

АНІМУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ АФІННИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ

В роботі розроблено алгоритм створення ефекту анімації об'єктів на статичних зображеннях за допомогою афінних перетворень в умовах обмеженої ємнісної та часової складності. Сьогодні анімування зображень усе частіше використовується в індустрії розваг і виконується за умови обмеження ресурсів – на мобільних пристроях, в режимі реального часу тощо. Об'єкти анімування можуть бути різної природи – від облич людей, не фізичних об'єктів (аватарів) до будь-чого, визначеного користувачем на зображенні. Під анімацією зображень розумітимемо зміну параметрів обраних об'єктів на зображенні з плином часу. В основі цього лежатиме той факт, що зорова система людини сприймає набір окремих зображень, що подаються з досить високою швидкістю, як безперервний рух. Під змінними параметрами об'єкта розумітимемо переміщення об'єкта із збереженням його форми. Необхідність у розробленні такого алгоритму виникає для опрацювання зображень на мобільних пристроях. Для цього було обрано такі афінні перетворення, як поворот та перенос. За допомогою повторення комбінації зазначених перетворень за заданий проміжок часу та зі сталою швидкістю буде досягатися ефект анімації об'єкта. Афінні перетворення обрано через їх властивість зберігати пропорції паралельних об'єктів, а саме довжину відрізків на паралельних прямих і площ на паралельних площинах. Така властивість дозволяє будувати паралельні прообрази полігону об'єкта на площині по кінцевому набору точок, що виражають полігон об'єкта. Кількість паралельних площин залежить від кількості об'єктів на зображеннях, які будуть піддаватися ефекту анімації. Також було окреслено проблему розрахункової складності при виконанні методів, а саме розрахунок тригонометричних функцій. Для вирішення зазначеної проблеми було запропоновано розрахунок за допомогою ряду Тейлора з визначеною похибкою та використання тригонометричних тотожностей.

Ключові слова: афінні перетворення, анімування об'єктів, часова складність.

O. Y. SHAMURATOV, N. B. SHAKHOVSKA

National University Lviv Polytechnic

ANIMATION OF OBJECTS BY MEANS OF AFFINE TRANSFORMATIONS

The algorithm of creation of effect of animation of objects on static images by means of affine transformations in the conditions of limited capacitive and time complexity is developed in the work. Today, image animation is increasingly used in the entertainment industry and is performed with limited resources - on mobile devices, in real time and more. Animation objects can be of various natures, from human faces, non-physical objects (avatars) to anything user-defined in an image. By image animation we mean changing the parameters of selected objects in the image over time. This will be based on the fact that the human visual system perceives a set of individual images that are presented at a fairly high speed, as a continuous movement. By variable parameters of an object we mean moving an object while preserving its shape. The need to develop such an algorithm arises for image processing on mobile devices. For this purpose, such affine transformations as rotation and transfer were chosen. By repeating the combination of these transformations for a given period of time and at a constant speed, the effect of animating the object will be achieved. Affine transformations are chosen because of their ability to preserve the proportions of parallel objects, namely the length of segments on parallel lines and areas on parallel planes. This property allows you to build parallel prototypes of an object polygon on a plane along a finite set of points that express the object polygon. The number of parallel planes depends on the number of objects in the image that will be exposed to the animation effect. The problem of computational complexity in performing methods was also outlined, namely the calculation of trigonometric functions. To solve this problem, a calculation using the Taylor series with a certain error and the use of trigonometric identities were proposed.

Keywords: affine transformations, object animation, time complexity.

Вступ

Під анімацією зображень розумітимемо зміну параметрів обраних об'єктів на зображенні з плином часу. В основі цього лежатиме той факт, що зорова система людини сприймає набір окремих зображень, що подаються з досить високою швидкістю, як безперервний рух. Під змінними параметрами об'єкта розумітимемо переміщення об'єкта із збереженням його форми.

Афінне перетворення є комбінацією лінійних перетворень, супроводжуваних переносом зображень. Афінні перетворення формують зручну підсистему білінійних перетворень, тому що добуток двох афінних перетворень також є афінним. Це дозволяє представити узагальнену орієнтацію системи точок стосовно довільної координатної системи при збереженні одиничного значення однорідної координати H [1].

