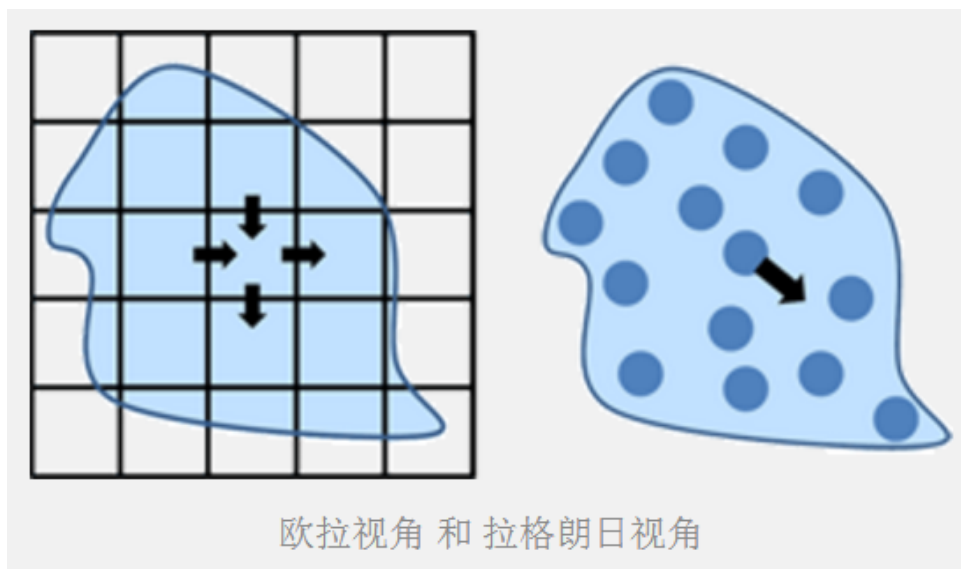


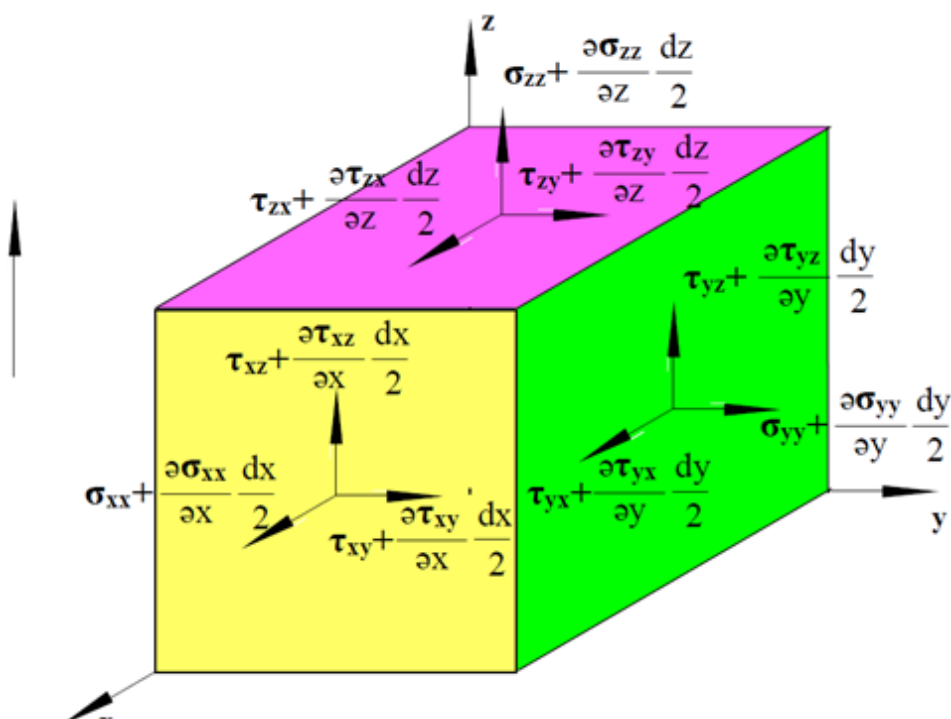
# 水模拟

烟雾、海浪、水滴...，这些司空见怪的自然现象其实有着非常复杂的数学规律，对于流体的研究，有两种完全不同的视角，分别是欧拉视角和拉格朗日视角。欧拉视角的坐标系是固定的，如同站在河边观察河水的流动一样，用这种视角分析流体需要建立网格单元，还会涉及到有限元等复杂的工程方法，一般用在离线的应用中。而拉格朗日视角则将流体视为流动的单元，例如将一片羽毛放入风中，那么羽毛的轨迹可以帮我们指示空气的流动规律。



