

СТВОРЕННЯ ТРИВИМІРНИХ ІГРОВИХ РІВНІВ НА ОСНОВІ РЕКОНСТРУКЦІЇ АЕРОФОТОЗНІМКІВ

Глазунова П.А.¹ [ORCID], Олійник Ю.О.² [ORCID]

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», студентка, Україна

²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», к.т.н., доцент, Україна

Анотація. Робота присвячена автоматизованій генерації тривимірних ігрових рівнів на основі реконструкції одиночного аерофотознімка та розробці відповідного методу та програмного забезпечення. Метод поєднує монокулярну оцінку глибини за допомогою Depth Anything V2, семантичну сегментацію об'єктів за допомогою Segment Anything Model 3 та спеціалізовані алгоритми екстракції геометрії чотирьох класів об'єктів – будівель, доріг, дерев і водойм. Також в даному методі використовується система координатних перетворень, що забезпечує уніфікований перехід від двовимірної системи координат фотознімка в тривимірну систему координат ігрового рівня. В основі програмної реалізації лежить мікросервісна архітектура з п'ятьма контейнеризованими Docker-сервісами, що забезпечує логічне розділення компонентів і масштабованість системи. Для розробки обрано мови програмування Python і C#, а в якості кінцевого ігрового рушія – Unity. Запропонований підхід забезпечує повну автоматизацію процесу – від завантаження знімка до отримання готового ігрового рівня.

Ключові слова: розробка ігор, аерофотознімок, тривимірний ігровий рівень, Unity, генерація ігрових рівнів.

Вступ

Створення реалістичних тривимірних ігрових середовищ є однією з найбільш ресурсомістких задач у сучасній розробці відеоігор. При цьому, з кожним роком вимоги до якості і масштабності ігрових світів зростають.

В умовах бойових дій на території України також зростає потреба в оперативному відтворенні конкретних реальних локацій у військових симуляторах для тренування військовослужбовців і планування операцій. Традиційний підхід – відтворення існуючих локацій у вигляді тривимірних

середовищ вручну – потребує значних ресурсів і часу, тоді як існуючі підходи до автоматизації – процедурна генерація та фотограмметрична реконструкція – не задовольняють одночасно вимогам до автоматизації, реалістичності та оптимізації для ігрових рушіїв [1-4].

З огляду на це було розроблено метод генерації тривимірних ігрових рівнів на основі реконструкції аерофотознімків, що забезпечує повну автоматизацію процесу створення, оптимізацію створеного рівня для ігрових рушіїв та відтворення існуючих середовищ.

Основний матеріал

Розроблений метод концептуально базується на підході Sketch2Scene [2], розширеному та адаптованому для роботи з реальними аерофотознімками.

На вхід подається аерофотознімок. На виході отримується збірка (.exe файл) готового ігрового рівня.

Спочатку виконується неймережева обробка вхідного аерофотознімка: оцінюється глибина зображення та виконується семантична сегментація об'єктів. Для створення карти глибини використовується Depth Anything V2 – модель, що складається з кодера Vision Transformer (ViT) і декодера Dense Prediction Transformer (DPT) [5]. Семантична сегментація об'єктів (будівлі, дороги, дерева, водойми) виконується за допомогою SAM3 – моделі з архітектурою подвійного трансформера типу кодер-декодер [6]. Результатом сегментації є набір бінарних масок об'єктів. Для усунення дублювань масок використано алгоритм Non-Maximum Suppression з метрикою Intersection over Union. Наступним кроком карта глибини перетворюється на карту висот, що відповідає вимогам Unity.

Далі генерується splatmap, що керує просторовим розподілом і змішуванням текстурних шарів рельєфу. Бінарні маски сегментованих класів кодується в канали RGBA двох PNG-зображень з плавними переходами між текстурами через гаусове розмиття країв.

