

УДК 004.946

Прототип приложения отработки навыков пилотирования с поддержкой VR-устройств

Курятников Арсений Дмитриевич

kuryatnikovad@student.bmstu.ru

Посевин Данила Павлович

posevin@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Представлен прототип приложения для отработки техники пилотирования и управления летательным аппаратом мультироторного типа, управляемым аппаратными средствами, аналогичными используемым в реальных условиях. Рассмотрены этапы создания виртуального пространства и отображения в нем математической модели летательного аппарата с помощью системы Blueprint среды разработки Unreal Engine 5. Описан алгоритм интерполяции поверхности рельефа местности на основе растровой карты высот и генерации набора полиномов третьей степени, с помощью которого формируется специальный файл в формате 16-bit grayscale PNG, необходимый для последующей передачи в редактор ландшафта. Разработанный прототип приложения подтверждает возможность создания доступного программного средства для моделирования полета летательного аппарата мультироторного типа с учетом законов физики в виртуальной реальности, воспроизводящей условия реальной местности.

Ключевые слова: виртуальная реальность, обучение пилотированию, программа обучения пилотированию, Unreal Engine, Blueprint, моделирование рельефа местности

Prototype of a flight training application with support for VR devices

Kuryatnikov Arseniy Dmitriyevich

kuryatnikovad@student.bmstu.ru

Posevin Danila Pavlovich

posevin@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. A prototype application is presented for practicing the technique of piloting and controlling a multi-rotor aircraft controlled by hardware similar to that used in real conditions. The stages of creating a virtual space and displaying a mathematical model of an aircraft in it using the Blueprint system of the Unreal Engine 5 development environment are considered. An algorithm for interpolating the terrain surface based on a raster height map and generating a set of third-degree polynomials is described, which is used to create a special 16-bit grayscale PNG file required for subsequent transfer to the landscape editor. The developed application prototype confirms the possibility of creating an accessible software tool for simulating the flight of a multi-rotor aircraft, taking into account the laws of physics in a virtual reality environment that reproduces the conditions of a real terrain.

Keywords: virtual reality, flight training, flight training program, Unreal Engine, Blueprint, terrain modeling

Введение. На данный момент существует достаточное количество приложений для моделирования полета летательных аппаратов различного типа, в том числе мультироторного, которые позволяют пользователям отрабатывать навыки управления. Например, большинство приложений реализуют движение аппарата в соответствии с законами физики [1], часть решений предусматривает настройку объекта и обучающие программы [2, 3]. Наличие и доступность подобных симуляторов и программных средств способствует подготовке пилотов к участию в реальных авиационных работах и снижению убытков и времени простоя техники, связанных с поломками, возникающими из-за недостаточного опыта управления летательным аппаратом. Как правило, в существующих аналогах программ не реализована привязка к местности, приближенной к реальной, а также к физически существующему ландшафту. Данный недостаток критичен при подготовке пилота к выполнению авиационных работ на территориях с ландшафтом, изрезанным оврагами, или, например, в труднодоступной горной местности. Таким образом, целью данной работы стало создание прототипа программного обеспечения для пилотирования летательного аппарата мультироторного типа в условиях, приближенных к реальным, путем использования растровой карты высот, полученной из открытых источников.

Материалы и методы. В ходе работы было проведено исследование и обзор способов моделирования полета летательного аппарата мультироторного типа не только с помощью средств и встроенных возможностей Unreal Engine 5 (далее — UE 5) и его системы Blueprint [4], но и, в том числе, в соответствии с математической моделью [5], описывающей тягу и моменты вращения для крена, тангажа и рыскания. Реализация данной математической модели полета летательного аппарата и сравнение с аналогичной реализацией, выполненной средствами Chaos Physics для UE 5, явилось одной из задач для достижения цели данной работы. Были учтены особенности и отличия выбранного объекта моделирования — четырехвинтового аппарата конструктивной конфигурации «правильный X» от конфигурации «плюс», описанной в источнике литературы [5]. Выбор конструктивной конфигурации «плюс» для объекта моделирования в среде UE 5 обоснован ее использованием в пространственных моделях квадрокоптеров.

