

УДК 004:911.5

DOI: 10.18101/978-5-9793-1626-0-33-42

ПРОЦЕДУРНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ЛАНДШАФТОВ

© **Дашиев Дмитрий Андреевич**

аспирант,

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления

Россия, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40в

ассистент кафедры вычислительной техники и информатики,

Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова

Россия, 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а

E-mail: dimasdash2@gmail.com

© **Шапеев Дмитрий Юрьевич**

ассистент кафедры вычислительной техники и информатики,

Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова

Россия, 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а

E-mail: ditto96hun@gmail.com

Аннотация. Достижения в области компьютерных технологий и все более широкое использование компьютерной графики в широком спектре приложений приводят к быстрому росту требований к размеру и детализации виртуальных ландшафтов. Вручную создавать огромные, реалистично выглядящие ландшафты и плотно заполнять их ресурсами — дорогостоящая и трудоемкая задача. Как следствие, (полуавтоматическая) процедурная генерация рельефа является популярным методом сокращения объема ручной работы. Однако такие методы, как правило, узкоспециализированы для определенных типов рельефа, и особенно процедурная генерация ландшафтов, состоящих из различных биомов, является малоизученной темой. Мы представляем новую систему, называемую автогенерацией ландшафта, которая способна эффективно создавать обширные ландшафты с различными характеристиками. Кроме того, мы включаем простой в использовании компонент размещения ресурсов, который создает сложные распределения объектов. Результаты показывают, что наша система позволяет быстро создавать реалистичные ландшафты.

Ключевые слова: процедурная генерация рельефа, генерация рельефа, генерация объектов на ландшафте, компьютерные игры, unity

Для цитирования

Дашиев Д. А., Шапеев Д. Ю. Процедурная генерация ландшафтов // Информационные системы и технологии в образовании, науке и бизнесе: материалы региональной научно-практической конференции с международным участием (Улан-Удэ, 1 июля 2021 г.) / отв. ред. А. А. Тонхонова, науч. ред. Е. Р. Урмакшинова. Улан-Удэ: Изд-во Бурят. гос. ун-та, 2021. С. 33–42.

Введение

Постоянно растущий спрос на большие и более сложные виртуальные 3D-миры ставит перед дизайнерами задачу создать и наполнить их жизнью. Существует широкий спектр приложений для огромных и реалистичных 3D-ландшафтов, например компьютерных игр, фильмов и симуляторов. С ростом доступности виртуальных шлемов также появляется все больше возможностей исследовать эти миры в вирту-

альной реальности в более захватывающей среде. Создание этих миров вручную — трудоемкая и дорогостоящая задача, поэтому были проведены обширные исследования в области процедурной генерации ландшафта. Было предложено множество алгоритмов для РТГ, которые можно условно разделить на три типа: синтетические, основанные на физике, и основанные на примерах подходов. Каждый из этих подходов имеет свои сильные и слабые стороны. Большинство используемых в настоящее время методов и генераторов рельефа следует одному из упомянутых подходов и делает акцент только на одном, очень конкретном случае использования. Следовательно, они вряд ли способны удовлетворить более широкий набор требований. Два других важных фактора создания правдоподобных, детализированных 3D-миров в прошлом не привлекали особого внимания: распределение ресурсов и создание ландшафтов как комбинации различных биомов. Однако с ростом размеров 3D-миров растет интерес к ландшафтам с различными характеристиками. Процедурное распределение ресурсов сталкивается с аналогичными проблемами в балансировании требований, как и само создание ландшафта, и не менее важно создать убедительную среду с органичным ощущением.

Наше внимание не ограничивается созданием огромных ландшафтов, но охватывает конкретно ландшафты, состоящие из различных биомов, что является относительно малоизученной темой с дополнительными проблемами. В рамках нашей архитектуры РТГ мы предлагаем эффективную локально-глобальную модель на основе биома и правил для заполнения местности ресурсами. Этот компонент является жизненно важным шагом для создания комплексного решения убедительных 3D-ландшафтов.

Наконец, наша система реализована в движке Unity и предназначена для использования полностью из редактора. При необходимости экспортированную карту высот можно использовать во внешних приложениях.

