

8-14-2020

Real-time Rendering of Large-scale River in Inland River Ship Simulator

Xiaoming Zhai

Marine Dynamic Simulation and Control Lab, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China;

Yin Yong

Marine Dynamic Simulation and Control Lab, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China;

Helong Shen

Marine Dynamic Simulation and Control Lab, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Real-time Rendering of Large-scale River in Inland River Ship Simulator

Abstract

Abstract: To improve the reality of river visual in inland river ship simulator, a method of rendering large scale river which could be applied for inland river ship simulator was proposed. *The river flowing field was built through the conception of stream function, and the algorithm of Poisson disk sampling was used to control the distribution of river flowing field. This could balance the relationship between efficiency and effect of river surface. The parallelism and programmability of GPU was adopt to render river surface.* The results show the river flowing field generated by algorithm of stream function can reflect the mobility of river, and the algorithm of Poisson disk sampling can control river surface efficiently. GPU is used for rendering of river that can realize real time rendering of large scale river, and improve the reality of environment of inland river ship simulator.

Keywords

ship simulator, river, large-scale, real-time, GPU

Recommended Citation

Zhai Xiaoming, Yin Yong, Shen Helong. Real-time Rendering of Large-scale River in Inland River Ship Simulator[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(9): 2023-2028.

内河船舶模拟器中大尺度河流实时绘制

翟小明, 尹勇, 神和龙

(大连海事大学航海动态仿真与控制实验室, 大连 116026)

摘要: 为提升现有内河船舶模拟器中河流仿真的真实感, 提出一种适用于内河船舶模拟器中大尺度河流绘制方法。该方法通过引入流函数构建河流速度场, 并利用泊松盘分布算法控制河流速度场空间分布, 可有效地平衡效率与河流表面绘制效果; 利用 GPU 的并行性和可编程性完成河流可视化。实验结果证明: 构建的河流流体速度场能够很好地体现河流流动特性, 并且泊松盘分布算法能良好地控制河流表面。基于 GPU 能够实现大尺度河流实时绘制, 并提升内河船舶模拟器中河流视景的环境真实感。

关键词: 船舶模拟器; 河流; 大尺度; 实时绘制; GPU

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2016) 09-2023-06

Real-time Rendering of Large-scale River in Inland River Ship Simulator

Zhai Xiaoming, Yin Yong, Shen Helong

(Marine Dynamic Simulation and Control Lab, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: To improve the reality of river visual in inland river ship simulator, a method of rendering large scale river which could be applied for inland river ship simulator was proposed. *The river flowing field was built through the conception of stream function, and the algorithm of Poisson disk sampling was used to control the distribution of river flowing field. This could balance the relationship between efficiency and effect of river surface. The parallelism and programmability of GPU was adopt to render river surface.* The results show the river flowing field generated by algorithm of stream function can reflect the mobility of river, and the algorithm of Poisson disk sampling can control river surface efficiently. GPU is used for rendering of river that can realize real time rendering of large scale river, and improve the reality of environment of inland river ship simulator.

Keywords: ship simulator; river; large-scale; real-time; GPU

引言

河流视景作为内河船舶模拟器的重要组成部分之一, 对提升整个内河船舶模拟器的品质起着重要作用。河流表面仿真决定了内河船舶模拟器中河流视景的真实感程度。因此, 为提升整个内河船舶

模拟器河流视景的环境真实感, 需重点研究河流表面可视化^[1]。通过查阅相关资料以及文献可知, 现有的国内航海模拟器都没有重点关注河流流体表面可视化, 已搭建的内河船舶模拟器河流视景中河水的建模方法, 也是基于海水建模方法。这并不能真实地体现河流固有的流动特点, 更不能体现整个河流视景的特性。因此, 为提升内河船舶模拟器河流视景的环境真实感, 亟需开发符合河流流动特性的河流视景。河流的流动特性以及河流表面可视化都包含了复杂的物理原理。尤其是仿真适应于内河



