Петрозаводский государственный университет Институт математики и информационных технологий

Кафедра теории вероятностей и анализа данных

09.03.02 – Информационные системы и технологии

Отчет о практике по научно-исследовательской работе

Исследование и сравнение алгоритмов генерации уровней в игровых мирах

Выполнили:

студенты 3 курса группы 22305

О. А. Плугин подпись

И. О. Левицкий подпись

Руководитель:

Р. В. Сошкин, к. т. н., старший преподаватель

подпись

Итоговая оценка

оценка

Петрозаводск — 2024

**СОДЕРЖАНИЕ**

[Введение 3](#_Toc167816393)

[Актуальность исследования 3](#_Toc167816394)

[Цель работы 3](#_Toc167816395)

[Задачи работы 3](#_Toc167816396)

[Основы и инструменты 4](#_Toc167816397)

[Определения 4](#_Toc167816398)

[Инструменты 4](#_Toc167816399)

[Алгоритмы генерации лабиринтов 6](#_Toc167816400)

[Алгоритм двоичного дерева 6](#_Toc167816401)

[Алгоритм Sidewinder 8](#_Toc167816402)

[Алгоритм Олдоса-Бродера 10](#_Toc167816403)

[Алгоритм Прима 12](#_Toc167816404)

[Алгоритмы генерации комнат 14](#_Toc167816405)

[Алгоритм с использованием BSP-деревьев 14](#_Toc167816406)

[Алгоритм генерации планов помещений 16](#_Toc167816407)

[Сравнение алгоритмов 18](#_Toc167816408)

[Критерии оценки 18](#_Toc167816409)

[Оценки 18](#_Toc167816410)

[Результаты 18](#_Toc167816411)

[Заключение 19](#_Toc167816412)

[Список литературы 20](#_Toc167816413)

[Приложения 21](#_Toc167816414)

[Двоичное дерево 21](#_Toc167816415)

[Sidewinder 21](#_Toc167816416)

[Олдоса Бродера 22](#_Toc167816417)

[Алгоритм Прима 23](#_Toc167816418)

[Алгоритм BSP Tree 24](#_Toc167816419)

# Введение

## Актуальность исследования

Разнообразие игрового процесса: В современном мире игроки ожидают увлекательного разнообразного геймплея, и одним из эффективных способов достижения этого является использование процедурной генерации уровней. Различные алгоритмы генерации уровней позволяют создавать уникальные игровые миры при каждом запуске игры. Это способствует увеличению интереса и вовлеченности игроков. Такая вариативность особенно важна для жанров игр, например, rogue like или sandbox, где повторяемость контента может быстро наскучить игрокам.

Удержание аудитории: Удержание игроков является важным фактором успеха игры. Процедурная генерация уровней может значительно увеличить время, проводимое игроками в игре, за счёт разнообразности поставляемого контента.

Экономия ресурсов разработчика: Создание большого количества уникальных уровней вручную занимает значительных финансовых и временных затрат. Алгоритмы генерации уровней позволяют разработчикам сократить эти затраты, автоматически создавая уровни.

## Цель работы

Целью работы является исследование и сравнение различных алгоритмов генерации уровней для выявления эффективности, практичности, применимости и влияния их на игровой процесс.

## Задачи работы

1. Провести обзор и классификацию существующих алгоритмов генерации уровней
2. Реализовать прототипы нескольких ключевых алгоритмов генерации уровней для демонстрации их работы и сравнения результатов
3. Оценить преимущества и недостатки описанных в работе алгоритмов по нескольким параметрам
4. Провести анализ разработанных прототипов
5. Исследовать, какие из алгоритмов лучше всего подходят

# Основы и инструменты

## Определения

**Алгоритм** — это точная последовательность инструкций, предназначенных для решения определённой задачи или выполнения определённой операции, чётко определенных и легко понимаемых. Алгоритмы являются базовыми строительными блоками программного обеспечения, определяя логику и порядок действий, которые должны быть выполнены компьютером для достижения желаемого результата.

**Остовное** **дерево графа** (или минимальное остовное дерево) — это подграф связного графа, который содержит все вершины исходного графа и является деревом. Иными словами, остовное дерево включает все вершины графа и наименьшее возможное количество рёбер, необходимое для поддержания связности графа, при этом не образуя циклов.