1. Исследование предметной области

Процедурная генерация используется с 1980-х гг., и было разработано множество различных методов. Методы, основанные на шуме, относятся к синтетическому подходу РТГ, одному из старейших и наиболее широко используемых методов. Примерами хорошо известных функций шума являются шум Перлина (с англ. Perlin) и его улучшенная версия, названная симплексным шумом. Более сложные результаты могут быть достигнуты путем объединения нескольких экземпляров шума с различными частотами, называемыми фрактальным шумом. Генерация рельефа с использованием шума очень популярна, потому что она проста по сравнению с другими подходами и требует небольших вычислительных усилий. Обратные пути это изначально неинтуитивный способ настройки параметров шума и, следовательно, сложность создания действительно реалистичной местности, как описано в разделе.

С другой стороны, основанные на физике процедурные методы генерации ориентированы на создание реалистичных результатов за счет более низкой скорости вычислений. Другим подходом является моделирование динамики жидкости. Большинство его методов основано либо на сетке, называемой эйлеровой, либо на частицах, называемых лагранжевыми. Ведущей концепцией для последних является гидродинамика сглаженных частиц. Хорошо известна также работа Джоса Стэма, который в конечном итоге представил убедительный решатель жидкости в реальном времени, который объединил оба подхода.

Другая концепция методов PTG основана на использовании примеров, например изображений или пользовательских эскизов, и синтезе местности в соответствии с ними. DEMS — это цифровые представления реальных поверхностей земли, обычно частей рельефа земли, а также могут служить примерами для PTG. Используя эти DEMS и методы синтеза текстур, Чжоу с соавторами представили систему, способную генерировать реалистично выглядящие ландшафты, если предоставить соответствующие и подробные данные. Не так давно генеративные нейронные сети могли успешно применяться в области PTG. Гатис с соавторами также предложили интересную методику «перенос стиля», при которой сверточные нейронные сети учатся сочетать художественный стиль одного изображения с основными особенностями произвольных других изображений.

В области формирования распределения ресурсов можно найти две различные концепции. Локальные и глобальные модели основаны на отдельных экземплярах объектов, и с помощью ограниченного размещения и моделирования взаимодействий определяется результирующее распределение. С другой стороны, глобальные и локальные модели определяют положение моделей по заранее выбранному распределению растений.

2. Наше исследование

Мы представляем систему PTG, которая сочетает в себе синтетические, физические и основанные на примерах подходы для создания обширных ландшафтов, состоящих из различных биомов и населенных огромным количеством ресурсов. Мы выбрали инкрементный дизайн трубопровода с акцентом на высокую производительность, чтобы обеспечить пользователю быстрые результаты. В настоящее время конвейер состоит из четырех отдельных основных этапов, каждый из которых настраивается. Прямая визуализация каждого шага повышает удобство использования и обеспечивает быстрый итеративный рабочий процесс. В случае если один шаг не соответствует желаниям пользователя, его можно легко повторить. Кроме того, промежуточные результаты кэшируются, чтобы можно было повторно использовать готовые этапы конвейера. На рис. 1 показаны отдельные четыре этапа нашего последовательного конвейера. Идея состоит в том, чтобы сначала сгенерировать грубую базовую местность, используя функции шума, которые позже уточняются с учетом конкретных деталей биома. Чтобы вычислить реалистичные распределения биомов, мы внедрили многоэтапное моделирование климата, которое тщательно упрощается для удовлетворения требований к производительности при сохранении хороших результатов. Чтобы добавить детали местности, специфичные для биома, мы выбрали подход, основанный на примерах, в котором данные DEM объединяются с ранее сгенерированной базовой местностью. Наконец, можно генерировать распределение ресурсов в соответствии с локальной и глобальной моделью на основе правил.



Рис. 1. Концепция нашей системы генерации рельефа в качестве модели трубопровода

Преимущество этого подхода заключается в том, что мы можем использовать различные стили РТГ на отдельных этапах конвейера и объединять их таким образом, чтобы выявить соответствующую силу, что приводит к лучшему компромиссу между требованиями. Затем распределение биомов вычисляется с помощью нашего физического моделирования климата, что приводит к реалистичным результатам, легко настраиваемым прозрачными параметрами. Очень реалистичные особенности рельефа и детали биома, наконец, быстро добавляются путем наложения изображений DEM, что является подходом, основанным на примерах. Отдельные этапы нашего конвейера и выбранные методы будут описаны более подробно позже.

