

УДК 520.607

Разработка VR - симулятора управления FPV - дроном на базе Unity

Нефедов Георгий Денисович	nefedov.goga@yandex.ru
Тюсин Дмитрий Евгеньевич	tyusindima@gmail.com
Плюtto Андрей Петрович	pluttan@ya.ru
Минитаева Алина Мажитовна	minitaeva@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Представлена разработка VR-симулятора для управления FPV-дроном на базе игрового движка Unity с использованием Universal Render Pipeline и XR Interaction Toolkit. Разработана архитектура, включающая симуляцию аэродинамики полета, систему управления через VR-контроллеры, трехмерное городское окружение и систему обнаружения столкновений. Аэродинамическая модель основана на уравнениях движения твердого тела с несколькими степенями свободы и учитывает подъемную силу и силу сопротивления. Разработанный симулятор может быть использован для обучения операторов БПЛА без рисков повреждения оборудования.

Ключевые слова: FPV-дрон, виртуальная реальность, симулятор полета, Unity, аэродинамика, БПЛА

Development of a VR simulator for FPV drone control based on unity

Nefedov George Denisovich	nefedov.goga@yandex.ru
Tyusin Dmitry Evgenievich	tyusindima@gmail.com
Plutto Andrey Petrovich	pluttan@ya.ru
Minitaeva Alina Mazhitovna	minitaeva@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. A VR simulator for FPV drone control is developed using the Unity game engine, the Universal Render Pipeline, and the XR Interaction Toolkit. The architecture includes a flight aerodynamics simulation, a control system via VR controllers, a 3D urban environment, and a collision detection system. The aerodynamic model is based on the equations of rigid body motion with multiple degrees of freedom and takes into account lift and drag. The developed simulator can be used for UAV operator training without the risk of equipment damage.

Keywords: FPV drone, virtual reality, flight simulator, Unity, aerodynamics, UAV

Введение. Беспилотные летательные аппараты с видом от первого лица (First Person View) получили широкое распространение в мониторинге инфраструктуры, сельском хозяйстве, спасательных и военных операциях [1]. Развитые навыки управления дроном — наиболее важный аспект пилотирования. Ошибки оператора могут привести к повреждению дорогостоящего

оборудования, вследствие чего применение виртуальной реальности (VR) для их подготовки позволяет сократить риски, связанные с реальными полетами, и снизить затраты на обучение [2].

Существующие симуляторы FPV-дронов, такие как Liftoff, VelociDrone, DRL Simulator, не обеспечивают полноценной VR-интеграции с реалистичным городским окружением и атмосферой боевых действий [3]. Цель настоящей работы — разработка VR-симулятора управления FPV-дроном на базе Unity, реализующего физику полета, а также управление через VR-контроллеры и взаимодействие с трехмерной городской средой.

Материалы и методы. Симулятор разработан на движке Unity с использованием Universal Render Pipeline, придающий хорошее соотношение качества рендеринга и производительности [4], а XR Interaction Toolkit обеспечивает совместимость с основными VR-платформами.

Аэродинамическая модель основана на уравнениях движения твердого тела с несколькими степенями свободы [5, 6]. Подъемная сила каждого из четырех пропеллеров определяется как $F = k\omega^2$, где k — коэффициент тяги, ω — угловая скорость вращения. Суммарная тяга вычисляется как сумма сил всех пропеллеров. Крен и тангаж реализованы через изменение тяги противоположных пар роторов, рыскание — через разницу реактивных моментов. Сила лобового сопротивления моделируется пропорционально квадрату скорости.

Управление дроном осуществляется через VR-контроллеры: левый стик регулирует тягу и рыскание, правый — крен и тангаж. Трехмерное окружение представляет собой модель городской застройки, включающую здания различной этажности. Модель дрона создана в Blender и экспортирована в формате FBX. Система обнаружения столкновений реализована через коллайдеры Unity с обработкой событий (OnCollisionEnter), включая визуальные эффекты при контакте с объектами.

Апробация симулятора проводилась на гарнитуре HTC Vive (поле зрения 110°, частота обновления 90 Гц, задержка примерно 22 мс). Следует отметить, что данные параметры отличаются от типичных FPV-очков — например, DJI Goggles 2 имеют поле зрения 44 градусов при задержке от 100 мс в HD-режиме, что может влиять на степень переноса навыков управления в реальные условия полета.

Результаты. Архитектура симулятора включает три модуля: модуль аэродинамики, модуль VR-управления и модуль визуализации. Модуль аэродинамики выполняет расчет силовых компонентов — тяга, сопротивление, боковая сила, крен, тангаж. Модуль VR-управления преобразует входные данные с контроллеров в команды дрону с минимальной задержкой. Модуль визуализации осуществляет обработку городского окружения через URP с поддержкой Single Pass Instanced Rendering.

Трехмерная среда включает два городских окружения: мегаполис с высотной застройкой и компактный город с малоэтажной застройкой. В сцене размещены объекты-цели (наземная и морская техника), при столкновении с которыми активируется система разрушений с визуальными эффектами взрыва.

