

пристроєм керування програмним чином в інтервали перевантаження мережі, або за фактом збільшення потоку повідомлення в мережі.

**Висновки.** Запропонована адаптивна маршрутизація на паралельних обчислювальних структурах забезпечує два рівні захисту комп'ютерної мережі від перевантаження.

Перший рівень захоплення допустимого навантаження в комп'ютерній мережі забезпечується багатошляховою маршрутизацією за часом затримки в передачі даних у мережі.

Другий рівень адаптації до збільшення навантаження в мережі реалізується багатошляховою маршрутизацією на основі пошуку маршрутів з максимальною пропускну здатністю. Застосування адаптивної маршрутизації на основі паралельних обчислювальних структур дозволяє розподілити потоки даних в мережі без їх втрати.

### Література

1. Вишневський В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
2. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. Алгоритмы: построение и анализ / Пер. с англ. Под ред. А. Шеня. – М.: МЦНМО: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 960 с.
3. Жуков І.А., Мартинова О.П. Метод побудови паралельних структур для пошуку альтернативних маршрутів у комп'ютерних мережах // Вісник НАУ. – К.: НАУ, 2004. – № 1. – С. 14-17.
4. Мартынова О.П. Параллельные средства решения задачи альтернативной маршрутизации в компьютерных сетях // Інформаційно-діагностичні системи. – К.: НАУ, 2004. – Т.1. – С. 49-52.

Надійшла до редакції  
19.11.2010 р.

УДК 004.921

**О.В. РОМАНЮК, О.Н. РОМАНЮК, Т.М. ПАВЛИК**

Вінницький національний технічний університет

## ОДИН ІЗ АПАРАТНИХ ПІДХОДІВ ДО НОРМАЛІЗАЦІЇ ВЕКТОРІВ У СИСТЕМАХ КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ

У статті запропоновано новий метод прискореної нормалізації векторів, який не потребує виконання операцій ділення та визначення квадратного кореня. Запропоновано апаратну реалізацію блоку нормалізації векторів і блоку визначення підкореневого виразу.

There had been proposed the new method of fast vector normalization which didn't contain division and square root operations. There had been proposed hardware realization of vector normalization unit and under root expression calculation unit.

Ключові слова: нормалізація векторів, лінійна інтерполяція векторів.

### Вступ

Для досягнення високої реалістичності зображень у сучасних системах комп'ютерної графіки необхідно розраховувати велику кількість параметрів, які характеризують фізичні та оптичні властивості об'єкта візуалізації. Зокрема, вагоме місце серед цих параметрів займають вектори до джерел світла та спостерігача, а також вектори нормалі [1-3]. У моделях освітлення та формування шорстких поверхонь використовують нормалізовані значення цих векторів, тому процедура нормалізації векторів є невід'ємною складовою процесу формування реалістичних зображень.

Аналіз відомих методів нормалізації векторів [4-7] показав, що ця процедура є достатньо трудомісткою, що суттєво впливає на швидкість візуалізації реалістичних зображень. Тому питання розробки нових методів і засобів нормалізації, які дозволяють спростити обчислювальну складність процесу нормалізації векторів, є актуальними.

### Аналіз методів нормалізації векторів

Нормалізований вектор – це вектор, який має одиничну довжину. Традиційна формула для нормалізації вектора має такий вигляд [1]:

$$\vec{N}_n = \frac{\vec{N}}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}, \quad (1)$$

де  $x, y, z$  – координати ненормалізованого вектора  $\vec{N}$ .

Формула (1) є досить складною з точки зору апаратної реалізації, оскільки передбачає виконання операцій ділення та знаходження квадратного кореня. У зв'язку з цим науковцями було запропоновано різні

підходи до спрощення процедури нормалізації.

Для апроксимації формули (1) фірмою NVIDIA було отримано формулу [5], яка використовує один крок ітерації Ньютона-Рафсона

$$\vec{N}_n = \frac{\vec{N}}{3} (3 - \vec{N} \cdot \vec{N}). \quad (2)$$

Розрахунок згідно формули вимагає однієї операції ділення, 6 операцій множення та 3 операцій типу додавання. Наведена формула має обмежене використання в задачах зафарбовування через великі абсолютні похибки визначення ортогональних складових вектора.

