

Компьютерная графика

Практика 3: VAO, VBO, кривые Безье

2021

Кривые Безье

- ▶ Используются для генерации плавных кривых
- ▶ Пусть даны точки p_0, p_1, \dots, p_n
- ▶ Кривая Безье с параметром $t \in [0, 1]$ определяется как аффинная комбинация

$$b(t) = \sum_{i=0}^n b_{i,n}(t) \cdot p_i$$

- ▶ $b_{i,n}(t)$ - полиномы Бернштейна

Кривые Безье

- ▶ Используются для генерации плавных кривых
- ▶ Пусть даны точки p_0, p_1, \dots, p_n
- ▶ Кривая Безье с параметром $t \in [0, 1]$ определяется как аффинная комбинация

$$b(t) = \sum_{i=0}^n b_{i,n}(t) \cdot p_i$$

- ▶ $b_{i,n}(t)$ - полиномы Бернштейна
- ▶ Кривая первого порядка ($n = 1$): отрезок p_0p_1
$$b(t) = (1 - t) \cdot p_0 + t \cdot p_1$$

Кривые Безье

- ▶ Используются для генерации плавных кривых
- ▶ Пусть даны точки p_0, p_1, \dots, p_n
- ▶ Кривая Безье с параметром $t \in [0, 1]$ определяется как аффинная комбинация

$$b(t) = \sum_{i=0}^n b_{i,n}(t) \cdot p_i$$

- ▶ $b_{i,n}(t)$ - полиномы Бернштейна
- ▶ Кривая первого порядка ($n = 1$): отрезок $p_0 p_1$
$$b(t) = (1 - t) \cdot p_0 + t \cdot p_1$$
- ▶ Кривая второго порядка ($n = 2$):
$$b(t) = (1 - t)^2 \cdot p_0 + 2t(1 - t) \cdot p_1 + t^2 \cdot p_2$$

Задание 1

Загружаем данные в VBO

- ▶ Создайте и заполните массив из трёх вершин типа `vertex`

Задание 1

Загружаем данные в VBO

- ▶ Создайте и заполните массив из трёх вершин типа `vertex`
- ▶ Создайте VBO и загрузите в него данные: `glGenBuffers`, `glBindBuffer`, `glBufferData`

Задание 1

Загружаем данные в VBO

- ▶ Создайте и заполните массив из трёх вершин типа `vertex`
- ▶ Создайте VBO и загрузите в него данные: `glGenBuffers`, `glBindBuffer`, `glBufferData`
- ▶ Проверьте, что данные загрузились, создав временную переменную, и считав в неё координату какой-нибудь вершины (`glGetBufferSubData`) и выведя результат в `std::cout`

Задание 2

Рисуем с помощью VAO

- ▶ Создайте VAO и настройте атрибуты вершин:
`glGenVertexArrays`, `glBindVertexArray`,
`glEnableVertexAttribArray`, `glVertexAttribPointer`

Задание 2

Рисуем с помощью VAO

- ▶ Создайте VAO и настройте атрибуты вершин:
`glGenVertexArrays`, `glBindVertexArray`,
`glEnableVertexAttribArray`, `glVertexAttribPointer`
- ▶ Нарисуйте треугольник с помощью этого VAO:
`glDrawArrays`

Задание 3

Переходим к оконным координатам

- ▶ Заполните view-матрицу преобразованием, которое переводит X из $[0, \text{width}]$ в $[-1, 1]$, и Y из $[\text{height}, 0]$ в $[-1, 1]$

Задание 3

Переходим к оконным координатам

- ▶ Заполните view-матрицу преобразованием, которое переводит X из $[0, \text{width}]$ в $[-1, 1]$, и Y из $[\text{height}, 0]$ в $[-1, 1]$
- ▶ Измените координаты треугольника, чтобы он был заметен на экране

Задание 4

Динамически добавляем/удаляем точки мышкой

- ▶ Замените статический массив с вершинами на контейнер `std::vector` (изначально пустой)

