

УДК 004.928

ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ АНІМАЦІЇ ВОЛОССЯ 3D ПЕРСОНАЖІВ

Воронцова Д.В., канд. техн. наук,

dvorontso@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7868-0067

Федченко Г.В., канд. техн. наук,

anna-fedchenko@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0690-6017

Перестаронін С.Д.,

Sergei.Perestaronin@infiz.khpi.edu.ua, ORCID: 0009-0005-6770-7136

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут" (м. Харків, Україна)

У даному дослідженні представлено розробку програмного розширення (аддону), призначеного для реалізації анімації руху локонів волосся тривимірного персонажа в програмному середовищі Blender. Основним принципом функціонування аддону є математичне моделювання руху комп'ютерного волосся, що описується рівняннями, які враховують дугоподібну траєкторію, інерційність руху та динаміку деформації об'єкта у просторі. Запропонований інтерфейс дозволяє здійснювати інтерактивну взаємодію користувача з програмним середовищем, що сприяє оперативному налаштуванню параметрів анімації й наочній перевірці результатів у режимі реального часу. Такий підхід забезпечує високу ефективність розробки складних анімаційних сцен та персоналізованих рішень для візуалізації.

Функціональна структура аддону охоплює чотири основні модулі: Curve Creation (створення кривої), Curve Adjustment (редагування кривої), Curve Animation (анімація кривої) та File Properties (робота з файлами). У модулі створення кривої реалізовано генерацію стилізованих локонів за допомогою налаштовуваних параметрів, таких як кількість вузлових точок, вибір просторової осі, визначення міжточкової відстані. Передбачено функції додавання, оновлення та видалення кривих. Для формування стилізованого волосся застосовано метод екструзії форми локона вздовж заданої кривої, що дозволяє створювати як прості, так і складні за структурою об'єкти.

У модулі редагування передбачено такі інструменти: оновлення координат точок кривої, відновлення вихідного положення, додавання нових точок із врахуванням їхнього індексу в структурі кривої, а також видалення останнього елемента. Модуль анімації базується на реалізації математичних функцій, що імітують природні коливання: синусоїдальні (Wavy1) та косинусоїдальні (Wavy2) коливання. Завдяки поєднанню можливостей Blender і функціоналу розробленого інструменту користувач має змогу створювати високодеталізовані зачіски з

динамічною анімацією різного рівня складності та візуальної реалістичності, що є актуальним для використання в ігровій індустрії, віртуальній реальності та цифровій анімації.

Ключові слова: анімація, 3D персонаж, аддон для анімації, комп'ютерне волосся.

Постановка проблеми. Комп'ютерна графіка супроводжує сьогодні майже усі сфери людської діяльності, наприклад такі як: освіта, промисловість, реклама, кіномистецтво, ігрова індустрія, доповнена реальність та ін. Велику увагу приділяють сучасні фахівці комп'ютерної графіки такому актуальному питанню, як спрощенню та прискоренню процесу розробки 3D графіки та її анімації. Одним із способів досягнення цієї мети є розробка програмних рішень, які дозволяють автоматизувати та оптимізувати процеси моделювання, текстурування, рендеринга та анімації. Такі програми наділені різноманітними інструментами та функціями, які спрощують рутинні завдання та дозволяють швидко створювати складні 3D об'єкти та анімаційні ефекти. Анімація волосся персонажів у тривимірних комп'ютерних іграх, фільмах та інших інтерактивних середовищах є важливою і складною задачею. Волосся є невід'ємною частиною людського тіла, і його реалістична поведінка та рендеринг відіграють ключову роль у створенні переконливих і достовірних персонажів. Однак, через складну природу волосся, а саме окремі локони, що взаємодіють між собою та реагують на зовнішнє середовище, анімація волосся залишається однією з найскладніших задач у галузі комп'ютерної анімації. Розробка ефективних алгоритмів та програмних модулів для анімації волосся персонажів є актуальною задачею, оскільки вона дозволяє підвищити рівень реалістичності та переконливості тривимірних персонажів при візуалізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Моделювання реалістичного 3D волосся є однією з найскладніших задач анімації персонажу комп'ютерній графіці [1]. Перші анімовані зачіски 3D моделей враховували рендер кожного окремого волосся [2], що потребувало значних ресурсів ПК. З цього приводу зазначений метод не підходив для анімацій, які відображались у реальному часі. Однією з розповсюджених технік анімації волосся є техніка «Модель континуума». Ця модель базується на роботі Суніла Хадапа та Надії Магнат-Тальманн [3], які використовували метод рідини Лагранжа для моделювання рідинних сил у системі. Лагранжові рідини описують параметри потоку частинок, які можна використовувати для контролю поведінки форми волосся [4]. Наступна відома технологія – це «Модель згустку». Ця модель імітує взаємодію волосся за допомогою набору неперетинаючих прямих [5,6]. Коли волосся торкаються один одного, вони можуть злипатись. Зміна параметрів моделі може допомогти в одночасній модифікації великої