Применение URP с поддержкой Single Pass Instanced Rendering и набора оптимизаций направлено на достижение частоты кадров не ниже 72 FPS — минимального порога, необходимого для комфортного использования VR-симулятора [7].

Обсуждение полученных результатов. Разработанный симулятор обеспечивает реалистичную тренировку для операторов FPV-дронов в условиях, приближенных к боевым действиям, включая городское окружение и достоверную физику полета.

Согласно исследованиям, для предотвращения эффекта укачивания в VR необходима частота кадров не ниже 72 FPS [7, 8]. Архитектура симулятора спроектирована с учетом этого требования. Аэродинамическая модель обеспечивает реалистичное поведение при зависании, наборе высоты и маневрировании между зданиями. Сравнение с российскими VR-тренажерами БПЛА, показало, что разработанное решение использует аналогичный подход к организации VR-управления [9], при этом обеспечивая открытую архитектуру на базе Unity [10] и языка программирования C# [11].

Отличительной особенностью разработанного симулятора является сочетание VR-интеграции, городской среды с элементами боевых действий и системой разрушений объектов. Коммерческие аналоги, описанные ранее, ориентированы преимущественно на спортивное пилотирование и не предоставляют подобного окружения, тогда как отечественные VR-тренажеры БПЛА имеют закрытую архитектуру. Открытая архитектура на базе Unity и C# обеспечивает возможность дальнейшего расширения симулятора.

Заключение. Результатом выполненной работы стал VR-симулятор для управления FPV-дроном на базе Unity, обеспечивающий проработанную физику полета с несколькими степенями свободы, управление через VR-контроллеры и визуализацию в детализированном городском окружении [12]. Результаты могут быть использованы для безопасного обучения операторов БПЛА в условиях, приближенных к реальным.

Список источников

- [1] Tanaka K. A Survey on XR-Based Drone Simulation: Technologies, Applications, and Future Directions. *Drones and Autonomous Vehicles*, 2025, vol. 2, no. 3, art. 10015. <https://doi.org/10.70322/dav.2025.10015>
- [2] Alsamhi S.H., Hawbani A., Kumar S., Curry E. FlyVR in the Sky: Virtual Reality Framework for Unmanned Aerial Vehicles in B5G. *Proc. of Future Technologies Conference (FTC 2023)*, Cham, Springer, 2024, vol. 1. https://doi.org/10.1007/978-3-031-47454-5_41
- [3] Liu Y., Tahir A. Real FPV Drone Simulator with 3D Scan Data and Visual Effects. *ACM SIGGRAPH 2024 Posters*, 2024, no. 32. <https://doi.org/10.1145/3641234.3671073>
- [4] Wang Shi Ke, Wang Cheng Ze, Song Shi Rong. Research on VR Virtual Museum Creation Based on Unity Engine and URP Rendering Pipeline. *Proc. of the 7th Int. Conf. on Big Data and Internet of Things*, New York, ACM, 2023. <https://doi.org/10.1145/3617695.3617732>
- [5] Beard R.W., McLain T.W. *Small Unmanned Aircraft: Theory and Practice*. Princeton, Princeton University Press, 2012.

- [6] Saif E., Eminoglu I. Modelling of Quad-Rotor Dynamics and Hardware-in-the-Loop Simulation. *The Journal of Engineering*, 2022, vol. 2022, no. 7. <https://doi.org/10.1049/tje2.12152>
- [7] Stauffert J.P., Niebling F., Latoschik M.E. Latency and Cybersickness: Impact, Causes, and Measures. A Review. *Frontiers in Virtual Reality*, 2020, vol. 1, art. no. 582204. <https://doi.org/10.3389/frvir.2020.582204>
- [8] Geris A., Cukurbasi B., Kilinc M., Teke O. Balancing Performance and Comfort in Virtual Reality: A Study of FPS, Latency, and Batch Values. *Software: Practice and Experience*, 2024, vol. 54, no. 10. <https://doi.org/10.1002/spe.3356>
- [9] Учебные центры ВС РФ получили VR-тренажеры для подготовки операторов БПЛА. *Российская газета*, 01.07.2024. URL: <https://rg.ru/2024/07/01/reg-szfo/uchebnye-centry-vs-rf-poluchili-vr-trenazhery-dlia-podgotovki-operatorov-bpla.html> (дата обращения 15.02.2026).
- [10] Минитаева А.М., Шайхутдинов А.А. Лаборатория виртуальной реальности кафедры «Компьютерные системы и сети» (кафедра ИУ-6) МГТУ им. Н.Э. Баумана. *Технологии дополненной и виртуальной реальности. I науч.-практ. конф: сб. ст.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025, с. 109–112.
- [11] Минитаева А.М. *Разработка приложений на языке C#: создание веб-серверов и backend-разработка*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024, 40 с.
- [12] Программный код разработанного VR-симулятора для управления FPV-дроном на базе игрового движка Unity с использованием Universal Render Pipeline и XR Interaction Toolkit. URL: <https://github.com/goga336/FPV-Drone> (дата обращения 04.03.2026).