УДК 681.31

Романюк О.Н., Кожуховський В.О.

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ФОНГА ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РЕАЛІСТИЧНОСТІ ЗАФАРБОВУВАННЯ ТРИВИМІРНИХ ФІГУР ЗА МЕТОДОМ ГУРО

Вступ

Одним із пріоритетних напрямків розвитку комп'ютерної графіки є формування тривимірних зображень у реальному часі. При цьому виділяють два основних етапи: етап геометричних перетворень, на якому здійснюються математичні перетворення над об'єктами, та етап рендерингу, на якому формуються елементи зображення. Однією з основних та найбільш трудомістких стадій рендерингу є стадія зафарбовування. На даній стадії для кожного піксела зображення визначаються екранні координати та відповідні інтенсивності кольору. Саме врахування великої кількості факторів при визначенні інтенсивності кольору, таких як інтенсивність джерела світла, кривизна поверхні, її спекулярні та дифузні властивості і т.д., роблять стадію зафарбовування найбільш трудомісткою серед усіх інших стадій рендерингу. Вказане обумовлює потребу в розробці нових методів та засобів для підвищення продуктивності зафарбовування тривимірних зображень.

Аналіз існуючих підходів та постановка задачі

На даний час при зафарбовуванні тривимірних графічних об'єктів у переважній більшості випадків використовують метод Гуро [1] та Фонга [2].

Для зафарбовування поверхні згідно з методом Гуро її представляють у виді полігональної мережі.. Процес зафарбовування здійснюється в чотири етапи:

1) розраховують нормалі до кожної грані;
2) розраховують нормалі в вершинах багатокутника шляхом усереднення нормалей усіх граней, яким належить вершина;
3) у вершинах багатокутника за значеннями нормалей розраховуються значення інтенсивностей кольору;
4) область, обмежена багатокутником, зафарбовується шляхом лінійної інтерполяції інтенсивностей кольору вздовж ребер, а потім і між ребрами вздовж кожного рядка растеризації. Інтерполяція інтенсивностей кольору вздовж ребер здійснюється за значеннями інтенсивностей кольору у вершинах багатокутника, а вздовж рядка растеризації – за відповідними значеннями інтенсивностей кольору тих точок ребер, які є граничними для даного рядка растеризації.

До найбільш суттєвих недоліків методу Гуро можна віднести:

1. Метод найбільш придатний тільки для формування матових поверхонь та таких, які погано відбивають світло, тому, що кодова інтерполяція інтенсивностей кольору не враховує локальної кривизни поверхні, оскільки дифузна та дзеркальна складові інтенсивності кольору мають нелінійну залежність від координат пікселів, а в методі Гуро використовується виключно лінійне інтерполювання.

2. Поява артефактів при формуванні динамічних зображень.

При формуванні динамічних зображень об'єкти трансформуються, що обумовлює зміну структури та положення вузлів тріангуляційної мережі. Це призводить до різкої зміни інтенсивності кольору зображення від кадру до кадру, оскільки в методі Гуро не враховується локальна кривизна поверхні.

3. Поява ефекту смуг Маха [1,3], оскільки метод Гуро забезпечує неперервність значень інтенсивностей кольору лише вздовж границь полігонів.

На даному етапі розвитку комп'ютерної графіки більш перспективним вважається метод Фонга [2], в якому для кожної точки поверхні визначається вектор нормалі, за значенням якого розраховується інтенсивність кольору.

Дії, які виконуються для розрахунку вектора нормалі в довільній точці поверхні, ідентичні до дій, які виконуються при зафарбовуванні за Гуро, із тією різницею, що:

1) замість інтенсивностей кольору у вершинах багатокутника використовуються вектори нормалей, причому їх інтерполювання здійснюється вздовж трьох ортогональних напрямків;
2) після знаходження векторів нормалей здійснюється їх нормалізація;
3) за значеннями одиничних векторів нормалей у кожній точці полігональної області розраховують інтенсивність кольору. При цьому у функції тонування враховується також оптичні властивості матеріалу поверхні і взаємне розташування джерела світла та спостерігача. Формули для розрахунку інтенсивності визначаються вибраною моделлю освітлення.

