

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ПОБУДОВИ СИСТЕМ КІНЦЕВОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ

Романюк Сергій

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто основні вимоги для побудови високо реалістичних систем рендерингу.

Abstract

Considered the basic requirements for building of highly realistic rendering systems.

Продуктивність формування тривимірних зображень визначається як методами й алгоритмами, так і архітектурними рішеннями для їх реалізації. При цьому необхідно враховувати, що реалізм 3D-графіки суттєво залежить від продуктивності графічних систем. При їх високій потужності можна використовувати більш складні моделі освітлення та зафарбовування, які дозволяють формувати об'єкти, зображення яких більш адекватне реальним. Це, насамперед, моделі, які враховують локальну кривизну поверхні з нелінійною зміною інтенсивності кольору. При використанні простих моделей задовільної якості можна досягти за рахунок збільшення щільності триангуляційної мережі. Однак при цьому суттєво зростає обсяг підготовчих операцій, що висуває підвищені вимоги до вершинних процесорів.

Вимоги до реалістичності формування 3D-зображень можуть змінюватися залежно від положення об'єкта відносно спостерігача. Більш висока якість відображення необхідна для поверхонь, які розміщено ближче до спостерігача. Для віддалених об'єктів вимоги до якості менш жорсткі.

При спостереженні динамічних тривимірних зображень користувач у меншій мірі концентрує увагу на деталізованості поверхонь, що дещо зменшує вимоги до реалістичності. Однак на динамічних зображеннях порівняно зі статичними краще проявляється ряд артефактів простих моделей зафарбовування, наприклад, мерехтіння відблисків, що може стати завадою на шляху їх використання. Розподілення зображень за ступенем динамічності на концептуальному рівні дасть можливість адаптивного вибору методів зафарбовування.

Необхідно розмежовувати пріоритети за продуктивністю залежно від галузі застосування. Якщо для відеокарт бюджетного та масового цінового діапазону можна використовувати системи рендерингу меншої потужності, то для відеокарт вищого цінового діапазону необхідна висока продуктивність, яка забезпечує високу якість зображень при комфортному сприйнятті динаміки руху.

Важливе значення для систем формування тривимірних зображень має збалансованість продуктивностей підсистем верхнього та нижнього рівнів. Оптимальним є варіант, коли за час формування каркасної моделі на верхньому рівні підсистема рендерингу формує зображення об'єкта на нижньому рівні. З економічної точки зору затрати на підвищення швидкодії системи кінцевої візуалізації повинні бути меншими за прибуток від досягнутого ефекту [1].

Час формування графічних сцен визначається роздільною здатністю координатного простору, в якому формується графічне зображення. Роздільна здатність екранів еволюційно зростає, однак перевищення роздільної здатності 4000×4000 при використанні 17" монітора недоцільно [2], оскільки людський зір при цьому вже сприймає зображення як монолітне та нескінченно деталізоване. На жаль, для досягнення такої роздільної здатності для масового застосування необхідний тривалий час. Уважається, що екраном майбутнього буде плоска панель розміром від 17 до 20.24 дюймів з роздільною здатністю близько 3.4 тисяч точок по горизонталі і граничною фізичною частотою оновлення інформації близько

100 кадрів в секунду [3]. Зазначені параметри можуть бути використані для визначення граничного часу формування точки зображення, що дорівнює 625×10^{-12} с.

Оцінимо рівень продуктивності, який необхідний для підтримки реалістичної графіки в сучасних комп'ютерних іграх. Розрахунок (див. табл. В.8) показав, що для зафарбовування ділянки поверхні, обмеженої середнім трикутником, необхідно виконати 9708 операцій з плаваючою комою, тобто приблизно 97 операції на точку. При формуванні графічної сцени, яка включає 300 тис. трикутників по 100 пікселів кожний з частотою 60 Гц, тільки для зафарбовування за методом Фонга необхідно виконати 174 GFLOPS. Якщо для усунення аліайзингу використано підвищення дискретизації в 16 разів, то для зафарбовування сцени необхідно 2,8 TFLOPS, що перевищує можливості найпотужніших дискретних відеокарт. Для порівняння, найпотужніша станом на середину 2008 року відеокарта Radeon HD 4870 X2 вартістю 3500 дол. забезпечує 2,4 TFLOPS.

