



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ «Информатика и системы управления»

КАФЕДРА «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»

РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

НА ТЕМУ:

*«Разработка программного обеспечения для
визуализации волн при движении твердого тела»*

Студент ИУ7-53Б
(Группа)

(Подпись, дата)

Р. Р. Хамзина
(И.О.Фамилия)

Руководитель

(Подпись, дата)

А. А. Оленев
(И.О.Фамилия)

2021 г.

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)**

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой ИУ7
(Индекс)
И.В.Рудаков
(И.О.Фамилия)
« ____ » _____ 20 ____ г.

**З А Д А Н И Е
на выполнение курсовой работы**

по дисциплине Компьютерная графика
Студент группы ИУ7-53Б

Хамзина Регина Ренатовна
(Фамилия, имя, отчество)

Тема курсовой работы Разработка программного обеспечения для визуализации волн при движении твердого тела

Направленность КР (учебная, исследовательская, практическая, производственная, др.)

учебная

Источник тематики (кафедра, предприятие, НИР) кафедра
График выполнения работы: 25% к 4 нед., 50% к 7 нед., 75% к 11 нед., 100% к 14 нед.

Задание: разработать программное обеспечение, которое должно предоставлять возможность визуализации волн, образованных при взаимодействии поверхности воды с движущимся твёрдым телом. Реализовать интерфейс, который должен позволять пользователю загружать модель предмета и указывать скорость его движения, изменять указанную скорость в интерактивном режиме, а также управлять положением камеры (вращение, перемещение и масштабирование). Моделью должно быть тело, образованное геометрическими объектами из следующего набора: сфера, параллелепипед, призма трехгранная.

Оформление курсовой работы:

Расчетно-пояснительная записка на 25-30 листах формата А4.

Расчетно-пояснительная записка должна содержать постановку задачи, введение, аналитическую часть, конструкторскую часть, технологическую часть, экспериментально-исследовательский раздел, заключение, список литературы, приложения.

Перечень графического (иллюстративного) материала (чертежи, плакаты, слайды и т.п.)

На защиту проекта должна быть предоставлена презентация, состоящая из 10-15 слайдов. На слайдах должны быть отражены: постановка задачи, использованные методы и алгоритмы, расчетные соотношения, структура комплекса программ, интерфейс, результаты проведенных исследований.

Дата выдачи задания « ____ » _____ 20 ____ г.

Руководитель курсовой работы

(Подпись, дата)

А. А. Оленев

(И.О.Фамилия)

Студент

(Подпись, дата)

Р. Р. Хамзина

(И.О.Фамилия)

Содержание

Введение	4
1 Аналитическая часть	5
1.1 Волновой процесс	5
1.2 Модели предмета и волны	6
1.2.1 Модель предмета	6
1.2.2 Модель волны	6
1.3 Методы визуализации волн	7
1.3.1 Процедурные методы	8
1.3.2 Методы на основе частиц	9
1.3.3 Метод поля высот	11
1.4 Существующие программные обеспечения	12

Введение

Компьютерная графика применяется в киноиндустрии и разработке компьютерных игр. Методами компьютерной графики решаются задачи представления объектов и процессов реальной жизни в виртуальной реальности. Способ визуализации предметов и действий оценивают при помощи характеристик — реалистичности результата и скорости выполнения. Для повышения указанных параметров создаются новые алгоритмы и методы моделирования.

Представление жидкости — модель, которую реализуют в дизайне компьютерных игр и кинематографических спецэффектах: моделирование водоёмов, процессов смешивания и движения водных потоков. Важным физическим явлением для создания реалистичного водоема является образование волн на поверхности воды. Для получения более точного изображения визуализируют круговые волны, наложение волн, их прозрачность.

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

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

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие задачи:

- изучить волновой процесс;
- формально описать структуру системы, состоящей из поверхности воды и источника волн;
- проанализировать методы и алгоритмы, моделирующие волновой процесс;
- выбрать алгоритм и структуры данных для визуализации описанной выше системы;
- реализовать выбранный алгоритм моделирования;
- провести эксперимент.

1 Аналитическая часть

В данном разделе рассматривается система, в которой происходит волновой процесс, состоящая из поверхности воды и предмета. Изучаются и сравниваются методы и алгоритмы, визуализирующие волны. В результате анализа определяется алгоритм, эффективно решающий задачу моделирования волн, образованных движением объекта.