## N-S方程及SPH

这类算法是典型的拉格朗日视角，它的基本原理就是通过粒子模拟流体的运动规律，然后再转换成网格进行流体渲染。



**N-S方程(Navier-Stokes)** 主要描述的就是这么几个力(推导可参考<sup>1</sup>): 1.作用在单元体上的力 2.质量力: 重力, 惯性力 3.表面力: 压力, 切力

**SPH(Smoothed particle hydrodynamics)** 就是对上述的N-S方程进行了简化实践, 用了一个“光滑核”函数算相互作用力。

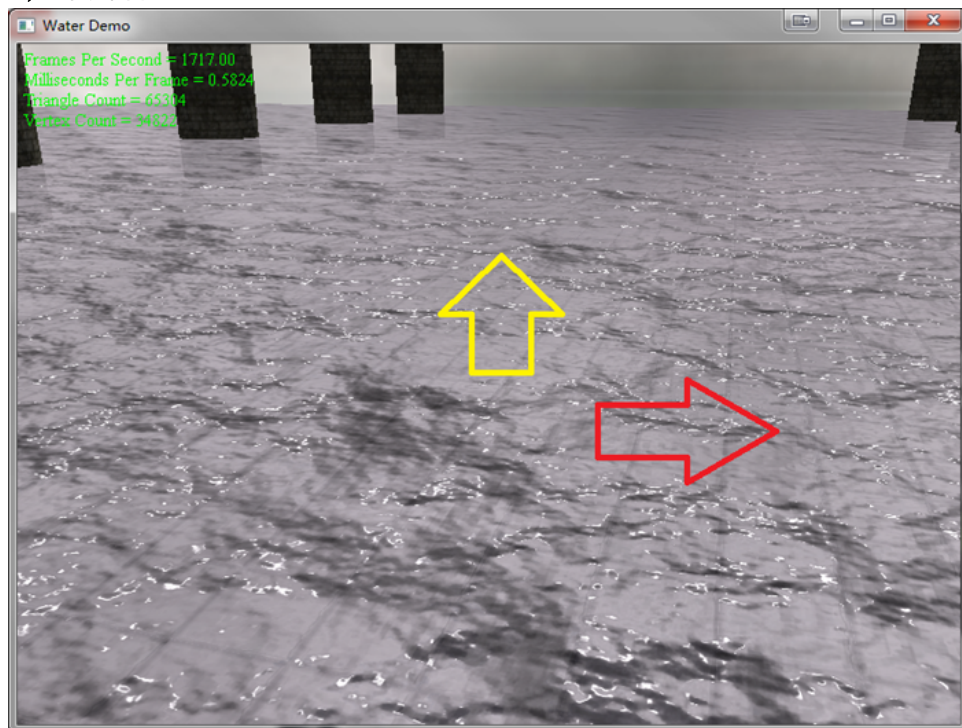
和其他流体力学中的数学方法类似, SPH算法同样涉及到“光滑核”的概念, 可以这样理解这个概念, 粒子的属性都会“扩散”到周围, 并且随着距离的增加影响逐渐变小, 这种随着距离而衰减的函数被称为“光滑核”函数, 最大影响半径为“光滑核半径”

下面是我之前转载在GAD的(没错, 我的另一个马甲号), 原作者是搜狐畅游的CTO, 原站已废:  
SPH算法简介(一): 数学基础 SPH算法简介(二): 粒子受力分析 SPH算法简介(三): 光滑核函数 SPH算法简介(四): Hello, SPH SPH算法简介(五): 表面张力的计算

