

# 粒子系统理论在空战视景仿真中的应用

李传良, 童中翔, 芦艳龙, 刘鹏飞

(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

**摘要:**针对空战视景仿真中不规则现象模拟这一难点,依据粒子系统基本原理,定性和定量相结合分析了 Vega 自定义特殊效果模块参数的数值含义,提出了量化粒子系统参数的方法。以空战视景仿真中常见的燃烧、爆炸效果仿真为例对参数的综合使用进行了系统设置,采用量化参数的方法得到相应模拟效果的参数范围,最后进行仿真模拟逐次逼近得到最优参数,仿真结果证明了量化参数的合理性。

**关键词:**粒子系统;特殊效果;参数量化;空战视景仿真

**中图分类号:** TP391.9   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1009-3516(2008)02-0048-04

红外对抗仿真系统是要构建攻击机、目标机、红外制导导弹和诱饵“假目标”四位一体的多机空战可视化仿真平台。对于这种基于虚拟现实技术的系统,虚拟仿真环境的逼真度是评估仿真系统的一个重要因素。在空战中会出现导弹攻击目标机和目标坠地引起的爆炸和燃烧、诱饵弹的燃烧等特殊效果,实时模拟爆炸和燃烧等过程是提高整个红外对抗仿真系统虚拟场景逼真度的一个重要方面。

对燃烧、爆炸等不规则现象的模拟一直是计算机图形学的一个研究热点和难点。目前,对不规则效果的模拟大多采用两种方法。一是采用 OpenGL 结合 VC++ 编程实现特殊效果的模拟。这种方法比较繁琐,编程量较大,而且运算较复杂,过多地占用了系统的硬件资源,不利于实现仿真的实时性。另外一种是采用视景仿真软件 Vega 中的图形用户界面进行设计。这种方法能够直接快速地模拟出燃烧、爆炸等特殊效果。

## 1 粒子系统的基本原理

粒子系统的表现形式与传统的图像合成表现形式是不同的。粒子系统的基本思想是采用大量的、具有一定生命和各种属性的微小粒子图元作为基本元素来描述不规则的模糊物体<sup>[1]</sup>。在粒子系统中,每一个粒子图元都具有:形状、大小、颜色、透明度、运动速度和运动方向、生命周期等属性。所有这些属性都是时间  $t$  的函数,随着虚拟世界时间的流逝,每个粒子都要在虚拟世界经历“产生”、“活动”和“消亡”三个阶段<sup>[2-3]</sup>。

粒子系统是不断变化的,在粒子生命周期的每一刻,都要完成以下 5 步工作:①粒子源产生新粒子:产生一定数量的粒子,当粒子存在的时间超过了设定的粒子生命周期,粒子就会重新从粒子源开始进入新的循环;②更新粒子属性:为每一个新诞生的粒子分配初始特性;③遍历粒子:将所有到达生命周期的粒子除去;④对保留的粒子根据运动规则进行计算,并对其他的参数根据控制原理进行更新;⑤绘制粒子:显示粒子系统中所有现存的粒子。

## 2 粒子系统参数量化分析

Vega 自定义特殊效果模拟模块采用始终面向视点的多边形来表示粒子,同时这些粒子都遵循简单的动

收稿日期:2006-11-30

基金项目:国家自然科学基金(60772162)和 863 创新基金资助项目(2006AAJ104)

作者简介:李传良(1981-),男,河南信阳人,博士生,主要从事红外对抗仿真研究;E-mail:lclxyxi@163.com

童中翔(1958-),男,河南洛阳人,教授,主要从事红外对抗仿真研究。

力学规律<sup>[3]</sup>。用于描述粒子特征的基本参数有:粒子的数量、位置、颜色、速度、生命周期。

### 2.1 粒子数量的初始化

粒子的产生是一个可控随机过程,它决定了在每一帧中进入粒子系统的新粒子数目,从而也就决定了粒子系统对物体的描述密度<sup>[4-5]</sup>。

在每一帧中进入系统的粒子数由用户直接定义的基准粒子数和随机产生的变动粒子数组成:  $\text{Particles Num} = N. \text{Particles} + (\text{int}) \text{randomNum}()$ 。其中  $N. \text{Particles}$  是基准粒子数,在 Vega 中可直接设置;  $\text{randomNum}()$  用来获取随机整数,由 Vega 内部实现。