**Меш** – это основная структура данных, используемая в 3D графике для представления поверхности объекта. Меш состоит из вершин, рёбер и граней, которые вместе образуют полигоны, чаще всего треугольники или четырехугольники.

**Blueprints** – это визуальная система скриптинга в Unreal Engine 5, которая позволяет разработчикам создавать игровую логику, поведение объектов и взаимодействие между ними без необходимости написания кода на традиционных языках программирования, таких как C++. Blueprints являются мощным инструментом для быстрого прототипирования и разработки игр, позволяя использовать визуальные элементы для создания и управления сложными системами.

## Инструменты

### Unreal engine 5

Для визуализации алгоритмов был выбран игровой движок UE 5.

Unreal Engine 5 (UE5) – это мощный игровой движок, разработанный компанией Epic Games. Он предоставляет разработчикам множество инструментов для создания высококачественного контента в различных областях, таких как игры, архитектура, киноиндустрия и виртуальная реальность.

Unreal Engine 5 имеет ряд преимуществ и возможностей для процедурной генерации контента. Некоторые из них представлены ниже:

* **Blueprints**: Blueprints позволяют быстро прототипировать идеи и вносить изменения в реальном времени, что ускоряет процесс разработки и улучшает итеративный дизайн
* **Мощные инструменты для процедурной генерации:** Unreal Engine 5 обеспечивает инструменты для создания процедурно сгенерированных уровней, объектов и контента(PCG), а также позволяет создавать уровни, которые могут динамически изменяться во время игры
* **Интегрированные инструменты моделирования и редактирования:** Unreal Engine 5 предоставляет встроенные инструменты для работы с мешами, такие как моделирование, анимирование, создание и редактирование материалов
* **Гибкость и расширяемость:** Unreal Engine 5 поддерживает интеграцию с кодом на C++, что позволяет при необходимости расширить функциональность Blueprints и использовать собственные алгоритмы процедурной генерации

# Алгоритмы генерации лабиринтов

## Алгоритм двоичного дерева

### Описание

Алгоритм двоичного дерева невероятно прост.

Для каждой клетки лабиринта он случайным образом выбирает, убрать стену в одном из двух направлений. Любая из пар направлений может быть использована, при условии использования её на всём поле – Север/Запад, Юг/Восток, Юг/Запад, Север/Восток.

Особенность алгоритма заключается в том, что ему не нужно хранить состояние лабиринта в памяти, т.к. по условиям генерации гарантируется доступ в любую ячейку поля. Это позволяет генерировать лабиринты огромных размеров без использования большого объёма памяти.

### Сложность алгоритма и затраты памяти

Размер поля равен **m \* n**.

Сложность алгоритма: **O(m \* n)**

Затраты памяти:

* **m \* n** ячеек поля
* **2 \* m \* n** стен (по 1 на направление)

