

ших конкурирующих элементов подмножества A не найдется пары – они способны развозиться отдельно ввиду того, что сами имеют большой объем людей, при этом у пассажиров будет безостановочный проезд до станции их назначения.

После формирования конечных сочетаний элементов m_{iA} с m_{jB} , при условии, что $|A| < |B|$, остаются незадействованные элементы подмножества B . Данные элементы в текущем плане развозки использоваться не будут, они впоследствии «подрастут» и обслужатся в последующих развозах.

Вариант 2. В этом случае оптимальным исходом будет тот, в котором создадутся n сочетаний m_{iA} с m_{jB} . Если задача не решается сразу, необходимо наиболее оптимально распределить элементы подмножества B , распределение выполняется подобно варианту 1. Незадействованные элементы подмножества A будут развозиться, как и в первом варианте.

Вариант 3. Суть данного варианта заключается в том, чтобы постараться свести текущую задачу к одному из двух предыдущих вариантов. Для этого в уже существующем подмножестве A необходимо поднять нижнюю границу для элементов, новая граница находится по формуле:

$$V * D, D = 0,5, a,$$

где V – объем инфобуса; D – коэффициент для новой нижней границы; a – коэффициент эластичности. Коэффициент D является динамическим.

Элементы подмножества A меньшие новой нижней границы переходят в подмножество B , незатронутые элементы остаются в подмножестве A . После формирования обновленных подмножеств задача может свестись к вариантам 1 и 2.

Если же после увеличения порога для элементов подмножества A и последующего распределения элементов по подмножествам выполняется неравенство $|A| > |B|, n > p$, тогда принятые изменения отменяются и формируются все возможные сочетания элементов m_{iA} с m_{jB} . Наивысший приоритет отдается сочетаниям минимальных элементов подмножества A с максимальными элементами подмножества B . Незадействованные элементы m_{iA} и m_{jB} будут задействованы так же, как и в первом варианте.

Список цитированных источников

1. Варелопупо Г. А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте / Г. А. Варелопупо. – М. : Транспорт, 1981. – 93 с.

2. Проект Safe Road Trains for the Environment (SARTRE) [Электронный ресурс]. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Safe_Road_Trains_for_the_Environment. – Дата обращения: 19.02.2019.

УДК 004.942

Степанюк Д. Ю., Яшина К. Р.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Акулова О. А.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ 3D-СИМУЛЯЦИИ ЖИДКОСТИ

Моделирование жидкости (fluid simulation) – область компьютерной графики, использующая средства вычислительной гидродинамики для реалистичного моделирования, анимации и визуализации жидкостей, газов, взрывов и других,

связанных с этим, явлений. Моделирование жидкости широко используется в компьютерной графике и ранжируется по вычислительной сложности от высокоточных вычислений для кинофильмов и спецэффектов до простых аппроксимаций, работающих в режиме реального времени и использующихся преимущественно в компьютерных играх.

К наиболее распространенным методам моделирования жидкостей относят:

- сеточные методы Эйлера;
- гидродинамике сглаженных частиц (smoothed particle hydrodynamics – SPH);
- методы, основанные на завихрениях;
- метод решеточных уравнений Больцмана.

На рисунке 1 представлен набор наиболее известного и распространенного программного обеспечения, предназначенного для симуляции жидкостей.

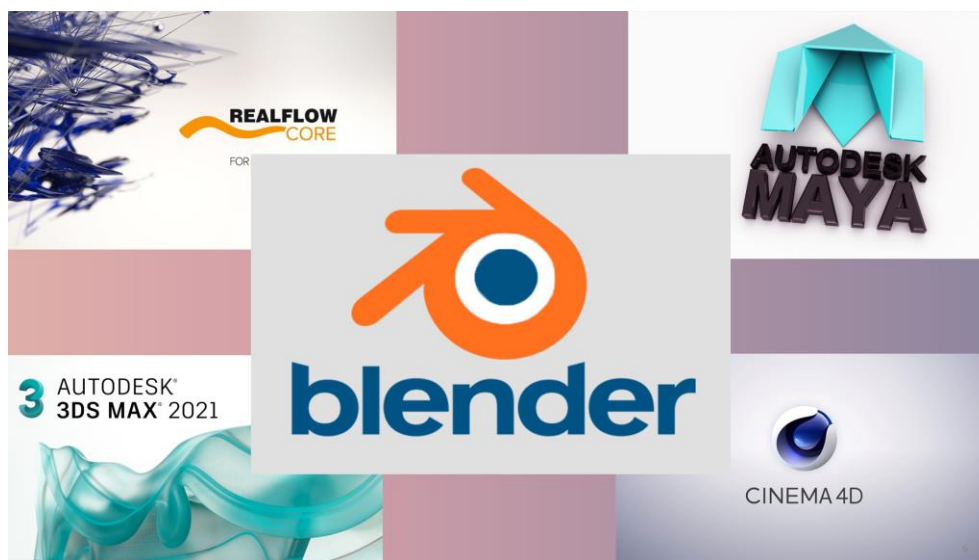


Рисунок 1 – Программные продукты для симуляции жидкостей

Моделирование жидкости – это сравнительно новое направление, история развития которого насчитывает немногим более 30 лет.

В 1998 году была предпринята первая попытка моделирования всплеска жидкости с помощью компьютера. Компания Next Limit Technologies, состоявшая всего лишь из двух студентов из Мадрида – Виктора Гонсалеса и Игнасио Варгаса, разработала технологию RealFlow для симуляции поведения жидкостей. Ее движок основывался на классических законах физики, что позволило получить высокую точность просчета процесса и реалистичную визуализацию. При этом моделирование жидкости было возможным на компьютерах того времени.

