

三维场景中体积云的研究与实现

刘芳¹, 刘贤梅¹, 吴琼²

(1. 东北石油大学 计算机与信息技术学院, 黑龙江 大庆 163318;
2. 大庆油田勘探开发研究院 计算机网络研究室, 黑龙江 大庆 163712)

摘要:云是一种常见的自然景物, 三维场景中的体积云模拟是计算机图形学领域研究的难题。文中研究了体积云模拟的常用方法, 其中物理模拟方法包括粒子系统、气泡建模和体素建模, 经验模型方法包括纹理映射和噪音函数。在研究 Perlin 噪音函数的基础上, 通过先构建噪音函数, 然后平滑处理, 最后进行插值处理这三个步骤, 文中实现了基于四维 Perlin 噪音的体积云模拟算法。基于细胞自动机理论, 文中实现了云动态生成和消失模拟。通过对这两种方法的对比和分析, 说明了两种实现方式的优缺点及使用情况。

关键词:体积云模拟; 物理模拟方法; 经验模型方法; Perlin 噪音; 细胞自动机

中图分类号: TP301

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2015)05-0135-03

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.05.032

Research and Implementation of Volumetric Cloud in 3D Scene

LIU Fang¹, LIU Xian-mei¹, WU Qiong²

(1. School of Computer and Information Technology, Northeast Petroleum University,
Daqing 163318, China;
2. Computer Network Reach Department, Daqing Oilfield Exploration and Development Research Institute,
Daqing 163712, China)

Abstract: Cloud is a common natural scenery, the simulation of volumetric cloud is a difficult project in the field of computer graphics. In this paper, research the commonly used method of volumetric cloud simulation, which includes physical simulation method and empirical model method. The physical simulation methods include particle system modeling, bubble modeling and voxel modeling, the experience methods include texture mapping and the noise function. Based on the research of Perlin noise, the volumetric cloud simulation algorithm based on the 4 dimensional Perlin noise is implemented by the step of first building noise function, and then smoothing, last interpolating. The cloud dynamically generated and disappeared simulation is realized based on cellular automata theory. Compared and analyzed the above two methods, the advantages and disadvantages and the use cases of two kinds of implementation are illustrated.

Key words: volumetric clouds simulation; physical simulation methods; experience methods; Perlin noise; cellular automaton machine

0 引言

三维场景中自然景物模拟技术是计算机图形学领域中具有挑战性的课题。云是一种典型的自然景物, 传统的云模拟是采用纹理贴图的方式^[1-2], 这样模拟出来的云是静态的, 不能体现实时性和沉浸性。逼真的体积云模拟可以更好地体现三维场景的沉浸性, 但是由于云的形状不规则, 运动不规则, 因此用规则物体的建模方法进行体积云的模拟是不可能的^[3]。如何综合现有的方法生成各种形状的云(如积云、卷云、层

云)是文中研究的内容。

1 云模拟的常用方法

1.1 物理方法

基于物理模型的方法是通过分析云内部真实的物理活动, 来模拟云的运动过程, 这种方法生成的体积云非常逼真但计算量十分庞大, 对系统资源耗费大, 机器的渲染速度较慢。基于物理模型的云模拟技术主要有三种, 分别是粒子系统、气泡建模和体素建模。

收稿日期: 2014-06-10

修回日期: 2014-09-14

网络出版时间: 2015-02-23

基金项目: 黑龙江省高等教育科学研究“十二五”规划课题(HGJXHB1110131)

作者简介: 刘芳(1983-), 女, 讲师, 硕士, 研究方向为虚拟现实与可视化技术; 刘贤梅, 教授, 硕士, 研究方向为虚拟现实与可视化技术。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150223.1239.033.html>

粒子系统是用来模拟不规则物体的常用方法,该方法将云团看成是由一个个粒子所构成的实体,每一个粒子代表云团当中的水滴,对粒子属性的描述就是对云层中水滴特征的描述,水滴的运动特征则通过粒子的运动模型来构建。但是云的细节描述比较复杂,因此粒子属性集的描述就会复杂,而粒子系统的优越性随着属性集复杂度的增加而降低。在需要描述大量细节的时候,需要增加非常多微小的粒子,这样会导致速度降低,在这种情况下,就需要考虑其他的方法。