### Недостатки и преимущества

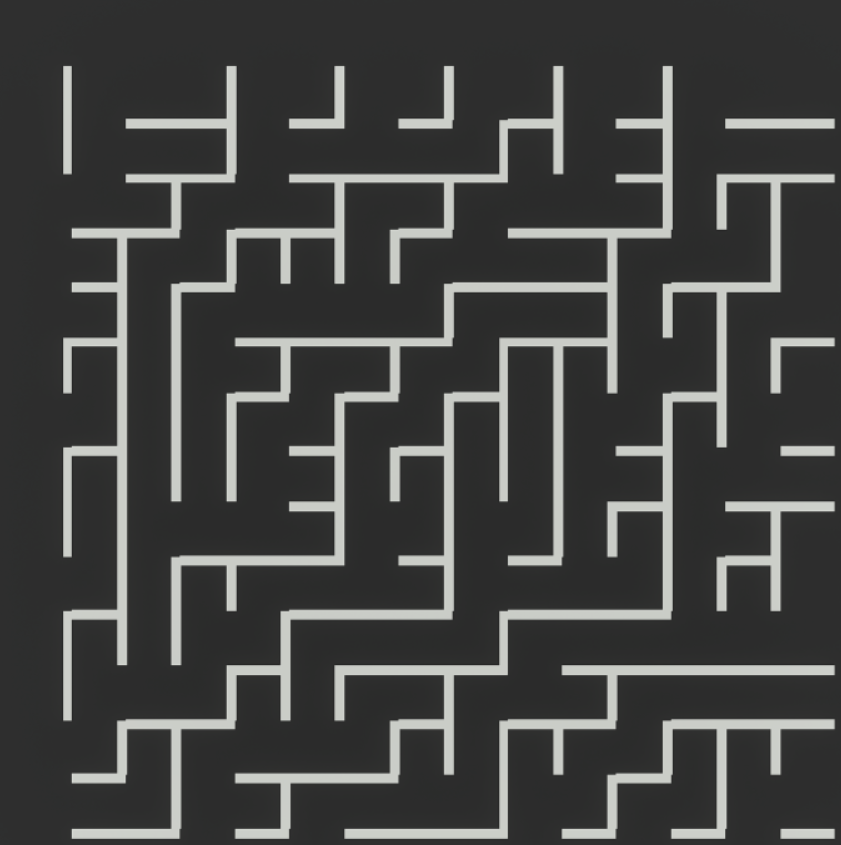
Преимущества

* Простота реализации
* Скорость работы алгоритма
* Малые затраты памяти
* Возможность генерировать лабиринты больших размеров

Недостатки

* Два прямых коридора по краям лабиринта (для гарантии доступа)
* Сильное диагональное смещение
* Однообразие структуры лабиринта
* Ограниченность в направлениях

### Примеры работы алгоритма



## Алгоритм Sidewinder

### Описание

Алгоритм Sidewinder схож с алгоритмом бинарного дерева. Он так же использует случайные числа для определения решения, но в отличие от более простого алгоритма бинарного дерева, содержит только один сквозной коридор и менее заметное смещение по диагонали.

Для каждой строки создаётся множество, называемое «пробежкой» которое может завершиться при ограничении пробежки в её направлении стеной.

По завершении пробежки случайным образом выбирается стена, разделяющая строки, из сохранённого множества, и удаляется. Это необходимо для сохранения гарантии доступа ко всем ячейкам.

### Сложность алгоритма и затраты памяти

Сложность и затраты остаются равными алгоритму бинарного дерева.

Размер поля равен **m \* n**

Сложность алгоритма: **O(m \* n)**

Затраты памяти:

* **m \* n** ячеек поля
* **2 \* m \* n** стен (по 1 на направление)

