



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109977431 A

(43)申请公布日 2019.07.05

(21)申请号 201711417538.2

(22)申请日 2017.12.25

(71)申请人 中国科学院沈阳自动化研究所
地址 110016 辽宁省沈阳市东陵区南塔街
114号

(72)发明人 赵怀慈 郝明国 王立勇 刘明第
曹飞道 吕进锋 刘鹏飞 赵洋

(74)专利代理机构 沈阳科苑专利商标代理有限公司 21002

代理人 李巨智

(51)Int.Cl.

G06F 17/50(2006.01)

G06T 15/00(2011.01)

G06T 17/20(2006.01)

权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种大场景环境下烟雾建模方法

(57)摘要

本发明涉及一种大场景环境下烟雾建模方法,包括以下过程:在大场景环境下建立烟雾粒子网格模型,确定烟雾粒子的初始状态参数;对大场景环境下的烟雾粒子施加外力,在外力作用下,计算烟雾粒子在对流效应下的参数以及计算烟雾粒子在碰撞效应下的参数;根据烟雾粒子的初始状态参数、烟雾粒子在对流效应下的参数和烟雾粒子在碰撞效应下的参数,更新涡度场。本发明利用N-S方程烟雾物理模型,通过网格扩展处理的方式,提高了仿真系统的实时性与仿真结果的高逼真性,获得了高逼真的烟雾仿真场景。



1. 一种大场景环境下烟雾建模方法,其特征在于,包括以下过程:

步骤1:在大场景环境下建立烟雾粒子网格模型,确定烟雾粒子的初始状态参数;

步骤2:对大场景环境下的烟雾粒子施加外力,在外力作用下,计算烟雾粒子在对流效应下的参数以及计算烟雾粒子在碰撞效应下的参数;

步骤3:根据烟雾粒子的初始状态参数、烟雾粒子在对流效应下的参数和烟雾粒子在碰撞效应下的参数,更新涡度场。

2. 根据权利要求1所述的大场景环境下烟雾建模方法,其特征在于:所述烟雾粒子的初始状态包括:粒子的位置、速度、方向、角速度、质量、出生时间和死亡时间。

3. 根据权利要求1所述的大场景环境下烟雾建模方法,其特征在于:所述外力为:

$$m \frac{Du}{Dt} = F$$

$$u(t + \Delta t) = u(t) + \frac{Du}{Dt} \times \Delta t$$

$$p(t + \Delta t) = p(t) + u \times \Delta t$$

其中: m 表示烟雾粒子的质量, $u(t)$ 表示粒子的速度, p 表示粒子的位置, t 表示粒子的时间, F 表示外力。

4. 根据权利要求1所述的大场景环境下烟雾建模方法,其特征在于:所述烟雾粒子在对流效应下的参数包括涡度信息和网格信息。

5. 根据权利要求4所述的大场景环境下烟雾建模方法,其特征在于:所述涡度信息通过烟雾粒子的速度信息转化,转化过程为:

$$u = \frac{1}{4\pi} \int \frac{\omega \times r}{r^3} dv$$

其中: u 为速度场; r 为半径; v 为体积; F 为外力; ω 为涡度。

6. 根据权利要求4所述的大场景环境下烟雾建模方法,其特征在于:所述网格信息通过对烟雾粒子网格模型进行动态网格追踪,追踪过程为:

$$p_t = p_{t-1} + \Delta t (u_{t-1} + a \frac{\Delta t}{2}) \sqrt{1 - \xi} + \delta$$

其中: $0 < \xi < 1$, m 表示烟雾粒子的质量, $u(t)$ 表示粒子的速度, p 表示粒子的位置, t 表示粒子的时间, δ 表示偏差。

7. 根据权利要求1所述的大场景环境下烟雾建模方法,其特征在于:所述烟雾粒子在碰撞效应下的参数为烟雾粒子在碰撞后的速度,其计算过程为:

$$h = (\theta - \theta_1) \times q \times (\theta - \theta_1)$$

其中: h 为碰撞后的速度, q 为法线方向的速度差, $(\theta - \theta_1)$ 为切线方向的速度差。

8. 根据权利要求1所述的大场景环境下烟雾建模方法,其特征在于:所述更新涡度场包括以下过程:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -(\mu \cdot \nabla) u - \frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 u + F$$

$$\nabla \cdot u = 0$$

其中： u 为速度场； t 为时间； ρ 为流体密度； p 为压力； μ 为运动黏性系数； F 为外力。

一种大场景环境下烟雾建模方法

技术领域

[0001] 本发明涉及场景仿真领域,具体地说是一种大场景环境下烟雾建模方法。

背景技术

[0002] 近年来,计算机技术得到了飞速的发展,同时,相应的计算机影视技术也极大程度的融入了现实生活中,国内外已经大范围开展了关于CG制作等相关仿真学科。各个领域对于模拟世界的真实性的需求越来越高,良好的仿真视觉效果可以提高人们的视觉体验,烟雾、火焰等流体仿真已经变得不可或缺,在民用和军事研究方面都有着突出的贡献。当前科研人员对于整个大场景烟雾仿真环境进行了一系列的仿真和研究,找寻一种具有高真实感的烟雾仿真方法。