Задание 4

Динамически добавляем/удаляем точки мышкой

- ▶ Замените статический массив с вершинами на контейнер `std::vector` (изначально пустой)
- ▶ При нажатии левой кнопки мыши (`SDL_BUTTON_LEFT`) добавьте новую вершину в контейнер с координатами мыши (цвета выбирайте как угодно)

Задание 4

Динамически добавляем/удаляем точки мышкой

- ▶ Замените статический массив с вершинами на контейнер `std::vector` (изначально пустой)
- ▶ При нажатии левой кнопки мыши (`SDL_BUTTON_LEFT`) добавьте новую вершину в контейнер с координатами мыши (цвета выбирайте как угодно)
- ▶ При нажатии правой кнопки мыши (`SDL_BUTTON_RIGHT`) удалите последнюю вершину из контейнера, если он не пустой

Задание 4

Динамически добавляем/удаляем точки мышкой

- ▶ Замените статический массив с вершинами на контейнер `std::vector` (изначально пустой)
- ▶ При нажатии левой кнопки мыши (`SDL_BUTTON_LEFT`) добавьте новую вершину в контейнер с координатами мыши (цвета выбирайте как угодно)
- ▶ При нажатии правой кнопки мыши (`SDL_BUTTON_RIGHT`) удалите последнюю вершину из контейнера, если он не пустой
- ▶ Если контейнер с вершинами изменился, обновите данные в соответствующем VBO

Задание 4

Динамически добавляем/удаляем точки мышкой

- ▶ Замените статический массив с вершинами на контейнер `std::vector` (изначально пустой)
- ▶ При нажатии левой кнопки мыши (`SDL_BUTTON_LEFT`) добавьте новую вершину в контейнер с координатами мыши (цвета выбирайте как угодно)
- ▶ При нажатии правой кнопки мыши (`SDL_BUTTON_RIGHT`) удалите последнюю вершину из контейнера, если он не пустой
- ▶ Если контейнер с вершинами изменился, обновите данные в соответствующем VBO
- ▶ Рисуем линию из всех точек: `GL_LINE_STRIP`

Задание 5

Нарисуем сами точки

- ▶ `glPointSize(10)` чтобы точки были заметны
- ▶ Ещё один вызов `glDrawArrays` чтобы нарисовать точки (`GL_POINTS`)

Задание 6

Генерируем и рисуем кривые Безье

- ▶ Создаёте ещё один VBO, `std::vector` и VAO для точек кривой Безье (не забудьте настроить атрибуты в VAO)

Задание 6

Генерируем и рисуем кривые Безье

- ▶ Создаёте ещё один VBO, `std::vector` и VAO для точек кривой Безье (не забудьте настроить атрибуты в VAO)
- ▶ Заведите параметр, управляющий уровнем детализации кривой: `int quality = 4;`

Задание 6

Генерируем и рисуем кривые Безье

- ▶ Создаёте ещё один VBO, `std::vector` и VAO для точек кривой Безье (не забудьте настроить атрибуты в VAO)
- ▶ Заведите параметр, управляющий уровнем детализации кривой: `int quality = 4;`
- ▶ При добавлении/удалении точек пересчитываем заново всю кривую Безье
- ▶ Если в исходной ломаной N отрезков, то в кривой Безье должно быть $N * quality$ отрезков
- ▶ Параметр t должен равномерно меняться от 0 до 1 вдоль всей кривой
- ▶ Цвет - любой, но отличающийся от цвета исходной ломаной
- ▶ Данные в VBO должны обновляться только при их изменении