Р.Ліон запропонував вираз  $1/\sqrt{\vec{N} \cdot \vec{N}}$ , який використовується для нормалізації вектора  $\vec{N}$ , розкласти у ряд Тейлора і обмежити першими трьома членами [6]

$$\vec{N}_n = \vec{N} \left( 1 - \frac{1}{2} ((\vec{N} \cdot \vec{N}) - 1) + \frac{3}{8} ((\vec{N} \cdot \vec{N}) - 1)^2 \right). \quad (3)$$

Формулу (3) досить просто реалізувати апаратно, але вона не забезпечує прийнятної точності. Інший підхід до нормалізації векторів передбачає використання формули [7]

$$\vec{N}(w) = \vec{N}_a \frac{\sin((1-w)\psi)}{\sin \psi} + \vec{N}_b \frac{\sin(w\psi)}{\sin \psi}, \quad (4)$$

де  $w \in [0,1]$ , а  $\psi$  – кут між початковим  $\vec{N}_a$  і кінцевим  $\vec{N}_b$  векторами.

Суттєвим недоліком формули (4) є необхідність розрахунку тригонометричних функцій  $\sin$ ,  $\arccos$  для знаходження вектора та розрахунку невідомих параметрів  $w$  і  $\psi$ . Крім того, розрахунок вектора  $\vec{N}(w)$  передбачає виконання в циклі нормалізації операції ділення.

Таким чином, питання розробки нових методів і засобів нормалізації векторів, які б мали просту апаратну реалізацію та забезпечували прийнятну точність, є актуальними.

#### Постановка задачі

Мета статті – розробка методу прискореної нормалізації векторів, який має просту апаратну реалізацію та забезпечує прийнятну точність.

#### Розробка методу та засобів нормалізації векторів

У формулі (1) найбільш складними з точки зору апаратної реалізації є операції ділення та визначення квадратного кореня. Апроксимуємо вираз  $\frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}$  більш простим виразом

$$\frac{1}{\sqrt{K}} \approx A \cdot K^2 + B \cdot K + C, \quad (5)$$

де  $K = x^2 + y^2 + z^2$ ,  $A, B$  і  $C$  – коефіцієнти апроксимації.

Визначимо граничні значення, які може приймати  $K$ .

*Твердження 1.* Довжини поточних векторів при їх лінійному інтерполюванні вздовж рядка растеризації за умови, що кут між нормалізованими векторами в початковій та кінцевій точках рядка растеризації не перевищує  $90^\circ$ , знаходиться в межах  $[0,7071;1]$ .

*Доведення.* Нехай задано одиничні вектори  $\vec{N}_p$  і  $\vec{N}_k$  відповідно у початковій та кінцевій точках рядка растеризації. Сумістимо вектори в точку  $O$ . Проведемо через вектори  $\vec{N}_p$  і  $\vec{N}_k$  площину  $\lambda$  (рис. 1). У площині  $\lambda$  вектори  $\vec{N}_p$ ,  $\vec{N}_k$  та  $\vec{N}_{pk}$  утворюють рівнобедрений трикутник  $ON_pN_k$ , у якого сторони  $ON_p = ON_k = 1$ .

При лінійному інтерполюванні векторів між векторами  $\vec{N}_p$  і  $\vec{N}_k$  поточні вектори не можуть виходити за вектор  $\vec{N}_{pk}$ .

При лінійному інтерполюванні вектори у внутрішніх точках рядка растеризації також будуть належати площині  $\lambda$ , оскільки матимуть початок у точці  $O$ , а їх кінець змінюватиметься удовж сторони  $N_pN_k$ . Очевидно, що довжина інтерпольованих векторів буде менше одиниці.

Визначимо мінімальну довжину інтерпольованого вектора. Для цього знайдемо довжину висоти  $OO_1$ , опущеної з точки  $O$  на сторону  $N_p N_k$ . Оскільки трикутник  $ON_p N_k$  рівнобедрений, то висота  $OO_1$  є одночасно і бісектрисою кута  $N_p O N_k$ . Трикутник  $N_p O O_1$  є прямокутним, тому довжину висоти  $OO_1$  можна знайти за формулою

$$OO_1 = ON_p \cdot \cos(\angle N_p O O_1) = \cos(\angle N_p O N_k / 2).$$

З формули видно, що мінімальна довжина висоти  $OO_1$  матиме місце при максимальному значенні кута  $N_p O N_k$ . Оскільки кут між нормалізованими векторами в початковій і кінцевій точках рядка растеризації не перевищує  $90^\circ$ , то мінімальне значення довжини висоти  $OO_1$  буде дорівнювати

$$\min OO_1 = \cos(90/2) = 0,7071.$$

Таким чином, при куті між нормалізованими векторами у кінцевих точках рядка растеризації не більше  $90^\circ$  довжина інтерпольованих векторів лежить в діапазоні  $[0,7071; 1]$ .

Оскільки довжину вектора характеризує вираз  $\sqrt{K}$ , то значення  $K$  лежить в діапазоні  $[0,499; 1]$ .

