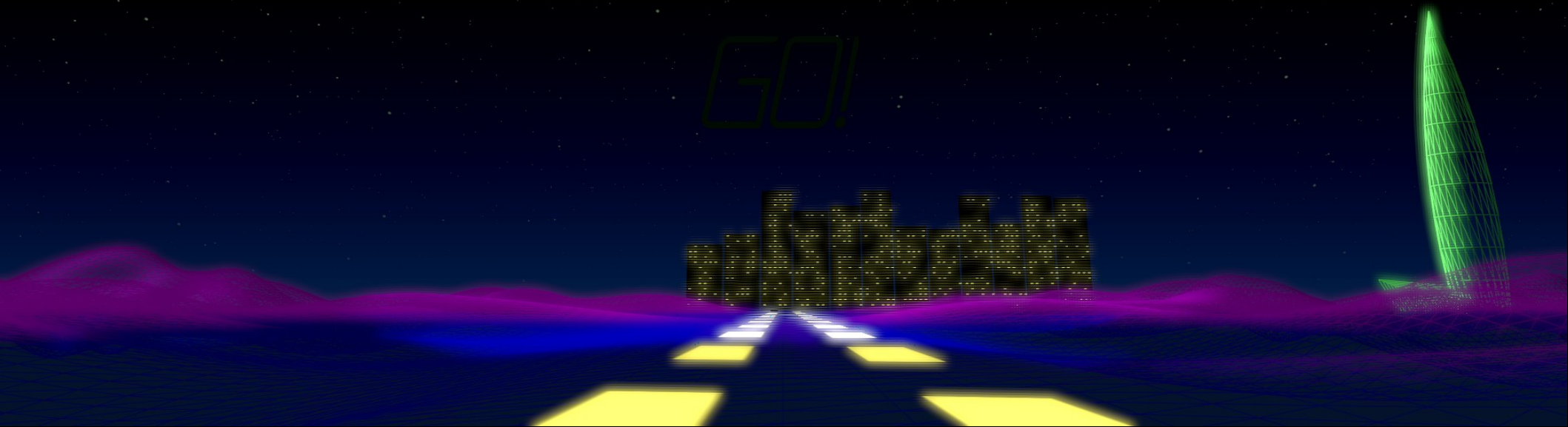


/// ETA 104.683 ms 70 FPS /// TIME TO CC2024 123 days 80852.683 sec ///

READY?

GO!



МОТИВ

- Это сложно, это вызов
- В России демо на современный РС пишут единицы (здесь есть кто? Хочу познакомиться!)
- На Revision это мейнстрим

МОТИВ

- Демо раньше: демонстрация возможностей своих и современного железа
- Демо сейчас: демонстрация возможностей своих и устаревшего железа

Цели

- 64 разряда
- 64 килобайта
- Vulkan (потому что OpenGL — всё)
- Современный C++
- Движок на выходе

План

- Движок — освещение, физика
- Сюжет — сцена, объекты и их взаимодействие
- Музыка



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Ликбез по 3D

- Трёхмерная графика — это перемножение матриц 4×4 и векторов длиной 3 или 4 элемента
- Вершины — это вектора $x, y, z(3)$, $r, g, b, a(4)$, $u, v(2)$, нормали (3), тангенты (3) и т.д.
- Меш (модель, полигональная сетка) — это пачка вершин
- Проекция на экран — перемножение вершины (вектор3) на матрицы модели, вида и проекции



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Ликбез по 3D

- Матрица модели — это мировые координаты и поза (поворот) модели
- Матрица вида — пересчитывает мировые координаты в систему отсчёта камеры
- Матрица проекции — производит проекцию из 3D в 2D (на экран)

Шейдеры

- Это программы, выполняющиеся на GPU
- Языки: GLSL (OpenGL), HLSL (DirectX)
- В основе языков — Си
- Single Instruction Multiple Data — одна инструкция обрабатывает большой массив данных параллельно

Конвейер

- Вершинный шейдер (Vertex) — производит проекцию трёхмерного мира на двумерный экран
- Фрагментный шейдер (Fragment) — раскрашивает пиксели: текстурирование, освещение, затенение
- Есть другие этапы в конвейере



