,生成在飞行航迹上每个点及受弹载相机在该点处俯仰、偏转、滚动影响条件下,所观察到的导弹投射区域的场景序列图。

上述步骤中,利用卫星立体像对或遥测技术制备DEM、DOM及地物三维数据的技术已经十分成熟,且有商业数据可直接采用,在此不做详述,关键在于如何生成逼真的三维场景及飞行航迹上的场景序列图像。

2 导弹投射区域可视化的OpenGL实现

OpenGL[4]图形库是美国SGI公司开发的三维图形库,目前已成为开放式的国际图形标准。当前对虚拟场景的开发大多采用的是OpenGL开发库。导弹投

射区域可视化的 OpenGL 实现涉及到对数据的分析与坐标换算，OpenGL 投影、模型、视点的设置等一系列过程，其理论基础是计算机图形学坐标变换。

2.1 原始数据涉及的坐标系及变换方法

生成导弹投射区域三维场景所需的 DEM、目标三维数据和飞行航迹等数据主要涉及到 WGS－84 坐标系[5]和高斯平面坐标系[5]。

WGS－84 坐标系是目前 GPS 所采用的坐标系统，GPS 所发布的星历参数就是基于此坐标系统的，其全称是 World Geodetic System 1984（世界大地坐标系 84），是一个地心地固坐标系统。

WGS－84 坐标系的坐标原点位于地球的质心，Z 轴指向定义地极的方向，X 轴指向格林威治子午线和赤道的交点，Y 轴与 X 轴和 Z 轴构成右手系。采用椭球参数为：a = 6378137m，f = 1/298.257223563。椭球上任意一点的坐标可以用经纬度（L，B）和海拔高度 H 表示，如图 1 所示，P 点的坐标记为 P(L,B,H)。

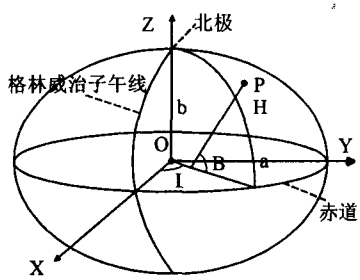


图 1 WGS－84 坐标系

由高斯投影的概念，设想用一个断面与参考椭球体子午圈相等的椭圆柱套在参考椭球上，椭圆柱面与某一选定的子午线（称为中央子午线）相切，然后在保持正形投影的条件下，将参考椭球体上的子午线、赤道和各点均投影到椭圆柱面上。将椭圆柱面沿轴线，并通过 N、S 两端切开，展开所得的平面即为高斯平面坐标系的几何定义：中央子午线与赤道的交点为原点，中央子午线为 X 轴，赤道面与椭圆柱面相交成一条直线，该直线与中央子午线正交，构成 Y 轴，如图 2 所示。

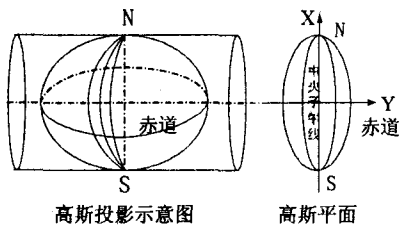


图 2 高斯平面、高斯投影示意图

为便于运算，将生成场景所需数据的坐标系统都转换为高斯平面坐标。WGS－84 坐标向高斯平面坐标转换的方法可参考文献[5]，也可直接利用 Internet 上下载的工具软件完成。

