

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет комп'ютерної інженерії та управління
(повна назва)

Кафедра електронних обчислювальних машин
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Метод візуалізації процесу анімації скелету людини
на основі контрольних точок

(тема)

Виконав:

студент II курсу, групи КСМм-22-1
Шулінус О.А.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютерні системи та мережі
(повна назва освітньої програми)

Керівник: доц. Барковська О.Ю.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ЕОМ

(підпис)

Коваленко А.А.

(прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ комп'ютерної інженерії та управління _____

Кафедра _____ електронних обчислювальних машин _____

Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____

Спеціальність _____ 123 «Комп'ютерна інженерія» _____
(код і повна назва)

Тип програми _____ освітньо-професійна _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма _____ Комп'ютерні системи та мережі _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

“ _____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту _____ Шулінусу Олександрю Артемовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Метод візуалізації процесу анімації скелету людини на основі
контрольних точок _____

затверджена наказом по університету від “ 06 ” листопада 2023 р. № 1298Ст _____

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 15 січня 2024 р. _____

3. Вхідні дані до роботи _____

набір вхідних даних - зображення у форматі рисунків моделей
базові алгоритми моделювання скелету _____

функціональна діаграма запропонованого підходу для прискорення анімації
порівняльні графіки та діаграми _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі _____

Розробка алгоритму та UML-діаграм _____

Розробка та анімація 3D-моделі _____

Аналіз отриманих результатів дослідження _____

Оформлення матеріалів кваліфікаційної роботи _____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) 17 слайдів

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

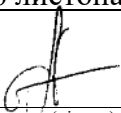
Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розробка алгоритму та UML-діаграм	7.11.2023 – 17.11.2023	
2	Розробка та анімація 3D-моделі	18.11.2023 – 10.12.2023	
3	Аналіз отриманих результатів дослідження	11.12.2023 – 20.12.2023	
4	Оформлення матеріалів кваліфікаційної роботи	21.12.2023 – 14.01.2024	
5	Подання кваліфікаційної роботи керівникові	15.01.2024	

Дата видачі завдання 06 листопада 2023 р.

Студент


(підпис)

Керівник роботи


(підпис)

доц. Барковська О.Ю.

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 64 с., 24 рис., 6 табл., 1 дод., 9 джерел.

СКЕЛЕТНА АНІМАЦІЯ, КОНТРОЛЬНІ ТОЧКИ, 3D АНІМАЦІЯ, РЕНДЕРІНГ, ВІЗУАЛІЗАЦІЯ, BLENDER 3D.

Метою даного дослідження є вдосконалення методу візуалізації анімації скелету людини в середовищі Blender 3D на основі контрольних точок за рахунок поєднання покадрової анімації та семплування.

Для досягнення поставленої була розглянута проблемна область, адаптовано запропонований підхід для прискореної анімації скелету для різних типів обчислювальних систем (система із масовим паралелізмом та гібридна обчислювальна система), виконано експериментальне дослідження впливу кількості семплів на плавність переходів між кадрами, досліджено вплив кількості семплів на час виконання візуалізації.

Досягти прискорення рендерингу скелетної анімації стало можливим завдяки створенню нового методу анімації за рахунок поєднанню двох існуючих підходів, а саме за допомогою поєднання методу покадрової анімації та кількості семплів.

ABSTRACT

Master's thesis: 64 pages, 24 figures, 6 tables, 1 appendix, 9 sources.

SKELETAL ANIMATION, CONTROL POINTS, 3D ANIMATION, RENDERING, VISUALIZATION, BLENDER 3D.

The major goal of this thesis is to improve the method of visualizing human skeleton animation in Blender 3D based on control points by combining frame-by-frame animation and sampling.

In order to achieve this goal, the following tasks must be solved:

- overview of the problem area;
- Adaptation of the proposed approach for accelerated skeleton animation on different types of computing systems (massively parallelized system and hybrid computing system);
- experimental study of the effect of the number of samples on the smoothness of transitions between frames;
- Experimental study of the effect of the number of samples on the rendering time;

The acceleration of skeletal animation rendering was made possible by creating a new animation method by combining two existing approaches, namely by combining the frame-by-frame animation method and the number of samples.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	7
ВСТУП	8
1 ОБГРУНТУВАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ОБРАНОЇ ЗАДАЧІ.....	9
1.1 Скелетна анімація.....	9
1.2 Засоби анімації скелету	10
1.3 Роль контрольних точок у анімації скелету	12
1.4 Розробка та реалізація методу візуалізації на основі контрольних точок	13
1.5 Створення та редагування контрольних точок	16
1.6 Мета та задачі дослідження	18
2 МЕТОДОЛОГІЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ПІДГРУНТЯ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ПОСТАВЛЕНОЇ ЗАДАЧІ.....	19
2.1 Інтерполяція руху контрольних точок.....	19
2.2 Порівняльний аналіз програмного забезпечення для роботи із тривимірною графікою	21
2.3 Вибір редактора дослідження	27
3 МОДЕЛЮВАННЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ 3D МОДЕЛІ СКЕЛЕТУ ЛЮДИНИ.....	30
3.1 Етапи розробки скелетної анімації.....	30
3.2 Продуктивність візуалізації скелетної анімації.	36
3.3 Вдосконалення методу скелетної анімації у Blender 3D.....	39
4 РОЗРОБКА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ 3D МОДЕЛІ СКЕЛЕТУ ЛЮДИНИ	42
4.1 Аналіз дослідження.....	42
ВИСНОВКИ.....	53
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	54
ДОДАТОК А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	55

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ
І ТЕРМІНІВ

ІК – Інверсійна кінематика

СА – Скелетна анімація

3D – Three Dimensions

4D – Four Dimensions

CPU –Central Processing Unit

CUDA – Compute Unified Device Architecture

GPU – Graphics Processing Unit

ВСТУП

Анімація скелету є важливою та впливовою галуззю в світі комп'ютерної графіки та візуальних ефектів, і вона відіграє вирішальну роль у створенні вражаючих візуальних реалізацій, незалежно від того, чи йдеться про відеоігри, анімаційні фільми, архітектурну візуалізацію чи наукову дослідницьку роботу. Саме анімація скелету відповідає за створення реалістичного руху та виразів в цифрових об'єктах, що робить цю тему вкрай важливою та актуальною.

Анімація скелету відіграє ключову роль у світі відеоігор, де вона надає персонажам, монстрам, тваринам та об'єктам натуральний та реалістичний рух. Гравці мають змогу взаємодіяти з віртуальними світами, а досвід гри стає більш іммерсивним завдяки живому руху персонажів.

У світі кіно та анімаційних фільмів анімація скелету використовується для створення руху та виразів персонажів. Вона надає життя цифровим героям, роблячи їх більш виразними та емоційними.

В архітектурній галузі анімація скелету використовується для створення віртуальних турів по будівлях та моделях. Вона допомагає архітекторам та клієнтам отримати краще уявлення про архітектурні проекти та дизайн.

В наукових дослідженнях анімація скелету використовується для візуалізації складних процесів та моделей, допомагаючи науковцям краще розуміти і пояснювати їхні результати.

В даній роботі проводиться дослідження методів візуалізації процесу анімації скелету, особливо на використанні контрольних точок для керування рухом кінцівок. Докладно розглядається важливість цієї теми та її вплив на створення реалістичних та ефективних візуальних проектів у сучасному світі цифрової графіки та відтворення.

1 ОБГРУНТУВАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ОБРАНОЇ ЗАДАЧІ

1.1 Скелетна анімація

Скелетна анімація (СА) – техніка у комп'ютерній анімації, де представлення персонажа складається з двох частин: зовнішній вигляд (за нього відповідає полігональна сітка, або меш) та дерево взаємозв'язаних кісток (скелет), потрібне для анімування мешу. Хоч техніка зазвичай використовується для анімування людей та органічних об'єктів загалом, її призначення - зробити процес анімування більш інтуїтивним, і практично тими самими методами можна контролювати деформацію будь-якого об'єкта - дверей, ложки чи галактики. Якщо анімований об'єкт більш загальний, ніж, наприклад, людина, кістки можуть не утворювати дерево чи бути взаємозв'язаними, але це тільки дозволяє ширше описати рух відповідної частини мешу.

Техніку використовують практично усі анімаційні системи, де спрощений користувачський інтерфейс дозволяє легко маніпулювати складними алгоритмами і великою кількістю геометрії; особливо вирізняється інверсна кінематика та інші техніки планування руху. Проте, імітація реальної анатомії чи фізичних процесів ніколи не були метою скелетної анімації, лише контроль деформації мешу.

Скелетна анімація – стандартний спосіб анімувати персонажів чи механічні частини на довгий проміжок часу (більше 100 кадрів). Її зазвичай використовують ігрові дизайнери та у кінематографі, але можна застосувати й до механічних пристроїв ті інших об'єктів з рухомими деталями.

Технологія захоплення руху дозволить прискорити створення скелетної анімації, водночас підвищуючи рівень реалізму.

Якщо захоплення руху використовувати занадто небезпечно, можна скористатись цифровим моделюванням, щоб автоматично розрахувати фізику

руху і опору для скелета. Можна додати властивості, що відносяться до віртуальної анатомії, такі як вага кінцівок, м'язова реакція, міцність кісток і рухливість суглобів. Це дозволить виконувати віртуальні трюки - стрибки, вигини, переломи тощо. Також віртуальна анатомія застосовується у військовій та медичній галузях. Віртуальних солдат, рятувальників, пасажирів і потерпілих використовують для тренування, віртуальної інженерії та віртуального тестування спорядження. Технології віртуальної анатомії можуть бути об'єднані з штучним інтелектом для подальшого розвитку анімації та моделювання [1].

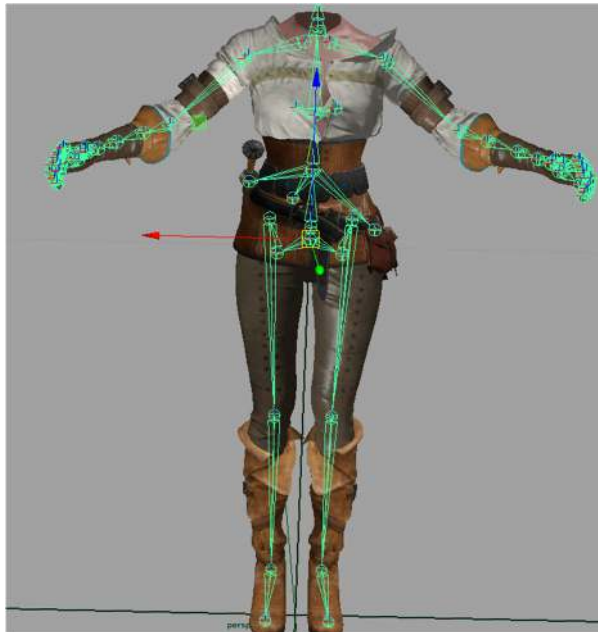


Рисунок 1.1 – Скелетна анімація у відеоіграх

1.2 Засоби анімації скелету

Анімація скелету є однією з ключових складових 3D графіки і відеоігор. Ця глава присвячена засобам та методам анімації скелету, які допомагають надати об'єктам реалістичний рух та вирази.

Скелет – це ієрархічна структура з об'єднаними кістками, яка використовується для керування рухом об'єктів в 3D просторі.

Інверсійна кінематика (ІК) – це техніка, яка дозволяє створювати більш натуральні рухи об'єктів, керуючи кінцями та об'єднаннями скелету.

ІК є технікою, що дозволяє створювати натуральні рухи об'єктів, керуючи кінцями та об'єднаннями скелету.

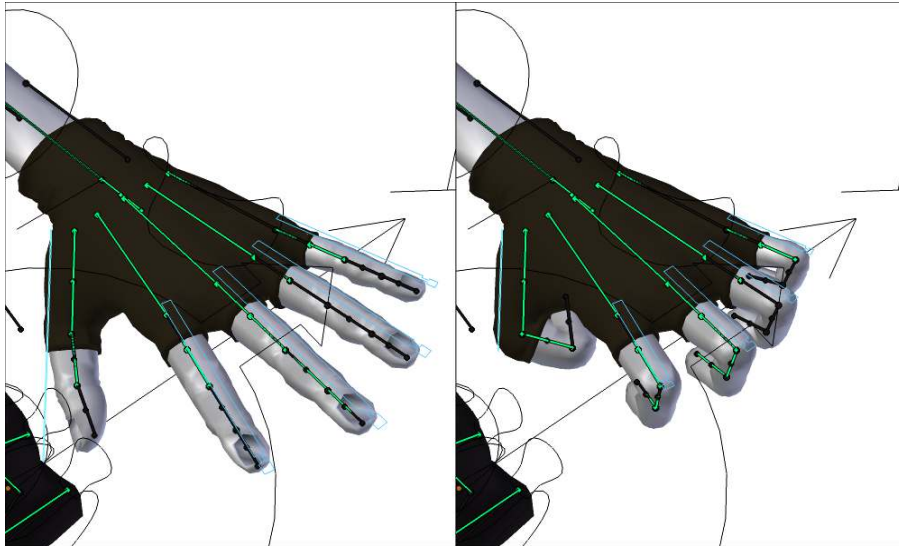


Рисунок 1.2 – Існуючі техніки скелетної анімації

До засобів анімації скелету відносяться: ключові кадри (Keyframes) визначають моменти часу, на яких задаються позиції та обертання кісток скелету. Анімаційні криві (Animation Curves) визначають, як змінюється позиція та обертання скелету між ключовими кадрами. Середовище для Анімації, таке як Blender, Autodesk Maya, Cinema 4D, надає інструменти для анімації скелету.