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Конвеер

- Конвеер — сложная штука
- Оптимизации: отсечение вершин по фасаду (face culling), по глубине (depth test), по трафарету (stencil test)
- Смешивание цветов (color blending)
- Много нюансов и тонкостей



Программирование графики

Две основных проблемы:

- Память — это медленно, мы упираемся в шину
- Синхронизация CPU и GPU



Архитектура движка рендера

- Как оптимально нарезать сущности и интерфейсы?
- Кто и что вычисляет?
- Как поменьше гонять данные по шине?
- Как уместиться в бюджет памяти?
- Как это будет работать на зоопарке железа?

Vulkan

- Потому что OpenGL всё
- Автор - Khronos Group
- Кросс-платформенный
- Скоростной
- Очень громоздкий
- Рендер одного треугольника > 1000 строк кода

Vulkan

- Строительные блоки — renderpass и pipeline
- Renderpass нужен чтобы рендерить в картинку/текстуру
- Её можно сразу отобразить, а можно использовать в следующем проходе как источник
- Проходы рендера используются для создания карт освещения, карт теней, разных декалей
- Renderpass включает в себя несколько конвейеров (pipeline)
- Создание очень негибкое, изменение параметра требует создания ещё одного конвейера (во имя runtime оптимизации)

Vulkan

Свойства конвейера:

- Набор шейдеров
- Атрибуты вершин
- Настройки тестов глубины, шаблона и ориентации (depth, stencil, cull facing)
- Настройки прозрачности (alpha blending)
- Привязки ресурсов (texture binding, UBO binding)
- Константы времени связывания и выполнения (specialized and push constants)

Настройки конвейера нельзя поменять! Надо создавать новый конвейер и переключаться на него!!!!111 Карррл



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Vulkan

- На самом деле проходы рендера не очень нужны на x64
- Они обязательны на смартфонах, там тайловая графика, там так устроены GPU
- На PC есть расширение VK_KHR_dynamic_rendering
- Узнал уже когда всё написал) вот статья:
<https://edw.is/learning-vulkan>



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Архитектура движка

Вулкан диктует интерфейсы:

- Engine
- IRenderPass
- IPipeline



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Архитектура движка

Модель, или Mesh (пока что это одно и то же, хотя это не совсем так):

- координаты и ориентация (как в обычном виде, так и матрицы)
- текстура
- материал
- текущие параметры движения
- линия времени с параметрами изменения движения и ориентации.



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Архитектура движка

```
layout(binding=1) uniform sampler2D texSampler;  
layout(std140, binding=0) uniform UBOMapped {  
    LightInfo lightInfo;  
} uboM;
```

*Привязки GLSL – это мост между памятью хоста и
графического процессора*



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Архитектура движка

Что можно хранить в текстурах:

- Текстуры моделей
- карты нормалей и освещения моделей (normal maps, lightmaps)
- карты затенения сцены (shadow maps)
- выходной фреймбуфер прохода рендера — это тоже текстура



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Архитектура движка

Что мы храним или передаём в буферах?

- Вершины и индексы вершин для моделей
- координаты и ориентацию моделей, в виде соответствующих матриц
- координаты и ориентацию камеры, тоже в виде матриц
- вспомогательные производные матрицы моделей, которые лучше считать на ЦП в интересах скорости, например инверсию матрицы модели
- массивы параметров для экземпляров модели, для instanced render
- индексы карт нормалей и освещения моделей в массиве текстурных карт модели
- данные материалов модели (отдельные от карт освещения)
- координаты источников света и их параметры (интенсивности, цвета итд)



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Архитектура движка

Важно определить, что кому принадлежит:

- вершинный и индексный буфера — свойство Движка (хотя это данные Моделей). Они статичны (мы имитируем движение, умножая каждую вершину на изменившиеся матрицы положения-ориентации)
- текстуры моделей, карты освещения — свойство Модели
- матрицы моделей и камеры — буфер в конвейере (ещё точнее, это Push constant конвейера — это быстрее чем memcpy в буфер)
- данные светильников — ещё один буфер в конвейере (ещё одна push constant)
- выходные фреймбуфера проходов рендера — свойства Проходов Рендера
- карта теней — это тоже фреймбукер одного из Проходов Рендера