### 2.2 粒子位置的初始化

假定已在 Vega 中设置粒子源的形状为球形,球心即为特殊效果的位置  $\{S_x, S_y, S_z\}$ , 粒子源大小为  $r$ , 则由此球面产生的新粒子的位置为:  $x = S_x + \text{rand}() \times r$ ;  $y = S_y + \text{rand}() \times r$ ;  $z = S_z + \text{rand}() \times r$ 。其中  $\text{rand}()$  为在  $[-1, 1]$  上随机分布的函数;  $r$  可由 Vega 中的 Source Size 属性定义,如果  $r$  定义为 0, 则所有的粒子都会从指定的特殊效果位置处产生。

### 2.3 粒子颜色设置

粒子的颜色采用 RGBA 模型表示,  $R, G, B$  分别表示颜色中的红、绿、蓝 3 种颜色组成分量,  $A$  表示粒子的透明度,用于表示当粒子消亡时,颜色渐渐隐去,最终形成与背景相融的效果<sup>[6-7]</sup>。事先指定粒子在不同时刻的颜色,可使颜色随着特殊效果的产生而不断变化。

设基本色为  $\text{Particle Color} = \{r_0, g_0, b_0\}$ , 初始颜色的变化范围为  $\Delta c = \{\Delta r, \Delta g, \Delta b\}$ , 则粒子的初始颜色为:  $\text{Color}(i) = \text{Color}(0) + \text{rand}() \times \Delta c$ 。

在 Vega 中可通过设置粒子颜色变更 (Color Variation) 属性来产生粒子随机颜色的效果,该属性的变化范围为  $[0.0, 1.0]$ , 因此粒子初始颜色为  $\text{Color}(i) = \text{Particle Color} \times (1 \pm \text{Color Variation})$

### 2.4 粒子速度设置

粒子的速度是随空间和时间随机变化的矢量,是特殊效果动态模拟最重要的参数<sup>[8]</sup>。在考虑粒子的动力学运动规律的情况下,影响粒子速度的矢量主要有以下 6 个方面:

#### 1) 粒子速度分布 (Velocity Distribution) 规则

粒子的速度分布规则可以缩放  $x-y$  平面上的粒子在  $z$  方向的速率。速度分布规则有 3 种:平面型,粒子速度沿  $z$  轴线形变化;球形,粒子速度沿球面变化;高斯型,粒子速度呈高斯曲面变化。若粒子为非垂直型系统时,需调整特殊效果的方位角。

#### 2) 重力矢量 (Gravity Vector)

重力是矢量是粒子系统中的不变量,它定义了一个矢量用于描述重力加速度对粒子速度的影响。第  $f_i$  帧时粒子在  $z$  方向的速率为:  $V_z(f_i) = V_z(f_{i-1}) + \text{Gravity Vector} \times (f_i - f_{i-1})$ 。

#### 3) 风速矢量 (Wind Velocity Vector)

风速矢量是一个加速度矢量。该矢量在某一方向上为粒子加速或减速,使其结束生命周期。作用原理与重力矢量一样,均为牛顿第二定律。图 1 为风速矢量示意图。

#### 4) 速度矢量 (Velocity Vector)

为精确控制粒子系统中的每个粒子的运动状态,可指定任意数量的速度矢量来控制粒子运动随时间变化。这样就可以较精确地模拟出每个粒子的运动轨迹。图 2 为速度矢量示意图。

#### 5) 球形速度 (Spherical Velocity)

球形速度使粒子系统中的粒子由粒子源均匀的向空间扩散。通过粒子的球形速度经过比例缩放后将加到粒子的全部速度上。大量具有球形速度的粒子将形成一个球形体,该球形效果以指定的速度缩放。