Інверсійна кінематика дозволяє керувати об'єктом, визначаючи позицію та обертання кінцевого елемента, а решту кісток обчислюється автоматично. Це корисна техніка для анімації персонажів, кінцівок та об'єктів, які вимагають натуральних рухів.

Контрольні точки (Controllers) використовуються для керування анімацією скелету. Деформери (Deformers) дозволяють змінювати форму об'єктів під час анімації.

Для створення плавних переходів між анімаційними діями використовуються техніки, що зменшують різкі зміни позицій та обертань. Лупинг анімації скелету – це техніка, яка дозволяє відтворювати анімацію у циклі, використовуючи зворотній рух для анімації об'єктів, які повертаються назад після виконання дії.

1.3 Роль контрольних точок у анімації скелету

Серед існуючих підходів керуванням формою об'єкта виділяють:

- деформаційні ґриди;
- контрольні точки;
- техніка морфінгу;
- параметричні моделі.

Проте, використання саме контрольних точок дозволяє користувачеві можливість безпосередньо взаємодіяти з формою об'єкта, що робить процес керування інтуїтивно зрозумілим. Вони легко вибираються та пересуваються, що дозволяє аніматорам та дизайнерам швидко експериментувати з формою. Контрольні точки дозволяють змінювати форму об'єкта в будь-якому напрямку, включаючи переміщення, обертання та масштабування. Це надає величезну гнучкість у створенні різноманітних форм та анімацій.

Контрольні точки (controllers) є важливими компонентами анімації скелету у 3D графіці. Деякі контрольні точки можуть бути пов'язані з іншими, створюючи ієрархічну структуру для керування скелетом. Інтерполяція визначає, як контрольні точки рухаються між ключовими кадрами для створення плавного та реалістичного руху.

Контрольні точки можуть бути графічними об'єктами, які відображаються в сцені та надають користувачу можливість керувати анімацією. Іноді контрольні точки приховуються за допомогою інтерфейсних елементів, таких як слайдери та панелі керування, для спрощення управління анімацією.

Контрольні точки є важливим інструментом для підвищення реалістичності анімації скелету, оскільки забезпечує:

- зручність управління: Контрольні точки надають аніматорам зручність та точність при керуванні анімацією скелету;
- натуральність руху: Використання контрольних точок дозволяє створювати натуральний рух об'єктів та персонажів;
- ефективність анімації: Контрольні точки допомагають зменшити кількість ключових кадрів та спростити анімаційний процес.

Практичні приклади та методи роботи з контрольними точками:

- анімація обличчя: використання контрольних точок для анімації виразів обличчя та міміки персонажів;
- анімація рук та ніг: контрольні точки допомагають створювати натуральний рух та позицію рук та ніг персонажів;
- керування анімацією об'єктів: Використання контрольних точок для анімації об'єктів, таких як автомобілі, роботи, чи будівлі.

1.4 Розробка та реалізація методу візуалізації на основі контрольних точок

Узагальнені кроки реалізації задачі візуалізації об'єктів наведено на рисунку 1.3. Видно, що для перетворення моделей та сцен у плоске зображення, спеціалізоване програмне забезпечення проводить складні обчислення, тому для рендерингу потрібна потужна та дорога професійна техніка. І чим краще ця техніка, тим менше часу знадобиться на створення фінальної картинки і тим якісніший результат вийде на виході. Саме тому, порівняння продуктивності двох обчислювачів від провідних вендорів – nVidia та AMD – є задачею корисною та практично важливою саме з точки зору скорочення часу обробки моделі та знаходження чітких ліній, кольорів та відтінків, реалістичних тіней та відображень, зумовлених фізикою та розташуванням інших об'єктів у сцені.

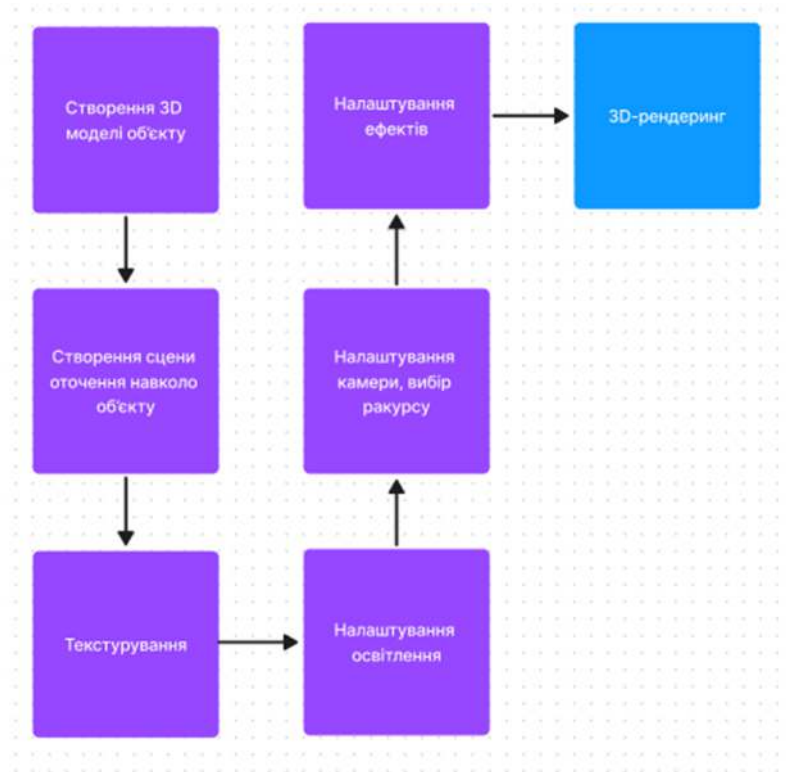


Рисунок 1.3 – Узагальнені кроки реалізації задачі візуалізації об’єктів

Проблемна область рендерингу торкається різних методів, режимів та типів (рисунок 1.4). Зупиняючись на режимах рендерингу, зазначають різницю між рендерингом у реальному часі та попереднім рендерингом, яка полягає у вимозі до швидкості обробки.

Рендеринг реального часу (Real-time Rendering) використовується в основному в інтерактивній та ігровій графіці, де зображення обробляються з високою швидкістю та миттєво з’являються на дисплеї у вигляді закінченої картинки. Мінімальна швидкість обробки в таких випадках становить 25 кадрів на секунду, середня – 60, чудова – 120. При показнику нижче 25 кадрів на секунду кадри змінюються настільки повільно, що користувач звертає на це увагу. Грати у гру стає некомфортно.

При рендерингу в реальному часі велике навантаження лягає на відеокарту. Чим кращі характеристики відеокарти, тим вища швидкість рендерингу.

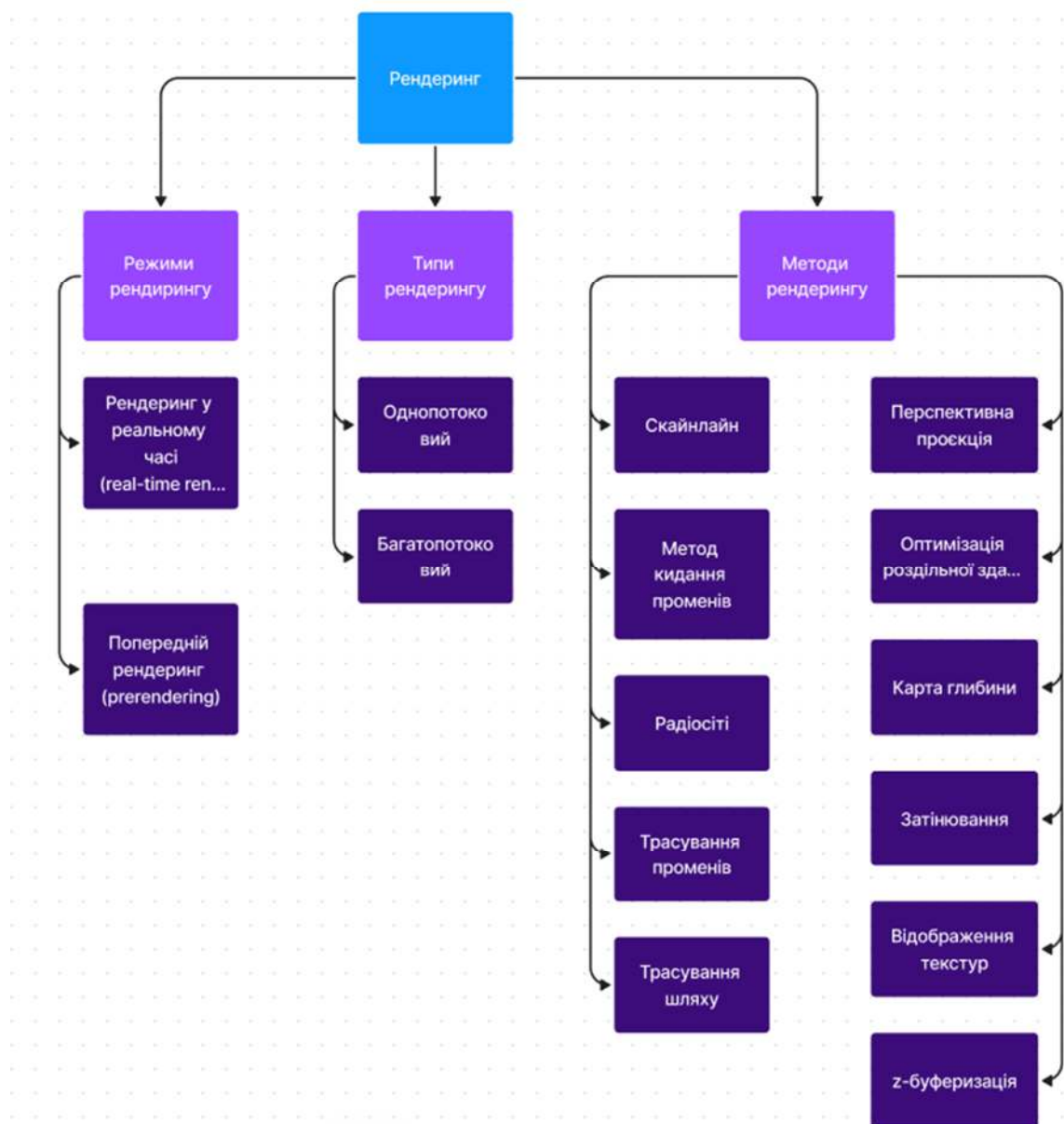


Рисунок 1.4 – Огляд проблемної області

Попередній рендеринг (Prerendering) використовується, коли деталізованість і реалістичність картинки – у пріоритеті, а потреба у високій швидкості обробки не така важлива. Так буває, коли йдеться про розробку складних графічних моделей та сцен. Це актуально при створенні мультфільмів, рекламних 3D-відеороликів та спецефектів у кіно.

В роботі основна увага приділена режиму рендерингу у реальному часі, тому головні результати зосереджені саме на часі отримання кінцевого результату.

Створення та редагування контрольних точок є важливими кроками у процесі створення анімації в 3D середовищі. У цій главі ми розглянемо, як створювати та редагувати контрольні точки для керування об'єктами та персонажами в анімації.

1.5 Створення та редагування контрольних точок

Створення та редагування контрольних точок є важливими кроками у процесі створення анімації в 3D середовищі. У цій главі ми розглянемо, як створювати та редагувати контрольні точки для керування об'єктами та персонажами в анімації.

Створення контрольних точок:

- створення вручну: Ви можете створити контрольну точку вручну, вибравши необхідний об'єкт та додавши до нього контрольну точку через інтерфейс програми для 3D моделювання або анімації;
- створення автоматично: Деякі програми для 3D анімації надають інструменти для автоматичного створення контрольних точок на основі руху об'єкта [2].

Редагування та анімація контрольних точок:

- зміна позиції: Ви можете редагувати позицію контрольних точок, переміщуючи їх у просторі. Це дозволяє створювати різні маршрути руху об'єктів.
- обертання та масштаб: Контрольні точки можуть бути обертані та масштабовані для зміни орієнтації та розміру об'єктів;
- анімація контрольних точок: Контрольні точки можуть бути анімовані для створення плавного руху об'єктів. Вибираючи ключові кадри, ви можете змінювати їх позицію та інші властивості.

