

УДК 514.18

РОЗРОБКА ВЕБ-ДОДАТКУ ДЛЯ ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕР'ЄРІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ АЛГОРИТМІВ ПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ

Федченко Г.В., канд. техн. наук,

anna-fedchenko@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0690-6017

Сімонова О.Г., канд. техн. наук,

xoro37@ukr.net, ORCID: 0009-0005-4992-4970

Матюшенко М.В., канд. техн. наук,

matushenkonikolay@ukr.net, ORCID: 0000-0003-4727-8993

Гончаров А.О.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (м. Харків, Україна)

В роботі досліджується актуальна тема, що полягає у постійному розвитку технологій веб-дизайну та веб-розробки, які відкривають нові можливості для створення інтерактивних та візуально привабливих веб-сайтів. Розвиток 3D технологій дозволяє створювати детальні віртуальні моделі інтер'єрів, що є особливо важливим для дизайнерських студій, а також індивідуальних замовників, які прагнуть візуалізувати майбутнє облаштування свого житла або офісу. Об'єктом роботи є – процес розробки веб-сайтів, тоді як предметом є методи візуалізації 3D моделей інтер'єрів у рамках веб-дизайну. Наукова новизна роботи полягає в адаптації і оптимізації сучасних технологій веб-розробки для інтеграції складних 3D моделей, що до цього вимагало значних ресурсів комп'ютера та високої обчислювальної потужності. Розробка легких та доступних методів візуалізації може значно спростити процес проектування інтер'єрів та зробити його доступнішим для широкого кола користувачів.

Практичне значення дослідження визначається можливістю використання розробленого сайту для онлайн-презентацій інтер'єрних рішень, що значно підвищує якість обслуговування клієнтів та забезпечує більш ефективне взаємодію між дизайнерами та замовниками. Обираючи програму для створення моделей для візуалізації, було віддано перевагу середовищу Blender. Також для реалізації проєкту було обрано технологію Verge3D. Verge3D є потужним інструментом для створення інтерактивних 3D веб-додатків, що дозволяє безпосередньо взаємодіяти з 3D моделями через веб-браузер. Для локального серверного середовища було обрано OpenServerPanel. Цей інструмент надає всі необхідні засоби для налаштування локального веб-сервера, включаючи підтримку Apache, MySQL, PHP та інших необхідних компонентів. OpenServerPanel забезпечує простоту у встановленні та налаштуванні, що дозволяє швидко розгортати веб-додатки та тестувати їх перед публікацією. Він також підтримує

різні конфігурації серверів, що дозволяє адаптувати його до специфічних вимог проекту. Результатом виконаної роботи є проведення аналізу існуючих методів комп'ютерних технологій 3D моделювання та ретрейсингу промінів, їх можливостей і проблем при вирішенні завдань візуалізації інтер'єрів, а також створення веб-додатку, що забезпечує інтерактивну візуалізацію тривимірних моделей інтер'єрів

Ключові слова: 3D моделювання, просторовий аналіз, ретрейсинг промінів, Blender, Verge3D.

Постановка проблеми. Технології 3D моделювання інтер'єрів сьогодні займають важливе місце в архітектурі та дизайні, дозволяючи створювати детальні, реалістичні візуалізації приміщень до їхньої фізичної реалізації. Ці технології надають дизайнерам інструменти для експериментування з просторовим розміщенням, освітленням, матеріалами та декором.

Розвиток та сфери застосування. 3D моделювання починалося як просте створення цифрових макетів, але згодом еволюціонувало в складну дисципліну, що включає автоматизоване проектування і віртуальну реальність [1]. Ці технології знаходять застосування не тільки у створенні статичних зображень, але й для інтерактивних оглядів майбутніми інтер'єрами, що особливо цінується у сферах нерухомості та комерційного дизайну.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні роки значна увага приділяється покращенню реалізму візуалізацій через використання передових алгоритмів висвітлення та текстуровування [2]. Технології, такі як рейтрейсинг та фотореалістичний рендеринг, дозволяють досягти зображень, близьких до реального вигляду матеріалів та освітлення. Ці технології не тільки покращують візуальне сприйняття проектів, але й допомагають клієнтам та забудовникам краще розуміти пропоновані дизайни.