收稿日期: 2016-05-09 修回日期: 2016-07-11;
基金项目: 863 课题(2015AA016404), 海洋公益性行业科研专项(201505017-4); 中央高校基本科研业务费(3132016310)
作者简介: 翟小明(1985-), 男, 吉林榆树, 博士生, 研究方向为虚拟现实仿真。

<http://www.china-simulation.com>

• 2023 •

船舶模拟器中大尺度的河流流体,其较大的计算量和复杂的物理特性成为研发难点。

本文综合考虑上述因素,在文献[2]的基础上,提出利用流函数的原理求解河流流体速度场^[2]。该方法能够求解给定边界条件的河流速度场,求解的速度场能够很好地表达河流流动性;并利用泊松盘分布算法控制河流速度场分布,以平衡河流表面效果和计算压力。最后基于 GPU 完成河流表面可视化。本文提出的方法能较真实地体现河流流动性,并可实现大尺度的河流绘制。河流表面可视化效果能提升现有内河船舶模拟器中河流视景的环境真实感。

1 河流流体速度场构建基本理论

河水作为自然界一种典型的流体,已经吸引了众多图形工作人员的兴趣。为更真实地体现流体的物理特性,通常采用求解纳维-斯托克斯方程 N-S (Navier-stokes equations) 获取流体速度场,如公式(1)和公式(2)。

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

$$\nabla \cdot u = 0 \quad (2)$$

公式(1)、(2)表示不可压缩流体的 N-S 方程,式中: u 为流体质点的速度; ρ 为流体的密度,对于不可压缩流体来讲,在计算过程中密度保持恒定; p 为压强,即流体对其他物体单位面积的压力; g 为类似重力加速度 g ; ν 为运动粘度;表示流体的粘性,通常糖浆的粘性较高,水银的粘度较低;

水体等流体模拟时,在利用 N-S 方程求解速度场,主要是基于欧拉网格方法,而欧拉网格方法又可大致分为在二维平面^[3], 2.5 维空间与 3 维空间上的流体计算^[4-5]。Andreas 所采用的 Latic-Boltzmann 方法也可认为是一种欧拉法,尽管没有直接采用 N-S 方程,但这种方法因其简单及算法易于应用到 GPU,所以较为流行^[6]。另外一种近似的方法是拉格朗日法,通过离散的粒子及其相关属性进行流体模拟。

基于求解 N-S 方程求解流体速度场的方法能够较真实地体现流体物理特征,但因其求解过程复杂,并且计算量大,不适用内河船舶模拟器河流视景中大尺度河流流体的速度场求解。通过对 N-S 方程在 Z 方向积分可得到二维浅水方程 SWE (Shallow water equation)^[7],如公式(3)到公式(5)利用 SWE 得到水流的速度场,进而得到水域各处的压强,把压强大小伸缩后当作第三维的数据,即当作水面高度后,逼真的仿真物体在水域里移动时产生的波纹或漩涡。

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P^2}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{PQ}{H} \right) + gH \frac{\partial \eta}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \tau_{bx} \quad (4)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{PQ}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Q^2}{H} \right) + gH \frac{\partial \eta}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \tau_{by} \quad (5)$$

公式(3)、(5)中, H 为静水深, η 水面线高程, U 和 V 分别表示 x , y 方向上水流速度。 g 和 ρ 与公式(1)中意义相同。

相比于 N-S 方程, SWE 方程在求解流体速度场时,效率更快且计算量小。但对于内河船舶模拟器河流视景中大尺度河流速度场的求解, SWE 方程仍不能满足实时性的要求。

