

基于 OSG 和 Bullet 的海上消防三维仿真系统

陈姚节^{1,2,3}, 朱兴亮^{1,2}, 叶 峰^{1,2}, 吴 乔^{1,2}

(1. 武汉科技大学计算机学院, 湖北 武汉 430065; 2. 智能信息处理与实时工业系统湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430065;

3. 武汉理工大学内河航运技术湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430063)

摘要:针对海上消防实训困难, 费用昂贵的问题, 基于开源场景图形 (OpenSceneGraph, OSG) 渲染引擎和 Bullet 物理引擎开发了海上消防三维仿真系统。设计中使用事故船舶视口和消防船舶视口双视口的观察形式来增强仿真效果; 运用 OSG 粒子系统模拟实现爆炸失火和消防水柱的粒子效果; 通过实时计算火焰和水的粒子参数并根据碰撞力学运用 Bullet 检测水粒子和火源的碰撞, 从而实现对火势的控制。实验结果表明, OSG 和 Bullet 的结合实现了实时控制粒子系统来模拟消防场景, 并具有逼真的仿真效果。上述仿真系统使受训人员在近似实战的环境中训练, 提高训练效率, 实现训练数字化, 降低训练成本, 同时提升受训人员的灭火救援和指挥决策能力。

关键词:海上消防; 三维仿真; 开源场景图形; 物理引擎

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** B

Three-Dimensional Simulation System of Marine Fire Protection Based on OSG and Bullet

CHEN Yao-jie^{1,2,3}, ZHU Xing-liang^{1,2}, YE Feng^{1,2}, WU Qiao^{1,2}

(1. College of Computer Science and Technology, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan Hubei 430065, China;

2. Hubei Province Key Laboratory of Intelligent Information Processing and Real-time Industrial System, Wuhan Hubei 430065, China;

3. Hubei Inland Shipping Technology Key Laboratory, Wuhan University of Technology, Wuhan Hubei 430063, China)

ABSTRACT: In view of the difficulty and high cost of the marine fire training, the three-dimensional simulation system of the marine fire protection based on OpenSceneGraph (OSG) rendering engine and Bullet physics engine is developed. During the design, the form of double viewport observation including accident ship viewport and fire ship viewport is used to promote the simulation effect; OSG particle system is applied to achieve the explosion of fire and fire-fighting water column particle effects; the particles parameters of flame and water are calculated in real time, and the Bullet is used to detect the collision between water particles and fire source according to the collision mechanics, thus the fire control is achieved. The experimental results show that the combination of OSG and Bullet can realize real-time control of particle system to simulate the fire scene, and has the realistic simulation results. The simulation system allows trainees' training in an environment which is similar to actual, which can improve training efficiency, realize the training of digital and reduce training cost, while enhance the trainees' abilities of fire rescue and command.

KEYWORDS: Marine fire protection; Three-dimensional simulation; Open scene graph (OSG); Physics engine

1 引言

随着国际航运业和现代船舶技术的不断发展, 船舶大型化、高速化的趋势明显, 通航的密度也越来越大^[1], 繁荣背后

隐藏着不可忽视的问题, 船舶火灾事故居高不下, 据统计已占全部水上灾害事故的 20%^[2]。船舶消防和安全问题备受瞩目。

近年来, 基于计算机图像技术的三维可视化虚拟仿真系统在人员训练中的应用日渐广泛, 其范围覆盖了从军事到民用的各个方面。众多的研究者在虚拟仿真这块领域做了大量研究, 文献[3]提出了虚拟现实技术在消防训练中能提高消防人员的训练效率, 节省训练时间, 具有广阔的应用前景。

基金项目: 内河航运技术湖北省重点实验室基金 (NHYY2014001); 国

家科技支撑计划课题 (2015BAG20B05)

收稿日期: 2016-03-28 修回日期: 2016-05-10

文献[4]以粒子系统为基础,对爆炸及爆炸碎片进行了模拟,真实还原了爆炸的场景。文献[5]对烟雾粒子进行受力分析,基于气体动力学对战场的烟雾特效进行了实现。文献[6]使用粒子和纹理结合的方法,对火焰的实时效果进行了模拟实现。文献[7]基于 OSG 粒子系统建立的消防水柱模型,但是消防水枪的位置固定,只能特定方向喷射水柱,其算法简单,不具备适用性。文献[8]基于 Vega 的粒子系统对飞机火灾消防系统进行了实现,但是其碰撞灭火检测过程简单,灭火的准确性需要改善。