Використання контрольних точок у різних галузях:

- анімація персонажів: Контрольні точки дозволяють аніматорам керувати рухом та виразами персонажів у 3D іграх та фільмах;

- архітектурна візуалізація: У галузі архітектурної візуалізації контрольні точки використовуються для створення анімаційних віртуальних турів по будівлях та інших спорудах;
- візуалізація наукових досліджень: В контексті наукових досліджень контрольні точки допомагають візуалізувати та анімувати складні дані та моделі.

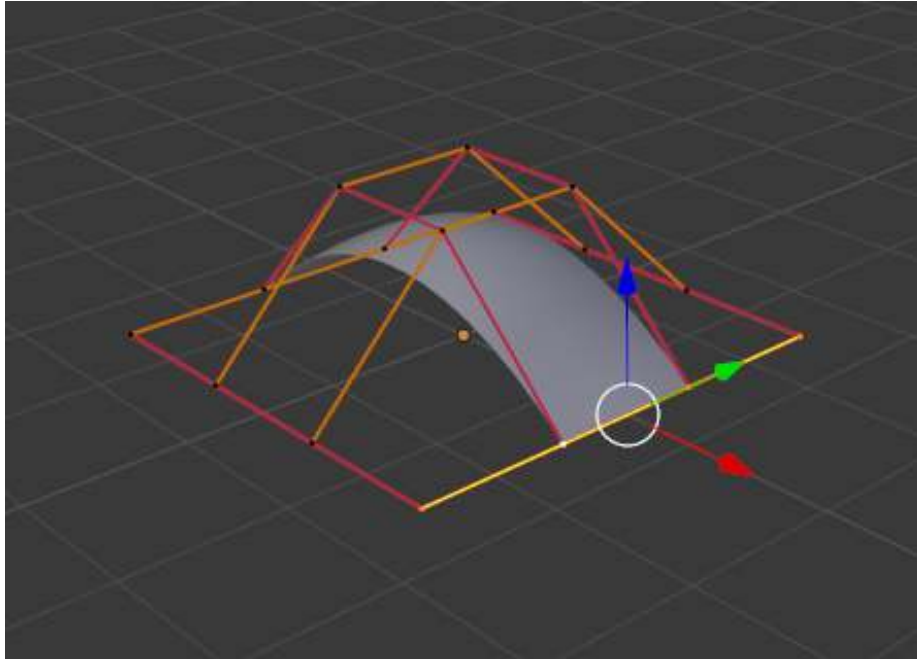


Рисунок 1.5 – Приклад роботи із контрольними точками

Практичні приклади та методи роботи з контрольними точками:

- анімація обличчя: Використання контрольних точок для анімації виразів обличчя та міміки персонажів;
- анімація рук та ніг: Контрольні точки допомагають створювати натуральний рух та позицію рук та ніг персонажів;
- керування анімацією об'єктів: Використання контрольних точок для анімації об'єктів, таких як автомобілі, роботи, чи будівлі;
- архітектурна візуалізація: У галузі архітектурної візуалізації контрольні точки використовуються для створення анімаційних віртуальних турів по будівлях та інших спорудах;

- візуалізація наукових досліджень: В контексті наукових досліджень контрольні точки допомагають візуалізувати та анімувати складні дані та моделі.

1.6 Мета та задачі дослідження

Метою даного дослідження є вдосконалення методу візуалізації анімації скелету людини в середовищі Blender 3D на основі контрольних точок за рахунок поєднання покадрової анімації та семплування.

Для досягнення поставленої мають бути вирішені наступні задачі:

- огляд проблемної області;
- адаптація запропонованого підходу для прискореної анімації скелету на різних типах обчислювальних систем (система із масовим паралелізмом та гібридна обчислювальна система);
- експериментальне дослідження впливу кількості семплів на плавність переходів між кадрами;
- експериментальне дослідження впливу кількості семплів на час виконання візуалізації;
- тестування запропонованого рішення;
- аналіз отриманих результатів.

Подальший розвиток дослідження полягає у дослідженні алгоритмів скелетної анімації. Розширення можливостей адаптованого методу для різних типів анімацій та сценаріїв. Вивчення можливостей використання машинного навчання та штучного інтелекту для покращення якості анімації. Пошук нових шляхів оптимізації для подальшого підвищення продуктивності.

2 МЕТОДОЛОГІЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ПІДГРУНТЯ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ПОСТАВЛЕНОЇ ЗАДАЧІ

2.1 Інтерполяція руху контрольних точок

Інтерполяція руху контрольних точок – це важливий аспект створення анімації, який дозволяє створювати плавні рухи об'єктів чи персонажів у міжкадровому просторі.

Інтерполяція – це процес заповнення проміжків між двома точками чи ключовими кадрами анімації, щоб створити плавний рух.

Багатьом із тих, хто стикається з науковими та інженерними розрахунками часто доводиться оперувати наборами значень, отриманих експериментальним шляхом чи методом випадкової вибірки. Як правило, на підставі цих наборів потрібно побудувати функцію, зі значеннями якої могли б з високою точністю збігатися інші отримувані значення. Така задача називається апроксимацією кривої. Інтерполяцією називають такий різновид апроксимації, при якій крива побудованої функції проходить точно через наявні точки даних [2].

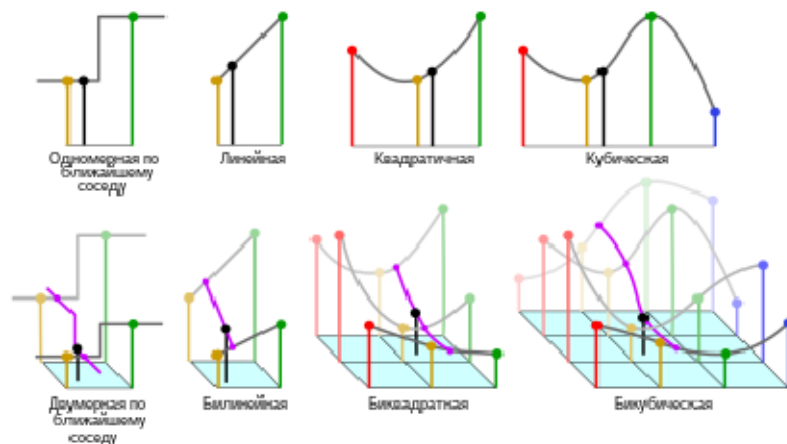


Рисунок 2.4 – Види інтерполяції

Лінійна інтерполяція використовується для створення прямих лінійних рухів між ключовими кадрами. Об'єкт рухається рівномірно від одного ключового кадру до іншого.

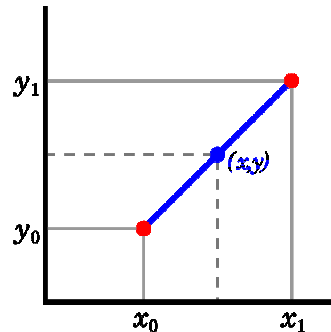


Рисунок 2.5 – Лінійна інтерполяція у вигляді графіку

Безперервна інтерполяція: Цей тип інтерполяції створює плавні криві руху, що можуть бути кривими Без'є або іншими математичними кривими.

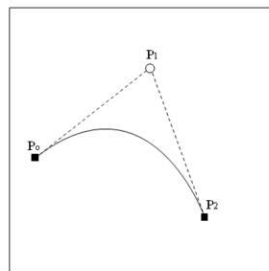


Рисунок 2.6 – Крива Без'є

Сгладжування інтерполяції: Іноді інтерполяція може супроводжуватися фільтрацією для зменшення шуму чи надлишкового руху.

Позиціонування контрольних точок: Контрольні точки – це об'єкти чи елементи анімації, які переміщуються в анімації. Вибір правильних позицій ключових кадрів для контрольних точок важливий для досягнення бажаного руху.

Застосування безперервної інтерполяції допомагає згладити рух контрольних точок, зробити його більш реалістичним та природним.

Інтерполяція – це потужний інструмент для створення реалістичних та плавних анімаційних рухів, і вона використовується в багатьох галузях, включаючи анімацію ігор, кіно та веб-анімацію.

Основні практичні прилади інтерполяції включає:

- плавні переходи: Використання інтерполяції для створення плавних переходів між рухом контрольних точок;
- ефекти розгальмування та прискорення: Застосування різних видів інтерполяції для створення руху з різною швидкістю;
- зворотній рух і лупинг: Використання інтерполяції для створення зворотного руху та лупингу анімації;

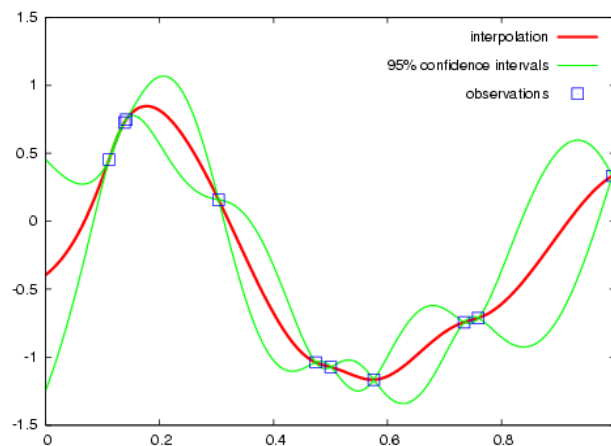


Рисунок 2.7 – Приклад роботи та застосування інтерполяції

2.2 Порівняльний аналіз програмного забезпечення для роботи із тривимірною графікою

Скелетна анімація є важливим аспектом у світі комп'ютерної графіки та анімації, і її застосовують у відеоіграх, фільмах, рекламі, веб-розробці та інших галузях. Blender 3D - безкоштовний та потужний програмний пакет для створення 3D-графіки та анімації, який надає велику кількість інструментів для реалізації скелетної анімації. У цьому рефераті розглянемо основні аспекти скелетної анімації в Blender 3D.



Рисунок 3.1 – Blender 3D

Скелетна анімація базується на ідеї використання скелета (або арматури) для керування рухом 3D-моделі.

Основні концепції включають в себе:

- бони (Bones);
- ваги (Weights);
- ключові кадри (Keyframes);
- інверсійна кінематика (ІК).

Blender 3D надає ряд інструментів та функцій для створення скелетної анімації.

Основні з них включають:

- режими арматури;
- призначення ваг;
- інструменти редагування бонів;
- інтерполяція та ключові кадри.

Blender 3D є однією з найкращих програм для скелетної анімації, особливо для багатьох користувачів, і ось декілька причин, чому він вважається кращим серед усіх редакторів:

Безкоштовність та відкритість: Blender 3D є повністю безкоштовним та відкритим програмним засобом, що робить його доступним для будь-якого користувача, незалежно від їхнього бюджету. Ви можете використовувати всі його функції без обмежень.

Потужна система скелетної анімації: Blender має потужну систему бонів та інверсійної кінематики (ІК), яка дозволяє створювати реалістичну та складну анімацію персонажів. Ви можете легко керувати рухами і взаємодією бонів з моделями [3].

Велика спільнота користувачів і документація: Blender має широку та активну спільноту користувачів, яка надає підтримку та створює безліч навчальних матеріалів. Це полегшує навчання та розв'язування проблем.

Багатофункціональність: Blender – це багатофункціональний редактор, який включає в себе не лише скелетну анімацію, але також інструменти для 3D-моделювання, текстурування, композитингу, рендерингу та багато інших завдань. Ви можете працювати над всім проектом на одній платформі.

Активний розвиток та оновлення: Blender постійно оновлюється та розвивається завдяки активній команді розробників. Нові функції та покращення постійно додаються до програми, що робить її сучасною та конкурентоздатною.

Загалом, Blender 3D надає користувачам потужні інструменти для скелетної анімації, і ця програма є особливо привабливою для тих, хто шукає відкрите та безкоштовне рішення з великою функціональністю та активною спільнотою. 3DS MAX є одним із провідних програмних засобів для створення скелетної анімації у галузі комп'ютерної графіки і анімації. Він має кілька основних переваг і певні недоліки, які важливо враховувати при виборі редактора для створення скелетної анімації.

Переваги 3ds Max в контексті скелетної анімації:

- великий функціональний спектр: 3ds Max надає багато інструментів для роботи з бонами, арматурою та анімацією. Це дозволяє створювати складну анімацію зі скелетним керуванням;

- інтерфейс із візуальним програмуванням: 3ds Max має анімаційний граф, що спрощує створення складних анімаційних взаємодій та логіку об'єктів;

- підтримка Інверсійної кінематики (ІК): Програмне забезпечення дозволяє легко налаштовувати ІК-цікли для реалістичного руху об'єктів;

- широкий спектр інструментів редагування бонів: 3ds Max надає зручні засоби для редагування та анімації бонів, що спрощує процес створення складної анімації;

- велика спільнота користувачів і документація: У 3ds Max є широка спільнота користувачів та доступна документація, що допомагає вирішувати проблеми та вивчати нові техніки.

