

Vega Prime

开发与仿真应用

王文辉 王文双 侯学隆 李春洪 晋玉强 ○ 著



Development and
Simulation Application Based on
Vega Prime



西南交通大学出版社



Vega Prime 开发与仿真应用

Development and Simulation Application Based on Vega Prime

王文辉 王文双 著
侯学隆 李春洪 晋玉强



西南交通大学出版社

内容简介

Vega Prime 是具有代表性的虚拟现实商用货架产品 (COTS) 之一, 在战场仿真、城市仿真、训练模拟器等领域都得到了广泛应用。本书以 Vega Prime 5.0 为基础, 描述了 Vega Prime 概况, 介绍了常用模块, 阐明了设计模式和开发流程, 重点阐述了 Vega Prime 的三种基本程序框架, 并结合“坦克攻占机场实例”和“卫星视景仿真实例”详细讲解了多种常规功能的工程级实现方法。

本书可为从事虚拟现实与作战仿真的科技人员提供技术参考, 也可作为高等院校相关专业教学用书。

图书在版编目 (C I P) 数据

Vega Prime 开发与仿真应用 / 王文恽等著. —成都:
西南交通大学出版社, 2017.11
ISBN 978-7-5643-5777-1

I. ①V… II. ①王… III. ①虚拟现实—程序设计—
高等学校—教材 IV. ①TP391.98

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 230286 号

Vega Prime 开发与仿真应用

王文恽 王文双
侯学隆 李春洪 晋玉强 / 著

责任编辑 / 黄庆斌
特邀编辑 / 刘姗姗
封面设计 / 何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行
(四川省成都市二环路北一段 111 号西南交通大学创新大厦 21 楼 610031)
发行部电话: 028-87600564 028-87600533
网址: <http://www.xnjdcbs.com>
印刷: 四川煤田地质制图印刷厂

成品尺寸 185 mm × 260 mm
印张 15.25 字数 350 千
版次 2017 年 11 月第 1 版 印次 2017 年 11 月第 1 次

书号 ISBN 978-7-5643-5777-1
定价 (含光盘) 68.00 元

课件咨询电话: 028-87600533
图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

虚拟现实（Virtual Reality, VR）指以计算机技术为核心，结合相关科学技术，生成与一定范围真实环境在视、听、触感等方面高度近似的数字化环境，用户借助必要的装备与数字化环境中的对象进行交互并相互影响，可以产生亲临对应真实环境的感受和体验。虚拟现实是人类在探索自然、认识自然过程中创造产生并逐步形成的一种用于认识自然、模拟自然，进而更好地适应和利用自然的科学方法和科学技术。

VR 技术产生以后很快就在军事演练、航空航天和工业设计等几个领域得到广泛应用，开发出了一些成功的应用系统。20 世纪 90 年代初，在巨大需求的拉动和相关应用部门的推动下开始出现各种类型的 VR 系统开发工具，这些开发工具对降低 VR 系统开发门槛、提高开发效率起到了重要作用，推动了 VR 应用的发展。

在这种背景下，涌现出了一批面向实时绘制的 VR 系统开发工具，Vega Prime 就是其中具有代表性的商用货架产品（COTS）之一。经过 Multigen-Paradigm 公司和 Presagis 公司研发至今，Vega Prime 已经有十余个版本，在市场上有十余年的应用历史。其强大的优良特性、众多的模块和灵活扩展性是其广泛应用和长期存在的根本原因。

但是，基于 Vega Prime 的应用开发涉及多个学科领域，需要掌握较广的仿真技术和具有较高的编程水平，这就给初学者带来了较高的门槛。在学习开发使用过程中，常常遇到各种技术问题得不到快速有效解决，用户感叹在入门过程中要是有一本真正从初学者角度来讲解和说明的书籍该多好，而笔者在开发应用过程中也曾面临同样的境地。于是，在 2016 年底，笔者抛下一切阻碍，沉下心来，闭门写书。写书的过程是漫长、寂寞甚至是痛苦的；同时，也是快乐而富有成就感的。从一个不成熟的构想到较为满意的成书结构，从满篇的空白页到图文并茂布满篇幅，从一个基本的代码框架到较为稳定的实例工程，整个过程只有自己的内心和编书的那台计算机知道。

本书的定位是作为 Vega Prime 初学者一个实例引导型的参考资料，以便

于入门学习使用。本书没有讲过多的底层原理和理论，更多的是通过实例让初学者掌握基本的 Vega Prime 开发应用方法。个人认为，对于初学者来讲，在一个较好的基本程序框架下进行系统开发是快速形成系统的途径之一，所以本书着重讲解了几种常用的 Vega Prime 基本程序框架，以供读者根据实际情况选择使用。限于篇幅等多种原因，还有很多模块和高级功能没有讲解，请读者查阅相关资料深入研究。如有可能，后期再版此书将结合某分布式虚拟仿真系统讲解 RTI、大地形、海洋、仪表等高级应用的开发与实现。

本书编写过程中得到了潜继成教授、马海军教授、刘波、王文洁技术总监和 Super Demo 网友等人的帮助，在此表示感谢。同时，本书参考了国内外大量的文献和研究成果，在此对这些作者和研究人员表示真诚感谢。