Для визначення коефіцієнтів  $A, B$  і  $C$  у формулі (5) використаємо поліном Чебишова другого степеня. Тоді формула (5) прийме такий вигляд

$$\frac{1}{\sqrt{K}} \approx 0,822K^2 - 2,046K + 2,227. \tag{6}$$

З урахування виразу (6) формула нормалізації вектора буде мати такий вигляд

$$\vec{N}_n = \vec{N}(0,822K^2 - 2,046K + 2,227) = \vec{N}(K(0,822K - 2,046) + 2,227). \tag{7}$$

На рис. 2 зображено графік відносних похибок апроксимації виразу  $1/\sqrt{K}$  функцією (6). Максимальна абсолютна похибка апроксимації  $\Delta_{max}$  поліномом Чебишова другого степеня не перевищує 0,0051, а максимальна відносна похибка  $\delta_{max} - 0,36\%$ .

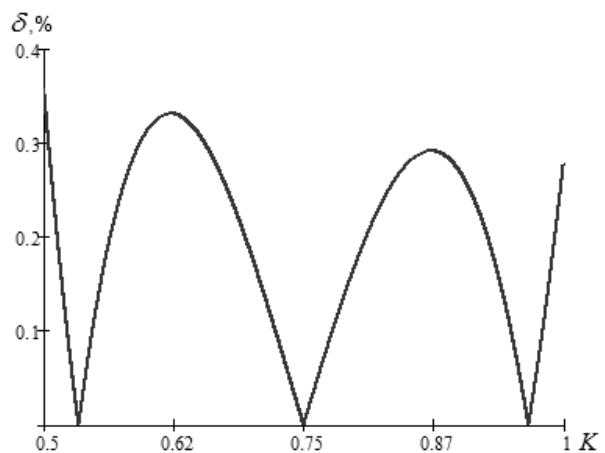


Рис. 2. Графік відносних похибок апроксимації запропонованою функцією

Інший підхід до прискореної нормалізації векторів запропоновано у роботі [8]. Він полягає у спрощеному розрахунку підкореневого виразу у формулі (1). У роботі [8] доведено властивість про сталість ортогональних приростів координатних складових векторів усередині трикутного полігона при лінійній інтерполяції. Це дозволило знайти формулу для розрахунку підкореневого виразу, яка не містить операцій множення

$$K_{n+1} = K_n + 2a + b_{n+1}, \tag{8}$$

де  $K_0 = x_0^2 + y_0^2 + z_0^2$  – значення підкореневого виразу для вектора у початковій точці рядка растеризації,  $a = (x_0 \Delta_r x + y_0 \Delta_r y + z_0 \Delta_r z)$ ,  $b = (\Delta_r x)^2 + (\Delta_r y)^2 + (\Delta_r z)^2$ ,  $b_{n+1} = b_n + 2b$ , причому  $b_1 = b$ ,  $\Delta_r x$ ,  $\Delta_r y$ ,  $\Delta_r z$  – ортогональні прирости координат вектора.

Значення  $K_0$ ,  $a$  і  $b$  можуть бути обчислені на підготовчому етапі, що суттєво спрощує розрахунки. Значення  $K_0$  і  $a$  залежать від координат вектора у початковій точці рядка растеризації, тому розраховуються один раз для всього рядка растеризації. Коефіцієнт  $b$  завдяки властивості про сталість приростів обчислюється один раз для всього трикутника.

Розглянемо питання апаратної реалізації запропонованого методу нормалізації векторів.

Блок нормалізації векторів (рис. 3) містить регістри  $RG1 \div RG3$ , блоки множення  $BM1 \div BM8$ , суматори  $Sm1 \div Sm3$  і блок постійної пам'яті  $BP$ , який містить значення коефіцієнтів  $A, B$  і  $C$ .

