**粒子模拟不可压缩流体运动**

摘 要

本毕业设计主要采用基于粒子系统的拉格朗日方法来模拟不可压缩流体的运动，并在已有的MPS（moving particle semi-implicit，隐式移动粒子）方法上做出一些改进。MPS方法是一种无网格方法，主要是对粒子的交互模型建立了多个微分算子，比如梯度、散度、拉普拉斯，将控制方程转化为运动粒子之间的相互作用。这里的控制方程指的是N-S（Navier-Stokes equations，[纳维-斯托克斯方程](http://www.baidu.com/link?url=IbQLrUMpgXUOg33B5w5PI8417yHRAQ0DBOz-OHOCGYkeKHOEb4PhE9P_0QBberONNCIxQUATUjzKaJcsZ5uETEV1vZSQ9GUygP8OKSJBy1VGo4azWyrJJ-U6kJX3UwJQdv23qMpcQt2EvVO6Ik1InN3SZVBLhRznuZ5VKPcFOGyjLnJ_8t0AlgAFGf8dlvKT" \t "https://www.baidu.com/_blank)），一个描述粘性不可压缩流体动量守恒的运动方程。

对MPS方法的改进主要有两个方面，首先是对表面粒子检测的改进，将原有的密度判断改为压力判断，这对于求解压力泊松方程需要的边界条件提供一个更加精确的值。其次便是对压力梯度模型的改进。

最后便是对拥有了运动数据的粒子进行建模和渲染，得到可视的结果，建模可采用简单的billboard或者metaball，渲染则采取最简单的phong光照模型。

关键词：[纳维-斯托克斯方程](http://www.baidu.com/link?url=IbQLrUMpgXUOg33B5w5PI8417yHRAQ0DBOz-OHOCGYkeKHOEb4PhE9P_0QBberONNCIxQUATUjzKaJcsZ5uETEV1vZSQ9GUygP8OKSJBy1VGo4azWyrJJ-U6kJX3UwJQdv23qMpcQt2EvVO6Ik1InN3SZVBLhRznuZ5VKPcFOGyjLnJ_8t0AlgAFGf8dlvKT" \t "https://www.baidu.com/_blank)；梯度；散度；拉普拉斯算子；偏微分非线性方程；MPS方法

**ABSTRACT**

This paper mainly adopts moving particle semi-implicit method which based on [lagrange](G:/tools/Dict/8.9.2.0/resultui/html/index.html#/javascript:;) [method](G:/tools/Dict/8.9.2.0/resultui/html/index.html#/javascript:;) is used to simulate the incompressible fluid.

**Key words：**Navier-Stokes equations；gradient；divergence；laplace；partial differential equation；MPS method

目录

[1 引言 1](#_Toc25055)

[2 数值方法 2](#_Toc32609)

[2.1 原始MPS方法 2](#_Toc8606)

# 1 引言

在对现实世界的模拟中，流体模拟是最重要也最常用的领域之一。流体动力学是一个复杂的领域，流体模拟也以计算量巨大而著称，但是一旦它出了效果就能提供巨大的产品价值以及叹为观止的视觉效果。现在流体的模拟已经在人们的生活中有了广泛的应用，比如工程应用领域、电影领域、游戏领域等。

流体模拟早在20世纪50和60年代就被积极地用数学进行建模，但是到了计算机图形学领域，因为计算能力的限制以及大多数真实世界流体力学的计算过于复杂导致无法直接应用，所以流体的模拟都是采用各种方法去近似表达。在早期，流体仿真的主要工作在于光线与水体的交互进行建模，通过反射、折射、散射等细节来提高真实感，而对于水体的波动则采用非物理的方程去近似，通常只能进行二维环境的建模。为了得到更好的效果，研究者们便开始对N-S方程近似求解，这个方程描述了粘性不可压缩流体的动量守恒，反映了粘性流体流动的基本力学规律，是一个偏微分的非线性方程。

随着大量基于N-S方程的相关算法诞生，主要可以分为两大类，第一种便是Surface Water表面水，也就是基于网格的欧拉法，它将流体占据的空间进行网格划分研究的最小单元是每个网格上的固定点，流体的速度、压强、密度等参数定义于固定点上随时间变化，这些变化便体现了流体的整体运动。这种方法在远岸水或者相对平静的水面可以取得很好的效果，但对于近岸水这种容易产生波浪以及水面翻转的时候会产生大量的表面变换，表面分离和表面重组，这会使得计算量大幅度提升，目前已有的研究有arbitrary Lagrangian Eulerian 方法，boundary-fitted coordinate 方法等。然而因为网格的特性，面对猛烈的表面变化会导致网格失真，处理对流的时候将会很难确定分离和重组的表面属于哪一部分。

第二大类便是本次选题要采用的基于粒子系统的拉格朗日法进行模拟，这种方法将流体看作是一系列的微团组成，研究的最小单位便是这些微团也就是粒子系统中的每一个粒子。每个微团有时刻变化的速度、压强、密度等参数，所有微团的变化集合组成了流体的整体运动。与网格模型不同的是粒子之间没有拓扑规则去限制，核心问题只是处理每个粒子的不同物理运动，所以它更适合去表达运动猛烈的水。目前已有的应用广泛的有smoothed particle hydrodynamic方法和MPS方法。

# 2 数值方法

## 2.1 原始MPS方法

在原始的MPS方法中，对于不可压缩粘性流体采用的控制方程是一个有连续性的方程和N-S方程

（1）