Проблеми та перспективи розвитку. Основними проблемами у сфері 3D моделювання залишаються високі вимоги до апаратного забезпечення та необхідність постійного навчання фахівців для роботи з новими програмними продуктами та технологіями. Перспективи розвитку спрямовані на інтеграцію автоматизації рутинних завдань та покращення інтерфейсів для більш інтуїтивної взаємодії з 3D моделями. 3D моделювання інтер'єрів залишається важливим інструментом в архітектурі та дизайні, пропонуючи широкі можливості для створення детальних та реалістичних проектів, покращуючи комунікацію між дизайнерами та клієнтами та просуваючи нові технологічні рішення для майбутнього розвитку галузі.

Формулювання цілей статті. Мета роботи полягає в тому, щоб створити веб-додаток, який дозволяє автоматизовано моделювати та візуалізувати інтер'єри у 3D, використовуючи сучасні технології веб-розробки.

Основна частина. Веб-додаток для 3D моделювання інтер'єрів має забезпечувати високу продуктивність та швидкодію, що є критично важливим для забезпечення безперебійного та комфортного користувацького досвіду [3]. Візуалізація тривимірних сцен з високою деталізацією, оброб-

ка складних геометричних даних, ретрейсинг променів вимагають значних обчислювальних ресурсів. Тому під час розробки веб-додатку необхідно враховувати ряд вимог до оптимізації продуктивності. Одним із підходів до оптимізації продуктивності веб-додатків для 3D візуалізації є використання метрик продуктивності та формули, що враховує різні фактори:

Продуктивність = $f(\text{Кількість_полігонів}, \text{Складність_освітлення}, \text{Кількість_об'єктів}, \text{Розмір_текстур}, \text{Тип_обладнання}, \text{Обчислювальна_потужність})$.

Ця формула узагальнює основні фактори, що впливають на продуктивність веб-додатку для 3D моделювання інтер'єрів, та дозволяє виявити потенційні вузькі місця та напрямки для оптимізації.

Розробка веб-додатку для 3D моделювання інтер'єрів вимагає ретельного продумування структури та архітектури системи [4]. Це забезпечить ефективну організацію компонентів, модулів та їхню взаємодію для досягнення необхідного функціоналу та продуктивності. Загалом, веб-додаток для 3D моделювання інтер'єрів можна розділити на три основні компоненти: клієнтську частину (фронтенд), серверну частину (бекенд) та базу даних. Клієнтська частина, або фронтенд, відповідає за візуалізацію 3D моделей, інтерактивність та взаємодію з користувачем. Ці бібліотеки забезпечують зручний інтерфейс для маніпуляції 3D сценами, об'єктами, матеріалами, освітленням, анімацією тощо. Серверна частина, або бекенд, відповідає за обробку даних, виконання обчислювальних задач та взаємодію з базою даних. Для веб-додатку 3D моделювання бекенд виконує такі функції: зберігання та отримання 3D моделей, текстур, матеріалів з бази даних. Обробка та валідація вхідних даних від користувача. Авторизація та керування користувачами. База даних слугує для зберігання та організації даних, необхідних для функціонування веб-додатку. Це можуть бути 3D моделі інтер'єрів, текстури, матеріали, налаштування користувачів тощо. Для ефективного зберігання та маніпуляції 3D даними зазвичай використовують спеціалізовані формати, такі як COLLADA (.dae), Wavefront (.obj), FBX (.fbx) або glTF. Інтеграція між клієнтською та серверною частинами відбувається через API (Application Programming Interface) [5], що визначає правила та протоколи для взаємодії між цими компонентами. Найпоширенішим рішенням є використання RESTful API, де клієнт відправляє HTTP запити (GET, POST, PUT, DELETE) на певні URL-адреси, а сервер відповідає даними у форматі JSON або XML.

Одним з аспектів забезпечення реалістичної та зручної взаємодії з 3D середовищем інтер'єру є інтеграція алгоритмів просторового аналізу для керування положенням та рухом камери. Основною метою інтеграції алгоритмів просторового аналізу для камери є обмеження її руху та положення таким чином, щоб уникнути зіткнень з об'єктами інтер'єру, такими як стіни, меблі або інші елементи. Це досягається шляхом постійного аналізу траєкторії руху камери та виявлення потенційних зіткнень з геометрією сцени. Одним з найпоширеніших алгоритмів, що використовується для цієї мети,

є алгоритм виявлення зіткнень (collision detection) [6]. Цей алгоритм аналізує просторові відносини між камерою та об'єктами сцени, визначаючи, чи перетинаються їх обмежувальні об'єми. У разі виявлення потенційної колізії, рух камери обмежується або коригується таким чином, щоб уникнути проникнення крізь об'єкти. Крім того, можуть бути застосовані алгоритми визначення простору для руху (clearance), які аналізують доступний простір навколо камери та забезпечують плавний рух без зіткнень з перешкодами, щоб розрахувати безпечні траєкторії руху камери. Інтеграція алгоритмів просторового аналізу для керування камерою зазвичай відбувається на серверному боці веб-додатку.