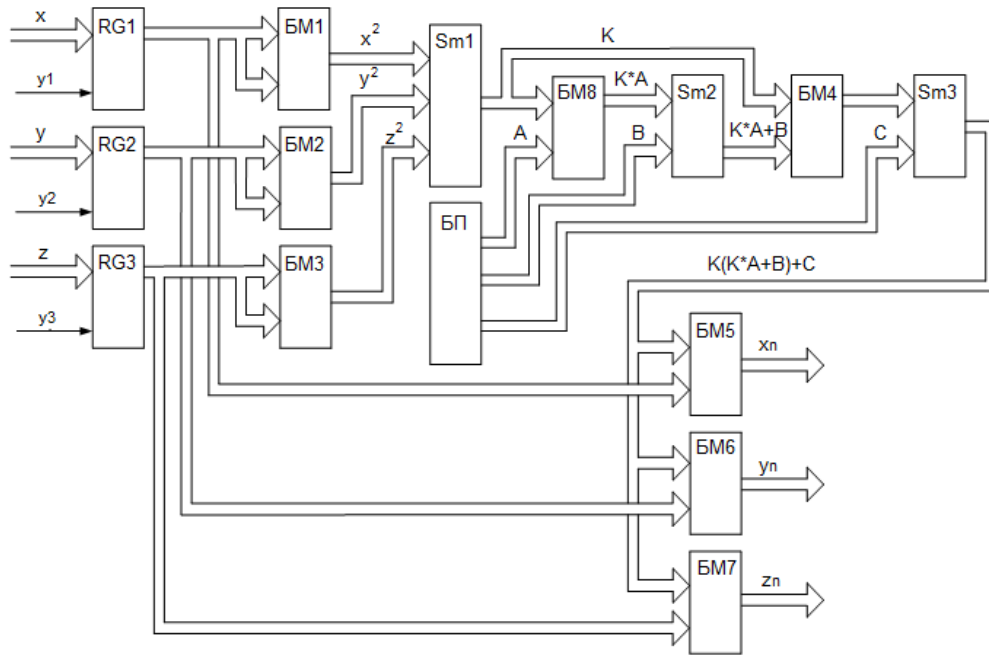


Рис. 3. Структурна схема блоку нормалізації векторів

У регістри  $RG1 \div RG3$  заносяться значення координат  $x, y, z$  ненормалізованого вектора  $\vec{N}$ . На виходах блоків множення  $BM1 \div BM3$  формуються значення  $x^2, y^2$  та  $z^2$  відповідно. На виході суматора  $Sm1$  формується значення  $x^2 + y^2 + z^2$ , тобто формується значення  $K$ . У блоці множення  $BM8$  виконується операція  $K \cdot A$ , а в суматорі  $Sm2$  – операція  $K \cdot A + B$ . Отримане значення перемножується зі значенням  $K$  у блоці множення  $BM4$ . В суматорі  $Sm3$  формується значення  $K(A \cdot K + B) + C$ , яке перемножується з координатами  $x, y, z$  ненормалізованого вектора  $\vec{N}$  у блоках множення  $BM5 \div BM7$  відповідно. Таким чином, на виходах блоків множення  $BM5 \div BM7$  формуються нормалізовані значення координат  $x_n, y_n, z_n$ .

Особливістю запропонованого пристрою є відсутність блоків ділення та визначення квадратного кореня, апаратна реалізація яких вимагає суттєвих витрат обладнання.

Розглянемо принцип дії запропонованого блоку визначення підкореневого виразу (рис. 4).

Блок визначення підкореневого виразу (рис. 4) містить регістри  $RG1 \div RG4$  і комбінаційні суматори  $KSm1 \div KSm3$ .

Розраховані на підготовчому етапі значення  $K_0, 2a$ , доповняльний код  $-b$  та  $2b$  записуються у регістри  $RG1 \div RG4$  відповідно. У комбінаційному суматорі  $KSm1$  виконується операція  $K_0 + 2a$ . До отриманого значення додається значення  $b_1$  у комбінаційному суматорі  $KSm3$ . Так

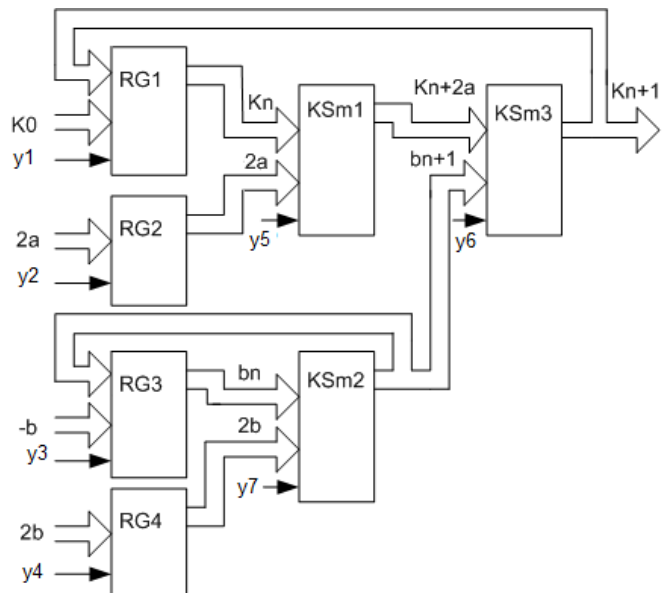


Рис. 4. Структурна схема блоку визначення підкореневого виразу

формується значення підкореневого виразу для другої точки рядка rasterизації. При цьому значення  $b_1$  формується у комбінаційному суматорі  $KSm2$  шляхом віднімання доповняльного коду значення  $-b$  від значення  $2b$ , на вхід переносу комбінаційного суматора  $KSm2$  подано рівень логічної одиниці.