Для створення ефекту анімації на статичних зображеннях добре використовувати афінні перетворення. Це досягається завдяки тому, що афінні перетворення мають властивість зберігати пропорції паралельних об'єктів, а саме довжину відрізків на паралельних прямих і площ на паралельних площинах. Така властивість дозволяє будувати паралельні прообрази полігону об'єкта на площині по кінцевому набору точок, що виражають полігон об'єкта.

Сьогодні анімування зображень усе частіше використовується в індустрії розваг і виконується за умови обмеження ресурсів – на мобільних пристроях, в режимі реального часу тощо. Об'єкти анімування можуть бути різної природи – від облич людей [2], не фізичних об'єктів (аватарів) [3] до будь-чого, визначеного користувачем на зображенні.

Анімування забезпечується різними техніками. Так, у [4] використовується метод квазі-випадкової

прогулянки для створення зображень та ефектів анімації у них. Проте, ця методика не може бути застосованою до об'єктів невизначеної на момент анімування природи, що не дає змоги застосувати цей метод у режимі реального часу.

Автори у [5] реалізували систему додавання анімації водоспаду шляхом вилучення анімації потоку з послідовності відео. Запропонований спосіб інтегрує оптичний потік, інтегральну лінію згортки, передачу кольору, графічне вирівнювання та сплайн-схеми з різною роздільною здатністю, щоб імітувати реальний водоспад на одному зображенні. Він використовує процес сегментації, щоб відокремити необхідний передній план і зайвий фон. Потім аналіз потоку проводиться на цільовому зображенні та вихідному відео. Нарешті, для формування анімації застосовується подібність потоку та процес синтезу. Проте, такий підхід можна застосовувати не до одного зображення, а за наявності серії зображень.

Для опрацювання зображень широко використовують конволюційні нейронні мережі [6]. Однак конволюційні нейронні мережі обмежені відсутністю здатності просторово перетворювати входи.

Ця робота є продовженням досліджень [7]. Метою статті є анімування статичних зображень в умовах обмеженої ємності на часовій складності. За допомогою повторення комбінації повороту та перенесення за заданий проміжок часу та зі сталою швидкістю досягатиметься ефект анімації об'єкта. Для зменшення часової складності обчислень під час визначення тригонометричних функцій запропоновано розрахунок за допомогою ряду Тейлора з визначеною похибкою та використання тригонометричних тотожностей.

Застосування афінних перетворень для створення анімації

Для анімації потрібно робити паралельний перенос об'єкта на нову площину, тому додамо третю координату, що відповідатиме за номер паралельної поверхні (P), на якій буде розташований новий перетворений об'єкта саме зображення будемо розглядати у тривимірному просторі. Отже, тоді ми можемо створювати копію обраного об'єкта, використовуючи паралельне перенесення на нову паралельну поверхню, тоді координати центра нового об'єкта:

$$(x', y', z') \rightarrow (x + \Delta x, y + \Delta y, z + \Delta z), \quad (1)$$

де Δx , Δy та Δz є нормальними векторами початкової площі зображення.

Кількість паралельних площин залежить від кількості об'єктів на зображення, які будуть піддаватися ефекту анімації [8].

Сам ефект анімації досягається за рахунок повторення таких афінних перетворень, як поворот та перенос. Розглянемо цей процес більш детально. Поворот точки відносно початку координат:

$$(x', y') \rightarrow (x \cdot \cos(\varphi) - y \cdot \sin(\varphi), x \cdot \sin(\varphi) + y \cdot \cos(\varphi)). \quad (2)$$

Перенос точки:

$$(x', y') \rightarrow (x + m_x, y + m_y). \quad (3)$$

Для створення ефекту анімації нам потрібен ще один компонент, це напрям анімації. Напрямом анімації є вектор $A(a, b)$, відносно якого буде виконуватися поворот та перенесення точок [9]. Отже для того, щоб зробити початковий крок ефекту анімації, потрібно вирішити задачу повороту об'єкта навколо точки $A(x_A, y_A)$. Якщо застосувати формули перенесення та повороту точки, отримуємо матрицю перетворення:

$$(x', y', 1) \rightarrow (x, y, 1) \cdot \begin{bmatrix} \cos(\varphi) & \sin(\varphi) & 0 \\ -\sin(\varphi) & \cos(\varphi) & 0 \\ -x_A \cdot \cos(\varphi) + y_A \cdot \sin(\varphi) + x_A & -x_A \cdot \sin(\varphi) + y_A \cdot \cos(\varphi) + y_A & 1 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