本书的出版还得到了西南交通大学出版社的大力支持，在此表示真诚的谢意。

基于 Vega Prime 的开发与应用涉及仿真领域多种专业技术，加之作者理论水平、专业知识和程序开发能力有限，书中疏漏之处在所难免，敬请广大读者和专家批评指正。关于书中的错误之处，将在 www.52vr.com 网站的 Vega Prime 板块中更新。同时，读者如有好的建议和意见，可通过作者电子邮箱（99daodan@163.com）联系。

王文恂
2017 年 6 月于烟台

目 录

1	Vega Prime 概述	1
1.1	Vega Prime 简介	1
1.1.1	系统结构	2
1.1.2	主模块	4
1.1.3	可选专业模块	6
1.1.4	第三方模块及工具	11
1.1.5	资源工具	15
1.2	Vega Prime 安装	17
1.2.1	版本历史	17
1.2.2	系统需求	17
1.2.3	安装及认证过程	18
1.2.4	目录结构	26
1.2.5	环境变量	27
2	Vega Prime 常用模块	28
2.1	基础模块-vp	28
2.2	声音模块-vpAudio	30
2.3	摄像效果模块-vpCamera	30
2.4	坐标模块-vpCoordsys	30
2.5	环境模块-vpEnv	31
2.6	特效模块-vpFx	32
2.7	外设输入模块-vpInput	33
2.8	光束模块-vpLightLobe	33
2.9	大地形模块-vpLADBM	34
2.10	海洋模块-vpMarine	35
2.11	运动模块-vpMotion	36
2.12	图层模块-vpOverlay	36

2.13	路径模块-vpPath	37
2.14	阴影模块-vpShadow	37
2.15	三维树木模块-vpSpeedTree	38
2.16	VAPSXT 模块-vpVAPSXT	38
2.17	虚拟纹理模块-vpVT	39
2.18	MetaFlight 模块-MetaFlight	40
3	LynX Prime 应用	41
3.1	LynX Prime 界面	41
3.1.1	启动与退出	41
3.1.2	界面组成	41
3.2	ACF 文件开发	47
3.3	导出 C++ 代码	48
4	设计模式与开发流程	49
4.1	设计模式	49
4.2	开发流程	49
4.2.1	系统规划	49
4.2.2	开发流程	51
5	基本程序框架	53
5.1	最小结构框架	53
5.2	基于 MFC 的定时器框架	56
5.3	基于 MFC 的多线程框架	63
5.4	基于 MFC 的多进程框架	74
5.4.1	Vega Prime 场景切换问题分析	74
5.4.2	基于进程的場景切换方法	75
5.4.3	基于进程的多场景仿真系统框架	75
6	坦克攻占机场实例	79
6.1	系统设计	79
6.1.1	剧情设计	79
6.1.2	功能设计	79

6.1.3	程序框架	80
6.1.4	素材资源	82
6.2	常规控制	86
6.2.1	视点切换	86
6.2.2	比例缩放	95
6.2.3	无人机运动轨迹	100
6.2.4	无人机侦查	106
6.2.5	统计信息	112
6.3	坦克运动控制	114
6.4	坦克发射控制	125
6.5	炮弹仿真	130
6.5.1	炮弹发射	131
6.5.2	炮弹弹道	135
6.5.3	炮弹碰撞检测	137
6.5.4	动态生成弹坑	142
6.5.5	飞机毁伤效果	145
6.5.6	特效生成	146
6.6	音效仿真	152
6.6.1	坦克引擎声音	153
6.6.2	炮弹发射声音	153
6.6.3	炮弹爆炸声音	153
6.7	坦克履带运动效果	154
6.8	坦克探照灯效果	158
6.9	环境控制	160
6.9.1	主环境控制	161
6.9.2	风参数调整	164
6.9.3	雨雪调节	165
6.10	三维选择功能	169
6.10.1	鼠标响应	169
6.10.2	碰撞检测	171
6.10.3	高亮显示	176
6.11	字符及绘图功能	179
6.11.1	战场态势显示	180
6.11.2	汉字显示	186

6.11.3	坦克火力范围显示	192
6.11.4	与无人机通信链路显示	193
6.12	截屏功能	196
6.13	录屏功能	198
7	卫星视景仿真实例	202
7.1	系统设计	202
7.1.1	功能设计	202
7.1.2	框架设计	202
7.2	构建三维模型	203
7.3	安装 Qt 开发环境	205
7.3.1	安装 Qt4.8.6	205
7.3.2	设置 Qt 环境变量	206
7.4	开发流程	206
7.4.1	生成 Qt 程序框架	206
7.4.2	编辑 Qt 界面	208
7.4.3	编辑界面代码	210
7.4.4	编辑 ACF 文件	212
7.4.5	编辑 QVPThread 类	213
7.4.6	编辑 main.cpp 文件	222
7.4.7	编译运行	224
	参考文献	226
	附录一 Vega Prime 与第三方工具的兼容性表	229
	附录二 基于 Vega Prime 的仿真测试示例效果图	233

