

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА
ВЕЛИКОГО»**

Институт компьютерных наук и кибербезопасности

Высшая школа технологий искусственного интеллекта

Отчёт по дисциплине «Алгоритмические основы компьютерной графики»

Лабораторная работа №3
«Анимация сцены»

Вариант: **Кипение воды в чайнике (фаза 4)**

Студент: _____

Салимли Айзек Мухтар Оглы

Преподаватель: _____

Курочкин Михаил Александрович

«____»____ 20____ г.

Содержание

Введение	3
1 Постановка задачи	4
2 Описание физического процесса	5
2.1 Визуальные параметры	7
2.2 Динамика пузырей	8
3 Описание реализации визуализации кипения воды в чайнике	9
3.1 Структура программы	9
4 Результаты работы программы	11
Заключение	12
Список литературы	13

Введение

Компьютерная графика — это раздел информатики, предметом которого является создание и обработка изображений с помощью компьютерных технологий. Одним из распространённых направлений является компьютерная анимация. Она позволяет создавать движущиеся изображения с помощью графических изображений. С помощью средств компьютерной графики можно моделировать визуально любой физический процесс. В настоящее время есть несколько видов анимации:

- покадровая анимация;
- анимация записи движения;
- процедурная анимация;
- анимация с помощью программных продуктов.

Процедурная анимация — это вид компьютерной анимации, который автоматически генерирует анимацию в реальном времени согласно установленным правилам, законам и ограничениям.

Цель данной работы — создание визуализации реального физического процесса, который представлен в видеоролике, фиксирующем процесс кипения чайника.

Основные характеристики визуализации реального физического процесса включают:

- временную протяжённость: процесс кипения воды изменяется во времени, что требует создания анимации;
- статические и динамические элементы: в данном процессе присутствуют как неизменные элементы, так и те, которые меняют свою форму и положение.

1 Постановка задачи

Требуемое описание физического процесса - кипение чайника, фаза 4.

- проанализировать видеоролик, выделить особенности в физическом процессе;
- разработать метод визуализации;
- реализовать визуализацию процесса при помощи графической библиотеки.

Скриншот (кадр) из видеоролика представлен на Рис.1.



Рис. 1: Скриншот (кадр) из видеоролика

2 Описание физического процесса

Физический процесс можно разделить на статическую и динамическую части.

Статическая часть:

1. Электрический чайник (на переднем плане)

Чайник преимущественно красного цвета с прозрачным резервуаром для воды. На боковой стороне резервуара есть отметки, указывающие уровень воды («2,0 л», «1,0 л», «0,5 л», «MIN»). Вдоль основания чайника проходит синяя светодиодная лента. Ручка тоже красная, сделана из пластика.

2. Фон

На фоне узорчатые обои с цветочным рисунком. Преобладающие цвета — бежевый или светло-коричневый с более тёмными коричневыми цветочными узорами.

Справа от чайника видна упаковка глицина. А между спинкой чайника и ручкой видна ваза.

3. Освещение и тени

Освещение в сцене мягкое и рассеянное, создающее тени. Синие светодиоды на чайнике создают лёгкое свечение на переднем плане, контрастирующее с более тёплыми тонами фона.

Динамическая часть:

Для описания нужно предположить реальные размеры предметов на видео. Если на видео представлен стандартный чайник, то 100 пикселям на этом видео соответствует примерно 1.5 см.

1. Кипение воды:

Внутри прозрачного корпуса чайника происходит интенсивное кипение. Мелкие пузыри формируются на дне, быстро растут при подъёме и лопаются у поверхности воды. Движение жидкости хаотично, с явными конвекционными потоками. Высота зоны кипения составляет около **25 см**, максимальный диаметр пузырей — до **0.5 см**. Делятся эти пузырьки на две части:

(a) Пузыри основного кипения.

Радиус пузырьков составляет **0.08–0.19 см¹**, скорость подъёма — **4–7 см/с²**. Горизонтальные колебания имеют амплитуду до **0.26 см** (26 px). Время жизни одного пузырька — около **1 с**; в секунду возникает порядка **250** пузырьков.

Размер пузырьков меняется по ходу движения как в большую, так и в меньшую сторону. При этом при таком движении блики в них тоже изменяют свое положение.

Плотность пузырьков примерно **10 пузырьков на 10×10 см**.

(b) Пузыри рядом с основным кипением.

Некоторые пузырьки с основного потока попадают в правую часть чайника, где движутся не так активно и намного более хаотично, без явной траектории.

Выглядят пузырьки там так же, но их плотность меньше, около **7–10 пузырьков на 10×10 см**.

2. Тurbулентность и конвекция:

Турбулентность проявляется в виде случайных завихрений и колебаний потоков воды. Конвекционные ячейки создают направленное движение жидкости вверх-вниз. Скорость пузырей достигает 120 пикселей/секунду, что определяется тепловым расширением и гидродинамическим сопротивлением.

¹8–19 пикселей при масштабе 100 px = 1 см

²0.4–0.7 px/мс

1. Параметры кипения:

- Высота зоны кипения: 2.5 см.
- Диапазон диаметров пузырей: $[0.05, 0.3]$ см.
- Цвет воды: RGB(180, 200, 255) — голубой оттенок из-за подсветки.
- Прозрачность: $\alpha = 0.7$ — частичная видимость внутренней структуры.

2. Физические параметры:

Гравитация $g = 9.8 \text{ м/с}^2$

Турбулентность $\tau = 0.15$

Базовая скорость пузырей $v_0 = 120 \text{ пикс/сек}$

Коэффициент сопротивления $k = 0.6$

Частота образования пузырей $f = 50 \text{ пузырей/сек}$

- Гравитация $g = 9.8 \text{ м/с}^2$

Обоснование: стандартное ускорение свободного падения для реалистичной модели.

