

УДК 004.925

О.Н. Романюк, д-р техн. наук, професор,
О.В. Романюк, асистент,
Д.Л. Благодир, студент,
Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна
ran12345@mail.ru, romaniukoksana@mail.ru, blagodyr.d@gmail.com

Метод прискореної імітації нерівностей на зображеннях поверхонь віртуальних об'єктів з використанням полярних координат

Удосконалено метод імітації нерівностей на зображеннях поверхонь віртуальних об'єктів, що використовує карти нормалей, за рахунок використання нових формул прискореної трансформації векторів, заданих у полярних координатах, у дотичний простір. Наведено приклади зображень, синтезованих з використанням запропонованого методу.

Ключові слова: імітація нерівностей, вектор нормалі, вектор дотичної, вектор бінормалі, карта нормалей, матриця трансформації у дотичний простір, нормалізація вектора, полярні координати

Вступ

Для підвищення інформативності комп'ютерної графіки як ефективного засобу взаємодії між людиною та ЕОМ необхідно точніше відтворювати конструктивні, візуальні та фактурні особливості графічних об'єктів. Синтез зображень таких об'єктів передбачає відтворення графічної сцени з високим ступенем деталізації, тобто точну передачу мікрорельєфу поверхонь об'єктів.

На теперішньому етапі розвитку комп'ютерної графіки для відображення рельєфу поверхонь віртуальних об'єктів широкого поширення набули методи, які не вимагають збільшення складності каркасної моделі. Зокрема, до них відносять перспективно-коректне накладання оцифрованих зображень (текстур) [1, 2] і методи імітації нерівностей, що базуються на збуренні векторів нормалей, до яких відносять методи бамп-меппінгу [3, 4] та нормал-меппінгу [5, 6].

Найпоширенішим на сьогодні є метод нормал-меппінгу [5, 6], який використовує наперед прораховані значення збурених векторів нормалей, що зчитуються зі спеціальної карти нормалей [7]. Але при цьому вектори до джерела світла та до спостерігача мають бути трансформовані з глобального простору у дотичний та нормалізований, що вимагає значних обчислювальних витрат. Оскільки зазначені процедури виконуються для кожної точки графічного зображення, то формування зображень рельєфних поверхонь є надзвичайно трудомістким процесом кінцевої візуалізації, який суттєво впливає на продуктивність формування графічних сцен. Тому актуальним є питання зменшення обчислювальної складності процесу імітації нерівностей на зображеннях віртуальних об'єктів.

Аналіз методів бамп-меппінгу та нормал-меппінгу. Постановка задачі

Нерівності на поверхні сприймаються тоді, коли на загальному фоні поверхні з'являються більш освітлені, або більш затемнені ділянки. Освітленість точки зображення залежить від вектора нормалі \vec{N} , який визначає локальну кривизну поверхні. Для нерівних поверхонь вектори нормалі в кожній точці будуть різні. Згідно з методом бамп-меппінгу імітувати нерівності на зображенні поверхні можна шляхом збурення вектора нормалі у кожній точці, тобто відхилення його від початкового значення на певну величину [3, 4]

$$\vec{N}' = \vec{N} + \vec{D},$$

де \vec{N}' - збурений вектор нормалі, \vec{N} - базовий вектор нормалі, \vec{D} - фактор збурення.

Збурений вектор нормалі \vec{N}' в подальшому нормалізують і використовують для розрахунку спекулярної та дифузної складових кольору пікселя [7, 8, 9]

$$I_{spec} = I_l \cdot k_s \cdot \max(0, \vec{H} \cdot \vec{N}')^n = I_l \cdot k_s \cdot \cos^n \gamma,$$

$$I_{dif} = I_l \cdot k_d \cdot \max(0, \vec{L} \cdot \vec{N}') = I_l \cdot k_d \cdot \cos \theta,$$

де I_l - інтенсивність кольору джерела світла, k_s - коефіцієнт спекулярного відбиття, $\cos^n \psi$ - дискрибутивна функція відбивної здатності, яка дозволяє описувати відблиски на поверхні, γ - кут між вектором півшляху $\vec{H} = \frac{\vec{L} + \vec{V}}{|\vec{L} + \vec{V}|}$, де \vec{V} - вектор спостереження, та нормаллю до поверхні \vec{N}' ,

n - коефіцієнт спекулярності поверхні, $k_d = 0,1 -$

коефіцієнт дифузного відбиття, $\cos \theta$ – косинус кута між вектором \vec{L} , який визначає напрямок світла, та нормаллю до поверхні \vec{N}' .