1 Vega Prime 概述

1.1 Vega Prime 简介

Vega Prime 是加拿大 Presagis 公司的重要视景仿真产品之一。Presagis 公司是在 CAE (Canadian Aviation Electronics) 收购了 Engenuity Technologies、Multigen-Paradigm 和 TERREX 这三家行业领先公司后成立的。该公司通过整合三家公司原有优良产品，为用户提供了高效开发中的订制建模、仿真和嵌入式显示软件的一系列解决方案。

Vega Prime 是当今最为先进的应用于实时视景仿真、声音仿真和虚拟现实等领域的实时三维应用开发环境。Vega Prime 提供真正跨平台、可扩展的开发环境，来高效创建和配置视景仿真、城市仿真、训练模拟器及计算可视化等领域的视景数据库应用。它既具有强大的功能来满足当今最为复杂的实现环境效果和交互控制等的应用要求，又具备高度的易用性来提高效率。Vega Prime 还设计了多种功能增强模块，这些模块和 Vega Prime 结合在一起，进一步提升了应用开发的效率和适用性。因此它是一个可灵活扩展的软件解决方案，是用于创建及配置视景仿真、多领域仿真和通用可视化应用的视景平台。

Vega Prime 的主要特性如下：

(1) 跨平台性：它支持 Microsoft Windows、SGI IRIX、Linux 和 Sun Microsystems Solaris 等操作系统。同时，用户的应用程序也具有跨平台特性，用户可以在任意一种平台上开发应用程序，且无需修改就能在另一个平台上运行。

(2) 与 C++ STL (Standard Template Library) 兼容。

(3) 支持双精度浮点数。

(4) 可定制用户界面和可扩展模块：虽然 Vega Prime 可扩展的插件式体系结构技术复杂，但使用简单。用户可以根据自己的需求调整三维应用程序，能快速设计并实现视景仿真应用程序，以最低的硬件配置获得高性能的运行效果。此外，用户还可以开发自己的模块，并生成定制类。

(5) 同时支持 OpenGL 和 Direct3D。

(6) 高效的生产率：Vega Prime 提供了许多高级功能，能满足绝大部分视景仿真应用的需要，同时还具有简单易用的特性、高效的生产率。

(7) 支持 MetaFlight 文件格式：MetaFlight 是基于 XML 的数据描述规范，它使运行数据库能与简单或复杂的场景数据库相关联，MetaFlight 极大地扩展了 OpenFlight 的应用范围。

(8) 支持 TerraPage 文件格式：TerraPage 是 Presagis 公司针对 PC 机专门开发的大地形模型库分页格式，它对数据结构的预优化可实现大地形数据库快速访问。

1.1.1 系统结构

Vega Prime 作为一种成熟的商业货架软件，它基于 VSG（Vega Scene Graph）创建，而 VSG 又是基于最底层的 OpenGL 封装的。Vega Prime 提供了主模块、专业模块和第三方模块，并结合第三方的工具，为用户开发自己的软件提供一套开发环境。Vega Prime 系统结构如图 1.1 所示。