Метод Фонга характеризується по відношенню до методу Гуро значно більшими обчислювальними витратами, однак при цьому досягається краща локальна апроксимація кривизни поверхні і, як наслідок, отримують більш реалістичні зображення.

Метод Гуро забезпечує формування тривимірних графічних зображень із більш високою швидкодією, в той час, як графічні зображення, отримані за методом Фонга, значно реалістичніші. У зв'язку з цим доцільна розробка принципу зафарбовування , у якому комбіновано використовується як метод Гуро , так і метод Фонга.

Метою даної статті є розробка нового методу зафарбовування просторових зображень, в основі якого лежить комбіноване використання методів Фонга та Гуро.

Виклад основного матеріалу

Один із можливих підходів до розв'язку поставленої задачі полягає у частковому врахуванні кривизни поверхні у методі Гуро. Для цього за методом Фонга знаходять інтенсивності кольору у деяких точках області, обмеженої трикутником. Отримані значення використовують у подальшому для обчислення інтенсивностей кольору за методом Гуро у проміжних точках. Найбільш доцільно визначати інтенсивність кольору за методом Фонга на мажах рівновіддалених проміжків рядка растеризації. Якщо ці проміжки вибрати рівними степені двійки, то обчислення значно спрощуються, оскільки ділення й множення на операнд, який дорівнює степені двійки, еквівалентні зсуву відповідно в сторону молодших і старших розрядів.

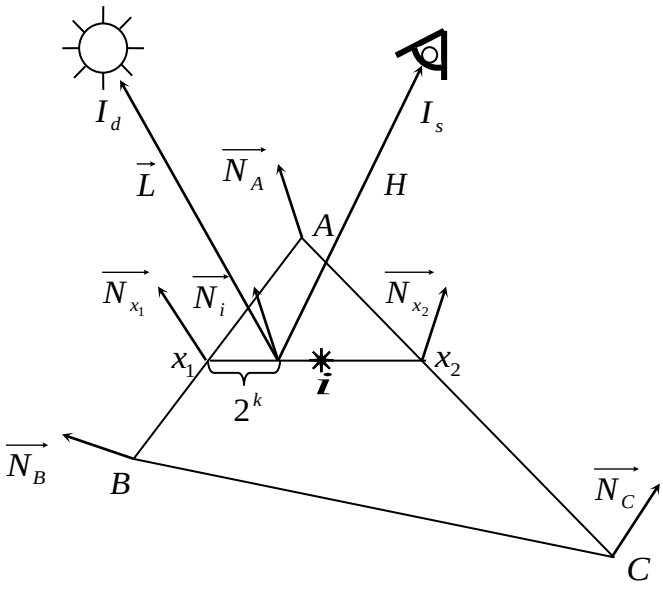

Рис. 1. Визначення параметрів для зафарбовування за Фонгом

Процес зафарбовування здійснюється наступним чином:

1) розраховують нормалі до кожної грані;
2) розраховують нормалі в вершинах багатокутника як середнє значення нормалей

усіх граней, яким належить вершина ;

3) уздовж ребер багатокутника для кожної точки визначається вектор нормалі;
4) рядки растеризації розбиваються на цифрові сегменти, розмір яких кратний степені двійки, тобто $l = 2^k$, де $k = 2,4,8,16$;

