

Оглавление

Введение	2
1 Аналитическая часть	3
1.1 Волновой процесс	3
1.2 Методы визуализации волн	4
1.2.1 Процедурные методы	4
1.2.2 Методы на основе частиц	5
1.2.3 Методы поля высот	7
1.3 Модели волны и предмета	8
1.3.1 Модель волны	8
1.3.2 Модель предмета	8
1.4 Существующие программные обеспечения	8
1.5 Анализ алгоритмов удаления невидимых линий и поверхностей	8
1.6 Анализ методов закрашивания	8
1.7 Модель освещения	8
2 Конструкторская часть	10
3 Технологическая часть	11
4 Исследовательская часть	12
Заключение	13
Литература	14

Введение

Одними из областей применения компьютерной графики являются фильмы и компьютерные игры. В данных отраслях компьютерная графика решает задачи представления объектов и процессов реальной жизни. Способ визуализации предметов и действий оценивают по таким характеристикам, как реалистичность результата и время выполнения. Для повышения указанных параметров создаются новые алгоритмы и методы моделирования.

Представление жидкости - одна из наиболее распространенных моделей, которую реализуют в дизайне компьютерных игр и кинематографических спецэффектах: моделирование водоёмов, процессов смешивания и движения водных потоков [1]. Важным физическим явлением для создания водоемов является образование волн на поверхности воды [2]. Для получения более точного изображения визуализируют круговые волны, наложение волн, их прозрачность.

Поверхность воды рассматривают в системе с окружающим миром: при контакте с предметами и препятствиями. Особую сложность для моделирования представляют волны, образованные при движении объектов по воде [3].

Цель работы - разработать программное обеспечение, которое предоставляет возможность визуализации линейных волн, образованных при взаимодействии поверхности воды с движущимся твердым телом.

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие задачи:

- проанализировать методы и алгоритмы, моделирующие волновую поверхность и предмет на воде;
- выбрать алгоритмы и структуры данных для визуализации описанной выше системы;
- реализовать выбранные алгоритмы моделирования;
- провести сравнение физических характеристик разработанной модели и реальных волн, взаимодействующих с объектом.

1 Аналитическая часть

1.1 Волновой процесс

При каком-либо внешнем воздействии на поверхность воды (ветер, движение корабля, падение камня) частицы жидкости опускаются вниз, и водная поверхность становится вогнутой. Сила тяжести и/или сила поверхностного натяжения стремятся вернуть частицы в состояние равновесия. При этом частицы воды переходят это положение, и поверхность воды становится выпуклой. Движение передается от одних частиц к другим. Так на водной поверхности появляются волны. Волновой процесс показан на рисунке 1.1.