Значення підкореневого виразу для наступних точок рядка rasterизації розраховуються аналогічним чином за відмінністю, що на вхід переносу комбінаційного суматора  $KSm2$  подається рівень

логічного нуля, що забезпечує виконання операції  $2b + b_n$ . Вище зазначені дії виконуються до тих пір, поки не буде досягнута остання точка рядка rasterизації.

Особливістю запропонованого блоку визначення підкореневого виразу є відсутність блоків множення.

### Висновки

У статті запропоновано апроксимаційну формулу, згідно з якою нормалізація векторів виконується без трудомістких операцій ділення та визначення квадратного кореня. Формула забезпечує високу точність нормалізації – максимальна відносна похибка не перевищує 0,36 %, що є прийнятною для задач високої реалістичної графіки. Запропоновано формулу для визначення підкореневого виразу, яка не містить операцій множення.

Запропоновано апаратні реалізації отриманих формул.

### Література

1. Херн Д. Компьютерная графика и стандарт OpenGL / Д. Херн, М. Бейкер. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2005. – 1168 с.
2. Ламот А. Программирование трехмерных игр для Windows. Советы профессионала по трехмерной графике и rasterизации / А.Ламот. – М.: ИД «Вильямс», 2004. – 1424 с.
3. Романюк О. Н. Високопродуктивні методи та засоби зафарбовування тривимірних графічних об'єктів. Монографія. / О. Н. Романюк, А. В. Чорний. – Вінниця: УНІВЕСУМ-Вінниця, 2006. – 190 с.
4. Романюк О.В. Аналіз методів нормалізації векторів нормалей для задач формування тривимірних зображень [Електронний ресурс] / Романюк О.В., Войтко В.В. // Наукові праці ВНТУ. – 2009. – № 1. – Режим доступу до журн.: [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2009-1/2009-1\\_ru.files/ru/09vvtidi\\_ru.pdf](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2009-1/2009-1_ru.files/ru/09vvtidi_ru.pdf).
5. Barrera T. Fast Near Phong-Quality Software / T. Barrera, A. Hast, E. Bengtsson // Shading SCCG'06 full paper, 2006, pp 44-50.
6. Lyon R.F. Phong Shading Reformulation for Hardware Renderer Simplification / R.F. Lyon // Apple Technical Report № 43. – 1993.
7. Hast A. Improved Algorithms for Fast Shading and Lighting / A. Hast // Acta Universitatis Upsaliensis. Uppsala, 2004. – 116 p.
8. Романюк О.В. Один із підходів до спрощення процедури визначення векторів нормалей / О.В. Романюк, В.В. Войтко, О.П. Гончарук // Вестник Херсонського національного технічного університету. – Херсон: ХНТУ, 2010. – Вып. № 3 (39). – С. 404-408.

Надійшла до редакції  
3.10.2010 р.

УДК 004.89+336.713

**Т.О. САВЧУК, С.І. ПЕТРИШИН**

Вінницький національний технічний університет

## ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ПРИ АНАЛІЗІ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

*У роботі визначено проблеми вибору параметрів надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті та запропоновано множину параметрів таких ситуацій, що буде використана при їх кластеризації. Наведено основні способи нормування значень параметрів та характеристик, що може бути застосовано при кластеризації надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті.*

*In the paper the problem of choosing the parameters of the emergencies on the railway and the proposed set of parameters such situations will be used in their clustering. The basic methods of validation parameters and characteristics that can be applied to the clustering of emergencies on the railway.*

Ключові слова: надзвичайна ситуація, залізничний транспорт, кластеризація, Data Mining, вибір параметрів, нормування.

### Вступ

Зменшення наслідків надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті відзначається складністю в організації дій ліквідаційних підрозділів, що зумовлено великою кількістю вантажів, які мають різні пожежо- вибухонебезпечні та хімічні властивості, складністю оцінювання обстановки та іншими проблемами. Тому для ефективного керування такими підрозділами та засобами при надзвичайній ситуації потрібно мати чітко побудовану систему, організувати на науковій основі роботу оперативної групи з ліквідації надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті, а також застосувати найбільш ефективні методи роботи, з використанням сучасних інформаційних технологій [1].

Ефективне вирішення задач оперативного збору інформації про надзвичайну ситуацію на