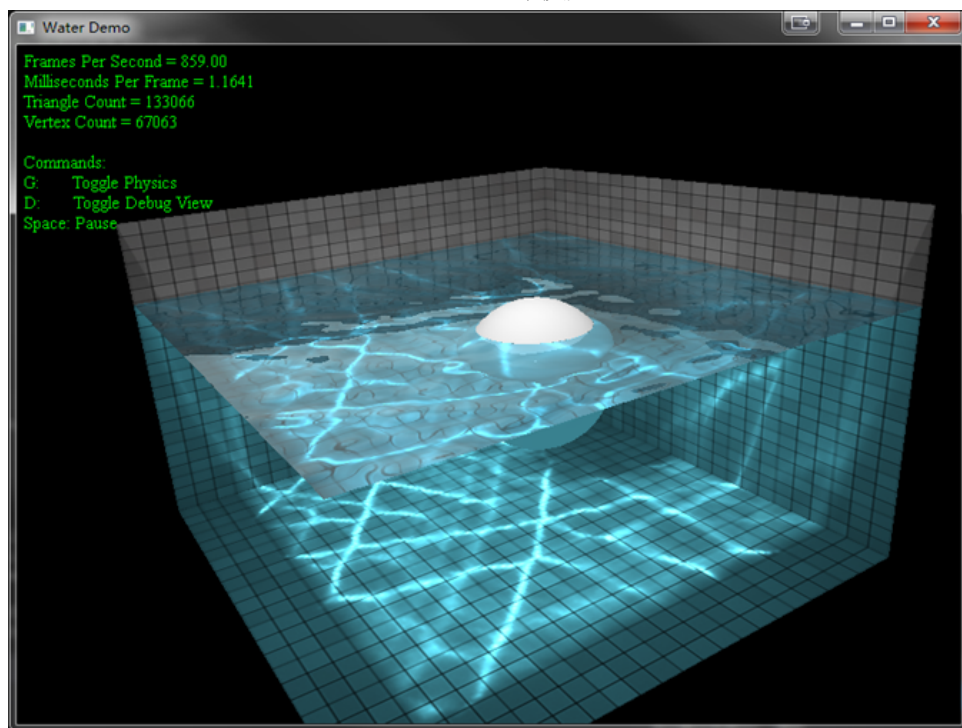
粒子模拟还可以参考liquidfun这个项目<sup>2</sup>。 这里有个视频<sup>3</sup>, 相当惊艳。

## 欧拉法视角

常用的UV动画了, 不解释了:



这个是我基于纹理实现的一个波动效果, 一张displacement搞定: displacement这类方法的好处: 比较容易实现受外界影响的波动效果

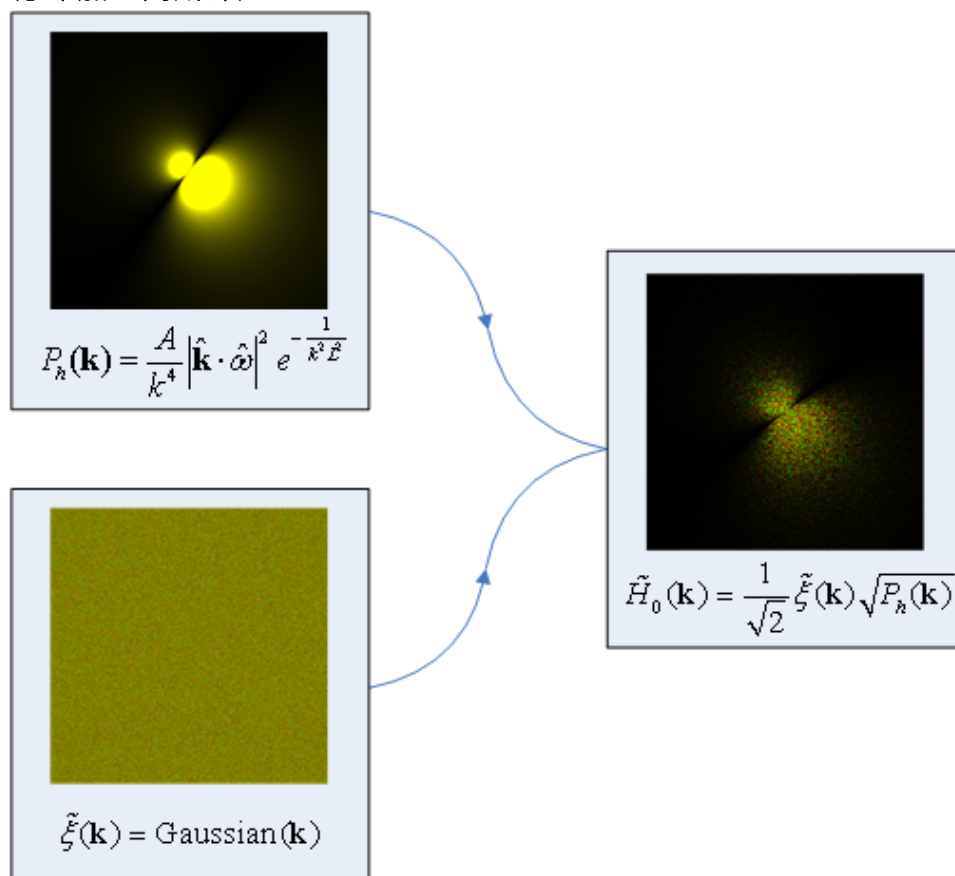


## FFT

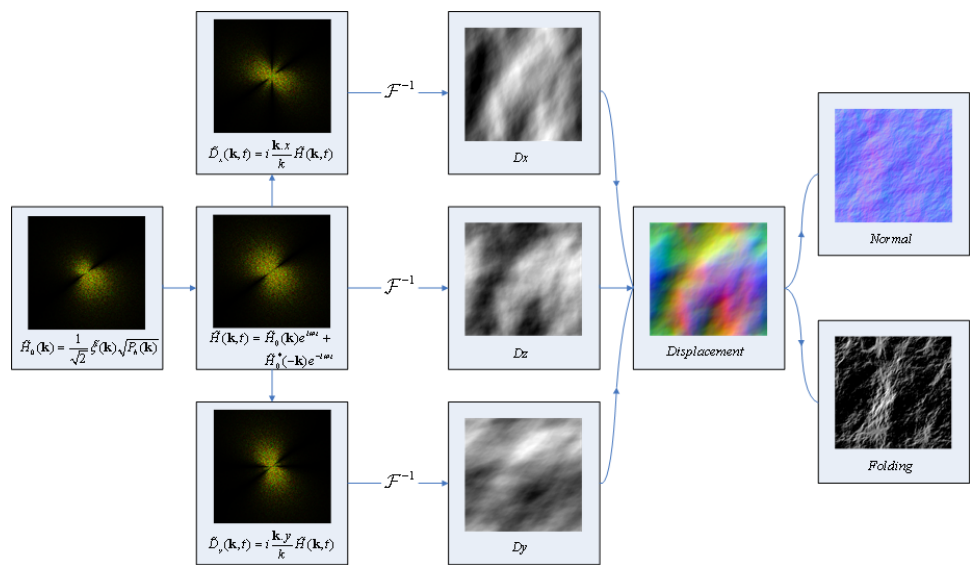
首先是作者思路，或者说论文套路，为什么这么做，著名的[choppy waves]<sup>4</sup>：水波(重力波) -> 哈密顿系统 -> 稳定系统 -> 有周期解 -> 莫非三角函数？ -> 拿业内标准FFT处理处理