У процесі реалізації веб-додатку для 3D моделювання та візуалізації інтер'єрів необхідно створити реалістичні та деталізовані 3D моделі різних приміщень.

Для цього проекту були змодельовані чотири типові кімнати: кухня, ванна кімната, спальня та вітальня. Приклад кухні показано на рис.1.

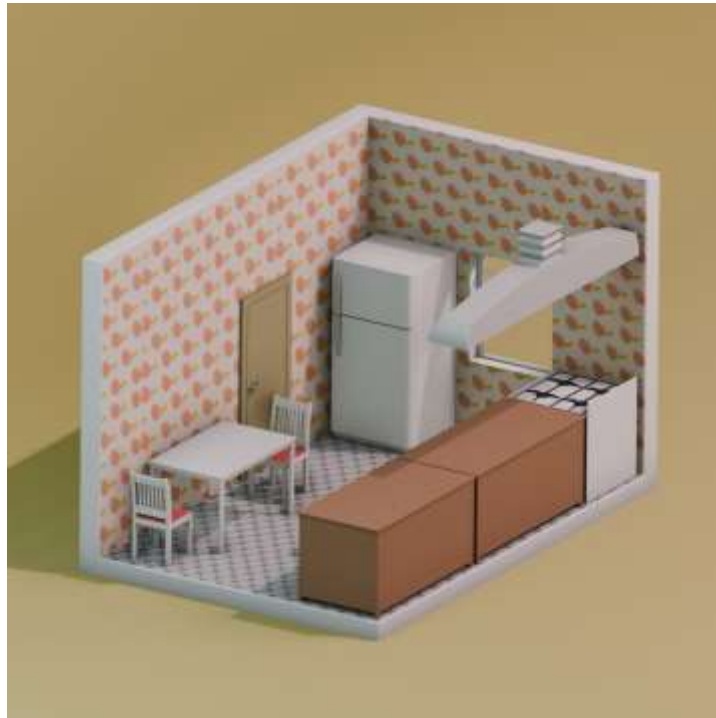


Рис.1. Кухня

Одним з ключових аспектів було впровадження алгоритму виявлення зіткнень (collision detection) для забезпечення реалістичної взаємодії між об'єктами інтер'єру та камери. Були реалізовані умови для камери (рис.2), що роблять неможливими зіткнення камери та об'єкти сцени. Крім того, реалізовано алгоритм упаковки бін (bin packing algorithm) [6], адаптувавши його для аналізу доступного простору та оптимального розміщення меблів у приміщенні. Це дозволило запобігти розміщенню меблів всередині стін або інших об'єктів, забезпечуючи правильне та реалістичне розташування елементів.