тоді кінцевий вираз для отримання нових координат буде [10]:

$$\begin{cases} x' = x_A + x \cdot \cos(\varphi) - x_A \cdot \cos(\varphi) - y \cdot \sin(\varphi) + y_A \cdot \sin(\varphi) \\ y' = y_A + y \cdot \cos(\varphi) - y_A \cdot \cos(\varphi) - x \cdot \sin(\varphi) + x_A \cdot \sin(\varphi) \end{cases} \quad (5)$$

Однак, щоб створити анімований варіант об'єкта, потрібно, щоб його точки змінювали позицію за деякий проміжок часу і з визначеною швидкістю, тому координати точки в нас буде функцією від часу t : $(x'(t), y'(t))$ та $(x(t), y(t))$ відповідно, а отже, тоді формула перенесення точки на вектор буде:

$$\begin{cases} x'(t) = x_A + x(t) \cdot \cos(\varphi) - x_A \cdot \cos(\varphi) - y(t) \cdot \sin(\varphi) + y_A \cdot \sin(\varphi) \\ y'(t) = y_A + y(t) \cdot \cos(\varphi) - y_A \cdot \cos(\varphi) - x(t) \cdot \sin(\varphi) + x_A \cdot \sin(\varphi) \end{cases} \quad (6)$$

Отже, тепер формула прийняла вигляд рівняння закону руху точки в координатній площині. Додамо тепер такі параметри, як швидкість руху точки v , прискорення буде сталим, щоб анімація була рівномірною. Для того, щоб отримати швидкість, потрібно знати, яку відстань пройде точка за визначений час. Відстань буде задана відрізком a на векторі анімації, довжина відрізка буде визначати відстань, яку має пройти точка під час ефекту анімації за час T . Тоді маємо рівняння швидкості для точки:

$$v = \frac{\sqrt{(x_{a_2} - x_{a_1})^2 + (y_{a_2} - y_{a_1})^2}}{T} \quad (7)$$

Рух точки є рівномірним тому, щоб підрахувати позицію точки в заданий час t , отримуємо:

$$\begin{cases} x'(t) = x_{a_2} - x_{a_1} + x + \frac{\sqrt{(x_{a_2} - x_{a_1})^2 + (y_{a_2} - y_{a_1})^2}}{T} \cdot t \cdot \cos(\varphi) - x_{a_2} - \\ - x_{a_1} \cdot \cos(\varphi) - y + \frac{\sqrt{(x_{a_2} - x_{a_1})^2 + (y_{a_2} - y_{a_1})^2}}{T} \cdot t \cdot \sin(\varphi) + y_{a_2} - y_{a_1} \cdot \sin(\varphi) \\ y'(t) = y_{a_2} - y_{a_1} + y + \frac{\sqrt{(x_{a_2} - x_{a_1})^2 + (y_{a_2} - y_{a_1})^2}}{T} \cdot t \cdot \cos(\varphi) - y_{a_2} - \\ - y_{a_1} \cdot \cos(\varphi) - x + \frac{\sqrt{(x_{a_2} - x_{a_1})^2 + (y_{a_2} - y_{a_1})^2}}{T} \cdot t \cdot \sin(\varphi) + x_{a_2} - x_{a_1} \cdot \sin(\varphi) \end{cases} \quad (8)$$

Оптимізація ємнісної та часової складності

Для зменшення часу виконання машинних розрахунків потрібно швидко розраховувати тригонометричні функції. Один із можливих варіантів це сумування ряду Тейлора по заданій похибці ε :

$$\sin(\varphi) = \sum_{i=0}^{\infty} (-1)^i \cdot \frac{\varphi^{2i+1}}{(2i+1)!} \quad (9)$$