本文在前人研究的基础上使用 OSG 粒子特效模块建立了火势和消防水柱的粒子模型,创新性采用双视口的观察形式来增强仿真效果。针对上述文献中水枪位置固定,不具备适用性的问题,在设计水柱的粒子模型时加入了矩阵变换节点,可实现水炮的旋转功能。同时针对文献中碰撞准确性不够的问题,在根据火源和水粒子的相关参数构建碰撞复合多面体的基础上引入 Bullet 物理引擎进行碰撞检测,大大提高了碰撞的准确性和场景的真实感。

本文开发的系统场景逼真,实时性强,准确性高,使受训人员能够达到近似实战的训练效果,极大提升了受训人员的综合消防能力。

2 仿真系统的框架结构

本文根据实际需求和所采用的引擎,将系统分为 OSG 场景图形管理和 Bullet 碰撞检测两个模块。其框架如图 1 所示,OSG 和 Bullet 间的数据类型有所区别,需要使用适配器 osgBullet(OSG 的一个扩展模块)来解决两个引擎底层相同特性数据的传递问题。

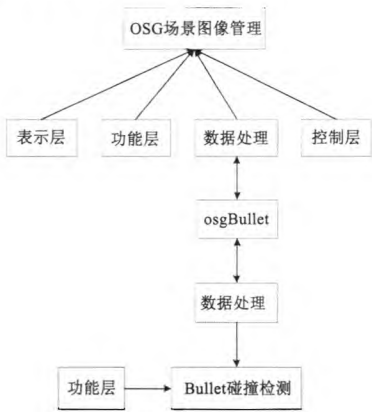


图 1 系统框架

OSG 场景图形管理主要分为表示层、功能层、控制层和数据处理层。

1)表示层:对数据和操作控制直观的展示表示,包括仿真数据驱动渲染、多窗口多通道渲染、多视角交互等。

2)功能层:仿真系统多种功能的描述,包括基本场景元素的渲染(模型、光影、天空盒、海洋、粒子系统等)、模型属性操作、视锥交互、多通道输出等。

3)控制层:控制场景渲染方式和流程,改变场景元素的设定值来改变其显示属性,如控制船舶航行,控制消防水炮方向等。

4)数据处理层:渲染驱动和模型数据的来源,筛选后与 Bullet 数据进行交流。

Bullet 碰撞检测模块分为功能层和数据处理层。

1)数据处理层:获取 OSG 仿真世界中模型的相关数据和反馈碰撞结果数据

2)功能层:基于获取的数据进行精确碰撞,反馈碰撞结果。具体有构建物理世界和运动模型,基于碰撞力学生成碰撞后的数据等。

3 仿真系统三维场景设计

消防仿真中三维场景的模拟是整个仿真可视化的核心,直接决定了模拟仿真的逼真度和沉浸感,优秀的仿真系统能通过三维视景给用户带来震撼的视觉冲击,留下深刻的影响^[9]。仿真系统中三维场景的设计主要是 OSG 场景图形管理中表示层和功能层的设计,本节对表示层的视口和功能层的粒子效果进行阐述。

3.1 双视口的视觉渲染

本系统仿真模拟的是事故船舶突发爆炸起火以及消防船舶使用消防水炮灭火的过程。由于有两个目标模型和多个对象,所以设计中采用了双通道视口的模式,分别以事故船和消防船的视角来观察消防灭火过程,为用户提供一个具有高度沉浸感的虚拟环境。

系统采用 OSG 中的 CompositeViewer 来创建多视口,它不仅可以让数据在各个 Viewer 之间方便地传递,也可以让各个 Viewer 独立运作,每个 Viewer 有独立的操作器和视口。各个 Viewer 之间可以没有任何关系,使用不同的事件处理序列,但是它们可以使用同一个上下文。这意味着每个 Viewer 可以利用视点跟随技术分别将其视口绑定在同一场景中的不同的船上,方便用户从事故船和消防船的角度观察失火和灭火过程。

