

УДК 004

*Хоменко Д.П., студент**Петросян А.Р., аспірант**Державний університет «Житомирська політехніка»*

МЕТОДИКА ПОБУДОВИ ОПТИМІЗОВАНОЇ 3D-МОДЕЛІ БЕЗПІЛОТНОГО ПОВІТРЯНОГО СУДНА ДЛЯ СИСТЕМ ФІЗИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПОЛЬОТУ

Система фізичного моделювання польоту (симулятор) безпілотного повітряного судна (БПС) необхідна для безпечного та ефективного тестування бортового програмного забезпечення (ПЗ) автопілота без ризику пошкодження апарату. Як зазначається в статті [1], помилки в алгоритмах ПЗ можуть призвести до аварій та створення загрози для оточуючих, а традиційне відлагодження неможливе через безперервність роботи польотного контролера і руху БПС в просторі. Симулятор дозволяє відтворювати повний набір сигналів датчиків і поведінку БПС в 3D-середовищі, моделювати аварійні ситуації, проводити відлагодження та оптимізацію алгоритмів, не ускладнюючи архітектуру ПЗ, що прискорює розробку, знижує витрати і підвищує надійність кінцевого продукту.

Існуючі 3D-моделі БПС поділяються на два типи: орієнтовані на художню візуалізацію та на інженерне проектування. Художні моделі часто не відповідають вимогам метричної точності (габарити, центри мас), тоді як технічні моделі мають надлишкову кількість полігонів і не підтримують формати для інтеграції у фізичні рушії. Це створює розрив між наявними ресурсами та потребами розробників симуляторів.

Метою роботи є розробка та апробація методики створення 3D-моделей, що поєднує оперативність побудови, метричну точність та оптимізацію для фізичних рушіїв реального часу.

Для реалізації завдання було проведено порівняльний аналіз ПЗ: 3ds Max, Blender 3D та Autodesk Fusion 360. Критеріями відбору стали: коректність експорту у формат .fbx, ергономіка інтерфейсу та функціональні можливості. За сукупністю факторів інструментом розробки обрано Blender 3D [2].

Ключовим етапом проектування є перенесення точних розмірів численних дрібних компонентів. Традиційні ручні заміри займають багато часу, тому для оптимізації запропоновано метод 2D-сканування деталей планшетним сканером. Це дає змогу отримати ортогональні проєкції з реальним масштабом 1:1, які можна використовувати як точні кресленики безпосередньо у 3D-редакторі.

Сучасні БПС мають складну геометрію та щільну компоновку компонентів (електроніка, карбонові рами, кріплення). Відтворення

таких об'єктів методом класичного полігонального моделювання вимагає значного часу та високої кваліфікації.

З метою оптимізації часових витрат на етапі формоутворення було застосовано метод конструктивної суцільної геометрії – Boolean operations. Специфіка деталей БПС – чіткі грані, техногенні форми тощо, дозволяє відмовитися від класичної побудови сітки підрозділення геометрії (Sub-D) на користь процедурного об'єднання геометричних примітивів.

Такий підхід (Hard Surface Boolean Workflow) значно пришвидшує створення складної форми, проте генерує топологію з наявністю багатокутників (N-gons). Для вирішення цієї проблеми та підготовки моделі до ігрового рушія застосовано алгоритм автоматичної триангуляції на етапі експорту. Оскільки модель є статичним твердотільним об'єктом (Rigid Body) і не підлягає скелетній деформації, нерегулярність початкової топології не впливає на візуальну якість шейдингу (при правильному налаштуванні нормалей/Auto Smooth) та фізику колізій, забезпечуючи при цьому суттєву економію часу.

В результаті апробації методики було створено конструкцію БПС (FPV-квадрокоптера), що складається з 9 унікальних конструктивних елементів. Загальний час розробки склав орієнтовно 4 години, чим було підтверджено високу ефективність запропонованого підходу для швидкого наповнення фізичних симуляторів точними моделями.

Висновки. Запропонований підхід продемонстрував високу ефективність: час розробки повноцінної конструкції FPV-квадрокоптера було скорочено до 4 годин без втрати візуальної достовірності та функціональної сумісності з фізичними рушіями. Це дозволяє рекомендувати дану методику для прискореного наповнення бібліотек асетів навчальних симуляторів, що є критично важливим в умовах зростаючої потреби при розробці нового ПЗ автопілота та підготовці операторів БПС.

Список використаних джерел:

1. Arsen Petrosian, Ruslan Petrosian, Oleksandra Svintsytska. Test platform for Simulation-In-Hardware of unmanned aerial vehicle on-board computer. Proceedings of the 4rd Edge Computing Workshop. 2024. Vol.3666 . pp. 76-84.
2. Blender Foundation. Modeling and Geometry Nodes. Blender 4.0 Manual. URL: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/index.html> (date of access: 24.11.2025).
3. Unity Technologies. Mesh geometry and topology. Unity Documentation. URL: <https://docs.unity3d.com/Manual/AnatomyofaMesh.html> (date of access: 24.11.2025).