Результаты. Процесс реализации программы можно разделить на следующие этапы:

1. На первом этапе были выбраны инструменты имитации работы VR-шлема, подходящие под выбранную среду разработки, при этом для дальнейшей отладки работы модели летательного аппарата (объекта моделирования) было принято решение о реализации управления с помощью клавиатуры. На более поздних этапах работы была выполнена интеграция геймпада DualSense, а настройки управления были отредактированы под особенности данного устройства ввода.

2. На втором этапе была реализована имитация рельефа местности с помощью растровых карт высот в формате hgt, полученных из открытых источников [6].

3. Далее был выбран метод Клофа — Точера для интерполяции ландшафта по опорным точкам и его последующего преобразования в формат 16-bit grayscale PNG. Метод Клофа — Точера был выбран по той причине, что он обеспечивает гладкость результата интерполяции, что необходимо для создания привлекательных поверхностей [7]. В данной работе реализована упрощенная версия метода Клофа — Точера, в которой выполнен более простой расчет градиентов — это было сделано по причине того, что реализация данного метода с помощью модуля `scipy.interpolate` библиотеки SciPy языка программирования Python использует сложные методы аппроксимации градиентов, что, в свою очередь, приводит к значительным вычислительным затратам. Для работы с данными в формате `hgt` использовалась библиотека `gdal` [8]. Перепады высот сгенерированного рельефа местности реализуются с помощью цветового разделения.

4. В качестве реального фрагмента местности была взята часть горной системы Гималаи, координаты области которой находятся в пределах от 28.430° до 28.493° с.ш. и от 94.620° до 94.692° в.д., результат представлен на рис. 1.

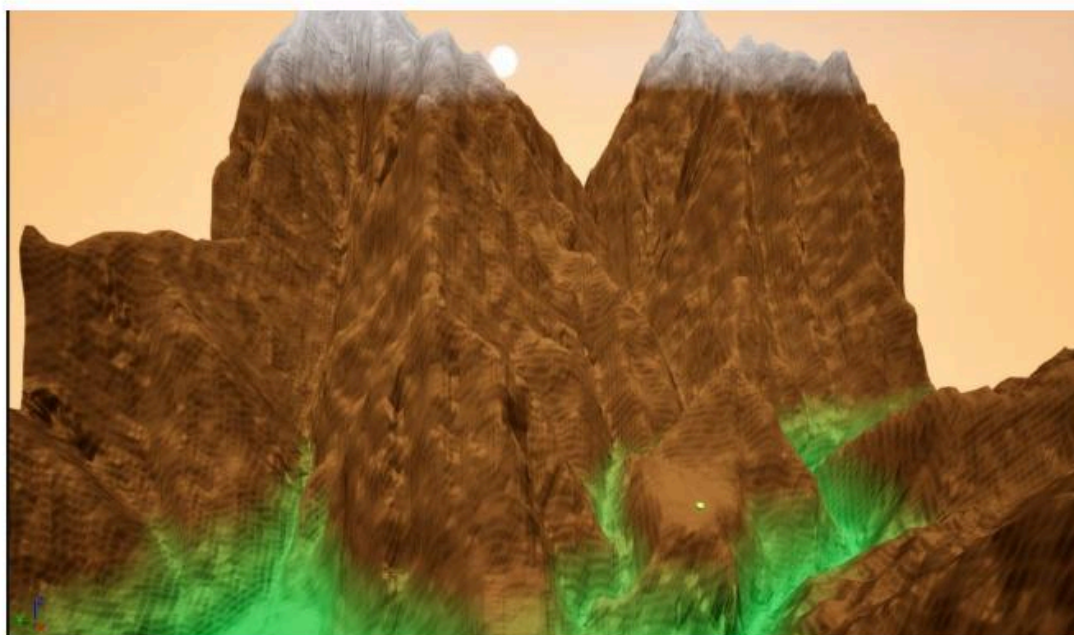


Рис. 1. Фрагмент рельефа местности

Для проверки корректности сборки, работоспособности и реалистичности полученной информационной системы имитации полета было реализовано две модели летательного аппарата или объекта моделирования: одна — соответствует математической модели [5], другая — опирается на физику среды разработки UE 5. Первый вариант реализации представлен на рис. 2.