Процедури збурення та нормалізації вектора вимагають значних обчислювальних витрат, тому сьогодні надають перевагу методу нормалізації, який використовує наперед розраховані збурені вектори нормалей, які зчитуються зі спеціальної карти нормалей [7]. Використання карт нормалей передбачає трансформацію векторів \vec{L} і \vec{N} у дотичний простір об'єкта. Трансформація вектора у дотичний простір виконується шляхом його множення на 3×3 матрицю трансформації, стовпцями якої є вектори дотичної \vec{T} , бінормалі \vec{B} та нормалі \vec{N} до поточної точки поверхні

$$\begin{bmatrix} L'_x \\ L'_y \\ L'_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_x & B_x & N_x \\ T_y & B_y & N_y \\ T_z & B_z & N_z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} L_x \\ L_y \\ L_z \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Аналогічні дії виконують і для вектора \vec{N} .

Процедура трансформації вектора у дотичний простір вимагає виконання 9 операцій множення та 6 операцій додавання. В подальшому отриманий вектор необхідно нормалізувати.

Зрозуміло, що спрощення процедури трансформації векторів у дотичний простір дозволило б прискорити процес формування зображень шорстких поверхонь.

Таким чином, метою роботи є прискорення процесу формування зображень рельєфних поверхонь.

Задача дослідження полягає в одержанні формул для прискореної трансформації векторів у дотичний простір, що не вимагає у подальшому процедури нормалізації вектора та визначення векторів \vec{T} і \vec{B} та в цілому дозволяє прискорити процес формування зображень рельєфних поверхонь.

Метод прискореної імітації нерівностей на зображеннях поверхонь віртуальних об'єктів з використанням полярних координат

Розглянемо метод прискореної імітації нерівностей на зображенні поверхні, у якому трансформація вектора у дотичний простір відбувається шляхом подвійного повороту вектора на значення полярних кутів вектора нормалі (рис. 1), що не потребує визначення векторів дотичної та бінормалі.

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

$$\begin{aligned} N_x &= \cos \alpha_N \cdot \sin \beta_N, & N_y &= \sin \alpha_N, \\ N_z &= \cos \alpha_N \cdot \cos \beta_N. \end{aligned}$$

$$\alpha_N = a \sin N_y, \quad \beta_N = \text{atg}(N_x / N_z).$$

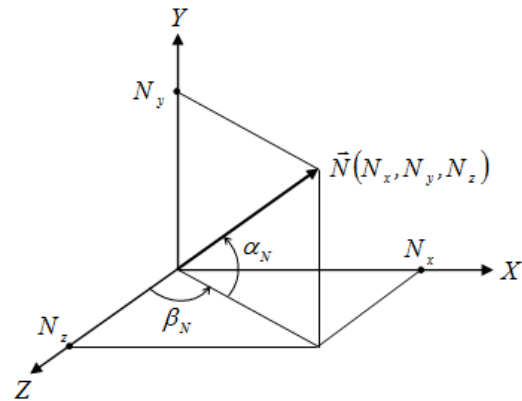


Рисунок 1 – Подання одиничного вектора у полярній системі координат

Трансформацію вектора \vec{L} у дотичний простір можна здійснити шляхом його двох послідовних поворотів: спочатку на кут α_N , а потім на кут β_N .

Для повороту вектора використовують матрицю повороту 3×3 [8]

$$\begin{bmatrix} L''_x \\ L''_y \\ L''_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta_N & 0 & -\sin \beta_N \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta_N & 0 & \cos \beta_N \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} L_x \\ L_y \\ L_z \end{bmatrix}, \quad (2)$$

де L''_x, L''_y, L''_z – декартові координати вектора \vec{L} , трансформованого у дотичний простір, L_x, L_y, L_z – декартові координати вектора \vec{L} у об'єктному просторі [9].

