

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

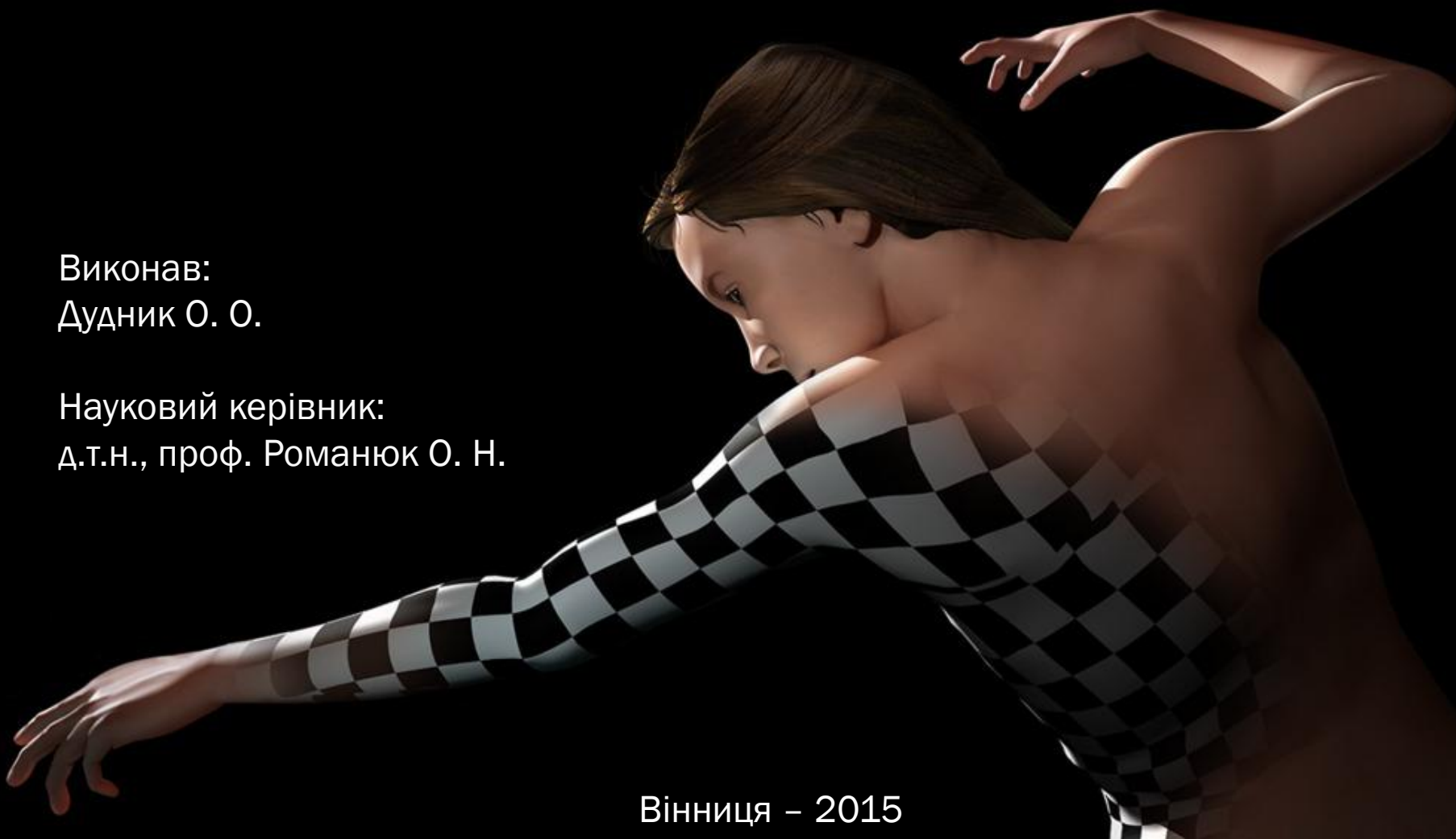
**РОЗРОБКА МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ТЕКСТУРУВАННЯ ДЛЯ  
ПОКРАЩЕННЯ РЕАЛІСТИЧНОСТІ ФОРМУВАННЯ ГРАФІЧНИХ  
ЗОБРАЖЕНЬ**

Виконав:

Дудник О. О.

Науковий керівник:

д.т.н., проф. Романюк О. Н.



