

УСУНЕННЯ АРТЕФАКТНОЇ ЗМІНИ ІНТЕНСИВНОСТІ КОЛЬОРУ ПРИ ЗАФАРБОВУВАННІ ТРИВИМІРНИХ ГРАФІЧНИХ ФІГУР ЗА МЕТОДОМ ГУРО

Вступ

Підвищений інтерес до синтезу графічних зображень пояснюється високою інформативністю останніх. Інформація, яка вміщується в зображенні, представлена в найбільш сконцентрованій формі і, як правило, є найбільш доступною для аналізу, оскільки для її сприйняття достатньо мати відносно невеликий об'єм спеціальних знань. Підвищення інформативності комп'ютерної графіки досягають за рахунок формування реалістичних тривимірних зображень, які точно відтворюють конструктивні та візуальні особливості об'єкту.

При синтезі реалістичних зображень на верхніх етапах графічного конвеєра обробляються математичні моделі та їх складові, а на нижньому (рендерингу) – формуються елементи зображення.

Однією з найбільш трудомістких процедур рендерингу є процедура зафарбовування, згідно з якою для кожної точки поверхні визначається інтенсивність кольору та екранні координати. При визначенні інтенсивності кольору точок зображення враховують розташування джерела світла та спостерігача, оптичні властивості матеріалу, спектральні характеристики джерела світла, кривизну поверхні.

На жаль, при формуванні тривимірних графічних фігур мають місце деякі спотворення, які обумовлені недосконалістю методів зафарбовування та їх методичними похибками.

Аналіз існуючих підходів та постановка задачі

Серед методів зафарбовування тривимірних об'єктів найбільшого поширення отримали метод Гуро [1-3] і Фонга [4,5]. У методі Гуро [1-3] розраховуються значення інтенсивностей для полігональних вершин, які потім у процесі растеризації лінійно інтерполюються вздовж ребер і рядків сканування. У методі Фонга [4,5] замість значень інтенсивностей кольору інтерполюються вектори нормалей, які потім використовуються в функції тонування [4] для обчислення інтенсивності кольору кожного елемента зображення. При зафарбовуванні за методом Фонга отримують більш реалістичні зображення, однак він потребує суттєвих обчислювальних витрат, тому практично в усіх графічних акселераторах використовують метод Гуро.

Алгоритмічна та схематична простота методу Гуро спонукає багатьох науковців продовжувати роботи по удосконаленню цього підходу. Особливо актуальними є питання підвищення якості формування тривимірних зображень.

Генерація об'ємних зображень є складною обчислювальною задачею, в зв'язку з чим на практиці виконують її декомпозицію. При аналізі чи синтезу складних поверхонь їх у переважній більшості апроксимують мережею трикутників і надалі оперують з найпростішими полігональними областями

Після тріангуляції поверхні трикутники зафарбовуються незалежно один від одного. Ребра трикутників замінюються кроковою траєкторією у відповідності з вибраним алгоритмом лінійної інтерполяції. При цьому точки траєкторії суміжного ребра трикутника можуть бути розміщені: в межах першого трикутника; в межах другого трикутника; безпосередньо на ребрі.

Належність точок траєкторії суміжного ребра різним трикутникам може привести до порушення монотонності зміни інтенсивності кольору, оскільки прирости інтенсивностей кольору визначаються для різних трикутників за відповідними їм значеннями інтенсивностей кольору вершин. Очевидно, що на монотонність зміни інтенсивності кольору впливають також похибки визначення інтенсивностей кольору точок у рядках растеризації.

Мета статті – розробка методу усунення при зафарбовуванні за методом Гуро артефактної зміни кольору на границі двох ділянок, обмежених полігонами.

Виклад основного матеріалу

Артефактна зміна кольору визначається черговістю зафарбовування трикутників, на які триангульовано графічний об'єкт.