- Турбулентность $\tau = 0.15$

Обоснование: небольшое значение для имитации начала кипения.

- Сопротивление $k = 0.6$

Обоснование: учитывает трение между водой и стенками чайника.

- Частота $f = 50 \text{ пузырей/сек}$

Обоснование: соответствует интенсивности кипения при нагреве.

2.1 Визуальные параметры

- Цвет подсветки: RGB(0, 0, 255) *Обоснование:* синий светодиодный свет создает холодный эффект.
- Размер пузырей: $r \in [0.08, 0.19]$ см *Обоснование:* прогрессивное увеличение при подъеме.
- Размытие Гаусса: ядро $\sigma = 1.5$ *Обоснование:* для плавного перехода между пузырями.
- Отражение света: коэффициент 0.4 *Обоснование:* имитация прозрачности воды и стекла.
- Основная непрозрачность стеклянной оболочки: $\alpha_{\text{glass}} = 0.35$
- Прозрачность воды: $\alpha_{\text{water}} = 0.7$

2.2 Динамика пузырей

Путем подбора были выбраны следующие уравнения для описания движения пузырьков.

- **Основные пузырьки:**

Уравнение траектории:

$$\begin{cases} x(t) = x_0 + A \cdot \sin\left(\pi \cdot \frac{t}{t_{\text{peak}}}\right), \\ y(t) = y_0 - v \cdot t, \end{cases}$$

где:

$A = 1.2 \cdot 150$ — амплитуда

v — скорость

t_{peak} — время достижения пика

- **Дополнительные пузырьки:**

- Хаотичное движение в прямоугольной области 120×60 пикселей
- Синусоидальные колебания с частотой $20 - 25$ Гц
- Динамическое изменение размера пузырьков с амплитудой 30%
- Анимация бликов:
 - Блик смещается по синусоиде с частотой 1.8 Гц
 - Яркость зависит от фазы:

$$\text{opacity} = 80 \times (0.8 + 0.2 \sin(0.6t))$$

- Прозрачность пузырька колеблется: $\alpha(t) = \alpha_0 \cdot (0.8 + 0.2 \sin(0.6t + \varphi))$.
- Каждый пузырь содержит *двойной блик*: главный радиусом $0.45 r$ и вторичный $0.20 r$
- Края пузыря дополнительно размываются фильтром *GaussianBlur* ($\sigma = 1.5$).

3 Описание реализации визуализации кипения воды в чайнике

Данная визуализация реализована на языке Python с использованием библиотеки PIL/Pillow для обработки изображений и генерации анимации. Программа создает реалистичный эффект кипения, моделируя два типа пузырьков: основные (идущие с дна чайника) и вторичные (в правой части чайника). Для повышения физической достоверности учитывается влияние температуры на скорость испарения и динамику пузырьков.

3.1 Структура программы

- Основные пузырьки генерируются в диапазоне координат:

- $X \in [830, 1750]$
 - $Y \in [560, 1250]$

- Дополнительные пузырьки появляются в зоне:

- $X \in [1300, 1600]$
 - $Y \in [120, 700]$

Эти параметры подобраны опытным путем, чтобы задать границы стенок чайника.

- Каждый пузырек имеет уникальные параметры:

- Случайная начальная фаза (*phase*) для асинхронности движения
 - Радиус пузырька выбирается случайно из диапазона 8–19 px.
 - Генерируется **250** основных и **40** дополнительных пузырей на каждые 60 кадров.
 - Скорость:
 - * 0.3 – 0.5 пикселей/мс для основных пузырьков
 - * 0.01 – 0.05 пикселей/мс для дополнительных пузырьков
 - Частота изменения размера: 0.2 – 0.6 Гц с затуханием по мере подъема

2. Траектории движения

- Основные пузырьки:

- Движение по модифицированной параболе с кривизной 1.2
 - Горизонтальные колебания с амплитудой до 150 пикселей
 - Время жизни: 1 секунда (\approx 50 кадров при 50 FPS)

- Дополнительные пузырьки:

- Хаотичное движение в прямоугольной области 120×60 пикселей
 - Синусоидальные колебания с частотой 20 – 25 Гц

- Динамическое изменение размера пузырьков с амплитудой 30%

- Анимация бликов:

- Блик смещается по синусоиде с частотой 1.8 Гц
 - Яркость зависит от фазы:

$$\text{opacity} = 80 \times (0.8 + 0.2 \sin(0.6t))$$

- Прозрачность пузырьков: базовое значение 80 (из 255) с градиентом по краям
- Рефракция света на границе пузырька с водой

4. Маскирование

- Пузырики отображаются только внутри полигона с координатами:

(430, 780), (510, 10), (1300, 10), (1370, 870)

- Реализована точная проверка принадлежности точки полигону методом лучей
- Постепенное исчезновение при приближении к границе

4 Результаты работы программы

На Рис.2 представлен результат визуализации кипения воды в чайнике. На Рис.3 представлен базовый кадр.



Рис. 2: Результаты визуализации



Рис. 3: Базовый кадр

Заключение

В рамках лабораторной работы была осуществлена визуализация физического процесса кипения воды в чайнике на основе анализа соответствующего видеоролика. В ходе анализа были выявлены ключевые характеристики динамической и статической составляющих процесса. На основе полученных данных была разработана графическая модель с использованием библиотеки Python для визуализации кипения воды. Для достижения более реалистичного отображения кипения воды применялась техника наложения текстур на изображение. Для улучшения точности визуализации можно реализовать более реалистичное движение, форму и прозрачность пузырьков воздуха.

Список литературы

1. Препарата Ф., Шеймос М., "Вычислительная геометрия: введение"