### Недостатки и преимущества

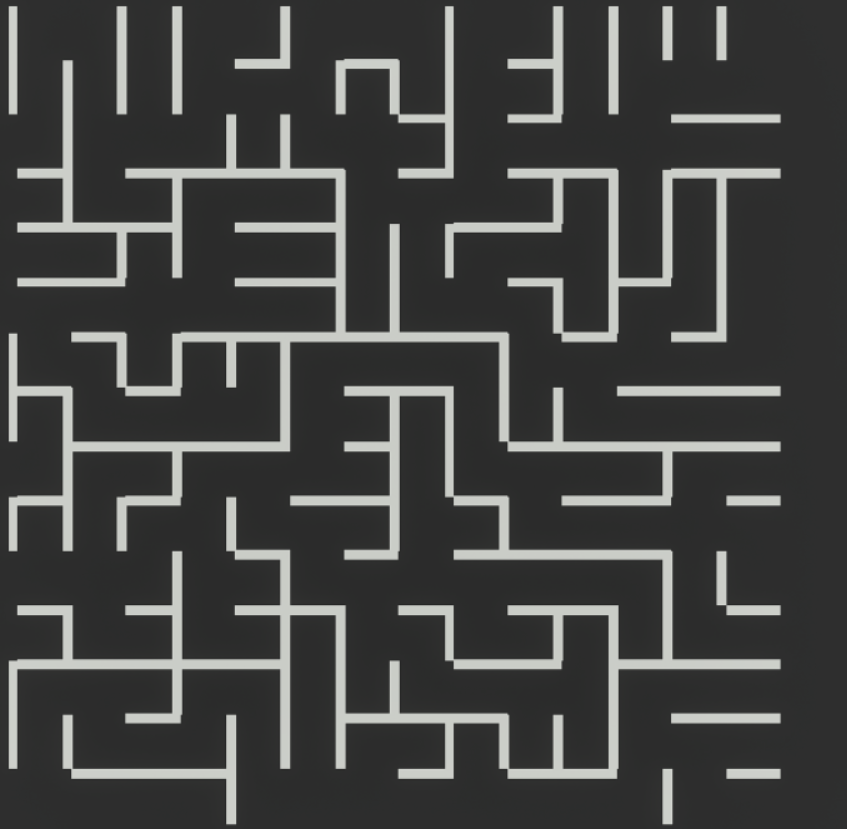
Преимущества

* Простота реализации
* Скорость работы алгоритма
* Малые затраты памяти
* Возможность генерировать лабиринты больших размеров

Недостатки

* Слабая запутанность лабиринта
* Ограниченность в направлениях

### Примеры работы алгоритма



## Алгоритм Олдоса-Бродера

### Описание

1. Алгоритм Олдоса-Бродера начинает с случайной точки в поле. Затем алгоритм блуждает по полю, случайно выбирая направление, в поисках непосещенных вершин.
2. При нахождении непосещенной вершины алгоритм убирает стену между этой клеткой и клеткой, из которой пришел.
3. Этот процесс повторяется до тех пор, пока все клетки не будут посещены.

### Сложность алгоритма и затраты памяти

Размер поля равен **m \* n**

Сложность алгоритма: **O(m \* n)**, но имеет возможность длительного зацикливания

Затраты памяти:

* **m \* n** ячеек поля
* **2 \* m \* n** стен (по 1 на направление)

### Недостатки и преимущества

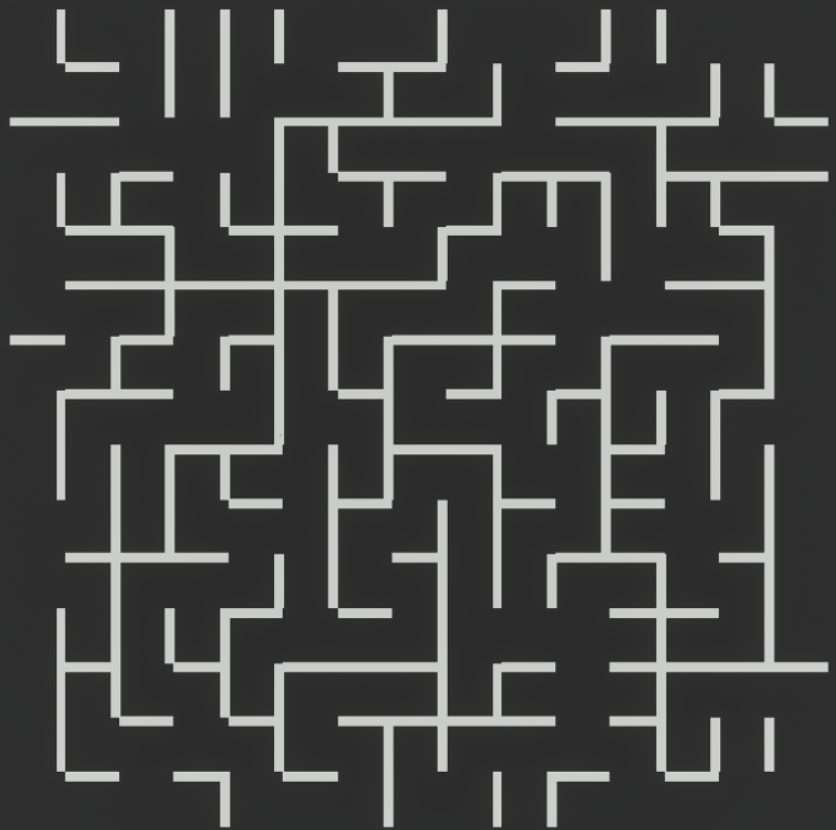
Преимущества

* Малые затраты памяти
* Хаотичность генерируемого лабиринта

Недостатки

* Большие временные затраты алгоритма даже при небольших размерах алгоритма
* Зависимость от генераторов случайных чисел

### Примеры работы алгоритма



## Алгоритм Прима

### Описание

Алгоритм Прима основан на построении минимального остовного дерева взвешенного связного неориентированного графа:

1. Начинаем с произвольной вершины графа, которая добавляется в изначально пустое множество.
2. Выбираем ребро с наименьшим весом, которое соединяет вершину, не находящуюся в множестве, с любой из вершин в множестве.
3. Найденная вершина добавляется в множество.
4. Шаги 2 и 3 повторяются, пока не будут включены все вершины.

