УДК 004.92

ПРОДУКТИВНИЙ МЕТОД ІМІТАЦІЇ НЕРІВНОСТЕЙ НА ЗОБРАЖЕНІ ПОВЕРХНІ З ВИКОРИСТАННЯМ КАРТ НОРМАЛЕЙ

О.В. Романюк
Вінницький національний технічний університет

Запропоновано новий метод підвищення продуктивності імітації нерівностей на зображеннях поверхні з використанням карт нормалей за рахунок використання нової формули для трансформації векторів у дотичний простір.

Основною задачею сучасної комп’ютерної графіки є синтез реалістичних тривимірних зображень, які максимально відтворюють об’єкти реального світу. Одним із способів підвищення реалістичності зображення є відображення мілких деталей, нерівностей та рельєфу на поверхнях об’єктів, які складають графічну сцену. При цьому важливо досягти прийнятної для даного застосування продуктивності формування графічної сцени.

Серед методів формування реалістичних зображень широкого поширення набули методи імітації нерівностей на поверхні, оскільки вони забезпечують високу реалістичність при застосуванні низькополігональних об’єктів. До таких методів відносять методи bump-mapping [1], normal-mapping [2] і parallax-mapping [3].

Основна ідея цих методів полягає у тому, що нерівності на поверхні імітуються шляхом збільшення або зменшення освітленості в кожній точці поверхні. Для цього вектор нормалі у кожній точці необхідно збурити, тобто відхилити його від початкового значення на певну величину, а потім нормалізувати його. У сучасних засобах комп’ютерної візуалізації найбільшого поширення набув метод normal-mapping, який передбачає використання карт збурених нормалей, застосування яких передбачає трансформацію векторів до джерела світла та до спостерігача у дотичний простір.

Трансформація вектора у дотичний простір виконується шляхом його множення на 3х3 матрицю трансформації [4], стовпцями якої є вектори дотичної, бінормалі та нормалі до поточної точки поверхні. Це вимагає виконання 9 операцій множення та 6 операцій додавання. В подальшому трансформований вектор потрібно нормалізувати, що потребує 6 операцій множення, 2 операцій додавання, по 1 операції квадратного кореня та ділення. Враховуючи, що такі розрахунки потрібно виконувати для кожної точки зображення, то питання спрощення процедури трансформації векторів у дотичний простір є досить актуальним.

Розглянемо метод прискореної імітації нерівностей на поверхні, у якому трансформація нормалізованого вектора у дотичний простір відбувається шляхом подвійного повороту вектора на значення полярних кутів вектора нормалі, що не потребує визначення векторів дотичної та бінормалі. Оскільки при повороті довжина вектора не змінюється [5], то процедуру нормалізації можна вилучити.

На рис. 1 зображено подання вектора у полярній системі координат.

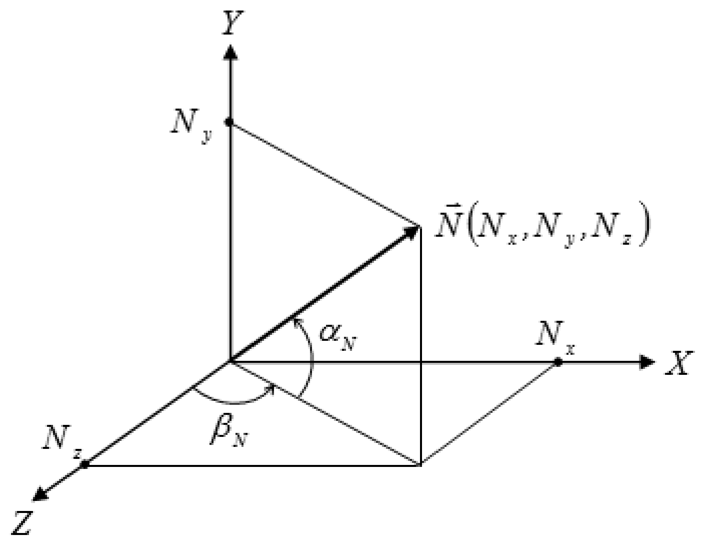

Рисунок 1 – Подання одиничного вектора у полярній системі координат

З рис.1 видно, що між декартовими та полярними координатами вектора мають місце такі співвідношення:

$$N_x = cos\,\alpha_N \cdot sin\,\beta_N, \;\; N_y = sin\,\alpha_N \;, \;\; N_z = cos\,\alpha_N \cdot cos\,\beta_N, \qquad (1)$$

