

# 基于 Vega 的导弹攻击 F16 视景仿真<sup>①</sup>

熊风光<sup>1</sup>, 韩 燮<sup>1</sup>, 张会兵<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(中北大学 电子与计算机科学技术学院, 太原 030051)

<sup>2</sup>(机械工业第六设计研究院有限公司, 郑州 450007)

**摘要:** 基于仿真和虚拟现实技术, 提出了破片式战斗部导弹攻击 F16“战隼”战斗机视景仿真系统的设计方案. 首先, 完成了导弹攻击 F16 视景仿真系统的总体设计, 并对各个功能模块进行了详细阐述. 其次, 采用纹理映射、细节层次技术对虚拟场景中 F16 战绩模型进行了优化, 并建立了 F16 导弹威力场模型和破片模型. 最后, 开发了基于 Vega 的视景驱动程序, 着重介绍了特效、视点变换、预览和碰撞检测的实现. 仿真结果为导弹攻击 F16 毁伤分析提供了依据和参考.

**关键词:** 破片式战斗部导弹; F16“战隼”战斗机; 弹目交会; 视景仿真

## Visual Simulation of Missile Attacking F16 Based on Vega

XIONG Feng-Guang<sup>1</sup>, HAN Xie<sup>1</sup>, ZHANG Hui-Bing<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(Institute of Electronics and Computer Science and Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China)

<sup>2</sup>(SIPPR Engineering Group Co. Ltd, Zhengzhou 450007, China)

**Abstract:** A visual simulation system of fragment warhead missile attacking F16 “Falcon” fighter plane based on simulation and virtual reality technology is proposed. Firstly, the design of visual simulation of missile attacking F16 is finished, and function of each model is demonstrated detailed. Then 3D models in virtual battle field are optimized through LOD, Texture, and the model of fragment and power field of F16 are built. Finally, Vega scene driver program is developed, and special effect, view transform, preview and collision detect are emphasized. The simulation result provides reference for damage assessment of missile attacking F16.

**Key words:** fragment warhead missile; F16 “Falcon” battleplane; missile target encountering; visual simulation

导弹攻击典型目标, 特别是战斗机的仿真, 在国内外已有相关研究. 早期的做法是使用实弹射击目标, 获得导弹威力场和目标易损性的真实数据. 但是这种方法既浪费人力、物力和财力, 又具有很高的危险性, 且过程不可重复. 针对这一问题, 解决的办法就是采用数值仿真的方法来模拟整个弹目交会的过程. 但是数值仿真的输出结果仅限于文字和图表, 无法让用户观测弹目交会的过程. 近年来, 随着计算机图形技术的发展, 弹目交会仿真的研究向着可视化的方向发展, 并得到了广泛的应用<sup>[1]</sup>. 特别是使用视景仿真的方法模拟弹目交会的过程, 并以图像的方式将仿真结果呈现给终端用户, 成为当前实验研究的主要技术手段.

国内外学者已开始相关方面的研究. 文献[2]运用 OpenGL 图形库, 研究并实现了导弹攻击过程的可视化仿真, 并能从任意角度观测该过程. 文献[3]从虚拟现实的角度研究了导弹飞行、攻击过程的仿真. 研究工作存在的主要问题是, 在实现导弹攻击目标仿真时, 文献[2]和[3]都是从虚拟仿真的角度研究导弹攻击目标的过程, 只是强调场景的沉浸感, 未能真实地反映弹目交会的过程.

本系统针对当前导弹攻击目标过程可视化仿真领域中存在的问题, 在研究和实现导弹攻击 F16 毁伤分析数值仿真的基础上, 通过三维建模和视景驱动的方法实现了导弹攻击 F16 的弹目交会过程的三维视景仿真.

