

Важливими є подальші дослідження вразливості людини поряд з мовними нейромережами. Такі дослідження необхідні, щоб покращити взаємодію людини із штучноінтелектуальними системами, зокрема у навчальних процесах, де врахування особливостей людського сприйняття є критично необхідним.

Список використаних джерел

1. Hardesty L. , Explained: Neural networks, MIT News Office, Cambridge, MA, USA, April 14, 2017, [Online]. Available: <https://news.mit.edu/2017/explained-neural-networks-deep-learning-0414>, Дата звернення: 29.09.2024.
2. Hugo Münsterberg, On the Witness Stand: Essays on Psychology and Crime, Doubleday, Page edition, 1908, Favicon Open Library [Online]. Available: <https://ia600905.us.archive.org/12/items/onwitnessstande01mngoog/onwitnessstande01mngoog.pdf>, Дата звернення: 05.10.2024.
3. ChatGPT. [Online]. Available: <https://chat.openai.com/auth/login> Дата звернення: 12.10.2024
4. Токарев М. Як стати промпт інженером і які професії штучний інтелект вб'є першими, Сайт незалежного медіахолдингу NV, [Електронний ресурс]. Доступно: <https://biz.nv.ua/ukr/experts/yaki-profesiji-vb-ye-chatgpt-ta-shi-i-yak-stati-prompt-inzhenerom-shchob-zalishitis-na-rinku-50318388.html> Дата звернення: 12.10.2024
5. Штучний інтелект в освіті: відповідальне ставлення [Електронний ресурс] : бібліографічний покажчик / уклад. Олена Найдьонова ; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2023. – 11 с. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://dspace.kntu.kr.ua/server/api/core/bitstreams/fe614846-7a07-475b-bc05-6592ffe99051/content> Дата звернення: 11.10.2024

**ШЕНШИН О. О.,
РОМАНЮК, О. Н.,**

Вінницький національний технічний університет,

ФІЗИЧНО ОБҐРУНТОВАНА АНІМАЦІЯ В КОМП'ЮТЕРНІЙ ГРАФІЦІ

Анімація в комп'ютерній графіці [1] - це вид анімації, що створюється за допомогою тривимірної комп'ютерної графіки (CGI), де об'єкти моделюються в просторі, додаючи об'єм, перспективу та освітлення. 3D-анімація використовується для того, щоб оживити цифрові об'єкти, завдяки чому вони можуть рухатися, змінювати форму і взаємодіяти один з одним, створюючи реалістичний візуальний ефект. Отримані зображення зберігаються як кадри для створення послідовності (анімації) або відображаються в реальному часі, наприклад, у відеоіграх.

Комп'ютерна графіка є невід'ємною частиною сучасних медіа та індустрії розваг. Для досягнення високого рівня реалізму та занурення, необхідно застосовувати закони фізики при створенні анімації. Фізично обґрунтована анімація - це анімація, де рухи об'єктів створюються на основі законів фізики. Тобто, коли бачимо, як м'яч відскакує від стіни або як тканина реагує на вітер, то бачимо не просто картинку, а результат розрахунків, що враховують такі фактори, як маса, швидкість, сила тяжіння, пружність матеріалу тощо.

Моделювання динаміки рухів застосовує закони механіки, такі як імпульс, момент сили та динаміка твердих тіл, для точного відтворення руху об'єктів, дозволяючи передати реалістичну поведінку при зіткненнях, падіннях, пострілах та інших подіях. Застосування методів кінцевих елементів та інших підходів для симуляції деформацій дає можливість моделювати пружні та пластичні деформації, відтворюючи реалістичні викривлення та зміну форми при взаємодії. Точний розрахунок взаємодій між об'єктами на основі фізичних законів, включаючи зіткнення, зв'язки та тертя, а особливо врахування впливу зовнішнього середовища, зокрема гравітації, тертя та аеродинамічних ефектів, забезпечує особливу природну реакцію об'єктів на навколишні умови.

Специфічні види фізичного моделювання становлять важливу частину сучасної комп'ютерної графіки. Моделювання рідин (fluid simulation) [2] дозволяє створювати реалістичні водні поверхні, океанські хвилі, дощ та інші рідкі середовища, використовуючи рівняння Нав'є-Стокса [3] і методи частинок SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) [4]. Системи часток [5] застосовуються для моделювання таких ефектів як дим, вогонь, іскри та інші атмосферні явища, де кожна частинка має власні параметри руху та взаємодії. Моделювання тканин і м'яких тіл вимагає складних алгоритмів для відтворення природної поведінки одягу, прапорів та органічних об'єктів, враховуючи їх

еластичність та деформації. Особливу увагу приділяють моделюванню волосся та хутра, де кожна волосина може мати власну фізичну поведінку та взаємодіяти з іншими.