Для тривимірних дисплеїв необхідно формувати два зображення для різних лівого та правого ока, тому вимоги до продуктивності формування 3D-сцен порівняно зі звичайними екранами зростають удвоє.

У сучасних графічних пакетах і відеокартах при формуванні реалістичних зображень використовують моделі зафарбовування [4, 5], які враховують усі три складові кольору, що в переважній більшості випадків є надлишковим. Це пояснюється тим, що відблиски на поверхні об'єкта складають у середньому біля 10% [5, 6] від його загальної площі, а тому використання складних, з обчислювальної точки зору, моделей для всього об'єкта недоцільно, оскільки за зонами відблиску використання простих і складних моделей освітлення дає ідентичний результат. При відсутності відблиску використання моделі освітлення Ламберта є достатнім для точного відтворення кольору. При ідентифікації відблиску або його частини в межах ділянки, обмеженої трикутником, необхідно використовувати моделі освітлення, які враховують спекулярну складову кольору.

Поверхні, обмежені трикутниками, мають різну кривизну, причому частка плоских трикутників і трикутників із незначною відносною зміною позиції векторів нормалей у вершинах достатньо вагома [5]. Для таких трикутників використання методів зафарбовування з розрахунком спекулярної або дифузної складових кольору є надлишковим. У цьому випадку можливо використання методу зафарбовування з лінійним інтерполюванням інтенсивностей кольору або заповнення. Для об'єктів, які розміщено відносно далеко від спостерігача, можна використовувати більш прості моделі освітлення та методи зафарбовування.

У зв'язку із цим доцільна розробка концепції зафарбовування, яка передбачає попередній аналіз трикутників скелетної моделі об'єкта з подальшим адаптивним вибором моделей освітлення та методів зафарбовування.

Підвищення вимог до якості та продуктивності формування тривимірних зображень гостро ставить питання про апаратну реалізацію засобів комп'ютерної графіки. Це передбачає розвиток теорії кінцевої візуалізації, яка на даному етапі орієнтована, в основному, на програмну реалізацію.

Зафарбовування тривимірних зображень передбачає виконання двох базових процедур: а) визначення адрес усіх точок полігона (растеризацію); б) розрахунок і занесення у відеопам'ять значень інтенсивностей кольору точок. Першу процедуру достатньо відпрацьовано в плані апаратної реалізації [7]. Вона передбачає використання лінійних інтерполяторів для визначення адрес точок на ребрах полігона та інтерполяторів, які мають спрощену структуру, для визначення адрес внутрішніх точок ділянки, обмеженої полігоном. Можливо використання функціонально-повних інтерполяторів, що застосовують у різних режимах (формування ребер і рядків rasterизації полігона).

Для підвищення продуктивності контурного формоутворення можливо використання зустрічного характеру формування крокової траєкторії або формування в кожному такті відразу кількох точок траєкторії.

При формуванні зображення контурів об'єктів, включаючи й внутрішні, важливо усунути артефакт – аліайзинг крокової траєкторії. Для спрощення апаратної реалізації антиаліайзингу та підвищення швидкодії доцільно сумістити в одному обчислювальному процесі процедури визначення адрес точок траєкторії та інтенсивностей їх кольору. Це

передбачає розробку такої оцінювальної функції, знак якої визначає тип елементарного крокового переміщення, а її значення – інтенсивність кольору. Таке суміщення дозволить виконати процедуру антиаліазингу в темпі формування крокової траєкторії та спростить апаратну реалізацію за рахунок використання одного й того ж операційного вузла як для контурного формоутворення, так і для антиаліазингу.