基金项目: 山西省自然科学基金(201001011023-1)

收稿时间: 2013-01-28; 收到修改稿时间: 2013-03-08

### 1 视景仿真系统的总体设计

导弹攻击 F16 战斗机过程视景仿真系统需要完成两方面的工作: 一方面完成导弹威力场模型、制导模型、引信启动模型和 F16 目标等效模型以及导弹对 F16 毁伤概率计算等的数值仿真, 计算出导弹相对目标的引信启动位置和爆炸点的位置以及导弹对 F16 整体和要害舱部分的毁伤概率. 另一方面, 以逼真地的动画效果显示导弹威力场、导弹攻击 F16 的过程和导弹击中目标后的毁伤效果.

基于以上系统的需求, 系统的总体流程图描述如图 1 所示.

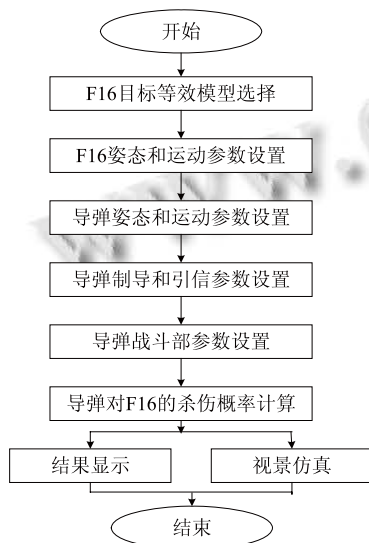


图 1 系统流程图

#### 1.1 毁伤分析的数值仿真

毁伤分析的数值仿真是导弹攻击 F16 视景仿真的基础, 主要包括以下几个模块:

(1) 针对导弹战斗部的类型来选择不同的目标等效模型. 通过建立目标等效模型, 目标的易损性模型可以被数学化以便准确分析武器的效能. 我们主要考虑直杆杀伤模型和目标要害舱模型两种. 直杆杀伤模型模拟了依靠密集的破片流对目标构件进行“切割”作用的聚焦破片战斗部导弹. 对于预制和自然破片战斗部导弹, 则使用目标要害舱模型计算目标要害部件命中的破片数.

(2) 通过人机交互界面设置弹目交会的信息, 包括导弹和 F16 的空中姿态和交会点高度值等等. 导弹和 F16 真实的飞行过程很复杂, 本系统在进行视景仿真时假定导弹和目标是按照用户指定的交会姿态飞向

交会处.

(3) 设置导弹制导和引信工作方式. 导弹的制导和引信参数决定了弹目交会瞬间导弹和 F16 的空中相对位置. 导弹的制导方式和参数引导导弹沿着制导规律所确定的理想弹道飞向目标. 引信在攻击的最后阶段控制导弹在适当的位置起爆, 以更好地杀伤目标.

(4) 设置导弹战斗部参数. 导弹战斗部参数主要包括战斗部的类型、质量、装药多少和破片的大小、形状、数目、初速、衰减系数、空间分布等. 战斗部装药的参数决定了冲击波的大小和超压最大作用距离, 破片的相关参数决定了破片威力场的作用过程.

(5) 导弹对 F16 毁伤概率的计算. 通过对导弹的威力场分析和 F16 的易损性分析, 使用战斗部终点效应学的相关模型(主要包括导弹的引信启动模型、破片和冲击波的作用模型以及 F16 的易损性模型等)可以计算出特定类型战斗部对 F16 战斗机的毁伤概率.

在完成导弹对 F16 毁伤分析的数值仿真后, 用户可以选择将仿真结果输出到本地文件, 也可以使用视景仿真的方式将弹目交会的过程以三维动画的形式表现出来.

#### 1.2 弹目交会过程视景仿真

导弹攻击 F16 过程的视景仿真, 首先要实现导弹威力场的仿真. 而破片和冲击波是导弹最重要的毁伤因素. 通过研究和分析导弹破片和冲击波的特性和数学物理模型, 本系统采用粒子系统来实现导弹破片和冲击波的视景仿真.