Знаючи $\sin(\varphi)$ можемо знайти $\cos(\varphi)$:

$$\cos(\varphi) = \pm \sqrt{1 - \sin(\varphi)^2} \quad (10)$$

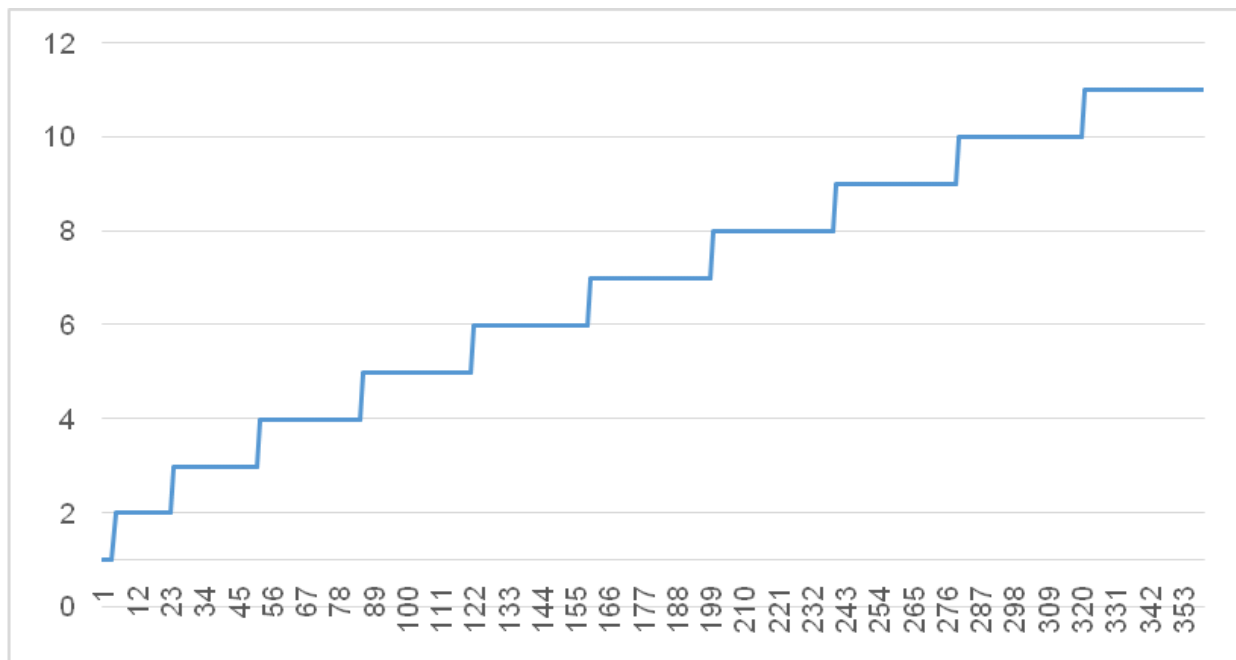


Рис. 1. Кількість ітерацій ряду Тейлора

Для розрахунку позиції точки нам буде достатньо точності $\varepsilon = 0,0001$, тепер можемо розрахувати кількість ітерацій для знаходження значення $\sin(\varphi)$ (Рис. 1) [11].

Згідно отриманих результатів максимальна кількість ітерацій в нас буде 11, однак на відрізку $[1^\circ, 90^\circ]$ максимальна кількість ітерацій 5. Тому застосувавши тригонометричні тотожності:

$$\begin{aligned} \sin(\varphi) &= \sin(180 - \varphi), \\ -\sin(\varphi) &= \sin(360 - \varphi), \end{aligned} \quad (11)$$

отримуємо максимальну кількість ітерацій 5 при розрахунку усіх кутів на відрізку $[1^\circ, 360^\circ]$ (Рис. 2.).