1.1 Волновой процесс

Процесс образования волны при условии, что частицы воды находятся в состоянии равновесия, состоит из следующих этапов:

- на поверхность воды оказывается внешнее воздействие (ветер, движение корабля, падение камня), частицы жидкости опускаются вниз, водная поверхность становится вогнутой;
- сила тяжести или сила поверхностного натяжения стремятся вернуть частицы в состояние равновесия;
- частицы воды переходят положения равновесия, и поверхность воды становится выпуклой.

Движение передается от одних частиц к другим. Этапы волнового процесса показаны на рисунке 1.1.

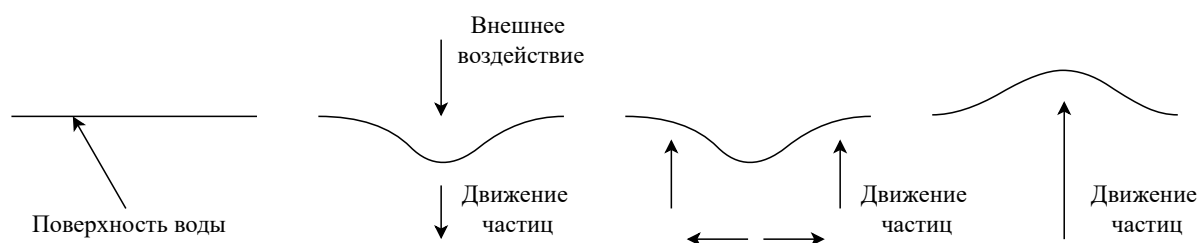


Рисунок 1.1 – Процесс образования волны

Если восстановить равновесие стремится сила тяжести, то волны называются гравитационными, если сила поверхностного натяжения — капилляр-

ными. Волны называют капиллярно-гравитационными, когда силы сопоставимы.

1.2 Модели предмета и волны

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.

1.2.1 Модель предмета

Внешним воздействием в моделируемой системе является движение предмета. Для правильной обработки появления волн от твердого тела важны параметры только той части предмета, которая касается воды. В связи с этим нет необходимости рассматривать объект детально.

1.2.2 Модель волны

Геометрически волна состоит из следующих элементов:

- гребень — множество точек волны с максимальным положительным отклонением от состояния равновесия;
- подошва — множество точек волны с наибольшим отрицательным отклонением от состояния равновесия.

Кроме того волна обладает следующими параметрами:

- высота — вертикальное расстояние от подошвы до гребня;
- длина — горизонтальное расстояние от гребня до гребня;
- период — временной интервал между прибытием последовательных гребней;

- скорость распространения (фазовая скорость).

Модель волны показана на рисунке 1.2.

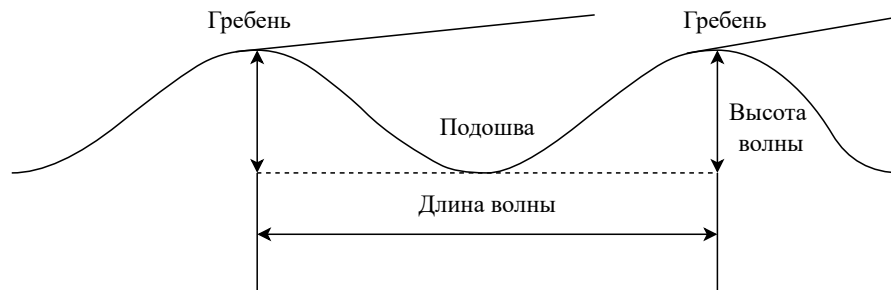


Рисунок 1.2 – Геометрическое строение волны

По математическому описанию волны бывают линейные и нелинейные. Линейные волны обладают небольшой амплитудой, и их свойства описываются волновым уравнением для идеальной субстанции. Нелинейные волны обладают большой амплитудой, что изменяет математическую модель. Дисперсионные волны обладают линейностью.

1.3

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

1.4 Методы визуализации волн

Существует три группы методов моделирования волн:

- процедурные;

- методы на основе частиц;
- метод поля высот.