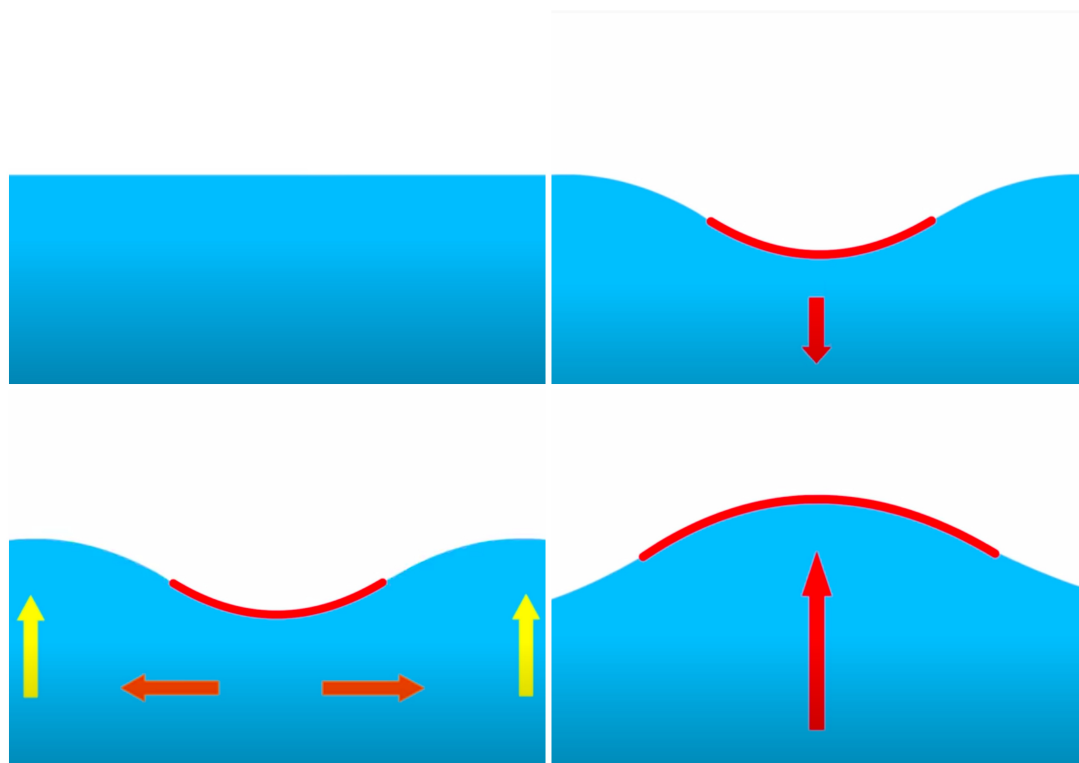


Рис. 1.1: Процесс образования волны.

Если восстановить равновесие стремится сила тяжести, то волны называются гравитационными, если сила поверхностного натяжения - капиллярными. Когда силы сопоставимы, волны называют капиллярно-гравитационными. Механизм образования волн подчиняется закону дисперсии. Дисперсия волн - это зависимость скорости распространения волн от их частоты. Именно дисперсия создает сложную картину волн, образованных телом в воде.

В зависимости от требований к результату моделирования выбирается определенный метод визуализации. Так как в центре работы диспергирующие волны, для выполнения поставленных задач необходим такой метод моделирования, при котором выполняется дисперсионное соотношение, т. е. корректно обрабатывается взаимодействие волны и объекта.

1.2 Методы визуализации волн

Существует три группы методов моделирования волн:

- процедурные;
- методы на основе частиц;
- методы поля высот.

1.2.1 Процедурные методы

В процедурных методах для представления движения волн используются периодические функции. В ранних работах в качестве такой функции выступала циклоида [4], далее стали использовать синусоиду [5]. Наложение периодических функций, изменяющихся во времени, создает волновую поверхность. Точка на такой поверхности описывает замкнутую круговую орбиту. Для создания различных волновых эффектов изменяют параметры уравнений орбиты, например, радиус, фазовый угол.

Процедурные методы чаще всего используют при визуализации масштабных волн океана. Преимуществом процедурного моделирования является возможность точно контролировать движение волнового спектра. Недостаток данных методов - сложность получения правильного взаимодействия волн с погруженными телами и границами.

Выделяют следующие процедурные методы:

- метод, основанный на модели Герстнера. Данный метод основан на решении уравнения Эйлера для гравитационных волн. Каждая частица на водной поверхности описывает окружность вокруг положения покоя.

Тогда поверхность воды - кривая, которую описывает частица, находящаяся на расстоянии от центра окружности, которая катится по направляющей, как показано на рисунке 1.2. Эту кривую называют трохоидой. Используя лагранжевую систему отсчета находят все необходимые для визуализации параметры волн [4];

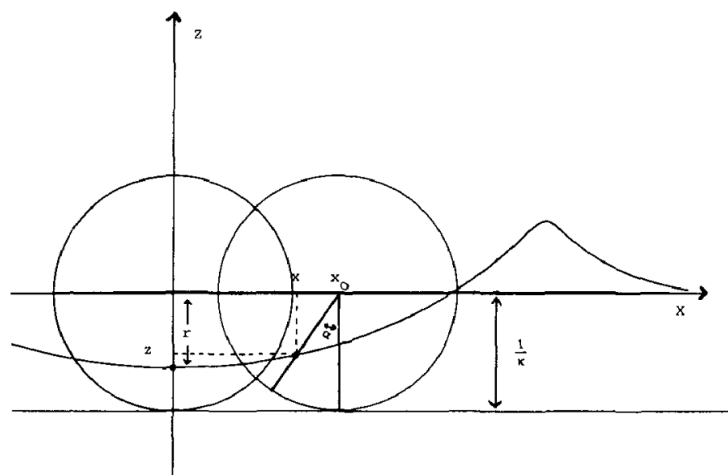


Рис. 1.2: Поверхность воды представлена трохоидой.