#### 6) 随机速度 (Random Velocity)

随机速度为每一个粒子预先计算一个矢量缩放比例,用于给粒子系统中的粒子运动添加随机效果,它也使粒子从粒子源位置向空间扩散,但运动方向是随机的。

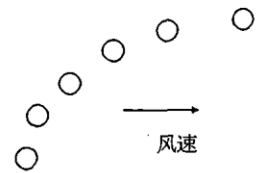


图1 风速矢量

Fig. 1 Wind velocity vector

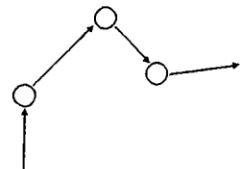


图2 速度矢量

Fig. 2 Velocity vector

上述因素一起决定了粒子系统中粒子的实际运动速度,仿真运行过程中每种速度矢量都是单独计算的,最后合成为一个总的粒子运动速度矢量。

### 2.5 粒子生命周期

粒子生命周期是指从产生一个新的粒子开始到粒子运动到达极限的时间,直观表现为粒子在屏幕上的存在时间<sup>[9]</sup>。要产生一个生命周期粒子,需要重新回到产生新粒子的状态,等待下一个循环的开始。一旦又开始了循环,则说明一个粒子系统在当前的持续时间内至少已经完成了一个完整生命周期。若特殊效果的持续时间比粒子生命周期长,那么粒子就会进行整数次循环。

## 3 空战视景仿真中特殊效果模拟

燃烧、爆炸等不规则现象的模拟效果对空战视景仿真系统虚拟场景的逼真度有重要意义,因此做好燃烧、爆炸等不规则现象的仿真至关重要。

### 3.1 燃烧特殊效果分析

燃烧在不同时刻的状态由粒子的动力学性质决定<sup>[10]</sup>。当不考虑粒子所受外力时,火焰粒子将始终以初始速度直线运动,直至粒子消亡。当考虑外力的作用时,按牛顿第二定律,粒子将产生一定的加速度,这里我们考虑风的作用,因为在实际情况下,对火焰运动影响明显的外力主要来自于风。此外,粒子是向上运动的,所以设置粒子的重力矢量向上,并考虑随机速度。

假定风速矢量在某一段时间内不随时间变化,引入风的加速度为  $a_w = \{w_x, w_y, w_z\}$ ,重力矢量为  $a_g = \{g_x, g_y, g_z\}$ ,随机速度为  $v_r$ ,则第  $f_i$  帧时粒子速度为

$$V_z(f_i) \in [V_z(f_{i-1}) + (a_w + a_g)(f_i - f_{i-1}), V_z(f_{i-1}) + (a_w + a_g)(f_i - f_{i-1}) + v_r]$$

火苗由于自身体积比较小,重力矢量的设置应较小。此外,火焰粒子上升速度也比较慢,因此所用粒子数量不要太多,避免在同一位置产生数量过多的粒子,造成像素处理过程过载,这里火苗的粒子数目为100。每个粒子都有一个生命期,由于火苗的高度不高,这里的火苗粒子生命值都设为0.5,就可以让每个粒子在短时间内消亡,而不会让火苗窜得很高。

### 3.2 爆炸特殊效果分析

同燃烧效果相比,爆炸具有自身的特点:①爆炸是在瞬间发生的现象,爆炸发生后就不会再有新粒子产生,因此,粒子的发射类型应采用爆发式。②爆炸产生的粒子是从一个中心区域产生的,因此粒子的空间球形扩散运动较为明显。③爆炸产生的粒子数目相对燃烧效果要少得多。

### 3.3 特殊效果生成

采用第2节粒子参数的量化说明先对燃烧和爆炸特殊效果的相关参数进行估算,得到参数的大致范围,然后在这个范围内分别取不同的参数进行多次仿真模拟,从而得到最好的特殊效果,因此对应的参数是最优的,见表1。在LynX中设置如表1所示的参数,得到如图3的仿真截图。



图3 特殊效果仿真截图

Fig. 3 Simulation result of special effect

表1 燃烧和爆炸特殊效果参数优化设置

Tab. 1 Optimized design of special effects parameters		
	燃烧特效	爆炸特效
生命周期	0.5	4
粒子数目	100	15
粒子源形状	Sphere	Sphere
粒子源大小	0	0.05
粒子颜色	$t=0 (1,1,1,1)$ $t=0.5(1,1,0,1)$ $t=1(1,0,0,0)$	$t=0(1,1,1,1)$ $t=0.1(1,1,0,1)$ $t=0.4(1,1,0,1)$ $t=0.45(0.5,0.5,0.5,1)$ $t=1(0.5,0.4,0.3,0)$
速度分布	平面型	平面型
重力矢量	(0,0,-0.5)	(0,0,0)
风速矢量	$t=0 (0.1,0,0)$	$t=0 (0.125,0,0)$
速度矢量	$t=0 (0,0,0)$	$t=0 (0,0,0.4)$
球形速度	$t=0 \quad 0$	$t=0 \quad 0.5$ $t=0.05 \quad 0.2$ $t=1 \quad 0$
随机速度	$t=0 \quad 0.25$	$t=0 \quad 0$