Запишемо рівняння (2) у лінійній формі. Після першого повороту на кут α_N , отримаємо такі координати трансформованого вектора

$$\begin{cases} L'_x = L_x \cos \beta_N - L_z \sin \beta_N; \\ L'_z = L_x \sin \beta_N + L_z \cos \beta_N; \\ L'_y = L_y, \end{cases} \quad (3)$$

а після другого повороту –

$$\begin{cases} L''_x = L'_x \cos \alpha_N - L'_z \sin \alpha_N; \\ L''_z = L'_x \sin \alpha_N + L'_z \cos \alpha_N; \\ L''_y = L'_y. \end{cases} \quad (4)$$

Підставимо значення координат L'_x, L'_y, L'_z з системи рівнянь (3) у (4). Тоді

$$\begin{cases} L'_x = L_x \cos \beta_N - L_z \sin \beta_N; \\ L'_y = L_y \cos \alpha_N - (L_x \sin \beta_N + L_z \cos \beta_N) \sin \alpha_N; \\ L'_z = L_y \sin \alpha_N + (L_x \sin \beta_N + L_z \cos \beta_N) \cos \alpha_N. \end{cases}$$

Замінімо в отриманій системі рівнянь декартові координати вектора \vec{L} на полярні. Тоді система рівнянь буде мати вигляд

$$\begin{cases} L''_x = \cos \alpha_L \sin \beta_L \cos \beta_N - \cos \alpha_L \cos \beta_L \sin \beta_N; \\ L''_y = \sin \alpha_L \cos \alpha_N - \cos \alpha_L \sin \beta_L \sin \beta_N \sin \alpha_N + \\ + \cos \alpha_L \cos \beta_L \cos \beta_N \sin \alpha_N; \\ L''_z = \sin \alpha_L \sin \alpha_N + \cos \alpha_L \sin \beta_L \sin \beta_N \cos \alpha_N + \\ + \cos \alpha_L \cos \beta_L \cos \beta_N \cos \alpha_N. \end{cases}$$

В останній системі рівнянь винесемо за дужки спільні члени та застосуємо формули перетворення добутку на суму

$$\begin{cases} L''_x = \cos \alpha_L \sin(\beta_L - \beta_N); \\ L''_y = \sin \alpha_L \cos \alpha_N - \cos(\beta_L - \beta_N) \cos \alpha_L \sin \alpha_N; \\ L''_z = \sin \alpha_L \sin \alpha_N + \cos(\beta_L - \beta_N) \cos \alpha_L \cos \alpha_N. \end{cases}$$

Уведемо позначення $L_{yz} = \cos(\beta_L - \beta_N) \cos \alpha_L$.

Тоді

$$\begin{cases} L''_x = \cos \alpha_L \sin(\beta_L - \beta_N); \\ L''_y = \sin \alpha_L \cos \alpha_N - L_{yz} \sin \alpha_N; \\ L''_z = \sin \alpha_L \sin \alpha_N + L_{yz} \cos \alpha_N. \end{cases} \quad (5)$$

Аналогічно відбувається трансформація вектора \vec{H} у дотичний простір.

Приклад зображення, синтезованого з використанням запропонованого методу, наведено на рис. 2.

На відміну від формули (1) розрахунок формул (5) вимагає лише 6 операцій множення, 3 операції типу додавання, 6 звернень до таблиці з наперед прорахованими значеннями косинусів та синусів.

Висновки

У статті було проаналізовано основні методи імітації нерівностей на зображеннях поверхонь віртуальних об'єктів та визначено шляхи зменшення обчислювальної складності процесу імітації нерівностей.

Було запропоновано формули прискореної трансформації векторів у дотичний простір, які