### Сложность алгоритма и затраты памяти

Размер поля равен **m \* n**

Количество вершин **V** = m \* n

Количество рёбер **E** = 4V

Сложность алгоритма: **O(ElogV)**

Затраты памяти:

* **m \* n** ячеек поля
* **2 \* m \* n** стен (по 1 на направление)
* **m2 \* n2** ребер

### Недостатки и преимущества

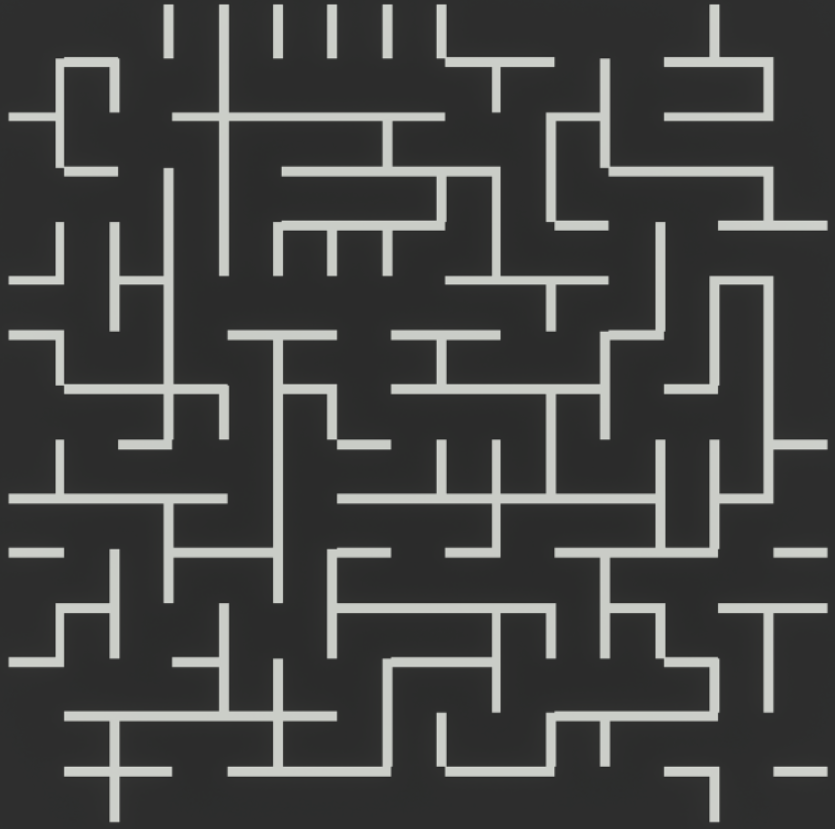
Преимущества

* Равномерное распределение путей в лабиринте
* Сложность создаваемых лабиринтов

Недостатки

* Сильное снижение производительности при увеличении размеров

### Примеры работы алгоритма



# Алгоритмы генерации комнат

## Алгоритм с использованием BSP-деревьев

### Описание

1. Алгоритм с использованием BSP дерева начинается с начальной области заданного размера.
2. Эта область разделяется случайным образом на две части, и этот процесс повторяется, создавая множество непересекающихся областей.
3. Затем в каждой области случайным образом генерируется прямоугольная комната.
4. После создания всех комнат, используем BSP дерево для определения возможных маршрутов между ними, и создаем коридоры, соединяющие комнаты, чтобы обеспечить доступность всех комнат.

После выполнения всех процедур не должно остаться изолированных комнат.