2.2 计算机图形学坐标变换过程

要做到从不同方位来观察所生成的场景，必须对三维数据模型进行三维图形变换[6]，从而得到正确的视图。三维图形变换主要分为三个步骤。

1）模型变换：指场景中不同物体的平移、旋转、比例变换等；

2）视点变换：指场景中视点的平移、旋转、比例变换等；

3）投影变换：是场景中物体从三维空间到二维平面的变换过程。

计算机图形学认为模型变换和视点变换是等效的，可以统称为三维几何变换。

上述过程中涉及的坐标系有：物体坐标系、世界坐标系、观察坐标系（也称为视点坐标系）、屏幕坐标系以及视口坐标系。

（1）物体坐标系：场景中的每个物体都有自身的、各自独立的坐标系统，即物体坐标系统。该坐标系是物体建模时定义的。

（2）世界坐标系：场景自身定义的坐标系统。

（3）观察坐标系：也称为视点坐标系，是由视点位置及视点向量决定的。

（4）屏幕坐标系：是二维坐标系统，是场景投影平面的坐标系统。

（5）视口坐标系：一般是一个二维矩形窗口，与显示设备有关。

三维图形变换就是上述坐标系的变换过程，如图 3 所示。

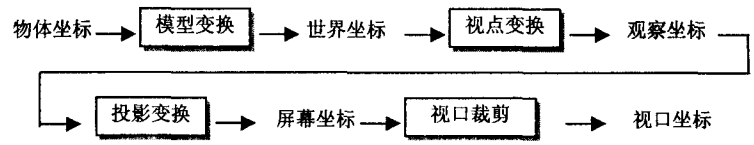


图 3 坐标系的变换关系

2.3 坐标变换的 OpenGL 实现

（1）坐标初值变换。

通过 WGS－84 坐标系与高斯平面坐标系间的转换关系，将导弹投射区域中地形、地物及导引头相机在空间中的位置均用高斯平面坐标表示，这样它们之间的相对关系是真实而准确的。但是在模型绘制时，由于真实高斯平面坐标数值太大，直接用该坐标值绘制将会使视景体设置复杂化。因此，将该区域 DEM 数据的左下角高斯平面坐标作为初值，所有的坐标值都减去该初值，这样相当于对模型进行平移操作，将其平移到坐标原点，它们间的相对位置没有变化，但坐标值

变小了。以某区域 1km * 1km,1m 分辨率的地形、地物为例,高斯平面坐标为(35xxxxx,77xxxx)范围内,经上述操作后,坐标范围均在(0,0)至(1000,1000)内,导引头相机在空间中位置的坐标值也相应的减小了。

(2)模型变换和视点变换。

导弹投射区域的可视化需要生成导弹飞行过程中,导引头相机观察到的三维场景。由于导引头安装在导弹上,随导弹一起在空间运动,而且导引头自身为了搜索目标也在相对于稳定平台作转动。因此,为了模拟导引头视景,生成导弹飞行路径上导引头观察到的三维序列图,必须对相机的空间位置和姿态进行控制。为此引入飞行的六自由度参数[7] - 空间位置坐标(X,Y,Z)和空间姿态(RotateX,RotateY,RotateZ),其中相机的空间位置和空间姿态是相对于地面坐标系的。

OpenGL 提供了同时作用于模型变换和视点变换的函数 gluLookAt,其函数原型如下:

Void gluLookAt (GLdoble eyex, GLdouble eyey, GLdouble eyez, GLdouble centerx, GLdouble centery, GLdouble centerz, GLdouble upx, GLdouble upy, GLdouble upz);

该函数参数共三对坐标,分别为 eye,center,up,故名思义,eye 表示观察者眼睛的位置,center 表示眼睛"看"的那个点的坐标,up 表示观察者本身的方向,比如是直立、倒立、平躺还是歪成某一个角度。将导引头相机的空间位置坐标(X,Y,Z)做为 eye 坐标,将导弹投射区域的中心点坐标做为 center 坐标,up 设为(0,0,1)即可。

观察到的场景除受相机空间位置影响外,还受到相机空间姿态的影响,需要用到 OpenGL 提供的 glRotatef 函数。用下列三条语句进行设置即可。

glRotatef(RotateX,1,0,0);

glRotatef(RotateY,0,1,0);

glRotatef(RotateZ,0,0,1);