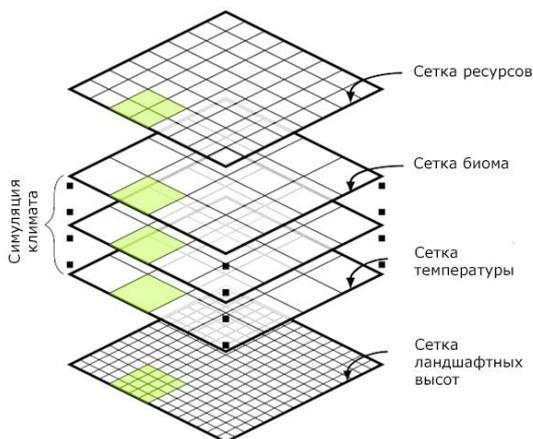


Рис. 2. Используемые структуры данных в виде стека регулярных сеток. Слои могут иметь разное разрешение

По соображениям совместимости с внешними приложениями, например инструментами моделирования или движками 3D-рендеринга, мы решили представлять наши ландшафты картами высот, а не вокселями. Кроме того, мы ис-

пользуем различные разрешения для отдельных этапов нашего трубопровода, например моделирование климата требует менее подробной сетки. Окончательная карта высот может быть экспортирована в виде набора плиток в стандартном формате файла.

2.1 Базовый ландшафт

Для создания базовой местности мы решили использовать синтетические методы РТГ, в частности функции шума. На этом первом этапе мы создаем только пересеченную местность, и такие методы обеспечивают максимальную гибкость и самый широкий диапазон возможных ландшафтов, а также они очень быстрые. Более того, они не ограничены по размеру или разрешению. Физические и основанные на примерах методы были бы более ограничительными, например имели бы больше ограничений между параметрами или нуждались в конкретных примерах изображений, а потенциальные преимущества большей реалистичности и большего количества деталей не имеют значения, поскольку мы уточняем рельеф на последующих этапах. Недостаток функций шума, необходимость утомительной тонкой настройки для получения реалистичных результатов не применяется, потому что необходимо генерировать только высокоуровневую местность.

Мы создаем пересеченную местность, полагаясь на общие функции шума, точнее, на несколько октав симплексного шума, поскольку это хорошо подходит для создания общей фрактальной местности. Этот метод быстр, масштабируем, не слишком сложен с точки зрения удобства использования и достаточен в качестве согласованной, грубой основы. Параметры шума, а также количество октав могут быть установлены пользователем. Однако замена или добавление других функций шума для более разнообразных базовых ландшафтов было бы легкой модификацией. Определяемый пользователем порог отмечает уровень моря, чтобы различать сушу и водные объекты (рис. 3а).

2.2 Генерация климата

Мы разработали климатическое моделирование, которое позволяет генерировать реалистичные или, по крайней мере, правдоподобные распределения с несколькими простыми для понимания параметрами. Для сравнения, функции шума, по нашему мнению, повлекут за собой более тонкую настройку или приведут к менее реалистичным ландшафтам, а методы, основанные на эскизах, потребуют больше ручной работы, которой мы хотим избежать. Однако сложные симуляции являются более дорогостоящими вычислениями, поэтому мы игнорируем некоторые эффекты, чтобы упростить систему и сосредоточиться на разумных приближениях. Цель нашего моделирования климата состоит в том, чтобы добавить физически правдоподобный реализм к местности, оставаясь при этом умеренно быстрым для вычислений.

В соответствии с нашим проектом, основанным на трубопроводе, моделирование климата состоит из нескольких последовательных этапов, а именно: вычисления температуры, ветра и осадков и, наконец, классификации биомов. Первым шагом в нашем климатическом моделировании является вычисление температуры. Следующим шагом является моделирование преобладающего ветра, чтобы распределить позже образовавшуюся влагу по местности. Чтобы сохранить разумно высокую производительность, мы используем итерационный

подход для расчета направлений ветра вместо применения дорогостоящего в вычислительном отношении решателя гидродинамики.

Мы отказались от процесса диффузии и расчетов давления, поскольку мы обрабатываем их отдельно на более позднем этапе трубопровода. На третьем этапе мы используем данные о ветре и температуре для расчета распределения осадков по местности. Опять же мы решили использовать итеративный подход, основанный на моделировании. В основном клетки, помеченные как вода, представляют собой источники влаги.