3.2 爆炸失火的粒子效果设计

OSG 中粒子系统的使用有读取预定义粒子系统和建立自定义粒子系统两种方式。本仿真场景中事故船舶船头突发爆炸,起火并伴有浓烟,这些效果的设计借用 OSG 中粒子库 osgParticle 中预定义的粒子系统,Explosion 模拟爆炸效果,Explosion Debris 模拟爆炸四散颗粒效果,Fire 模拟爆炸中火焰的燃烧效果,Smoke 模拟爆炸后的黑色浓烟效果。绘制流程如下:首先确定事故船舶发生爆炸位置 Position;然后于此位置添加粒子效果,设定粒子浓度、生存周期等参数;新建一个 osg::Geode 类 Fire_geode 对已有的粒子效果进行重新绘制,最后将已有的粒子效果加入到 Fire_Group 中,绑定于事故船上。整体流程如图 2 所示。

3.3 消防水柱的粒子效果设计

与爆炸失火的粒子效果相比较,仿真系统中消防水柱的

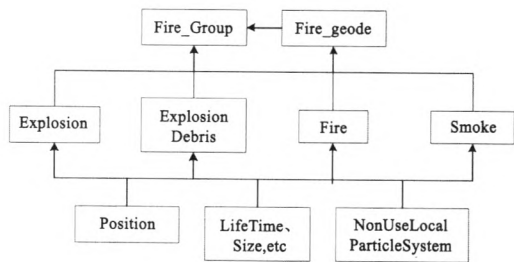


图2 火焰粒子效果绘制流程

粒子效果比较复杂,需要通过 OSG 自定义粒子效果来实现,设计中消防水炮的方向需要能够上下左右来调整,所以仿真设计中需要将粒子喷射器 Emitter 绑定于 OSG 中的矩阵变换节点来实现消防水炮的旋转功能,本设计中实现了水炮横向 360 度和纵向 15-75 度旋转。整体的绘制流程如图 3 所示。

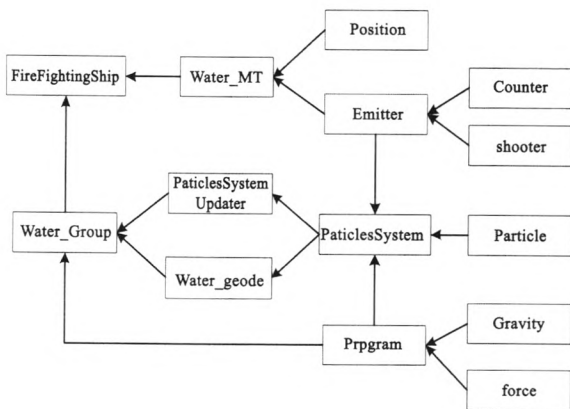


图3 消防水柱粒子效果绘制流程

消防船舶设立了两个坐标系(逆时针为正方向),一个是三维世界的坐标系,另一个是消防水炮基座坐标系(水炮基座位于船舶的正前方,以船身正中点向船头方向为 X 轴正方向,即船舶的航行方向),设船舶行驶中航向相对于世界 XY 坐标系的偏角为 α_1 ,消防水炮相对于基座 XY 的坐标系的偏角为 α_2 ,则水炮相对于世界 XY 坐标系的偏角为 $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$;设消防水炮与 Z 轴方向的夹角为 β ,基座高度为(相对于海平面高度) h ,炮管长度为 d ,水炮口水粒子喷射的初速度为 V_0 ,则有

$$\begin{cases} V_x = V_0 \sin \beta \cos \alpha \\ V_y = V_0 \sin \beta \sin \alpha \\ V_z = V_0 \cos \beta \end{cases} \quad (1)$$

假设粒子运动中只收到重力的作用,重力矢量 Gravity 为 $G = (0, 0, -9.8)$,粒子环境为空气,计算出粒子的生存周期(粒子落入海面即消亡,重力加速度为 $g = 9.8m/s^2$)。

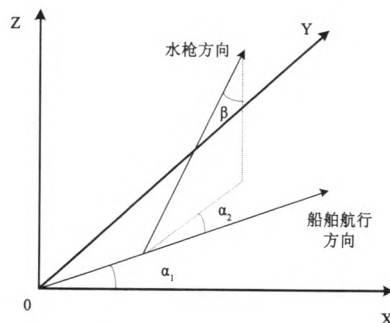


图4 水粒子运动分析

$$\begin{cases} t_1 = \frac{V_z}{g} \\ H = h + \frac{1}{2} V_z t_1 + d \cos \beta \\ t_2 = \sqrt{\frac{2H}{g}} \end{cases} \quad (2)$$

