Компьютерная графика

Домашнее задание 1: График функции на плоскости с изолиниями

2023

Задание

- Функция на плоскости, зависящая от времени $f(x, y, t)$

Задание

- Функция на плоскости, зависящая от времени $f(x, y, t)$
- Фиксированный прямоугольник $[x_0, x_1] \times [y_0, y_1]$, разбитый на сетку из $W \times H$ прямоугольных ячеек

Задание

- Функция на плоскости, зависящая от времени $f(x, y, t)$
- Фиксированный прямоугольник $[x_0, x_1] \times [y_0, y_1]$, разбитый на сетку из $W \times H$ прямоугольных ячеек
- Нужно нарисовать:
  - ‘График’ функции цветом, используя вершины сетки как основу

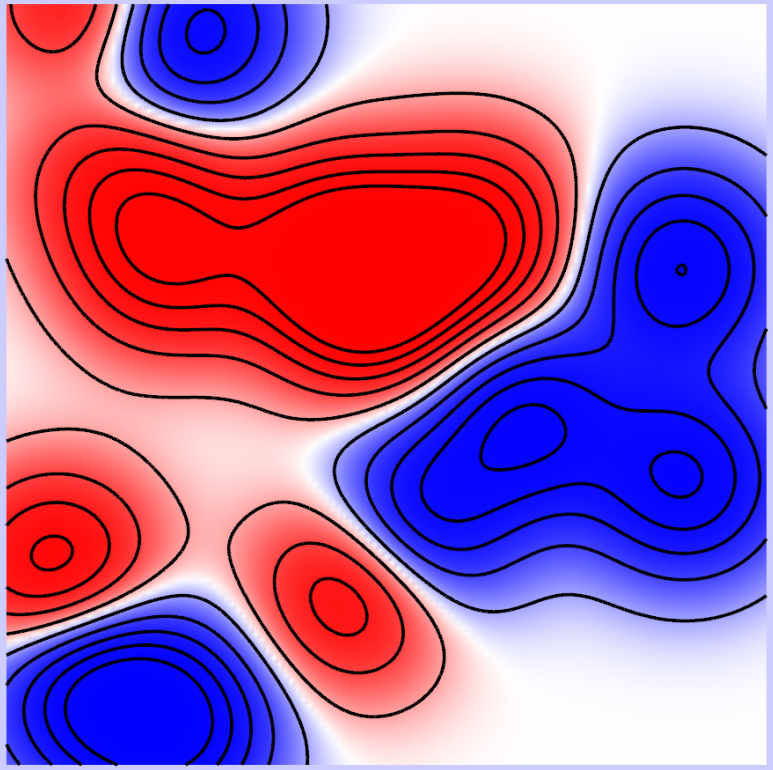
Задание

- Функция на плоскости, зависящая от времени $f(x, y, t)$
- Фиксированный прямоугольник $[x_0, x_1] \times [y_0, y_1]$, разбитый на сетку из $W \times H$ прямоугольных ячеек
- Нужно нарисовать:
  - ‘График’ функции цветом, используя вершины сетки как основу
  - Изолинии – линии $f(x, y, t) = const$ поверх графика

Задание

- Функция на плоскости, зависящая от времени $f(x, y, t)$
- Фиксированный прямоугольник $[x_0, x_1] \times [y_0, y_1]$, разбитый на сетку из $W \times H$ прямоугольных ячеек
- Нужно нарисовать:
  - ‘График’ функции цветом, используя вершины сетки как основу
  - Изолинии – линии $f(x, y, t) = const$ поверх графика
- График и изолинии вычисляются заново на каждый кадр

Пример



Функция

Любая интересная меняющаяся во времени функция на плоскости

- Metaballs: $f(x, y, t) = \sum c_i \exp\left(-\frac{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2}{r_i^2}\right)$, где (x_i, y_i) – координаты движущейся по какому-то закону точки

Функция

Любая интересная меняющаяся во времени функция на плоскости

- Metaballs: $f(x, y, t) = \sum c_i \exp\left(-\frac{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2}{r_i^2}\right)$, где (x_i, y_i) – координаты движущейся по какому-то закону точки
- Шум Перлина: строится на основе сетки двумерных единичных векторов, которые можно крутить в зависимости от времени (эта сетка никак не связана с сеткой использующейся для рендеринга)

Функция

Любая интересная меняющаяся во времени функция на плоскости

- Metaballs: $f(x, y, t) = \sum c_i \exp\left(-\frac{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2}{r_i^2}\right)$, где (x_i, y_i) – координаты движущейся по какому-то закону точки
- Шум Перлина: строится на основе сетки двумерных единичных векторов, которые можно крутить в зависимости от времени (эта сетка никак не связана с сеткой использующейся для рендеринга)
- Комбинация синусов/косинусов с разными амплитудами и фазами

Функция

Любая интересная меняющаяся во времени функция на плоскости

- Metaballs: $f(x, y, t) = \sum c_i \exp\left(-\frac{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2}{r_i^2}\right)$, где (x_i, y_i) – координаты движущейся по какому-то закону точки
- Шум Перлина: строится на основе сетки двумерных единичных векторов, которые можно крутить в зависимости от времени (эта сетка никак не связана с сеткой использующейся для рендеринга)
- Комбинация синусов/косинусов с разными амплитудами и фазами
- etc.