ZBrush – це програмне забезпечення для моделювання та скульптурування 3D-моделей, яке також використовується для створення скелетної анімації в 3D-графіці та анімації. Цей редактор має свої власні переваги та недоліки, які варто враховувати при виборі інструменту для створення скелетної анімації.

Переваги ZBrush в контексті скелетної анімації:

- скульптурування деталей: ZBrush спеціалізується на скульптуруванні деталей моделей, що робить його ідеальним для створення реалістичних персонажів, які використовують скелетну анімацію;

- зручний інтерфейс скульптурування: Інтерфейс ZBrush дозволяє аніматорам створювати докладні деталі та текстuri на моделях, що полегшує процес роботи з бонами та арматурою;

- підтримка полігонів високої роздільної здатності: ZBrush дозволяє працювати з моделями високої роздільної здатності, що важливо для створення деталізованих персонажів;

- підтримка текстур та матеріалів: За допомогою ZBrush можна створювати складні текстuri та матеріали для персонажів, що покращує їхню реалістичність;

- інструменти для маскуванню та редагування деталей: ZBrush надає інструменти для маскуванню деталей, що полегшує впровадження різноманітних анімаційних ефектів.

Недоліки ZBrush в контексті скелетної анімації:

- відсутність інтегрованої системи скелетної анімації: ZBrush – це в основному інструмент для моделювання та скульптурування, і він не має такого рівня підтримки скелетної анімації, як деякі спеціалізовані програми;

- обмеження на редагування скиннінгу і ваг вершин: Хоча ZBrush має інструменти для створення ваг вершин, вони не такі потужні і гнучкі, як у деяких інших програмах для анімації;

- високі вимоги до обладнання: Робота з великими та деталізованими моделями в ZBrush може вимагати потужного обладнання та призвести до низької продуктивності на менш потужних комп'ютерах;

- ціна та ліцензування: ZBrush є комерційним програмним засобом, і його ліцензія може бути дорогою для окремих користувачів.

Загалом, ZBrush є потужним інструментом для створення деталізованих моделей та текстур для скелетної анімації. Однак для створення анімації зі скелетним керуванням може бути необхідно додаткове програмне забезпечення і інтеграція з іншими редакторами.

Cinema 4D - це інтегрована програма для 3D-моделювання, анімації та візуалізації, яка широко використовується для створення скелетної анімації в різних галузях, включаючи кіно, відеоігри та рекламу. Ось деякі переваги та недоліки Cinema 4D в контексті скелетної анімації:

Переваги Cinema 4D в контексті скелетної анімації:

- легкий вивчення та використання: Cinema 4D славиться своєю дружньою інтерфейсною системою та легкістю вивчення для новачків. Він надає широкий спектр інструментів для створення скелетної анімації, які доступні для широкого кола користувачів;

- модульність та розширюваність: Cinema 4D пропонує різні модулі для спеціалізованих завдань, включаючи анімацію. Це дозволяє користувачам

вибирати лише ті функції, які їм потрібні, і розширювати можливості програми за необхідності;

- можливості імпорту і експорту: Cinema 4D підтримує багато форматів файлів для імпорту та експорту, що спрощує співпрацю з іншими програмами для анімації та графіки.

Інструменти для інтерактивної анімації: Cinema 4D надає інструменти для створення інтерактивних анімацій та контролю над анімацією в реальному часі.

Недоліки Cinema 4D в контексті скелетної анімації:

- вартість: Cinema 4D – це комерційне програмне забезпечення, і вартість ліцензії може бути високою для окремих користувачів або малих студій.

- обмежена підтримка складної інверсійної кінематики (ІК): Cinema 4D має інструменти для роботи з ІК, але вони можуть бути менш потужними, ніж в деяких інших програмах для анімації.

- обмеження для професійних виробників відкритих об'єктів: Cinema 4D може бути менш потужним для професійних виробників відкритих об'єктів порівняно з іншими програмами.

- обмеження щодо роботи з фізичною симуляцією: Деякі програми можуть мати більше розширені можливості для фізичної симуляції, що важливо для певних видів анімації.

Autodesk Maya є однією з провідних програм для створення скелетної анімації в індустрії відеоігор, кіно і комп'ютерної графіки. Вона має свої власні переваги та недоліки, які варто враховувати при виборі редактора для створення скелетної анімації.

Переваги Maya в контексті скелетної анімації:

- потужний інструментарій для анімації: Maya надає широкий спектр інструментів і можливостей для створення скелетної анімації, включаючи системи бонів, ключових кадрів та інтерполяцію;

- інтегрована система інверсійної кінематики (ІК): Maya має потужну систему ІК, що дозволяє створювати складну анімацію з реалістичним рухом об'єктів;

- підтримка кінцевого рендерингу та візуалізації: Можливість об'єднувати процес анімації та рендерингу дозволяє переглядати результати анімації в реальному часі;

- інтеграція з іншими програмами: Maya легко інтегрується з іншими програмами для спеціалізованих завдань, такими як моделювання, скульптурування, текстурування та композитинг.

Недоліки Maya в контексті скелетної анімації:

- вартість ліцензії: Autodesk Maya є комерційним програмним засобом, і вартість ліцензії може бути високою для окремих користувачів або невеликих студій;

- високі вимоги до обладнання: Робота з великими та складними анімаційними проектами може вимагати потужного обладнання для ефективної роботи;

- велика кількість функцій: Maya має велику кількість функцій, і вивчення всіх їх може зайняти багато часу, особливо для початківців;

- вотребує певного досвіду: для досягнення майстерності в Maya потрібен час та досвід, і вона може виявитися складною для новачків;

- обмежені можливості для скульптурування: У порівнянні з іншими програмами, які спеціалізуються на скульптуруванні, Maya має обмежені можливості для деталізації моделей.

У підсумку, Autodesk Maya є одним з провідних інструментів для створення скелетної анімації, з великим спектром функцій і підтримкою для різноманітних видів проектів. Проте, вибір програми для анімації повинен бути зроблений враховуючи індивідуальні потреби та можливості користувача.

2.3 Вибір редактора дослідження

Вибір редактора для майбутнього дослідження проводиться по критеріям нижче:

- вартість та доступність;
- функціональність;
- анімаційна система;
- інтеграція та рендеринг;
- вимоги до обладнання.

Blender 3D: Blender є абсолютно безкоштовним та відкритим програмним засобом, доступним для всіх користувачів.

Autodesk Maya, Cinema 4D, ZBrush, 3ds Max: Ці програми є комерційними, і вартість ліцензій може бути високою для окремих користувачів або студій. Autodesk Maya, Cinema 4D, ZBrush, 3ds Max: Ці програми також мають широкий спектр функціональності, але вони можуть вимагати інтеграції з іншими програмами для виконання окремих завдань. Autodesk Maya також має потужну систему анімації з вбудованими інструментами для реалістичного руху об'єктів.

Blender 3D: Blender є багатофункціональним редактором, який включає в себе інструменти для 3D-моделювання, текстурування, анімації, рендерингу та багатьох інших завдань. Blender має потужну систему скелетної анімації з підтримкою інверсійної кінематики (ІК) та системи бонів. Blender надає можливість виконувати рендеринг і композитинг в одному програмному засобі. Blender може працювати на різних комп'ютерах, включаючи менш потужні, завдяки своєму низькому обсягу вимог до ресурсів.

Cinema 4D надає інструменти для створення складної анімації з використанням інверсійної кінематики.

ZBrush, та 3DS MAX: Ці програми також підтримують анімацію, але їх головна функція - це моделювання та текстурування.

Autodesk Maya, Cinema 4D, ZBrush, 3ds Max підтримують інтеграцію з різними програмами для рендерингу та композитингу.

Autodesk Maya, Cinema 4D, ZBrush, 3ds Max можуть вимагати потужних робочих станцій для ефективної роботи з великими та складними проектами.

Таблиця 2.1 – Порівняльні характеристики редакторів

Редактор	Вартість	Функціональність	Анімаційна система	Інтеграція та рендеринг	Вимоги до обладнання
Blender 3D	Безкоштовна	3D-моделювання, текстурування, анімації, рендеринг	Система скелетної анімації	Рендеринг і композитинг	Низькі вимоги до ресурсів
Autodesk Maya	71 263.20 грн.	Потребує інтеграції з іншими програмами	Система скелетної анімації	Потребує інтеграції з іншими програмами	Більш потужні робочі станції
Cinema 4D	32 784,00 грн.	Потребує інтеграції з іншими програмами	Система скелетної анімації	Потребує інтеграції з іншими програмами	Більш потужні робочі станції
ZBrush	17 336.59 грн.	Потребує інтеграції з іншими програмами	Система скелетної анімації	Потребує інтеграції з іншими програмами	Більш потужні робочі станції
3ds Max	64 681,00 грн.	Потребує інтеграції з іншими програмами	Система скелетної анімації	Потребує інтеграції з іншими програмами	Більш потужні робочі станції

У підсумку, вибір між редакторами для 3D скелетної анімації залежить від ваших конкретних потреб та можливостей. Blender 3D надає безкоштовний та потужний інструмент для багатьох користувачів, але інші програми також мають свої переваги і можуть бути ідеальними для конкретних завдань і професійних вимог.

3 МОДЕЛЮВАННЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ 3D МОДЕЛІ СКЕЛЕТУ ЛЮДИНИ

3.1 Етапи розробки скелетної анімації

Створення 3D моделі скелету людини на основі контрольних точок у Blender 3D є процесом, який включає в себе використання різноманітних інструментів та технік для створення анімованої скелетної структури, яка служить основою для реалістичної анімації персонажа.

У цьому процесі використовуються різні елементи, такі як арматура (скелет), контрольні точки та об'єкти, які пов'язуються між собою для створення динамічних та природних рухів персонажа у віртуальному просторі. Контрольні точки виступають важливою роллю, дозволяючи аніматорам та моделерам ефективно керувати рухом та поведінкою скелету.

Використання Blender 3D для цього процесу надає широкий спектр інструментів для моделювання арматури, розміщення контрольних точок та взаємодії з анімаційними об'єктами. Інтегровані засоби Blender спрощують роботу з риггінгом та анімацією, дозволяючи аніматорам зосередитися на творчому процесі створення живих та виразних персонажів.

Створення 3D моделі скелету людини на основі контрольних точок у Blender 3D відкриває широкі можливості для створення реалістичних анімацій, від ігрового розвагового контенту до віртуальних турів по архітектурних об'єктах чи навіть наукових візуалізацій[4].

Створення 3D моделі скелету людини на основі контрольних точок у Blender 3D є завданням, яке включає декілька ключових етапів. Нижче детально розглянуті етапи цього процесу:

- підготовка моделі та інтерфейсу;
- створення арматури (скелету);
- розробка системи контролю;
- риггінг та тестування.

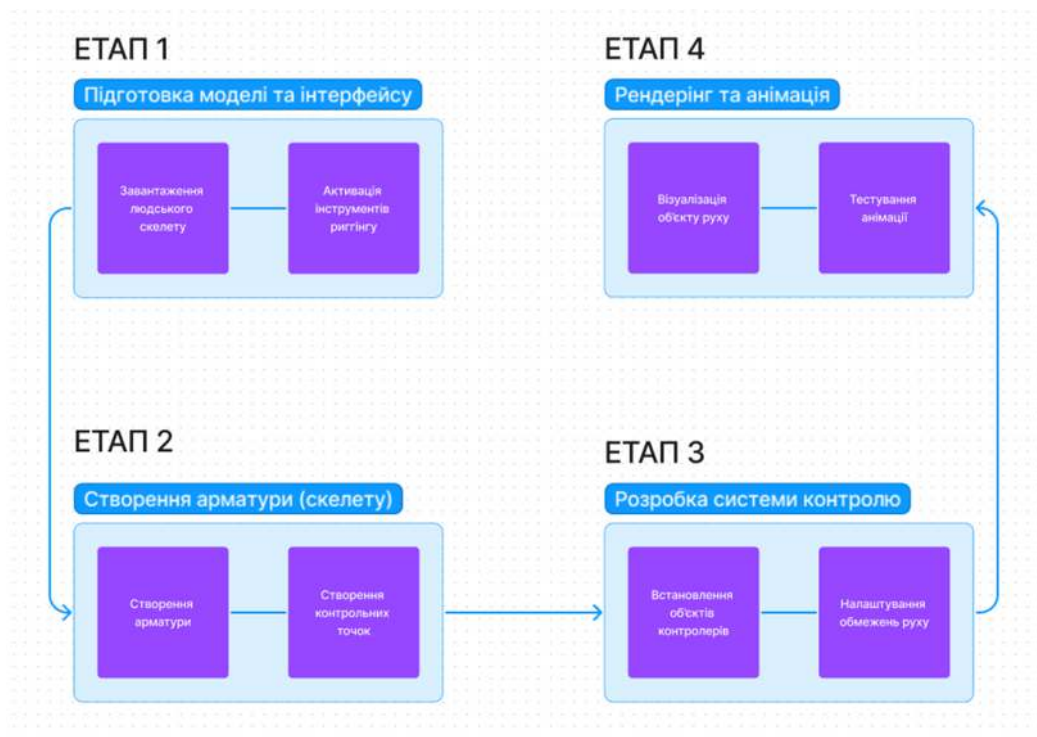


Рисунок 3.1 – Етапи розробки скелетної анімації

На першому етапі процесу створення 3D моделі скелету людини у Blender 3D проводиться підготовка, яка включає в себе завантаження людської моделі та активацію необхідних інструментів.