粒子存活总时间 $T = t_1 + t_2$

然后不断的对粒子的形状、密度、速度、粒子大小、数量的设定值进行调整修改,使粒子流像水柱轨迹。

表1 水粒子属性表

参数名称	参数值
LifeTime	T
Radius	$0.7f$
Shape	Particle: LINE
SizeRange	Rangef(2.0f,3.0f)
AlphaRange	Rangef(1.0f,1.0f)
ColorRange	(0.7f,1.0f,1.0f,1.0f), (0.8f,0.8f,1.0f,1.0f)
Counter	(3000.0f,3500.0f)
ThetaRange	Rangef(0.52,0.79)
PhiRange	Rangef(1.52,1.62)
SpeedRange	Rangef(38.0f,40.0f)

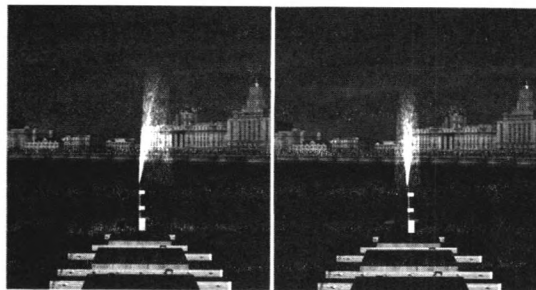


图5 水柱效果图

4 仿真系统的碰撞响应

OSG 的功能侧重场景结构管理和三维场景渲染,在物体运动和碰撞检测方面具有一定的局限性,复杂运动和精确碰撞的检测往往实现困难且效果不好。Bullet 物理引擎能对具有物理特性的模拟实体进行受力和运动分析,然后根据牛顿力学原理进行碰撞检测,找出实体间的相互约束信息并计算出实体新的位移和速度,更新实体的方位。所以在 OSG 中加入 Bullet 物理引擎来进行碰撞检测可以极大提升虚拟三维场景的真实感。

Bullet 仿真计算需要先建立一个物理世界 DynamicWorld 并设定相关参数,然后加入碰撞刚体 RigidBody 进行碰撞检测。具体如图 6 所示。

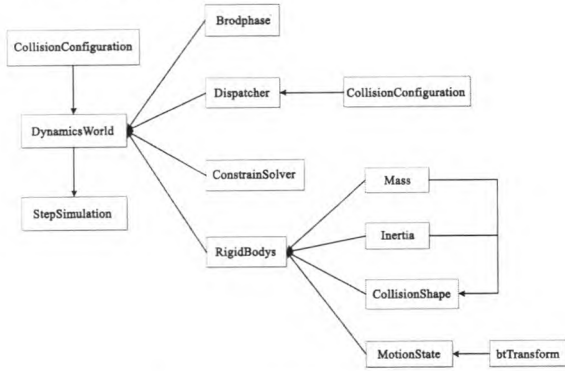


图 6 Bullet 物理世界构建流程

刚体的创建需要得到碰撞物体的包围盒 CollisionShape,然后设置 Mass、Inertia 和 MotionState 属性来完成创建。以此为基础再添加一些具体的运动属性,如线速度、角速度等。

4.1 构建火焰和水粒子的包围盒

包围盒的基本思想是用简单的几何体来代替复杂不规则的物体,当物体的包围盒相交时,物体本身才有可能发生碰撞;反之,则物体本身不可能发生碰撞。包围盒只是对物体边界一个简单而又粗略的描述,所以包围盒的碰撞检测并不是十分精确。因此包围盒的形状与碰撞物体越接近,碰撞的检测的精确度越高。

本设计中要通过检测水粒子和火源的碰撞来实现灭火,所以只需要把水粒子模型和火焰模型导入到物理世界进行碰撞检测,船舶等可以忽略。

火焰燃烧的形状是不规则的,在构建火焰的包围盒时选择复合多面体更加接近火焰本身对提升碰撞精确度具有重要意义。OSG 三维场景中事故船舶的火焰粒子效果是通过新建 osg::Geode 对象 Fire_geode 绘制而成,而 osgBullet 中的函数 btCompoundShapeFromOSGGeodes 可以直接获取火焰粒子效果的复合多面体包围盒,为使用提供了很大的便利。

OSG 水粒子的属性表中 Counter 的值为每一帧水粒子生成的数量值,其设定值为 3000 - 3500,这是一个大数值。这个数值的设定是为了在三维场景中看到比较真实的消防水

