

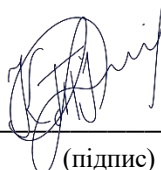
**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

Факультет комп'ютерних наук та кібернетики
Кафедра інтелектуальних програмних систем

**Кваліфікаційна робота
на здобуття ступеня бакалавра**
за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення

на тему:
**3D МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНІМАЦІЯ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ
В ІГРОВИХ ДОДАТКАХ**

Виконала студентка 4-го курсу
Тетяна КУРДЕЛЬЧУК



(підпис)

Науковий керівник:
доцент, кандидат фіз.-мат. наук
Лариса КАТЕРИНИЧ

(підпис)

Засвідчую, що в цій роботі немає запозичень
з праць інших авторів без відповідних
посилань.

Студентка



(підпис)

Роботу розглянуто й допущено до захисту
на засіданні кафедри інтелектуальних
програмних систем
« 25 » травня 2022 р., протокол № 10
Завідувач кафедри
Олександр ПРОВОТАР

(підпис)

РЕФЕРАТ

Обсяг роботи 40 сторінки, 21 ілюстрацій, 17 джерел посилань.

АНІМАЦІЇ, ВИРОБНИЦТВО СКЕЛЕТІВ, ДОСЛІДЖЕННЯ ТІЛА ЛЮДНИ ПІД ЧАС РУХУ, КОМП'ЮТЕРНІ ІГРИ, МОДЕЛЮВАННЯ, ОБЕРНЕНА КІНЕМАТИКА, ПІДХОДИ ДО ТРИВИМІРНОГО ДИЗАЙНУ ПЕРСОНАЖУ, РЕТОПОЛОГІЯ, ТОПОЛОГІЯ, BLENDER, UNREAL ENGINE.

Об'єктом роботи є виготовлення 3D моделі та створення анімації персонажа для комп'ютерної гри. Крім того, робота включатиме огляд різноманітних методів тривимірного моделювання, які існують на даний момент.

Предметом роботи є програмна реалізація моделювання та анімації 3D персонажа.

Метою дипломної роботи є моделювання 3D персонажа та анімація ключових його дій для комп'ютерної гри.

Інструменти розробки: безкоштовне програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом Blender 3.1.2, ігровий рушій Unreal Engine 5.0.2, візуальна мова програмування Blueprint Visual Scripting.

Результати роботи: представлено один із найпоширеніших та найефективніших підходів до тривимірного дизайну персонажів, які є головними дійовими особами та центром уваги майже в кожній грі. Робочий процес детально представлений на практичних прикладах. Він складається зі збору еталонних зображень, ідей, моделювання грубої форми моделі, додавання деталей, а потім створення анімації. В ігровому середовищі демонструється приклад використання виготовлених персонажів.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 3D МОДЕЛЮВАННЯ	9
1.1 Розвиток 3D-моделювання.....	9
1.2 Техніки моделювання	10
1.2.1 Полігональне моделювання	11
1.2.2 Моделювання коробки	11
1.2.3 Моделювання країв/контурів	12
1.2.4 Сплайн-моделювання	12
1.2.5 Скульптурне моделювання	14
1.2.6 Сітка з багатороздільною здатністю.....	15
1.2.7 Динамічна топологія	15
1.2.8 Моделювання за допомогою вокселів	15
1.2.9 3D-сканування	16
РОЗДІЛ 2 СТВОРЕННЯ ПЕРСОНАЖУ	17
2.1 Blender.....	17
2.2 Формування грубої форми	18
2.3 Скульптурування.....	20
2.4 Ретопологія	21
2.5 Топологія	22
2.6 UV-розгортка	22
2.7 Створення скелету.....	24
2.8 Обернена кінематика.....	26
2.9 Визначення впливу на скелет	26
РОЗДІЛ 3 СТВОРЕННЯ АНІМАЦІЇ ДЛЯ 3D МОДЕЛІ.....	28

	4
3.1 Анімація в Blender	28
3.2 Ходьба	29
3.3 Біг	33
РОЗДІЛ 4 ІГРОВЕ СЕРЕДОВИЩЕ	34
4.1 Unreal Engine.....	34
4.2 Створення ландшафту	35
4.3 Експорт 3D моделей.....	36
ВИСНОВКИ	38
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	39

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

3D – Three-dimensional, тривимірний;

2D – Two-dimensional, двовимірний;

VFX – Visual Effects ,візуальні ефекти;

САПР – Системах автоматизованого проєктування і розрахунку;

NURBS - Non-uniform rational basis spline, нерівномірний раціональний базисний сплайн;

UE5 – Unreal Engine 5, ігровий рушій з відкритим вихідним кодом від компанії Epic Games.

UV-розгортка – проєктування 2D-зображення на поверхню 3D-моделі для відображення текстури, літери "U" і "V" позначають осі;

FPS – frames per second, кадри в секунду;

FBX – Filmbox, формат файлів, що використовується для забезпечення взаємодії між програмами для створення цифрового вмісту.

ВСТУП

Оцінка сучасного стану об'єкта розробки. Технологічні досягнення в області комп'ютерної графіки за останні десятиліття сприяли значному підвищенню точності зображення, досягнутої в ігрових середовищах реального часу. В результаті величезні, квітучі світи з площами, що охоплюють сотні віртуальних кілометрів, практично стали стандартом промисловості.

Щоб не відставати від постійно зростаючого попиту гравців на більш реалістичні деталі та різноманітність, художникам доводиться постійно працювати над досягненням ще вищих візуальних стандартів, впроваджуючи нові методи моделювання та методи виробництва у свій робочий процес.

Актуальність роботи та підстави для її виконання. У світі комп'ютерної графіки прогрес неможливо зупинити. З кожним роком розробникам ігор вдається своїми проектами наблизитися до нашого реального сприйняття світу, але їм дещо гальмує розвиток апаратного забезпечення, яке, можна сказати, відстає від розробки програмного забезпечення. Тому розробники ігор, під якими ми маємо на увазі програмістів, а також 3D-дизайнерів та інших, повинні бути обережними при розробці своїх продуктів.

Розробники повинні розумно та ефективно ставити та виконувати свої цілі, щоб усе працювало безперебійно майже на будь-якому сучасному комп'ютері, а 3D-дизайнери повинні бути обережними, щоб не додавати до своїх творінь занадто багато непотрібних деталей, які можуть уповільнити відтворення сцен і систему вцілому.

Тому представлення одного з найпоширеніших та найефективніших підходів до тривимірного дизайну персонажів, які є головними дійовими особами та центром уваги майже в кожній грі – є надзвичайно корисною задачею. Робочий процес детально представлений на практичних прикладах. Він складається зі збору еталонних зображень, ідей, моделювання грубої форми моделі, додавання деталей,

а потім створення анімації. В ігровому середовищі демонструється приклад використання виготовлених персонажів.

Крім того, робота включатиме огляд різноманітних методів тривимірного моделювання, які існують на даний момент.

Мета й завдання роботи. Метою дипломної роботи є моделювання 3D персонажа та анімація ключових його дій для комп'ютерної гри. Для досягнення цієї мети поставлено такі завдання.

- аналіз опорних зображень та ідей.
- моделювання грубої форми 3D моделі.
- зменшення кількості полігонів з базової сітки.
- визначення впливу кісток каркасу на 3D модель.
- аналіз ходьби та бігу людини.
- анімація руху для 3D персонажа.
- застосування 3D моделі в ігровому середовищі.

Об'єкт, методи й засоби розроблення. Об'єктом розроблення 3D моделі персонажа та його анімації для застосування в ігрових додатках є використання найефективніших технологій тривимірного дизайну персонажів, а саме формування грубої форми, культурування, ретопологія, топологія, створення скелету та обернена кінематика.

В якості інструменту створення 3D персонажа було обрано Blender 3.1.2 – пакет для створення 3D об'єктів, який є безкоштовним, вільно поширюваним, з відкритим вихідним кодом. Blender надає весь конвеєр в одному пакеті. Він підтримує моделювання, скульптуру, текстурування, анімацію, моделювання, візуалізацію, композицію та відстеження руху, відеомонтаж, візуальні ефекти (VFX) та навіть конвеєр 2D-анімації. Blender є універсальним програмним забезпеченням, що швидко розвивається. Кожна функція продумана до дрібниць. Інструмент постійно оновлюється та додаються нові можливості.

Для демонстрації 3D моделі та анімації було обрано Unreal Engine 5.0.2 – ігровий рушій з відкритим вихідним кодом у режимі реального часу, створений Epic Games. Інструменти UE5 включають графічний двигун, мову програмування, фізичний двигун, який може моделювати фізичні закони, такі як гравітація, зіткнення, аудіо, відео, штучний інтелект, віртуальну реальність та багато іншого. Для використання своїх компонентів Unreal пропонує користувачам дві мови програмування: C++, на якому побудована повна програма, і власну мову програмування, яка називається Blueprint Visual Scripting, що є об'єктно-орієнтованою системою візуальних сценаріїв. Вона дозволяє користувачам програмувати шляхом об'єднання функціональних блоків і посилань на властивості.