在实现了导弹威力场仿真之后, 还需要获得弹目

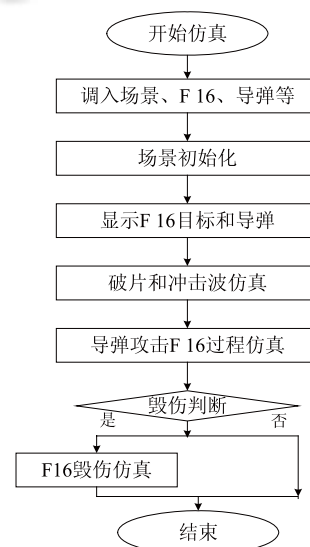


图 2 视景仿真流程图

交会时引信启动的信息,以此来获取导弹相对 F16 的引信启动点和爆炸点位置.本系统中,根据弹目交会的信息,使用终点效应学相关模型,经过 2500 次试验,统计出导弹相对于目标中心点的平均引信启动点和爆炸点位置.在此基础上,使用导弹威力场的仿真模型,去模拟弹目交会过程.

弹目交会过程仿真之后,使用终点效应学相关模型来分析导弹对 F16 整体和各个要害舱的毁伤,判断是否毁伤和毁伤的级别,并以此来启动 F16 的该级别毁伤仿真模块来仿真 F16 的毁伤效果.

弹目交会过程的视景仿真流程图如图 2 所示.

## 2 视景仿真的实现

本系统在实现导弹攻击 F16 视景仿真时,首先对场景中的实体对象(导弹、F16)三维建模;其次,使用场景驱动软件 Vega 产生导弹攻击 F16 的虚拟战场环境;最后,在 VC++6.0 平台上进行二次开发,获得对整个虚拟场景的交互控制.

### 2.1 场景建模

三维建模是整个视景仿真模块的基础,只有建立出形象、逼真的三维模型,才能够体现视景仿真不同于以往其它仿真方式的优势——可以让用户产生有如身临其境般的感觉.本系统采用图形和图像混合的绘制方法来构建场景.首先使用图形绘制法绘制出场景几何模型结构,然后再在图形上贴上纹理图像以增强模型的真实感.本系统中,使用 Multigen Creator<sup>[4,5]</sup>对各种典型目标建模,模型以 OpenFlight 数据格式(.flt)来存储.OpenFlight 格式的文件以逻辑分层的方式来描述场景的结构,并且可告知图像生成器何时以及如何渲染场景,精确且可靠.破片式战斗部导弹攻击 F16 战斗机的场景分为 F16 战斗机和破片式战斗部导弹模型、F16 导弹威力场模型、战斗部导弹破片模型以及战场场景等.

#### 2.1.1 F16 战斗机和破片式战斗部导弹模型

在对 F16 和破片式战斗部导弹进行三维建模都是以仿真实体的真实尺寸和结构为原形,根据物体的逻辑结构、几何结构及运动特点建立不同的模型.除此以外,本系统在保证系统的真实性前提下,采用纹理映射、细节层次降低建模的复杂度以提高系统的运行效率.

纹理映射<sup>[6]</sup>是将预定义的纹理映射到三维模型表

面,其中纹理一般为二维图像.通过纹理映射技术,可以实现在不增加三维模型多边形数量的前提下,利用其表面的纹理来使三维模型的真实感更加逼近实体模型,降低了建模的复杂度.纹理的获取的过程一般为:首先通过拍照或者扫描图片获取原始纹理,然后通过图像处理软件后期加工使得纹理更加真实.本系统的虚拟战场环境中,具有大量不规则物体,包括河流、海洋、桥梁等,使用纹理映射技术可以降低对这类实体三维建模的复杂度,既没有降低它们的逼真度,又提高了系统的运行效率.同时,对于 F16、导弹这类较复杂的实体模型,使用纹理映射技术既可以模拟出其丰富的细节,又可以降低模型的复杂度,从而简化模型的构建过程.