Для підвищення реалістичності відтворення тривимірних зображень необхідно встановити відповідність кольорів точок поверхонь у світловій та екранній системах координат. Для цього необхідно виконати умову, що точки, які пропорційно розміщено відносно вершин відрізків у світловій та екранній системах координат повинні мати однакову інтенсивність кольору. В існуючих методах зафарбовування ця вимога на виконується, оскільки при тонуванні використовують тільки координати x і y екранного простору, а z -координату враховують тільки для вилучення невидимих поверхонь [8]. Перспективно-коректне відтворення кольорів дозволяє підвищити реалістичність формування зображень. Оскільки при цьому ускладнюється обчислювальний процес і знижується продуктивність зафарбовування, то доцільно враховувати перспективу об'єкта залежно від співвідношення його z -координат. Для спрощення процедури можна використовувати неортогональний напрямок растеризації, що дозволить вилучити довготривалі операції із циклу зафарбовування. Однак це призведе до появи точок, які не охоплено растеризацією, тому важливо визначити умови появи таких артефактів із метою спрощення етапу пост-оброблення.

Процес зафарбовування можна подати у вигляді конвеєра, який включає: а) розрахунок векторів нормалей у вершинах; б) розрахунок векторів нормалей до точок полігона; в) розрахунок дистрибутивних функцій відбивної здатності поверхні; г) визначення спекулярної складової кольору; д) визначення дифузної складової кольору; е) визначення розсіяної складової кольору; є) визначення інтегральної інтенсивності кольору.

При апаратній реалізації важливо досягти високої реалістичності при використанні простих, з апаратної точки зору, операцій при їх мінімальній кількості та мінімальній розгалуженості обчислювального процесу.

Принциповою вимогою до ДФВЗ є її розрахунок через косинус кута між відповідними векторами нормалей, який легко знайти через скалярний добуток векторів. При визначенні ж дистрибутивної функції через кут між векторами необхідно виконання трудомісткої операції арккосинуса.

Для відтворення рефлексивних властивостей поверхні бажано розробити таку модель, обчислювальна складність якої не залежала б від коефіцієнта спекулярності поверхні. Проста апаратна реалізація ДФВЗ можлива при використанні поліномів низького степеня за умови, що при розрахунку не використовують складні функції та довготривалі операції, які мають місце для відомих підходів. При формуванні відблисків важливо з достатньою точністю відтворити його епіцентр. Для периферійних областей, які характеризують затухання інтенсивності світла до мінімального значення, необхідно забезпечити монотонність зміни інтенсивності кольору, яка виключає появу артефактів [5].

Бажано, щоб дистрибутивна функція була додатною, оскільки в іншому випадку необхідний додатковий аналіз для виконання процедур відсікання. При розробці моделі важливо, щоб зображення відблиску відносно еталонної реалізації не мало візуальних відмінностей. ДФВЗ повинні задовольняти принципи симетричності Гельмгольца та збереження енергії. Принцип симетричності [9] передбачає незмінність значення функції за умови зміни місцями вхідного й вихідного напрямку. Закон збереження енергії стосовно ДФВЗ передбачає, що світлова енергія, яка розсіюється поверхнею, не може бути більшою за енергію, яка потрапила на поверхню.

Нормалізацію векторів відносять до найбільш трудомістких процедур зафарбовування, оскільки вона виконується для векторів, які визначають позицію спостерігача, джерела світла та векторів нормалей до поверхні. Принциповою вимогою при апаратній реалізації є вилучення з обчислювального процесу операцій ділення та розрахунку квадратного кореня або зведення їх до мінімальної кількості при програмно-апаратній реалізації. У найкращому випадку доцільно процес нормалізації, як достатньо трудомісткий, взагалі вилучити із процесу зафарбовування та звести його до розрахунку

векторів, які не треба нормалізувати. Це передбачає перехід від лінійного інтерполювання векторів, яке має місце при класичній реалізації, до нелінійного.