Можливі сфери застосування. Процес 3D моделювання та анімації, що описаний в цій дипломній роботі може застосовуватись розробниками відеоігр, мобільних додатків, 3D дизайнерами, а також мати широке практичне застосування серед початківців, що цікавляться 3D моделюванням.

РОЗДІЛ 1 3D МОДЕЛЮВАННЯ

1.1 Розвиток 3D-моделювання

Протягом десятиліть 3D-комп'ютерна графіка зазнала багатьох розробок: від простих каркасних зображень 3D-об'єктів до фотореалістичних квітучих світів сучасних ігор.

Перший прогрес в історії 3D-моделювання відбувся з появою Sketchpad, також відомого як «Робот-кресляр» Іваном Сазерлендом у 1963 році [1] (рис. 1).



Рисунок 1 – Sketchpad на комп'ютері Lincoln TX-2 у 1963 році

Будучи піонером у комерційно доступних Системах автоматизованого проектування і розрахунку (САПР), він встановив, що комп'ютери можуть використовуватися не тільки для інженерії, але й в інтерактивному режимі дизайнерами та художниками, таким чином порушуючи швидкий розвиток інших САПР та нових технологій.

У 1970-х роках в Університеті Юти Анрі Гуро і Буй Туонг Фонг зробили кілька власних проривів, які покращили візуальні результати за допомогою революційних технік затінення та візуалізації [2].

Чотири роки по тому Вольфганг Штрассер та Едвін Кетмулл незалежно відкрили алгоритм z-буфера, за яким у 1979 році послідували Turned Whitted та рекурсивне трасування променів [3].

Фільм Pixar «Університет монстрів» 2013 року був першим анімаційним фільмом, у якому використовувалася трасування променів для освітлення та затінення.

Наступне десятиліття в історії комп'ютерної графіки відзначилось розробкою нових методів 3D-моделювання, таких як blobby-моделі Джима Блінна та фрактали. Крім того, мета 3D програмного забезпечення нарешті змінилася з виключного відтворення об'єктів і сцен до анімації персонажів [3].

До 1990 року програмне забезпечення САПР набуло широкого поширення. З появою першого персонального комп'ютера IBM і подальшим розвитком 3D-моделювання стало нарешті легко і дешево отримати доступ до професійних програм та обладнання для будь-якої компанії, фрілансера та любителя [2].

Проте, це лише деякі з найвизначніших подій і досягнень у 3D комп'ютерній графіці, які допомогли запровадити численні нові технології, підходи, методи та засоби для створення 3D-контенту.

1.2 Техніки моделювання

Завдяки стрімкому розвитку в області комп'ютерної графіки за останні роки з'явилася велика різноманітність унікальних технік і підходів моделювання. Однак багато художників-початківців все ще схильні вважати 3D-моделювання стандартним набором інструментів полімоделювання з підрозділами, витягуваннями та вставками.

Незважаючи на те, що описаний робочий процес дійсно існує, він є лише одним із багатьох передових і універсальних методів моделювання, які існують на даний момент.

1.2.1 Полігональне моделювання

Полігональне моделювання є найстарішою технікою 3D-моделювання, яка залишається одним з найпопулярніших підходів, що використовуються багатьма розробниками ігор.

Багатокутники, по суті, є прямокутними фігурами, які складаються з трьох основних компонентів: вершин (тривимірних точок), ребер (лінії між двома точками) і граней (внутрішня область між ними) [4].

При з'єднанні ці полігони створюють мережу, відому як полігональна сітка.

1.2.2 Моделювання коробки

Коробкове моделювання, яке часто поєднується з поверхнями поділу (рис. 2), є найпоширенішою формою техніки полігонального моделювання, яка часто зосереджується на одночасному маніпулюванні цілими формами та великими частинами об'єкта.

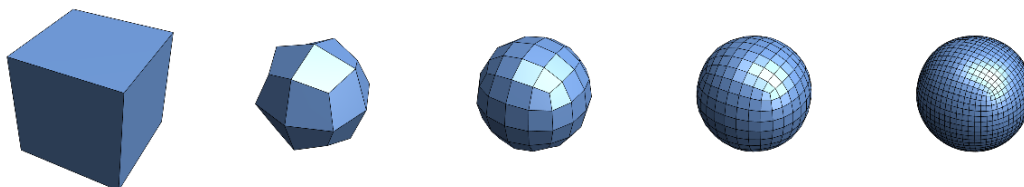


Рисунок 2 – Поверхня поділу, де кожна грань якої розділена на менші багатокутники, щоб надати моделі гладкий вигляд, зберігаючи загальну форму.

Виготовлення моделі зазвичай починається з низькополігонального геометричного примітиву, такого як куб, сфера або циліндр. Потім художник поступово уточнює свою форму, керуючи окремими гранями, ребрами та вершинами за допомогою традиційних інструментів моделювання.

1.2.3 Моделювання країв/контурів

Моделювання країв це ще один метод полігонального моделювання, але він принципово відрізняється від блочного моделювання.

На відміну від попереднього методу, модель в основному будується поступово шляхом розміщення петель багатокутних граней вздовж виступаючих контурів. Після чого, заповнюються проміжки між ними за допомогою таких інструментів, як міст або кришка.

Точність, яку забезпечує техніка моделювання країв, робить її ідеальною для моделювання нерегулярних сіток, які вимагають суворого керування потоком країв і топологією (наприклад, обличчя людини (рис. 3)).

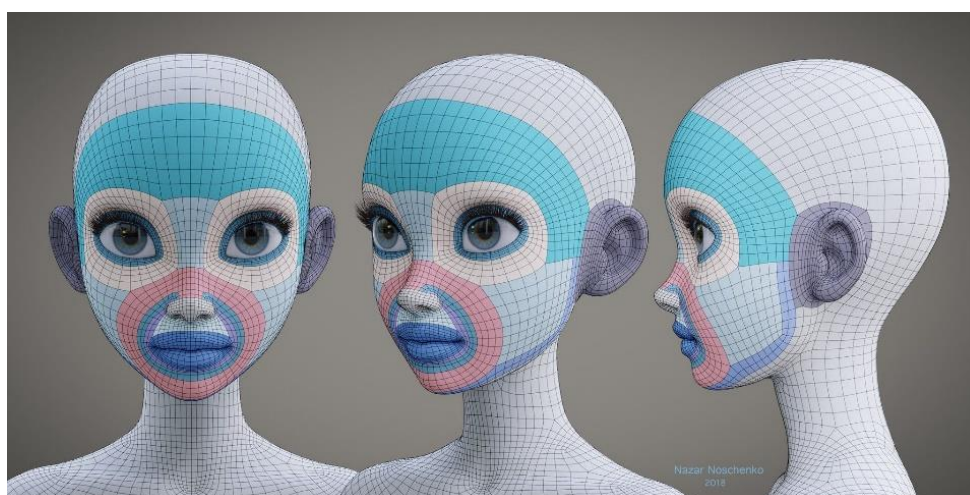


Рисунок 3 – Приклад реберного потоку та топології жіночого обличчя

Однак, щоб використовувати цю техніку повною мірою, художник повинен заздалегідь ретельно спланувати геометрію моделі, що може бути особливо складним для початківців.

1.2.4 Сплайн-моделювання

Моделювання технікою Нерівномірного раціональний базисного сплайну (NURBS) є промисловим стандартом для проектування та моделювання поверхонь зі складеними кривими.

У певному сенсі це схоже на техніку полігонального моделювання. Однак замість того, щоб працювати зі стандартними моделюючими функціями, такими як краї чи грані, художник створює форму об'єкта з кривими, а потім утворює навколо них поверхні (рис. 4).

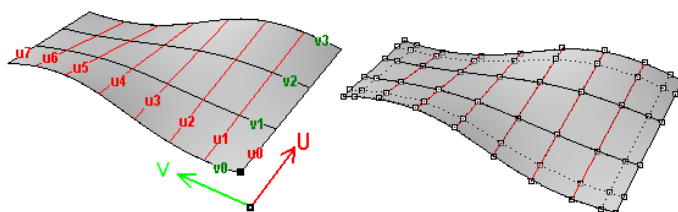


Рисунок 4 – Поверхня NURBS

Таким чином, об'єкти поверхні NURBS можна описати як тривимірні геометричні моделі, які складаються з ділянок, визначених кривими в напрямках U та V [5].

Крім того, криві NURBS і сплайни можна використовувати для побудови об'єктів шляхом обертання кривої профілю навколо центральної осі, або як інші елементи сцени (наприклад, шляхи руху для анімації або для контролю деформацій).

Ця техніка особливо чудова для радіальних об'єктів, таких як посудини та посуд (рис. 5), оскільки художнику потрібно лише бути точним у розміщенні контурів; тим часом програмне забезпечення виконує решту роботи.



Рисунок 5 – Келих, створений в 3ds Max за допомогою сплайнів

В результаті NURBS є звичайним явищем у сферах анімації, ігор, наукової візуалізації та промислового дизайну [2].

1.2.5 Скульптурне моделювання

Цифрова скульптура – це вагома технологія, прорив у тривимірному моделюванні, який звільнив художників від строгих обмежень топології та потоку країв.

У порівнянні з традиційними техніками моделювання багатокутників, він реалізує більш органічний підхід до створення активу шляхом формування моделі майже так само, як у звичайному ліплення з глини.