Ветровые потоки отвечают за распределение влаги. Большая часть влаги переносится в соседнюю ячейку в направлении ветра, но некоторые доли также переносятся в две ячейки, прилегающие к соседнему бору и источнику. Фактическое распределение зависит от направления ветра и предыдущего количества влаги во всех пораженных клетках. Количество выпадающих осадков зависит от местной влажности и температуры и моделируется как двухэтапный процесс.

Наконец, дополнительные осадки вычисляются для ячеек, удерживающих влагу, для имитации других, более локальных причин. Хотя мы предоставляем разумные стандартные значения, система может быть изменена набором пользовательских параметров, управляющих формулами и, следовательно, результатами.

Последним этапом моделирования климата является классификация полученных биомов в соответствии с вычисленными свойствами, в частности температурой и осадками.

На рис. 3 показаны результаты этапов уточнения температуры (b), ветра (c), влажности (d), осадков (e) и рельефа местности (f).

2.3 Улучшение рельефа местности

Чтобы завершить генерацию рельефа, грубый базовый рельеф обогащается более реалистичными деталями, основанными на распределении биомов, обеспечиваемом моделированием климата. Мы решили использовать подход, основанный на подходах, в частности, DEMS, для получения реалистичных деталей местности, специфичных для биома, из-за огромного пула свободно доступных данных DEM, которые можно использовать. DEMS служат примерами, которые могут быть смешаны с базовой местностью. Преимущество заключается в том, что DEMS по своей сути обеспечивают реалистичные особенности и детали рельефа, характерные для биома. Еще один аспект, который необходимо учитывать для ландшафтов с несколькими биомами, заключается в том, что особенно важны органические, естественные переходы биомов. Поэтому мы дополнительно настраиваем ранее вычисленные границы биома. Основная идея состоит в том, чтобы изначально использовать настраиваемый пользователем фрактальный шум на основе симплексов для искажения границ на более детальном уровне. Для этой цели мы выделяем сетку биомов с более высоким разрешением. В зависимости от входных данных другие методы могут иногда приводить к технически правильным, но визуально неудовлетворительным результатам, таким как прямые границы биома.

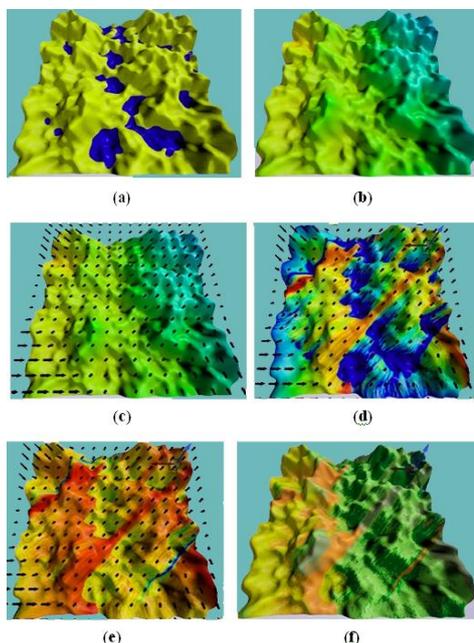


Рис. 3 Промежуточные результаты первых пяти этапов трубопровода.

a. Базовая местность с землей желтого цвета и водой синего цвета.

b. Температура; более теплые цвета, обозначающие более высокие значения, например холодные области синего цвета.

c. Ветер, изображенный ориентациями стрелок.

d. Влажность; более холодные цвета обозначают более высокие значения, например высокие значения влажности в синих областях.

e. Осадки; более холодные цвета снова обозначают более высокие значения.

f. Биомы; цвета обозначают различные биомы, например оранжевый изображает жаркую пустыню, а светло-зеленый — пастбища