При розробці апаратно-орієнтованих методів зафарбовування необхідно досягти прийнятного компромісу між продуктивністю формування графічної сцени та якістю, яка проявляється в досягненні встановленого ступеня візуальної ідентичності з еталонним зображенням.

На даному етапі розвитку комп'ютерної графіки при зафарбовуванні необхідно враховувати кривизну поверхні та положення як джерела світла, так і спостерігача. Це дозволить зменшити щільність триангуляційної мережі трикутника, прояв смуг Маха та суттєво розвантажити шину передачі даних.

Доцільна розробка принципів комбінування методів зафарбовування з метою підвищення продуктивності формування тривимірних сцен. Це дозволить досягти прийнятного компромісу між продуктивністю формування графічної сцени та її якістю, а також спростити програмно-апаратну реалізацію.

З метою спрощення програмно-апаратної реалізації зафарбовування доцільно відділити процедуру визначення інтенсивностей кольору від циклу підготовки. В цьому випадку під час зафарбовування поточного трикутника можна визначити вихідні параметри для наступного трикутника. Зрозуміло, що ці процедури важливо збалансувати в часі.

Концепція адаптивного зафарбовування передбачає введення в графічний конвеєр нового етапу, який розміщено між вершинними та піксельними шейдерами. Наявність такого етапу дозволить збільшити складність сцен і реалізувати адаптивну деталізацію моделей і оточення без додаткового навантаження на центральний процесор і системний канал передачі даних.

До основних технічних характеристик систем рендерингу відносять продуктивність, апаратні втрати та реалістичність відтворення графічних об'єктів.

Продуктивність дорівнює відношенню об'єму виконаної роботи до часу, за який вона була здійснена [10]. Продуктивність систем кінцевої візуалізації визначає кількість пікселів, які формує система в одиницю часу (pixel fill rate) [11]. Для формування текстур вводять поняття текстурної продуктивності (texel rate), яка визначає швидкість вибірки текстурних даних. У сучасних відеокартах ці параметри залежать від кількості відповідних конвеєрів.

Для оцінювання продуктивності всього графічного конвеєра використовують параметр, який визначає кількість кадрів у секунду (fps) [12], що їх формує графічна система. Зрозуміло, що продуктивність рендерингу в значній мірі визначає значення цього параметра, оскільки рендеринг вважається найбільш трудомістким етапом (по різних оцінках від 60 до 80%).

Для оцінювання продуктивності графічних засобів часто використовують спеціальні тести (бенчмарки) [13]. Як правило, тестування проводять для комп'ютерних ігор. При цьому визначають мінімальну кількість кадрів у секунду (fps) у демо-сценах.

Порівнювати розроблені методи рендерингу доцільно з методом, який забезпечує найбільш точне відтворення графічного зображення для базового напрямку. Візуальну відмінність між двома зображеннями оцінюють за нормованою середньоквадратичною похибкою (NMSE) [14], яка розраховується за формулою

$$NMSE = \frac{\sum_i (R_1(i) - R_2(i))^2 + (G_1(i) - G_2(i))^2 + (B_1(i) - B_2(i))^2}{\sum_i R_1(i)^2 + G_1(i)^2 + B_1(i)^2},$$

де i - кількість пікселів, з яких складається об'єкт; $(R_1(i), G_1(i), B_1(i))$, $(R_2(i), G_2(i), B_2(i))$ - інтенсивності кольору червоної, зеленої та синьої складових кольору i -го пікселя зображень відповідно еталонного та сформованого об'єкта.

У комп'ютерній графіці при тестуванні зображень використовують такі оцінки [19]: якщо значення $NMSE$ не більше за 0,0001, то візуально зображення не відрізняються

один від одного; якщо $NMSE$ знаходиться в діапазоні $[0,0001; 0,00025]$, то два зображення мають незначні відмінності; якщо $NMSE$ знаходиться в діапазоні $[0,00025; 0,001]$, то зображення мають візуально помітні відмінності; якщо $NMSE$ більша за 0,001, то два зображення суттєво відрізняються один від одного.