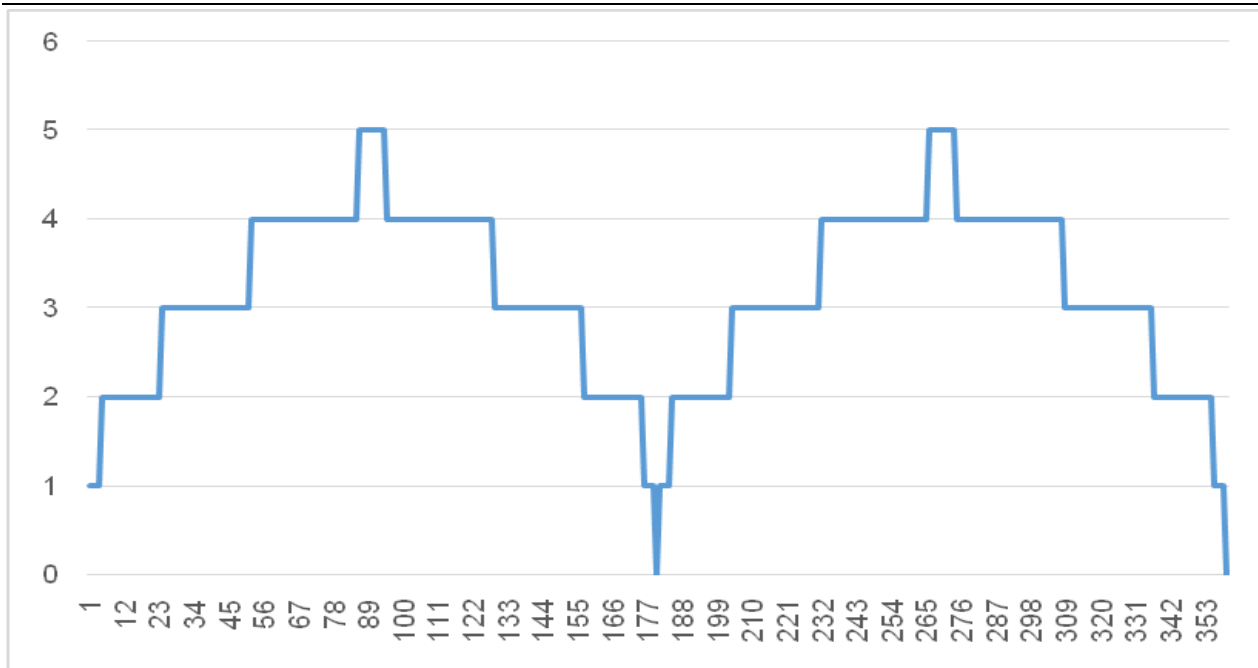


Рис. 2. Кількість ітерацій ряду Тейлора при застосуванні тригонометричних тотожностей

Підрахуємо кількість ітерацій для створення ефекту анімації для виділеного об'єкту розміром n пікселів. Для створення копії об'єкта на новій паралельній площині P , необхідно створити копії кожного пікселя з ідентичними координатами (x, y) . Для цього потрібно буде ітерацій $N = n$. Для визначення положення точки в момент часу t потрібно буде $N + M$ ітерацій, де $M = m$, а m кількість ітерацій потрібних для розрахунку значення $\sin(\varphi)$. Отже, щоб розрахувати позиції точки на протязі часу T , з урахуванням того, що для плавного відтворення відео, потрібно створити 30 кадрів в секунду, тоді отримаємо потрібних ітерацій для створення кадрів відео $K = 30 \cdot T$. Отже формула для розрахунку складності S анімування одного об'єкту буде:

$$S = 30TNt_n + Mt_m, \quad (12)$$

де t_n - час на виконання однієї ітерації обчислення позиції точки;

t_m - час на виконання розрахунку одного члена ряду Тейлора.

Тоді для декількох об'єктів:

$$S = 30 \sum_{i=2}^O TN_i t_n + M_i t_m, \quad (13)$$

де K - кількість об'єктів.

Висновки

Проведенні дослідження дозволили окреслити основні методику за допомогою яких можливе створення ефекту анімації статичного об'єкту, а саме використання таких афінних перетворень, як поворот та перенос. Данні методи було обрано через їх властивість зберігати пропорції паралельних об'єктів, а саме довжину відрізків на паралельних прямих і площ на паралельних площинах, а також через той факт, що добуток двох афінних перетворень, теж є афінним, що дозволяє комбінувати данні методи для отримання потрібного ефекту анімації без зміни ознак об'єкта. Однак розглянуті методи є розрахунково складними, тому важливим є оптимізація роботи алгоритму. В роботі було окреслено один із складних етапів розрахунків в наведених методах - знаходження значень тригонометричних функцій. Вирішенням зазначеної проблеми є розкладання функцій в ряд Тейлора та розрахунок значень за заданою похибкою та використання тригонометричних тотожностей, що дозволить не обчислювати значення сходження ряду, коли потрібно робити більшу кількість ітерацій алгоритму.