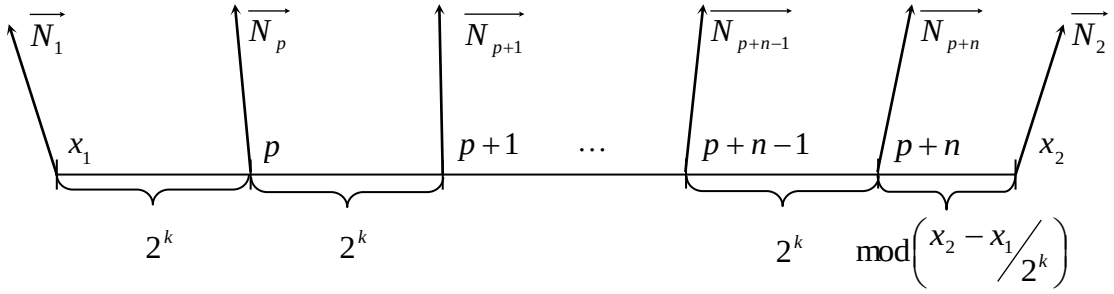

Рис. 2. Поділ рядка растеризації на цифрові сегменти

5) для початкової та кінцевої точок цифрового сегмента визначаються вектори нормалей, за значеннями яких розраховуються інтенсивності кольору в цих точках. Цим частково задається кривизна поверхні, обмежена багатокутником;
6) значення інтенсивностей кольору в кінцевих точках цифрового сегмента використовуються в подальшому для визначення всіх інших точок сегмента за методом Гуро шляхом лінійної інтерполяції.

Якщо $\overrightarrow{N_1}\left(x_{N_1}; y_{N_1}; z_{N_1}\right)$ та $\overrightarrow{N_2}\left(x_{N_2}; y_{N_2}; z_{N_2}\right)$ – вектори нормалей в кінцевій та початковій точках відрізку, то вектор нормалі у довільній точці i дорівнює (рис. 1):

$$\overrightarrow{N_i} = \begin{Bmatrix} x_{N_i} \\ y_{N_i} \\ z_{N_i} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} x_{N_1} + \dfrac{i - x_1}{x_2 - x_1}\left(x_{N_2} - x_{N_1}\right) \\ y_{N_1} + \dfrac{i - x_1}{x_2 - x_1}\left(y_{N_2} - y_{N_1}\right) \\ z_{N_1} + \dfrac{i - x_1}{x_2 - x_1}\left(z_{N_2} - z_{N_1}\right) \end{Bmatrix} \Rightarrow \overrightarrow{N_1} + \frac{i - x_1}{x_2 - x_1}\left(\overrightarrow{N_2} - \overrightarrow{N_1}\right) = \frac{\overrightarrow{N_1}\left(x_2 - i\right) + \overrightarrow{N_2}\left(i - x_1\right)}{x_2 - x_1}$$

Для виконання нормалізації знайдемо довжину вектора $\overrightarrow{N_i}$:

$$\left\|N_i\right\| = \sqrt{\frac{\left(\overrightarrow{N_1}\right)^2\left(x_2 - i\right)^2 + \left(\overrightarrow{N_2}\right)^2\left(i - x_1\right)^2 + 2\overrightarrow{N_1} \times \overrightarrow{N_2}\left(x_2 - i\right)\left(i - x_1\right)}{\left(x_2 - x_1\right)^2}}$$

Оскільки $\left(\overrightarrow{N}\right)^2 = 1$, то $\left\|N_i\right\| = \dfrac{\sqrt{\left(x_2 - i\right)^2 + \left(i - x_1\right)^2 + 2\overrightarrow{N_1} \times \overrightarrow{N_2}\left(x_2 - i\right)\left(i - x_1\right)}}{x_2 - x_1}$.

Враховуючи останній вираз, отримаємо нормалізований вектор $\overrightarrow{N_i}$ у довільній точці i:

$$\overrightarrow{\mathrm{N_i}} = \frac{\vec{\mathrm{N}}}{\left|\vec{\mathrm{N}}\right|} = \frac{\overrightarrow{\mathrm{N_1}}\left(\mathrm{x_2} - \mathrm{i}\right) + \overrightarrow{\mathrm{N_2}}\left(\mathrm{i} - \mathrm{x_1}\right)}{\sqrt{\left(\mathrm{x_2} - \mathrm{i}\right)^2 + \left(\mathrm{i} - \mathrm{x_1}\right)^2 + 2\overrightarrow{\mathrm{N_1}} \times \overrightarrow{\mathrm{N_2}}\left(\mathrm{x_2} - \mathrm{i}\right)\left(\mathrm{i} - \mathrm{x_1}\right)}}.$$