Тому художники, які оволоділи цією технікою, можуть досягти досить вражаючих рівнів деталізації поверхні та природної естетики своїх моделей і вивести моделювання персонажів, на абсолютно новий рівень (рис. 6).



Рисунок 6 – 3D модель створена за допомогою скульптингу

1.2.6 Сітка з багатороздільною здатністю

Робота з топологією з багатороздільною здатністю в певному сенсі дуже схожа на підхід до моделювання поверхні підрозділу. Художник часто починає ліплення на низькополігональній сітці і збільшує її рівень роздільної здатності, коли досягається межа деталізації, яку забезпечує геометрія моделі [6].

1.2.7 Динамічна топологія

Альтернативна техніці багатороздільної здатності реалізує динамічний поділ сітки на трикутники залежно від рівня масштабування або попередньо визначеного абсолютного рівня деталізації, звідси й термін «динамічна топологія».

1.2.8 Моделювання за допомогою вокселів

Хоча обидва методи адаптивного скульптингу тісно пов'язані з полігональним моделюванням, з єдиною різницею в застосовуваних інструментах, скульптинг за допомогою вокселів є абсолютно новою і значно іншою технікою.

У контексті цифрової скульптури воксель можна описати як об'ємний піксель – числове значення $[0..1]$, розміщене в кубічній сітці, де значення 0,5 означає поверхню об'єкта. Подібно до пікселів, воксели мають однакові розміри вздовж осі X, Y і Z, і їм можна призначити колір і шейдер.

Важливо відзначити, що лише певна кількість вокселів може займати простір тривимірного об'єму одночасно. Скульптура за допомогою вокселів надає художникам максимальну свободу, дозволяючи створювати складні об'єкти майже з «нічого», нескінченно додавати та віднімати об'ємну масу та легко пробивати отвори в моделі [7].

1.2.9 3D-сканування

3D-сканування являє собою, мабуть, найбільш неортодоксальний підхід серед усіх обговорюваних методів моделювання.

Зазвичай для цього потрібен спеціальний тривимірний сканер, який збирає дані про реальний об'єкт (або актора) з різних ракурсів. Хмара точок - вихідні дані згенерованих точок у тривимірному просторі, які потім використовуються для створення точного багатокутника або сітки NURBS.

Незважаючи на чудові результати, які може дати 3D-сканування, технологія цього методу все ще знаходиться в стадії розробки, а тому має деякі серйозні проблеми: алгоритми недосконалі та схильні до помилок, а обладнання є дорогим і непридатним для використання більшості компаній [8].

Проте, як унікальна техніка моделювання, вона, безсумнівно, дає можливість зазирнути в майбутнє 3D-візуалізації.

РОЗДІЛ 2 СТВОРЕННЯ ПЕРСОНАЖУ

2.1 Blender

Blender – це безкоштовний пакет для створення 3D з відкритим кодом, який існує з 2002 року [9]. Протягом багатьох років він створив велику спільноту з понад 500 000 завантажень на місяць, армію художників, викладачів та ентузіастів, які стоять за його подальшим розвитком [10]. В результаті не існує жодного аспекту графічного конвеєра, який Blender не міг би включити.

Дійсно, хоча більшість інших програм зосереджені на моделюванні, анімації, візуалізації або інших частинах 3D-процесу, Blender надає весь конвеєр в одному пакеті [11]. Він підтримує моделювання, скульптуру, текстурування, анімацію, моделювання, візуалізацію, композицію та відстеження руху, відеомонтаж, візуальні ефекти (VFX) та навіть конвеєр 2D-анімації. Blender також пропонував раніше власний ігровий рушій під назвою Blender Game, проте він був позаду конкуруючих рушіїв, таких як Unity і Unreal Engine. Тому Blender Game видалити з пакету Blender у версії 2.8.

Можливим недоліком інструменту Blender є те, що ринок переповнений різноманітним програмним забезпеченням, що спеціалізується на вузьких напрямках в роботі з 3D контентом. Наприклад, можна скористатись інструментом ZBrush від Pixologic. Робота в цій програмі буде зосереджена на створенні 3D-моделей і тому в цій області має перевагу перед Blender. В той час, як Allegorithmic Substance Designer використовується виключно для текстурування та виготовлення власних матеріалів, та є значно потужнішою в цій області.

Однак Blender має ключову перевагу для студентів та непрофесійних користувачів, а саме відкритий вихідний код, тому він використовується будь-ким для будь-яких цілей, без придбання професійних ліцензій, як у випадку з іншими професійними інструментами. Це також одна із причин, чому я використовую Blender для моделювання та анімації. Blender є універсальним програмним

забезпеченням, що швидко розвивається. Кожна функція продумана до дрібниць. Інструмент постійно оновлюється та додаються нові можливості.

Перед початком моделювання потрібно чітко визначитись з тим, що ми хочемо робити. Ми можемо допомогти собі еталонним зображеннями, що можна знайти на просторах інтернету, або ж намалювати власноруч. Зокрема, анатомія людини досить складна, тому для подальшої реалізації 3D моделі було використано готове зображення (рис. 7).



Рисунок 7 – Анатомія тіла людини

Більшість інструментів 3D-дизайну, включаючи Blender, дозволяють нам застосовувати готові зображення в робочому середовищі і використовувати їх як основу для створення дизайну.

2.2 Формування грубої форми

Спочатку ми повинні визначити, в яких одиницях буде представлена наша модель. За замовчуванням для середовища Blender встановлено одна одиницю, еквівалентну одному метру. Нам потрібно розглянути ігрове середовище UE5, де одна одиниця еквівалентна одному сантиметру. Якщо ми залишимо все як є, у нас виникнуть проблеми з імпортом моделі в ігрове середовище UE5, оскільки він буде на 100 менше. Це можна виправити, якщо в налаштуваннях проекту встановити

метричний масштаб 0,01 (рис. 8). Це означає, що тепер кожен блок Blender еквівалентний 0,01 м, тобто одному сантиметру, як у вибраному Unreal Engine 5. Якщо ми розробили нашу модель без цих налаштувань і не анімували її, то нам потрібно лише збільшити її коефіцієнтом 100. В іншому випадку у нас немає іншого вибору, окрім як почати анімацію з самого початку.

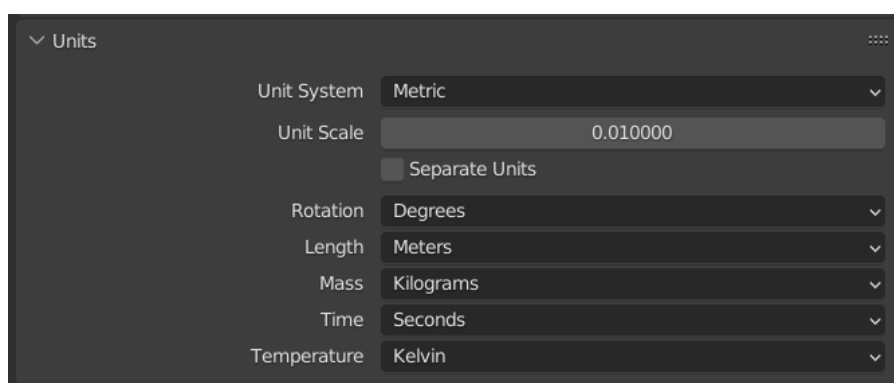


Рисунок 8 – Налаштування масштабу в Blender

Наша сітка, яка представлятиме тіло людини, може бути зібрана різними способами. У цій дипломній роботі було обрано метод, при якому спочатку формується груба форма, а потім редагуються деталі. Необхідно подбати про те, щоб наша сітка, де це можливо, складалася з чотирикутників. Більшість ігрових накопичувачів, включаючи UE5, тріангулюють усі сітки, які ми імпортуємо, що означає, що він розділяє всі багатокутники з більш ніж 3 сторонами на трикутники. Однак робота з трикутними або полігональними сітками в інструментах 3D-дизайну досить обмежена.

Деякі переваги роботи з чотирикутними сітками:

- за допомогою них ми можемо досягти правильно впорядкованої топології нашої моделі;
- легше додавання та видалення крайових петель, за допомогою яких ми можемо краще визначити певну область;
- краща деформація у випадку анімації;

- при використанні підрозділу, чотирикутники не створюють артефактів, як це часто буває з трикутниками та багатокутниками.

Наша перша форма людського тіла була отримана, починаючи зі звичайного куба, який ми сформували відповідно до еталонного зображення шляхом вилучення, перекладу, обертання та масштабування кутів і багатокутників. Таким чином ми отримали грубий силует з малою кількістю багатокутників (1884 трикутників). Тому поверхня моделі дуже гостра, а не гладка, оскільки кожен багатокутник великий і спрямований у свій бік, а отже, відбиває світло інакше, ніж сусідній. Це можна вирішити, використовуючи можливість плавного затінення, яке насправді не змінює геометрію, а лише інтерполіує нормалі і таким чином створює ілюзію гладких поверхонь.

2.3 Скульптування

Як тільки ми маємо базову форму, нас чекає скульптура моделі, залежно від рівня реалізму, до якого ми прагнемо. Якби ми створили персонажа для низькополігональної гри (гра, в якій 3D-моделі представлені невеликою кількістю полігонів), ми могли б пропустити цей крок.