$$\alpha_N = a\,sin\,N_y, \;\; \beta_N = atg\left(N_x / N_z\right). \qquad (2)$$

Трансформацію вектора $\vec{A}$ у дотичний простір, в якому вектор нормалі має координати $\vec{N}_{dot} = (0{,}0{,}1)$ у декартовій системі координат і $\vec{N}_{dot} = (0{,}0)$ у полярній системі координат, можна здійснити шляхом двох послідовних поворотів вектора $\vec{A}$: спочатку на кут α_N, а потім на кут β_N. Поворот вектора виконують шляхом застосування матриць повороту 3x3 [4]

$$\begin{bmatrix} A''_x \\ A''_y \\ A''_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\beta_N & 0 & -\sin\beta_N \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta_N & 0 & \cos\beta_N \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos a_N & -\sin a_N \\ 0 & \sin a_N & \cos a_N \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де A''_x, A''_y, A''_z – декартові координати вектора $\vec{A}$, трансформованого у дотичний простір, A_x, A_y, A_z – декартові координати вектора $\vec{A}$ у об'єктному просторі [5].

Перепишемо рівняння (3) у лінійній формі. Після першого повороту на кут α_N, отримаємо

$$\begin{cases} A'_x = A_x \cos\beta_N - A_z \sin\beta_N, \\ A'_z = A_x \sin\beta_N + A_z \cos\beta_N, \\ A'_y = A_y. \end{cases} \quad (4)$$

Після другого повороту знаходимо такі координати трансформованого вектора

$$\begin{cases} A''_y = A'_y \cos\alpha_N - A'_z \sin\alpha_N, \\ A''_z = A'_y \sin\alpha_N + A'_z \cos\alpha_N, \\ A''_x = A'_x. \end{cases} \quad (5)$$

Після підстановки значень координат A'_x, A'_y, A'_z з системи рівнянь (4) у (5), отримаємо

$$\begin{cases} A''_x = A_x \cos\beta_N - A_z \sin\beta_N, \\ A''_y = A_y \cos\alpha_N - (A_x \sin\beta_N + A_z \cos\beta_N)\sin\alpha_N, \\ A''_z = A_y \sin\alpha_N + (A_x \sin\beta_N + A_z \cos\beta_N)\cos\alpha_N. \end{cases} \quad (6)$$

Враховуючи рівняння (1) замінимо у системі рівнянь (6) $\sin\beta_N$ на $\frac{N_x}{\cos\alpha_N}$, $\cos\beta_N$ на $\frac{N_z}{\cos\alpha_N}$, $\sin\alpha_N$ на N_y. Тоді система рівнянь (6) буде мати вигляд

$$\begin{cases} A''_x = A_x \dfrac{N_z}{\cos\alpha_N} - A_z \dfrac{N_x}{\cos\alpha_N}, \\ A''_y = A_y \cos\alpha_N - \left(A_x \dfrac{N_x}{\cos\alpha_N} + A_z \dfrac{N_z}{\cos\alpha_N} \right) N_y, \\ A''_z = A_y N_y + \left(A_x \dfrac{N_x}{\cos\alpha_N} + A_z \dfrac{N_z}{\cos\alpha_N} \right) \cos\alpha_N. \end{cases} \quad (7)$$

Винесемо за дужки спільні члени у системі рівнянь (7)

$$\begin{cases} A_x'' = (A_x N_z - A_z N_x)\dfrac{1}{cos\alpha_N}, \\ A_y'' = \left(A_y cos^2\alpha_N - (A_x N_x + A_z N_z)N_y\right)\dfrac{1}{cos\alpha_N}, \\ A_z'' = A_y N_y + A_x N_x + A_z N_z. \end{cases} \quad (8)$$

У системі рівнянь (8) замінимо $cos^2\alpha_N$ на $1-N_y^2$ та введемо позначення $A_{RSR} = \dfrac{1}{cos\alpha_N} = \dfrac{1}{\sqrt{1-H_y^2}}$. Тоді отримаємо

$$\begin{cases} A_x'' = (A_x N_z - A_z N_x)A_{RSR}, \\ A_y'' = \left(A_y - N_y\left(A_y N_y + A_x N_x + A_z N_z\right)\right)A_{RSR}, \\ A_z'' = A_y N_y + A_x N_x + A_z N_z. \end{cases}$$

Вираз $A_y N_y + A_x N_x + A_z N_z$ можна розрахувати один раз. Позначимо його через A_{xyz} . Тоді система рівнянь буде мати кінцевий вигляд

$$\begin{cases} A_x'' = (A_x N_z - A_z N_x)A_{RSR}, \\ A_y'' = \left(A_y - A_{xyz} N_y\right)A_{RSR}, \\ A_z'' = A_{xyz}. \end{cases} \quad (9)$$

Оскільки N_y приймає значення від 0 до 1, то коефіцієнт A_{RSR} можна розрахувати для усіх значень N_y з кроком дискретизації 1/1024 і зберігати у вигляді постійної пам’яті.