кількості локонів. Ця модель допомагає знизити рівень свободи (DoF) геометрії волосся, але метод теж ресурсозатратний [7].

Симуляцію при анімуванні волосся активно використовують в мультиплікації. Наприклад компанія «Disney» використовує аддон «Tonic», який створює 3D геометричні об'єми для процедурного опрацювання зачіски. Аніматори повторюють форму волосся, створюючи умовні «контейнери» в яких автоматично генеруються тисячі окремих волосків [8]. Недоліки аддону «Tonic» в тому, що, по-перше, він націлений на створення та рендер великої кількості волосся, що для ПК середнього технічного рівня є складною та ресурсозатратною задачею; по-друге, «Tonic» –не підлягає розповсюдженню.

Компанія «Pixar» застосовує при анімації 3D волосся моделі кучерявого волосся на основі масово-пружинної системи. Кожен завиток волосся представлений як послідовність частинок, поєднаних пружинами [10]. Відметемо, що також важливою проблемою при симуляції волосся є величезна кількість контактів між окремим волоссям. Компанія Пісар представила новий алгоритм скорочення числа контактів, що розглядаються як між парами волосся, так і між частинками всередині однієї волосини [11]. Алгоритм видаляє внутрішні частинки, які у сферах своїх сусідів, і виключає пари волосся з недостатньою кількістю потенційних контактних точок [12].

При створенні ігор на сьогоднішній день найбільш сучасним та реалістичним методом створення волосся у комп'ютерних іграх є технологія «hair guides» у поєднанні з рендерингом на основі фізичних принципів поширення світла. Окремі пасма задаються у вигляді гнучких кривих, на які потім накладається дуже деталізована геометрія, що імітує дрібні волоски у складі пасма. Поведінка кожної кривої розраховується з використанням фізичних законів динаміки твердого тіла та аеродинаміки [13].

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є розробка та реалізація програмного застосунку для анімування 3D волосся за допомогою ПК середнього технічного рівня

Основна частина. В даній роботі пропонується розробка аддону, головною ідеєю якого є анімація локонів персонажу, яка здійснюється за допомогою математичних рівнянь. Інтерфейс програми включає інтерактивну взаємодію користувача та програми, враховуючи функцію швидкого та наглядного налаштування рух волосся зміною відповідних параметрів. Аддон включає в себе декілька вкладок для більш зручного використання: створення кривої (*Curve Creation*), редагування кривої (*Curve Adjustment*), анімування кривої (*Curve Animation*) та робота з файлами (*File Properties*). UseCase діаграма аддону приведена на рис. 1.