Скульптура дуже схожа на формування глини з реального життя. Замість того, щоб маніпулювати окремими кутами та полігонами, ми використовуємо кисті, які є інструментами, що одночасно впливають на більшу площу сітки. Blender пропонує велику кількість різноманітних інструментів для скульптування, які мають різний вплив на сітку. Найпростішими з них є інструмент для створення гладких поверхонь, інструмент для додавання та видалення глини та інструмент для створення складок.

Однак ми не можемо ефективно розробити нашу поточну модель, оскільки вона має занадто мало геометрії або багатокутників для роботи. Тому ми використовуємо модифікатор Subdivision Surface, який розділяє ділянки.

Під час скульптингу важливо не відразу починати додавати найдрібніші деталі. Кращий зовнішній вигляд і кінцева обробка досягаються шляхом поступової обробки. Спочатку обробляємо весь силует, щоб максимально підходити до кінцевої бажаної форми моделі, а потім переходимо до більших деталей, у нашому випадку це більші суглоби (лікть, коліна). Коли ми задоволені зовнішнім виглядом, ми вдаємося в найдрібніші деталі, але наскільки далеко ми зйдемо, залежить від нашого прагнення до реалізму та часових рамок, у які ми повинні зробити модель.

2.4 Ретопологія

Перш ніж були розроблені процеси ретопології, 3D-дизайнери повинні були розробляти свої моделі так, як описано в розділі «Формування грубої форми», але було недостатньо спроектувати лише грубу форму. Вони повинні були додавати, витягуючи, обертати та переміщати вершини і багатокутники для досягнення максимально можливого рівня деталізації. Причина цього в тому, що моделі, виготовлені способом, описаним у розділі «Скульптурування», є занадто вимогливими навіть для найсучасніших відеокарт, оскільки їх потрібно оновлювати приблизно 60 разів для кожного кадру, який оновлюється приблизно 60 разів у сучасній комп'ютерній грі. По-друге, кількість трикутників в нашій моделі становить 729 770. І це стосується лише одного персонажа, а в грі їх має бути набагато більше, не кажучи вже про всі інші об'єкти на сцені.

То чому ж скульптура корисна? Оскільки ми можемо досягти більш високого рівня реалізму, ми створюємо деталі, не думаючи про трикутники, чотирикутники, кількість усіх багатокутників та інші речі, пов'язані з топологією.

Проблема виникає, коли ми хочемо анімувати розроблену модель і використовувати її в ігровому середовищі, так як відеокарта є вибагливою до цього. Ось тут і починається процес ретопології.

Ретопологія – це термін для процесу, в якому ми створюємо абсолютно нову мережу полігонів, яка максимально точно відповідає попередньому результату моделі та має відповідну топологію.

2.5 Топологія

Топологія – це спосіб розташування полігонів, що становлять сітку. Рекомендується, щоб вона містила переважно чотирикутники. Хороша топологія спрямована на забезпечення відповідного силуету, чітке визначення крайових петель та його напрямки, мінімізацію розтягування полігонів і полегшення маркування сірих тонів, що у главі про UV-розгортка. Приблизне правило, якого ми можемо дотримуватися, – не створювати додаткову геометрію там, де вона не потрібна. На плоских поверхнях, без спеціальних деталей, геометрія може зустрічатися досить рідко. Области, де багато дрібних деталей, вимагають більш щільної геометрії або більшої кількості багатокутників. Щільна геометрія також бажана там, де очікуються деформації. Остаточна кількість полігонів вплине на швидкість візуалізації. У процесі нашої ретопології ми досягли 10 190.

Порівнюючи кількість полігонів з іншими моделями, ми повинні знати, що ці цифри відносні і їх прийнятність залежить від того, яка це гра. Якщо в нашій грі всього кілька персонажів, то ми, ймовірно, можемо дозволити собі велику кількість полігонів, яка може варіюватися від 40 000 до 100 000 [15]. Це лише приблизна оцінка. Однак, коли справа доходить до стратегічної гри, в якій на екрані зображено 500 і більше солдатів, ми повинні бути скромними з кількістю полігонів для кожного з них, до 5000 [16].

2.6 UV-розгортка

Коли ми говоримо про текстури, ми маємо на увазі 2D зображення. Щоб досягти більш високого рівня реалістичності на наших моделях, ми використовуємо різні типи текстур, які ми називаємо папками. Папка Diffuse, в якій зберігається інформація про колір моделі, лише одна з них. Це може бути проста

фотографія чого завгодно, але ми можемо створити її самостійно, розфарбувавши наші моделі вручну.

Однак, щоб успішно з'єднати кольорові пікселі 2D текстури з окремими кутами моделі, представленої в 3D, нам потрібно розширити нашу 3D сітку (X, Y, Z) до 2D (U, V) фон або зображення. Це означає, що кожен піксель на зображенні має певний кут в сітці.

Найпростіше уявити UV-розгортка на прикладі картонного куба. Куб – це тривимірний об'єкт, як і моделі в Blender.

Якщо куб розрізати ножицями, його можна покласти на плоску поверхню або стіл (рис. 9). Припустимо, що вісь U проходить зліва направо, а вісь V – зверху вниз. Отже, куб тепер знаходиться в 2D-системі (УФ). Для координат текстури ми використовуємо UV-осі замість XY, які завжди використовуються поруч з віссю Z в класичній 3D-системі. Коли куб повторно збирається з 2D в 3D, кожна точка UV переноситься в точку XYZ на кубі.

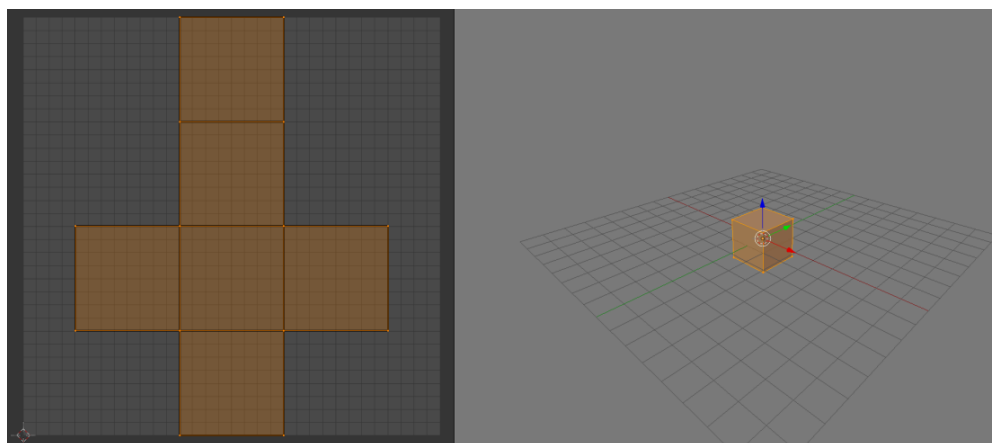


Рисунок 9 – Приклад розгортання 3D-куба на 2D-основі

У Blender ми маємо повністю вільні руки у різанні наших будівель. Для найпростіших об'єктів у нас є кілька різних алгоритмів, які автоматично розгортають поверхню вибраного об'єкта (сітки), наприклад куб, сферична або циліндрична склейка. Для більшої кількості механічних об'єктів або архітектури

ми можемо використовувати алгоритм Blender під назвою Smart UV Project. Однак ми отримаємо найкращі результати, якщо зробимо різання самотійно, вручну.

Ми починаємо різати вручну у Blender, відзначаючи відтінки сірого. Під час шиття сірий колір знаходиться там, де два кінці захищені разом. Хороша аналогія для маркування відтінків сірого це чистка апельсина. Використовуйте ніж, щоб розрізати шкаралупу та очистити її. Ці розрізи такі ж, як відтінки сірого в нашій 3D-сітці, і кожен вирізаний нами фрагмент оболонки є власним UV-острівом.

При розмітці відтінків сірого ми повинні звертати увагу на розтягування нашої сітки в просторі UV. Чим більше сірих або UV-острівців, тим менше розтягування, але це не ідеальний варіант для подальшого текстурювання, так як сірі відтінки з текстурами важко приховати. Тому нам потрібно знайти правильний баланс між кількістю відтінків сірого та ступенем розтягування. Хороший принцип – помічати відтінки сірого, особливо в тих місцях, де вони будуть менш помітними. Це може бути нижній бік рук, внутрішня частина ніг і т.д.

Коли ви вирізуєте дзеркальні об'єкти, такі як обидві руки, і маєте намір надати їм однакову текстуру, доцільно заощадити простір UV, відкрутивши обидві руки в один і той же простір UV. Це означає, що UV-острівці обох рук будуть перекриватися, а кути обох рук будуть переміщені в те саме місце в текстурі.

Під час різання сітки важливо пам'ятати про текстуру. Чим більше UV-острів, тим більше деталей ми можемо намалювати на цій частині текстури. Це означає, що дуже важливо збільшити ті UV -острівці, які важливіші за інші, і надати їм більше UV -простору і, таким чином, можливість більшої деталізації, а ті, які ледь помітні, зменшити.