На рис.2. наведено одну із можливих апаратних реалізацій запропонованих формул. Особливість запропонованої апаратної реалізації полягає в тому, що для виконання 8 операцій множення використано лише 5 блоків множення, 4 регістри для зберігання проміжних значень та 2 мультиплексори для передачі відповідних значень на входи блоку множення $MUL5$.

Таким чином, запропоновано нові формули для трансформації вектора у дотичний простір, які вимагають виконання 8 операцій множення, 4 операцій додавання та 1 операцію звернення до пам’яті. На відміну від традиційного методу normal-mapping, вектор, отриманий за формулою (9), є нормалізованим, що дозволяє вилучити процедуру нормалізації вектора. Для трансформації вектора у дотичний простір використовуються лише координати вектора нормалі, тому зникає необхідність розрахунку вектора дотичної та вектора бінормалі. Все це суттєво спрощує обчислювальний процес та дозволяє прискорити формування зображень нерівних поверхонь.

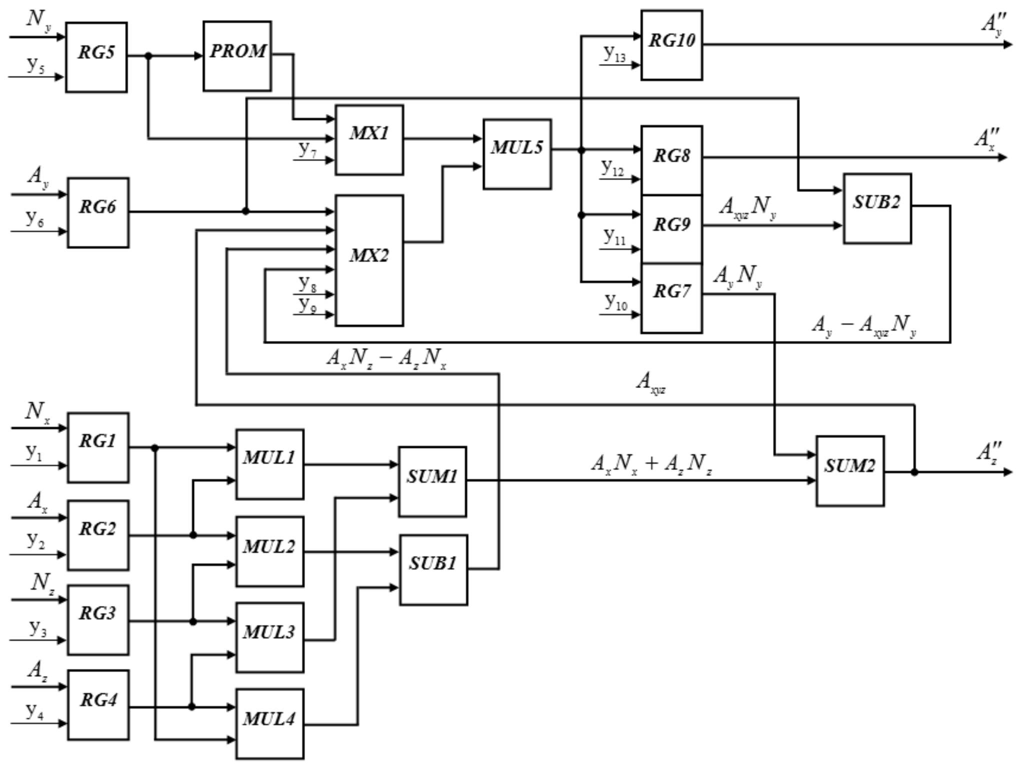

Рисунок 2 – Апаратна реалізація запропонованих формул трансформації вектора у дотичний простір

Список літератури

1. Blinn J. F. Simulation of wrinkled surfaces / J.F.Blinn // In Proceedings of the 5th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, ACMPress. – 1978. – P. 286–292.
2. Peercy M. Efficient bump mapping hardware / M. Peercy, J. Airey, B. Cabral // In SIGGRAPH Proceedings. – 1997. – P.303-306.
3. Welsh T. Parallax Mapping with Offset Limiting: A PerPixel Approximation of Uneven Surfaces / T. Welsh // Tech. report, Infiscape Corporation. – 2004.
4. Ламот А. Программирование трехмерных игр для Windows. Советы профессионала по трехмерной графике и растеризации. – М.: ИД «Вильямс», 2004. – 1424 с.
5. Порев В.Н. Компьютерная графика / В.Н.Порев. – Спб.: БХВ-Петербург, 2002. – 432 с.

Отримано 10.09.2011