Якщо трикутник ABC (рис.1) зафарбовується першим, а трикутник BCD другим, то у першому трикутнику буде територіально розміщено рядок растеризації BM, який відноситься до другого з трикутників. В результаті між точками M і K може бути

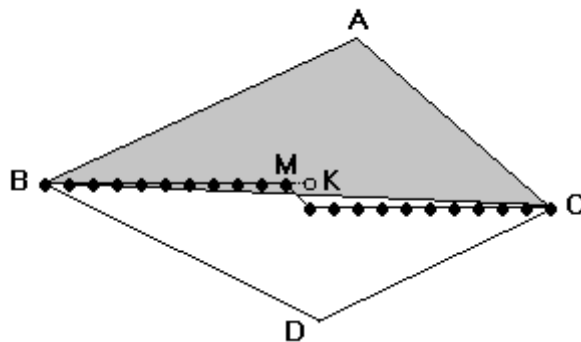


Рис.1. Приклади формування рядків растеризації

порушена монотонність зміни кольору, оскільки прирости інтенсивностей кольору мають різні значення для різних трикутників. Інтенсивності кольору у точках M, K знайдемо за формулами

$$I_M = I_B + BM \cdot \Delta I_{G_{BCD}},$$

$$I_K = I_B + (BM + 1) \cdot \Delta I_{G_{ABC}},$$

де $\Delta I_{G_{ABC}}, \Delta I_{G_{BCD}}$ -прирости

інтенсивностей кольору у горизонтальних рядках растеризації відповідно у трикутниках ABC, BCD. Приріст інтенсивностей

кольору між точками M, K дорівнює

$$\Delta I_{MK} = I_K - I_M = BM(\Delta I_{G_{ABC}} - \Delta I_{G_{BCD}}) + \Delta I_{G_{ABC}}.$$

Похибка артефактної зміни інтенсивності кольору між точками M, K має значення

$$\delta_{MK} = \Delta I_{MK} - \Delta I_{G_{ABC}} = BM(\Delta I_{G_{ABC}} - \Delta I_{G_{BCD}}) + \Delta I_{G_{ABC}}.$$

Доведено, що для трикутника прирости інтенсивності кольору в горизонтальному та вертикальному напрямках при зафарбовуванні за методом Гуро є постійними величинами. Наприклад, для трикутника ABC

$$\Delta I_{G_{ABC}} = \frac{(I_C - I_A) \cdot \Delta y_{BC} - (I_C - I_B) \cdot \Delta y_{AC}}{\Delta x_{AC} \cdot \Delta y_{BC} - \Delta x_{BC} \cdot \Delta y_{AC}}, \Delta I_{B_{ABC}} = \frac{(I_C - I_B) \cdot \Delta x_{AC} - (I_C - I_A) \cdot \Delta x_{BC}}{\Delta x_{AC} \cdot \Delta y_{BC} - \Delta x_{BC} \cdot \Delta y_{AC}},$$

де $\Delta I_{B_{ABC}}$ - приріст інтенсивності кольору у вертикальних рядків растеризації.

У переважній більшості випадків для формування ребер трикутників використовують метод оцінювальної функції [6,7], оскільки він має порівняно з іншими найменшу обчислювальну складність та забезпечує максимальну точність.

Нехай AC – спільне ребро трикутників ABC і ADC, а точка K' – кінцева точка рядка растеризації. При умові, що $\Delta x_{AC} > \Delta y_{AC}$ (рис. 2), відстань K'S можна знайти за формулою

$$K'S = \left(0,5 - \left| \frac{O\Phi_{K'}}{2 \cdot \Delta x} \right| \right).$$