2.7 Створення скелету

У Blender скелет чи арматура представлені у вигляді набору окремих кісток, які взаємопов'язані та взаємозалежні. Кожну з них можна рухати, повертати і таким

чином впливати на решту залежних кісток, при цьому, по можливості, деформуючи сітку, до якої відноситься армування.

Без правильно спроектованого армування, що правильно деформує частини сітки, запустити анімаційні процедури неможливо. У роботі було створено скелет для людини. Кожна кістка має назву відповідно:

- основна кістка називається «hips»;
- кістки хребта називаються «spine1» і «spine2»;
- шия і голова - це " neck " і " head ";
- ключиці мають назви “clavicle.L” і “clavicle.R”;
- кістки рук і ніг є «upperArm.L», «lowerArm.L», «upperLeg.L», «lowerLeg.L» і так само для правої сторони, тільки із розширенням «. R»;
- долоні — це «hand.L» і «hand.R», а пальці названі за системою «index1.L», «index2.L», «index3.L» і так далі для всіх інших пальців та з розширенням «. R» для правої сторони;
- кістки в стопах називаються «foot.L», «toes.L» і з буквою R праворуч.

Вище перераховані кістки, які насправді деформують нашу мережу. Однак, щоб не маніпулювати кожною кісткою вручну, у нас є додаткові контрольні кістки, які змінюють лише положення кісток деформації і не впливають безпосередньо на сітку.

Послідовність виконання наступна:

- починаємо з однієї кістки під назвою «hips», яка розташована в області стегон нашого персонажа;
- екструзія проводиться з цієї основної кістки шляхом екстракції. При цьому варто звертати увагу на залежність між кістками. Наприклад, основна кістка не

залежить від усіх інших, тоді як кістка «spine1» залежить від кістки «hips», а «spine2» від «spine1»;

- аналогічно проводимо маніпуляції для інших кісточок рук, ніг і голови. Blender має функцію, яка дозволяє зробити лише одну сторону скелета, наприклад, ліву, а потім зіставити весь скелет з іншою. Щоб це спрацювало, ми повинні дотримуватися послідовних назв кісток, наведених вище;

- коли кістки деформації правильно розміщені, ми приступаємо до контрольних. Сюди входять кістки, з яких складається система оберненої кінематики.

2.8 Обернена кінематика

Обернена кінематика полегшує процес анімації. Вона дозволяє нам перемістити останню кістку в кістковому ланцюзі в потрібне місце, а інші будуть слідувати за нею у вірному порядку. Уявімо, що ми хочемо перемістити ліву ногу в певне місце. За допомогою встановленої системи оберненої кінематики, можна легко вибрати кістку «foot.L» і перемістити її, а інші кістки («lowerLeg.L» і «upperLeg.L») слідувати за нею. Без встановленої системи оберненої кінематики спочатку слід рухати верхню ногу, потім гомілку, а тільки потім стопу.

2.9 Визначення впливу на скелет

На даний момент ми влаштували армування з працюючою оберненою кінематикою, але модель не деформується при переміщенні кістки. А саме, ми повинні спочатку повідомити програмі, як кожна з кісток впливає на модель. Цей процес називається ваговим фарбуванням.

Перший крок, який ми робимо, це вибираємо одночасно модель Blender та всю фурнітуру. Після чого використовуємо функцію автоматичного ударного фарбування (рис. 10).

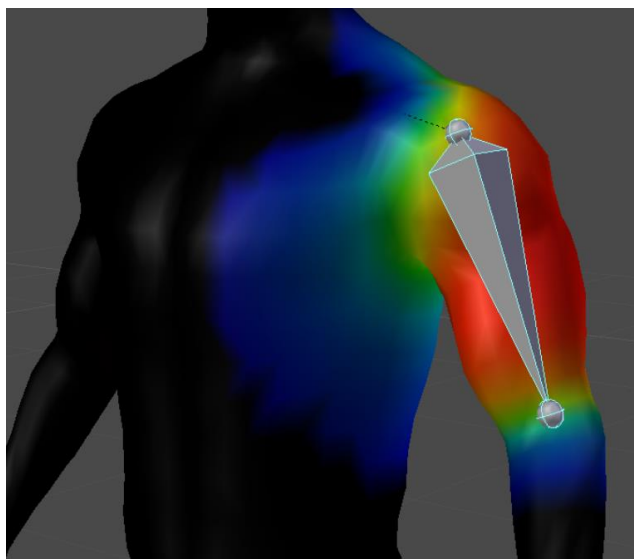


Рисунок 10 – Демонстрація впливу кістки «Upper Arm.L» на модель. Найбільший вплив спостерігається там, де модель пофарбована в червоний колір, і найменший, коли вона пофарбована в темно-синій

РОЗДІЛ 3 СТВОРЕННЯ АНІМАЦІЇ ДЛЯ 3D МОДЕЛІ

3.1 Анімація в Blender

Анімація – це рух моделі як функція часу. У дипломній роботі відтворено анімацію ходьби та бігу.

У Blender анімація є послідовністю різних кадрів, що йдуть один за одним на часовій шкалі (рис. 11). На цьому етапі необхідно пояснити поняття кадру анімації. Кадр – це точка на тимчасовій шкалі анімації, в якій зберігається положення та поворот кожної кістки у нашій арматурі. Призначення кадрів – увімкнути інтерполовану анімацію. В анімації нашого персонажа необхідно інтерполювати положення та обертання по всіх трьох осях (X, Y та Z).

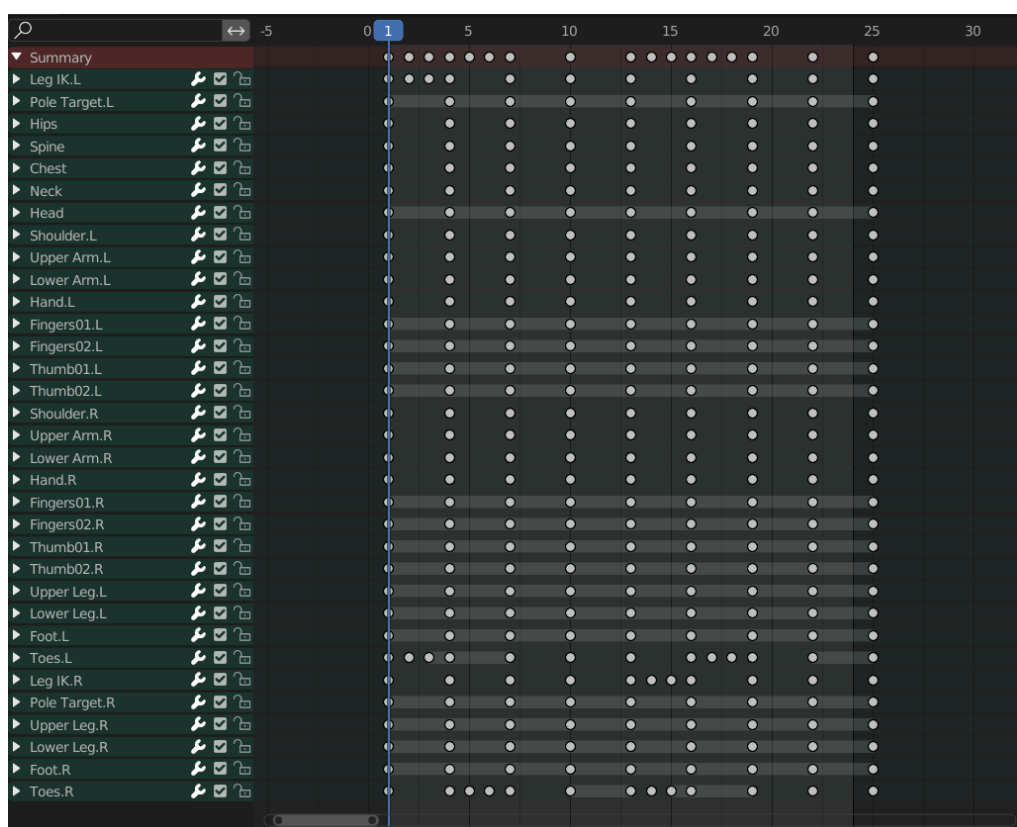


Рисунок 11 – Часова шкала анімації в Blender, де для кожної кістки вставлено кадр

В анімації ми ставимо на тимчасовій шкалі модель у різні пози та зберігаємо ці пози, тобто кадри. Існує кілька способів вибору робочого процесу, у нашому

випадку ми вибрали найбільш організований робочий процес, який називається англійською «pose to pose» (від пози до пози) [17]. Першим кроком є вставляння ключових кадрів в анімацію. Це найважливіші пози, які задають хід анімації та представляють ключові моменти анімації. За ключовими кадрами необхідно вставити кадри, які ми називаємо крайніми. Крайні пози - це пози, в яких анімована модель досягає крайніх положень. Третій тип кадрів, які ми вставляємо, це «пози, що проходять» або «розбивка». Тут анімація знаходиться на завершальній стадії, а це означає, що нам просто потрібно ретельно її доопрацювати та виправити помилки, щоб отримати плавний рух. Ми допомагаємо собі, вставляючи проміжні кадри там, де помічаємо помилки.