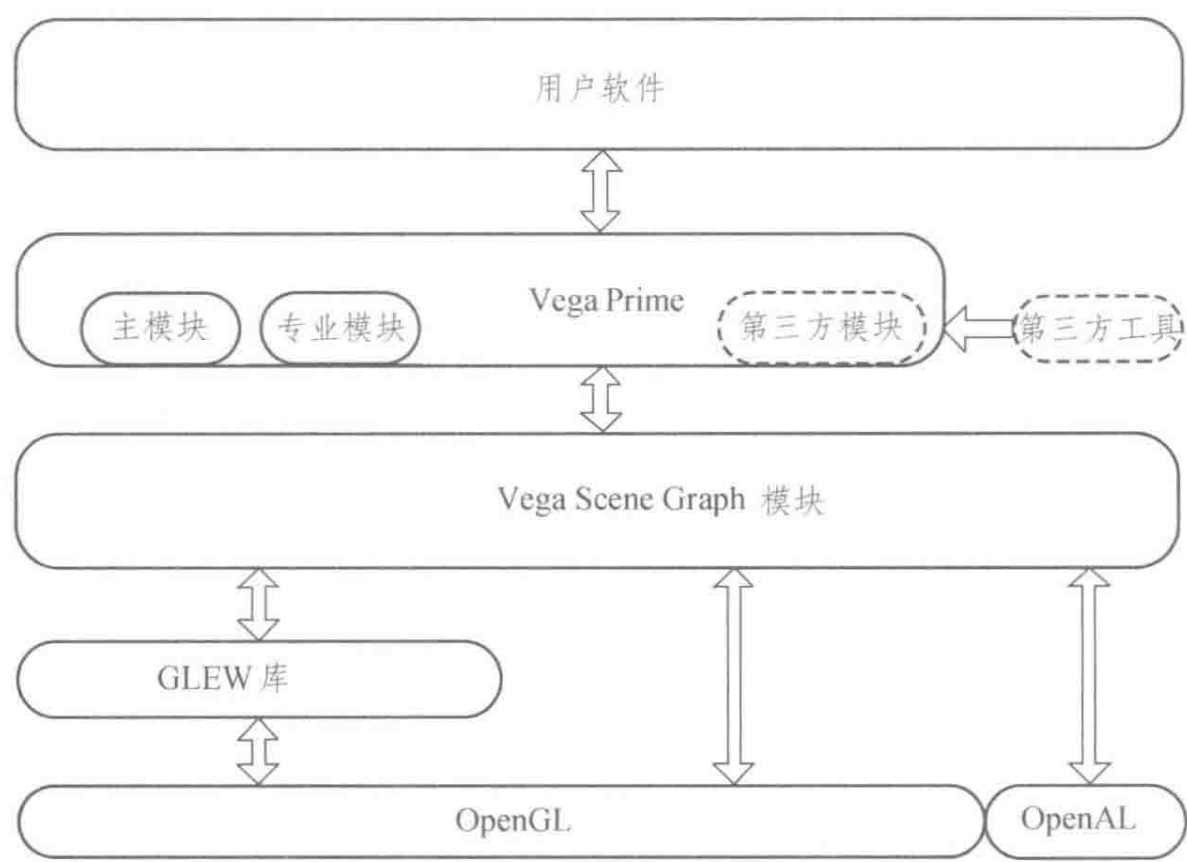


图 1.1 Vega Prime 系统结构

1. OpenGL 和 OpenAL

Vega Prime 的最底层是 OpenGL（Open Graphics Library）和 OpenAL（Open Audio Library）。OpenGL 是计算机行业领域中最广泛接纳的 2D/3D 图形 API 之一。与另外一种图形 API DirectX 相比，OpenGL 具有更好的软硬件兼容性。OpenAL 是自由软件界的跨平台音效 API，用于提供音频控制功能。

2. GLEW 库

GLEW 库（OpenGL Extension Wrangler Library）是一种跨平台的开源 C++ 扩展库，用于帮助 C/C++ 开发者初始化 OpenGL 扩展功能，并书写可移植的应用程序。GLEW 库当前支持的操作系统包括 Windows、Linux、Darwin、Iris 和 Solaris。

3. VSG

Vega Prime 直接基于 VSG（Vega Scene Graph）创建。VSG 是一组高级跨平台场景渲染 API，在为视景仿真和可视化应用提供的各种低成本商业开发软件中，VSG 具有最强大的功能，它为仿真、训练和可视化等高级三维应用开发人员提供了最佳的、

可扩展的基础。VSG 具有极高的高效性、优化性和可定制性，无论用户有何需求，都能在 VSG 基础之上快速高效地开发出满足需要的视景仿真应用程序，因此它是开发三维应用程序的最佳基础。Vega Prime 包括了 VSG 提供的所有功能，并在易用性和生产效率上作了相应改进。

VSG 具有以下特性：

- 帧频率控制；
- 内存分配；
- 内存泄漏跟踪；
- 基于帧的纹理调用；
- 异步光照处理；
- 优化的分布式渲染；
- 跨平台可扩展的开发环境，支持 Windows、Iris、Linux 和 Solaris；
- 与 C++STL 相兼容的体系结构；
- 强大的可扩展性，允许最大程度的定制，使得用户可调整 VSG 来满足应用需求，而不是根据产品的限制来调整应用需求；
- 支持多处理器、多线程的定制与配置；
- 应用程序也具有跨平台性，用户在任意一种平台上开发的应用程序无须修改就能在另一个平台上编译运行；
- 支持 OpenGL 和 DirectX 优化的渲染功能，应用程序能基于 OpenGL 或 DirectX 运行，其间无须改动程序代码；
- 支持双精度浮点数，可使几何物体和地形在场景中精确地放置与表示；
- 支持虚拟纹理、软件生成图像的动态查阅。

VSG 的组成模块包括：Scene Library（场景库）、Rendering Library（渲染库）、Virtual Texture（虚拟纹理）、Node Loaders（节点加载）、Geo-Builder（几何图形创建）、Texture Loaders（纹理加载）、Image Loaders（图像加载）、Font Loaders（字体加载）、Shader Loaders（阴影加载）、Statistics（统计功能）、Utility Library（实用类 / 函数库）等。

4. Vega Prime 及其模块

在 VSG 之上，才是 Vega Prime，其中封装了大量仿真模块。Vega Prime 包括主模块（含基础模块和应用模块）、可选专业模块和第三方模块。主模块用于基础仿真框架和常规的仿真应用。可选专业模块用于高级的仿真应用，比如特效模块、分布式渲染模块等。第三方模块通常由其他公司研发，和 Vega Prime 结合在一起共同完成一些特殊的仿真应用，比如仪表仿真、人物仿真等，第三方模块的使用需要使用第三方工具软件。Vega Prime 模块组成结构如图 1.2 所示。

需要说明的是，随着 Vega Prime 不断研发，各种模块也是随之变化的，比如早期版本中大地形模块（vpLADBM）属于可选专业模块，后来成为 Vega Prime 主模块中的一部分。本书以 Vega Prime 5.0 的实际情况来区分各种模块。