Задание 6

Генерируем и рисуем кривые Безье

- ▶ Создаёте ещё один VBO, `std::vector` и VAO для точек кривой Безье (не забудьте настроить атрибуты в VAO)
- ▶ Заведите параметр, управляющий уровнем детализации кривой: `int quality = 4;`
- ▶ При добавлении/удалении точек пересчитываем заново всю кривую Безье
- ▶ Если в исходной ломаной N отрезков, то в кривой Безье должно быть $N * quality$ отрезков
- ▶ Параметр t должен равномерно меняться от 0 до 1 вдоль всей кривой
- ▶ Цвет - любой, но отличающийся от цвета исходной ломаной
- ▶ Данные в VBO должны обновляться только при их изменении
- ▶ Рисуем кривую, используя ту же шейдерную программу и новый VAO

Задание 7

Динамически меняем уровень детализации

- ▶ При нажатии на стрелку влево (`SDL_LEFT`) уровень детализации `quality` должен уменьшаться (но не может быть меньше 1)

Задание 7

Динамически меняем уровень детализации

- ▶ При нажатии на стрелку влево (SDL_LEFT) уровень детализации `quality` должен уменьшаться (но не может быть меньше 1)
- ▶ При нажатии на стрелку вправо (SDL_RIGHT) уровень детализации `quality` должен увеличиваться

Задание 8*

Добавляем ползающий пунктир к кривой Безье

- ▶ Пунктира можно добиться, не рисуя половину пикселей кривой в зависимости от расстояния до начала

Задание 8*

Добавляем ползающий пунктир к кривой Безье

- ▶ Пунктира можно добиться, не рисуя половину пикселей кривой в зависимости от расстояния до начала
- ▶ Например, пиксели кривой на расстоянии $[0, 20]$ от начала рисуются, на расстоянии $[20, 40]$ от начала не рисуются, $[40, 60]$ рисуются, и т.д.

Задание 8*

Добавляем ползающий пунктир к кривой Безье

- ▶ Пунктира можно добиться, не рисуя половину пикселей кривой в зависимости от расстояния до начала
- ▶ Например, пиксели кривой на расстоянии $[0, 20]$ от начала рисуются, на расстоянии $[20, 40]$ от начала не рисуются, $[40, 60]$ рисуются, и т.д.
- ▶ Для этого нужно добавить в вершины кривой расстояние вдоль кривой от её начала
- ▶ Расстояние до первой вершины $= 0$
- ▶ Расстояние до вершины $i = \text{расстояние до вершины } (i-1) + \text{расстояние от вершины } (i-1) \text{ до вершины } i$
- ▶ Для расстояния между вершинами пригодится функция C++ `std::hypot`

Задание 8*

Добавляем ползающий пунктир к кривой Безье

- ▶ Пунктира можно добиться, не рисуя половину пикселей кривой в зависимости от расстояния до начала
- ▶ Например, пиксели кривой на расстоянии $[0, 20]$ от начала рисуются, на расстоянии $[20, 40]$ от начала не рисуются, $[40, 60]$ рисуются, и т.д.
- ▶ Для этого нужно добавить в вершины кривой расстояние вдоль кривой от её начала
- ▶ Расстояние до первой вершины = 0
- ▶ Расстояние до вершины i = расстояние до вершины $(i-1)$ + расстояние от вершины $(i-1)$ до вершины i
- ▶ Для расстояния между вершинами пригодится функция C++ `std::hypot`
- ▶ Расстояние нужно интерполировать между вершинами и передать во фрагментный шейдер
- ▶ Чтобы понять, нужно ли рисовать пиксель, пригодится функция GLSL `fmod` (например, `fmod(distance, 40.0) < 20.0`)
- ▶ Чтобы отменить рисование пикселя, нужно в функции `main` фрагментного шейдера вызвать команду `discard`;

