

К.т.н., доцент Соколова Н. А., магістрант Нероденко Ю. В.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

## МЕТОДИ ЗГЛАДЖУВАННЯ В ТРИВИМІРНІЙ ГРАФІЦІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

### Abstract

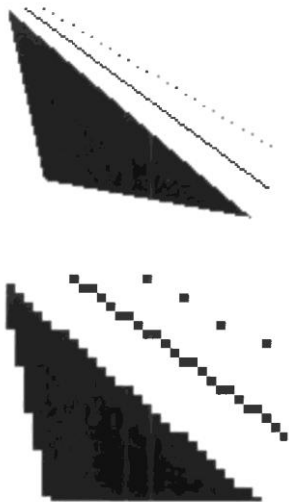
*Nadia A. Sokolova, assoc. prof., PhD; Yulia Nerodenko, student  
Anti-Aliasing Methods in Real-Time Three-Dimensional Graphics*

*This paper concerns the task of anti-aliasing in real-time three-dimensional graphics. Types of filters used in three-dimensional graphics, and segments full-screen anti-aliasing algorithms based on filtering for visualization in real time is investigated. Evaluation criteria are defined, algorithms are analyzed. The ways for further research are proposed as well.*

### Вступ

Під згладжуванням (рос. устранение «лестничного эффекта», англ. *anti-aliasing*) [1] будемо розуміти технологію, яка використовується в обробці зображень з метою зробити границі кривих ліній більш гладкими, прибрати «зубці», що виникають при візуалізації.

«Зубці» виникають на границях об'єктів (рис. 1) та при візуалізації текстур. Також з цим пов'язана некоректна візуалізація малих за розміром або тонких об'єктів. Причиною виникнення «зубців» є те, що відрізки, ребра багатокутників тощо мають неперервну природу, тоді як растрові пристрої дискретні [1].



Таким чином, окремо треба розглядати алгоритми згладжування текстур. Алгоритми для усунення «зубців» на границях об'єктів діляться на повноекранні (англ. *full-scene anti-aliasing*, *screen-based anti-aliasing*) та ті, що працюють для окремих об'єктів (англ. *object-based anti-aliasing*) [2].

Для усунення «зубців» на границях об'єктів в тривимірній графіці використовується фільтрація зображення.

Рис.1 – Механізм виникнення «зубців»

## Постановка задачі

Метою даної статті є дослідження існуючих методів повноекранного згладжування відрізків на основі фільтрації та їх застосування в тривимірній графіці в реальному часі.

## Фільтри, що застосовуються в тривимірній графіці

В тривимірній графіці для згладжування зображень застосовують різноманітні наближення до ідеального фільтра нижніх частот (англ. *ideal low-pass filter*) або *sinc*-фільтра. У порядку зростання якості згладжування та обчислювальних ресурсів і, відповідно, зниження швидкості обчислень, це прямокутний фільтр, трикутний фільтр, кубічний фільтр, *sinc*-фільтр з прямокутним вікном, з вікнами Хеммінга, Блекмена, Ланцоша [3, 4, 5].

На рис. 2 наведено вигляд функцій цих фільтрів.

Найчастіше через свою швидкість та простоту реалізації для згладжування в реальному часі застосовуються прямокутний та трикутний фільтри [3, 6, 7].