算法核心点在于频谱的处理，公式这里就不推了，偏经验模型<sup>5</sup>。

首先用一个经验分布加上高斯噪声：

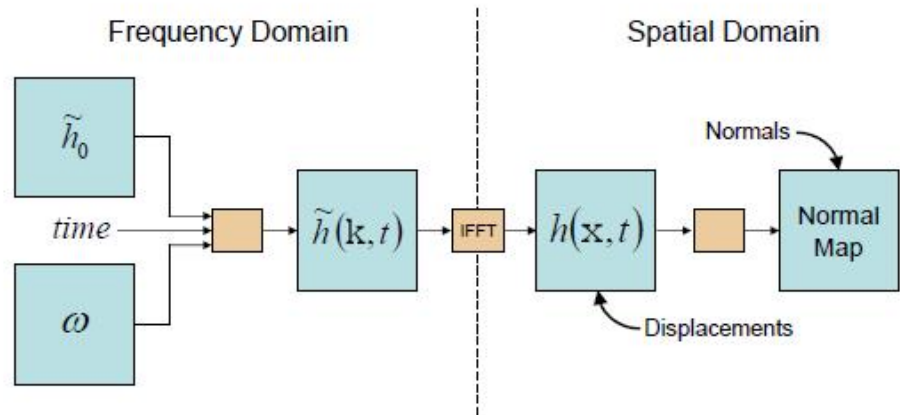


然后和时间项进行卷积，随时间旋转，来几次IFFT，得到displacement：



FFT实现

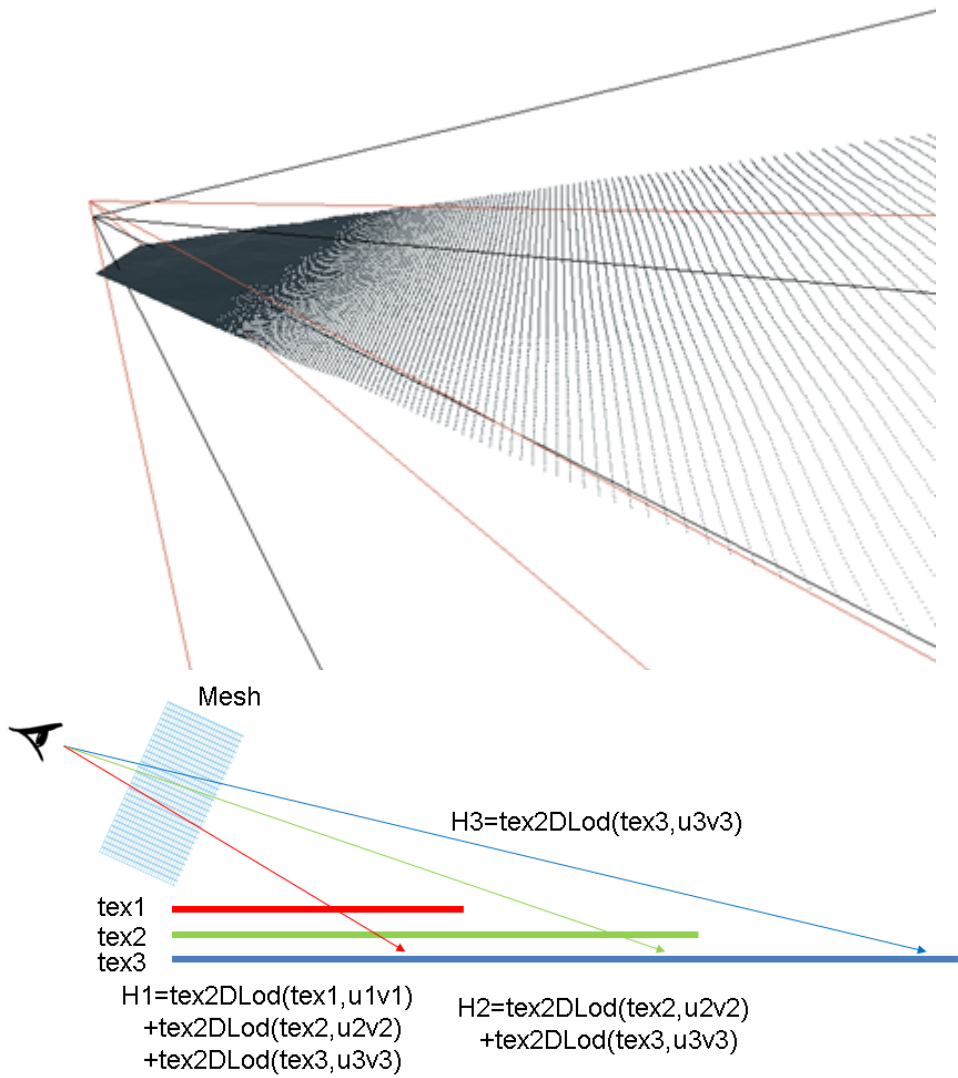
参考这篇<sup>6</sup>，相当完美，作者也给出了Demo<sup>7</sup>



