

**МОДИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ АНІЗОТРОПНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ**

*Проаналізовано сучасні методи текстуровання. Запропоновано для анізотропної фільтрації метод простого визначення координат текселів, що визначають колір екранного пікселя, з урахуванням кута нахилу полігона. Запропоновано метод визначення усередненого значення кольору пікселя з використанням вагових функцій.*

*Ключові слова: текстуровання, анізотропна фільтрація, фільтрація текстур*

O.N. ROMANIUK, O.O. DUDNYK, S.I. VYATKIN  
Vinnytsia National Technical University

**MODIFICATION OF ANISOTROPIC FILTERING**

This article considers the modern methods of texturing. A simple method of determining the coordinates of texels that determine pixel color screen, given the inclination angle ground for anisotropic filtering. The method of calculating the average pixel color values using weighting functions.

*Keywords: texturing, anisotropic filtering, texture filtering*

**Постановка задачі**

При побудові високореалістичних зображень використовують текстури[1], які накладають на графічні об'єкти. Текстуровання дозволяє успішно вирішувати задачі, які надзвичайно трудомістко розв'язати прямими методами [1], дозволяє суттєво зменшити обчислювальні витрати та зробити можливим інтерактивний режим візуалізації [1]. Застосовувані в тривимірній графіці методи накладення текстур, використовуються для візуалізації тривимірних сцен з високим ступенем деталізації. Генерація текстури полягає в проектуванні зображення на тривимірну поверхню. Таким чином забезпечується додаткова деталізація об'єкта без ускладнення його геометрії. Для імітації реалістичних сцен необхідно використовувати велику кількість деталізованих текстур.

Для визначення кольору екранного пікселя використовують усереднення кольору всіх текселів, проекція яких відповідає даному пікселю.

Серед методів фільтрації текстур найбільш поширеними є білінійна та трилінійна фільтрації.

Білінійна фільтрація [3] передбачає розрахунок кольору пікселя на екрані, за допомогою усереднення кольору чотирьох текселів, що задають проекцію цього пікселя з плоского екрану на тривимірну площину.

Трилінійна фільтрація [3] є комбінацією мір-текстуровання та білінійної фільтрації. Фактично виконується білінійна фільтрація на двох мір-рівнях, що в результаті дає 2 текселя по одному для кожного мір-рівня. Колір пікселя, який повинен бути виведений на екран, визначається в результаті інтерполяції за кольорами двох мір-текстур [2].

Ці методи текстуровання дозволяють відносно коректно розраховувати колір тільки для тих пікселів, відповідні текселі яких знаходяться в текстурній площині, яка паралельна екрану. Таке обмеження викликано тим, що вибірка груп з чотирьох текселів при білінійній фільтрації відбувається по строго заданому закону.

Текселі, як правило, апроксимують коло, що і є проекцією екранного пікселя на площину текстури. Чим більше поверхня текстури відхиляється від паралелі екрану, тим більша буде значення похибки при визначенні кольору пікселя. У результаті чого, текстури, розташовані під гострими кутами, сильно розмиваються [2].

Тому сьогодні при текстурованні широко використовується анізотропна фільтрація, яка дозволяє більш точно визначати кольори пікселів, які відповідають елементам текстури, що розташовані не паралельно екрану. Це найбільш якісний і поширений метод текстуровання. На відміну від ізотропних видів фільтрації (білінійна та трилінійна) використовується проекція пікселя на текстурну поверхню [2].

При анізотропній фільтрації проекція пікселя на поверхню текстури розглядається не як коло, а як витягнутий еліпс (рис. 1), що дозволяє точніше визначати кольори пікселів [3].