Наступний етап передбачає екстракцію тривимірних об'єктів, оснований на обробці масок. Для будівель та водойм виконується морфологічне замикання та спрощення контурів алгоритмом Дугласа-Пекера. Висота споруд

обчислюється порівнянням медіанної глибини даху та прилеглої поверхні. Дорожня мережа будується як планарний граф через скелетонізацію методом медіальної осі. Для виокремлення дерев у масивах застосовується кластеризація DBSCAN. Кожен кластер визначає позицію стовбура (центроїд), радіус крони та висоту окремого дерева.

На всіх етапах використовується уніфікована система перетворення координат. Така система забезпечує перехід від піксельних координат 2D-зображення до метричних координат 3D-сцени. Горизонтальні координати масштабуються за осями, а висота обчислюється через інверсію нормалізованої глибини: максимальна глибина відповідає нульовому рівню землі. Алгоритм також реалізує метричне перетворення площ та медіанну фільтрацію для підвищення стійкості оцінки висот об'єктів.

Для програмної реалізації було обрано мікросервісну архітектуру (рис. 1). Система складається з п'яти контейнерів. Сервіс gateway реалізований за допомогою Python та FastAPI і є єдиною точкою входу: приймає від користувача аерофотознімок та конфігурацію, оркеструє послідовність виклику інших сервісів і повертає користувачу готовий результат. Сервіс depth виконує оцінку глибини за допомогою Depth Anything V2 з використанням GPU, сервіс segment – семантичну сегментацію об'єктів за допомогою SAM3 з використанням CPU. Ці два сервіси запускаються паралельно, що дозволяє скоротити загальний час обробки. Сервіс pipeline генерує карту висот, splatmap та виконує екстракцію тривимірних об'єктів. Сервіс unity запускає Unity Editor у headless-режимі та виконує автоматичну збірку рівня. Передача даних між усіма сервісами здійснюється через спільний Docker volume.