1. Завантаження людської моделі:
 - завантаження 3D модель людини, яка буде анімуватися. Це може бути готова модель або базова фігура.
2. Активація режиму ригінгу:
 - в режимі "Object" обертається людська модель. Активується режим ригінгу, який надає доступ до інструментів для створення скелетної структури та контрольних точок.
3. Перехід до "Edit Mode":
 - перехід до режиму "Edit Mode" для моделі. Це дозволить редагувати геометричні елементи та підготувати їх для наступних етапів.
4. Видалення зайвих деталей:
 - за необхідності видаляються або приховуються зайві геометричні деталі, щоб спростити структуру моделі та полегшити процес ригінгу.

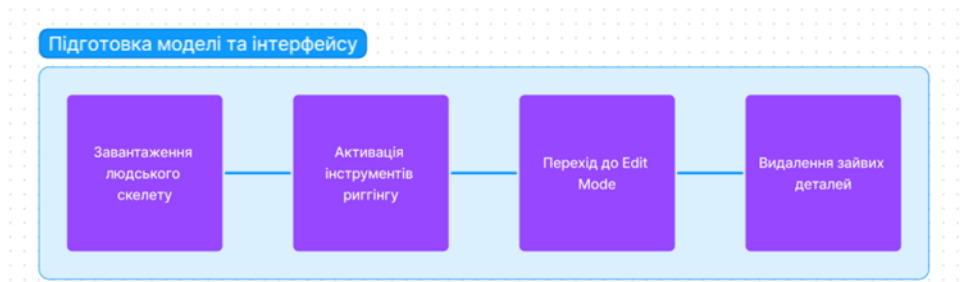


Рисунок 3.2 – Етап підготовки моделі та інтерфейсу

Цей етап має на меті створити базове середовище для подальшої роботи, де модель буде готовою до створення скелетної арматури та розміщення контрольних точок. Завантажена модель та підготовлене середовище створять основу для подальших етапів анімаційного процесу в Blender 3D.

На другому етапі процесу створення 3D моделі скелету людини у Blender 3D проводиться створення основної арматури або скелету, який буде визначати структуру руху персонажа.

1. Створення арматури:

- перехід до "Object Mode": переключіться з "Edit Mode" до "Object Mode", щоб приступити до створення арматури;
- вибір інструмента "Armature": виберіть інструмент "Armature" з панелі інструментів або головного меню;
- розміщення кісток: за допомогою інструмента створення кісток ("Bone"), розміщується вздовж ключових частин тіла, таких як голова, шия, плечі, руки, тулуб, стегна та ноги.

2. Створення контрольних точок:

- додавання порожніх об'єктів (Empty);
- взаємодія з арматурою: забезпечення взаємодії між кістками арматури та контрольними точками, встановлюючи відповідність для подальшого контролю руху.

3. Концептуалізація структури:

- розробка скелетної структури: створення структури скелета як про

основний фрейм, а контрольні точки як про елементи, які будуть активно контролювати під час анімації.

4. Адаптація до особливостей моделі:

- врахування особливостей конкретної моделі: при адаптації арматури до вашої моделі враховуйте особливості її будови та форми для максимальної природності рухів.

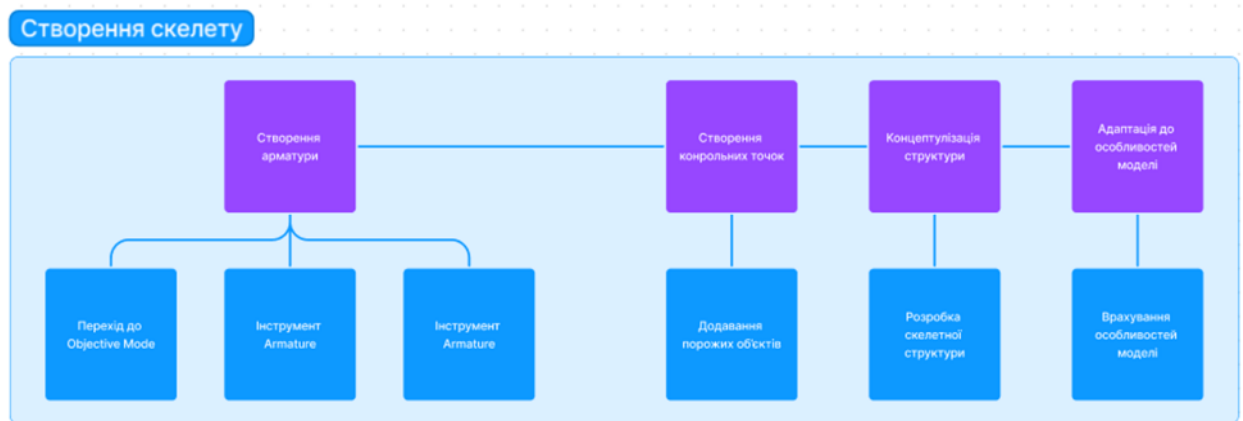


Рисунок 3.3 – Етап створення скелету людини

Цей етап має на меті створити основну скелетну структуру та контрольні точки, які будуть використовуватися для подальшої роботи над анімацією. Арматура визначає основну форму руху, а контрольні точки дозволяють активно керувати поведінкою та виразами персонажа.

На третьому етапі процесу створення 3D моделі скелету людини у Blender 3D відбувається розробка системи контролю, що включає в себе встановлення об'єктів-контролерів, налаштування обмежень руху та підготовка до наступних етапів анімації.

1. Встановлення об'єктів-контролерів:

- призначення контрольних точок: Кожну контрольну точку пов'язують з конкретною кісткою арматури. Використовуючи властивість "Child Of" або інші методи встановлення, створюється залежність між кістками скелета та контрольними точками.

2. Налаштування обмежень руху:

- захист від непотрібних перекручувань: встановлюється обмеження руху для кожної кістки арматури та відповідної контрольної точки. Це допоможе уникнути небажаних та неестетичних перекручувань під час анімації.

3. Конфігурація інтерфейсу управління:

- створення панелі управління: враховуючи кількість контрольних точок, створюється або налаштовується панель управління, яка забезпечить зручний доступ до усіх необхідних параметрів та функцій.

4. Система координації:

- організація робочого простору: створюється система координації між кістками скелета та контрольними точками так, щоб рух одного елемента системи впливав на інші з урахуванням природності рухів.

5. Перевірка функціональності:

- тестування взаємодії: перевіряється функціональність системи контролю, пересуваючи контрольні точки та спостерігаючи за реакцією арматури.



Рисунок 3.4 – Етап розробки системи контролю

Цей етап спрямований на створення стабільної системи контролю, яка дозволить аніматорам і ефективно керувати рухами персонажа. Встановлення

зв'язку між контрольними точками та арматурою є ключовим для подальшої анімації та надає можливість творчого впливу на живість та виразовість персонажа.

На четвертому етапі процесу створення 3D моделі скелету людини у Blender 3D відбувається анімація та детальне налаштування рухів. Цей етап дозволяє призначити ключові кадри, створити плавні переходи між рухами та доповнити анімацію додатковими ефектами.

1. Встановлення ключових кадрів:

- вибір моментів анімації: розміщаються ключові кадри для контрольних точок та кісток арматури у моментах, де потрібні зміни позицій, обертань або масштабів.

2. Створення плавних переходів:

- використання кривих анімації: налаштування анімаційних кривих для забезпечення плавних переходів між ключовими кадрами. Це дозволить уникнути різких та неприродних змін у русі.

3. Додавання додаткових ефектів:

- використання деформерів: застосування деформерів, які дозволяють змінювати форму об'єктів під час анімації. Це може бути корисно для створення реалістичних зморшок, розтягування тканин або інших ефектів.

4. Регулювання швидкості та інтенсивності:

- налаштування тимчасових параметрів: контроль швидкості, інтенсивності та чутливості анімації шляхом регулювання параметрів таймлайну та кривих анімації.

5. Тестування та виправлення:

- аналіз рухів в реальному часі: перевірка руху персонажа в реальному часі, тестуючи анімацію на відповідність задачам та потребам проекту.

6. Додаткові корекції та деталізація:

- робота над деталями: додавання додаткових деталей, які підвищують реалізм та виразовість, такі як вирази обличчя, рухи пальців, обертання голови тощо.

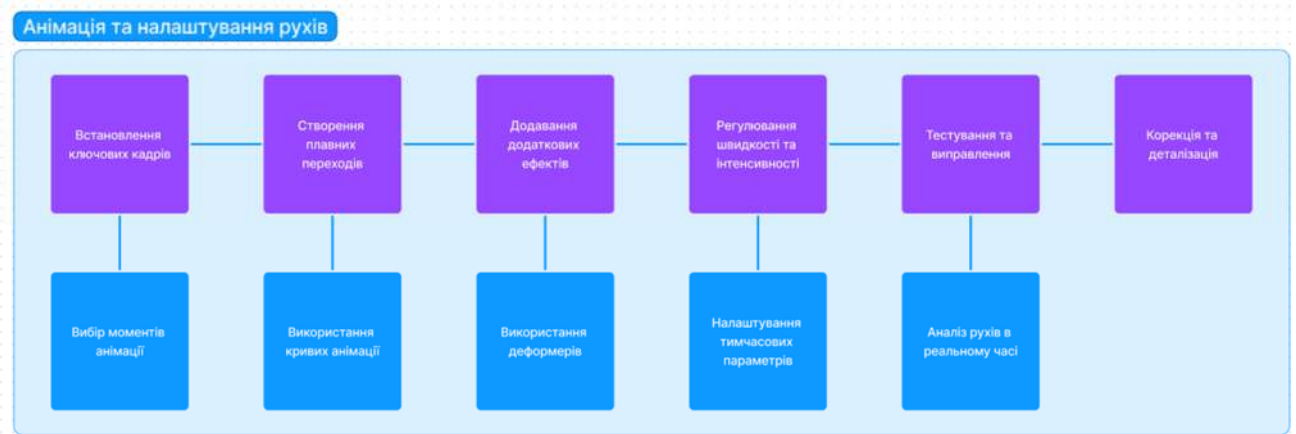


Рисунок 3.5 – Етап анімації та налаштування рухів

Цей етап є завершальним у процесі анімації та дозволяє створити живий та виразний рух для 3D моделі скелету людини. Ретельна настройка рухів та використання різноманітних ефектів додають анімації реалістичності та динаміки.

3.2 Продуктивність візуалізації скелетної анімації.

Швидкість процесора, інтеграція та сумісність графічних карт, сумісність з драйверами та ОЗУ - це лише деякі з аспектів, які забезпечують швидкий та якісний рендеринг.

Сучасні центральні процесори мають до 64 ядер, що дозволяє їм виконувати операції з дуже великою швидкістю. Крім того, чим більше кількість ядер, тим вища продуктивність рендерингу. Перевагою рендерингу на CPU є можливість доступу до великої кількості внутрішньої оперативної пам'яті, що дозволяє користувачеві легко рендерити сцени з великою кількістю даних.

Перевагою рендерингу на GPU є можливість вивільнення ресурсів CPU для інших завдань, при цьому забезпечуючи високу продуктивність рендерингу завдяки підтримці спеціальних технологій обробки графіки, таких як CUDA чи OpenCL. Це дозволяє ефективно використовувати обчислювальну

потужність GPU для рендерингу завдяки значно більшій кількості ядер і одиниць паралельних обчислень. Nvidia випускає широкий спектр обчислювального та обробного обладнання у вигляді мобільних GPU (Tegra), ноутбуків GPU (GeForce GT), настільних GPU (GeForce GTX) та серверних GPU (Quadro та Tesla). Його можна використовувати як з CUDA, так і з OpenCL, але продуктивність CUDA на Nvidia вища, оскільки ця програмна та апаратна платформа розроблена з урахуванням апаратного забезпечення Nvidia. OpenCL залишається основною мовою, яка використовується для обробки графіки за допомогою GPU від AMD [6].