3.2 Ходьба

Під час ходьби ми спочатку встановлюємо ключові кадри в позі, коли наш персонаж знаходиться безпосередньо перед кроком. Іншими словами, ми називаємо це контактною позою. Торкніться землі обома ногами (рис. 12). Тут нам дійсно потрібні дві пози. В одній з них ліва нога попереду, в іншій права.

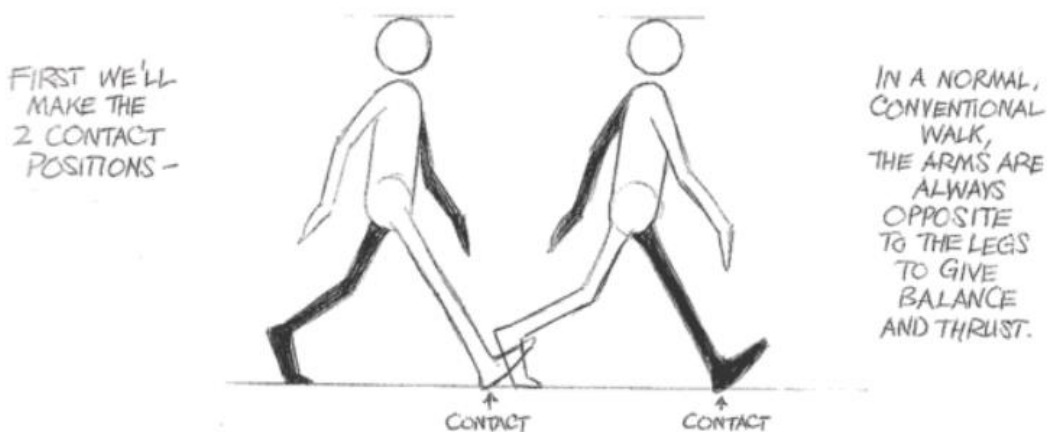


Рисунок 12 – Ескіз контактних поз

Друга поза – це перехідна поза, при якій ноги міняються місцями, остання – тепер у повітрі й рухається вперед, а передня – назад (рис. 13). За рахунок майже витягнутої стоячої ноги в цій позі піднімається весь персонаж.

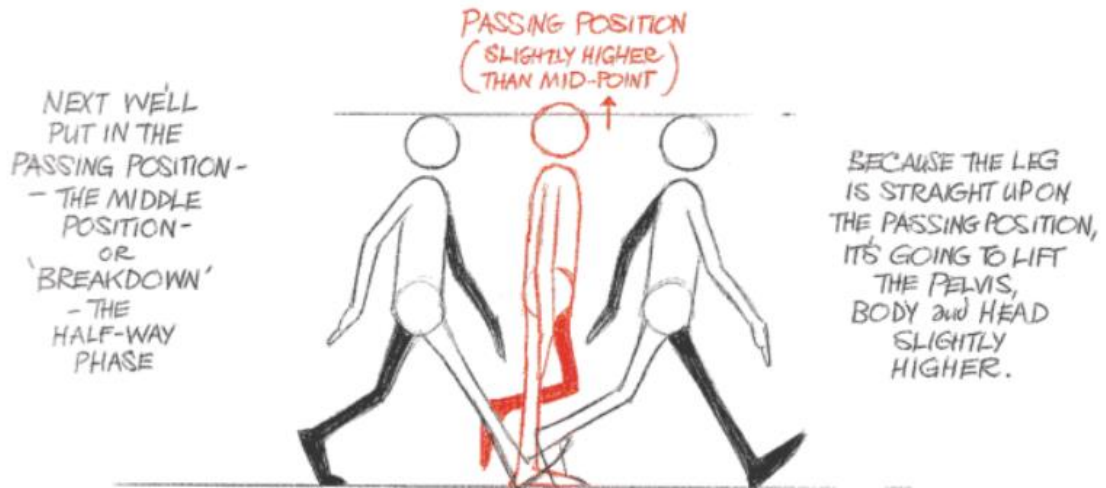


Рисунок 13 – Ескіз перехідної пози

У нас залишилося дві крайні пози. Перша – це коли персонаж знаходиться в найнижчому положенні під час ходьби (рис. 14), а друга – у найвищій (рис. 15).

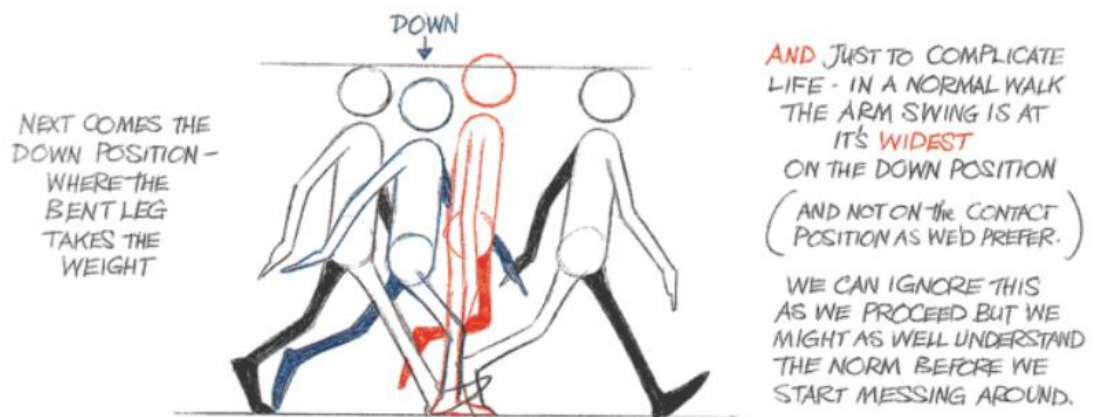


Рисунок 14 – Ескіз першої крайності

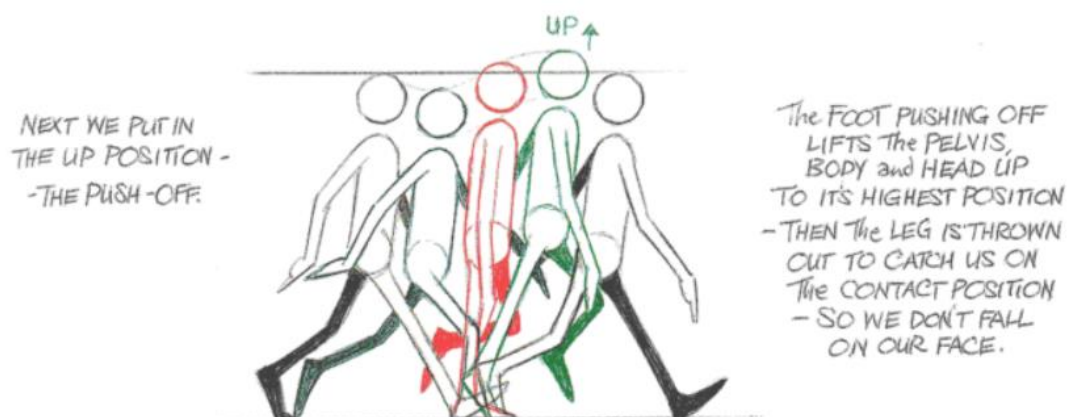


Рисунок 15 – Ескіз другої крайності

На даний момент ми маємо всі основні пози: перший контакт, перший крайній, перехідний, другий крайній, другий контакт. Разом вони складають один крок. Для всього циклу ходьби нам потрібен другий крок, який містить ті ж пози, тільки протилежні. На малюнку (рис. 16) зображено крок правої ноги, після чого ми налаштуємо анімацію для кроку лівої ноги.

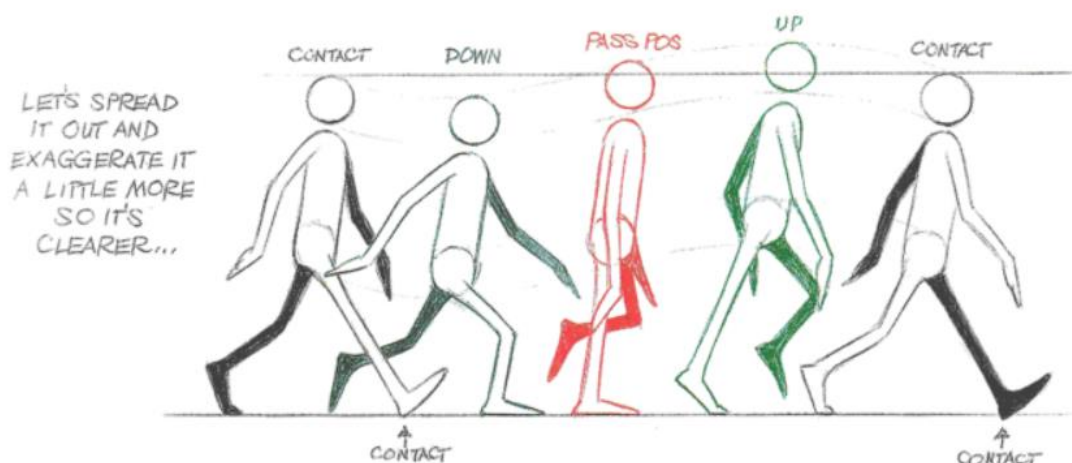


Рисунок 16 – Ескіз усіх основних поз

Але перш ніж зробити другий крок, нам потрібно визначити швидкість нашого циклу ходьби. Швидкість анімації або швидкість ходьби нашого персонажа залежить від кількості кадрів в секунду, які відображаються на екрані. Англійці кажуть «frames per second». У більшості комп'ютерних ігор ми хочемо досягти

значення 60 FPS, але фактичне значення завжди коливається. Якщо сцена, яку ми малюємо, дуже вимоглива, відеокарта не завжди може підтримувати постійний малюнок. Це означатиме, що наш персонаж буде ходити з різною швидкістю при різних значеннях FPS. На щастя, більшість ігрових дисків, у тому числі UE5, ефективно коригують швидкість анімації відповідно до FPS, тому нас не турбують подальші коливання цього значення в процесі анімації. Однак ми повинні вибрати певну частоту оновлення, з якою анімувати нашого персонажа. У галузі аніматори часто вибирають значення 24 кадри в секунду. Після того як у нас встановлена частота оновлення (24 кадри в секунду), ми також можемо встановити швидкість анімації.