Для оцінювання складності тривимірних об'єктів вводять поняття геометричної складності, яку оцінюють кількістю складових трикутників, які утворюють скелетну модель.

Апаратну складність графічних засобів доцільно оцінювати еквівалентною кількістю вентилів, необхідних для його реалізації. Це дасть можливість вибрати елементну базу для побудови ВІС.

Для побудови систем кінцевої візуалізації необхідно комплексно враховувати цілий ряд вимог, що забезпечить досягти прийнятного компромісу між продуктивністю та реалістичністю формування графічних зображень.

Список використаних джерел:

1. Романюк О. Н. Економічне обґрунтування оптимального розподілу програмних та апаратних засобів системи зафарбовування об'єктів / О. Н. Романюк, В. О. Кожуховський // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції "Освіта та наука без границь". — Дніпропетровськ. — 2004. — С. 44—47.
2. Lengye E. Mathematics for 3D game programming and computer graphics / Eric Lengye // Charles River Media, Inc. Rockland, MA, USA, 2006. — 570 p.
3. Романюк О. Н. Антиаліазинг контурів графічних об'єктів при використанні для зафарбовування методу Гуро / О. Н. Романюк // Нові технології. — 2006. — № 1 (11). — С. 107—110.
4. Барладян Б. Х. Моделирование освещенности и синтез фотореалистичных изображений с использованием Интернет - технологий / Б. Х. Барладян, А. Г. Волобой, Н. И. Вьюкова, В. А. Галактионов // Программирование. — 2005. — № 5. — С. 66—80.
5. Kautz J. Hardware Lighting and Shading: a Survey / J. Kautz // Computer Graphics. — 2004. — Volume 23, — number 1, — P. 85—112.
6. Romanuyk O. Methods for Specular Color Component Accelerate Calculation / O. Romanuyk, A. Chernij // IEEE Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing systems: Technology and Applications. Sofia. — 2005. — P. 615—619.
7. Романюк А. Н. Алгоритмы триангуляции / А. Н. Романюк, А. Г. Сторчак // Компьютеры + программы. — 2001. — № 1. — С. 35—37.
8. Муфтеев В. Г. Геометрически устойчивое моделирование b-сплайновых кривых и поверхностей произвольной степени / В. Г. Муфтеев, О. Н. Романюк // Współczesne Problemy Informatyki, Seria: monografie i prace naukowe. Legnica: Wydawnictwo Wyższej Szkoły Menedżerskiej. — 2007. — С. 209—233.
9. Лихачева Л. И. Информационные технологии в области трехмерной графики и анимации / Л. И. Лихачева // Вестник компьютерных и информационных технологий. — 2007. — № 9. — С. 45—50.
10. Нечесов И.П. Intel доведет производительность интегрированных ядер до уровня современных игровых консолей [Электронный ресурс] / И.П. Нечесов.— Режим доступа: <http://www.igromania.ru/HardwareNews/5761>
11. Романюк А. Н. Эффективные алгоритмы распараллеливания процедуры рендеринга при формировании реалистических изображений / 11-th International Conference on Computer Graphics GraphiCon '2001: труды конференции, Nizhny Novgorod, September 10 - September 14, 2001. — С. 80—81.
12. Митин В. А. Современные программные методы акселерации мультимедиа / В. А. Митин, Н. А. Левин // Наука и образование. — 2005. — № 4. — С. 1—12.
13. Данилов Ю. А. Многочлены Чебышева / Ю. А. Данилов. — Минск : Высшая школа, 1984. — 160 с.
14. Haerberli P., Akeley K. The accumulation buffer: hardware support for high-quality rendering / P. Haerberli, K. Akeley // ACM SIGGRAPH Computer Graphics. — 1990. — Vol. 24. — No. 4. — P. 309—318.