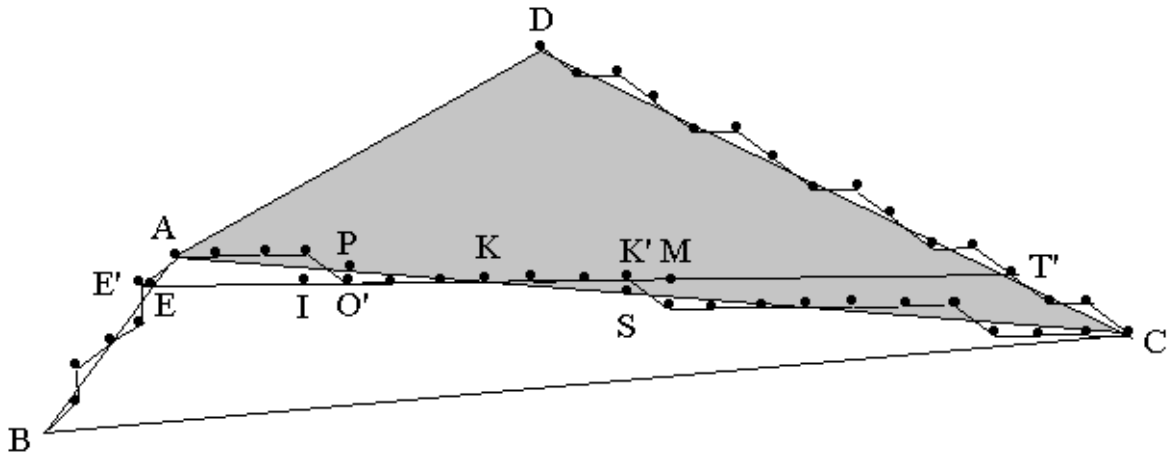


Рис2. Формування крокової траєкторії спільного ребра AC суміжних трикутників при $\Delta x_{AC} > \Delta y_{AC}$

Якщо область, обмежена трикутником ADC, зафарбовується першою, а область, обмежена трикутником ABC, наступною, то модуль різниці інтенсивностей кольору точки K' дорівнює

$$\begin{aligned} \left| \Delta I_{K'S}^{ABC} \right| - \left| \Delta I_{K'S}^{ADC} \right| &= \left| \left(0,5 - \left| \frac{O\Phi_{K'}}{2 \cdot \Delta x} \right| \right) \Delta I_{B_{ABC}} \right| - \left| \left(0,5 - \left| \frac{O\Phi_{K'}}{2 \cdot \Delta x} \right| \right) \Delta I_{B_{ADC}} \right| = \\ &= \left| \left(0,5 - \left| \frac{O\Phi_{K'}}{2 \cdot \Delta x} \right| \right) \left(\left| \Delta I_{B_{ABC}} \right| - \left| \Delta I_{B_{ADC}} \right| \right) \right|, \end{aligned}$$

де $O\Phi_i$ - значення оцінювальної функції, яку розраховують за алгоритмом Брезенхема [6].

Порушення монотонності зміни інтенсивності кольору буде спостерігатися в точці M , яка є наступною за точкою K' . Знайдемо різницю інтенсивностей кольору між точками K' і M , яка буде відрізняться від приросту інтенсивності кольору $\Delta I_{G_{ABC}}$ на величину, яка знаходилась за попередньою формулою

$$\Delta I_{K'M} = \Delta I_{G_{ABC}} \pm \left(0,5 - \left| \frac{O\Phi_{K'}}{2 \cdot \Delta x} \right| \right) \left(\left| \Delta I_{B_{ABC}} \right| - \left| \Delta I_{B_{ADC}} \right| \right).$$

При зафарбовуванні потокового трикутника можна зменшити артефактну зміну кольору на границях двох трикутників за рахунок блокування тієї частини рядка растеризації, яка належить суміжному трикутнику. Як правило, для формування ребер трикутника використовують високоточні алгоритми лінійної інтерполяції, наприклад Брезенхема [6] або Петуха-Обідника [7, 8]. У вказаних алгоритмах за рахунок визначеного початкового значення оцінювальної функції здійснюється центрування діагонального кроку в середині сегментів (рис.3,а), що забезпечує мінімальну похибку інтерполювання. Це в свою чергу приблизно однаково розподіляє точки траєкторії відносно ребра, що є однією з умов артефактної зміни інтенсивності кольору. На рис. 3,б приведено приклад формування крокової траєкторії суміжного ребра двох трикутників з використанням алгоритму, в якому використовуються тільки роздільні кроки в ортогональних напрямках та відсутнє центрування вертикального крокового переміщення. В цьому випадку точки траєкторії розміщені переважно по одну сторону ребра, що дає можливість зменшити артефактну зміну кольору.