Задание 8*

Добавляем ползающий пунктир к кривой Безье

- ▶ Пунктира можно добиться, не рисуя половину пикселей кривой в зависимости от расстояния до начала
- ▶ Например, пиксели кривой на расстоянии $[0, 20]$ от начала рисуются, на расстоянии $[20, 40]$ от начала не рисуются, $[40, 60]$ рисуются, и т.д.
- ▶ Для этого нужно добавить в вершины кривой расстояние вдоль кривой от её начала
- ▶ Расстояние до первой вершины $= 0$
- ▶ Расстояние до вершины $i = \text{расстояние до вершины } (i-1) + \text{расстояние от вершины } (i-1) \text{ до вершины } i$
- ▶ Для расстояния между вершинами пригодится функция C++ `std::hypot`
- ▶ Расстояние нужно интерполировать между вершинами и передать во фрагментный шейдер
- ▶ Чтобы понять, нужно ли рисовать пиксель, пригодится функция GLSL `fmod` (например, `fmod(distance, 40.0) < 20.0`)
- ▶ Чтобы отменить рисование пикселя, нужно в функции `main` фрагментного шейдера вызвать команду `discard`;
- ▶ Само расстояние нужно добавить как поле вершины и как атрибут в VAO и вершинный шейдер

Задание 8*

Добавляем ползающий пунктир к кривой Безье

- ▶ Пунктира можно добиться, не рисуя половину пикселей кривой в зависимости от расстояния до начала
- ▶ Например, пиксели кривой на расстоянии $[0, 20]$ от начала рисуются, на расстоянии $[20, 40]$ от начала не рисуются, $[40, 60]$ рисуются, и т.д.
- ▶ Для этого нужно добавить в вершины кривой расстояние вдоль кривой от её начала
- ▶ Расстояние до первой вершины = 0
- ▶ Расстояние до вершины i = расстояние до вершины $(i-1)$ + расстояние от вершины $(i-1)$ до вершины i
- ▶ Для расстояния между вершинами пригодится функция C++ `std::hypot`
- ▶ Расстояние нужно интерполировать между вершинами и передать во фрагментный шейдер
- ▶ Чтобы понять, нужно ли рисовать пиксель, пригодится функция GLSL `fmod` (например, `fmod(distance, 40.0) < 20.0`)
- ▶ Чтобы отменить рисование пикселя, нужно в функции `main` фрагментного шейдера вызвать команду `discard`;
- ▶ Само расстояние нужно добавить как поле вершины и как атрибут в VAO и вершинный шейдер
- ▶ Чтобы пунктир двигался, можно прибавить к расстоянию что-то, зависящее от времени (придётся передать время в шейдер как `uniform`)

Задание 8*

Добавляем ползающий пунктир к кривой Безье

- ▶ Пунктира можно добиться, не рисуя половину пикселей кривой в зависимости от расстояния до начала
- ▶ Например, пиксели кривой на расстоянии $[0, 20]$ от начала рисуются, на расстоянии $[20, 40]$ от начала не рисуются, $[40, 60]$ рисуются, и т.д.
- ▶ Для этого нужно добавить в вершины кривой расстояние вдоль кривой от её начала
- ▶ Расстояние до первой вершины = 0
- ▶ Расстояние до вершины i = расстояние до вершины $(i-1)$ + расстояние от вершины $(i-1)$ до вершины i
- ▶ Для расстояния между вершинами пригодится функция C++ `std::hypot`
- ▶ Расстояние нужно интерполировать между вершинами и передать во фрагментный шейдер
- ▶ Чтобы понять, нужно ли рисовать пиксель, пригодится функция GLSL `fmod` (например, `fmod(distance, 40.0) < 20.0`)
- ▶ Чтобы отменить рисование пикселя, нужно в функции `main` фрагментного шейдера вызвать команду `discard`;
- ▶ Само расстояние нужно добавить как поле вершины и как атрибут в VAO и вершинный шейдер
- ▶ Чтобы пунктир двигался, можно прибавить к расстоянию что-то, зависящее от времени (придётся передать время в шейдер как `uniform`)
- ▶ Два варианта организации шейдеров:
 - ▶ Два отдельных шейдера: один для ломаной, один для пунктирной кривой Безье
 - ▶ Один общий шейдер: `uniform`-настройка, нужно ли рисовать пунктир (например, `uniform int dash;`, `dash == 1` означает рисовать пунктир)