Методами реалізації є використання фізичних рушіїв, спеціалізованих програмних бібліотек та ігрових двигунів, таких як RealFlow, Bullet, NVIDIA PhysX [6-8], які пропонують широкий спектр алгоритмів для розрахунку фізичних взаємодій. Існують також аналітичні підходи, що застосовують математичні моделі та диференціальні рівняння для точного обчислення руху та деформацій. Хоча ці методи забезпечують найвищу точність, вони зазвичай є обчислювально затратними. Використання чисельних симуляцій, як-от метод скінченних елементів [9], дозволяє моделювати складні фізичні процеси й працювати з більш складними геометріями та матеріалами. Наприклад, інженери можуть змоделювати міст і перевірити його міцність ще до побудови. Також використовують гібридні підходи, які комбінують аналітичні та чисельні методи, щоб досягти оптимального балансу між точністю та швидкістю, дозволяючи аналізувати поведінку систем, що важко або неможливо дослідити експериментально.

Технічна реалізація фізичних симуляцій включає використання спеціалізованих структур даних і алгоритмів для підвищення ефективності. Наприклад, октодерева [10] застосовуються для швидкого пошуку об'єктів у тривимірному просторі, що значно знижує час на обробку великих сцен. Ієрархічні обмежуючі об'єми (Bounding Volume Hierarchies, BVH) [11] допомагають ефективно виявляти можливі колізії між об'єктами, зменшуючи кількість перевірок зіткнень. Для інтеграції рівнянь руху використовуються методи, такі як метод Верле [12], що забезпечує стабільність симуляцій з високою швидкістю обчислень, та метод Рунге-Кутта [13] для більш точної обробки складних рухів. Оптимізація продуктивності досягається завдяки використанню багатопоточності (multithreading) [14], SIMD-інструкцій [15] для паралельної обробки даних та спеціалізованих апаратних прискорювачів, таких як GPU, що дозволяють обробляти фізичні симуляції у реальному часі. Кешування результатів симуляції дозволяє повторно використовувати вже обчислені стани для схожих ситуацій.

У той же час, з розвитком технологій, важливу роль у створенні анімацій почали відігравати неймережі. Ці інноваційні методи дозволяють значно спростити процес анімації, автоматизуючи рутинні завдання та надаючи користувачам інтуїтивно зрозумілі інтерфейси для роботи. Програмні пакети, такі як Adobe After Effects, Autodesk Maya та Blender [16-18], активно інтегрують неймережеві технології, дозволяючи навіть початківцям створювати динамічні та реалістичні анімації з мінімальними зусиллями і інтуїтивним інтерфейсом для керування процесом.

Фізичне моделювання має широке застосування у різних галузях. В ігровій індустрії воно допомагає створювати реалістичні фізичні ефекти у відеоіграх, симуляторах та додатках доповненої реальності, використовуючи фізичні рушії для динамічних сцен, руйнувань та взаємодій. У кіноіндустрії фізично обґрунтована анімація застосовується для генерації високоякісних спецефектів, зокрема вибухів, руйнувань, а також реалістичного руху одягу, волосся та інших об'єктів, забезпечуючи високу достовірність. У промисловому проектуванні фізичне моделювання використовується для тестування та оптимізації конструкцій, дозволяючи інженерам та дизайнерам оцінювати поведінку і міцність виробів на етапі розробки. У медицині фізично обґрунтоване моделювання допомагає створювати реалістичні симуляції органів, тканин та їхньої взаємодії, що є корисним для діагностики, планування лікування та навчання.

Серед визначних проєктів варто відзначити фільм "Interstellar" (2014), де було створено надзвичайно точну симуляцію чорної діри, що базувалася на реальних фізичних рівняннях. У грі "Half-Life: Alyx" (2020) реалізована передова система фізичної взаємодії у віртуальній реальності. Науковий проєкт ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) використовує фізичне моделювання для симуляції поведінки плазми в термоядерному реакторі.

Інтеграція з іншими технологіями розширює можливості фізичної анімації. Процедурна генерація контенту [19] дозволяє автоматично створювати великі об'єми фізично коректних об'єктів та середовищ. Системи захоплення руху (Motion capture) [20] забезпечують основу для реалістичної анімації персонажів, яка потім доповнюється фізичною симуляцією для більшої достовірності. У VR/AR застосуваннях фізична анімація критично важлива для створення переконливого відчуття присутності та взаємодії з віртуальними об'єктами. Інтеграція з системами штучного інтелекту дозволяє автоматизувати налаштування параметрів симуляції та передбачати фізичну поведінку об'єктів.