Література

1. Y. Doroshenko, I. Z. Achour (2018). Algorithm for automatic loop parallelization for graphics processing units. Problems in programming, (1), 36-45.
2. Cao, H. Wu, Y. Weng, T. Shao, K. Zhou (2016). Real-time facial animation with image-based dynamic avatars. ACM Transactions on Graphics, 35(4).
3. MISHRA, Taniya; REICHENBACH, George Alexander; EL KALIOUBY, Rana. Avatar image animation using translation vectors. U.S. Patent No 10,628,985, 2020.
4. Neumann, F. Neumann, T. Friedrich (2017). Quasi-random Agents for Image Transition and Animation. arXiv preprint arXiv:1710.07421.

5. Lin, C. Y., Huang, Y. W., & Shih, T. K. (2019). Creating waterfall animation on a single image. *Multimedia Tools and Applications*, 78(6), 6637-6653.
6. S. Ye, R. Ohtera. Japanese Animation Style Transfer Using Deep Neural Networks. In 2017 International Conference on Information, Communication and Engineering (ICICE). 2017. №17. P. 492-495.
7. Шамуратов, О. Ю., & Шаховська, Н. Б. (2019). Алгоритми контурного аналізу зображень. *Науковий вісник НЛТУ України*, (29, № 6), 123-127.
8. Каган В.Ф. Основы теории поверхностей в тензорном изложении. Москва : Рипол-классик, 2013. 518 с.
9. OpenGL Transformation : веб-сайт. URL: http://www.songho.ca/opengl/gl_transform.html (дата звернення: 12.05.2020).
10. Д. Роджерс, Дж. Адамс. Математические основы машинной графики. Москва : Мир. 2001. 604 с.
11. Дронов В. Macromedia Flash Professional 8. Графика и анимация. Москва : БХВ-Петербург. 2013. 750 с.

References

1. Y. Doroshenko, I. Z. Achour (2018). Algorithm for automatic loop parallelization for graphics processing units. *Problems in programming*, (1), 36-45.
2. Cao, H. Wu, Y. Weng, T. Shao, K. Zhou (2016). Real-time facial animation with image-based dynamic avatars. *ACM Transactions on Graphics*, 35(4).
3. MISHRA, Taniya; REICHENBACH, George Alexander; EL KALIOUBY, Rana. Avatar image animation using translation vectors. U.S. Patent No 10,628,985, 2020.
4. Neumann, F. Neumann, T. Friedrich (2017). Quasi-random Agents for Image Transition and Animation. arXiv preprint arXiv:1710.07421.
5. Lin, C. Y., Huang, Y. W., & Shih, T. K. (2019). Creating waterfall animation on a single image. *Multimedia Tools and Applications*, 78(6), 6637-6653.
6. S. Ye, R. Ohtera. Japanese Animation Style Transfer Using Deep Neural Networks. In 2017 International Conference on Information, Communication and Engineering (ICICE). 2017. №17. P. 492-495.
7. Shamuratov, O. Yu., & Shaxovs"ka, N. B. (2019). Alhorytmy konturnoho analizu zobrazhen". *Naukovyj visnyk NLTU Ukrayiny*, (29, № 6), 123-127.
8. Kahan V.F. Основы теорыи поverxnostej v tenzornom yzlozhenyy. Moskva : Rypol-klassyk, 2013. 518 с.
9. OpenGL Transformation : veb-sajt. URL: http://www.songho.ca/opengl/gl_transform.html (data zvernennya: 12.05.2020).
10. Rodzhers, Dzh. Adams. Matematycheskiye osnovyy mashynnoj hrafyky. Moskva : Myr. 2001. 604 s.
11. Dronov V. Macromedia Flash Professional 8. Hrafyka y anymacyya. Moskva : BXV-Peterburh. 2013. 750 с.

Рецензія/Peer review : 20.02.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.03.2021 р.