细节层次<sup>[7]</sup>(LOD, Level of Detail)技术在不影响画面视觉效果的前提下,利用逐次简化三维模型表面细节的方法来降低三维模型的复杂度.一个实体模型常常对应着一组复杂度不同的三维模型,根据观察点与三维模型的距离远近来选择不同的三维模型.距离越远,就可以选取越简单的三维模型,距离越近,则选择复杂度越高的三维模型.本系统在对导弹攻击 F16 进行视景仿真时,采用 3 个层次模型,并设定它们之间的 LOD 开关距离分别为 3000 米和 7000 米.此外,本系统使用 Creator 的 Morphing 技术完成三维模型顶点的路径变换,从而保证了距离切换的平滑过渡,避免了视点在不同层次模型之间切换时所产生的跳跃感.

基于以上技术对 F16 战斗机建模如图 3 所示,破片式导弹的建模可以此类推.

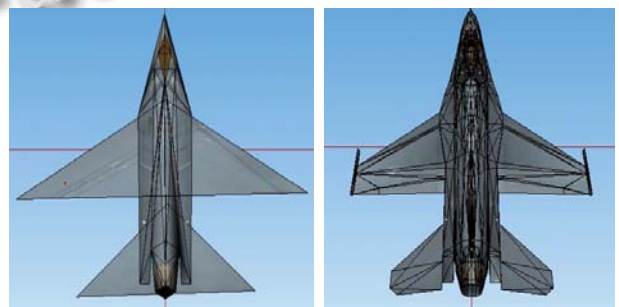


图 3 呈现不同细节的带有纹理映射的 F14 战机模型

#### 2.1.2 F16 导弹威力场模型

对于破片式战斗部,破片和冲击波是其威力场的两个主要毁伤因素.

破片是破片式战斗部导弹最重要的毁伤元,其主

要的参数包括破片的质量、数量,以及破片飞散的方向、角度和速度.其中,破片飞散速度的衰减系数跟其空气阻力系数和迎风面积有关.并且,考虑到破片的速度很快而飞行时间又很短,因此可以忽略了重力对破片的影响.

冲击波是指战斗部的炸药在空气中爆炸时,爆炸产物以极高的速度向周围飞散,强烈压缩着邻层空气介质,使其压力、密度和温度突跃升高,形成初始冲击波<sup>[8]</sup>.冲击波的威力场参数主要包括冲击波的超压、比冲量和正压冲量等.

### 2.1.3 战斗部导弹破片模型

破片模型无法使用简单的几何模型来建模绘制,本系统中采用离子系统来实现.粒子系统是一组分散的微小物体的集合,这些微小物体按照某种算法运动.这种方法的思想是在粒子的声明周期内控制它们的产生、运动、变化和消失.

Vega 的特技效果中包含了一个粒子系统类,用户可在很宽的范围定义该类的特性和属性.一旦建立了必要的粒子系统,就可以在运行时动态地改变粒子的某些属性,从而使粒子呈现出各种行为方式.本系统为破片建立的类为 Fragment,如下所示.

```
class Fragment
{
    bool status;//破片状态,0:静止,1:运动
    int type;//0:球体,1:柱体,2:长方体,3:菱形,4:立方体,5:不规则形状
    bool crashed;//破片是否击中目标
    double attenuate;//破片衰减系数
    double time;//破片飞散时间
    double dir_x,dir_y,dir_z;//破片的空中飞散方向,三个参数分别表示破片飞散方向绕导弹局部坐标系的旋转的角度
    double x,y,z; //破片空间位置
    double dx,dy,dz;//破片下一步的位移距离
};//破片粒子的定义
```

生成破片效果的算法如下:

(1) 产生指定数目的破片,并初始化每个破片的空间位置和飞散方向等信息,当场景绘制时,执行(2);

(2) 获取下一个破片,判断破片是否击中目标或是飞行到了足够远的距离,若是则剔除该破片.否则,计算当前的破片飞散速度和位置,并计算下一帧破片

的位移距离,然后更新破片的姿态和位置;

(3) 判断是否还有下一个破片,如果有则转向(2),否则转向(4);

(4) 绘制场景,算法结束.