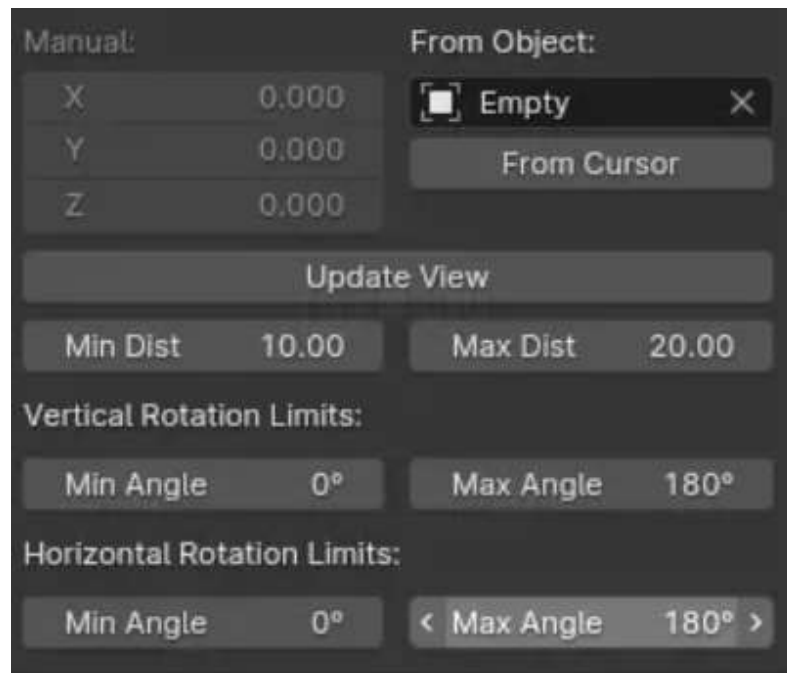


Рис. 2. Умови для камери

У коді присутня функціональність для трасування променів та перевірки перетинів з об'єктами сцени з метою обробки освітлення та тіней.

Функція `getCameraDirection()` обчислює напрямок променя від камери на основі координат курсору або заданих координат на екрані. Вона враховує тип камери (ортографічна чи перспективна) та обчислює вектор напрямку променя відповідно.

Функція `raycast()` здійснює безпосереднє трасування променів і перевірку перетинів з об'єктами сцени. Вона приймає такі параметри: `fromPosObj`: Об'єкт або масив координат, звідки буде відбуватися трасування променів. `dir`: Масив з напрямними векторами променів. `intersectObjsSelector`: Вибірка об'єктів, з якими необхідно перевірити перетини. `onlyVisible`: Прапорець, що вказує, чи перевіряти перетини лише з видимими об'єктами. Функція створює промінь на основі вхідних параметрів та використовує об'єкт `Raycastor` з бібліотеки `Three.js` для перевірки перетинів цього променя з об'єктами сцени. Результати перетинів повертаються у вигляді масиву, де для кожного перетину надаються відомості про об'єкт, точку перетину, нормаль поверхні та координати текстури.

Інтерактивність у контексті веб-додатків для 3D моделювання передбачає можливість користувачів активно взаємодіяти з віртуальним середовищем, змінювати його параметри та отримувати негайний відгук, масштабування та переміщення 3D моделей, вибір та налаштування об'єктів, а також виконання інших дій, які впливають на вигляд і функціональність моделі інтер'єру.

Реалізація візуальних підказок (рис. 3). Візуальні підказки, такі як підсвічування активних елементів або відображення допоміжних текстів при наведенні курсора, підвищують зрозумілість інтерфейсу та сприяють кра-

щому сприйняттю користувачами.



Рис. 3. Візуальні підказки користувачу

Фінальним етапом проекту є процес тестування, який був проведений для забезпечення якості та надійності конструктора дизайнів на сайті. Тестування включало перевірку наявності артефактів під час відображення елементів дизайну, а також функціональне тестування веб-сайту в різних браузерах та розмірах екранів.

Висновки. В рамках роботи було проведено всебічне дослідження та розробку веб-додатку для 3D моделювання інтер'єрів. Робота охоплювала різноманітні аспекти сучасних технологій 3D моделювання, їх інтеграцію в веб-середовище та оптимізацію продуктивності. Сучасні технології 3D моделювання інтер'єрів значно розширили можливості архітекторів та дизайнерів. Використання полігонального, NURBS-моделювання та субдивізійного моделювання дозволяє створювати реалістичні та деталізовані моделі приміщень. Основою для розробки веб-додатку було обрано WebGL. Ця технологія дозволяє створювати високоякісні 3D сцени з інтерактивними елементами та забезпечують високу продуктивність. Для розробки веб-додатку було використано фреймворк Verge3D, який надає потужні інструменти для інтеграції 3D моделей у веб-середовище. Додатково було застосовано OpenServerPanel для локального серверного середовища. Розробка архітектури веб-додатку включала чіткий розподіл функціоналу між фронтендом та бекендом. Фронтенд реалізований на основі JavaScript та бібліотек для 3D графіки, відповідає за відображення та інтерактивність моделей. Бекенд забезпечує обробку складних обчислень, управління даними та інтеграцію з базою даних.

Використання рейтрейсингу променів дозволило створити реалістичні освітлення та тіні в 3D сценах. Це значно підвищило реалістичність та

візуальну привабливість моделей. Дана робота підтверджує можливість ефективного використання веб-технологій для візуалізації інтер'єрів, що може бути корисним для архітектурних бюро, дизайнерських студій та індивідуальних замовників.