Можливо запропонувати наступний алгоритм формування рядків растеризації на межах двох трикутників з використанням алгоритму оцінювальної функції [6]. Якщо оцінювальна функція менша нуля (точка траєкторії лежить нижче ребра), то растеризують нижній трикутник, в протилежному випадку - верхній.

Висновки

Запропонований в статті підхід до усунення артефактної зміни кольору дозволяє

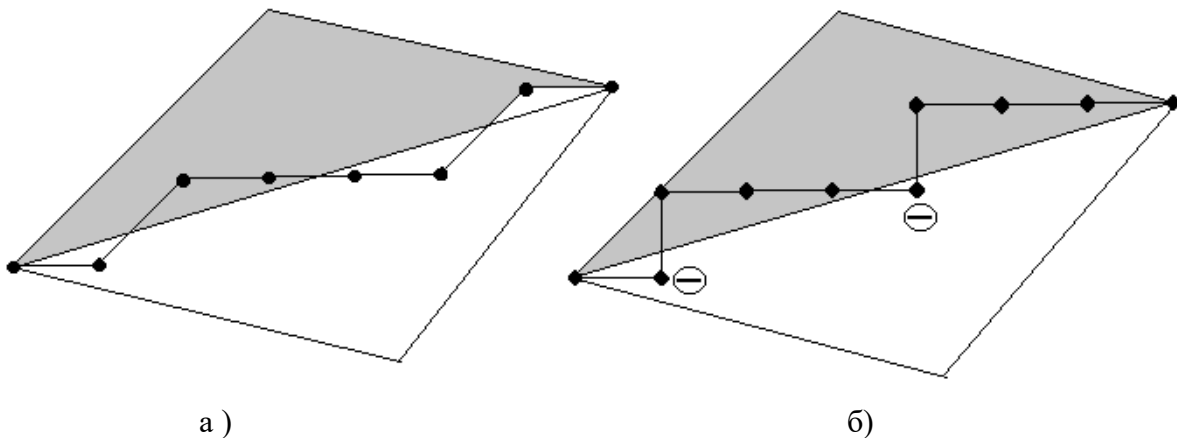


Рис.3. Приклади формування крокової траєкторії спільного ребра двох трикутників

підвищити якість формування графічних зображень за методом Гуро. Оскільки ефект смуг Маха [8] проявляються на межах полігонів, то усунення артефактної зміни кольору за рахунок формування ребер різними рядками растеризації, зменшить між трикутниками різкі переходи, які помітні візуально.

ЛІТЕРАТУРА

1. Gouraud H. Continuous shading of curved surfaces // IEEE Trans. on Comp. - № 6. - June 1971. - pp. 623-628.
2. Романюк О. Н. Один із шляхів спрощення обчислювального процесу при зафарбовуванні тривимірних графічних об'єктів за методом Гуро / О. Н. Романюк // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 2004. — № 2. — С. 72—75.

3. Роджерс Д. Алгоритмические основы машинной графики: Пер. с англ. - М.: Мир, 1989. - 512 с.
4. Романюк О. Н. Новый підхід до реалізації процедури зафарбовування за методом Фонга / О. Н. Романюк, А. В. Чорний // Вісник Херсонського державного технічного університету. — 2003. — Вип. 22. — С. 154—160.
5. Романюк О.Н., Чорний А.В., Рудомін А.Г. Новый підхід до реалізації процедури зафарбовування за методом Фонга // Вісник Херсонського державного технічного університету. - 2003. - Вип. 22. -С. 154-160.
6. Романюк О. Н. Комп'ютерна графіка. Навчальний посібник / О. Н. Романюк — Вінниця: ВДТУ, 2001. — 129 с.
7. Романюк О.Н., Гульчак Ю.П., Чорний А.В. Новый підхід до реалізації лінійного інтерполювання // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. - 1999. - №4. - С. 94-96.
8. 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.

РОМАНЮК Олександр Никифорович- к.т.н., доцент кафедри програмного забезпечення Вінницького національного технічного університету (ВНТУ), заступник директора інституту інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії ВНТУ.

Наукові інтереси:

Методи і засоби формування графічних зображень