Тому швидкість нашої анімації залежить від кількості кадрів. Наприклад, 24-кадрова анімація триватиме рівно 1 секунду, а 48-кадрова – 2 секунди.

Для ходьби ми вибрали тривалість одного кроку 16 кадрів (2/3 секунди), при цьому 17-й кадр такий самий, як і перший (рис. 17). Два кроки - 1 цикл - займають 32 кадри (4/3 секунди).

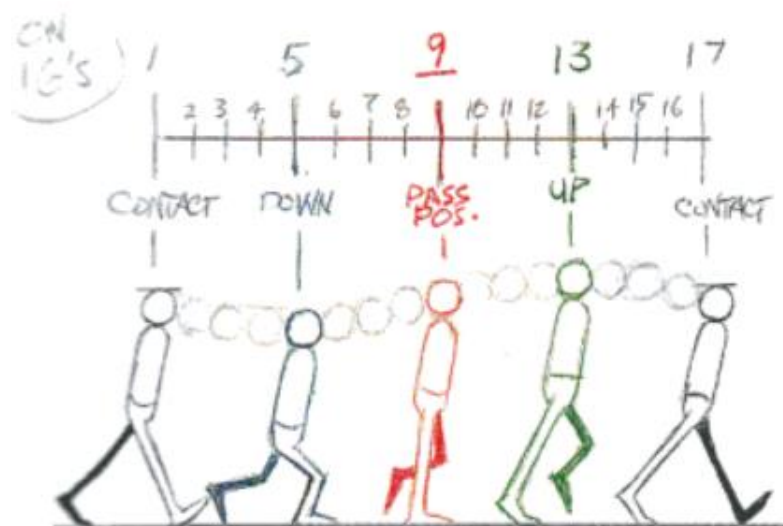


Рисунок 17 – Один крок займає 16 кадрів, 17-й такий самий, як і перший, тому ми його не враховуємо. Рівномірний розподіл кадрів

3.3 Біг

Анімація бігу (рис. 18) дуже схожа на анімацію ходьби, за винятком того, що весь цикл виконується швидше, а наш персонаж знаходиться в більш агресивних позах і в деяких кадрах навіть у повітрі. Весь цикл буде виконуватися вдвічі швидше циклу ходьби.

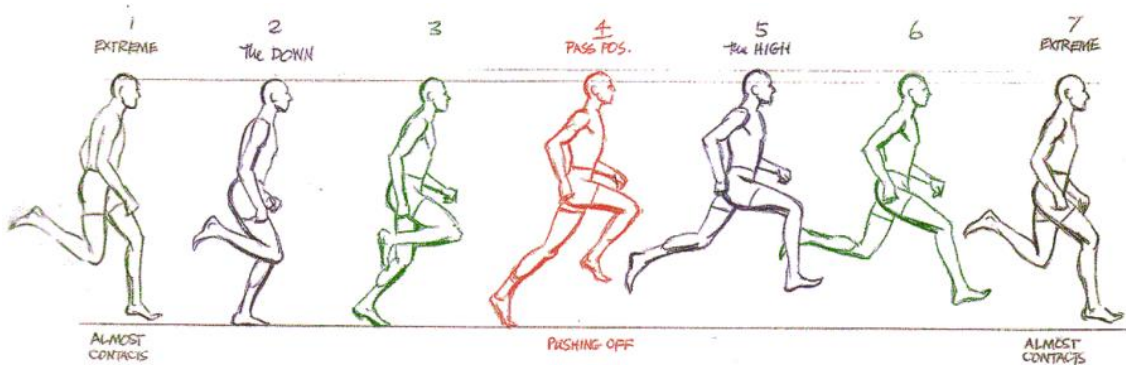


Рисунок 18 – Ескіз усіх основних поз для бігу

Варто звернути увагу на те, що руки майже не піднімаються. Також у двох позиціях тіло повністю відривається від землі.

РОЗДІЛ 4 ІГРОВЕ СЕРЕДОВИЩЕ

4.1 Unreal Engine

Unreal Engine, або UE 5.0.2 у його поточній версії, – це ігровий рушій з відкритим вихідним кодом у режимі реального часу, створений Epic Games у 1998 році.

Ігровий рушій – це набір інструментів і середовища розробки, які полегшують створення відеоігор. Ці інструменти включають графічний двигун, мову програмування, фізичний двигун, який може моделювати фізичні закони, такі як гравітація, зіткнення, аудіо, відео, штучний інтелект, віртуальну реальність та багато іншого.

З моменту створення UE використовували для розробки багатьох відомих ігор, таких як Gears of War і Mass Effect.

Спочатку Unreal Engine замислювався як інструмент для створення ігор. Проте, обчислювальна потужність, численні ресурси та точність у відображенні реальності движка зросли, тому його застосування розширилось. Останніми прикладами є симулятори для робототехніки [12], високоточної хірургії [13] [14], фармацевтики, військового застосування, обчислювальної гідродинаміки для аеродинамічного проектування, високоякісних музейних додатків, архітектури, моделювання транспортних засобів та інші додатки, пов'язані з транспортними засобами[16].

Для використання своїх компонентів Unreal пропонує користувачам дві мови програмування: C++, на якому побудована повна програма, і власну мову програмування, яка називається Blueprint Visual Scripting, що є об'єктно-орієнтованою системою візуальних сценаріїв. Вона дозволяє користувачам програмувати шляхом об'єднання функціональних блоків і посилань на властивості. Простий приклад, коли цикл використовується для збільшення значення змінної, і коли цикл закінчується показує його на екрані (рис. 19).

Послідовність подій, які активуються, можна побачити під час виконання програми, тому вона проста для налагодження. Для призупинення послідовності Blueprint можна додати точки перерви.

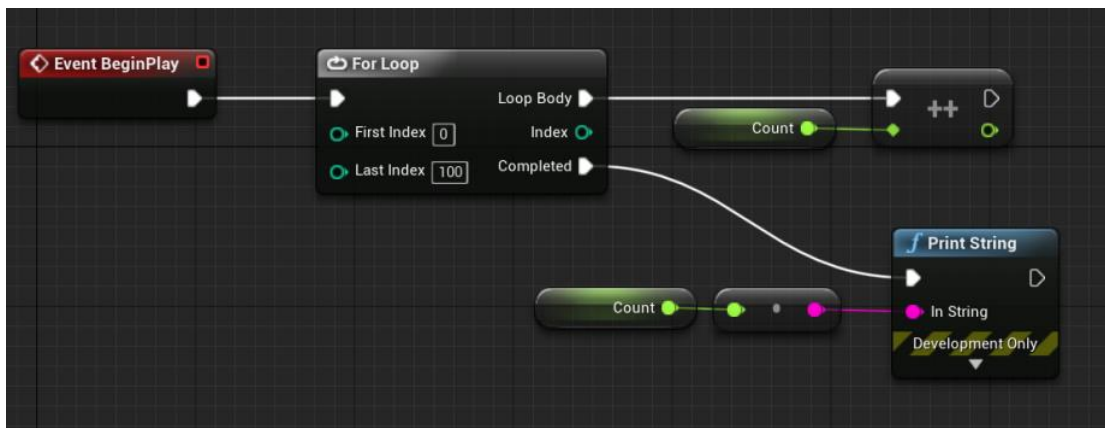


Рисунок 19 – Blueprint Visual Scripting

Також, Unreal Engine 5 може похвалитися вдосконаленою системою анімації, за замовчуванням чудовим освітленням і візуальністю, а також його універсальною продуктивністю. Диск з відкритим програмним кодом є додатковою перевагою. Тому UE5 використовувався для демонстрації роботи створених 3D моделі персонажа та ландшафту.

4.2 Створення ландшафту

В Unreal Engine 5 ми маємо доступну систему для створення ландшафтів. З його допомогою ми можемо створювати будь-які території, такі як гори, долини, плоскі поверхні, котловини, печери. Процес створення ландшафтів дуже схожий на скульптинг. У дипломній роботі було створено невеличкий острів.

Наступним кроком є виготовлення матеріалу для ландшафту, який у природі складається з кількох різних поверхонь (трава, пісок, каміння, ґрунт). У ігровому середовищі ми допомагаємо собі, комбінуючи шари (layer blend) (рис. 20).