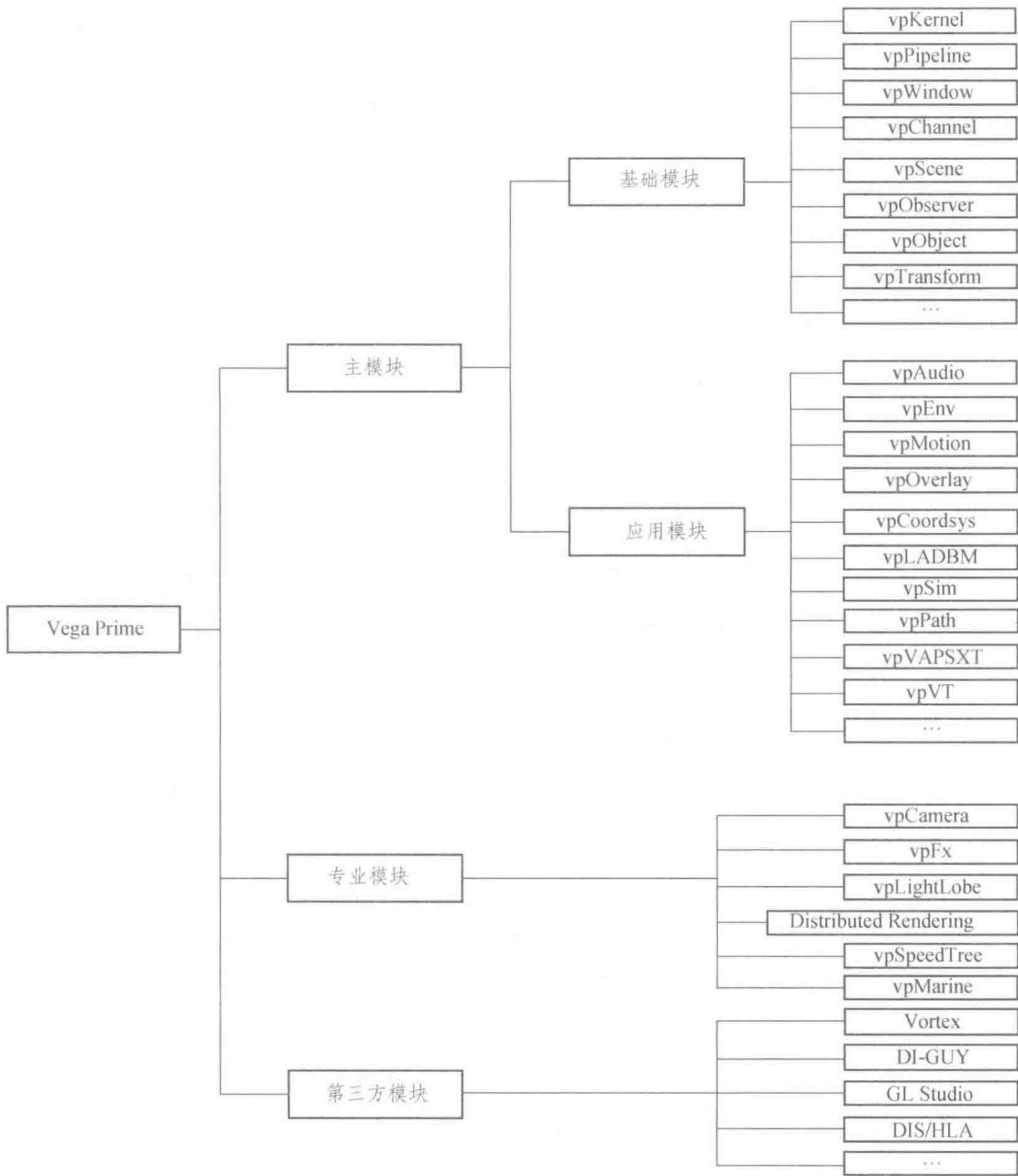


图 1.2 Vega Prime 模块组成结构

1.1.2 主模块

Vega Prime 中主模块包含了基础模块和一些应用模块。

基础模块是构成 Vega Prime 仿真框架基本结构的重要组成部分，包括内核 (vpKernel)、管线 (vpPipeline)、窗口 (vpWindow)、通道 (vpChannel)、场景 (vpScene)、观察者 (vpObserver)、对象 (vpObject)、变换 (vpTransform)、碰撞检测 (vpIsector) 等。在 LynX Prime 的创建实例对话框中，基础模块名称为“vp”。

应用模块包括声音模块 (vpAudio)、环境模块 (vpEnv)、运动模块 (vpMotion)、图

层模块（vpOverlay）、坐标模块（vpCoordsys）、大地形模块（vpLADBM）、VAPSXT 模块（vpVAPSXT）等。

1. vpLADBM

vpLADBM 是专为应用大规模和复杂的地景数据库创建和调度提供跨平台、扩展性良好的开发环境。高性能的 vpLADBM 模块能够在动态页面调用和用户自定义页面调用时确保大规模数据库装载与组织的最优化。大范围地景图片效果如图 1.3 所示。

vpLADBM 提供了最佳的渲染性能，能充分满足定制与扩展性需求，能够最大化地利用现有资源。基于其 MetaFlight XML 文件规格和数据库格式，vpLADBM 确保大规模数据库的组成和关联能够以一种最有效的新型方式完成。MetaFlight 文件的分级式数据结构确保了运行时场景图像得到最佳性能。利用 Vega Prime 核心特性（包括双精度和多线程特性），vpLADBM 为大规模视景仿真应用提供了理想的解决方案。同时，结合 GUI 配置工具（包括易用的向导工具），先进的 API 功能提供了完全符合实时 3D 应用开发的基础构造。