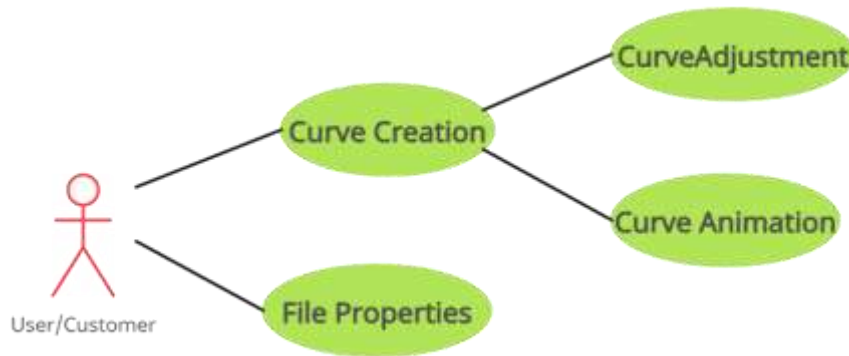


Рис. 1. UseCase діаграма аддону анімації волосся

Для розробки функції «Curve Creation» на основі попередніх досліджень було обрано вид стилізованого волосся. На відміну від реалістичного волосся, стилізоване волосся може бути спрощене, абстраговане або навіть виділене у вигляді певних геометричних форм або кольірних схем. Цей підхід часто використовується в анімації, коміксах, мультфільмах та іграх, щоб створити унікальний і відомий візуальний стиль. Для розробки стилізованого волосся існує кілька методів. Перший, і найбільш популярний, це створення форми локона вздовж кривої. Для цього створюють форму, котра буде відповідати за зовнішній вид локона, та протягують її вздовж довільної кривої котру потім можна буде розташувати на моделі (рис.2).

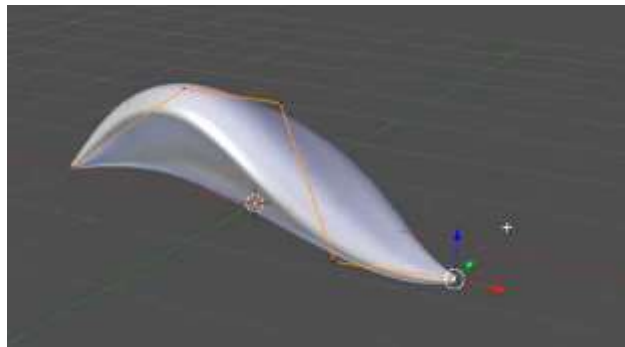


Рис. 2. Форма локона уздовж обраної кривої

Для програмної реалізації зазначеного підходу було розроблено частину коду, яка відповідає за створення масивів де зберігаються дані про кількість кривих та данні про їх точки. Всі функції створення кривої знаходяться в субкатегорії «Curve Creation». Ця категорія включає в себе всі необхідні команди для створення кривої: обирання кількості точок кривої, вибір осі та дистанції між точками. Також додаткові функції для створення (*Create Curve*) та видалення (*Delete Curve*) кривої. Приклад інтерфейсу субкатегорії «Curve Creation» приведено на рис. 3.

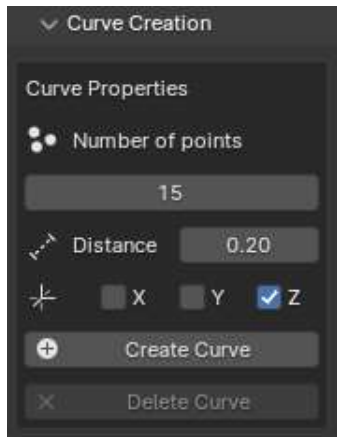


Рис. 3. Інтерфейсу субкатегорії «Curve Creation»

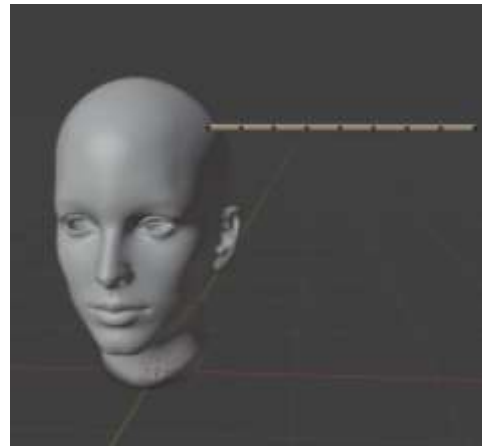


Рис. 4. Створення кривої

Наступним кроком було створено криву з кількістю точок та дистанцією між ними, котрі вводить користувач. За допомогою функції *create_curve* було створено набір точок на заданій відстані одна від одної вздовж обраної осі. Після чого створюється сплайн по створених координатах та сам об'єкт кривої. Приклад виконання функції «Створення кривої» уздовж осі Y приведено на рис. 4. Крива створена вздовж осі X, вона складається з 9 точок з відстанню між ними 0.2 см.