Для того, щоб коректно обчислити колір пікселя, необхідно врахувати кольори всіх текселів [1], які охоплює еліпс. Це достатньо складна процедура для генерації зображень у реальному часі, тому використовують деякі спрощення. Основна ідея таких спрощень – це наближення еліпса з великим ексцентриситетом декількома еліпсами з меншими

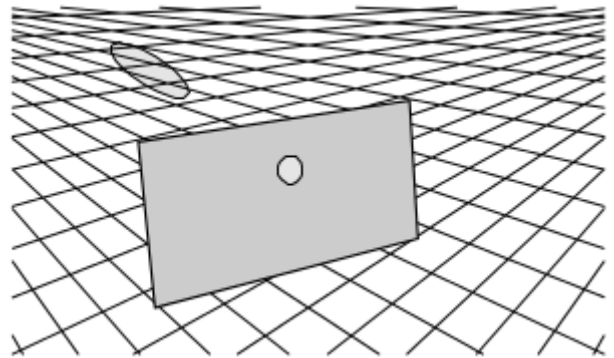
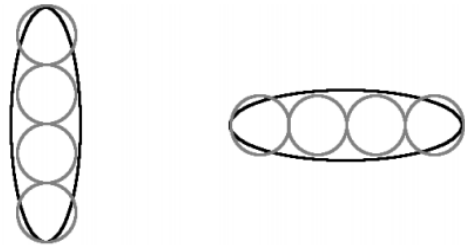
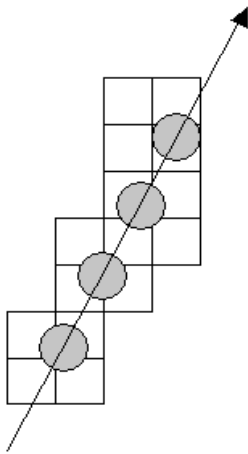


Рис. 1. Проекція пікселя на поверхню текстури

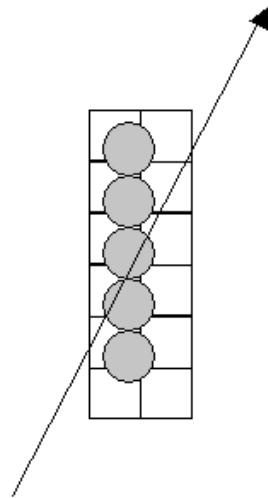
ексцентриситетами. Таким чином, можна подолати обмеження, накладені апаратними засобами та забезпечити фільтрацію найкращим фільтром з високим ступенем анізотропії. Найчастіше еліпс розбивають на менші за площею кола рівного



**Рис. 2.** Розбиття еліпса на кола діаметру (рис. 2). Потім знаходять середні значення кольору для кожного кола [4].



**Рис. 3.** Визначення точок, що належать до проекції пікселя на текстуру



**Рис. 4.** Спрощення при визначенні точок, що належать до проекції пікселя на текстуру

На практиці коло апроксимують квадратом площею чотири в текселі. Таким чином, фактично виконується білінійна фільтрація у кількох точках вздовж вектору нахилу полігону, а отримані значення усереднюються (рис. 3). Кількість таких точок залежить від кута нахилу.

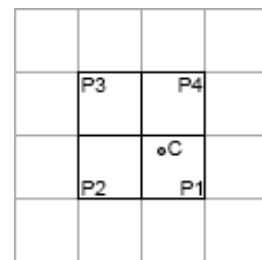
Визначення координат усіх необхідних текселів є ресурсоємною задачею, тому ряд виробників графічних процесорів спрощують її, розглядаючи лише два часткові випадки положення

вектору нахилу: паралельно осі  $OX$  і перпендикулярно їй.

У такому випадку координати центру проекції в координатах текстури визначають за формулою:

$$\begin{cases} cx = x_d \times \frac{w_d}{w_t} \\ cy = y_d \times \frac{h_d}{h_t} \end{cases}, \quad (1)$$

де  $x_d, y_d$  - відносні координати пікселя в екранній площині;  $w_d, h_d$  - ширина та висота, проекції полігону на екранну площину;  $w_t, h_t$  - ширина та висота полігону в текстурній площині. Координати одного із чотирьох пікселів ( $P1$ ), що формують квадрат, визначають шляхом округлення координат отриманої точки ( $C$ ) до більшого цілого (рис. 5). Для визначення координат точок  $P2, P3, P4$  аналізують дробову частину  $i$ . Для пікселя  $P2$   $y$ -координата рівна  $y$ -координаті пікселя  $P1$ , а  $x$ -координата на 1 менша  $x$ -координаті пікселя  $P2$ , якщо дробова частина менша 0.5 або на 1 більша якщо дробова частина більша за 0.5. Аналогічним чином обчислюється  $y$ -координата для  $P4$ . Для  $P3$   $x$ -координата рівна  $x$ -координаті пікселя  $P2$ , а  $y$ -координата –  $y$ -координаті пікселя  $P4$ .