[0003] 构建大场景环境主要目的在于呈现出一个近乎真实的大场景环境态势信息,并且指挥员和用户可以通过该计算机呈现的信息在较短的时间获取有效的信息,掌握当前大场景的态势,真正达到身临其境的效果。若想达到上述目的,这就要求在该场景环境下一切有效信息都需要准确的呈现出来,只有这样才能使得用户可以准确的利用现实生活中的生活经验和认知习惯,提高对大场景环境下仿真实体的认知效率。

[0004] 构建大场景环境模型少不了自然环境仿真模块,而自然环境仿真模块中的重点和难点就是对于流体现象的仿真过程。流体环境对于场景态势表达的影响是不可以忽略的,一般来说,流体和刚体不同,并无直观的点线面几何规律,无论是从数学学科的角度出发还是物理学科的角度出发,流体都无法被精准的数学语言描述出来,流体仿真要素没有直观的外表,所以仿真的难度和要求比其他要素高。

[0005] 烟雾仿真模型中最常用的方法是粒子系统,该种仿真方法原理简单,仿真效率高,可以满足需要大量粒子的视觉特效,影视特效也多采用这种方式。但是在场景中烟雾粒子不仅仅包括烟幕弹等大型的烟雾环境,还有一些对于细节要求比较高的烟雾环境。同时,在一些特定的场景下特效要求需要尽可能的保持于现实世界物理运行规律的最大一致性,并且根据环境特效推算出该物体对于行动的影响。随着计算机的高速发展,简单的粒子系统并不能满足上述特定场景要求,需要从粒子的运动原理入手,构建基于物理模型的大场景特效表达模型,加入一定物理模型,数学模型以及化学模型,真正的从根源入手,对于大场景流体进行可靠的模型构建。

[0006] 面向大场景光学环境构建中烟雾的模拟方法虽然日趋成熟,但是还存在很多不完善的地方。烟雾的形态多种多样,同时在大场景烟雾仿真系统中,影响烟雾形态的条件极为复杂,相同条件下参数不同其烟雾的运动形态也不尽相同,但是目前的烟雾仿真为了追求仿真系统的实时性,其仿真成果的真实性无法达到大场景环境的相关要求。

[0007] 基于大场景的特效仿真对于烟雾仿真系统的实时性要求很高,基于外力的烟雾粒子系统已经无法达到真实性的相关要求。大场景特效仿真必须满足与人们的认知效果,同时在保证实时性的条件下尽可能的提高烟雾仿真的真实性。

发明内容

[0008] 针对现有技术的不足,本发明提供一种大场景环境下烟雾建模方法。

[0009] 本发明为实现上述目的所采用的技术方案是:

[0010] 一种大场景环境下烟雾建模方法,包括以下过程:

[0011] 步骤1:在大场景环境下建立烟雾粒子网格模型,确定烟雾粒子的初始状态参数;

[0012] 步骤2:对大场景环境下的烟雾粒子施加外力,在外力作用下,计算烟雾粒子在对流效应下的参数以及计算烟雾粒子在碰撞效应下的参数;

[0013] 步骤3:根据烟雾粒子的初始状态参数、烟雾粒子在对流效应下的参数和烟雾粒子在碰撞效应下的参数,更新涡度场。

[0014] 所述烟雾粒子的初始状态包括:粒子的位置、速度、方向、角速度、质量、出生时间和死亡时间。

[0015] 所述外力为:

$$[0016] \quad m \frac{Du}{Dt} = F$$

$$[0017] \quad u(t + \Delta t) = u(t) + \frac{Du}{Dt} \times \Delta t$$

$$[0018] \quad p(t + \Delta t) = p(t) + u \times \Delta t$$

[0019] 其中:m表示烟雾粒子的质量,u(t)表示粒子的速度,p表示粒子的位置,t表示粒子的时间,F表示外力。

[0020] 所述烟雾粒子在对流效应下的参数包括涡度信息和网格信息。

[0021] 所述涡度信息通过烟雾粒子的速度信息转化,转化过程为:

$$[0022] \quad u = \frac{1}{4\pi} \int \frac{\omega \times r}{r^3} dv$$

[0023] 其中:u为速度场;r为半径;v为体积;F为外力; ω 为涡度。

[0024] 所述网格信息通过对烟雾粒子网格模型进行动态网格追踪,追踪过程为:

$$[0025] \quad p_t = p_{t-1} + \Delta t(u_{t-1} + a \frac{\Delta t}{2}) \sqrt{1-\xi} + \delta$$