柱的效果,但是在碰撞检测中没必要针对每个粒子都建立包围盒来检测其与火焰包围盒的碰撞,故在物理世界中建立运动和水粒子一致的小球来代替水粒子进行碰撞检测。

本设计中由于消防水柱 PhiRange(与 XY 平面的夹角)和 SpeedRange 范围的设定,水粒子喷射后落在海平面的形状类似一个矩形。设水粒子喷射在 XY 平面投影的夹角为 λ ,则 λ 可求得为 0.1,已知水粒子喷射最大速度 $MaxSpeed = 40$,最小速度 $MinSpeed = 38$,粒子的生存时间已知为 T ,设矩形的边长分别为 a 和 b ,则可求得其值。

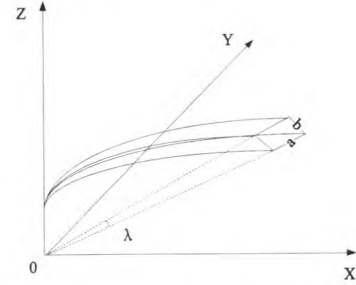


图 7 水柱效果 XY 平面投影

$$\begin{cases} a = T \sin \beta (MaxSpeed - MinSpeed) \\ b = \lambda T \sin \beta (MaxSpeed + MinSpeed) / 2 \end{cases} \quad (3)$$

设物理世界代替水粒子的小球的半径为 r ,以 $r = (a + b) / 40$ 来定义其值,获得碰撞所需的包围盒。

4.2 获取方位构建刚体和完成碰撞检测

如图 6 所示,构建刚体需要获取方位矩阵 $btTransform$,设消防船的中心位置为 $O(x_1, y_1, z_1)$,消防基座与中心的距离为 s ,可求得水粒子位置 $W(x_w, y_w, z_w)$ 。同理求得火源的中心点 $F(x_f, y_f, z_f)$ 。

$$\begin{cases} x_w = x_1 + s \cos \alpha_1 + d \sin \beta \cos \alpha \\ y_w = y_1 + s \sin \alpha_1 + d \sin \beta \sin \alpha \\ z_w = h + d \cos \beta \end{cases} \quad (4)$$

根据需要,本设计在方位矩阵信息的基础上创建了 FireBody 和 SeaBody(高度为 0 的平面)两个静止刚体,并对两个刚体标号进行区别;创建了一个运动属性的水粒子的刚体 WaterBody。从 OSG 中获取水粒子的运动速度和初始方向 Rotation,将方向矩阵数据的格式转换为 btVector3 格式,然后单位化得到 LinVel,最后取得 MaxSpeed 和 MinSpeed 之间的一个随机值 Speed 与 LinVel 相乘来确定物理世界中水粒子的线速度。将三个刚体加载入物理世界,每一帧控制多个水粒子 WaterBody 的发射,检测碰撞的结果集,根据碰撞刚体的类型,确认水粒子是否与火源发生了碰撞。如果发生碰撞则基于碰撞反馈结果,对火势进行控制并更新 FireBody。碰撞流程如图 8 所示。