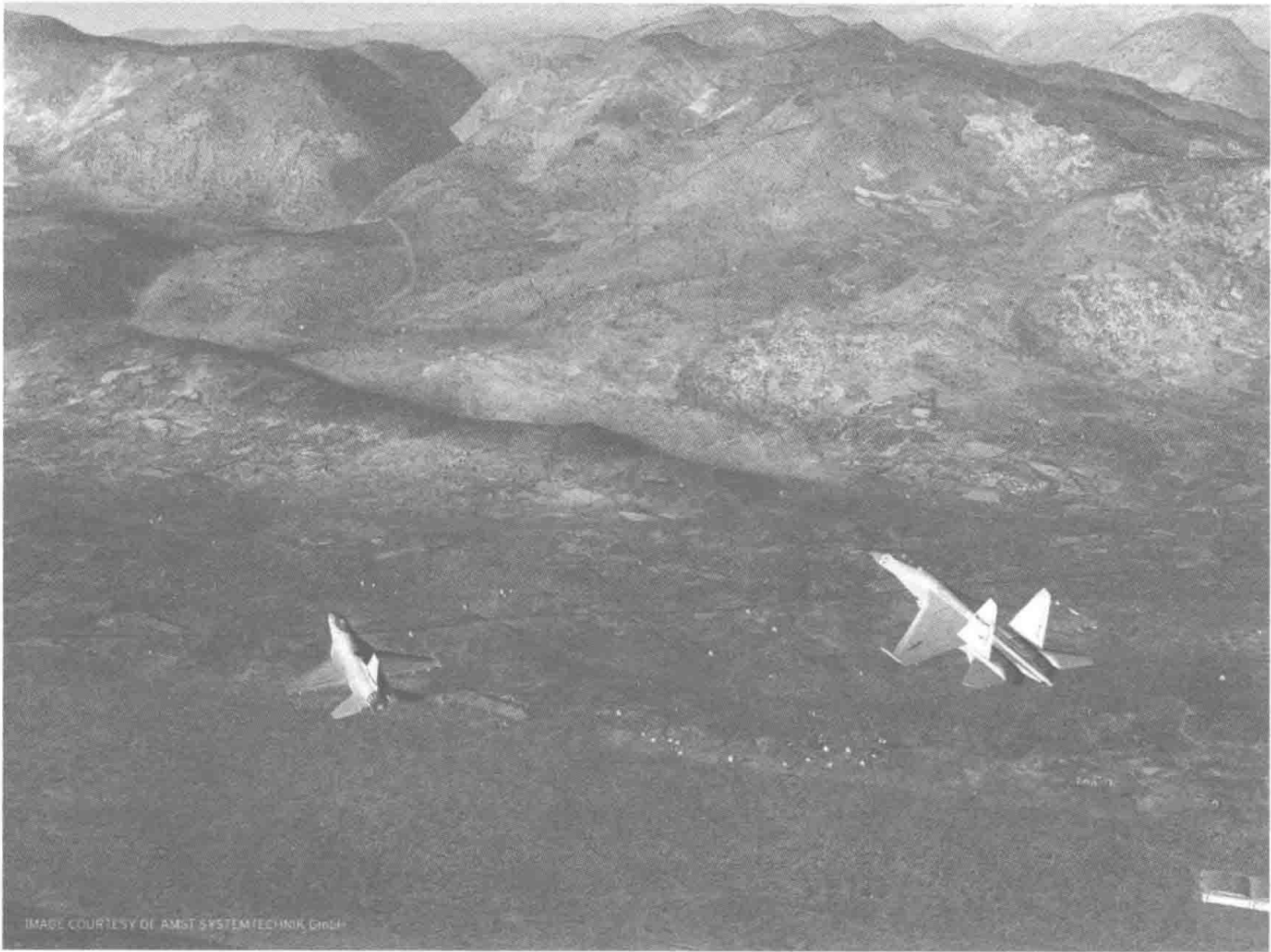


图 1.3 大地形模块效果

2. vpVAPSXT

vpVAPSXT 是 Vega Prime 和 VAPSXT 的集成解决方案，该集成解决方案为三维场景

中创建各种二维图层提供了理想手段。二维图层可模拟平视显示器（Heads-Up Display, HUD）、车辆控制、摄像机控制、选项屏系统、应用程序等。在 VAPSXT 2.3 和 Vega Prime 2.2.1 及更高版本中可直接使用这种集成方案。二维图层集成到三维场景中可以较好地创建交互式训练系统，包括：飞机和地面车辆教练器、无人机教练器及指控站等。使用 VAPSXT 模块时，需要先使用 VAPSXT 软件生成二维图层的动态链接库文件，再导入该模块中，并设置好相关实例和参数。VAPSXT 模块效果如图 1.4 所示。