[0026] 其中: $0 < \xi < 1$,m表示烟雾粒子的质量,u(t)表示粒子的速度,p表示粒子的位置,t表示粒子的时间, δ 表示偏差。

[0027] 所述烟雾粒子在碰撞效应下的参数为烟雾粒子在碰撞后的速度,其计算过程为:

$$[0028] \quad h = (\theta - \theta_1) \times q \times (\theta - \theta_1)$$

[0029] 其中:h为碰撞后的速度,q为法线方向的速度差, $(\theta - \theta_1)$ 为切线方向的速度差。

[0030] 所述更新涡度场包括以下过程:

$$[0031] \quad \frac{\partial u}{\partial t} = -(\mu \cdot \nabla) u - \frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 u + F$$

$$[0032] \quad \nabla \cdot u = 0$$

[0033] 其中:u为速度场;t为时间; ρ 为流体密度;p为压力; μ 为运动黏性系数;F为外力。

[0034] 本发明具有以下有益效果及优点：

[0035] 本发明利用N-S方程烟雾物理模型，通过低精度粒子系统概念与网格扩展处理相结合的方式，提高了仿真系统的实时性与仿真结果的高逼真性，获得了高逼真的烟雾仿真场景。

附图说明

[0036] 图1是本发明的方法流程图。

具体实施方式

[0037] 下面结合附图及实施例对本发明做进一步的详细说明。

[0038] 如图1所示为本发明的方法流程图。

[0039] 包括如下步骤：

[0040] (1) 初始化速度场：

[0041] 构建低精度烟雾粒子系统模型，确定烟雾初始状态参数；

[0042] (2) 加入外力：

[0043] 利用低精度网格系统，求解外力项对于烟雾粒子的相关影响；

[0044] (3) 计算对流：

[0045] 利用动态网格追踪确定烟雾粒子位置，计算其对流作用；

[0046] (4) 计算刚体碰撞：

[0047] 计算烟雾粒子碰撞等刚体交互作用对烟雾粒子状态的影响；

[0048] (5) 更新涡度场：

[0049] 更新场景仿真中烟雾的状态，从而得到烟雾的动态仿真效果；

[0050] (6) 加入火焰特效：

[0051] 研究火焰烟雾动态转换过程，加入烟雾发生参数；

[0052] (7) 加入多线程加速方式：

[0053] 利用计算机并行处理模型数据，提高系统实时性。

[0054] 在图1中，对大场景下烟雾粒子的初始参数确定之后，计算环境因素对烟雾粒子的影响，并通过计算涡度输出此刻烟雾粒子的状态；而后计算流体的对流效应对烟雾粒子的参数的影响；接着确定粒子内部由于碰撞等扩散效应对粒子状态产生的影响；最后再次计算涡度实现涡度场的更新，从而得出烟雾的动态仿真效果。具体步骤如下：

[0055] 步骤1. 初始化速度场。

[0056] 初始操作都是确立烟雾粒子的初始属性，粒子的位置、速度、方向、角速度、质量、出生时间和死亡时间，其中粒子也可以携带额外的粒子属性，比如运动目标位置和电荷量等。成功初始化烟雾粒子信息后，构建低精度烟雾网格模型，为下一步计算外力提供基本的物理信息。

[0057] 步骤2. 加入外力。

[0058]
$$m \frac{Du}{Dt} = F$$

$$[0059] \quad u(t + \Delta t) = u(t) + \frac{Du}{Dt} \times \Delta t$$

$$[0060] \quad p(t + \Delta t) = p(t) + u \times \Delta t$$

[0061] 其中： m 表示烟雾粒子的质量， $u(t)$ 表示粒子的速度， p 表示粒子的位置， t 表示粒子的时间。

[0062] 利用上述方程确定外力在对烟雾粒子作用的过程中，外力运动过程的方向、大小、规模与持续时间的长短。

[0063] 步骤3. 计算对流。

[0064] 将低精度烟雾粒子系统产生的速度信息转换为涡度信息，转换公式如下所示：

$$[0065] \quad u = \frac{1}{4\pi} \int \frac{\omega \times r}{r^3} dv$$

[0066] 其中： u 为速度场； r 为半径； v 为体积； F 为外力； ω 为涡度。

[0067] 同时对于构建好的低精度网格系统进行动态网格最终过程，其追踪方程如下所示：

$$[0068] \quad p_t = p_{t-1} + \Delta t(u_{t-1} + a \frac{\Delta t}{2})\sqrt{1-\xi} + \delta$$