Література

1. Derkach A. History of the development and current state of the 3D modeling. *Scientific Bulletin of South Ukrainian National Pedagogical University named after K. D. Ushynsky*, 2023. № 4 (145). pp. 7–14.
2. Wikipedia, the free encyclopedia. WebGL [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/WebGL> (дата звернення: 05.04.2025).
3. Verge3d WIKI. Useful Links [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.soft8soft.com/wiki/index.php/Useful_Links (дата звернення: 05.04.2025)
4. Berndt R., Havemann S., Fellner D. 3D modeling in a web browser to formulate content-based 3D queries. *Proceedings of Web3D 2009: The 14th International Conference on Web3D Technology*. 2009. pp. 111–118.
5. Ofoeda J., Boateng R., Effah J. Application Programming Interface (API) Research: A Review of the Past to Inform the Future. *International Journal of Enterprise Information Systems*. IGI Global, 2019. Vol. 15, no. 3. pp. 76–95.
6. Xing Y., Huang J., Lai Y. Research and analysis of the front-end frameworks and libraries in e-Business development. *2019 International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE)*. 2019. pp. 68–72. DOI: 10.1145/3313991.3314021.

WEB APPLICATION DEVELOPMENT FOR 3D MODELING OF INTERIORS WITH APPLICATIONS ALGORITHMS OF SPATIAL ANALYSIS

Hanna Fedchenko, Olha Simonova, Mykola Matushenko,
Anton Honcharov

The work explores a current topic, which consists in the constant development of web design and web development technologies, which open up new opportunities for creating interactive and visually attractive websites. The development of 3D technologies allows creating detailed virtual models of interiors, which is especially important for design studios, as well as individual customers who seek to visualize the future arrangement of their home or office. The object of the work is the process of developing websites, while the subject is methods of visualization of 3D models of interiors within the framework of web design. The scientific novelty of the work consists in the adaptation and optimization of modern web development technologies for the integration of

complex 3D models, which previously required significant computer resources and high computing power. The development of easy and affordable visualization methods can greatly simplify the interior design process and make it more accessible to a wide range of users.

The practical significance of the study is determined by the possibility of using the developed site for online presentations of interior solutions, which significantly increases the quality of customer service and ensures more effective interaction between designers and customers. When choosing a program for creating models for visualization, the Blender environment was preferred. Also, Verge3D technology was chosen for the implementation of the project. Verge3D is a powerful tool for creating interactive 3D web applications that allows you to directly interact with 3D models through a web browser. OpenServerPanel was chosen for the local server environment. This tool provides all the necessary tools for setting up a local web server, including support for Apache, MySQL, PHP and other necessary components. OpenServerPanel provides ease of installation and configuration, allowing you to quickly deploy web applications and test them before publishing. It also supports different server configurations, which allows you to adapt it to the specific requirements of the project. The result of the performed work is the analysis of the existing methods of computer technologies of 3D modeling and ray tracing, their possibilities and problems in solving interior visualization tasks, as well as the creation of a web application that provides interactive visualization of three-dimensional interior models

Keywords: 3D modeling, spatial analysis, ray tracing, Blender, Verge3D.

Referenses

1. Derkach A. (2023). History of the development and current state of the 3D modelling. *Scientific Bulletin of South Ukrainian National Pedagogical University named after K. D. Ushynsky*, 4 (145). 7–14.
2. Wikipedia contributors. (n.d.). WebGL. Wikipedia. Retrieved July 5, 2025, from <https://uk.wikipedia.org/wiki/WebGL>
3. Verge3D WIKI. (n.d.). Useful links. Retrieved July 5, 2025, from https://www.soft8soft.com/wiki/index.php/Useful_Links
4. Berndt R., Havemann S., Fellner D. (2009). 3D modeling in a web browser to formulate content-based 3D queries. *Proceedings of Web3D 2009: The 14th International Conference on Web3D Technology*. 111–118.
5. Ofoeda J., Boateng R., Effah J. (2019). Application Programming Interface (API) Research: A Review of the Past to Inform the Future. *International Journal of Enterprise Information Systems*. IGI Global. 15(3). 76–95.
6. Xing Y., Huang J., Lai Y. (2019). Research and analysis of the front-end frameworks and libraries in e-Business development. *2019 International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE)*. 68–72. DOI: 10.1145/3313991.3314021.