До появления RealFlow моделирование воды основывалось на методе деформации поверхности, не учитывающем мелкие детали (брызги, пену, пузырьки и т. д.). RealFlow же позволил сгенерировать трехмерную поверхность жидкости, образованную частицами. Метод, на котором основан движок симулятора жидкостей, использует модель SPH, а также алгоритм Hybrido, предназначенный для симуляции масштабных сцен, например поверхности океана.

RealFlow использовалась для большого числа рекламных роликов и более трех десятков художественных фильмов, выпущенных с 1998 года. Симулятором жидкости пользовались при создании фильмов «Аватар», «Властелин колец: Возвращение короля», «Код да Винчи», «Хищники», мультфильмов «Гадкий Я», «В гости к Робинсонам», «Ледниковый период» и многих других [1].

С помощью дополнительных модулей RealFlow поддерживает интеграцию со всеми основными 3D-редакторами: Maya, 3ds Max, Houdini, LightWave, Softimage. Кроме того, весной 2015 года компания заявила о создании нового дополнения RFCORE для популярного 3D-редактора Cinema 4D. С помощью RFCORE можно использовать движок симулятора жидкостей RealFlow непосредственно внутри Cinema 4D.

Как и в любой другой программе для создания анимации, в RealFlow используется принцип ключевых кадров – для двух кадров создаются контрольные значения какого-нибудь параметра, а программа автоматически просчитывает значения для всех промежуточных кадров.

Анимировать в RealFlow можно практически любой параметр, который отображается в окне настроек.

В 2015 году в Autodesk Maya появился Bifrost совершенно новая система симуляции жидкостей. Bifrost – это среда визуального программирования, разработанная Exotic Matter с использованием технологии Naiad, которая может генерировать симуляцию жидкостей. В основе Bifrost лежит солвер (Solver) под названием FLIP (Fluid Implicit Particle), благодаря чему он может генерировать жидкости из эмиттеров (Emitter), которые могут взаимодействовать с гравитацией, будучи направляемыми объектами столкновений (Collider) и ускорителями (Accelerator).

С 2018 года внутренний симулятор жидкости Fluids появился и в 3ds Max. Он позволяет воссоздавать реалистичное поведение жидкостей, например, воды, масла, лавы, а также воспроизводить эффекты гравитации и столкновения.

Собственный симулятор жидкости FLIP Fluids имеется и в Blender. Этот симулятор был добавлен в Blender еще в 2005 году, однако наибольшее развитие получил с 2016 года. Код симулятора на C++ был написан сторонним разработчиком по имени Nils Thuerey. Он написал библиотеку для симуляции жидкостей и назвал ее El'Veem. Движок является воксельным и основан на методе решеточных уравнений Больцмана. Лучше всего подходит для создания воды, но имеет возможность создавать вязкие жидкости [2].

В 2020 году в Blender был внедрен новый симулятор Mantaflow, также основанный на методе решеточных уравнений Больцмана. Mantaflow является инструментом моделирования для создания как жидких, так и газообразных/дымовых эффектов моделирования, в то время как FLIP Fluids сосредоточен исключительно на моделировании жидких сред.

Следует отметить, что рассмотренные выше симуляторы не подходят для научно-исследовательских целей, так как не учитывают всех свойств и характеристик исследуемых жидкостей.

В научных целях следует применять специальное программное обеспечение. Среди наиболее популярных программ можно выделить Ansys Fluent – программное обеспечение, которое обладает широкими возможностями моделиро-

вания физических процессов с целью анализа влияния жидкости на изделие или оборудование. Он основан на методе конечных объемов, при этом область течения разделяется на конечное множество контрольных объемов; в этом множестве контрольных объемов решаются уравнения сохранения массы, импульса, энергии и т. д.; уравнения в частных производных дискретизируются в систему алгебраических уравнений; затем производится численное решение этих алгебраических уравнений в расчетной области.

Ansys Fluent надежно и эффективно выполняет расчеты для всех физических моделей и типов, включая стационарное или переходное течение, несжимаемые или сжимаемые течения (от малых дозвуковых до гиперзвуковых), ламинарные или турбулентные потоки, ньютоновские или неньютоновские жидкости, идеальный или реальный газ [3].

Также следует упомянуть Autodesk CFD – это САЕ-система, предназначенная для расчетов и моделирования движения потоков жидкостей и газов, а также процессов теплопередачи и теплообмена. В ней реализована поддержка моделирования свободного течения жидкостей методом свободной поверхности VOF (Volume of Fluid). С помощью нее можно моделировать и анализировать взаимодействие потока и тела, которое может менять свое положение. Применение такого метода позволяет решать задачи анализа процессов прорыва плотин, наполнения шахт и штолен водой, разлива масла из танкера и другие [4].

Список цитированных источников

1. Обзор симулятора жидкости RealFlow: невероятные фокусы с водой [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dnews.ru/917218>. – Дата доступа: 22.04.2021.
2. Flip Fluids [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://blendermarket.com>. – Дата доступа: 22.04.2021.
3. Ansys Fluent. Приложение для моделирования течений жидкостей и газов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.techgidravlika.ru/view_post.php?id=62. – Дата доступа: 22.04.2021.
4. Computational fluid dynamics simulation software [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.autodesk.com/products/cfd/overview>. – Дата доступа: 22.04.2021.

УДК 656.13

Сукасян Т. М.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Шуть В. Н.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ СУПЕРСКОРОСТНЫМ ТРАМВАЕМ

На сегодняшний день традиционные формы систем общественного транспорта в своем большинстве не справляются с ростом подвижности населения больших городов. Зачастую они даже являются убыточными, но городские власти поддерживают их в связи с отсутствием достойной альтернативы. Также рост частного автомобильного транспорта приводит к перенасыщению городских улиц и образованию заторов. В данной работе предлагается описание но-