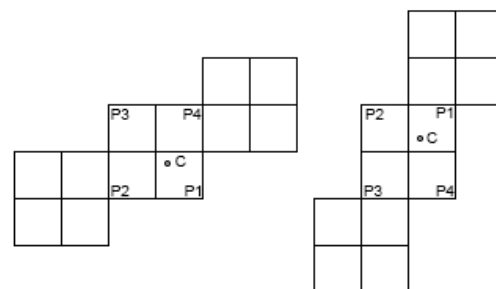
**Рис. 5.** Координати центру проекції

Координати пікселів, що утворюють інші квадрати, які входять до проекції, знаходять шляхом зміщення  $P1, P2, P3, P4$  на 2 пікселя вгору і в низ, якщо полігон має більший нахил відносно  $OX$  ніж відносно  $OY$  (кут вектора нахилу у текстурній площині близький до  $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$  або  $270^\circ$ ) або на 2 пікселя вправо та вліво, якщо нахил відносно  $OY$  більший нахилу відносно  $OX$  (кут вектора нахилу у текстурній площині близький до  $0^\circ$  або  $180^\circ$ ).

Такий підхід забезпечує високу продуктивність, проте він не враховує ситуацію, коли полігон значно відхилено як від осі  $OX$  так і від  $OY$ , що зумовлює появу артефактів. Тому даний метод можна покращити шляхом обрахунку координат пікселів для кутів, близьких до  $45^\circ, 135^\circ, 225^\circ$ , або  $315^\circ$ .

Очевидно, що для таких кутів координати текселів, що утворюють додаткові квадрати повинні визначатись шляхом зміщення  $P1, P2, P3, P4$  як по осі  $OX$ , так і по осі  $OY$ . Проте слід урахувати, що центр проекції ( $C$ ) у більшості випадків зміщено відносно центру квадрата, утвореного  $P1, P2, P3, P4$ , а тому для коректності обрахунків необхідно врахувати це відхилення.

Таким чином, необхідно врахувати дробову частину  $i$ . Якщо вона більша за 0.5, то зсув потрібно



**Рис. 6.** Текселі що належать до проекції пікселя на текстуру для кута нахилу  $45^\circ$

виконувати на 2 пікселя по осі  $OY$  і на 1 по осі  $OX$ , а якщо менша, то навпаки (рис. 6).

З метою підвищення реалістичності відтворення тривимірних сцен при використанні анізотропної фільтрації важливо врахувати те, що інтенсивність кольору всередині пікселя зменшується нелінійно від його центра до периферійних зон. Тому підвищити реалістичність формування вихідного зображення описаним методом можна шляхом використання вагових функцій при обрахунку усередненого значення кольору пікселя відповідно до Гаусівської моделі (рис. 7).

Таким чином, усереднене значення кольору в кожному квадраті слід обраховувати за формулою:

$$P = \frac{P_1 B_1 + P_2 B_2 + P_3 B_3 + P_4 B_4}{4}, \quad (2)$$

де  $P_1, P_2, P_3, P_4$  – кольори точок на текстурній площині,  $B_1, B_2, B_3, B_4$  – ваги відповідних точок. Ваги точок визначаються відповідно Гаусівської моделі пікселя. Тому для всіх точок квадрату, що лежить у центрі проекції ваги рівні 0.25. Для інших квадратів точка, що, лежить ближче до центру проекції матиме вагу 0.3, протилежна їй по діагоналі – 0.2, а інші по 0.25. Для випадків, коли кут вектора нахилу у текстурній площині близький до  $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$  або  $270^\circ$ , ваги двох точок, що лежать ближче до центру проекції рівні 0.3, а двох інших по 0.2 (рис. 8).