Якщо рядок растеризації має довжину $(\mathrm{x_2} - \mathrm{x_1})$, то приріст вектора нормалі можна знайти згідно виразу $\Delta\vec{\mathrm{N}} = \dfrac{\overrightarrow{\mathrm{N_2}} - \overrightarrow{\mathrm{N_1}}}{\mathrm{x_2} - \mathrm{x_1}}$. Для цифрових сегментів довжиною 2^k цей

приріст дорівнює $\Delta\vec{N}\cdot 2^k = \left(\overrightarrow{N_2} - \overrightarrow{N_1}\right)\frac{2^k}{x_2 - x_1}$. Шляхом кодової лінійної інтерполяції легко знайти вектори нормалей у граничних точках цифрових сегментів. Так, наприклад , $\overrightarrow{N_{p+n-1}} = \vec{N}_1 + \Delta\vec{N}\cdot 2^k(n-2)$. Очевидно, що множення у другому доданку можна замінити на нагромаджувальне додавання.

Маючи вектор нормалі у довільній точці i, можна знайти інтенсивність кольору у даній точці: $I_i = I_{amb} + I_d + I_s$, де I_{amb} - фонова складова, I_d - дифузна складова, яка залежить від розташування джерела освітлення, I_s - дзеркальна складова, яка залежить від розташування спостерігача. $I_d = k_d I_l\left(\vec{N}\times\vec{L}\right)$, $I_s = k_s I_l\left(\vec{N}\times\vec{H}\right)^n$, де k_d, k_s - відповідно коефіцієнт дифузного та дзеркального відбиття світла .

Якщо рядок растеризації має довжину $(x_2 - x_1)$, то приріст вектора нормалі можна знайти згідно виразу : $\Delta\vec{N} = \frac{\overrightarrow{N_2} - \overrightarrow{N_1}}{x_2 - x_1}$. Для цифрових сегментів довжиною 2^k цей приріст дорівнює $\Delta\vec{N}\cdot 2^k = \left(\overrightarrow{N_2} - \overrightarrow{N_1}\right)\frac{2^k}{x_2 - x_1}$. Шляхом кодової лінійної інтерполяції легко знайти вектори нормалей у граничних точках цифрових сегментів. Так, наприклад , $\overrightarrow{N_{p+n-1}} = \vec{N}_1 + \Delta\vec{N}\cdot 2^k(n-2)$. Очевидно, що множення у другому доданку можна замінити на нагромаджувальне додавання.

Якщо I_1 та I_2 – інтенсивності кольору в кінцевій та початковій точках цифрового сегмента, розмір якого кратний степені двійки, тобто $l = 2^k$, де $k = 2,4,8,16$, то інтенсивність кольору у довільній точці v цього сегменту за методом Гуро дорівнює

$$I_v = I_1 + \frac{I_2 - I_1}{2^k}(v - x_1).$$

Останній цифровий сегмент має розмір, який дорівнює 2^k , або менший за вказане значення. Оскільки вектор нормалі N_2 визначається шляхом лінійного інтерполювання векторів N_A і N_C, а вектор нормалі в кінцевій точці останнього цифрового сегменту довжиною 2^k легко знайти шляхом нагромаджувального додавання, то і для останнього цифрового сегменту довжиною $\mathrm{mod}((x_2 - x_1)/2^k)$ легко знайти інтенсивності кольору за методом Гуро.

Безпосереднє моделювання розробленого методу показало, що порівняно з класичною реалізацією методу Фонга досягається суттєве підвищення продуктивності зафарбовування (табл. 1). Приклад зафарбовування тестової фігури “Чайник” за методом Фонга і запропонованим методом наведено на рис. 3.