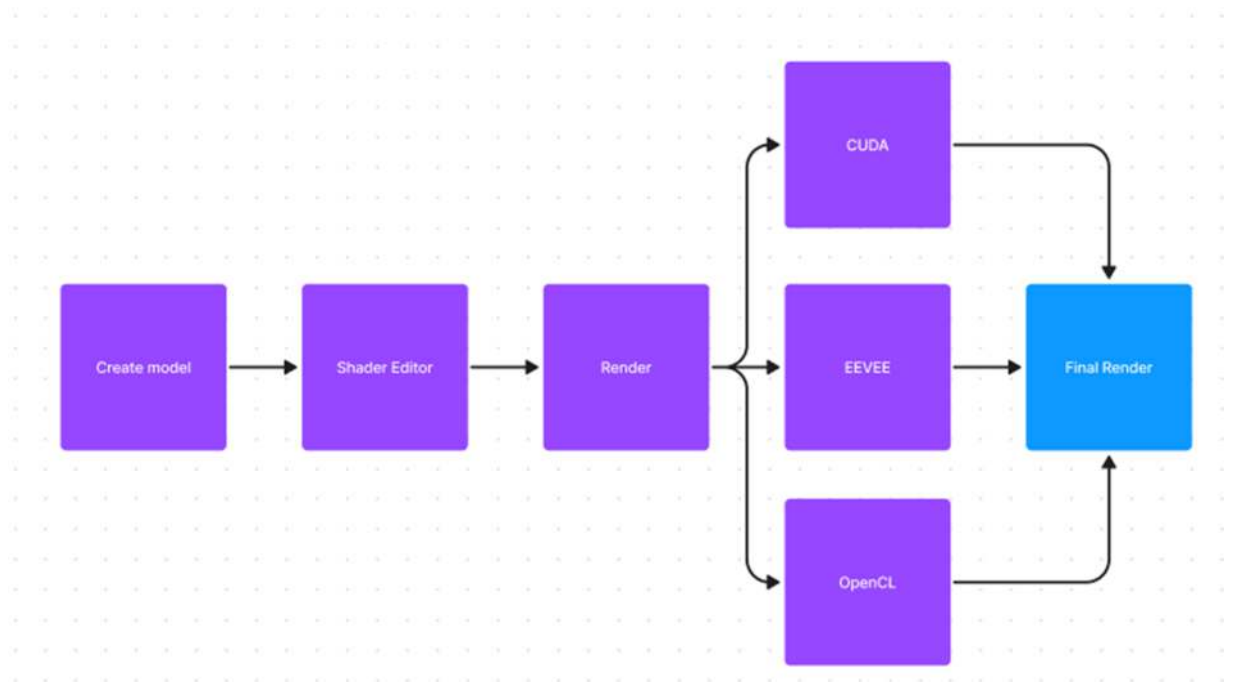


Рисунок 3.6 – UML-діаграма створення проекту

При обробці складних сцен (багато об'єктів, деталізована геометрія, освітлення та тіні, текстури та матеріали) GPU надає більш вигідну різницю в часі рендерингу.

Графічна презентація отриманих результатів показана на рис. 3.6. Діаграма відображає залежність часу рендерингу сцени від типу обчислювальної одиниці та кількості проходів (зразків зображення), які повинен виконати рендер (VRay чи інший), щоб отримати високоякісне зображення (з мінімальною зернистістю).

Проведені експерименти були супроводжені створенням демо-сцени, на яку накладалися текстури та подальший рендеринг з різною кількістю зразків (обчислювальних операцій), які рендер повинен виконати для отримання високоякісного зображення з мінімальною зернистістю.

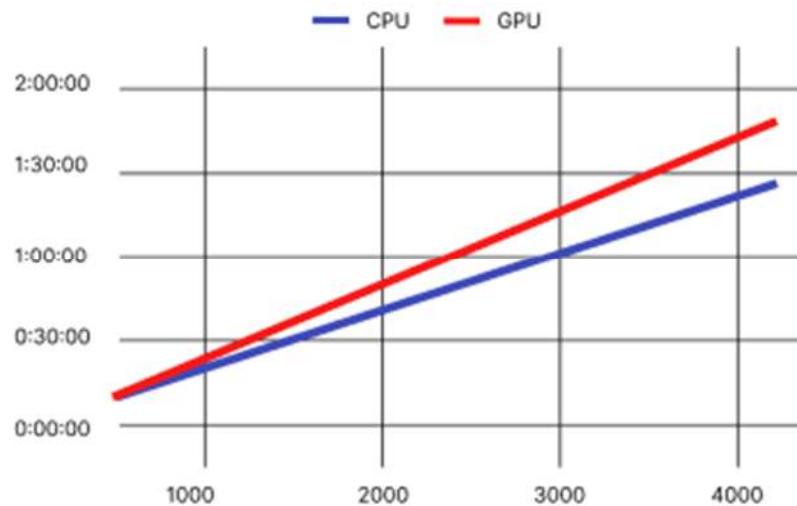


Рисунок 3.6 – Порівняльна діаграма GPU та CPU

Результати експериментів показали, що більша кількість зразків призводить до меншої шумовидільності та плавнішого відображення освітлення та матеріалів, але водночас час, необхідний для рендерингу, збільшується.

Загальна ефективність рендерингу відчутно покращується при використанні графічного процесора (GPU) порівняно з центральним процесором (CPU).

Графічні карти мають велику кількість ядер, що дозволяє їм обробляти багато операцій одночасно, що є ключовим для рендерингу складних сцен. GPU мають велику кількість обчислювальних одиниць, що дозволяє їм ефективно обробляти графічні операції, такі як обчислення освітлення, тіней, текстур і матеріалів паралельно. Графічні карти спеціалізовані на графічних обчисленнях і використовують технології, такі як CUDA чи OpenCL, що дозволяє їм ефективно виконувати графічні завдання. Рендеринг на GPU

дозволяє вивільнити ресурси CPU для інших завдань, забезпечуючи ефективність роботи всього системного комплексу.

3.3 Вдосконалення методу скелетної анімації у Blender 3D

Однією з основних труднощів традиційного методу скелетної анімації в Blender 3D є збільшення часу рендерингу, особливо при великих або деталізованих сценах. Ця проблема є важливою для вирішення, оскільки великі часові затрати можуть обмежувати творчий процес та продуктивність.

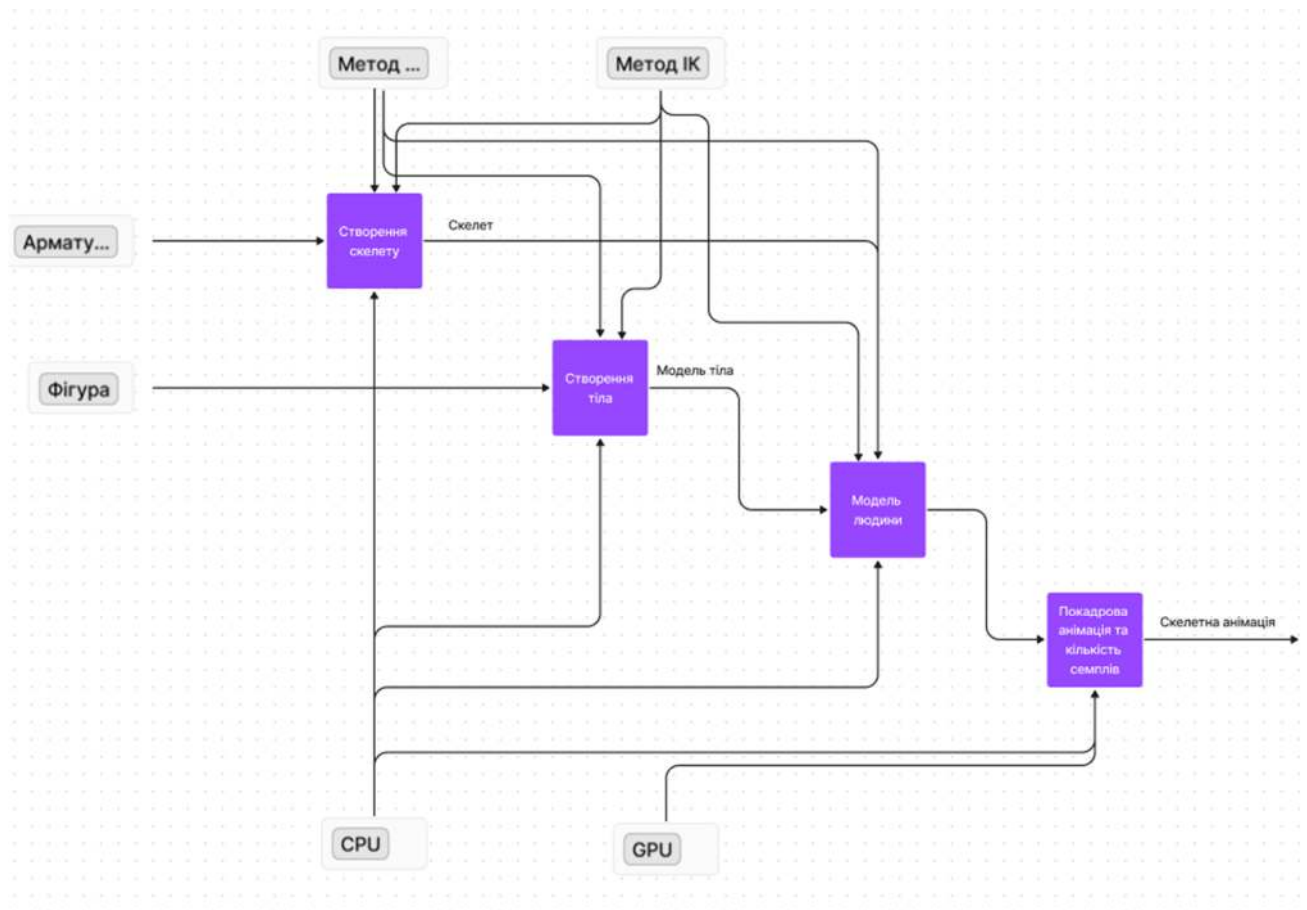


Рисунок 3.7 – Функціональна діаграма запропонованого підходу для прискорення анімації

Одним із способів поліпшення ефективності анімації та рендерингу є оптимізація параметрів рендерера та зменшення часу рендерингу за рахунок деяких змін у методиці роботи:

1. Зменшення кількості семплів:

- зменшення кількості семплів для освітлення та тіней може суттєво зменшити час рендерингу без великої втрати якості зображення.

2. Рендеренг анімації покадрово:

- замість рендерингу всієї анімації одним блоком, використовується можливість рендерингу кадрів поодиночі. Це дозволяє контролювати процес рендерингу та за необхідності призупиняти чи відновлювати процес без зайвого навантаження на систему.

3. Використання оптимізованих налаштувань рендерера:

- використання GPU для рендерингу, оптимізацію налаштувань відображення, та використання оптимальних методів антиаліасингу [7].

Ці покращення дозволять зберегти високу якість анімації, а водночас значно зменшити час рендерингу, сприяючи ефективнішому та продуктивному процесу роботи у Blender 3D.

На представленому нижче рис. 3.8 показана приблизна модель людського тіла, яка буде використовуватися у дослідженні скелетної анімації.

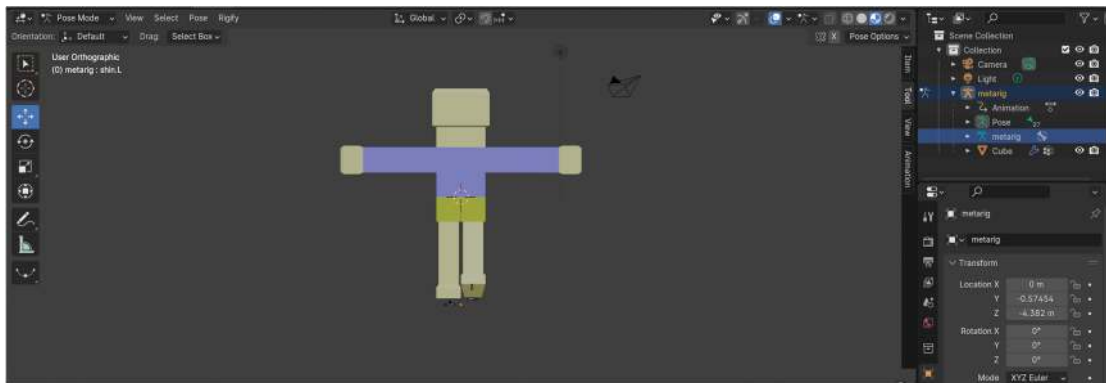


Рисунок 3.8 – Модель людського тіла

Основу моделі людського тіла складає арматура скелету, яка є невидимою опорною структурою, надійно вбудованою у віртуальну анімовану форму. Арматура скелету виконує критичну роль у стабілізації та контролі за рухом та динамікою цього цифрового представлення людської фігури.

Шляхом поєднання двох важливих методів – покадрової анімації та використання кількості семплів – було досягнуто значного покращення якості та реалізму відображення рухів та динаміки скелетної анімації.