N-S 方程以及 SWE 方程更适用于模拟类似水或者牛奶倒入水杯这类小尺度的流体。为满足河流、瀑布等大尺度流体的速度场实时计算要求,文献[2]基于过程法求解河流仿真过程中流体速度场。利用流函数的性质和概念,即流函数是与河道网中每个河道分支内部的体流量流速相关的函数。在河道网中,由于河道边界的速度不会有法向速度,所以河道边界的流函数都为常数。图 1 描述了在给定的河道内,通过两河道边界流线的任一曲线单位体积流量 Q 等于两个河岸边界流线的流函数 ψ 的差值,如式(6)所示。

$$Q = \psi_l - \psi_r \quad (6)$$

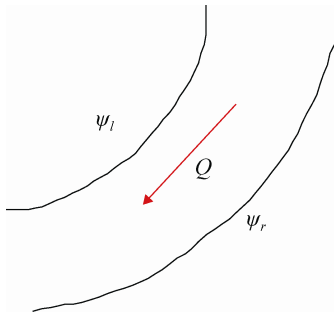


图 1 流函数与单位流量关系

在计算河流速度场时,我们假设河流流体为不可压缩的二维平面流,速度场满足不可压缩流体的连续方程,如式(7)和(8)所示。

$$-vdx + udy = 0 \tag{7}$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \tag{8}$$

这成为某函数全微分的充分必要条件,即:

$$d\psi = \frac{\partial \psi}{\partial x} dx + \frac{\partial \psi}{\partial y} dy = -vdx + udy$$

函数 ψ 称为流场的流函数,其偏导数为速度矢量分量。因此,在求解河流流场的速度时,可通过计算构建的流函数偏导数即可,式(9)所示。

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial x}, v = -\frac{\partial \psi}{\partial y} \tag{9}$$

以上 3 种用于求解流体速度场的方法根据适用范围和特点,可适用于不同尺度的流体速度场求解。N-S 方程与 SWE 方程求解的流体速度场更符合流体的物理特征,但因其计算量大,适用于小尺度的流体模拟;基于流函数的过程法求解流体速度场时计算量小,能达到实时计算,因此更适用于实时性要求较高的大尺度河流流体计算^[8-10]。表 1 简要分析了三种方法的优劣性。本文在进行内河船舶模拟器中河流流体计算时,采用流函数的方法进行河流流体速度场计算,并将求解的速度场应用到河流表面可视化。

表 1 3 种常用求解流体速度场方法比较

方法	模拟效果	实时性	适用范围
N-S	最好	否	小尺度
SWE	较好	否	小尺度
流函数	好	能	大尺度

2 河流速度场建模

内河船舶模拟器河流视景中河水的建模仍基于海水建模方法,但这不能体现河流自身的流动性。图 2 为现有内河船舶模拟器河流视景。本文构建河流速度场时,考虑河流视景中河流的尺度较大,并且内河船舶模拟器实时性要求。构建河流速度场时利用流函数的性质,即流函数的导数为速度矢量分量。



图 2 现有内河船舶模拟器河流视景

2.1 基于流函数求解河流速度场

图 3 是典型的河道。求解河道内任意点 P 的流函数值可通过公式(10)。

$$\psi(P) = \frac{\sum_i W(d_i)\psi_i}{\sum_i W(d_i)} \tag{10}$$

W 为权重函数:

$$W(d) = \begin{cases} d^{-p} \cdot f(1 - d/s), & \text{if } 0 < d < s \\ 0, & \text{if } s < d \end{cases} \tag{11}$$

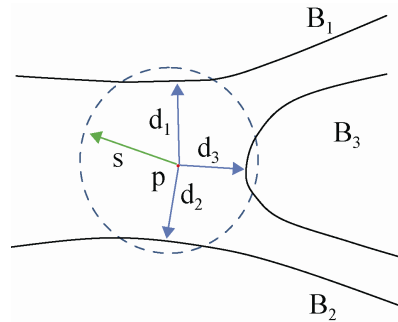


图 3 点 P 处流函数值与相应边界关系

f 为光滑函数, s 为点 P 搜索河道边界的半径, 为保证河道内任意处的流函数都被周围边界影响, 应适当调整 s 的大小, 使相应边界流函数数值能用于求解 P 点的流函数数值, 但 s 不宜过大, 否则会增加计算量。