Зазначимо, щоб редагувати майбутній локон було розроблено субкатегорію «*Curve Adjustment*» з наступним функціоналом: *Update Curve Data* – оновлює інформацію про положення точок; *Restore Curve* – повертає точки у вихідне положення; *Add Point* – додає точку уздовж вибраної осі, враховуючи її індекс у кривій; *Remove Last Point* – видаляє останню точку. Функція *remove_last_point* перевіряє наявність хоча б двох точок у кривій перед видаленням останньої. Додаймо також те, що кривим можна змінювати форму. Завдяки вбудованим у Blender командам існує можливість створювати унікальні локони. Комбінуючи аддон та інструменти Blender можна робити зачіски різного рівня складності (рис.5).



Рис. 5. Приклад можливих форм локонів

Наступним етапом розробки аддона був процес створення субкатегорії «*Curve Animation*». Посилаючись на теоретичні відомості основ анімації 3D персонажів зазначимо, що рух волосся періодичний та повинен відповідати одному із 12 принципів анімації рухів – дугоподібність. Відомо, що практично будь-який циклічний рух можна описати деякою комбінацією тригонометричних функцій. Тоді припустимо, що рух волосся теж можна описати тригонометричними функціями.

$$y = \sin(F - D * I * S) * A, \quad (1)$$

$$y = e^H * \cos(F - D * I * S) * A, \quad (2)$$

де: F - поточний кадр анімації;

D - параметр затримки, який визначає, наскільки кожна наступна точка кривої відставатиме від попередньої;

I - індекс поточної точки кривої;

S - параметр, який визначає швидкість анімації (частота коливань);

A - параметр, який визначає амплітуду або розмах коливань вздовж осі;

H - параметр, який визначає силу коливань, потрібен для більш тонкого налаштування.

При розробці наступної функції аддону «*Curve Animation*» було виконано 2 пресети анімування. Пресет *Wavy1* анімує вздовж синусоїди та *Wavy2* - вздовж косинусоїди. Поле *start point* відповідає за початкову точку анімації в кривій. Поле *frames* відповідає за те скільки кадрів буде в анімації. Поле *speed* відповідає за швидкість анімації: мінімальне значення поля – 0; максимальне - 1. *Amplitude* відповідає за амплітуду анімації, де мінімальне значення поля 0, а максимальне 1. *Delay* це затримка між анімуванням точок, тобто якщо *delay* дорівнює 2 одиницям, то кожна наступна точка буде анімуватись через 2 кадри після анімації попередньої. Також здійснено вибір осі вздовж якої буде проводитись анімування. Якщо обрано більше однієї осі то виникне помилка, котра вказує на те, що обрано занадто багато осей. Клавiша *Animate* викликає функцію анімування.

На рис. 7 приведено демонстрація процесу анімування одного локону комп'ютерної моделі за допомогою розробленого програмного застосунку. На рисунку 8 представлено приклад закінченої зачіски 3D персонажу, створення якого було виконано засобами розробленого програмного модулю.

