



УДК 004.9:528.7:793.7

ОПТИМІЗАЦІЯ ФОТОРЕАЛІСТИЧНИХ ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ ПІСЛЯ ФОТОГРАММЕТРІЇ ДЛЯ ІГРОВИХ РУШІЙ

ДЖЕВАГА Григорій, ДОЛЯ Артем

Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка,
Чернігів, Україна

dzhevaga.g@gmail.com

У роботі проведено аналіз створення фотореалістичних тривимірних об'єктів методом фотограмметрії. Визначені етапи, умови та інструменти оптимізації тривимірної моделі для подальшого її експорту у ігрові рушії. Досліджено оптимальні налаштування Low-poly-моделі для фотореалістичного відображення об'єктів і мінімального обсягу даних сцени ігрового простору.

Ключові слова: цифрові технології, фотограмметрія, архітектура комп'ютера, комп'ютерна графіка, дизайн ігрового середовища, операційні системи.

ВСТУП

Потреби у створенні фотореалістичних 3D-моделей обумовлені їх використанням для виготовлення тривимірних деталей шляхом 3D-друку, фрезерування на CNC-верстатах, лиття, створення об'єктів для ігрової індустрії, симуляторів віртуальної реальності та тривимірних карт для геодезії. Технічно це стало можливим, зважаючи на стрімкий розвиток обчислювальної потужності GPU та моделей штучних нейронних мереж. Для фахівців цифрових технологій та дизайнерів це створює ряд викликів: виконання великого обсягу рутинної роботи. З цієї причини дизайн, освіта та наука потребують досліджень швидких методів отримання фотореалістичних тривимірних об'єктів. Для створення 3D-моделей використовуються: класичні методи моделювання скульптингу, сканування фізичних об'єктів та алгоритми штучного інтелекту. Одним із сучасних методів для створення статичних тривимірних об'єктів, таких як каміння, предмети інтер'єру, будівлі та інше, є фотограмметрія [1]. Використовуючи метод фотограмметрії, можна отримати максимально реалістичну тривимірну модель, але вона матиме високополігональну структуру і потребуватиме подальшої оптимізації для використання в ігрових рушіях.

Розробниками та дослідниками технології визначення глибини сцени за цифровими знімками з камер є Н. Снейвлі, Р. Хартлі, Е. Зіссерман. Дослідження фотограмметричного методу створення тривимірних моделей архітектурних споруд здійснювали В. Білоус, С. Боднар., Л. Вакулюк,



В. Волошин, П. Дебевек, А. Дунаєвська, Є. Дунаєвський, М. Ейблам, М. Левоу, Д. Лоу, В., А. Тертичний, В. Мельник та О. Рудик. Впровадження фотограмметрії і дослідження проблем здійснюють М. Багаєва, Р. Бедрата, С. Захарченко, Л. Кочеригін, А. Тарновський, М. Тарновський, І. Табакова, Ю. Русінов.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Метою роботи є дослідження оптимізації методу фотограмметрії створення фотореалістичних тривимірних об'єктів для експорту в ігрові руші.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Метод фотограмметрії реалізується за допомогою перетворення набору цифрових 2D-зображень, отриманих за допомогою фотофіксації з різних ракурсів, у тривимірну хмару точок, а потім у полігональну сітку – меш тривимірної моделі, на яку накладається текстура [1; 2]. У сучасній розробці ігор та цифровому дизайні цей процес називається Photogrammetry Pipeline.

Починається процес фотограмметрії зі створення набору цифрових зображень реального об'єкта – Data Acquisition. Якість 3D-моделі на 90% залежить від якості і кількості світлин на цьому етапі [2].

Цифрові зображення завантажуються в спеціалізоване програмне забезпечення Meshroom, RealityCapture або Agisoft Metashape, де вони аналізуються та на різних світлинах знаходяться ідентичні точки. Програма RealityCapture, від компанії Epic Games, яка є розробником Unreal Engine, реалізує автоматизований процес pipeline – отримання фотореалістичних тривимірних моделей у дорогих комерційних проєктах. Швидкість обробки даних RealityCapture перевищує у більше ніж 10 разів за Meshroom. Програма має найкращі алгоритми вирівнювання цифрових зображень у порівнянні з Meshroom. RealityCapture має платну ліцензію для комерційних проєктів з доходом більше 1 мільйона доларів, але для студентів і закладів освіти може використовуватися безоплатно. Проте дана програма має закритий початковий код, і тому неможливо проаналізувати процеси для навчання розробників. Meshroom входить до програмного забезпечення Open Source проєкту та може використовуватися студентами для вивчення принципів фотограмметрії. У процесі створення мешу можна вручну змінювати параметри кожного етапу та впливати на завершальний результат. Обидві програми створення тривимірної моделі за цифровими зображеннями використовують виключно дискретні відеокarti NVIDIA.

Кожне растрове зображення аналізується, а для кожного пікселя визначається глибина розміщення у просторі за допомогою алгоритму масштабно-інваріантного перетворення ознак (SIFT) [4]. Потім дані опорні точки з'єднуються у трикутники полігонів за алгоритмом Пуассона, утворюючи високополігональний меш – high-poly модель. На цьому етапі об'єкт вже є фотореалістичним, але занадто «важким» для ігрового рушія, тому що може складатися з 5–10 мільйонів полігонів [3]. Meshroom може автоматично зменшити їх кількість до прийнятного рівня, наприклад, до 1 мільйона, зберігаючи при цьому візуальні деталі. Оскільки High-poly модель дуже ресурсовитратна для ігрового рушія [3], виконується її постобробка і



оптимізація топології у тривимірному графічному редакторі. Для цього, наприклад, за допомогою графічного редактора Blender у моделі видаляються зайві деталі та неточності об'єкта, тому що під час фотограмметрії захоплюються шматки підлоги, підставки або оточуючі предмети. Потім необхідно за допомогою інструменту Fill закрити дірки, які утворені через брак інформації про точки об'єкта на світлинах, наприклад, у поверхні в отворах чи нижніх або нависаючих частинах об'єкта. Під час ретопології модифікатором Remesh або плагіном RetopoFlow створюється Low-poly модель з чотирикутними полігонами поверх первинної High-poly моделі.