- спектральные подходы. В данных подходах поверхность океана - поле высот, которое имеет спектр, соответствующий значениям реальной волновой поверхности. Генерируются синусоидальные волны, которые приближенно соответствуют реальным волнам. Если рассматривать функцию представления волны в частотной области, то можно добиться получения трохоид [5][6].

1.2.2 Методы на основе частиц

В следующих методах моделирования волновой поверхности вода представляется как система частиц. Частицы движутся в соответствии с законами механики и обладают физическими величинами, т. е. задана функция. В определенный момент времени при помощи интерполяции можно получить значение этой функции в произвольной точке.

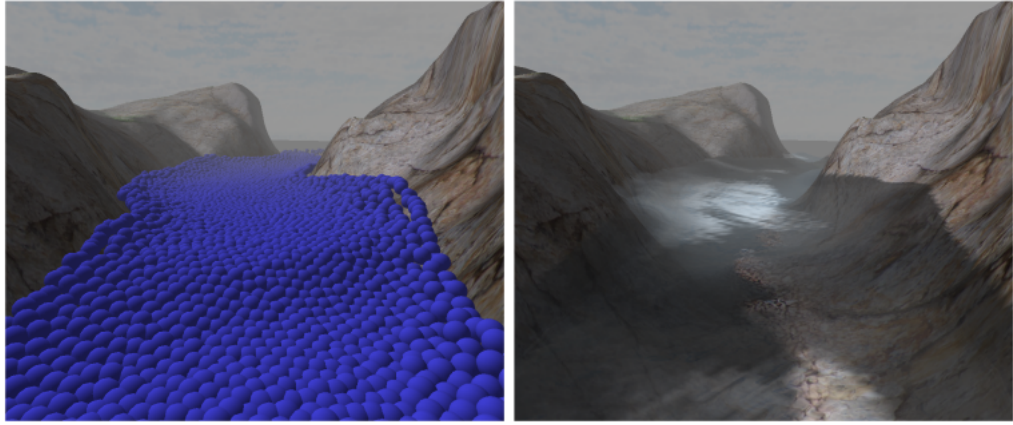


Рис. 1.3: Поверхность воды представляется частицами (левый рисунок) и отображается в реальном времени (правый рисунок).

Для создания реалистичного изображения необходимо большое количество частиц, поэтому данные методы используются при визуализации небольшого количества воды с неизвестной границей.

Наиболее распространённые методы на основе частиц:

- гидродинамика сглаженных частиц (SPH). Метод SPH состоит из двух шагов: интерполяции объемов частиц в произвольных положениях и аппроксимации пространственных производных. При интерполяции используется сглаживающая функция, называемая ядром, которая является кубическим сплайном. На результат интерполяции оказывают влияние только соседние точки, поэтому необходим поиск только соседних частиц. Так как частицы свободно перемещаются и перемешиваются в пространстве, встает необходимость эффективного решения задачи поиска соседних частиц. Тогда пространство разделяют на ячейки и суммируют по соседним ячейкам. Для большого объема жидкости данный метод создает нереалистичную поверхность. [8];
- полунеявный метод движущихся частиц (MPS). Полунеявный метод движущихся частиц основывается на методе расчета движения жидкости Лагранжа. Уравнения движения жидкости дискретизируются с использованием движущихся частиц и их взаимодействий. Далее в методе MPS решается уравнение Навье-Стокса. При использовании данного метода существует возможность добавлять и удалять расчетные

точки во время моделирования, поэтому метод является адаптивным. Одной из главных проблем данного метода является создание точных границ при контакте с жидкости с твердым предметом или другой жидкостью [9].

1.2.3 Методы поля высот

В случаях, когда визуализировать необходимо только поверхность воды, а не весь объем водоема, рассматривают волновое уравнение. Волновая поверхность представляется в виде двумерной функции - поля высот [7].

Такое упрощение обладает важным преимуществом - снижением вычислительных затрат, что означает повышение скорости моделирования. Кроме того методы поля высот гибко обрабатывают препятствия. Но при такой модели в каждой точке поверхности известно только одно значение высоты, как это показано на рисунке 1.4. Это означает одинаковую скорость распространения всех волн, так, невозможно создать обрушивающиеся волны.