### Сложность алгоритма и затраты памяти

**n** – число ячеек, на которое необходимо разделить область

Сложность алгоритма: **O(n log n)**

Затраты памяти:

* **n** областей
* **n** комнат
* **n** коридоров

### Недостатки и преимущества

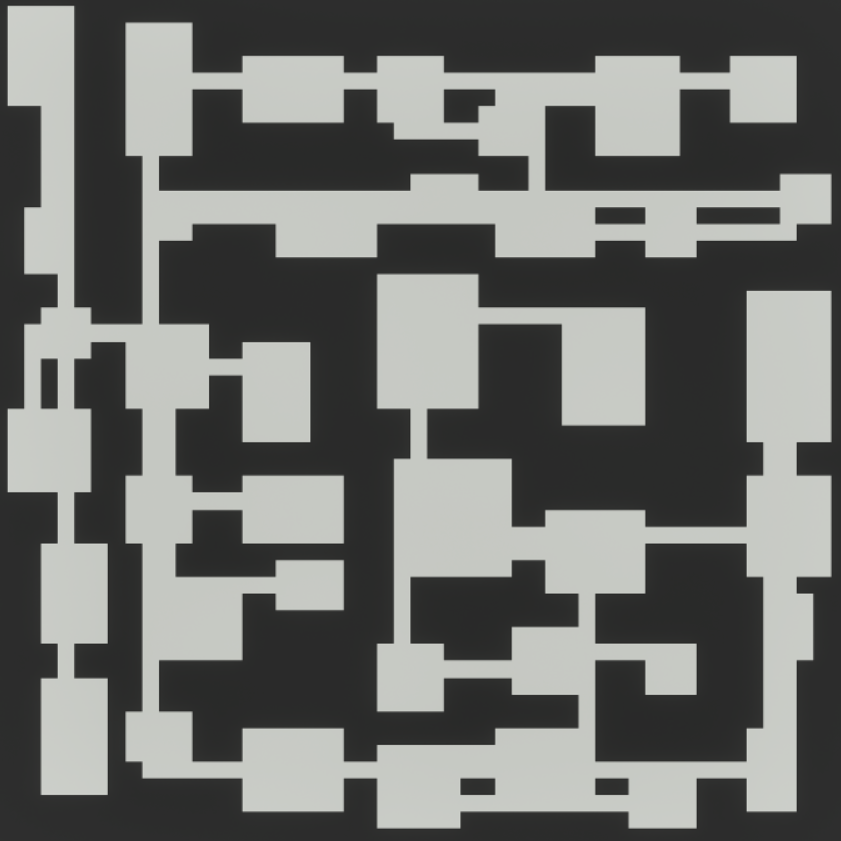
Преимущества

* Гибкость и настройка
* Иерархическая структура

Недостатки

* Создание больших пустых пространств
* Ограниченная случайность
* Сложность соединения комнат

### Примеры работы алгоритма



## Алгоритм генерации планов помещений

### Описание

1. Алгоритм генерации планов помещений начинается с определения начальной области и ее ограничений.
2. Затем, для каждой комнаты, выбираются случайные начальные точки в пределах этой области. Эти точки служат отправной точкой для дальнейшего роста комнат.
3. Каждая комната начинает прямоугольно расти до желаемых размеров, учитывая коэффициенты притяжения к другим комнатам.
4. После завершения роста комнат, оставшееся пустое пространство заполняется дополнительными комнатами или объектами с учетом заданных ограничений и коэффициентов притяжения.
5. Любое оставшееся свободное место присваивается соседним комнатам или объектам в соответствии с их размерами и притяжением.

Такой подход обеспечивает эффективное и естественное размещение комнат и объектов на плане помещений, учитывая их размеры, взаимодействие и начальные ограничения.

### Сложность алгоритма и затраты памяти

Размер поля равен **m \* n**

Сложность алгоритма: **O(m + n)**

Затраты памяти:

* **n** комнат

### Недостатки и преимущества

Преимущества

* Настраиваемые параметры генерации
* Разнообразные и интересные комнаты

Недостатки

* Сложность реализации

### Примеры работы алгоритма



# Сравнение алгоритмов

## Критерии оценки

1. Сложность алгоритма
2. Уникальность результатов
3. Простота реализации
4. Производительность и оптимизация