Для накладання текстури на 3D-модель треба зробити UV-розгортку з мінімальною кількістю швів і максимально ефективно заповнити простір текстурою за допомогою автоматизованого інструменту Blender – Smart UV Project або ручним визначенням ребер інструментом Mark Seam, за якими буде створюватися UV-розгортка, та налаштування швів. Далі, завдяки запіканню текстури Low-poly, модель буде мати фотореалістичний вигляд, а файл для експорту у ігровий рушій буде мати малий фізичний розмір, порядку 5 МБ. Через карту нормалей (Normal Map) при запіканні переносяться деталі мікрорельєфу, тріщини та западини з High-poly на Low-poly модель. Через карту шорсткості поверхні (Roughness Map) переносяться умови відбивання світла, наприклад, маска білого кольору ділянки визначає матову поверхню, а чорна – глянцева. Карта розсіювання світла (Ambient Occlusion) переносить інформацію про м'які тіні в заглибинах, додаючи об'єму поверхні. Колір Low-poly моделі для запікання переноситься з вхідних світлин фотограмметрії під час автоматичного текстуровання чи PBR-авторства. Проте, автоматично створені текстури можуть містити тіні та відблиски з реального світу. Якщо помістити таку модель в ігрову сцену з іншим освітленням, вона виглядатиме неприродною, з тінями і світлими ділянками, які не відповідатимуть куту освітлення.

Створення PBR-карт кольору кожного пікселя у Adobe Substance 3D Painter потрібне для того, щоб об'єкт правильно взаємодіяв з джерелами світла у ігровому рушії. Наприклад, за умови накладання текстури у вигляді тільки зображення (Albedo) стіна у ігровому рушії виглядає як плоский плакат або наклеєні шпалери. Поверхня стіни не реагуватиме на світло, не буде об'ємною, а тріщини здаватимуться просто намальованими. Якщо використати PBR-карту, то за рахунок карти нормалей кожна цеглина починає відкидати мікротіні, карта шорсткості робить цеглу матовою, а цемент між ними – ще більш пористим, а карта розсіювання світла додає глибокі тіні в щілинах. Таким чином, стіна здається об'ємною і реалістичною, навіть якщо ви дивитеся на неї під кутом у ігровому просторі. Проте, технічно стіна буде залишатися плоским полігоном та на її прорахунок у сцені витратиметься менше ресурсів відеокарти. Це відбувається через те, що людське око сприймає реалізм не через кількість кутів у моделі, а через те, як світло взаємодіє з поверхнею. Єдине, під час експорту моделі у ігровий рушій, необхідно враховувати те, що Unreal Engine, Unity та Godot інтерпретують дані в каналах текстур по-різному. Unreal Engine використовує стандарт DirectX, у якому



канал Green карти нормалей інвертований, і тому западини ставатимуть випуклостями, а Blender та Unity використовують стандарт OpenGL, тому інвертувати нічого не потрібно. Для запікання текстур у Blender треба у вкладці «Render Properties» вибрати двигун Cycles, у меню «Bake» для Normal Map у випадяючому списку Bake Type обирати Normal. Якщо модель буде використовуватися у Unreal Engine, після запікання необхідно у вкладці Image Editor вибрати створену під час фотограмметрії карту нормалей, перейти у розділ «Image», далі у пункті «Invert» обрати «Green Channel» або через ноду в «Shader Editor».

ВИСНОВКИ

Отже, використання технології фотограмметрії для створення фотореалістичної моделі для сцени ігрового простору є виправданим, якщо здійснити ретопологію мешу та оптимізувати текстуру за рахунок налаштування PBR-карти, яка буде чутливою до джерел освітлення ігрового рушія.

ЛІТЕРАТУРА

1. Багаєва М. А. Аналіз фотограмметрії як методу створення 3D-моделей. *Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті: матеріали 28-го Міжнар. молодіж. форуму, 16-18 квітня 2024 р.* Харків: ХНУРЕ, Т. 3., 2024. С. 322–324. URL: <https://doi.org/10.30837/IYF.IRTTPI.2024.322>
2. Білоус В.В., Боднар С.П. Фотограмметрія. Навчальний посібник. Київ: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2021. 137 с. URL: https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2021/06/navch_pos_fotogrametri_bilous2021_proekt.pdf
3. Табакова І.С., Бедрата Р.Р., Русінов Ю.М. Створення 3D-моделей для ігор. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології : матеріали Молодіжної школи-семінару IX Міжнар. наук.-техн. конф., 14-28 травня 2024 р.* Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», Т. 2., 2024. С. 120-123. URL: <https://openarchive.nure.ua/handle/document/26406>
4. Тарновський А., Захарченко С., Тарновський М. Проблеми сучасних методів тривимірної фотограмметрії. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, 60(2), 2024. С. 31-41. URL: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2024-60-2-31-41>

DZHEVANA H., DOLIA A.

OPTIMIZATION OF PHOTOREALISTIC 3D MODELS AFTER PHOTOGRAMMETRY FOR GAME ENGINES

The paper analyzes the creation of photorealistic three-dimensional objects using the photogrammetry method. The stages, conditions and tools for optimizing a three-dimensional model for its subsequent export to game engines are determined.

Keywords: digital technologies, photogrammetry, computer architecture, computer graphics, game environment design, operating systems.