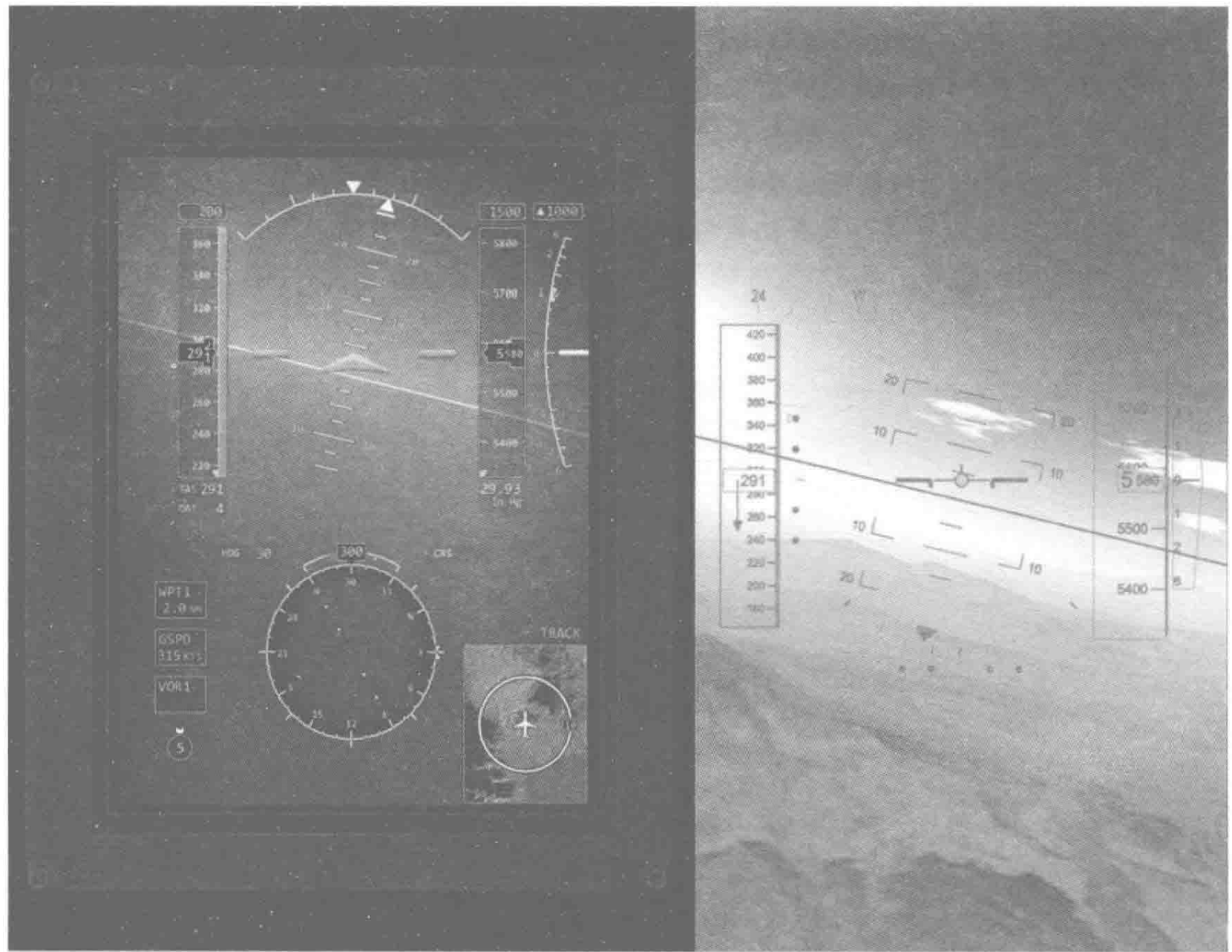


图 1.4 VAPSXT 模块效果

1.1.3 可选专业模块

Vega Prime 为了满足特定应用开发的需求，除了上述主模块之外，还提供了特效模块（vpFx）、海洋模块（vpMarine）、光束模块（vpLightLobe）、摄像效果模块（vpCamera）、三维树木模块（vpSpeedTree）以及分布式渲染功能（Vega Prime Distributed Rendering）等专业模块，这些模块属于可选项目。

1. Vega Prime Camera

Vega Prime Camera 模块，能够模拟出用于任何类型的监视工具、闭路电视系统视频

或光学设备的彩色及黑白效果。Vega Prime Camera 为本土安全、操纵仿真、无人机、安全演练以及突发事件响应等多种应用提供了理想工具。各种效果能通过 LynX Prime GUI 接口或 Vega Prime API 进行组合，并简便地添加到任何 Vega Prime 场景中，并提供多种种类的镜头特效。Vega Prime Camera 支持对每一个摄像效果产生最佳真实感效果，支持对快速原型进行创建和改进的同时预览效果。摄像效果如图 1.5 所示。



图 1.5 摄像效果

2. Vega Prime Fx

Vega Prime Fx 模块，为实时 3D 应用中大量基于粒子系统的特殊效果的仿真提供了跨平台且扩展性良好的开发环境。所有的效果都能够采用 LynX Prime GUI 配置工具或直接通过 API 进行访问、修改，并添加到具体应用中。同时，采用 Vega Prime Fx 模块，用户只需对某些视觉属性进行预定义或调整，就能够定制场景中效果的显示、时间、触发以及性能特征。特效效果如图 1.6 所示。