График

- Вершина сетки – (x_i, y_j) + цвет
- Раскрасить в зависимости от значения функции

График

- Вершина сетки – (x_i, y_j) + цвет
- Раскрасить в зависимости от значения функции
- Прямоугольники сетки придётся разбить на пары треугольников

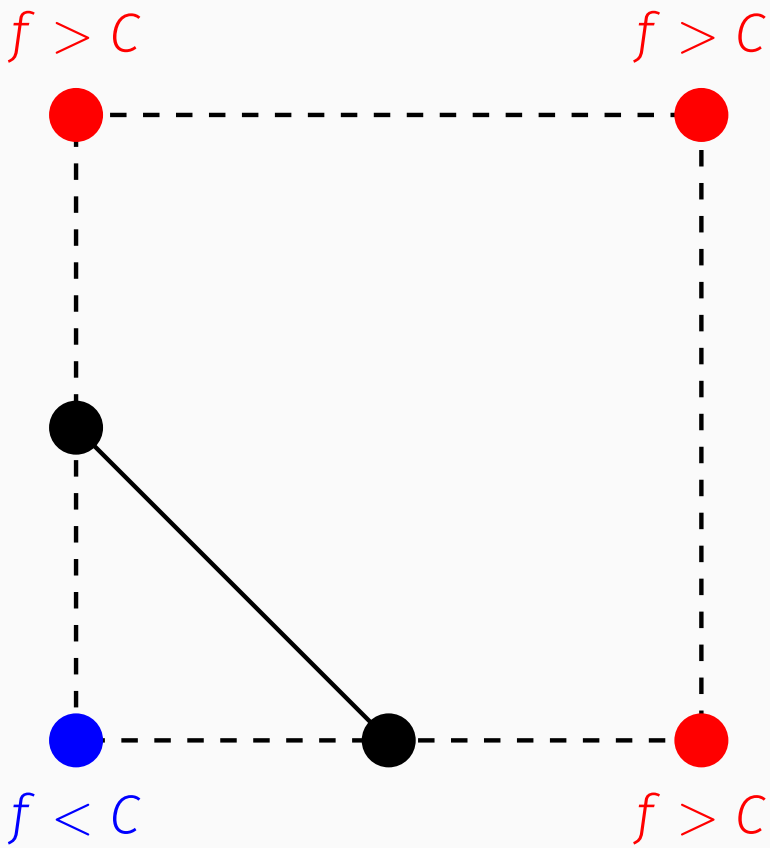
Изолинии

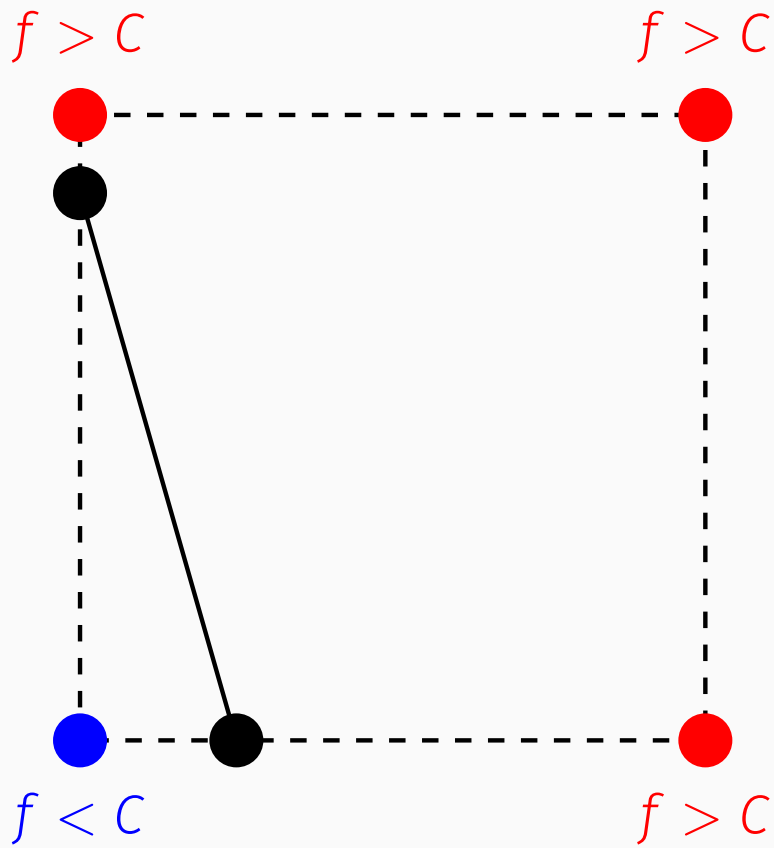
- Линии $z = f(x, y, t) = C_i$ для некоторых значений C_i
- Набор значений $C_1, C_2, C_3, \ldots, C_k$ выбрать на основе вашей функции