气泡建模是用一个气泡来模拟一个云团,气泡由层层重叠的曲面构成,每一个气泡由中心、半径、权重来描述。气泡建模方法的有效曲面可以被任意拉伸,并且可以利用多种渲染方式来绘制图像。用这种方法进行建模的好处是可利用多种方式渲染绘制最终的图像,并且这些等效的曲面可以被拉伸,建立完成云的大致模型后还可采用分形法给曲面上加上细节描述^[4]。

体素建模是首先构建一个三维空间体,然后均匀采样,用前向或者后向的绘制方法进行绘制,Harris 利用体素在 GPU 上实现了云的动态模拟,取得了非常好的效果^[5]。

1.2 基于经验模型的方法

基于经验模型的方法主要借助于数学模型,通过归纳云的生成和消失的特性来进行云的建模,通过经验模型构建云团所得到的渲染结果是可控的,相较于物理方法可以得到较好的实时性。基于体素建模的方法分别是纹理映射方法和噪音函数方法^[6]。

纹理映射方法不是用体来表示云而是用面,该方法相对简单,所得到的图像也十分逼真,但是用纹理映射方法所模拟的云朵无法体现云粒子与光线的交互作用,因此在一定程度上影响了该方法的应用范围^[7-8]。

噪音函数方法能够生成随机数据,数据虽然随机但是连续,用这些数据来模拟云,所获得的云层形状十分逼真。噪音函数方法是在一个基础噪音函数的基础上叠加一系列不同振幅和频率的噪音函数形成最终的结果。这样得到的结果噪音可以体现事物的整体走向,并且能够保留局部细节,符合云层特征。Ebert 等利用噪音生成逼真的烟、水蒸气和云等^[9]。

2 基于 Perlin 噪音的体积云模拟

2.1 Perlin 噪音函数

Perlin 噪音函数是将不同振幅和频率的平滑噪音函数相叠加,其结果既能够体现事物的总体走向趋势,又能够表达局部细节的变化,是模拟不规则物体例如山脉、地形和云朵等的一种有利工具^[10]。

2.2 利用 Perlin 噪音函数构建体积云

利用噪音函数构建体积云大体分三个步骤,首先

构建噪音函数,然后平滑处理,最后进行插值处理。

(1) 构建噪音函数。

文中的 Perlin 噪音函数构造如下:对于输入的任意值,输出值限制在-1~1 之间。

Perlin 噪音随机函数产生器:

```
//产生-1.0 至 1.0 之间的伪随机数
float Noise3D(int a, int b, int c)
{
    int x = a + b * 37 + c * 67;
    x = (x << 13) ^ x;
    float Result = (1.0 - ((x * (x * x * 15 731 + 789 221) + 1 376
312 589) & 2 147 483 647) / 1 073 741 824.0));
    return Result;
}
```

(2) 对噪音函数进行平滑处理。

使用 Perlin 噪音函数生成随机数后,为使这些数值自然平滑,应根据需要进行平滑处理。处理代码如下:

```
float SmoothNoise3D(float x, float y, float z)
{
    float corners, face_side, center;
    center = Noise3D(x, y, z) / 8;
    face_side = (Noise3D(x + 1, y, z) + Noise3D(x - 1, y, z) +
Noise3D(x, y + 1, z) + Noise3D(x, y - 1, z) + Noise3D(x, y, z + 1)
+ Noise3D(x, y, z - 1)) / 16;
    corner = Noise3D(x + 1, y + 1, z + 1) + Noise3D(x - 1, y +
1, z + 1) + Noise3D(x + 1, y - 1, z + 1) + Noise3D(x - 1, y - 1,
z + 1) + Noise3D(x + 1, y + 1, z - 1) + Noise3D(x - 1, y + 1, z -
1) + Noise3D(x + 1, y - 1, z - 1) + Noise3D(x - 1, y - 1, z -
1)) / 32;
    return center + face_side + corner;
}
```

(3) 噪音函数插值处理。

利用噪音函数生成随机数,对其进行平滑处理后还要进一步处理,即插值处理。文中基于三维 Perlin 噪音余弦插值实现了云的形状。部分代码如下:

```
i1 = CosineInterpolate(v1, v2, fractional_X);
i2 = CosineInterpolate(v3, v4, fractional_X);
i3 = CosineInterpolate(v5, v6, fractional_X);
i4 = CosineInterpolate(v7, v8, fractional_X);
z1 = CosineInterpolate(i1, i2, fractional_Y);
z2 = CosineInterpolate(i3, i4, fractional_Y);
q = CosineInterpolate(z1, z2, fractional_Z);
```