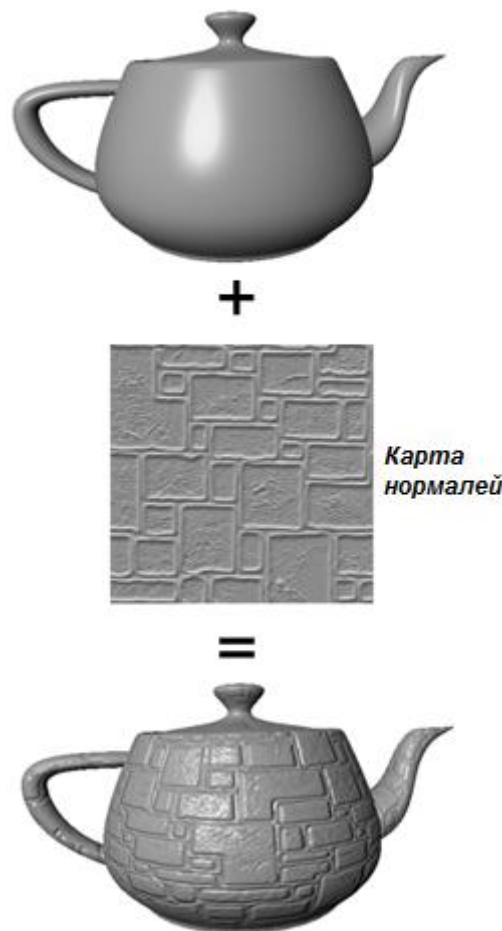


Рисунок 2 - Приклад зображення, синтезованого з використанням запропонованого методу

Вектор, отриманий за формулами (5), є нормалізованим. Порівняно з традиційним методом нормал-меппінгу при застосуванні запропонованого методу вилучаються процедури розрахунку векторів дотичної та бінормалі, що дозволяє суттєво зменшити обчислювальні витрати і, як наслідок, прискорити процес імітації нерівностей на зображеннях поверхонь віртуальних об'єктів. використовують принцип повороту вектора та подання векторів у полярних координатах. Запропоновані формули дозволяють вилучити процедуру нормалізації трансформованого у дотичний простір вектора та не вимагають визначення векторів дотичної та бінормалі. При цьому точність визначення координат векторів не зменшується.

Список літератури

1. Heckbert P.S. Interpolation for Polygon Texture Mapping and Shading / P.S. Heckbert, H.P. Moreton // State of the Art in Computer Graphics: Visualization and Modelling. – Springer-Verlag, 1991. – P. 101–111.
2. Hecker C. Perspective Texture Mapping Part IV: Approximations / C. Hecker // Game Developer. – 1995. – Vol.2. – No.6. – P. 19–25.

3. Blinn J.F. Simulation of wrinkled surfaces / J.F. Blinn // Computer graphics and interactive techniques. – ACM Press, 1978. – P. 286–292.
4. A Practical Bump Mapping Technique in Scene Simulation / S. Jun, X. Limei, L. Hui et al. // Mechatronics & Automation : IEEE International Conference : Proceedings. – Niagara Falls, Canada. – 2005. – P. 166–170.
5. Peercy M. Efficient bump mapping hardware / M. Peercy, J. Airey, B. Cabral // SIGGRAPH'97. – NY. : ACM, 1997. – P. 303–306.
6. Ikedo T. Illumination Engine for a Billion Pixels per Second / T. Ikedo // Technical Report HCIS-2203-03. – 2003. – 32 p.
7. Akenine-Möller T. Real-Time Rendering / T. Akenine-Möller, E. Haines, N. Hoffman. – Wellesley: A. Peters, 2008. – 1045 p.
8. Ламот А. Программирование трехмерных игр для Windows. Советы профессионала по трехмерной графике и растеризации / А. Ламот. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2004. – 142 с.
9. Берн Дж. Цифровое освещение и визуализация / Дж. Берн: перев. с англ. – М.: Издат. Дом «Вильямс», 2003. – 330 с.

Надійшла до редакції 02.04.2012

**А.Н. РОМАНИУК, О.В. РОМАНИУК,
Д.Л. БЛАГОДЫР**

Винницький національний технічний університет

**O.N. ROMANIUK, O.V. ROMANIUK,
D.L. BLAGODYR**

Vinnitsia National Technical University

Метод ускоренной имитации неровностей на изображениях поверхностей виртуальных объектов с использованием полярных координат

Усовершенствован метод имитации неровностей на изображениях поверхностей виртуальных объектов, который использует карты нормалей, за счет использования новых формул ускоренной трансформации векторов, заданных в полярных координатах в касательное пространство. Приведен пример изображения, синтезированного с использованием предложенного метода.

Ключевые слова: имитация неровностей, вектор нормали, вектор касательной, вектор бинормали, карта нормалей, матрица трансформации в касательное пространство, нормализация вектора, полярные координаты

The method of accelerated bump simulation on virtual object surface images using polar coordinates

We improved the method of bump simulation on virtual object surface images, which employs normal maps, by using new formulas for accelerated transformation of vectors defined in polar coordinates into tangent space. An image created by using proposed method is provided.

Keywords: bump simulation, normal vector, tangent vector, binormal vector, normal map, matrix of transformation into tangent space, vector normalization, polar coordinates