## Оценки

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Название | Сложность | Уникаль-ность | Реализация | Производ-тельность |
| Двоичное дерево | 5 / 5 | 1 / 5 | 5 / 5 | 4 / 5 |
| Sidewinder | 5 / 5 | 2 / 5 | 5 / 5 | 4 /5 |
| Олдоса-Бродера | 5 / 5 | 3 / 5 | 4 / 5 | 1 / 5 |
| Прима | 4 / 5 | 4 / 5 | 3 / 5 | 3 / 5 |
| BSP Tree | 3 / 5 | 5 / 5 | 2 / 5 | 2 / 5 |
| Планировка | 2 / 5 | 4 / 5 | 1 / 5 | 2 / 5 |

## Результаты

В ходе оценки алгоритмов стало ясно, что более простые в реализации методы, такие как "Двоичное дерево" или "Sidewinder", могут быть привлекательны для создания крупных лабиринтов, однако они обычно порождают стандартные и повторяющиеся узоры. Эти алгоритмы также часто требуют больше времени на обработку данных. С другой стороны, более сложные по реализации методы, такие как "BSP деревья" или "Алгоритм Прима", создают лабиринты или комнаты с уникальными и интересными чертами при меньшей сложности. Именно поэтому они предпочтительнее в контексте разработки игр и других областей, где важно обеспечить уникальный и захватывающий игровой процесс.

# Заключение

В ходе выполнения курсовой работы было проведено исследование, охватывающее различные аспекты создания игровых миров с использованием современных инструментов и методов. В рамках исследования были изучены ключевые компоненты, такие как игровой движок Unreal Engine 5, который является одним из ведущих инструментов для создания игр высокого уровня реализма и качества.

Особое внимание было уделено процедурной генерации уровней, которая становится все более популярным методом в создании игровых миров. В процессе исследования использовались инструменты и техники, такие как Blueprints, позволяющие создавать интерактивные сценарии и уровни без необходимости написания кода.

Кроме того, были рассмотрены и оценены различные алгоритмы генерации лабиринтов и комнат, которые могут быть использованы для создания уровней в игровых мирах. Для проверки и анализа эффективности этих алгоритмов были разработаны прототипы на языке программирования C++.

В процессе исследования был проведен анализ преимуществ и недостатков каждого алгоритма генерации, а также определено, какие из них лучше всего соответствуют требованиям и целям создания игрового процесса. Это позволило выявить наиболее эффективные и подходящие методы для использования в разработке игровых миров.

# Список литературы

1. Buck Jamis. Mazes for Programmers: Code Your Own Twisty Little Passages. – 1-е изд. – Raleigh: Pragmatic Bookshelf, 2015. – 275 c. – ISBN 978-1-68050-055-4
2. Polytechnic University of Catalonia [Электронный ресурс] – URL: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/328169/memoria.pdf>  
   (Дата обращения: 06.05.2024)
3. Хабр // Классические алгоритмы генерации лабиринтов. Часть 1: вступление [Электронный ресурс] – URL: <https://habr.com/ru/articles/320140/> (Дата обращения: 10.05.2024)
4. Хабр // Классические алгоритмы генерации лабиринтов. Часть 2: погружение в случайность [Электронный ресурс] – URL: https://habr.com/ru/articles/321210/ (Дата обращения: 10.05.2024)
5. Envato Tuts+ // How to Use BSP Trees to Generate Game Maps [Электронный ресурс] – URL: <https://gamedevelopment.tutsplus.com/how-to-use-bsp-trees-to-generate-game-maps--gamedev-12268t> (Дата обращения: 12.05.2024)
6. Delft University of Technology // A CONSTRAINED GROWTH METHOD FOR PROCEDURAL FLOOR PLAN GENERATION [Электронный ресурс] – URL: <http://graphics.tudelft.nl/~rval/papers/lopes.GAMEON10.pdf> (Дата обращения 20.05.2024)
7. Delft University of Technology // Constructive generation methods for dungeons and levels [Электронный ресурс] – URL: <https://graphics.tudelft.nl/Publications-new/2016/SLTLB16/chapter03.Online.pdf> (Дата обращения: 25.05.2024)