ПРОХОДЫ РЕНДЕРА



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Процедурная генерация

Генерация всего:

- Эвклидова классика (кубы, сферы, тела вращения)
- градиентные шумы для ландшафтов, облаков, поверхностей
- фракталы для поверхностей, текстур и частично для растительности
- клеточные автоматы для растительности и сложных структур (горы, камни)
- диаграммы Вороного — текстуры материалов
- L-системы для растительности



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Процедурная генерация

Где взять случайность?

- Libc rand() дорого и тупо
- ???
- ASM rdrand (Ivy Bridge и позже)
- PROFIT!



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Процедурная генерация

- Ландшафт — карта высот из шума Перлина
- Шум Перлина — комбинация случайности и интерполяции
- Ландшафт состоит из двух половинок
- Подсовываем вперёд половинку, уехавшую назад



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Процедурная генерация

- Небо — составное из двух кубических скайбоксов
- Скайбокс 1 — градиент атмосферы, неподвижен
- Скайбокс 2 — звёзды, есть параллакс
- Между ними включено смешивание цветов по маске



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Процедурная генерация

Здания:

- Город вдали — простые квадраты
- Окна — тоже простые квадраты
- Башня — фигура вращения
- Здание рядом — неправильный четырёхугольник с наивной тесселяцией



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Освещение

- Есть много моделей освещения
- В движении — освещение по Фонгу (простое но эффективное, технологии 20-летней давности)
- Полный разбор математики — отдельная большая тема, идите туда: <https://learnopengl.com/>
- Физически достоверное освещение сложное, но реализуемое — следующий этап



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Освещение

Источники света:

- Направленный бесконечно удалённый
- Точечный (всенаправленный)
- Прожектор (узкий луч)
- В демо используется направленный и прожектор



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Освещение

- Затенение — карта теней



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Освещение

Также в движке (в демо не применены):

- Карты нормалей
- Карты освещения (диффузные, блеск, ambient)
- Кубические карты теней
- Тип рендера — прямой (forward)
- Отложенный рендер в планах

Шрифты

- Это мегаскучно, но приходится
- Самому рендерить TTF — слуга покорный!
- ???
- Библиотека STB/STB_truetype.h от Sean Barret
- PROFIT!!!

Шрифты

- Берём шрифт
- Несём его в Linux
- Запускаем ttx/fonttools
- Выдираем только нужные литеры
- Получаем шрифт малого размера



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Пост-обработка

- Надо добавить красок в сером Питере)
- Есть такой эффект для нищих — называется Bloom (свечение)
- Придётся добавить renderpass'ов
- Попутно получаем HDR (High Dynamic Resolution)



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Пост-обработка

1. проход карты теней

1. конвейер теней

2. проход цвета

1. конвейер скайбокса 1 (звёзды), с параллаксом

2. конвейер скайбокса 2 (атмосфера), без параллакса

3. конвейер для проволочных мешей (ландшафт, Лахта)

4. конвейер для мешей с заливкой (буквы, здания на дальнем плане)

5. конвейер шрифтов TTF (буквы)

6. конвейер простого шрифта (строка статуса)

3. проход пост-обработки 1

1. конвейер с гаусс-фильтром по горизонтали

4. проход пост-обработки 2

1. конвейер с гаусс-фильтром по вертикали и гамма-коррекцией



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Пост-обработка

- Порядок важен! Z-сортировка!
- Разные настройки у конвейеров: прозрачность, запись в буфер глубины
- Нужно согласовывать рендерпассы по настройкам LOD и MSAA (я пока не научился), иначе падает FPS (лишние вычисления и перемещения памяти)



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Размер имеет значение

- Ужал с >700к до 167424 байта
- А потом накрыл пакером, вышло 55к



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Размер имеет значение

- отключение и замена библиотек ~40..50%
- опции сборки и компоновки ~15%
- отключение функционала ~35%