完成上述三个步骤后就能够基于三维 Perlin 噪音函数生成静态的体积云,如果要想实现云的生成过程就要在三维的基础上再增加一个时间维度,根据程序运行的帧数来控制粒子的生成,从而实现云的生成过程。图 1 为基于四维 Perlin 噪音动态模拟云的生成过程的不同时间点的效果图。

基于 Perlin 噪音的体积云模拟是一种基于经验模型的算法。此算法没有考虑到云的物理形成过程,只

是通过反复实验或经验进行参数设置与修改,不能模拟云的垂直和水平运动过程。为了模拟云的物理活动过程,文中采用基于细胞自动机的体积云动态模拟算法来实现。

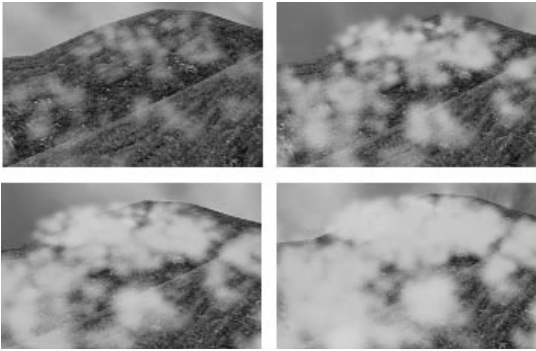


图1 基于四维 Perlin 噪音的云的动态生成渲染效果图

3 基于细胞自动机的体积云模拟

3.1 细胞自动机

细胞自动机(Cellular Automaton, CA)由一些规则的格子构成,每一个格子也是一个细胞,细胞每个时刻都只能处于一种状态,随着时间的变化,格子上的每个细胞根据周围细胞的状态,按照相同的法则进行改变。基于细胞自动机理论动态模拟体积云,在不同时刻根据云粒子的不同状态模拟出云的生成规律,从而动态实现云的生成。文中从云的生成与消失来介绍细胞自动机生成云算法。

3.2 云的生成与消失

将云的模拟空间划分成大小相同的等规则的体素(Voxel),也就是细胞^[11],每一个细胞具有三个属性:湿度(humidity 简写为 hum)、相变(activation 简写为 act)、云(cloud 简写为 cld),这三个属性都是布尔变量类型。hum 表示该细胞的湿度是否可以形成水滴,1 为可以,0 为不可以;act 表示该细胞是否可以发生相变,由气体变为液体,1 为发生,0 为未发生;cld 表示是否已经形成云,1 为形成,0 为未形成^[12]。

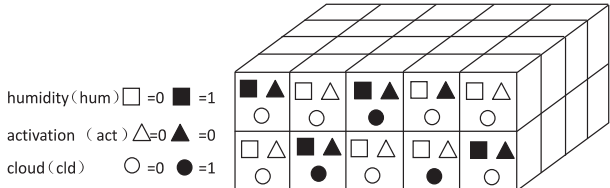


图2 云模拟空间三维细胞建模示意图

按照图 2 的表示方法,云生成过程的示意图如图 3 所示。

云模拟空间中细胞的变量变换规则如下:(1) 如果当前时刻细胞有足够的湿度,但还没有发生相变,则下一时刻细胞湿度是保持不变的;(2) 如果当前时刻细胞有足够湿度,并符合由气体变液体的条件,相变发