1.4.1 Процедурные методы

В процедурных методах для представления движения волн используются периодические функции. В ранних работах в качестве такой функции выступала циклоида [?], далее стали использовать синусоиду [?]. 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 [?];

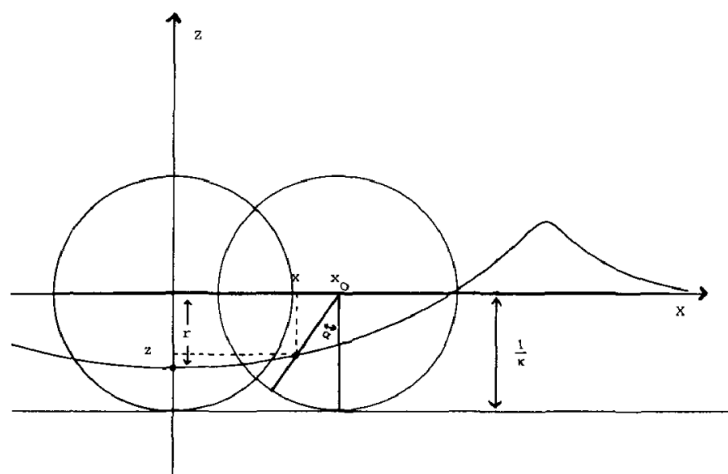


Рисунок 1.3 – Поверхность воды представлена трохоидой.

- 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 [?][?].

1.4.2 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.

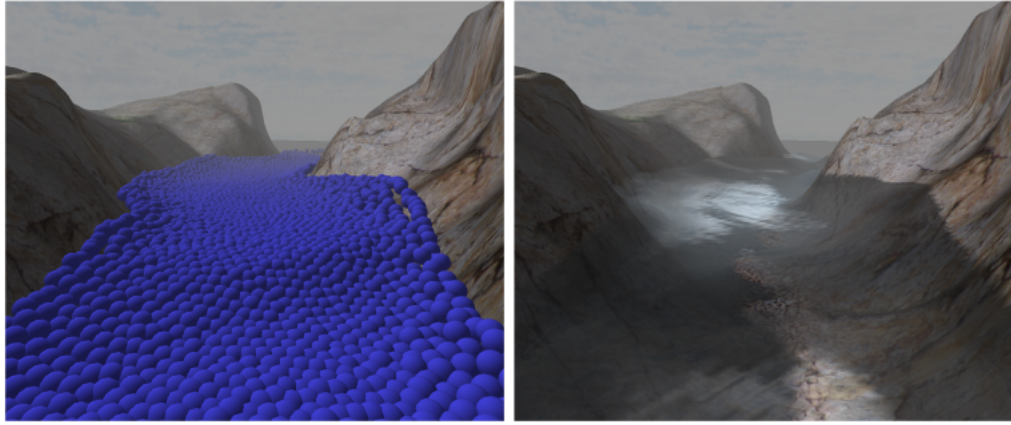


Рисунок 1.4 – Поверхность воды представляется частицами (левый часть рисунка) и отображается в реальном времени (правая часть рисунка).

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 [?];
- 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 жидкости с твердым предметом или другой жидкостью [?].

1.4.3 Метод 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 [?].

Такое упрощение обладает важным преимуществом - снижением вычислительных затрат, что означает повышение скорости моделирования. Кроме того метод поля высот гибко обрабатывает 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.

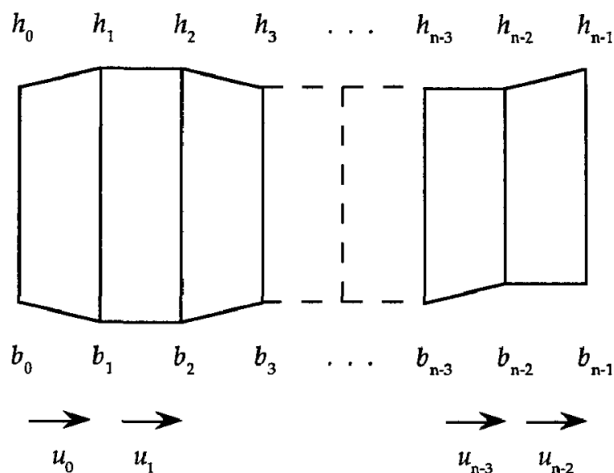


Рисунок 1.5 – Двумерное представление поверхности воды полями высот h с горизонтальной скоростью u и дна значениями b .

Комбинация методов поля высот и методов, основанных на частицах, позволяет обходить недостатки отдельных и создавать различные эффекты [?][?].

Вывод

Процедурные методы и методы на основе частиц имеют сложности при работе с твердыми телами. Метод поля высот корректно обрабатывает взаимодействие с объектом, причем с более высокой скоростью моделирования. Недостатки метода поля высот не имеют значения при решении выбранной задачи. Моделирование волн будет реализовано при помощи метода поля высот.