# Приложения

## Двоичное дерево

std::vector<bool>& BinaryTree::Algorithm() {

int bias = 0;

for (int y = 0; y < roomSize; ++y) {

bias = y \* roomSize;

for (int x = 0; x < roomSize; ++x) {

if (y > 0)

if (rng() % 2 == 0)

if (x != roomSize - 1) DeleteWall(bias + x, bias + x + 1);

else DeleteWall(bias - roomSize + x, bias + x);

else DeleteWall(bias - roomSize + x, bias + x);

else

if (x != roomSize - 1) DeleteWall(bias + x, bias + x + 1);

}

}

return resultGraph;

}

## Sidewinder

std::vector<bool>& Sidewinder::Algorithm() {

int bias = 0, wallToDelete = 0, cx = 0;

for (int y = 0; y < roomSize; ++y) {

bias = y \* roomSize;

for (int x = 0; x < roomSize; ++x) {

if (y > 0)

if (rng() % 2 == 0 && x != roomSize - 1)

DeleteWall(bias + x, bias + x + 1);

else {

wallToDelete = Randomize(rng, cx, x);

DeleteWall(bias - roomSize + wallToDelete, bias + wallToDelete);

if (x != roomSize - 1)

cx = x + 1;

else cx = 0;

}

else

if (x != roomSize - 1) DeleteWall(bias + x, bias + x + 1);

}

}

return resultGraph;

}

## Олдоса Бродера

std::vector<bool>& AldousBroder::Algorithm() {

enum Direction { Up = 0, Down = 1, Left = 2, Right = 3 };

Direction direction;

int unvisitedRooms = roomSizeSqr;

int ix = rng() % roomSize;

int iy = rng() % roomSize;

std::vector<std::vector<bool>> visited(roomSize, std::vector<bool>(roomSize));

visited[iy][ix] = true;

while (unvisitedRooms > 0) {

direction = static\_cast<Direction>(rng() % 4);

switch (direction) {

case Up:

HandleUp(ix, iy);

unvisitedRooms--;

break;

case Down:

HandleDown(ix, iy);

unvisitedRooms--;

break;

case Left:

HandleLeft(ix, iy);

unvisitedRooms--;

break;

case Right:

HandleRight(ix, iy);

unvisitedRooms--;

break;

}

}

return resultGraph;

}

## Алгоритм Прима

std::vector<bool>& Prim::Algorithm() {

if (graph.empty())

graph = GetRandomGraph(roomSize, rng);

std::vector<bool> selected(roomSizeSqr);

int x, y, edgeNum = 0;

selected[0] = true;

while (edgeNum < roomSizeSqr - 1) {

int min = INT\_MAX;

x = 0;

y = 0;

for (int i = 0; i < roomSizeSqr; ++i) {

if (selected[i]) {

for (int j = 0; j < roomSizeSqr; ++j) {

if (!selected[j] && graph[i][j]) {

if (min > graph[i][j]) {

min = graph[i][j];

x = i;

y = j;

} } } } }

DeleteWall(x, y);

selected[y] = true;

edgeNum++;

}

return resultGraph;

}

## Алгоритм BSP Tree

std::vector<bool>& BSPTree::Algorithm() {

auto leafs = CreateLeafs();

resultGraph = GetFloor(leafs);

return resultGraph;

}

std::vector<Leaf\*>& BSPTree::CreateLeafs() {

std::vector<Leaf\*> leafs;

int vectorSize = 0, vectorCapacity = 150;

const int MAX\_LEAF\_SIZE = 5;

Leaf root = Leaf(0, 0, roomSize, roomSize, rng);

bool splited = true;

leafs.reserve(vectorCapacity);

leafs.push\_back(&root);

vectorSize++;

while (splited && vectorSize + 2 < vectorCapacity) {

splited = false;

for (Leaf\* leaf : leafs) {

if (leaf->leftChild == NULL && leaf->rightChild== NULL)

if (leaf->width> MAX\_LEAF\_SIZE

|| leaf->height > MAX\_LEAF\_SIZE ||

(static\_cast<double>(rng()) / rng.max() > 0.25))

if (leaf->Split()) {

leafs.push\_back(leaf->leftChild);

leafs.push\_back(leaf->rightChild);

vectorSize += 2;

splited = true;

}

}

}

root.CreateRooms(roomSize);

return leafs;

}