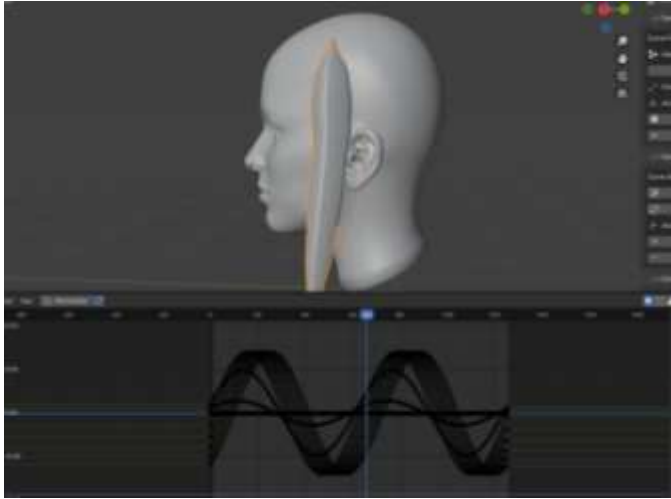


Рис. 7. Графік руху волосся



Рис. 8. Приклад зачіски

Висновки. Розроблено програмний модуль для анімації 3D-волосся з ефективним алгоритмом, оптимізованим для економного використання ресурсів. Модуль має гнучкий інтерфейс для зручного налаштування параметрів анімації під потреби конкретного персонажа або сцени.

Література

1. Tae Young Kim, Marie-Paule Cani, Ming C. Lin. Realistic Hair Simulation – Animation and Rendering. *SIGGRAPH: Course Notes*, 2008. pp. 21-27.
2. Pascal Volino, Nadia Magnenat-Thalmann. Animating Complex Hairstyles in Real-Time. *VRST04: The ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, Hong Kong, 2004. pp. 41–48.
3. Sunil Hadap, Nadia Magnenat-Thalmann. Modeling Dynamic Hair as a Continuum. *Proceedings of the Computer Animation Conference*, 2001. pp. 15–22.
4. A. McAdams, A. Selle, K. Ward, E. Sifakis, J. Teran. Detail Preserving Continuum Simulation of Straight Hair. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, Proceedings of SIGGRAPH, 2009. Vol. 28, No. 3. pp. 78–85.
5. Eric Plante, Marie-Paule Cani, Pierre Poulin. Capturing the Complexity of Hair Motion. *Graphical Models*, Volume 72, Issue 2, 2010. pp. 28–41.
6. K. Yamamoto, T. Shimosoyama, T. Noma. NPR Hair Modeling with Parametric Clumps. *Proceedings of the International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering (NPAR)*, 2017. pp. 5–13.
7. Jiang J., Sheng B., Li P., Ma L., Tong X., Wu E. Real-Time Hair Simulation with Heptadiagonal Decomposition on Mass-Spring System. *Graphical Models*, Volume 112, 2020. Article 101085. pp.1–10.
8. Maryann Simmons, Brian Whited. Disney's Hair Pipeline: Crafting Hair Styles from Design to Motion. *ACM SIGGRAPH 2014 Talks*, 2014. Article No. 21. Режим доступу: <https://chrome->

[extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://media.disneyanimation.com/uploads/production/publication_asset/121/asset/hairPipeline.pdf](https://media.disneyanimation.com/uploads/production/publication_asset/121/asset/hairPipeline.pdf)

9. R. Villemin, C. Hery, S. Konishi, T. Tejima, R. Villemin, D.G. Yu. Art and technology at Pixar, from toy story to today. SA '15: SIGGRAPH Asia. 2015. Article No.: 5, pp. 1–89.
10. Hayley Iben, Mark Meyer, Lena Petrovic, Olivier Soares, John Anderson, Andrew Witkin. Artistic Simulation of Curly Hair. *ACM SIGGRAPH 2013 Talks*, 2013. Article No. 35. pp. 63–71.
11. Brandon Montell, Fernando de Goes, Jacob Brooks. Hair Emoting with Style Guides in Turning Red. *ACM SIGGRAPH 2022 Talks*, 2022. Article No.: 25, pp. 1–2.
12. Mikko Tamper. 3D-Hair Design Workflows for Characters. Bachelor's Thesis, Metropolia University of Applied Sciences, 2021. 53 p.