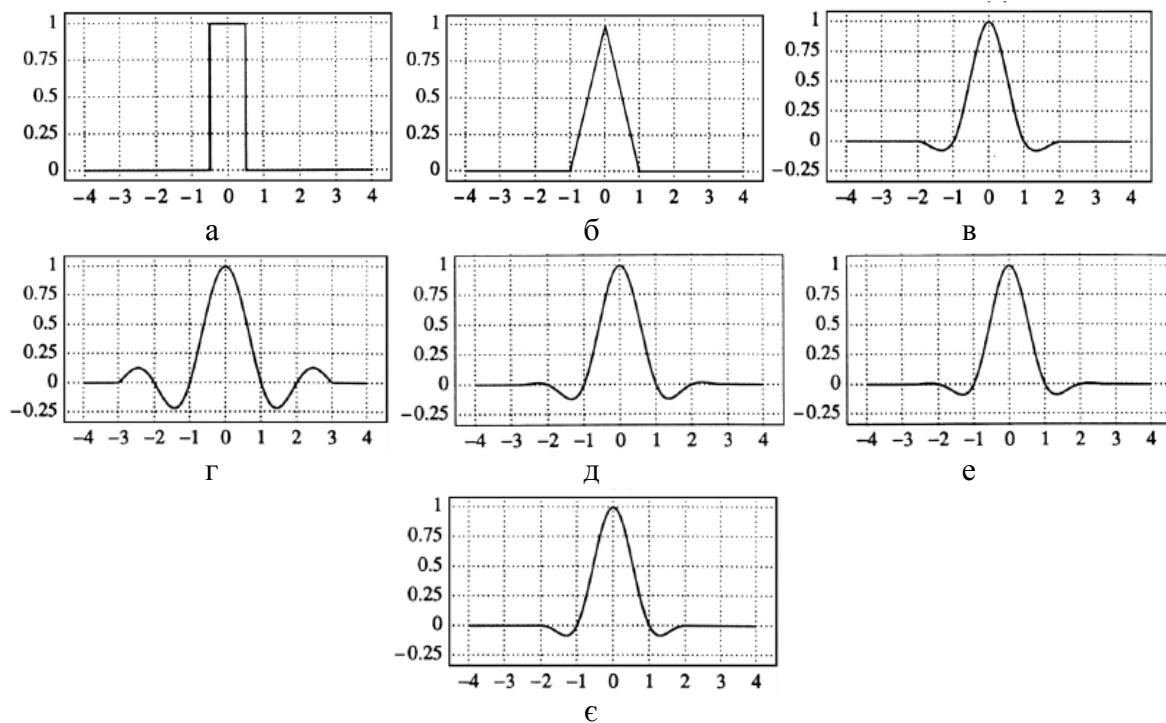


Рис. 2. Вигляд функцій фільтрів: а – прямокутного фільтра; б – трикутного фільтра; в – кубічного фільтра; г - *sinc*-фільтра з прямокутним вікном; д - *sinc*-фільтра з вікном Хеммінга; е - *sinc*-фільтра з вікном Блекмена; є - *sinc*-фільтра з вікном Ланцоша.

## Алгоритми згладжування в тривимірній графіці

Загальною стратегією алгоритмів повноекранного згладжування є застосування деякої схеми вибірки до зображення, в подальшому колір пікселя  $p$  отримується наступним чином [2]:

$$p(x, y) = \sum_{i=1}^n \omega_i c(i, x, y),$$

де  $n$  – об'єм вибірки для кожного пікселя;  $c(i, x, y)$  - колір елемента вибірки;  $\omega_i \in [0, 1]$  - вага, з якою елемент вибірки входить до результуючого кольору пікселя. Таким чином, алгоритми згладжування відрізняються, перш за все, схемами вибірки (рис. 3) [2, 8].

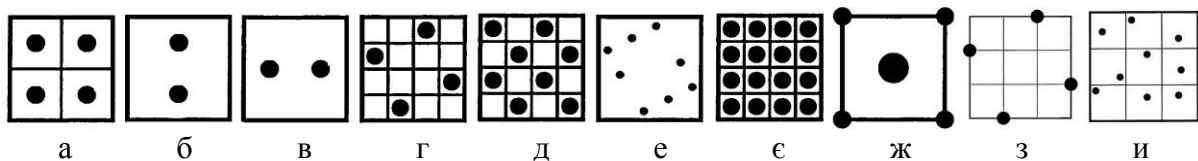


Рис. 3. Схеми вибірки в алгоритмах згладжування: а, б, в – просте усереднення сусідніх елементів; г – *RGSS*; д – шашка 4x4; е – 8 тур; є – сітка 4x4; ж – *Quincunx*; з – *FLIPQUAD*; и - стохастична вибірка

На вхід алгоритмів згладжування зазвичай подаються попередньо обраховані дані про колір кожного елемента вибірки, а також глибина (*Z*-буфер) та його затінення.