### 2.2 Vega 视景仿真驱动

Vega 是 Multigen-Paradigm 公司用于虚拟现实、实时视景仿真及其它可视化领域的应用软件工具<sup>[9]</sup>.Vega 应用程序主要包括两个阶段,第一个阶段主要是为确保 Vega 系统的正常运行进行必要的系统配置,包括内存分配、参数设置、Vega 类的定义等等.在这个阶段中,Vega 首先通过调用 vgInitSys 函数来初始化系统;然后通过调用 vgDefineSys 函数来载入 adf 文件,并创建各种 Vega 类的实例;最后调用 vgConfigSys 函数来完成系统的配置.第二个阶段则进入系统的动态主循环.主要的 Vega 仿真应用过程都是在这个 Vega 主循环中完成的.下面列出导弹攻击 F16 视景仿真过程主循环的主要过程:

```
vgSyncFrame(); //帧同步,保证系统与给定的帧频率同步
vgFrame(); //当前帧的内部处理功能
GetInputKey(); //捕捉运行时用户输入的键值并启用相应的事件(包括视点变换跟踪、预览、漫游等)
F16Update(); //更新 F16 战斗机当前的位置姿态和飞行状态(包括飞行、盘旋、失控和坠地等)
MissileUpdate(); //更新导弹的当前位置姿态和飞行状态(包括飞行和攻击过程、引信启动和爆炸等)
ShowFragment(); //弹目交会时破片仿真
ShowShockWave (); //弹目交会时冲击波仿真
F16DamageAnalyze(); //弹目交会后对目标 F16 进行毁伤分析并仿真毁伤效果
```

### 2.3 特殊效果的实现

要实现导弹和 F16 战斗机的尾气,F16 击中后的爆炸、燃烧、冒烟效果坠地后的爆炸碎片、燃烧和黑烟效果,F16 坠入海中激起的浪花和水波效果,都是使用粒子系统来实现的.本系统实现的带有尾气的导弹如图 4 所示.

### 2.4 视点变换和对象预览

能够灵活地变换视点位置和跟踪方式也是本系统的特色.用户可以通过键盘的 0~9 数字键来选择对整个弹目交会过程的视点位置和跟踪方式.数字键 1 表示侧视导弹的发射位置,数字键 2 和 3 分别从后面和

侧面跟踪观察导弹, 数字键 4 和 5 分别从后面和侧面跟踪观察 F16 战斗机, 数字键 6 和 7 分别从顶部俯视和侧面侧视弹目交会的过程. 数字键 8 用于视点跟踪导弹, 数字 9 用于视点跟踪 F16, 数字 0 则用于取消跟踪状态. 图 5 分别是不同的角度观测的导弹攻击 F16 的交会瞬间.

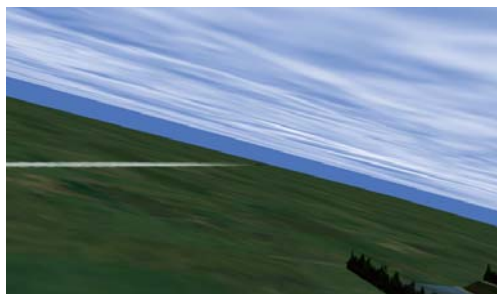


图 4 飞行中的导弹

本系统可以对静止、飞行和弹目交会中的 F16 和导弹等目标进行预览, 还可以对毁伤过程中和毁伤后的 F16 整机和每个要害舱进行预览. 在预览模式下, 用户通过拖动鼠标来改变视线的方向, 从而能够多视线方向的观察弹目交会的过程.