(3)投影变换。

投影变换主要有两种:平行投影和透视投影,OpenGL 中对应的函数分别为 gluOrtho2D 和 gluPerspective。平行投影发出的投影射线都是平行线,在投影平面上获得的影像的大小与物体距视点的远近无关,产生不了景深感;透视投影根据人眼观察物体的原理,按照"远小近大"的法则来获得影像,可以产生景深感。平行投影常用于 CAD 或建筑设计,可在屏幕上表示精确尺寸;透视投影常用于强调真实感的视景仿真应用中。为了获取逼真的场景,文中采用的是透视投影。

很多 OpenGL 初学者最大的困难就是采用透视投影时,绘制的场景在屏幕上看不到,根本原因在于未完全理解 OpenGL 的 gluPerspective 函数,该函数原型如下:

Void gluPerspective (GLdouble fovy, GLdouble aspect, GLdouble zNear, GLdouble zFar);

gluPerspective 函数的作用就是定义一个四棱台状的视景体,绘制在视景体内的场景可以投影到投影面上,超出视景体外的部分不被投影从而不可见。因此,绘制的场景没有显示很多情况下都是因为未设置好 gluPerspective 函数,导致场景未绘制在定义的视景体内或是场景相对定义的视景体太小。

结合图 4,理解 gluPerspective 函数的四个参数的意义。观察点指视点位置,若未指定视点,默认为坐标原点;fovy 指视场角;aspect 为长宽比;zNear 为近裁剪面;zFar 为远裁剪面。在导弹投射区域可视化时,用导引头相机本身视场角参数做为 fovy;用定义视口的长宽比做为 aspect;zNear 尽量小一些,设为 1;zFar 尽量大一些,设为 50000。由于导引头距投射区域的距离在十几公里范围内,这样设置视景体,可使投射区域场景完全绘制在视景体内。

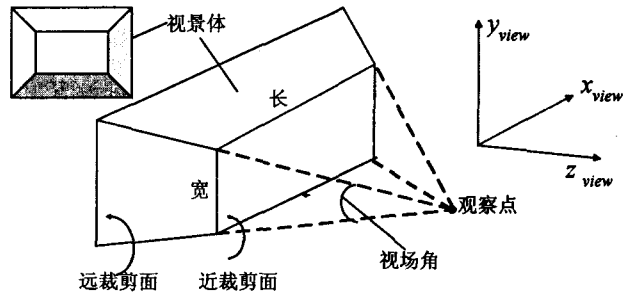


图 4　视景体的定义

(4)视口变换。

视口变换指定将投影变换后得到的图像显示在程序窗体的哪一部分,会影响到图像的尺寸。OpenGL 中用 glViewPort 函数进行设置,其函数原型如下:

Void glViewport(GLint x, GLint y, GLsizei width, GLsizei height);

一般基于单视口的视景仿真应用都是将视口设置为程序窗体的客户区,且随客户区大小的变化而变化,基于多视口的应用则根据需要设置多个不同的视口。在导弹投射区域可视化时,为了增加真实性,用真实的导引头相机拍摄到的图像大小去约束视口的设置,即先手工输入视口参数调节视口大小,何时屏幕显示的三维场景图像中的目标与真实拍摄图像中的目标大小一致,则确定该视口设置。这种方法没有什么图形学的科学依据,但效果很实用。

2.4 OpenGL 关键代码及观察到的场景

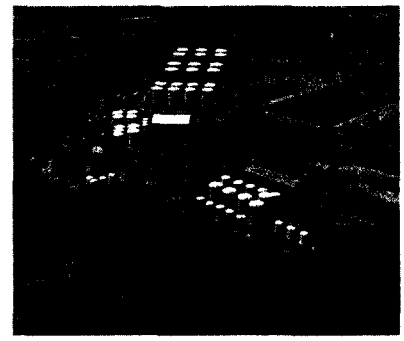
关键的 OpenGL 代码如下：

```
glMatrixMode(GL_MODELVIEW); // 模型矩阵变换模式
glLoadIdentity();
gluLookAt(EyeX, EyeY, EyeZ, TargetX, TargetY, TargetZ, UpX, UpY, UpZ); // 视点观察
glRotatef(RotaX,1,0,0); // 俯仰姿态影响
glRotatef(RotaY,0,1,0); // 偏转姿态影响
glRotatef(RotaZ,0,0,1); // 滚动姿态影响
glCallList(DisDem); // 调用地形的显示列表,绘制地形
glCallList(ObjectList); // 调用地物的显示列表,绘制地物
glMatrixMode(GL_PROJECTION); // 投影矩阵变换模式
glLoadIdentity();
gluPerspective(Proj_Fovy, ViewWidth/ViewHeight, Proj_Near, Proj_Far); // 定义视景体
glViewport(ViewLeft, ViewTop, ViewWidth, ViewHeight); // 定义视口
glFlush();
SwapBuffers(wglGetCurrentDC());
```