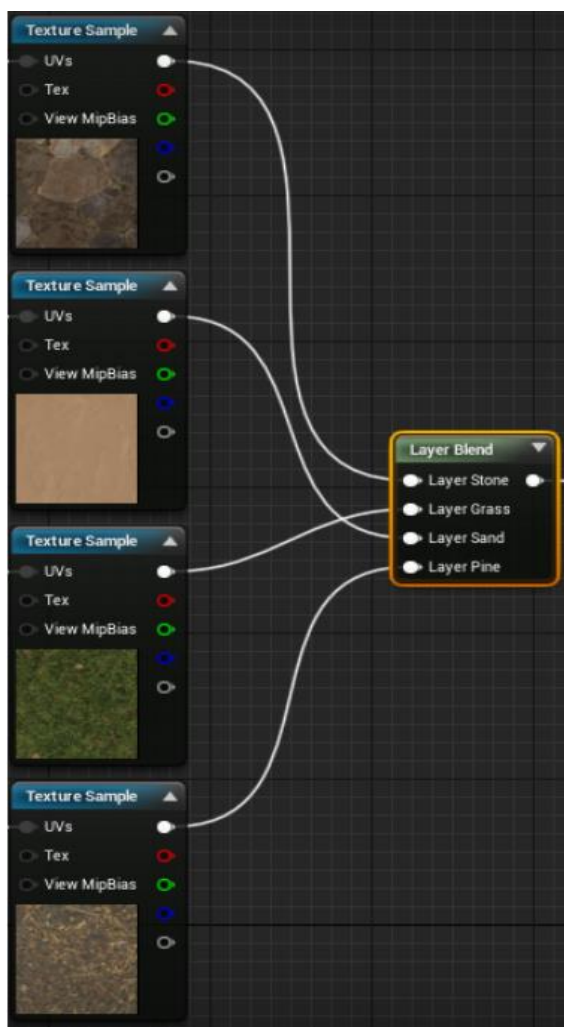


Рисунок 20 – Об'єднання текстур

Для моря ми можемо використовувати доповнення з відкритим кодом, розроблене спільнотою UE5. Для кінцевого продукту було додано річку, декілька дерев, трав'янисті ділянки, а також будинок.

4.3 Експорт 3D моделей

Перш ніж ми зможемо імпортувати моделі в ігрове середовище, нам потрібно експортувати їх з Blender у файли відповідного формату. В Unreal Engine 5 підтримується формат FBX, який може містити саму модель, анімацію, текстуру і матеріали (рис. 21).

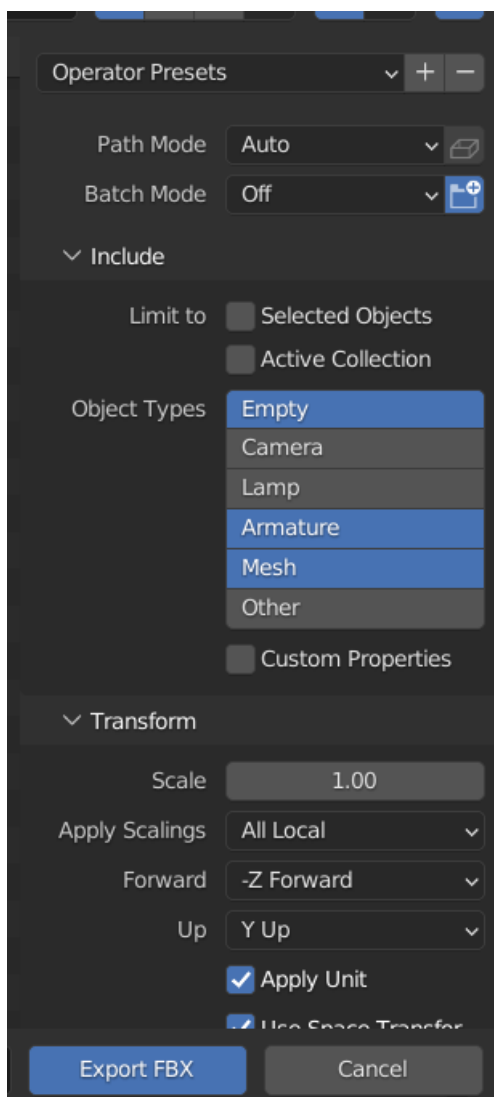


Рисунок 21 – Экспорт FBX

ВИСНОВКИ

Створення 3D-ігрового персонажа охоплює кілька різних напрямків роботи. Ціль була максимально коротко описати і подати кожен із них на практичному прикладі. Більш реалістичних результатів можна було б досягти, якби ми зосередилися на одній області і мали б трохи більше досвіду.

У першій частині цієї дипломної роботи були описані різні методи моделювання, розглянуті деякі з їх найбільш помітних особливостей. Також, досліджено різні концепції моделювання та описані основні його аспекти.

У практичній частині цієї роботи було поєднано 3D моделювання, створення анімації та реалізація гри. Загалом, у дипломній роботі ми успішно вирішили поставлене завдання – продемонструвати весь процес створення ігрового персонажа, включаючи його анімацію. Використовуючи кілька різних програмних інструментів, ми змогли виконувати певні завдання ефективніше, ніж зазвичай.

В результаті було проаналізовано опорні зображення та ідей, змодельовано грубу форму 3D моделі, а також зменшення кількості полігонів з її базової сітки. Крім того, в дипломній роботі було визначено вплив кісток скелету на 3D модель та проаналізовано рух людини для подальшої анімації 3D персонажа. В кінці роботи було застосовано 3D модель в ігровому середовищі.

Ця дипломна робота може бути корисною всім, хто цікавиться 3D-дизайном та анімацією. Це може бути допомога як джерело інформації або просто як інструкція, який можна слідувати.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Sutherland I. Sketchpad: A man-machine graphical communication system [Електронний ресурс]. / I. Sutherland. – 2003 – 149 с.
2. UFO 3D: History of 3D Modeling: from Euclid to 3D printing. blog [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: – <https://ufo3d.com/history-of-3d-modeling> – Назва з екрану.
3. Digital School Technical Design College: A History of Computer Graphic Modelling [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: – <https://www.digitalschool.ca/a-history-of-computer-graphic-modeling> – Назва з екрану.
4. Autodesk Inc.: Polygonal Modeling. Maya Documentation. 2020 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: – <https://help.autodesk.com/view/MAYAUL/2020/ENU/?guid=GUID-7941F97A-36E8-47FE-95D1-71412A3B3017> – Назва з екрану.
5. Autodesk Inc.: NURBS overview. Maya Documentation. 2016 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: – <https://knowledge.autodesk.com/support/maya/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ENU/Maya/files/GUID-5EC05798-3F28-4AD2-8154-36BC444A4DC9-htm.html> – Назва з екрану.
6. Blender: Adaptive Sculpting. Bender Manual [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: – https://docs.blender.org/manual/en/latest/sculpt_paint/sculpting/adaptive.html – Назва з екрану.
7. Jones, Jarvis: What Are Voxels. 3D Coat Documentation. August 2019 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: – <https://3dcoat.com/manual/sculpt/81-voxels/> – Назва з екрану.
8. UFO 3D: Advanced 3D Modelling Techniques: Top 6 For Product Visualization. blog [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: – <https://ufo3d.com/advanced-3d-modelling-techniques-top6> – Назва з екрану.

9. Format Team: Our Top 19 3D Modeling Software Picks: Free and Paid. In: Format Magazine (2019), March [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: – <https://www.format.com/magazine/resources/design/3d-modeling-software> – Назва з екрану.
10. Kutz, Sarah: 3D Modeling Software used for Video Games. October 2018 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: – <https://medium.com/imeshup/comparison-the-top-6-most-popular-3d-modeling-soft-1c6a9ed204a4> – Назва з екрану.
11. Pickavance, Mark: Best 3D modelling and rendering software of 2022: Free and paid, for Windows, Mac, Linux, and online [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: – <https://www.techradar.com/best/best-3d-modelling-software> – Назва з екрану.
12. Stefano Carpin, Mike Lewis, Jijun Wang, Stephen Balakirsky, and Chris Scrapper. Usarsim: a robot simulator for research and education [Электронный ресурс]. / S. Carpin, M. Lewis, J. Wang, St. Balakirsky, C. Scrapper. – 2007 – 6 с.
13. Hirofumi Seo and Takeo Igarashi. Enhancement techniques for human anatomy visualization [Электронный ресурс]. / H. Seo, T. Igarashi. – 2018 – 2с.
14. Hirofumi Seo, Naoyuki Shono, Taichi Kin, and Takeo Igarashi. Real-time virtual brain aneurysm clipping surgery [Электронный ресурс]. / H. Seo, N. Shono, T. Kin, T. Igarashi. – 2018 – 2с.
15. Model from Tom Clancy’s Rainbow Six Siege [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: – <https://www.artstation.com/artwork/0eKg8> – Назва з екрану.
16. Models from Total War Battles: Kingdom [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: – <https://www.artstation.com/artwork/9Nv4Q> – Назва з екрану.
17. Richard E. Williams. The Animator’s Survival Kit [Электронный ресурс]. / E. Richard. – 2009 – 346 с.