Изолинии

- Линии $z = f(x, y, t) = C_i$ для некоторых значений C_i
- Набор значений $C_1, C_2, C_3, \ldots, C_k$ выбрать на основе вашей функции
- Строить алгоритмом *marching squares* с линейной интерполяцией (или аналогичным алгоритмом на треугольниках) на основе той же сетки, что и график

Marching squares





Marching squares

- Есть вариант алгоритма, соединящий центры рёбер, – его не нужно использовать
- Есть вариант алгоритма, линейно интерполирующий значение функции вдоль ребра чтобы найти точку $f = C$ – нужно использовать именно его

Marching squares

- Есть вариант алгоритма, соединящий центры рёбер, – его **не нужно использовать**
- Есть вариант алгоритма, линейно интерполирующий значение функции вдоль ребра чтобы найти точку $f = C$ – **нужно использовать именно его**
- Есть вариант алгоритма (иногда называется marching triangles), использующий треугольники и избавляющийся от неоднозначностей алгоритма на квадратах, – **можно** использовать его

Marching squares

- Есть вариант алгоритма, соединящий центры рёбер, – его не нужно использовать
- Есть вариант алгоритма, линейно интерполирующий значение функции вдоль ребра чтобы найти точку $f = C$ – нужно использовать именно его
- Есть вариант алгоритма (иногда называется marching triangles), использующий треугольники и избавляющийся от неоднозначностей алгоритма на квадратах, – можно использовать его
- Ещё marching triangles называют трёхмерный алгоритм построения модели по облаку точек – это не то, что нам нужно

Немного деталей

- Часть данных вершин будут обновляться каждый кадр – цвета точек графика, координаты изолиний
- Часть данных постоянна – XY-координаты вершин сетки – их имеет смысл хранить в отдельном VBO
- Как для графика, так и для изолиний имеет смысл использовать индексированный рендеринг
- Можно использовать простые `GL_LINES` и `GL_TRIANGLES`, а можно `GL_LINE_STRIP`/`GL_LINE_LOOP` и `GL_TRIANGLE_STRIP` вместе с `primitive restart`

Немного деталей

- Чтобы избавиться от дублирования вершин в изолиниях, придётся для каждого ребра исходной сетки запомнить индекс вершины изолинии, лежащей на этом ребре: можно использовать, например, `std::unordered_map` или просто `std::vector`, придумав какую-то нумерацию для рёбер

Немного деталей

- Обратите особое внимание на работу с VAO и буферами:
  - Создание VAO и буферов должно быть **только** в начале программы
  - Настройка атрибутов вершин (т.е. настройка VAO) должна быть **один раз** в начале программы
  - Данные в буферы должны загружаться **только** при их реальном изменении

Немного деталей

- Обратите особое внимание на работу с VAO и буферами:
  - Создание VAO и буферов должно быть **только** в начале программы
  - Настройка атрибутов вершин (т.е. настройка VAO) должна быть **один раз** в начале программы
  - Данные в буферы должны загружаться **только** при их реальном изменении
- В идеале у вас должно быть 2 *draw call* (вызова функции `glDraw*`) на кадр: один на график, один на изолинии

Баллы

- **3 балла**: рисуется динамический график функции (т.е. цвета вершин меняются во времени) за один draw call
- **3 балла**: рисуются динамические изолинии за один draw call
- **2 балла**: все данные в VBO обновляются только при их изменении, статические данные хранятся в отдельных VBO
- **2 балла**: используется индексированный рендеринг для графика и его вершины не дублируются
- **2 балла**: используется индексированный рендеринг для изолиний и их вершины не дублируются
- **1 балл**: можно динамически менять количество изолиний
- **1 балл**: можно динамически менять детализацию сетки
- **1 балл**: корректно обрабатывается *aspect ratio*, т.е. соотношение ширины к высоте видимого графика не меняется при изменении размеров окна (свободное пространство окна можно оставить пустым), и график всегда полностью влезает в окно

Всего: **15 баллов**

Защита заданий на практике **через 2 недели**.

Ссылки

- jamie-wong.com/2014/08/19/metaballs-and-marching-squares
- jacobzelko.com/marching-squares
- ckcollab.com/2020/11/08/Marching-Squares-Algorithm.html