在利用公式(10)获取河道内各点流函数后, 通过公式(9)就可求解河道内任一点的速度, 从而得到整个河道内各点河流速度。关于河道内存在固定障碍物的速度场求解, 可假定固定障碍物的边界为河道边界, 并利用上述公式进行其周围河道内河流速度场^[11]。

2.2 泊松盘分布算法

为保证河流表面绘制时纹理能够分布均匀, 本文采用泊松盘分布算法^[12]。泊松盘分布算法的定义为空间内任意两个采样点的距离不小于某一固定半径范围。因此可以保证屏幕空间内河流速度场能够分布良好, 且具有一定的采样性。图 4 为利用快速泊松盘采样算法采样后的部分河道表面。关于泊松盘采样算法的具体实施过程以及泊松盘在河流流动过程的删除和生成可参照文献[10]。

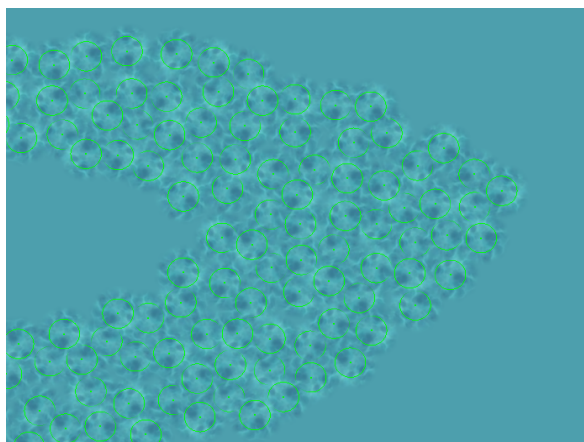


图 4 河道内泊松盘采样

2.3 建模结果

本文选取内河船舶模拟器中海图 50 000 进行算法实验。实验所用的 PC 为: Intel Core 2 Duo CPU, 2.8 GHz, 内存 3 G。显示为 NVIDIA GeForce GTX 570。图 5 为河道内整个河流速度场瞬时分布

情况, 其中曲线为河流的流线, 箭头为河流速度场方向。从图中可知: 整个流线沿着河道方向, 速度与流向相切, 符合流函数的性质。图 6 为河道内河流流体局部速度场分布情况, 当流场遇到障碍物时, 会自动计算障碍物周围的河流速度场。图 6 中河流速度场越靠近河道中央, 速度分布越密集且数值较大, 反之, 靠近河道边界处, 河流速度分布稀疏且数值较小。完全符合算法的预期与实际情况。从计算的速度场分布图来看, 本文提出的算法符合实际情况, 且河流速度能够沿着流动方向, 速度场平滑无明显跳跃, 能为河流表面可视化提供理想的速度场。

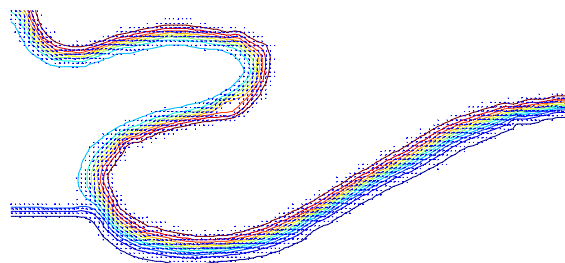


图 5 河道内整个速度场与流线效果

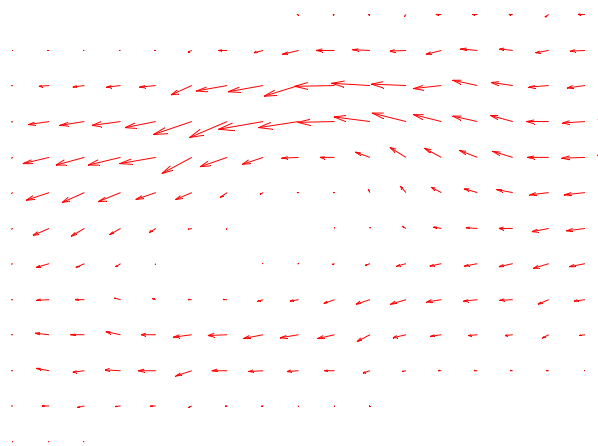


图 6 障碍物附近局部速度场效果

3 河流可视化结果与分析

在进行河流表面可视化时利用 GPU 的计算能力, 将绘制部分转移到 shader 中。图 7~9 为海图 50000 内河视景效果图, 视点由远及近, 实验所用的河道长度为 11.2 km。