Vega Prime Fx 模块提供了可完全定制和升级的粒子系统，使用户能够极其方便地进行粒子特效的定制和构建。配置属性包括速度、重力、颗粒大小和颗粒生命周期。除了可创建定制的特殊效果外，用户还能够直接访问任意 Vega Prime 应用中的预定义和优化效果。同时，联合 GUI 配置工具（如向导工具和 API 功能），能为简单快速地创建和展开实时 3D 应用提供理想的特殊效果。

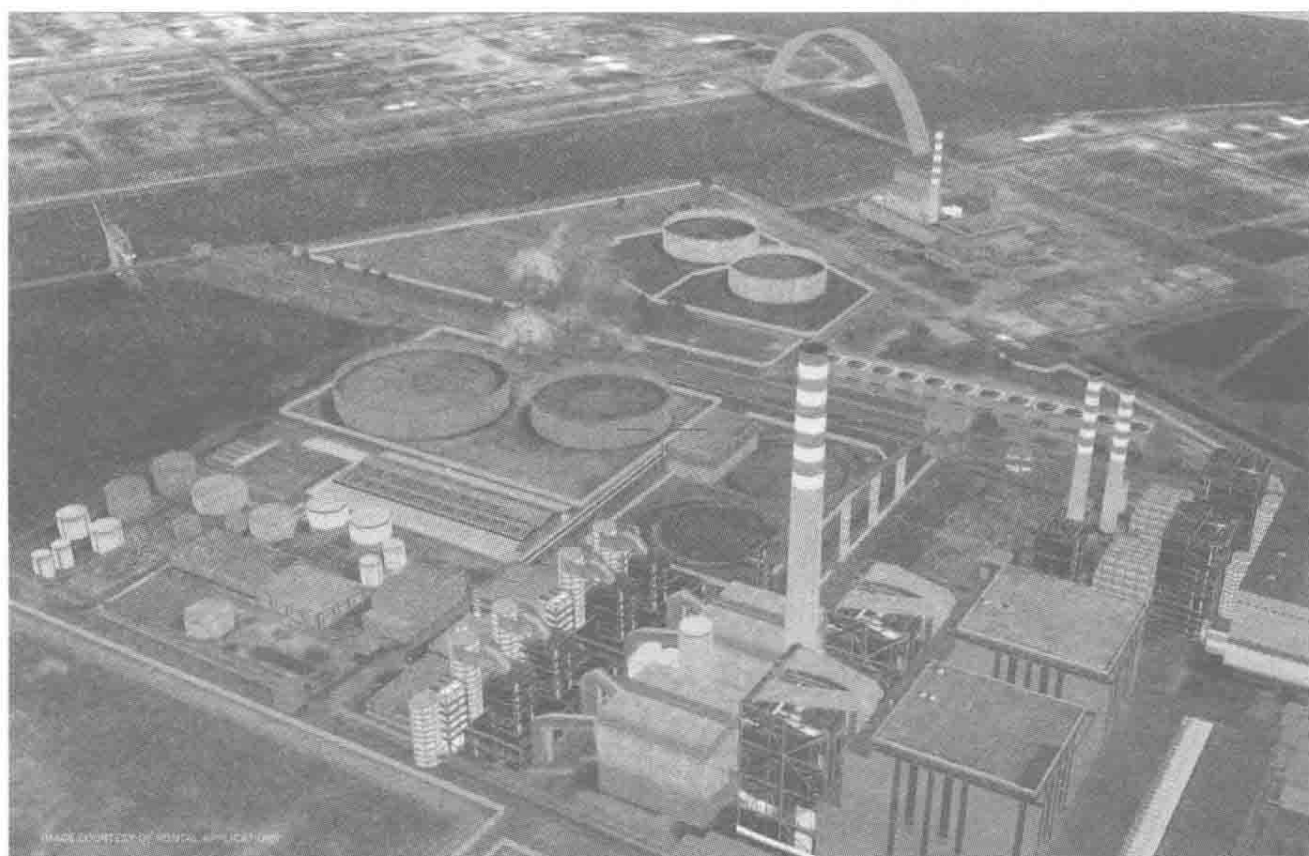


图 1.6 特效效果

3. Vega Prime LightLobes

Vega Prime LightLobes 模块，为 Vega Prime 应用提供了极具真实感的照明效果。它能够创建真实的场景照明且避免产生错误的贴图效果。支持实时帧率下的大量移动光源模拟和用户自定义光照类型。Vega Prime LightLobes 模块为照明光源应用（例如夜间飞机驾驶）提供了理想解决方案。移动光源渲染技术适用于任何支持 OpenGL 1.2 或更高版本的硬件平台。照明程度根据光源与地面距离的扩大而减退，或根据地面与观察者的距离变化。这项创新的技术使用户能够在一个应用中使用大量的移动光源，并通过优化绘制时间以实现最佳表现性能。光源效果如图 1.7 所示。



图 1.7 光源照明效果