Табл.1. Відношення часу формування тестових фігур за класичним методом Фонга і запропонованим методом для різних довжин цифрових сегментів

n	Сфера				Чайник				Робот			
	2	4	8	16	2	4	8	16	2	4	8	16
50	1,70	2,01	2,32	2,52	1,48	1,60	1,81	1,86	1,28	1,37	1,41	1,49
500	1,74	2,05	2,35	2,59	1,52	1,66	1,88	2,04	1,34	1,43	1,53	1,56
1000	1,76	2,08	2,38	2,64	1,61	1,70	1,91	2,13	1,35	1,41	1,49	1,57

Рис. 1. Метод зафарбовування з комбінова

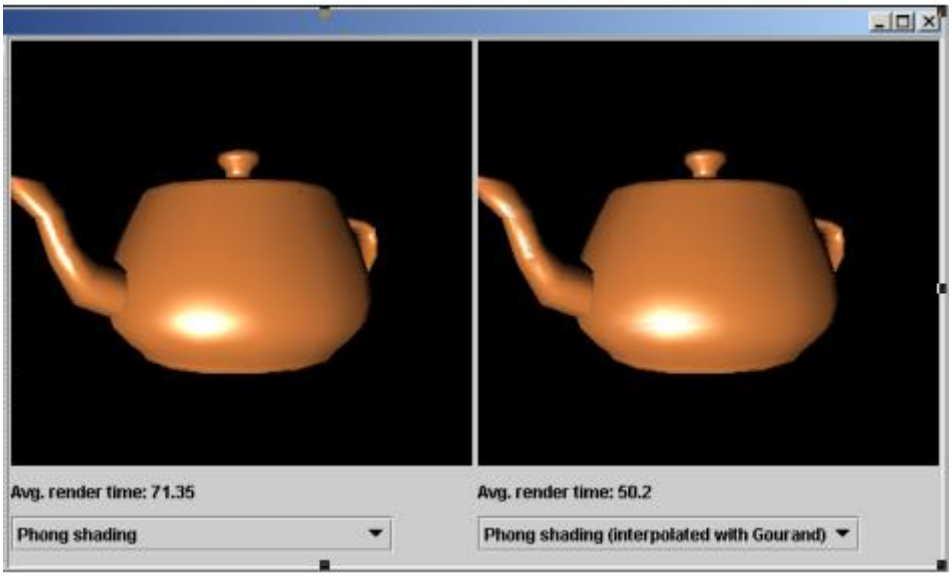

Рис.3. Приклад формування тестової фігури “Чайник” за методом Фонга і запропонованим методом

Висновки

Запропонований підхід передбачає комбіноване використання методів Гуро та Фонга, що дає змогу підвищити реалістичність графічних зображень порівняно з класичною реалізацією методу Гуро, оскільки враховується кривизна поверхні у виділених точках рядків растеризації і вздовж ребер трикутника. Порівняно з класичною реалізацією методу Фонга досягається суттєве підвищення продуктивності зафарбовування за рахунок спрощення обчислювального процесу, оскільки інтенсивність кольору за методом Фонга визначається тільки у виділених точках рядків растеризації.

ЛІТЕРАТУРА

1.Gouraud H. Continuous shading of curved surfaces // IEEE Trans. on Comp. - №6. - June 1971. - pp. 623-628.

2.Phong B.T. Illumination for computer generated images // Comm. of the ACM. - 18(6). - June 1975. - pp. 311-317.

3.Роджерс Д. Алгоритмические основы машинной графики: Пер. с англ. - М.: Мир, 1989. - 512 с.

РОМАНЮК Олександр Никифорович - к.т.н., доцент кафедри програмного забезпечення Вінницького національного технічного університету .

Наукові інтереси:

методи і засоби формування та перетворення графічних зображень.

КОЖУХОВСЬКИЙ Віталій Олександрович – магістрант кафедри програмного забезпечення Вінницького національного технічного університету .

Наукові інтереси:

методи і засоби рендерингу.