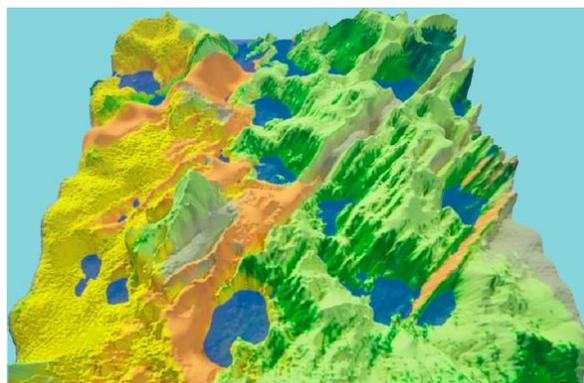
На втором этапе мы вычисляем взвешивание DEM на основе биомов, используя ядро свертки, чтобы смешать соседние биомы и соответствующие им DEM: каждый вес DEM равен площади соответствующего биома внутри границ ядра, пропорциональной всей области ядра. Конечное значение DEM может быть легко вычислено как взвешенная сумма по возникающим DEM. Для простоты мы предполагаем связь один к одному между векселями DEM и картой высот местности.

2.4 Размещение ресурсов

На заключительном этапе нашего конвейера мы заполняем биомы, размещая ресурсы. Мы разработали итеративную, основанную на правилах локальную и глобальную модель, которая, в отличие от глобальных и локальных моделей, позволяет создавать эмерджентные распределения. Дополнительные преимущества заключаются в том, что модель может быть легко изменена или расширена с помощью дополнительных ограничений, а отдельные ресурсы с помощью определенных правил по своей сути учитывают переходы в биоме. Мы также рассматривали возможность использования глобальной и локальной модели в сочетании с реальными данными о распределении растений, но такие данные вряд ли доступны для всех видов биомов.

Мы предоставляем базовую базу данных предопределенных ресурсов, которая может быть легко расширена пользователем. Каждый ресурс связан с набором свойств, например вероятностью кластеризации, допуском тени или расстоянием отталкивания. Размещение выполняется итеративно по принципу метания дротиков, когда выбирается случайная позиция и проверяется на наличие ограничений ресурсов. Наш подход к выборке, как правило, основан на выборке диска Пуассона, где все точки гарантированно поддерживают минимальные расстояния между собой. Мы разделяем ресурсы на несколько основных классов, например органические и неорганические, с соответствующими параметрами, которые помогают улучшить удобство использования. Кроме того, ресурсы разделяются на

категории размера, которые обрабатываются итеративно таким образом, чтобы меньшие ресурсы учитывали ранее размещенные более крупные. С помощью этого метода мы достигаем более правдоподобных смешанных распределений и сред. Как правило, в зависимости от параметров можно моделировать кластерное, случайное или равномерное распределение и все, что между ними.



*Рис. 4. Окончательный рельеф нашей системы PTG.
Различные характеристики поверхности, вызванные распределением нескольких биомов,
можно легко увидеть. Каждый биом также изображен другим цветом*

Поскольку сезоны оказывают значительное влияние на внешний вид покрытия местности, каждый актив может быть связан с четырьмя различными сетками, представляющими его сезонный вид. Затем сетки автоматически меняются местами в соответствии с текущим сезоном, который может быть изменен в режиме реального времени. Кроме того, Unity обеспечивает создание экземпляров, которые улучшают производительность рендеринга, и систему LOD для динамического переключения между уровнями детализации размещенных активов.

Заключение

Мы представили систему на основе конвейера для процедурной генерации ландшафтов с несколькими биомами. Наша модель трубопровода проста в использовании и гибка как в локальном, так и в глобальном масштабе. Наша система может помочь дизайнерам уровней и другим пользователям создавать и быстро перебирать обширные и в то же время визуально правдоподобные ландшафты с несколькими биомами. Этот процесс включает в себя автоматическое, но все еще настраиваемое пользователем население местности с огромным количеством заранее определенных активов после сложных распределений. Использование тщательно упрощенного моделирования климата было центральным элементом успеха. Это не только имеет решающее значение для создания самих биомов и их реалистичного распределения, но и является основой для других аспектов ландшафта, например, для уточнения ландшафта на основе DEM, а также для размещения активов, основанных на конкретных биомах. Наши результаты показали, что генерация происходит достаточно быстро, в то время как ландшафты визуально правдоподобны.