图 7 整个河流视景可视化效果



图 8 近距离观察河流视景效果

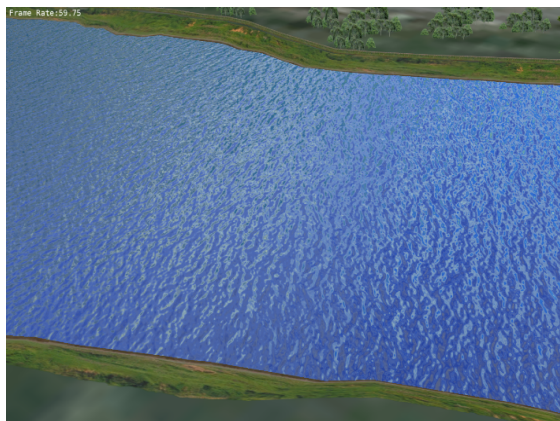


图 9 河流表面流动可视化效果

本文所采用的方法构建的河流速度场驱动河流表面纹理移动,从而达到河流流体流动效果。河流表面纹理移动过程中,基于泊松盘分布算法进行表面纹理的分布控制,使其既能达到河流表面纹理的良好分布效果,又能最大限度提升绘制速度。本文在进行河流表面绘制时,部分算法过程在 GPU

中实现,因此充分发挥了 GPU 的并行性,不仅能提升绘制速度,也能进一步提升河流视景的可视化效果。且本文的方法自适应性良好,不受河道地形区域和尺度限制,叫较快地构建任何区域、任何尺度的河道地形场景。从可视化的效果可以看出,河流表面流动符合计算的河流速度场趋势,具有明显的方向流动效果。与图 2 中现有内河船舶模拟器河流视景相比,利用本文方法可视化后的河流表面效果更真实,极大程度地提升河流视景的环境真实感。从绘制效率来看,河流场景复杂度相对较高,包含了地形、码头、周围建筑物以及光的反射和折射效果,整个河流视景绘制帧率在 60FPS 上下,远高于实时绘制的要求。

4 结论

为提升现有内河船舶模拟器河流视景的环境真实感,本文重点研究河流流体速度场的生成算法及表面绘制。基于流函数的概念求解河流流体速度场,并通过泊松盘采样算法控制速度场的分布,良好地控制效率与显示效果的平衡关系。河流表面可视化时,充分利用 GPU 的优势,提升算法的效率,完全满足内河船舶模拟器中大尺度河流绘制时实时性要求。

参考文献:

- [1] 翟小明, 尹勇, 神和龙, 等. 内河船舶模拟器中河流的绘制方法综述 [J]. 中国航海, 2014, 37(3): 41-45, 126.
- [2] 翟小明, 尹勇, 神和龙, 等. 内河船舶模拟器中基于过程法的河流仿真 [J]. 系统仿真学报, 2014, 26(9): 2189-2193.
- [3] Chen J X, Lobo N D V. Toward interactive-rate simulation of fluids with moving obstacles using Navier-Stokes equations [J]. Graphical Models and Image Processing (S1090-2481), 1995, 57(2): 107-116.
- [4] Layton A T, van de Panne M. A numerically efficient and stable algorithm for animating water waves [J]. The Visual Computer (S0178-2789), 2002, 18(1): 41-53.
- [5] Losasso F, Gibou F, Fedkiw R. Simulating water and smoke with an octree data structure [C]// ACM Transactions on Graphics (TOG). USA: ACM, 2004, 23(3): 457-462.

(下转第 2034 页)