5 系统仿真效果

图 9 为事故船舶失火和消防船舶灭火的全过程,可以看

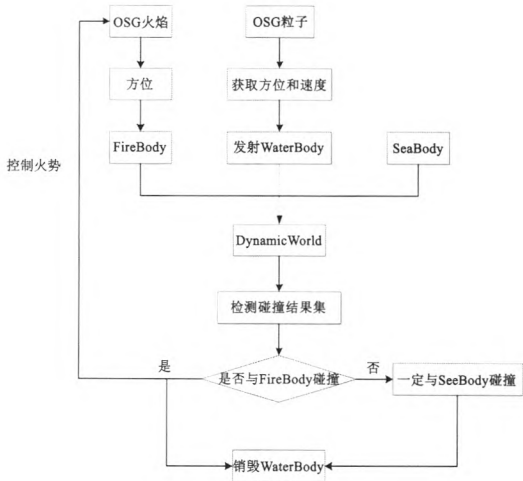


图8 碰撞流程

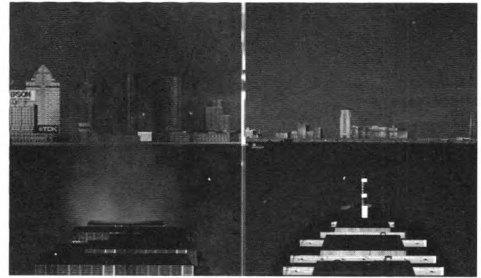
出场景渲染良好,火焰和水粒子效果真实,灭火过程符合现实的客观规律。

6 结束语

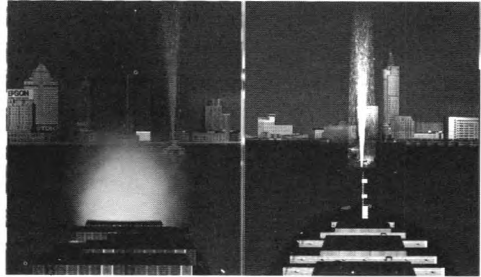
本系统应用 OSG 粒子系统对火灾和消防水柱进行了模拟,以双视口形式来展示船舶火灾和喷射水柱灭火的场景,给受训人员提供具有强烈沉浸感的训练环境;采用 Bullet 物理引擎,实时计算火焰和水粒子的相关参数并导入其模型,根据刚体动力学相关理论计算碰撞结果,对火势进行控制。实验结果表明灭火过程场景逼真,实时性强,准确性高,符合客观规律。受训人员的实训结果表明,OSG 和 Bullet 结合的海上消防系统场景效果渲染良好,控制稳定,操作简洁,可以满足海上消防模拟训练的应用需求。

参考文献:

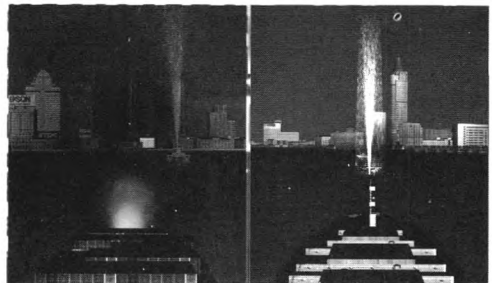
- [1] 关克平,等. 基于 OSG 的船舶碰撞检测技术仿真[J]. 中国航海, 2014,37(2):35-38,42.
- [2] 雷鸣. 试析船舶火灾的原因与预防[J]. 科技致富向导, 2013, (16):282.
- [3] 沈剑炎. OSG 在消防模拟训练中的应用前景[J]. 中国科技信息, 2011,(1):115-116.
- [4] 华泽玺,等. 基于粒子系统的爆炸效果仿真研究[J]. 计算机科学, 2012,39(4):278-281.
- [5] 周迎春,等. 基于粒子系统的虚拟战场烟雾特效仿真[J]. 计算机仿真, 2015,32(7):417-420.
- [6] 陈志伟,马小虎. 基于粒子系统和纹理绘制的火焰模拟[J]. 计算机工程与科学, 2010,31(1):71-73,126.
- [7] 高兴,等. 基于 OSG 粒子系统的消防水柱模拟研究与应用[J]. 计算机系统应用, 2013,(6):212-215.
- [8] 贾立山,王立文. 粒子系统在飞机火灾消防视景仿真中的应用[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2014,(3):314-318.
- [9] 刘春,等. 基于 XNA 的飞行仿真系统可视化及特效的实现[J]. 计算机仿真, 2015,32(1):51-55,160.



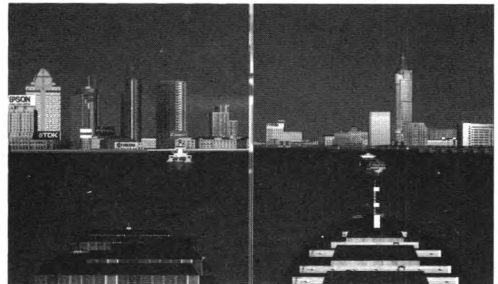
(a)事故船舶爆炸起火



(b)消防船舶进行灭火



(c)火势变小



(d)完全扑灭

图9 海上消防仿真效果



[作者简介]

陈姚节(1976-),男(汉族),安徽安庆人,高级工程师,硕士研究生导师,主要研究领域为计算机应用;

朱兴亮(1992-),男(汉族),湖北荆门人,硕士研究生,主要研究领域计算机仿真;

叶峰(1989-),男(汉族),湖北安陆人,硕士研究生,主要研究领域为计算机仿真;

吴乔(1990-),男(汉族),湖北汉川人,硕士研究生,主要研究领域为计算机仿真。