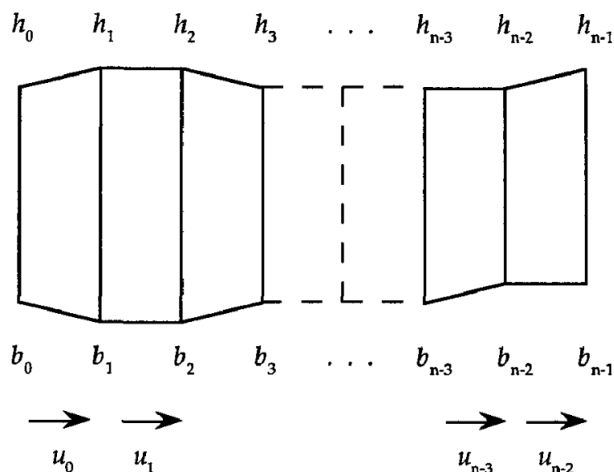


Рис. 1.4: Двумерное представление поверхности воды полями высот h с горизонтальной скоростью u и дна значениями b .

Комбинация методов полей высот и методов, основанных на частицах, позволяет обходить недостатки отдельных и создавать различные эффекты [10][11].

Так как процедурные методы и методы на основе частиц имеют сложности при работе с твердыми телами, а методы поля высот корректно обрабаты-

ют взаимодействие с объектом, моделирование волн будет реализовано при помощи метода поля высот.

1.3 Модели волны и предмета

1.3.1 Модель волны

1.3.2 Модель предмета

В центре рассматриваемой системы движения диспергирующих волн, которые образованы в результате контакта поверхности воды с предметом. Для правильной обработки отражения волн от твердых тел важны параметры только той части предмета, которая касается воды. В связи с этим нет необходимости рассматривать объект детально. Поэтому для его представления требуется такой параметр, как проекция на поверхность воды.

1.4 Существующие программные обеспечения

1.5 Анализ алгоритмов удаления невидимых линий и поверхностей

Сравню алгоритмы удаления невидимых линий и поверхностей по критериям. В выводе подраздела выберу лучший.

1.6 Анализ методов закрашивания

Сравню методы закрашивания по параметрам. В выводе подраздела выберу победителя.

1.7 Модель освещения

Опишу модели освещения. Выберу подходящую.

В конце подытожу все.

2 Конструкторская часть

Подробно рассмотрю выбранный алгоритм. Опишу структуры данных.

3 Технологическая часть

Опишу детали реализации и тестирования.

4 Исследовательская часть

Приведу примеры работы. Сравню физические характеристики разработанной модели и реальных волн, взаимодействующих с объектом.

Заключение

Литература

- [1] Efficient Simulation of Large Bodies of Water by Coupling Two and Three Dimensional Techniques [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://graphics.pixar.com/library/TwoDThreeDWaterSim/paper.pdf> (дата обращения 17.09.2021).
- [2] A Survey of Ocean Simulation and Rendering Techniques in Computer Graphics [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00587242> (дата обращения 17.09.2021).
- [3] Dispersion Kernels for Water Wave Simulation [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://graphics.pixar.com/library/DispersionKernels/paper.pdf> (дата обращения: 12.09.2021).
- [4] A Simple Model of Ocean Waves [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.iro.umontreal.ca/poulin/fournier/papers/p75-fournier.pdf> (дата обращения: 23.09.2021).
- [5] A Survey of Ocean Simulation and Rendering Techniques in Computer Graphics [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.math.tecnico.ulisboa.pt/jnatar/ficcao/ocean.pdf> (дата обращения: 23.09.2021).
- [6] Interactive Water Surfaces [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://people.cs.clemson.edu/jtessen/reports/papers_files/Interactive_Water_Surfaces.pdf (дата обращения: 23.09.2021).
- [7] Rapid, Stable Fluid Dynamics for Computer Graphics [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/220721601_Stable_Fluid_Dynamics_for_Computer_Graphics (дата обращения: 23.09.2021).
- [8] SPH Fluids in Computer Graphics [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/286443419_SPH_Fluids_in_Computer_Graphics_Eurographics_State-of-the-art_report (дата обращения: 23.09.2021).

- [9] Particle-Based Simulation of Fluids [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/2924177_Particle-Based_Simulation_of_Fluids (дата обращения: 23.09.2021).
- [10] SPH Based Shallow Water Simulation [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://matthias-research.github.io/pages/publications/SPHShallow.pdf> (дата обращения: 23.09.2021).
- [11] Real-time Simulation of Large Bodies of Water with Small Scale Details [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://matthias-research.github.io/pages/publications/hfFluid.pdf> (дата обращения: 23.09.2021).