1.5 Существующие программные обеспечения

Одним из самых популярных программных обеспечений для работы с трехмерной компьютерной графикой является Blender [?]. Для моделирования жидкости, в том числе и волн, в Blender существует физическая среда с открытым исходным кодом - Mantaflow [?]. Данный фреймворк может использоваться с графическим интерфейсом или без него в любой операционной системе. В этом программном продукте реализованы моделирование на основе уравнений Эйлера, гибкие системы частиц, моделирование жидкостей при помощи решателя FLIP, различные эффекты для жидкости, например, поверхностная турбулентность и вейвлет (небольшая рябь). На рисунке 1.5 показано моделирование гибкой системы частиц.

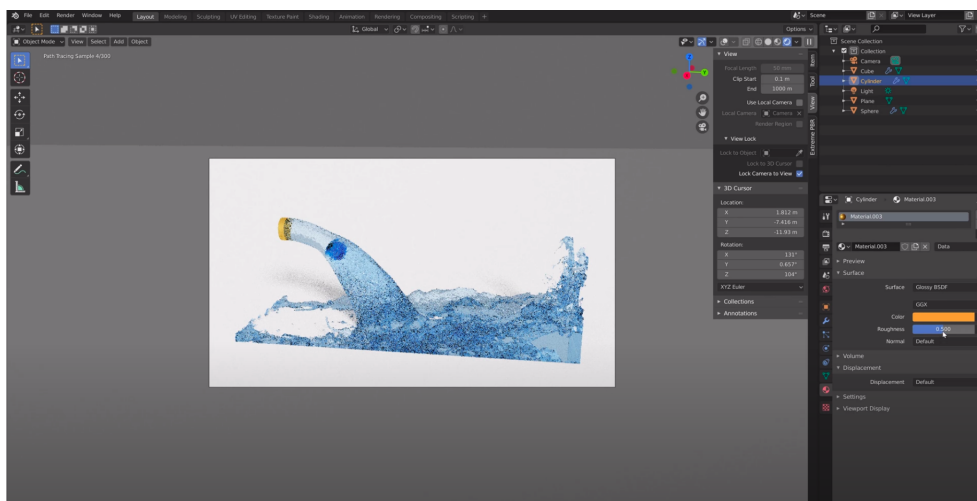


Рисунок 1.6 – Моделирование жидкости в среде Mantaflow в Blender.

В коммерческих и научных проектах используются CFD пакеты. Например, FLOW-3D [?] представляет набор инструментов для моделирования жидкостей, с целью исследования динамики их движения. Данный пакет позволяет моделировать линейные и нелинейные распространяющиеся поверхностные волны на основе метода конечных объемов. Для визуализации результатов используется программа визуализации FlowSight, как показано на рисунке 1.6.

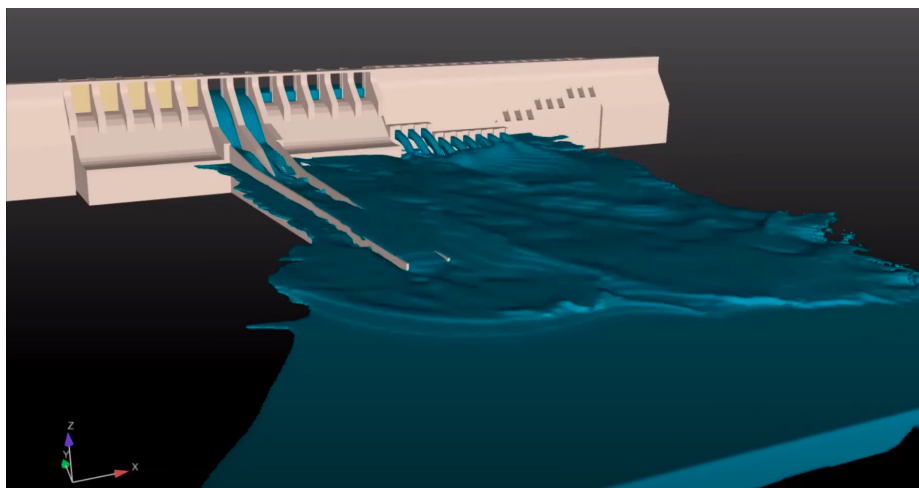


Рисунок 1.7 – Моделирование волн при помощи пакета FLOW-3D.

Вывод

В данном разделе были формально описаны модели волны и предметы, были рассмотрены алгоритмы удаления невидимых линий и поверхностей, методы закрашивания поверхностей. В качестве алгоритма моделирования дисперсионных волн был выбран метод поля высот, в качестве алгоритма удаления невидимых линий и поверхностей был выбран алгоритм z-буфера, в качестве метода закрашивания был выбран алгоритм закрашки Гуро.