Отримані значення для всіх квадратів слід усереднити за формулою:

$$P = \frac{P_1 B_1 + P_2 B_2 + \dots + P_N B_N}{N}, \quad (3)$$

де  $P_1, P_2, \dots, P_N$  – усереднені значення кольорів для кожного квадрату,  $B_1, B_2, \dots, B_N$  – ваги відповідних квадратів,  $N$  – кількість квадратів. Ваги квадратів необхідно обирати таки чином, щоб сумарна вага була рівною 1, вага квадрату у центрі проекції була найбільшою, а ваги інших квадратів зменшувались по мірі віддалення від центру проекції. На приклад, для трьох квадратів можна обрати ваги 0.3, 0.4, 0.3 (рис. 9).

### Висновки

Анізотропна фільтрація дозволяє досягти більш високої реалістичності формування графічних сцен. Запропоновано метод простого визначення координат текселів, що визначають колір екранного пікселя, з урахуванням кута нахилу полігона.

### Література

1. 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.
2. Гусятин В. М. Метод анізотропної фільтрації текстур при синтезі зображень обратним трассированием / В. М. Гусятин, Я. В. Чаговец, Д.Г. Кожушко // Информатика, кибернетика и вычислительная техника (ИКВТ-2009). Выпуск 10 (153). – Донецк: ДонНТУ. – 2009. – С. 64-69.
3. Романюк О. Н. Спрощення процедури накладання текстур на тривимірні графічні об'єкти / О. Н. Романюк // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 2006. — № 2. — С. 114—118.
4. Olano M. Vertex-based Anisotropic Texturing Proceedings of Graphics Hardware 2001: the 16th ACM/Eurographics Symposium on Graphics Hardware (Los Angeles, CA, August 12-13, 2001) / Marc Olano, Shrijeet Mukherjee, Angus Dorbie, . — С 95–98.

### References

1. Romanyuk O. N. Vy`sokoproduktyvni metody` ta zasoby` zafarbovuvannya try`vy`mirny`x grafichny`x ob`yektiv. Monografiya. / O. N. Romanyuk, A. V. Chorny`j. - Vinny`cya : UNIVESUM-Vinny`cya, 2006.—190 s.
2. Gusyaty`n V. M. Metod any`zotropnoj fy`l`tracy`y` tekstur pry` sy`nteze y`zobrazheny`j obratnym trassy`rovany`em / V. M. Gusyaty`n, Ya. V. Chagovecz, D.G. Kozhushko // Y`nformaty`ka, ky`bernety`ka y` vychy`sly`tel`naya texny`ka (Y`KVТ-2009). Выпуск 10 (153). – Doneczk: DonNTU. – 2009. – С. 64-69.
3. Romanyuk O. N. Sproshhennya procedury` nakladannya tekstur na try`vy`mirni grafichni ob`yektiv` / O. N. Romanyuk // Vy`miryuval`na ta obchy`slyuval`na texnika v tehnologichny`x procesax. — 2006. — # 2. — S. 114—118.
4. Olano M. Vertex-based Anisotropic Texturing Proceedings of Graphics Hardware 2001: the 16th ACM/Eurographics Symposium on Graphics Hardware (Los Angeles, CA, August 12-13, 2001) / Marc Olano, Shrijeet Mukherjee, Angus Dorbie, . — S 95–98.

Рецензія/Peer review : 27.9.2015 р.

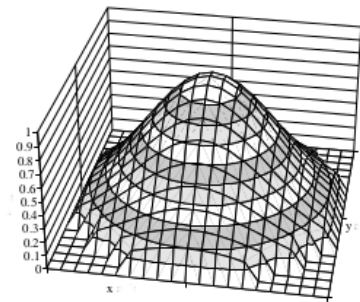


Рис. 7. Гаусівська модель пікселя

		0.25	0.2		0.2	0.2
			0.3	0.25		0.3
					0.25	0.25
			0.25	0.25		0.25
					0.25	0.25
		0.25	0.3			0.3
		0.2	0.25			0.2

Рис. 8. Значення ваг точок

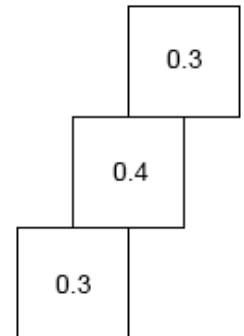


Рис. 9. Ваги квадратів