主要步骤就是：生成频谱->加噪声->频谱旋转->IFFT

LOD

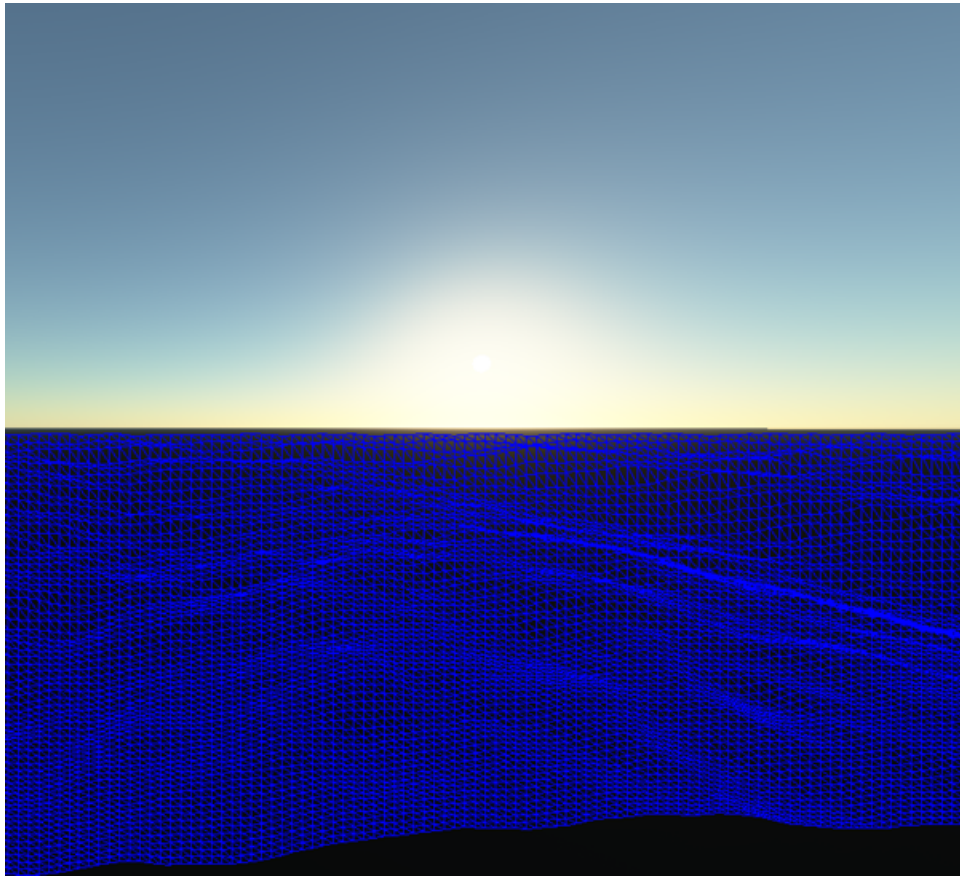
由于写Demo可以忽略游戏框架，方便起见将置换贴图做到屏幕空间：



最终结果

只做了mesh部分 :)





## 其他

水波作用力<sup>8</sup>:  $q = \frac{\rho u^2}{2}$

$q$ ; = dynamic pressure in pascals,  $\rho$ ; = fluid density in kg/m<sup>3</sup> (e.g. density of water),  $u$ ; = flow speed in m/s.

除此之外还有：泡沫，浪花，光照，物理，水压力及拖尾，，，以后再说吧：)

---

1. N-S方程推导 ↩

2. liquidfun ↩

3. Impinging Jet Dynamics ↩

4. “Choppy wave” model for nonlinear gravity waves ↩

5. Jerry Tessendorf — Simulating Ocean Water ↩

6. Real-time Realistic Ocean Lighting using Seamless Transitions from Geometry to BRDF ↩

7. [Eric.Bruneton ↩](#)

8. [Dynamic\\_pressure ↩](#)

© Leo Zeng (2uv.xyz)

© 2021 Leo. [粤ICP备19014316号-1](#)