### 2.5 碰撞检测的实现

碰撞检测<sup>[10]</sup>也是导弹攻击 F16 视景仿真系统中一个重要环节. 导弹攻击 F16 以后, 受到不同程度毁伤的 F16 可能会失去控制而坠落. F16 什么时候坠地, 又坠落在何地, 这些都要通过程序来检测模型之间是否碰撞, 不然飞机将坠入地下并无休止地坠落下去.

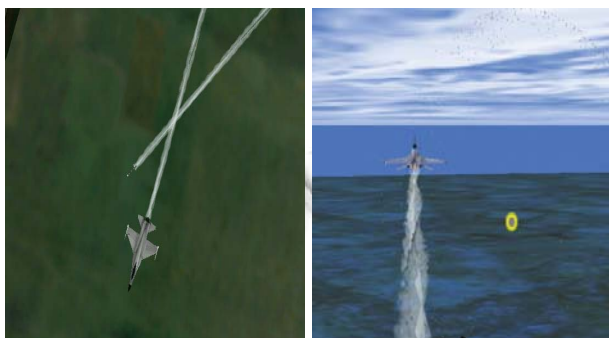


图 5 导弹和 F6 交互瞬间

Vega 软件提供了满足实时性碰撞检测的相交矢量方法, 来帮助用户完成一些简单碰撞检测和相交测试<sup>[11]</sup>. 相交矢量提供了八种方法, 各种方法都有自己的特点. 本系统在实现 F16 坠地时主要使用了 Z 方法和 LOS<sup>[12]</sup>方法. Z 方法用于计算碰撞交叉点的高度, 而

LOS 方法用于计算视线的范围. 首先使用 Z 方法计算出 F16 正下方地面的海拔高度, 设为 CurHeight; 然后判断 F16 在当前帧或下一帧的高度值是否低于 CurHeight; 若低于, 则使用 LOS 方法判断 F16 是否坠地并检测坠地的位置, 并判断 F16 是坠落在陆地还是海洋上. F16 击毁坠落和坠地的视景仿真如图 5 所示.



图 6 F16 坠毁

### 3 结语

本系统以破片式战斗部导弹攻击 F16 战斗机为例, 在对不同导弹威力场和导弹作用下 F16 目标的毁伤机理和损伤模型研究和数值仿真的基础上, 利用 VC++ 6.0 开发平台, 结合 Multigen Creator 建模软件和 Vega 视景仿真软件, 通过对仿真实体的真实建模和特殊效果、导弹破片和冲击波的威力场仿真、F16 毁伤效果仿真的实现, 完成了导弹攻击 F16 过程的视景仿真. 仿真的结果逼真地再现了导弹攻击 F16 的过程, 解决了当前导弹攻击目标仿真领域存在的真实性不足的问题. 工程人员使用本系统, 不仅可以有效缩短导弹的研发周期, 还节省了大量的人力、物力和财力.

### 参考文献

- 1 徐豫新. 破片杀伤式地空导弹战斗部杀伤概率计算[学位论文]. 太原: 中北大学, 2008.2-9.
- 2 李海军, 李克杰, 刘宵, 等. 基于 OpenGL 的导弹攻击过程可视化仿真. 系统仿真学报, 2004, 16(3): 530-533.
- 3 董光波, 马力元, 张锡恩, 等. 某型导弹飞行—攻击阶段仿真的研究与实现. 系统仿真学报, 2003, 15(3): 408-411.
- 4 李保刚. 空空导弹攻击过程视景仿真研究. 计算机技术与发展, 2012, 22(3): 113-116.
- 5 杨辉, 林建伟, 张坤鹏. 火炮射击训练视景仿真系统设计与实现. 计算机仿真, 2012, 29(6): 37-40, 111.
- 6 Bier E, Sloan K. Two-part texture mapping. IEEE Comput.