Фізично обґрунтована анімація в комп'ютерній графіці відкриває двері до максимально реалістичних ефектів, які ми бачимо в іграх, кіно, промисловому проектуванні й навіть медицині.

Завдяки фізичним законам, як-от імпульс та сила тяжіння, анімація виглядає правдоподібно: від того, як м'яч відскакує, до того, як тканина коливається на вітрі. Сучасні інструменти і нейромережі роблять фізичні ефекти більш доступними, спрощуючи цей процес.

Надалі фізична анімація стане ще реалістичнішою та швидшою завдяки новим алгоритмам і технологіям. Інтеграція фізики з іншими графічними системами, розробка підходів для моделювання в реальному часі й використання машинного навчання обіцяють зробити такі ефекти доступнішими та ще більш захоплюючими для різних сфер.

Список використаних джерел:

1. Комп'ютерна 3D-графіка [Електронний ресурс] // Вікіпедія. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Комп'ютерна_3D-графіка (дата звернення: 08.11.2024). – Назва з екрана.
2. Моделювання рідини [Електронний ресурс] // Вікіпедія. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Моделювання_рідини (дата звернення: 08.11.2024). – Назва з екрана.
3. Рівняння Нав'є — Стокса [Електронний ресурс] // Вікіпедія. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Рівняння_Нав'є_—_Стокса (дата звернення: 08.11.2024). – Назва з екрана.
4. Smoothed-particle hydrodynamics [Електронний ресурс] // Wikipedia. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Smoothed-particle_hydrodynamics (дата звернення: 08.11.2024). – Назва з екрана.
5. Particle system [Електронний ресурс] // Wikipedia. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Particle_system (дата звернення: 08.11.2024). – Назва з екрана.
6. RealFlow – Fluid Simulation Software [Електронний ресурс] // RealFlow. – Режим доступу: <https://realflow.com/> (дата звернення: 08.11.2024). – Назва з екрана.
7. PyBullet: Real-Time Physics Simulation for Games [Електронний ресурс] // PyBullet. – Режим доступу: <https://pybullet.org/wordpress/> (дата звернення: 08.11.2024). – Назва з екрана.
8. PhysX – Real-Time Physics Engine [Електронний ресурс] // Wikipedia. – Режим доступу: <https://en.wikipedia.org/wiki/PhysX> (дата звернення: 08.11.2024). – Назва з екрана.
9. Метод скінченних елементів у механіці конструкцій [Електронний ресурс] // Вікіпедія. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Метод_скінченних_елементів_у_механіці_конструкцій (дата звернення: 08.11.2024). – Назва з екрана.
10. Розріджене воксельне октодереву [Електронний ресурс] // Вікіпедія. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Розріджене_воксельне_октодереву (дата звернення: 08.11.2024). – Назва з екрана.
11. Bounding volume hierarchy [Електронний ресурс] // Wikipedia. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Bounding_volume_hierarchy (дата звернення: 08.11.2024). – Назва з екрана.
12. Verlet integration [Електронний ресурс] // Wikipedia. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Verlet_integration (дата звернення: 08.11.2024). – Назва з екрана.
13. Метод Рунге — Кутти [Електронний ресурс] // Вікіпедія. – Режим доступу: <http://surl.li/sysbyp> (дата звернення: 08.11.2024). – Назва з екрана.
14. Multithreading (computer architecture) [Електронний ресурс] // Wikipedia. – Режим доступу: [https://en.wikipedia.org/wiki/Multithreading_\(computer_architecture\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Multithreading_(computer_architecture)) (дата звернення: 08.11.2024). – Назва з екрана.
15. SIMD [Електронний ресурс] // Вікіпедія. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/SIMD> (дата звернення: 08.11.2024). – Назва з екрана.
16. Програмне забезпечення для створення анімованої графіки | Adobe After Effects [Електронний ресурс] // Adobe. – Режим доступу: <https://www.adobe.com/ua/products/aftereffects.html> (дата звернення: 08.11.2024). – Назва з екрана.
17. Autodesk Maya [Електронний ресурс] // Wikipedia. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Maya (дата звернення: 08.11.2024). – Назва з екрана.
18. Вступ – Introduction — Blender Manual [Електронний ресурс] // Blender Documentation. – Режим доступу: https://docs.blender.org/manual/uk/2.82/getting_started/about/introduction.html (дата звернення: 08.11.2024). – Назва з екрана.
19. Процедурна генерація [Електронний ресурс] // Вікіпедія. – Режим доступу: <http://surl.li/dvvrpv> (дата звернення: 08.11.2024). – Назва з екрана.
20. Motion capture [Електронний ресурс] // Wikipedia. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Motion_capture (дата звернення: 08.11.2024). – Назва з екрана.