其中，相应变量的赋值如前所述，EyeX、EyeY、EyeZ、RotaX、RotaY、RotaZ 由导引头相机飞行航迹中的六自由度参数实时赋值，其它变量既有默认设置值也可由用户手动赋值调整。

图5为导引头相机观察到的投射区域三维场景图。

(a) 某火电厂区域



(b) 某油库区域

图5 导引头相机观察到的投射区域三维场景（DEM+DOM+地物）

3 结束语

文中讨论了多种坐标系，其实在了解各种坐标系的概念后，编写的 OpenGL 代码化繁为简，主要用到观察坐标系，就基本实现了三维场景的可视化。这种思路值得相似的视景仿真应用借鉴。

参考文献：

[1] 励映群，王润杰. OpenGL 中实现飞行仿真观察变换的几种方法[J]. 计算机仿真，2003，20(5)：71－73.

[2] 王 炜，刘少华. 飞参驱动的虚拟飞行再现系统设计与实现[J]. 系统仿真学报，2007，19(9)：2000－2002.

[3] 见 英，叶 榛. 无人机飞行视景仿真平台的设计与实现[J]. 计算机工程，2005，31(14)：190－192.

[4] Rechard S, Wright Jr, Sweet M. OpenGL 超级宝典 [M]. 第2版. 潇湘工作室，译. 北京：人民邮电出版社，2001.

[5] 周 卫，孙毅中，盛业华，等. 基础地理信息系统[M]. 北京：科学出版社，2006.

[6] 孙家广，杨常贵. 计算机图形学[M]. 北京：清华大学出版社，1996.

[7] 刘 通，谢剑斌. 飞行仿真实验中飞机飞行参数与坐标系变换[J]. 计算机技术与发展，2006，16(10)：192－193.

(上接第206页)

5 结束语

基于 WebGIS 和 Portal 构建林业资源管理与决策系统，能够实现大型林业资源管理与决策系统的高效管理，解决大型系统的资源信息整合访问、安全控制等问题，降低管理开销及管理的复杂度，提高系统的利用率。提供的方法对大型网络地理信息系统的安全访问控制，信息资源快速有效整合利用等性能具有一定的意义。

参考文献：

[1] 朱胜利. 国外森林资源调查监测的现状和未来发展特点[J]. 林业资源管理，2001，4(5)：22－27.

[2] 陆守一. 地理信息系统实用教程[M]. 第2版. 北京：中国林业出版社，2000.

[3] 王 颖. 分布式空间数据源的联合查询[J]. 计算机工程与研究，2007(4)：32－34.

[4] 张 凤，曹渠江. 现有时空数据模型的研究[J]. 上海理工大学学报，2005(6)：64－68.

[5] Sandhu R S, Samarati P. Access control: Principles and practice [J]. IEEE Communications, 1994, 32(9): 40－48.

[6] 戴莹莹，希 凡. 基于角色的访问控制在 B/S 模式中的研究与实现[J]. 交通与计算机，2006(2)：127－130.

[7] 许春根. 基于角色访问控制技术的 UML 表示[J]. 计算机工程与应用，2001(8)：9－12.

[8] Joshijbd, Bertinoe, Latifu, et al. A Generalized Temporal Role－Based Access Control Moedl[J]. IEEE Trans on Knowledge and Data Engineering, 2005, 17(1): 4－23.