Обсуждение. Ключевым различием между приведенными реализациями являются точки приложения сил: в первом случае — силы прикладываются к центру объекта, во втором — к каждому винту по отдельности, а вычисления

углов крена и тангажа выполняются средствами UE 5. В результате сравнения двух реализованных моделей были выявлены отличия, приведенные в таблице.



Рис. 2. Вид объекта моделирования

Сравнение реализаций моделей летательного аппарата

Точки приложения сил	Реалистичность поведения	Вычислительная нагрузка	Гибкость настройки
Центр объекта	+	+	+
На каждый винт	+	+	–

Различия в вычислительной нагрузке являются практически незаметными, в то время как гибкость настройки имеет ключевую роль: в первом случае — можно влиять на все характеристики летательного аппарата такие, как расстояние от центра объекта моделирования до винтов, угол между элементами рамы и др., при этом нет необходимости менять конфигурацию объектов по отдельности, что дает возможность тиражировать объекты аналогичной конструкции, во втором случае — доступна лишь частичная модификация, вышеописанные элементы без изменения свойств модели настроить невозможно.

Реализация упрощенной версии алгоритма Клофа — Точера привела к уменьшению времени работы алгоритма генерации ландшафта, а также уменьшению числа артефактов, связанных со сложностями библиотечной

реализации. Таким образом, реализованный метод генерации ландшафта увеличивает количество точек на карте, благодаря чему точность воспроизведения рельефа растет.

Заключение. Таким образом, в ходе данной работы была исследована возможность и реализован прототип приложения с поддержкой VR-устройств для отработки навыков управления летательным аппаратом мультироторного типа в условиях местности, приближенной к реальным. В дальнейшем планируется работа с визуальной составляющей реализованного приложения, улучшение графики, а также добавление дополнительных обучающих модулей, способствующих развитию навыков пилотирования.

Данная работа выполнена в интересах темы № FSFN-2024-0073 государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Список источников

- [1] Савчков С.С. Создание симулятора БПЛА в среде Unreal Engine с применением VR-технологий. *Информационные технологии и инжиниринг. Междунар. молодежная науч.-практ. конф.: сб. матер.* Белгород, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2025, с. 407-410.
- [2] Пиядин А.А. VR симулятор БПЛА «Академия полетов». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025615781 РФ, 2025.
- [3] Гаврилов С.В., Пономарев Н.А., Абдюшева А.Д. Виртуальный VR-тренажер по сборке и управлению беспилотными летательными аппаратами коптерного типа. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024685417 РФ, 2024.
- [4] Blueprints Visual Scripting in Unreal Engine (Epic Games). URL: <https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/blueprints-visual-scripting-in-unreal-engine> (accessed 19.02.2026).
- [5] Ильиных В.В., Андреев С.В., Ключников А.В., Чертков М.С. Математическая модель движения мультироторного беспилотного летательного аппарата. *Надежность и качество сложных систем*, 2025, № 2, с. 34–46. <https://doi.org/10.21685/2307-4205-2025-2-4>
- [6] NASA's Earth Observing System Data and Information System. URL: <https://search.earthdata.nasa.gov> (accessed 05.03.2026).
- [7] Alfeld P. A Bivariate C^2 Clough-Tocher Scheme. *Computer Aided Geometric Design*, 1984, vol. 1, no. 3, pp. 257–267. [https://doi.org/10.1016/0167-8396\(84\)90012-8](https://doi.org/10.1016/0167-8396(84)90012-8)
- [8] GDAL/OGR Geospatial Data Abstraction Software Library (Open Source Geospatial Foundation). URL: <https://gdal.org> (accessed 06.03.2026).