1 介绍

在计算机图形学中，很多自然现象的重现仍然是未解决的难题。特别地，对海洋表面的现实模拟仍然引起人们极大的兴趣。许多领域都依赖它：虚拟现实、电影、游戏、航行（Cieutat等人，2001）、海洋学模拟等等。

虽然产生了美丽的图画和动画，例如波浪折射（Gonzato和le Saec，2000年）（Gamito和Musgrave，2002年），但仍然需要具有逼真的波浪特征的海洋场景。基于流体力学方程的模型（Enright等，2002）（Mihalef等，2004）能给出更真实的结果，但不足以用于大型海域。

二十年来，计算机图形学中波浪表示的程序模型已经得到开发和改进（Iglesias，2004）。 Gerstner参数方程式及其傅里叶变换重写是海洋学界众所周知的。基于线性波理论，它们可以表示自然波形并在微小尺寸以上的深水中移动。由于它们没有描述任何净质量运输，因此仅限于不间断的海浪和无剧烈风暴的场景。

浪高测量数据可以模拟给定的海洋状态。在更一般的情况下，通过使用参数波谱来考虑海洋表面统计信息。对于给定的风向参数，波能的分布可以作为频率的函数。但是，现有方法均无法正确再现这些光谱描述的海洋状态。

在本文中，我们解释了波谱与海洋表面能之间的关系，并详细介绍了一种从中推论出波高的方法。我们提出了一种适用于参数和傅立叶变换模型的最佳频谱采样解决方案。这种方法可以精确模拟海洋表面。用户可以根据提供的天气条件轻松制作逼真的波浪动画。

本文的结构如下。第2节总结了计算机图形学的海洋模型。在第3节中，我们将详细介绍我们的方法，并给出经典的参数频谱示例。我们将在第4节中处理波动统计信息。在第5节中讨论结果，并在第6节中得出结论。

2 海洋模型

2.1 定义和关系

表面高度, 指的是在给定位置和时间，距离海洋表面平均高度的垂直距离. 波幅——波浪的最大表面高度. 波高是波谷与相邻波峰之间的垂直距离. 对于单波, . 波长是两个连续波峰之间的距离. 周期是连续波峰通过固定点之间的时间间隔.

频率是1秒内通过固定点的波峰数。波速或相位速度是波峰或波谷的速度. 它也可以表示为，其中是角速度或角频率，而是波数. 水深d是地面与平均水位之间的垂直距离.

深水的概念与波浪有关，并且与水深与波长的比率有关. 这来自于先验的表达

其中是标准重力加速度. 当时; 当时. 因此当时可以认为是深水，当时认为是浅水. 这导致上述术语的表达有所简化（请参阅表1）.

表1：海洋学术语之间的关系. 下标表示深水项

|  |  |
| --- | --- |
| 过渡深度: | 深水: |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

2.2 参数方程

海浪模拟的基本模型来自（Airy，1845）的线性（或小振幅）波理论，该理论广泛用于海洋工程中，而计算机图形学则来自（Peachey，1986）。它描述了具有正弦曲线形状的波浪，对应于平静的天气条件. 考虑点位于一维平面上并处于静止状态, 波数为、振幅为的波浪在时间处的高度为

其中角速度.

当波浪的陡度增加时，其波峰会变得更锐利，波谷会更平坦. 因此，（Fournier和Reeves，1986）使用了基于次摆线的更现实的描述，这种方法由（von Gerstner，1804）和（Rankine，1863）提出. 表面方程现在是

其中是静止时的表面高度(一般为0)，注意这里的重点是和的相之间有的差值. 拉格朗日模型描述了粒子在其静止位置周围的垂直平面中的轨迹. 对多个波求和并将等式3扩展到2D曲面可得出