( $t$ 代表规整时间, $t \in [0,1]$ )

## 4 结论

特殊效果模拟的真实度对整个视景仿真真实性的影响至关重要,本文针对 Vega 自定义特殊效果模块各种参数设置存在很大盲目性,完全依靠经验的问题,结合粒子系统原理对自定义特殊效果模块的参数进行量化处理,减少了仿真模拟的次数,为 Vega 用户提供了一个清晰的使用规则。利用这种量化处理方式,开发了红外对抗视景仿真中常见的爆炸和燃烧效果,结果证明结合 Vega 软件这种量化方式能有效地开发不规则特殊效果。但对于 Vega 不同模块之间的综合使用还有待进一步开发。

### 参考文献:

- [ 1 ] Reeves W T. Particle Systems – A Technique for Modeling a Class of Fuzzy objects[J]. ACM Computer Graphics,1983,17(3): 359 – 376.
- [ 2 ] 张立明. 飞行模拟器视景仿真系统设计与关键技术研究[D]. 天津:天津大学,2004.  
ZHANG Liming. Scene Simulation System Design and Key Technology Research of Flight Simulator[D]. Tianjin:Tianjin University,2004. (in Chinese)
- [ 3 ] 王 乘,李利军. Vega 实时三维视景仿真技术[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2005.  
WANG Cheng, LI Lijun. Three – Dimension Scene Simulation Technology of Vega Real Time[M]. Wu Han:Publish of Middle China Technology University, 2005. (in Chinese)
- [ 4 ] 杨誉宇. 虚拟场景中特殊效果算法实现[D]. 南京:南京理工大学,2005.  
YANG Yuyu. Realization Special Effect Arithmetic in Modeling Scene [D]. Nanjing:Nanjing Science and Technology University,2005. (in Chinese)
- [ 5 ] 周 惠,陈善广. 航天视景仿真特殊效果图形生成技术[J]. 系统仿真学报,2001,13(6):711 – 713.  
ZHOU Hui, CHEN Shanguang. Special Effect Graphic Creation Technology of Spaceflight Scene Simulation[J]. Journal of System Simulation,2001,13(6):711 – 713. (in Chinese)
- [ 6 ] 龚卓荣. Vega 程序设计[M]. 北京,国防工业出版社,2002.  
GONG Zhuorong. Vega Program Design [M]. Beijing:Publish of National Defence Industry, 2002. (in Chinese)
- [ 7 ] Allerton D J. A Distributed Architecture of PCs for Rapid Prototyping: The Simulation Technology and Training Conference (SimTec2000)[C]. Sydney, Australia:[s. n. ],2000.
- [ 8 ] Multigen – Paradigm Inc. LynX User’s Guide, version 3.7,For WindowsNT and Windows 2000[M]. [S. l. ]:Multigen – Paradigm Inc,2001.
- [ 9 ] Hadfield S, Conlin K. Achieving Real – time Visual Simulation Using PC Graphics Technology:I/ITSEC Conference [C]. Orlando, Florida, USA:[s. n. ], 1999.
- [ 10 ] 刘耀周,张锡恩. 基于粒子系统的导弹飞行航迹及烟雾的特效生成[J]. 计算机工程,2004,30(1):174 – 176.  
LIU Yaozhou, ZHANG Xi'en. Based on Particle System Missile Flight Path and Smog Creation[J]. Computer Engineering, 2004,30(1):174 – 176. (in Chinese)

(编辑:姚树峰)

## Application of Particles System Theory in Aerial Warfare Scene Simulation

LI Chuan – liang, TONG Zhong – xiang, LU Yan – long, LIU Peng – fei

(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of anomalous phenomena simulation in the aerial warfare scene simulation, according to the basic principles of Particle System, the meaning of custom parameter's value in Vega is analyzed in a qualitative and quantitative way. Thereby, the numeric method of setting the parameters for particle system is put forward. Taking burning and exploding effects for example, which is familiar in the aerial warfare scene simulation, the parameters are set synthetically. After getting the range of parameters of simulation effect by the numeric method, the most optimized parameters are gained by simulation time after time. The simulation results prove that the numerical method is reasonable.

**Key words:** particle system; special effect; numerical method; aerial warfare scene simulation