[0069] 其中： $0 < \xi < 1$ ， m 表示烟雾粒子的质量， $u(t)$ 表示粒子的速度， p 表示粒子的位置， t 表示粒子的时间。

[0070] 构建好高精度网格信息后，对于半拉格朗日算法进行一定程度的优化处理，引入MacCormack算法来减少计算误差，增加烟雾仿真的视觉效果，MacCormack方法用公式简单描述为：

$$[0071] \quad \hat{\varphi}^{n+1} = A(\varphi^n)$$

$$[0072] \quad \hat{\varphi}^n = A^R(\hat{\varphi}^{n+1})$$

$$[0073] \quad \varphi^{n+1} = \hat{\varphi}^{n+1} + \frac{1}{2}(\varphi^n - \hat{\varphi}^n)$$

[0074] 其中： φ^n 是水平传输量， $\hat{\varphi}^{n+1}$ 和 $\hat{\varphi}^n$ 是对流传输量， φ^{n+1} 是最后传输量， A^R 上标表明在某一时刻水平传输相反。

[0075] 步骤4. 计算刚体碰撞。

[0076] 默认在碰撞时当前碰撞粒子不受其他粒子影响，同时也不会对于其他烟雾粒子产生一定程度的影响，根据以下公式计算刚体碰撞：

$$[0077] \quad h = (\theta - \theta_1) \times q \times (\theta - \theta_1)$$

[0078] 式中： h 为碰撞后的速度， q 为法线方向的速度差， $(\theta - \theta_1)$ 为切线方向的速度差。

[0079] 步骤5. 更新涡度场。

[0080] 根据以下欧拉形式的N-S方程更新仿真状态从而得的实时的动态仿真结果：

$$[0081] \quad \frac{\partial u}{\partial t} = -(u \cdot \nabla)u - \frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 u + F,$$

$$[0082] \quad \nabla \cdot u = 0$$

[0083] 其中： u 为速度场； t 为时间； ρ 为流体密度； p 为压力； μ 为运动黏性系数； F 为外力。

[0084] 加入温度和热浮力相关影响,更新整个烟雾场信息。

[0085] 步骤6.加入火焰效果。

[0086] 考虑到燃料和反应温度对于氧化还原的影响,在一定的温度条件下火焰粒子会转化为烟雾粒子,呈现一种不同的视觉效果。同时研究了火焰温度对于烟雾运动模型的影响,通过求解温度和密度之间的关系,将热扩散模型带入烟雾的运动模型中,考虑到烟雾仿真的实时性因素,对于方程进行了进一步的简化求解。

[0087] 表1.1火焰反应参数

[0088] Table 1.1Combustion tuning parameters

	参数	意义	使用方式
	Y	反应质量分数	火焰大小
[0089]	A	燃料燃烧速度	火焰燃烧速度
	T	反应温度	烟雾阈值温度
	G	反应活化能	烟雾扩散速度

[0090] 虽然按照传统公式可能保留更多的烟雾细节,但是为了视觉效果,我们只需要处理上表中总结的某些参数:Y决定了液体中含有多少燃料。A控制燃料转换速率;G控制了燃烧释放的温度。T控制火焰转换的温度。

[0091] 步骤7.多线程加速。

[0092] 利用烟雾求解算法的并行特征,在此采用Intel线程构建块(TBB)将整个工作分散到多个线程中。本文中优化程序主要分为以下三个部分:首先需要了解程序中耗时较多的代码段,其次研究这些代码段耗时较多的原因,最后从原理的角度出发,修改相应代码,使程序跑得更快。

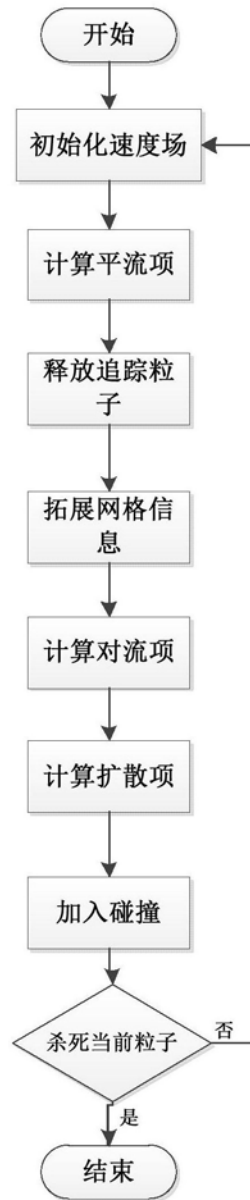


图1