PROGRAM MODULE FOR INTERACTIVE HAIR ANIMATION OF 3D CHARACTERS

Darya Vorontsova, Hanna Fedchenko, Sergei Perestaronin

This study presents the development of a software extension (add-on) designed to animate the motion of hair strands of a 3D character within the Blender software environment. The core principle of the add-on's functionality lies in the mathematical modeling of digital hair dynamics, described by differential equations that account for arc-shaped trajectories, motion inertia, and spatial deformation behavior. The proposed user interface enables interactive communication between the user and the software, which facilitates rapid adjustment of animation parameters and real-time visual feedback. This approach ensures high efficiency in the development of complex animated scenes and allows for personalized visualization solutions.

The functional structure of the add-on comprises four main modules: Curve Creation, Curve Adjustment, Curve Animation, and File Properties. The Curve Creation module provides the generation of stylized hair strands through customizable parameters such as the number of control points, the choice of spatial axis, and the distance between points. It also supports the creation, updating, and deletion of curves. To construct stylized hair, a method of extruding the hair strand shape along a defined curve is used, allowing for the modeling of both simple and complex strand structures.

The Curve Adjustment module includes tools for updating the coordinates of curve points, restoring the original curve configuration, adding new points based on their index in the structure, and removing the last point. The animation module is based on mathematical functions that simulate natural oscillations, including sinusoidal (Wavy1) and cosinusoidal (Wavy2) motions. By combining Blender's capabilities with the developed add-on, users can create highly detailed hairstyles with dynamic animations of various levels of complexity and

visual realism. This makes the tool especially relevant for use in the gaming industry, virtual reality, and digital animation.

Keywords: animation, 3D character, animation add-on, computer-generated hair.

References

1. Tae Young Kim, Marie-Paule Cani, Ming C. Lin. (2008) Realistic Hair Simulation – Animation and Rendering. *SIGGRAPH: Course Notes*, 21-27.
2. Pascal Volino, Nadia Magnenat-Thalmann. (2004) Animating Complex Hairstyles in Real-Time. *VRST04: The ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, Hong Kong, 41–48.
3. Sunil Hadap, Nadia Magnenat-Thalmann (2001) Modeling Dynamic Hair as a Continuum. *Proceedings of the Computer Animation Conference*. 15–22.
4. A. McAdams, A. Selle, K. Ward, E. Sifakis, J. Teran. (2009) Detail Preserving Continuum Simulation of Straight Hair. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, Proceedings of SIGGRAPH. Vol. 28, No. 3. 78–85.
5. Eric Plante, Marie-Paule Cani, Pierre Poulin. (2010) Capturing the Complexity of Hair Motion. *Graphical Models*, Volume 72, Issue 2. 28–41.
6. K. Yamamoto, T. Shimosoyama, T. Noma. (2017) NPR Hair Modeling with Parametric Clumps. *Proceedings of the International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering (NPAR)*. 5–13.
7. Jiang J., Sheng B., Li P., Ma L., Tong X., Wu E. (2020) Real-Time Hair Simulation with Heptadiagonal Decomposition on Mass-Spring System. *Graphical Models*, Volume 112. Article 101085. 1–10.
8. Maryann Simmons, Brian Whited. (2014) Disney's Hair Pipeline: Crafting Hair Styles from Design to Motion. ACM SIGGRAPH 2014 Talks. Article No. 21. Retrieved from: https://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://media.disneyanimation.com/uploads/production/publication_asset/121/asset/hairPipeline.pdf
9. R. Villemin, C. Hery, S. Konishi, T Tejima, R. Villemin, D.G. Yu. (2015) Art and technology at Pixar, from toy story to today. SA '15: SIGGRAPH Asia. Article No. 5, 1–89.
10. Hayley Iben, Mark Meyer, Lena Petrovic, Olivier Soares, John Anderson, Andrew Witkin.(2013) Artistic Simulation of Curly Hair. *ACM SIGGRAPH 2013 Talks*. Article No. 35. 63–71.
11. Brandon Montell, Fernando de Goes, Jacob Brooks. (2022) Hair Emoting with Style Guides in Turning Red. *ACM SIGGRAPH 2022 Talks*. Article No. 25, 1–2.
12. Mikko Tamper. (2021) 3D-Hair Design Workflows for Characters. Bachelor's Thesis, Metropolia University of Applied Sciences. 53 p.