Першим етапом у вдосконаленні рендерингу було використання покадрової анімації. Цей метод дозволяє зберігати та відтворювати анімаційні образи, кадр за кадром, визначаючи точне положення та стан кожного об'єкта на кожному кадрі. Використання цього методу вже дозволило досягти високої реалістичності в рухах, але ми прагнули ще далі.

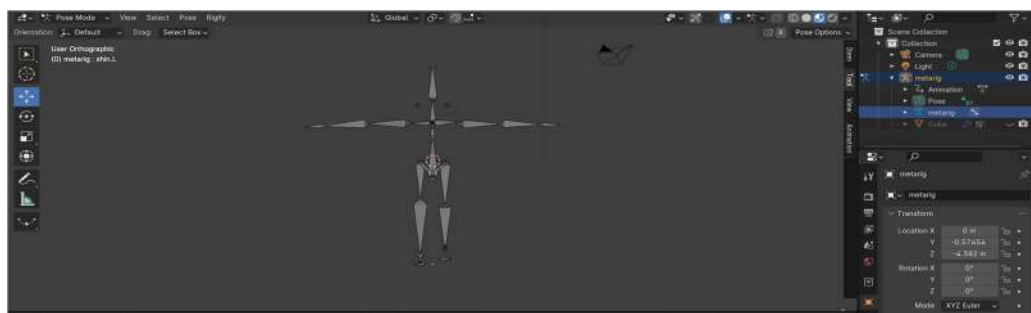


Рисунок 3.9 – Арматура скелету людини

Другим ключовим елементом нашого підходу стала інтеграція кількості семплів у процес рендерингу. Кількість семплів визначає, скільки разів кожна точка на зображенні або відео розглядається та розраховується для кожного кольору та освітлення. Збільшення кількості семплів призводить до більш деталізованих та зіграніших зображень, зменшуючи артефакти та покращуючи якість. Поєднання покадрової анімації та оптимальної кількості семплів дозволило досягти ефекту, який виходить за межі можливостей кожного методу окремо. Рухи стали більш плавними, деталі анімованих об'єктів набули реалістичності, а час рендерингу пришвидшився.

Цей підхід до рендерингу скелетної анімації є прикладом того, як інтеграція різних методів може призвести до синергетичних ефектів та значного покращення візуального досвіду. Покращений рендеринг скелетної анімації відкриває нові можливості для створення 3D об'єктів більшого розміру.

4 РОЗРОБКА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ 3D МОДЕЛІ СКЕЛЕТУ ЛЮДИНИ

4.1 Аналіз дослідження

Двигун рендерингу EEVEE в Blender визначається своєю швидкістю та реальним часом під час рендерингу. Це особливо корисно для вивчення та швидкої перевірки анімацій, але має свої обмеження в реалістичності освітлення та відображення матеріалів. При використанні EEVEE для скелетної анімації, швидкість є великою перевагою, особливо коли важливо отримати швидкий попередній перегляд результатів анімації.

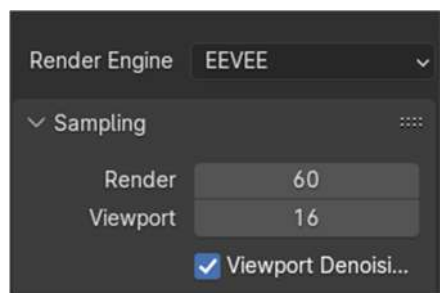


Рисунок 4.1 – Двигун рендерингу EEVEE

У рамках дослідження було використано (250, 500, 1000) кадрів для створення покадрової анімації. Цей обсяг дозволив нам детально проаналізувати, як EEVEE обробляє рухи та динаміку скелетної анімації на різних етапах анімаційного процесу.

Для досягнення максимальної якості візуалізації та зменшення артефактів, було встановлено (30, 60, 128, 256, 512) семплів на один піксель. Вибір цієї кількості семплів був обґрунтований бажанням досягти оптимального балансу між швидкістю та реалістичністю у відтворенні деталей анімації. Частота кадрів була на позначці 30 кадрів на секунду.

Задача таблиці полягає в суб'єктивній візуальній оцінці плинності рухів скелета при різних значеннях кількості семплів у анімаційній системі.

Таблиця 4.1 – Суб'єктивна візуальна оцінка плинності рухів скелета при різній кількості семплів

Кількість семплів	Опис плинності рухів
30	При 30 семплах рухи скелета відчуються досить ривковими і нестабільними. Моменти переміщення здаються дещо дискретними.
60	Зі збільшенням кількості семплів до 60 спостерігається певне поліпшення. Рухи стають більш плинними, але залишаються помітні переходи між семплами.
128	При 128 семплах рухи стають помітно більш плинними та природними. Переходи між кадрами стають менш помітними.
256	Збільшення кількості семплів до 256 призводить до високої плинності. Рухи виглядають природними і безперервними, без помітних перерв.
512	При 512 семплах рухи скелета стають надзвичайно плинними. Переходи між кадрами практично невидимі, що надає їм високий реалістичний характер.

Зафіксовані значення кількості семплів (60, 128) представляють різні рівні частоти вимірювань позицій скелета під час анімації. Більше семплів зазвичай дозволяють отримати більш деталізовані та плавні рухи, однак це може вимагати більше обчислювальних ресурсів.

Отримані оцінки є суб'єктивними і відображають особисте враження від якості анімації при різних умовах семплювання. Вони можуть служити вказівкою для визначення оптимальної кількості семплів у конкретному контексті для досягнення бажаної плинності рухів скелета.

Використання EEVEE при таких параметрах виявилося дуже ефективним з точки зору швидкодії рендерингу, так при характеристиках описаних вище двигун рендерингу EEVEE показав, що використання поєднання методу покадрової анімації та кількості семплів пришвидшує рендеринг скелетної анімації людини на:

- при значенні у 250 кадрів та використанні 60 семплів кількість затраченого часу за допомогою поєднання методу покадрової анімації та кількості семплів пришвидшує рендеринг скелетної анімації людини на 39%;

- при значенні у 250 кадрів та використанні 128 семплів кількість затраченого часу за допомогою поєднання методу покадрової анімації та кількості семплів пришвидшує рендеринг скелетної анімації людини на 40%;

- при значенні у 500 кадрів та використанні 60 семплів кількість затраченого часу за допомогою поєднання методу покадрової анімації та кількості семплів пришвидшує рендеринг скелетної анімації людини на 43%;

- при значенні у 500 кадрів та використанні 128 семплів кількість затраченого часу за допомогою поєднання методу покадрової анімації та кількості семплів пришвидшує рендеринг скелетної анімації людини на 44,2%;

- при значенні у 1000 кадрів та використанні 60 семплів кількість затраченого часу за допомогою поєднання методу покадрової анімації та кількості семплів пришвидшує рендеринг скелетної анімації людини на 45%;

- при значенні у 1000 кадрів та використанні 128 семплів кількість затраченого часу за допомогою поєднання методу покадрової анімації та кількості семплів пришвидшує рендеринг скелетної анімації людини на 46,5%.

Зміни у параметрах анімації (кількість кадрів та семплів) впливають на швидкість рендерингу. При використанні методу покадрової анімації та збільшеної кількості семплів можна досягти значущого прискорення рендерингу. Збільшення кількості кадрів має більший вплив на рендеринг порівняно зі зміною кількості семплів. За вказаних умов швидкісний приріст складає від 39% до 46,5%, що при невеликих розмірах моделі робить результат дослідження доцільним, відсоток у часі рендерингу за допомогою поєднання

методу покадрової анімації та кількості семплів можна вважати великим, але при маленьких значеннях кількості кадрів та кількості семплів різниця затраченого часу не є великою.

Таблиця 4.2 – Порівняльні значення рендерингу скелетної анімації за допомогою двигуна Eevee використовуючи гібридне обчислювальне середовище (CPU+GPU)

Формат анімації		Кількість кадрів	Кількість семплів	Кадрова частота	Час рендерингу	
PNG	AVI				PNG	AVI
PNG	AVI	250	60	30	0:01:25	0:02:05
PNG	AVI	250	128	30	0:07:55	0:12:50
PNG	AVI	500	60	30	0:04:16	0:07:21
PNG	AVI	500	128	30	0:15:34	0:27:45
PNG	AVI	1000	60	30	0:09:23	0:16:27
PNG	AVI	1000	128	30	0:28:35	0:52:45

Cycles – це фізично коректний двигун рендерингу в Blender, який використовує відстеження променів для генерації високоякісних візуальних ефектів та анімацій. Cycles використовує фізично коректні алгоритми та підтримує відслідковування променів, що дозволяє отримати високоякісні візуальні ефекти. При застосуванні до скелетної анімації, cycles забезпечує детальне та реалістичне відображення кісткових структур та рухів.

Двигун використовує метод відслідковування променів (path tracing), що дозволяє змоделювати взаємодію світла та матеріалів, враховуючи різні ефекти, такі як відбиття та проломлення. Cycles використовує поняття семплів (samples) для керування якістю рендерингу. Більша кількість семплів призводить до більшої деталізації, але може займати більше часу. Кількість ітерацій впливає на кількість кадрів, які обчислюються під час анімації. Cycles може використовувати як GPU, так і CPU для розпаралелювання обчислень та прискорення рендерингу.

У кваліфікаційній роботі були проведені дослідження рендерингу скелетної анімації, як і на CPU так і на GPU.

Першим дослідження на цьому двигуні було дослідження саме CPU.

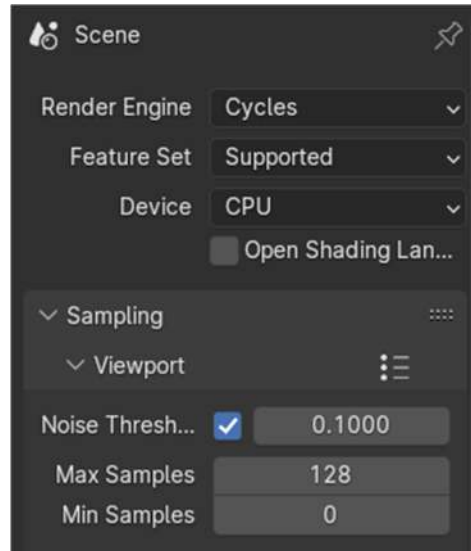


Рисунок 4.2 – Рендеринг Cycles CPU

У рамках дослідження було використано (250, 500, 1000) кадрів для створення покадрової анімації. Цей обсяг дозволив нам детально проаналізувати, як Cycles за допомогою CPU обробляє рухи та динаміку скелетної анімації на різних етапах анімаційного процесу.

Для досягнення максимальної якості візуалізації та часу, було встановлено (60,128) семплів на один піксель. Вибір цієї кількості семплів був обґрунтований бажанням досягти оптимального балансу між швидкістю та реалістичністю у відтворенні деталей анімації. Частота кадрів була на позначці 30 кадрів на секунду.

Використання двигуну Cycles за допомогою CPU при таких параметрах виявилось дуже ефективним з точки зору швидкодії рендерингу, так при характеристиках описаних вище двигун рендерингу Cycles показав, що використання поєднання методу покадрової анімації та кількості семплів пришвидшує рендеринг скелетної анімації людини на:

- при значенні у 250 кадрів та використанні 60 семплів кількість затраченого часу за допомогою поєднання методу покадрової анімації та кількості семплів пришвидшує рендеринг скелетної анімації людини на 26%;
- при значенні у 250 кадрів та використанні 128 семплів кількість затраченого часу за допомогою поєднання методу покадрової анімації та кількості семплів пришвидшує рендеринг скелетної анімації людини на 28%;
- при значенні у 500 кадрів та використанні 60 семплів кількість затраченого часу за допомогою поєднання методу покадрової анімації та кількості семплів пришвидшує рендеринг скелетної анімації людини на 32%;
- при значенні у 500 кадрів та використанні 128 семплів кількість затраченого часу за допомогою поєднання методу покадрової анімації та кількості семплів пришвидшує рендеринг скелетної анімації людини на 36,7%;
- при значенні у 1000 кадрів та використанні 60 семплів кількість затраченого часу за допомогою поєднання методу покадрової анімації та кількості семплів пришвидшує рендеринг скелетної анімації людини на 39%;
- при значенні у 1000 кадрів та використанні 128 семплів кількість затраченого часу за допомогою поєднання методу покадрової анімації та кількості семплів пришвидшує рендеринг скелетної анімації людини на 42,5%.