Вінниця – 2015

# РОЗРОБКА МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ТЕКСТУРУВАННЯ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ РЕАЛІСТИЧНОСТІ ФОРМУВАННЯ ГРАФІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

**МЕТА роботи** – підвищення реалістичності відтворення графічних об'єктів за рахунок розробки нових методів та моделей.

**ОБ'ЄКТ дослідження** – процеси текстурзування у системах комп'ютерної графіки.

**ПРЕДМЕТ дослідження** – методи і засоби текстурзування тривимірних об'єктів.

У відповідності до поставленої мети в роботі вирішуються такі завдання:

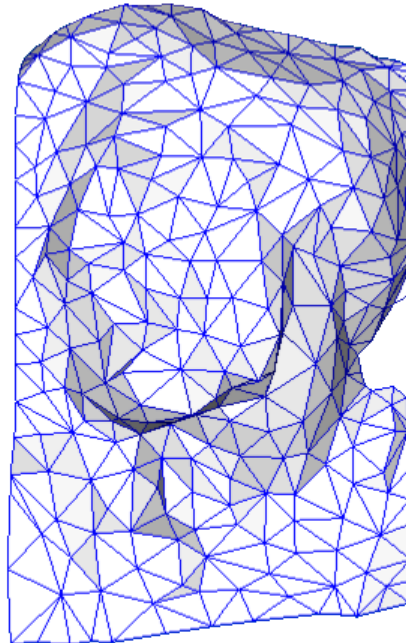
- ✓ порівняльний аналіз існуючих методів фільтрації текстур;
- ✓ порівняльний аналіз існуючих методів перспективно-коректного текстурзування;
- ✓ розробка методів та засобів підвищення реалістичності текстурзування;
- ✓ розробка методів та засобів підвищення продуктивності текстурзування.

# РОЗРОБКА МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ТЕКСТУРУВАННЯ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ РЕАЛІСТИЧНОСТІ ФОРМУВАННЯ ГРАФІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

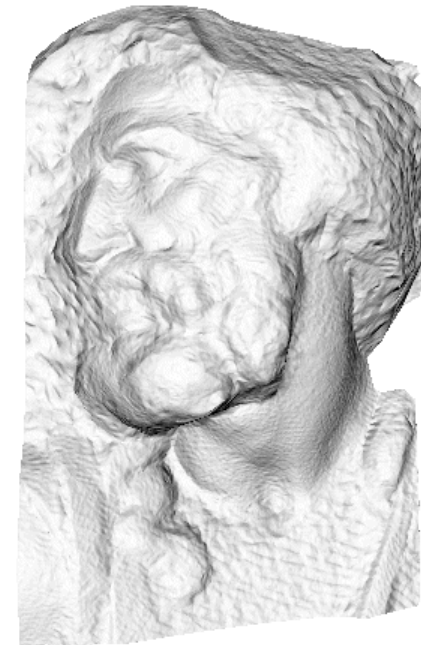
Текстурування дозволяє вирішувати задачі, які трудомістко розв'язати прямими методами, дозволяє суттєво зменшити обчислювальні витрати та зробити можливим інтерактивний режим візуалізації. Генерація текстури полягає в проектуванні зображення на тривимірну поверхню, таким чином, забезпечується додаткова деталізація об'єкта без ускладнення його геометрії.



original mesh  
4M triangles



simplified mesh  
500 triangles



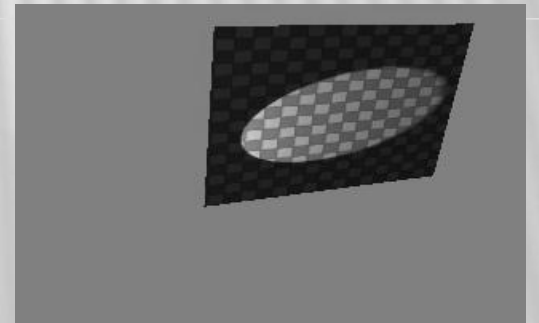
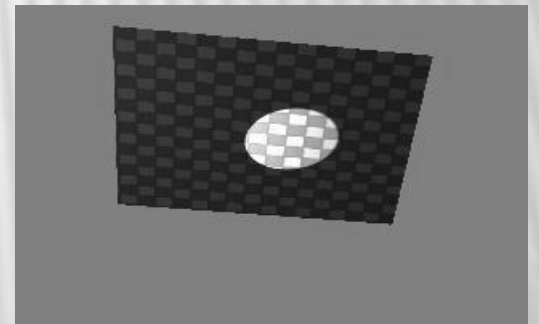
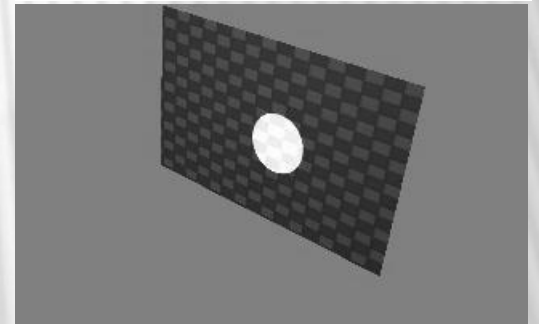
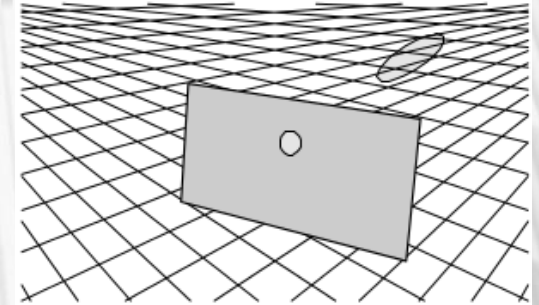
simplified mesh  
and normal mapping  
500 triangles

# МЕТОДИ ТЕКСТУРУВАННЯ

Ізотропні методи текстурування характеризуються високою продуктивністю та низькою реалістичністю вихідного зображення.

