УДК 004.92

О. Н. Романюк[1]
Є. К. Завальнюк[1]

ТЕСТИ ДЛЯ НОРМАЛІЗАЦІЇ ВЕКТОРІВ У ПРОГРАМНИХ СИСТЕМАХ 3D-РЕНДЕРИНГУ

[1] Вінницький національний технічний університет;

Анотація
Проаналізовано основні тести для нормалізації векторів у програмних системах рендерингу.
Ключові слова: рендеринг, нормалізація векторів, тести, графічний конвеєр, інтенсивність кольору.

Abstract
The main tests for vector normalization in software rendering systems are analyzed.
Keywords: rendering, vector normalization, tests, graphics pipeline, color intensity.

Вступ

Найбільш трудомістким етапом графічного конвеєра є рендеринг [1], на якому інтенсивність кольору розраховується для кожної точки зображення. При обчисленні інтенсивності кольору в кожній точці застосовують вектори нормалей, вектори до джерела освітлення та до камери, нормалізовані до одиничної довжини. Нормалізація вектора [2] передбачає трудомісткий розрахунок оберненого квадратного кореня, що впливає на продуктивність візуалізації тривимірних сцен. Тому для нормалізації векторів застосовують високопродуктивні апроксимаційні вирази [3]. Водночас, наближена нормалізація векторів може призводити до артефактів на сформованих зображеннях. Отже, актуальним є застосування спеціальних тестів для перевірки коректності нормалізації векторів.

Метою роботи є аналіз тестів для нормалізації векторів у програмних системах 3D-рендерингу.

Результати дослідження

Основним тестом при розрахунку нормалізованих векторів є перевірка їх відхилення від одиничної довжини. Від цього залежать коректність розрахунку спекулярної та дифузної складових кольору й, зокрема, точність визначення косинусів кутів на основі скалярного добутку [2]. Обчислення спекулярної складової кольору передбачає піднесення косинуса кута до степеня, тому складова особливо залежить від довжин векторів. Відповідно, відхилення довжини [4] наближено нормалізованого вектора v' від 1 не повинне перевищувати задане порогове значення ε

$$\left|\left\|v'\right\| - 1\right| < \varepsilon. \tag{1}$$

Значення ε обирають залежно від складності ділянки поверхні об’єкта. Найменші значення ε доцільні для поверхонь високоспекулярних матеріалів з великою локальною кривизною.

Слід зазначити, що еталонна довжина вектора дорівнює одиниці, тому абсолютне та відносне відхилення довжини наближено нормалізованого вектора збігаються.

Важливим є тестування випадків, коли довжина вектора, який нормалізують, дорівнює нулю ($\|v\| = 0$). У програмній системі має бути реалізовано конкретний механізм обробки таких випадків, наприклад, повернення помилки, нульового вектора чи спеціального значення.

Окрім того, під час нормалізації важливим є збереження напрямку вектора [5]. Це відповідає умові, якщо косинус кута між оригінальним v і наближено нормалізованим векторами v' не менший за заданий поріг $\cos_{\min}$

$$\frac{v}{|v|} \cdot \frac{v'}{|v'|} \geq \cos_{\min}. \quad (2)$$

При тестуванні також необхідно перевірити масштабну інваріантність процедури нормалізації векторів. Вираз нормалізації повинен забезпечувати однаковий результат відносно вектора v і вектора з масштабованими координатами $k \cdot v$ ($k > 0$), враховуючи допустиму похибку обчислень

$$normalize(v) \approx normalize(k \cdot v). \quad (3)$$

Загалом, тести для нормалізації векторів можуть застосовуватись у контексті інтеграційного, модульного, навантажувального тестування. Модульні тести перевіряють спеціальні випадки нормалізації, інтеграційні – передачу векторів між програмними компонентами, навантажувальні – продуктивність і стабільність системи при роботі із великою кількістю векторів.

Висновки

Отже, для програмних систем тривимірного рендерингу основними тестами нормалізації векторів є визначення відхилення векторів від одиничної довжини, перевірка масштабної інваріантності, обробки нульових векторів і збереження напряму векторів, коректності передачі векторів між програмними складовими, можливості обробки великої кількості векторів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Романюк О. Н. Особливості графічного 3D-конвеєра / О. Н. Романюк, В. П. Майданюк, Д. О. Трухан // Сучасні аспекти модернізації науки: стан, проблеми, тенденції розвитку: матеріали XXXIII Міжнародної науково-практичної конференції. — Паола (Мальта), 2023. — С. 359–362.

2. Pharr M. Physically Based Rendering: From Theory to Implementation / M. Pharr, W. Jakob, G. Humphreys. – 4th ed. – Cambridge : The MIT Press, 2023. – 1312 p.

3. Romanyuk O. Accelerated Vector Normalization for Rendering Tasks / O. Romanyuk, Y. Zavalniuk, P. Mykhaylov, R. Chekhmestruk, N. Titova, S. Romanyuk // 2024 14th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT). — Ceske Budejovice, Czech Republic, 2024. — P. 640–644. — DOI: 10.1109/ACIT62333.2024.10712602.

4. Hu Y. Multirate shading with piecewise interpolatory approximation / Y. Hu, Y. Yuan, R. Wang, Z. Yang, H. Bao // Computer Graphics Forum. — 2022. — Vol. 41, Issue 7. — P. 1–12. — DOI: https://doi.org/10.1111/cgf.14674

5. Reading: Geometry [Online]. — Available: https://cs.wellesley.edu/~cs307s25/readings/08-geometry.html (Accessed on: 10.10.2026). — Title from screen

Романюк Олександр Никифорович — д.т.н., проф., завідувач кафедри програмного забезпечення, факультет інформаційний технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: rom8591@gmail.com

Завальнюк Євген Костянтинович — аспірант кафедри програмного забезпечення, факультет інформаційний технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: qq9272627@gmail.com.

Romanyuk Oleksandr N. — doctor of technical sciences, professor, Head of the Software Department, Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, rom8591@gmail.com.

Zavalniuk Yevhen K. — Postgraduate student of the Software Department, Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : qq9272627@gmail.com.