Таблиця 4.3 – Порівняльні значення рендерингу скелетної анімації за допомогою двигуна Cycles з обчисленнями на CPU

Формат анімації		Кількість кадрів	Кількість семплів	Кадрова частота	Час рендерингу	
PNG	AVI				PNG	AVI
PNG	AVI	250	60	30	0:01:50	0:02:08
PNG	AVI	250	128	30	0:07:35	0:10:12
PNG	AVI	500	60	30	0:05:05	0:07:40
PNG	AVI	500	128	30	0:16:15	0:25:30
PNG	AVI	1000	60	30	0:10:02	0:16:32
PNG	AVI	1000	128	30	0:29:45	0:51:27

За вказаних умов швидкісний приріст складає від 26% до 42,5%, відсоток у часі рендерингу за допомогою поєднання методу покадрової анімації та кількості семплів можна вважати від середнього до великого, в залежності від використання кількості кадрів та кількості семплів у рендерингу анімації. Використання рендерингу на Cycles за допомогою CPU показав гірший результат ніж використання двигуна Eevee використовуючи гібридне обчислювальне середовище, але ці значення не є критично малими, що при невеликих розмірах моделі робить результат дослідження доцільним

У цьому дослідженні було проведено аналіз використання технології CUDA у двигуні рендерингу Cycles в Blender.

CUDA, розроблена компанією NVIDIA, дозволяє використовувати графічні картки для обчислень загального призначення, що може значно покращити продуктивність рендерингу. Головною перевагою технології є те, що вона дозволяє ефективно обробляти велику кількість семплів.

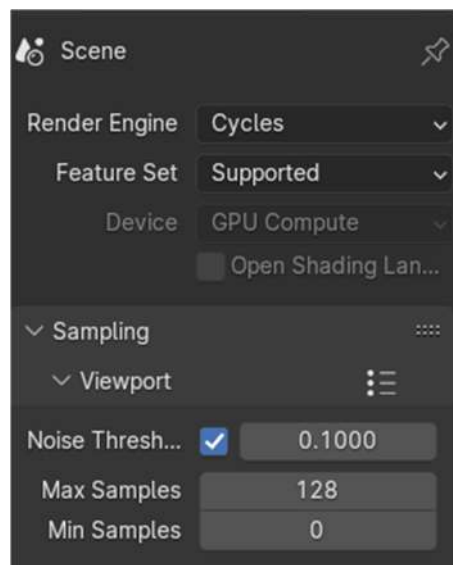


Рисунок 4.3 – Рендеринг Cycles GPU

Використання CUDA може значно покращити час виконання обчислень, що є критично важливим для завдань, де потрібно велике обчислювальне навантаження.

У рамках дослідження було використано (250, 500, 1000) кадрів для створення покадрової анімації. Цей обсяг дозволив нам детально проаналізувати, як Cycles за допомогою технології CUDA обробляє рухи та динаміку скелетної анімації на різних етапах анімаційного процесу.

Для досягнення максимальної якості візуалізації та часу, було встановлено (60, 128) семплів на один піксель. Вибір цієї кількості семплів був обґрунтований бажанням досягти оптимального балансу між швидкістю та реалістичністю у відтворенні деталей анімації. Частота кадрів була на позначці 30 кадрів на секунду.

Використання двигуну рендерингу Cycles за допомогою технології CUDA показав, що використання поєднання методу покадрової анімації та кількості семплів пришвидшує рендеринг скелетної анімації людини на:

- при значенні у 250 кадрів та використанні 60 семплів кількість затраченого часу за допомогою поєднання методу покадрової анімації та кількості семплів пришвидшує рендеринг скелетної анімації людини на 31%;
- при значенні у 250 кадрів та використанні 128 семплів кількість затраченого часу за допомогою поєднання методу покадрової анімації та кількості семплів пришвидшує рендеринг скелетної анімації людини на 34%;
- при значенні у 500 кадрів та використанні 60 семплів кількість затраченого часу за допомогою поєднання методу покадрової анімації та кількості семплів пришвидшує рендеринг скелетної анімації людини на 39%;
- при значенні у 500 кадрів та використанні 128 семплів кількість затраченого часу за допомогою поєднання методу покадрової анімації та кількості семплів пришвидшує рендеринг скелетної анімації людини на 45%;
- при значенні у 1000 кадрів та використанні 60 семплів кількість затраченого часу за допомогою поєднання методу покадрової анімації та кількості семплів пришвидшує рендеринг скелетної анімації людини на 50%;
- при значенні у 1000 кадрів та використанні 128 семплів кількість затраченого часу за допомогою поєднання методу покадрової анімації та кількості семплів пришвидшує рендеринг скелетної анімації людини на 55%.

Дослідження дозволило виокремити значні переваги використання графічного процесора GPU, зокрема технології CUDA, у порівнянні з центральним процесором CPU під час рендерингу скелетної анімації в Cycles у Blender. GPU виявився набагато ефективнішим у розпаралелюванні обчислень, що особливо важливо при обробці великої кількості даних, як у випадку скелетної анімації. Технологія CUDA дозволяє використовувати паралельні обчислення на тисячах ядрах графічного процесора, що є ключовим фактором у значному прискоренні обчислень[8].

Таблиця 4.4 – Порівняльні значення рендерингу скелетної анімації за допомогою двигуна Cycles з обчисленнями на GPU

Формат анімації		Кількість кадрів	Кількість семплів	Кадрова частота	Час рендерингу	
PNG	AVI				PNG	AVI
PNG	AVI	250	60	30	0:00:58	0:00:86
PNG	AVI	250	128	30	0:05:25	0:08:25
PNG	AVI	500	60	30	0:04:76	0:06:54
PNG	AVI	500	128	30	0:12:27	0:22:20
PNG	AVI	1000	60	30	0:7:15	0:14:45
PNG	AVI	1000	128	30	0:22:67	0:50:25

Використання GPU, особливо у поєднанні з методом покадрової анімації та визначеною кількістю семплів, забезпечило високу якість візуалізації без значного збільшення часу рендерингу.

За вказаних умов швидкісний приріст складає від 31% до 55%, відсоток у часі рендерингу за допомогою поєднання методу покадрової анімації та кількості семплів можна вважати великим.

За вказаних умов швидкісний приріст складає від 26% до 42,5%, відсоток у часі рендерингу за допомогою поєднання методу покадрової анімації та кількості семплів можна вважати від середнього до великого, в залежності від використання кількості кадрів та кількості семплів у рендерингу анімації.

Використання рендерингу на Cycles за допомогою CPU показав гірший результат ніж використання двигуна Eevee використовуючи гібридне обчислювальне середовище, але ці значення не є критично малими, що при невеликих розмірах моделі робить результат дослідження доцільним

Таблиця 4.5 – Аналіз отриманого прискорення при виконанні скелетної анімації на різних типах обчислювальних систем на GPU, CPU та на гібридній обчислювальній системі

Кількість кадрів	Кількість семплів	Прискорення рендерингу		
		GPU	CPU	GPU+CPU
250	60	31%	26%	39%
250	128	34%	28%	40%
500	60	39%	32%	43%
500	128	45%	36.7%	44.2%
1000	60	50%	39%	45%
1000	128	55%	42.5%	46%

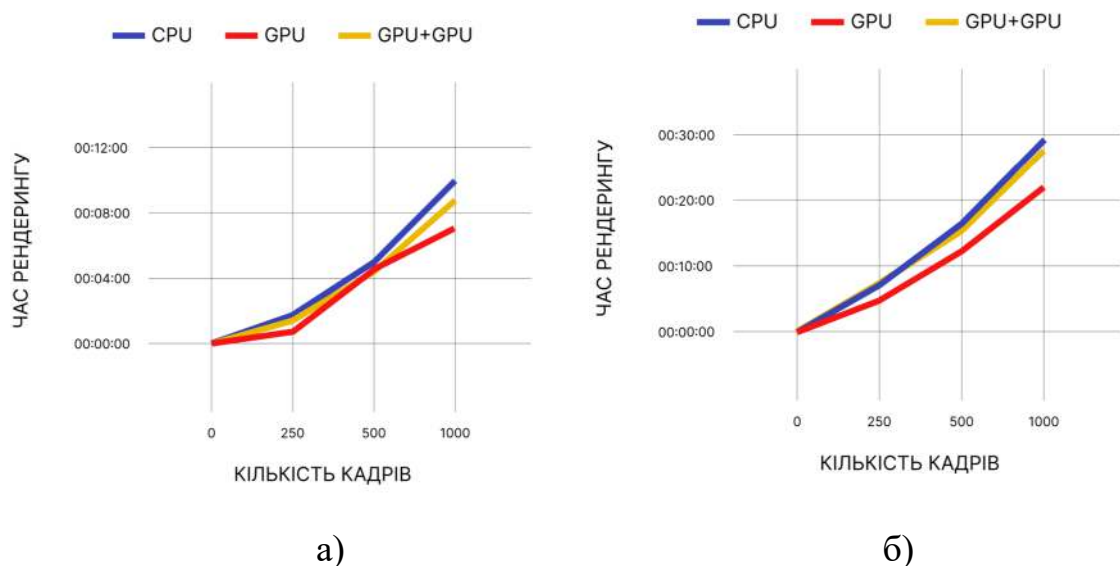


Рисунок 4.4 – Порівняльний графік залежності часу виконання скелетної анімації від кількості семплів для CPU та GPU при: а) 60 семплах;
б) 128 семплах

Враховуючи різницю в продуктивності між GPU та CPU у рендерингу, важливо правильно вибрати обчислювальний ресурс в залежності від конкретного завдання. У випадку скелетної анімації, використання GPU з технологією CUDA виявляється оптимальним.

Згідно з даних дослідження прискорення рендерингу визначається не лише обсягом роботи (кількість кадрів і семплів) та типом обчислювальної системи, але і ефективністю використання GPU та CPU. Зі збільшенням кількості кадрів і семплів час рендерингу також збільшується, але при цьому співвідношення прискорення залишається стабільним. Технологія CUDA, яка використовує GPU сама по собі є значно швидшим, але використання CPU у поєднанні з GPU (GPU+CPU) дозволяє отримати значне прискорення, особливо при малій кількості кадрів та семплів, але зі збільшенням кількості кадрів та кількості семплів рендеринг за допомогою технології CUDA є значно ефективніше ніж гібридна обчислювальна система, так прискорення рендерингу на GPU збільшилася на 43% починаючи з мінімальних показників до максимального, в той час як прискорення гібридної системи збільшилося лише 15,2%.

Розвиток технологій у сфері GPU та постійне вдосконалення технічних характеристик графічних карт може призвести до ще більшого зростання продуктивності та зменшення часу рендерингу.

ВИСНОВКИ

В ході виконання даної кваліфікаційної роботи було здійснено глибокий аналіз та вдосконалення методів візуалізації анімації скелету людини в середовищі Blender 3D, зокрема, на основі контрольних точок. Робота включала аналіз традиційних метрик скелетної анімації, вивчення впливу кількості семплів на плавність переходів між кадрами та час виконання візуалізації, а також вдосконалення методу за рахунок адаптації для графічного процесора GPU. Проведений аналіз традиційних метрик скелетної анімації дозволив визначити слабкі та сильні сторони існуючих методів, а також виявити області для подальшого вдосконалення. Досліджено вплив кількості семплів на плавність переходів між кадрами та час виконання візуалізації. Визначено оптимальні параметри для досягнення балансу між якістю та ефективністю. Вдосконалення методу візуалізації скелетної анімації за допомогою адаптації для GPU дозволило суттєво підвищити продуктивність та швидкодію. Використання графічного процесора виявилось ключовим аспектом у досягненні цього покращення, який показав результат швидкодії рендерингу на 43% починаючи з мінімальних показників до максимального, в той час як прискорення гібридної системи збільшилося лише 15,2%.

Шляхом поєднання двох важливих методів – покадрової анімації та використання кількості семплів – було досягнуто значного покращення якості та реалізму відображення рухів та динаміки скелетної анімації, що дозволили зменшити кількість часу рендерингу скелетної анімації.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Computer Animation: Algorithms and Techniques – Rick Parent, 2012. – 222 p. – ISBN 978-0-12415842-9.
2. The Animator's Survival Kit – Richard Williams, 2002. – 342 p. – ISBN 978-0-14413842-5-5.
3. Computer Graphics: Principles and Practice James – D. Foley, 1997. – 1069 p. – ISBN 0201848406.
4. BRITO, Allan. Blender 3D. New York: Novatec, 2007.
5. ROSSL, Christian; KOBBELT, Leif. Line-art rendering of 3d-models. In: Proceedings the Eighth Pacific Conference on Computer Graphics and Applications. IEEE, 2000. p. 87-96.
6. VERMA, Vishal; WALIA, Ekta. 3D Rendering-Techniques and challenges. International Journal of Engineering and Technology, 2010, 2.2: 29-33.
7. YANG, Ze, et al. S3: Neural shape, skeleton, and skinning fields for 3d human modeling. In: Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. 2021. p. 13284-13293.
8. RAO, Ganga Rama Koteswara, et al. Comparing 3D rendering engines in blender. In: 2021 2nd International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC). IEEE, 2021. p. 489-495.
9. Barkovska O., Shulinus O., Rosinskiy D., Lebodkin Y., Serdechnyi V. Research on Model Rendering Performance in Blender 3D Using Massively Parallel Systems //2023 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS). – IEEE, 2023. – C. 1-5.