生,则云由气态变成液态,湿度消失,云形成。

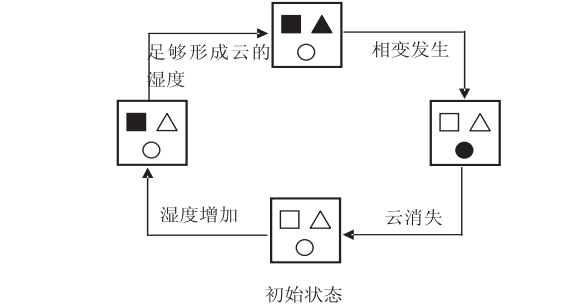


图3 云生成过程示意图

图 4 为三维场景中云生成效果图。

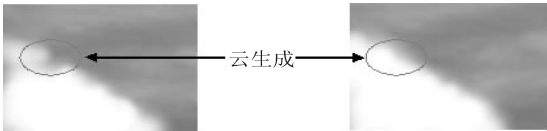


图4 云生成渲染效果图

Nagel 方法的不足之处在于它不能模拟云的消失,Dobashi 等引进一个新的状态变量解决了云消失的问题^[13-14]。算法基本步骤如下:首先,引进一个变量 P 表示云的消失概率,然后,在每一个 cld 为 1 的细胞上生成一个随机数 $rnd(0 \sim 1)$,果 $rnd < p$,则把该细胞的 cld 置为 0,否则不变。在不同时刻给不同的细胞赋予不同的概率值,来模拟云的消失,基于这种方法文中实现了云的消失模拟。

3.3 体积云的实现结果对比

文中在 OpenGL 和 Visual C++开发环境下对云模拟进行了实验,实验运行的结果如表 1 所示。

表1 云模拟实验运行结果测试表

状态	粒子数					
	1 000	3 000	5 000	7 000	9 000	11 000
Perlin 噪音动态生成云	48	15	11	8	5	4
细胞自动机模拟云	52	41	32	27	24	22

从表中的结果可知,与基于四维 Perlin 噪音动态模拟云的生成速度相比,基于细胞自动机模拟云的动态生成的速度相对要快,实时性相对要好。

4 结束语

文中对云模拟的常用方法进行了阐述,主要有基于物理的和基于经验的两种方法。利用 Perlin 噪音模拟云,在三维基础上加入时间维,从而实现了体积云的动态模拟效果。同时文中还基于细胞自动机理论解决了体积云的生成与消失模拟,并通过体积云的模拟实验结果,对比了不同方法模拟云的效果。

参考文献:

[1] Perlin K. An image synthesizer[J]. Computer Graphics,1985,
(下转第 142 页)

法,这主要是由于 LMMSE 算法在进行最优化问题求解时不光考虑了噪声的影响,还利用了信道状态信息的统计特性,从而提高了信道估计的精度。

5 结束语

文中针对 MIMO-OFDM 系统,建立了 MIMO 信道及 MIMO-OFDM 系统模型,并针对 MIMO 信道及 MIMO-OFDM 系统模型讨论了基于 LMMSE 的时域信道估计算法,并与经典 LS 估计算法进行了对比。理论和仿真结果表明,相比 LS 信道估计算法,LMMSE 算法能有效地降低系统的误码率和均方误差,提高信道估计的精度,接收端的检测性能更接近理想信道估计的性能。

参考文献:

- [1] Cho Y S, Kim J, Yang W Y, et al. MIMO-OFDM wireless communications with MATLAB [M]. [s. l.]: John Wiley & Sons, 2010.
 - [2] 佟学俭, 罗 涛. OFDM 移动通信技术原理与应用 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.
 - [3] 肖 扬. MIMO 多天线无线通信系统 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.
 - [4] Alamouti S M. A simple transmit diversity technique for wireless communications [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1998, 16(8): 1451-1458.
 - [5] Tarokh V, Jafarkhani H, Calderbank A R. Space-time block codes from orthogonal designs [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1999, 45(5): 1456-1467.
 - [6] Tarokh V, Jafarkhani H, Calderbank A R. Space-time block coding for wireless communications: performance results [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1999, 17(3): 451-460.
 - [7] 黄 韬. MIMO 相关技术与应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
 - [8] Barhum I, Leus G, Moonen M. Optimal training design for MIMO OFDM systems in mobile wireless channels [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2003, 51(6): 1615-1624.
 - [9] Li Ye, Winters J H, Sollenberger N R. MIMO-OFDM for wireless communications: signal detection with enhanced channel estimation [J]. IEEE Transactions on Communication, 2002, 50(9): 1471-1477.
 - [10] Wang J, Han Zhu, Liu K J R. A MIMO-OFDM channel estimation approach using time of arrivals [J]. IEEE Trans on Wireless Communications, 2005, 4(3): 1207-1213.
 - [11] Sampath H, Talwar S, Tellado J, et al. A fourth-generation MIMO-OFDM broadband wireless system: design, performance, and field trial results [J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(9): 143-149.
 - [12] Patzold M. 移动衰落信道 [M]. 陈 伟, 译. 北京: 电子工业出版社, 2009: 208-228.
 - [13] 周 鹏, 赵春明, 盛 彬. MIMO-OFDM 系统中基于导频辅助的信道估计 [J]. 电子与信息学报, 2007, 29(1): 133-137.
 - [14] 井 雅, 王东明, 陈 明, 等. 基于多径时延跟踪的 MIMO-OFDM 系统信道估计 [J]. 应用科学学报, 2005, 23(4): 359-363.
 - [15] 王东明, 高西奇, 尤肖虎, 等. 宽带 MIMO-OFDM 系统信道估计算法研究 [J]. 电子学报, 2005, 33(7): 1254-1257.
 - [16] 赵树杰. 统计信号处理—检测理论、估计和滤波理论及其应用 [M]. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1986.
-
- (上接第 137 页)
- 19(3): 263-270.
 - [2] Perchey D R. Solid texturing of complex surfaces [J]. Computer Graphics, 1985, 19(3): 279-286.
 - [3] 吴 晶, 徐晓刚, 陈新来, 等. 云的模拟技术综述 [J]. 计算机应用研究, 2009, 26(4): 1205-1209.
 - [4] Dobashi Y, Nishita T, Yamashita H, et al. Using metaballs to modeling and animate clouds from satellite images [J]. The Visual Computer, 1999, 15(9): 471-482.
 - [5] Harris M J, Baxter W V, Scheuermann T, et al. Simulation of cloud dynamics on graphics hardware [C]//Proceedings of the 2003 ACM SIGGRAPH/EUROGRAPHICS workshop on graphics hardware. San Diego: Eurographics Association, 2003: 92-101.
 - [6] 刘世光, 柴佳伟, 闻 媛. 三维动态云快速模拟的新方法 [J]. 计算机研究与发展, 2009, 46(9): 1417-1423.
 - [7] 龚 琳, 顾大权, 袁 媛. 三维云的建模和绘制 [J]. 计算机应用与软件, 2007, 24(2): 184-186.
 - [8] 贺怀清, 刘浩翰, 刘金星, 等. 一种改进的立体云模拟方法 [J]. 系统仿真学报, 2008, 20(10): 2620-2623.
 - [9] Ebert D S, Carlson W E, Parent R E. Solid spaces and inverse particle systems for controlling the animation of gases and fluids [J]. The Visual Computer, 1994, 10(4): 179-190.
 - [10] 齐 越, 沈旭昆, 段米毅, 等. 基于 Perlin 噪音绘制云的方法 [J]. 系统仿真学报, 2002, 14(9): 1204-1207.
 - [11] 孙田子, 刘 弘. 基于元胞自动机的动态云模拟 [J]. 计算机工程, 2010, 36(3): 272-274.
 - [12] 郝进亮, 陈 蕾, 娄高鸣, 等. 基于 DirectX 的云模拟研究 [J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(11): 195-197.
 - [13] Nagel K, Raskchke E. Self-organizing criticality in cloud formation [J]. Physica A, 1992, 182(4): 519-531.
 - [14] Dobashi Y, Kaneda K, Yamashita H, et al. A simple, efficient method for realistic animation of clouds [C]//Proceedings of the 27th annual conference on computer graphics and interactive techniques. [s. l.]: [s. n.], 2000.

三维场景中体积云的研究与实现

作者：[刘芳](#)，[刘贤梅](#)，[吴琼](#)，[LIU Fang](#)，[LIU Xian-mei](#)，[WU Qiong](#)
作者单位：[刘芳, 刘贤梅, LIU Fang, LIU Xian-mei \(东北石油大学 计算机与信息技术学院, 黑龙江 大庆 , 163318\)](#)，[吴琼, WU Qiong \(大庆油田勘探开发研究院 计算机网络研究室, 黑龙江 大庆 , 163712\)](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)
年，卷(期)：2015 (5)

引用本文格式：[刘芳](#). [刘贤梅](#). [吴琼](#). [LIU Fang](#). [LIU Xian-mei](#). [WU Qiong](#) [三维场景中体积云的研究与实现](#) [期刊论文]

-[计算机技术与发展](#) 2015 (5)