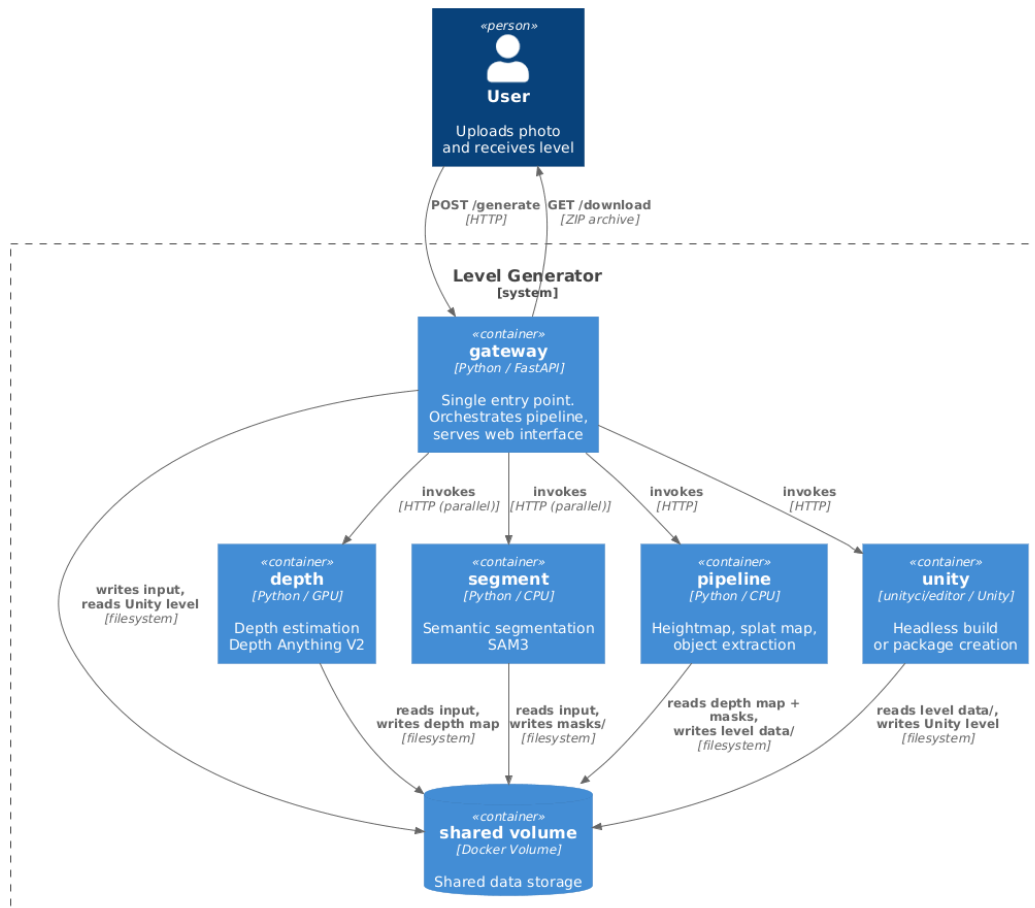


Рисунок 1 – Архітектура системи (діаграма контейнерів) в нотатції C4

Висновки

В даній доповіді представлено метод та програмні засоби для автоматизованої генерації тривимірних ігрових рівнів з одиночного аерофотознімка. Метод поєднує нейромережеву оцінку глибини (Depth Anything V2), семантичну сегментацію об'єктів (SAM3) та спеціалізовані алгоритми екстракції геометрії чотирьох класів об'єктів. Програмна система реалізована у вигляді мікросервісної архітектури і забезпечує повний автоматизований цикл від завантаження аерофотознімка до готового ігрового рівня у Unity. Запропонований підхід одночасно забезпечує повну автоматизацію, оптимізацію результату для ігрового рушія та реконструкцію реальних середовищ, а також значно спрощує і пришвидшує створення і впровадження нових тривимірних ігрових рівнів.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCE

1. Newlands C., Zauner K.-P. Procedural Generation and Rendering of Realistic, Navigable Forest Environments: An Open-Source Tool. Computer Graphics Forum. 2022. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2208.01471>.
2. Sketch2Scene: Automatic Generation of Interactive 3D Game Scenes from User's Casual Sketches / Y. Xu та ін. arXiv preprint arXiv:2408.04567. 2024.
3. Berrezueta-Guzman S., Koshelev A., Wagner S. From Reality to Virtual Worlds: The Role of Photogrammetry in Game Development. 2025 IEEE Gaming, Entertainment, and Media Conference (GEM), м. Kaohsiung, Taiwan, 16–18 лип. 2025 р. 2025. С. 1–6. URL: <https://doi.org/10.1109/gem66882.2025.11155764>.
- 4 .RealFusion 360° Reconstruction of Any Object from a Single Image / L. Melas-Kyriazi та ін. 2023 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), м. Vancouver, BC, Canada, 17–24 черв. 2023 р. 2023. URL: <https://doi.org/10.1109/cvpr52729.2023.00816>.
5. Depth Anything V2 / L. Yang та ін. Advances in Neural Information Processing Systems. 2024. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.09414>.
6. Carion N. SAM 3: Segment Anything with Concepts. 2025. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2511.16719>.

CREATING THREE-DIMENSIONAL GAME LEVELS BASED ON THE RECONSTRUCTION OF AERIAL PHOTOGRAPHS

Polina Hlazunova, Yurii Oliinyk

Abstract. *This paper focuses on automated generation of three-dimensional game levels based on the reconstruction of a single aerial photograph, as well as development of the corresponding method and software. The method combines monocular depth estimation using Depth Anything V2, semantic object segmentation using Segment Anything Model 3, and specialized geometry extraction algorithms for objects of four classes – buildings, roads, trees, and water objects. The proposed method also employs a coordinate transformation system that ensures a unified transition from the two-dimensional coordinate system of the image to the three-dimensional coordinate system of the game level.*

The software implementation is based on a microservice architecture with five containerized Docker services, providing logical separation of components and system scalability. Python and C# were selected as the programming languages, and Unity was used as the target game engine. The proposed approach enables full automation of the process – from image uploading to obtaining a ready-to-use game level.

Keywords: *game development, aerial photograph, three-dimensional game level, Unity, game level generation.*