(下转第 172 页)

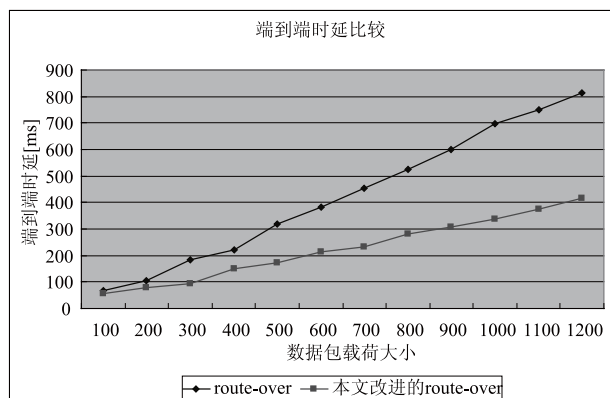


图5 端到端时延比较

#### 4 结束语

本文分析了传统 route-over 策略在分片转发上存在的问题,提出了基于虚电路的 route-over 分片转发策略和相关设计,实现了分片在路由路径上的流水传输.实验结果表明改进的 route-over 分片转发策略比传统的 route-over 在端到端时延指标上有显著提高.另外从理论上讲,本文提出的策略能够在一定程度上缓解中间结点在缓存空间方面的压力,这也是我们下一步工作要重点研究的内容.

#### 参考文献

- 1 IEEE Computer Society. IEEE Std. 802.15.4-2003. IEEE Std. 802.15.4-2003, October 2003.
- 2 Deering S, Hinden R. Internet Protocol, Version 6 (IPv6)

Specification. RFC: 2460, December 1998.

- 3 Montenegro G, et al. Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks. RFC: 4944, September 2007.
- 4 Tripathi J, de Oliveira J, Vasseur J. A performance evaluation study of RPL: routing protocol for low power and lossy networks. 44th Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS), May 2010.
- 5 Hui J, Thubert P. Compression Format for IPv6 Datagrams over IEEE 802.15.4-Based Networks. RFC: 6282, September 2011.
- 6 Kim K, Yoo S, Lee J. Hierarchical Routing over 6LoWPAN (HiLOW)[Internet-Draft]. 2007.
- 7 Ludovici A, Calveras A. Implementation and Evaluation of Multi-Hop Routing in 6LoWPAN. Proc. of the 9th Conference of Telematic Engineering, 2010.
- 8 Chowdhury AH, Ikram M, Cha HS, Redwan H, Saif Shams SM, Kim KH, Yoo SW. Route-Over vs Mesh-Under Routing in 6LoWPAN. Proc. of IWCMC'09, the 2009 International Conference on Wireless Communications and Mobile Computing: Connecting the World Wirelessly, June 2009.
- 9 Hui JW, Culler DE. Extending IP to Low-Power, Wireless Personal Area Networks. IEEE, Internet Computing, 2008, 12(4).
- 10 Hui JW. An Extended Internet Architecture for Low-Power Wireless Networks-Design and Implementation [Ph.D. Thesis]. University of California, Berkeley, CA, USA, 2008: 85-87.

(上接第 211 页)

- Graph. Appl, 1986, 6(9): 40-53.
- 7 Benjamin W, Neff W, Hodges LF. Supra-threshold control of peripheral LOD. ACM Trans. on Graphics, 2004, 23(4): 750-759.
- 8 隋树元, 王树山. 终点效应学. 北京: 国防工业出版社, 2000.
- 9 王乘, 李利军, 周均清, 等. Vega 实时三维视景仿真技术. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005.

- 10 Zhou YH, Wen D, Cao SK, Lv MY. The algorithm of cloth fast collision detection based on the characteristics triangle. IJACT, 4(7): 231-238.
- 11 王晓, 鲁娜, 杨占营. Vega 中的碰撞检测技术研究. 信息技术, 2007(11): 78-80.
- 12 顾文彬, 郑向平, 唐勇. Vega 下带碰撞检测响应视点方式的开发. 系统仿真学报, 2008, 20(22): 6197-6200