Литература

1. Terrain synthesis from digital elevation models / H. Zhou, J. Sun, G. Turk, J. M. Rehg // IEEE Trans. Vis. Comput. Graph. 2007. № 13(4). Pp. 834–848.
2. Gatys L. A., Ecker A. S., Bethge M. Image style transfer using convolutional neural networks // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2016. Pp. 2414–2423.
3. A survey on procedural modelling for virtual worlds / R. M. Smelik, T. Tuteneel, R. Bidarra, B. Benes // Computer Graphics Forum. Wiley Online Library. 2014. Vol. 33(6). Pp. 31–50.
4. Wulff-Jensen A., Rant N. N., Møller T. N., Billeskov J. A. Deep convolutional generative adversarial network for procedural 3d landscape generation based on dem // 6th EAI International Conference on Arts and Technology. Interactivity & Game Creation. 2018. Pp. 85–94.
5. Amato A. Procedural content generation in the game industry / K. Oliver, L. Newton (eds.). Game Dynamics. Springer, 2017. Pp. 15–25.
6. Gènevaux J. D., Galin É., Guérin E., Peytavie A., Benes B. Terrain generation using procedural models based on hydrology. ACM Trans. Graph. (TOG). 2013. № 32(4). 143 p.
7. Hyttinen T. Terrain synthesis using noise. Master's thesis, University of Tampere. 2017.
8. Ihmsen M., Orthmann J., Solenthaler B., Kolb A., Teschner M. Sph fluids in computer graphics / S. Lefebvre, M. Spagnuolo (eds.). Eurographics 2014. State of the Art Reports. The Euro-graphics Association. 2014.
9. Lin Z. K., Bhojan Anand. Procedural Generation of Roads with Conditional Generative Adversarial Networks // IEEE. New Delhi, 2020. 2 p.
10. Interactive example-based terrain authoring with conditional generative adversarial networks / É. Guérin, J. Digne, E. Galin, A. Peytavie, Ch. Wolf, B. Benes, B. Martinez // Acm Transactions on Graphics (TOG). 2017. № 36; 6. 228 p.
11. Sebastian Lague. Procedural Terrain Generation // YouTube. 2016.
12. Jean-Eudes Marvie. FL-system: A Functional L-system for procedural geometric modeling / Jean-Eudes Marvie, Julien Perret, Kadi Bouatouch // The Visual Computer. 2005. № 21(5). Pp. 329–339.
13. Гончар А. А., Рыбанов А. А. Разработка и исследование модуля процедурной генерации для компьютерных игр // Сборник научных трудов по материалам X Международной научно-практической конференции. Анапа, 2020. С. 47–53. Текст: непосредственный.
14. Гаврилов М. В., Климов В. А. Информатика и информационные технологии. Москва: Юрайт, 2013. 384 с. Текст: непосредственный.
15. Дашиев Д. А., Шапеев Д. Ю. Артхаус игры, или игровое искусство, — творчество компьютерных игр // Научные исследования студентов и учащихся: материалы международной научно-практической конференции (г. Пенза, 30 мая 2021 г.). Пенза: Наука и просвещение, 2021. С. 118–121. Текст: непосредственный.

PROCEDURAL LANDSCAPE GENERATION

Dmitry A. Dashiev

Postgraduate student,

East Siberian State University of Technology and Management

40v Klyuchevskaya St., Ulan-Ude 670013, Russia

Assistant of the Department of Computer Science and Informatics,

Dorzhi Banzarov Buryat State University

24a Smolina St., Ulan-Ude 670000, Russia

E-mail: dimasdash2@gmail.com

Dmitry Yu. Shapeev

Assistant,

Department of Computer Science and Informatics,

Dorzhi Banzarov Buryat State University

24a Smolina St., Ulan-Ude 670000, Russia

E-mail: ditto96hun@gmail.com

Abstract. Advances in computer technology and the increasing use of computer graphics in a wide range of applications are leading to a rapid increase in requirements for the size and detail of virtual landscapes. Manually creating huge, realistic-looking landscapes and densely filling them with assets is an expensive and time-consuming task. As a result, (semi-automatic) procedural terrain generation is a popular method of reducing the amount of manual work. However, such methods tend to be highly specialized for certain types of terrain, and especially the procedural generation of landscapes consisting of different biomes is a little-studied topic. We are introducing a new system called auto landscape generation, which is able to efficiently create vast landscapes with different characteristics. In addition, we include an easy-to-use asset allocation component that creates complex object distributions. Our results show that our system allows you to quickly create realistic landscapes.

Keywords: procedural terrain generation, terrain generation, generating objects on the landscape, computer games, unity