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Размер имеет значение

Ключи компилятора:

/permissive- /MP /GS- /GL /W3 /Gy- /Gm- /O1 /sdl-
/fp:precise

/D "_HAS_EXCEPTIONS=0" /fp:except- /GF /GT /WX- /GR-
/arch:AVX

/Gd /Oy /Oi /MT /std:c++20 /FC /Os

/Zc:threadSafelnit- /d2FH4



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Размер имеет значение

Ключи компоновщика:

/MANIFEST:NO /LTCG:incremental /NXCOMPAT
/DYNAMICBASE:NO

/MACHINE:X64 /OPT:REF /OPT:ICF
/SUBSYSTEM:WINDOWS

-d2:-FH4- /stub:stub.bin /EMITPOGOPHASEINFO
/SAFESEH:NO



Размер имеет значение

Стаб MSDOS/PE:

- Можно заменить ключом /stub
- Красивее совместить стаб DOS и стаб PE, так делают пакеры
- У PE x64 сильно больше ограничений чем у x86 — выравнивание секций, паддинг
- Я пытался, но в итоге всё сделал пакер)



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Размер имеет значение

LIBC

- Всё своё ношу с собой
- MSVC redistributable runtime? Можно не надо
- /MT — статическая компоновка



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Размер имеет значение

Из LIBC нам нужно:

- libcmt.lib
- libcmtpt.lib
- libvcruntime.lib
- libvccore.lib



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Размер имеет значение

А LIBC есть в %windir%\system32? Конечно!

- msvcrt.dll
- winmm.dll
- ucrtbase.dll
- msvcp110_win.dll

Линкуемся с ними? Да!



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Размер имеет значение

- Нету трамплинов (thunks) для всех .dll-ек
- Сделай сам:
- <https://stackoverflow.com/questions/9946322/how-to-generate-an-import-library-lib-file-from-a-dll>



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Размер имеет значение

- А ещё посмотрите сюда, тут почти полные исходники LIBC:
C:\Program Files(x86)\Microsoft Visual Studio 14.0\VC\crt\src
- Я запил свой crt0.c, убрав левый шлак из кода пролога



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Размер имеет значение

Отключаем исключения C++:

- Андок ключи /d2FH4 -d2:-FH4-
- Полностью удалить нельзя:
- В секции .pdata лежит unwind-код, который не удалить на этапе сборки (целых 4к кода)
- Можно убрать в пост-обработке, например CFF Explorer



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Размер имеет значение

Упаковщик

- 167424 -> 65536: как???
- Crinkler: не катит, только 32 разряда
- Kkrunchy: не катит, только 32 разряда
- Upx —ultra-brute: 69k
- Squishy: <https://demonzoo.org/productions/295987>
55808 байт

Музыка

- 4klang от Alkatraz прям то что надо
- Принцип: простой конечный автомат, комбинация:
 - синтез волны разных форм
 - суммирование сигналов
 - реверберация
 - прочие простые преобразования

Музыка

- Чистый ASM, инструкции FMUL/FSUB
- Два массива байт:
- Набор голосов и их настройки
- Схема переходов конечного автомата (ноты)

Музыка

- 4klang не катит — только 32 бита (ну конечно...)
- Sointu от Veikko Sariola:
<https://github.com/vsariola/sointu>
- Работает без нареканий и сюрпризов

Сюжет

- Сюжетов всего четыре, я помню только два:
- Герой отправляется в путешествие
- Герой возвращается домой
- Это демо — комбинация)))
- На самом деле попячил откуда-то с ютуба (запрещён в РФ)

Эффекты

- Параллакс небосвода (множим матрицу модели скайбокса на матрицу поворота)
- Прозрачные буквы: альфа-блендинг
- Схлопывание пространства: игры с развёрткой камеры
- «проявление» зелёных букв: ϕ -я $\min()$ для света
- Bloom: пришлось делать кучу проходов конвейера



CHAOS
CONSTRUCTIONS
2024

Зависимости

- GLM
- Vulkan
- STB
- ETL
- WinAPI
- LIBC (совсем чуть-чуть)