Критеріями оцінки алгоритмів згладжування є швидкість, якість згладжування, необхідні обчислювальні ресурси. Також для оцінки похибки різних схем вибірки може застосовуватись спеціальна метрика або середня квадратична похибка [9].

Найпростіші алгоритми, т. з. алгоритми суперсемплінгу (англ. *supersampling*), обчислюють незалежно один від одного та усереднюють сусідні елементи, реалізуючи прості фільтри, до таких відносяться *FSAA* (*full-scene antialiasing*), *RGSS* (*rotated grid supersampling*).

Більш складні оптимізують витрати пам'яті (акумуляційний буфер); отримують декілька елементів вибірки за один прохід, виконують деякі обчислення (наприклад, затінення) для декількох елементів один раз (мультисемплінг (*multisampling*, *MSAA* – *multisample antialiasing*, *CSAA* – *coverage sampling antialiasing*), *A*-буфер); використовують одні і ті ж самі елементи вибірки для обчислення кольору декількох пікселів (*Quincunx* (*HRAA* - *high resolution antialiasing*), *CFAA* (*custom filter antialiasing*), *FLIPQUAD*).

Всі перелічені вище алгоритми відносяться до регулярних. Окремою групою є стохастичні алгоритми (*Jittering*, *N-rooks sampling*, *Poisson disk*

*sampling* тощо), в яких задана кількість елементів вибірки розподіляються у просторі, що займає піксель, випадково. Такі алгоритми є більш якісними, ніж регулярні, якщо сцена містить дуже малі за розміром або тонкі об'єкти [2, 10].

## Висновки

В даній роботі розглянуто алгоритми згладжування на основі фільтрації, критерії їх оцінки. При візуалізації тривимірних об'єктів в реальному часі доцільно використовувати наближення простих та швидких фільтрів, таких як прямокутний та трикутний, або більш складних та якісних з оптимізацією по часу. Дана робота є підґрунтям для створення ефективного алгоритму згладжування для об'єктів, заданих вокселями, в реальному часі.

## Література

1. *Роджерс Д.*, Алгоритмические основы машинной графики. – М.: Мир, 1989. – 512 с.
2. *Akenine-Moller T., Haines E., Hoffman N.*, Real-Time Rendering, 3rd ed. – A K Peters, Ltd., Wellesley, Massachusetts, 2008. - 1027 p.
3. *Wolberg*, Digital Image Warping. – IEEE Computer Society Press, 1990. – 340 p.
4. *Novosad*, Advanced High-Quality Filtering // GPU Gems 2. – Addison-Wesley, 2005. – pp. 417-435.
5. *Mitchell, Netravali*, Reconstruction Filters in Computer Graphics // Computer Graphics. – SIGGRAPH '88 Proceedings, 1988, vol. 22, no. 4. – pp. 239-246.
6. *Turkowski*, Filters for Common Resampling Tasks // Graphics Gems. – Academic Press, 1990. – pp. 147-165.
7. *Ламот А.*, Программирование трехмерных игр для Windows. Советы профессионала по трехмерной графике и растеризации. - М.: Вильямс, 2004. - 1424 с.
8. *Hasselgren, Akenine-Moller, Laine*, A Family of Inexpensive Sampling Schemes // Computer Graphics Forum. – Blackwell Publishing, 2005, vol. 24, no. 4. – pp. 843-848.
9. *Laine, Samuli, and Timo Aila*, A Weighted Error Metric and Optimization Method for Antialiasing Patterns // Computer Graphics Forum. – Blackwell Publishing, March 2006, vol. 25, no. 1. – pp. 83-94.
10. *Chan, Fredo*, Fast Prefiltered Lines // GPU Gems 2. – Addison-Wesley, 2005. – pp. 345-359.