Тому сьогодні при текстуруванні широко використовується **анізотропна** фільтрація, яка дозволяє більш точно визначати кольори пікселів, які відповідають елементам текстури, що розташовані не паралельно екрану.

При анізотропній фільтрації проєкція пікселя на поверхню текстури розглядається як витягнутий еліпс, що дозволяє точніше визначати кольори пікселів



# МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПЕРСПЕКТИВНО-КОРЕКТНОГО ТЕКСТУРУВАННЯ

Метод Хесберга:

$$u_i = \frac{A_1 \cdot x_i + B_1 \cdot y_i + C_1}{D \cdot x_i + E \cdot y_i + F}, \quad v_i = \frac{A_2 \cdot x_i + B_2 \cdot y_i + C_2}{D \cdot x_i + E \cdot y_i + F}$$

Якщо  $x_{i+1} = x_i + 1$ , то

$$u_{i+1} = \frac{A_1 \cdot (x_i + 1) + B_1 \cdot y_i + C_1}{D \cdot (x_i + 1) + E \cdot y_i + F} = \frac{(A_1 \cdot x_i + B_1 \cdot y_i + C_1) + A_1}{(D \cdot x_i + E \cdot y_i + F) + D}$$

$$u_n = \frac{A_1 \cdot (x_0 + n) + B_1 \cdot y_i + C_1}{D \cdot (x_0 + n) + E \cdot y_i + F} = \frac{A_1 \cdot x_0 + A_1 \cdot n + B_1 \cdot y_i + C_1}{D \cdot x_0 + D \cdot n + E \cdot y_i + F}$$

$$v_n = \frac{A_2 \cdot x_i + B_2 \cdot y_0 + B_2 \cdot n + C_2}{D \cdot x_i + E \cdot y_0 + E \cdot n + F}$$

Для кожного  $n$  значення многочленів  $A_1 \cdot x_0 + B_1 \cdot y_i + C_1$  та  $D \cdot x_0 + E \cdot y_i + F$  залишаються незмінними, а отже, можуть бути обраховані один раз для кожного рядка растеризації:

$$u_t = A_1 \cdot x_0 + A_1 \cdot n + B_1 \cdot y_i + C_1$$

$$u_b = D \cdot x_0 + E \cdot y_i + F$$

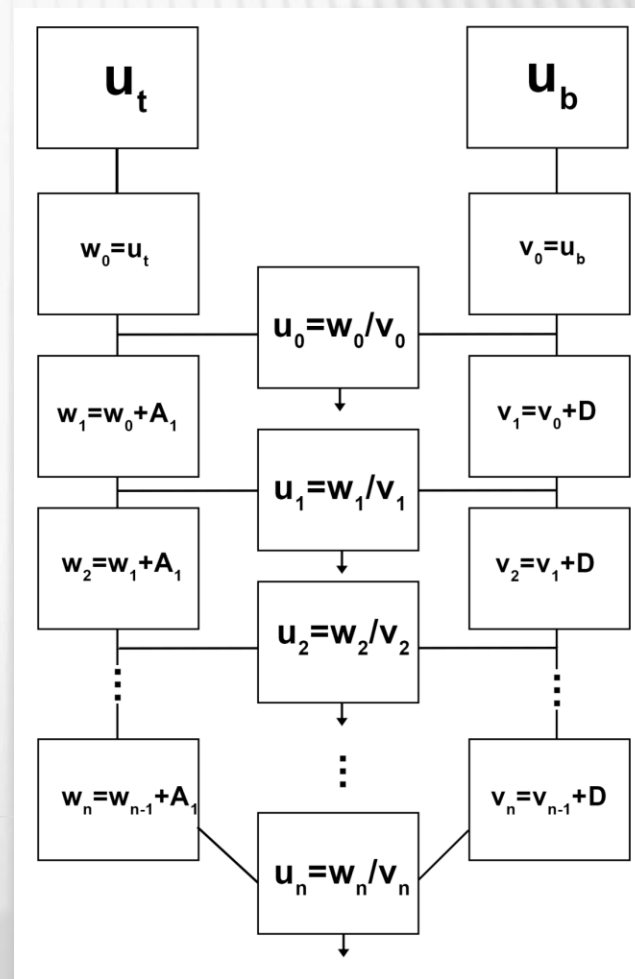
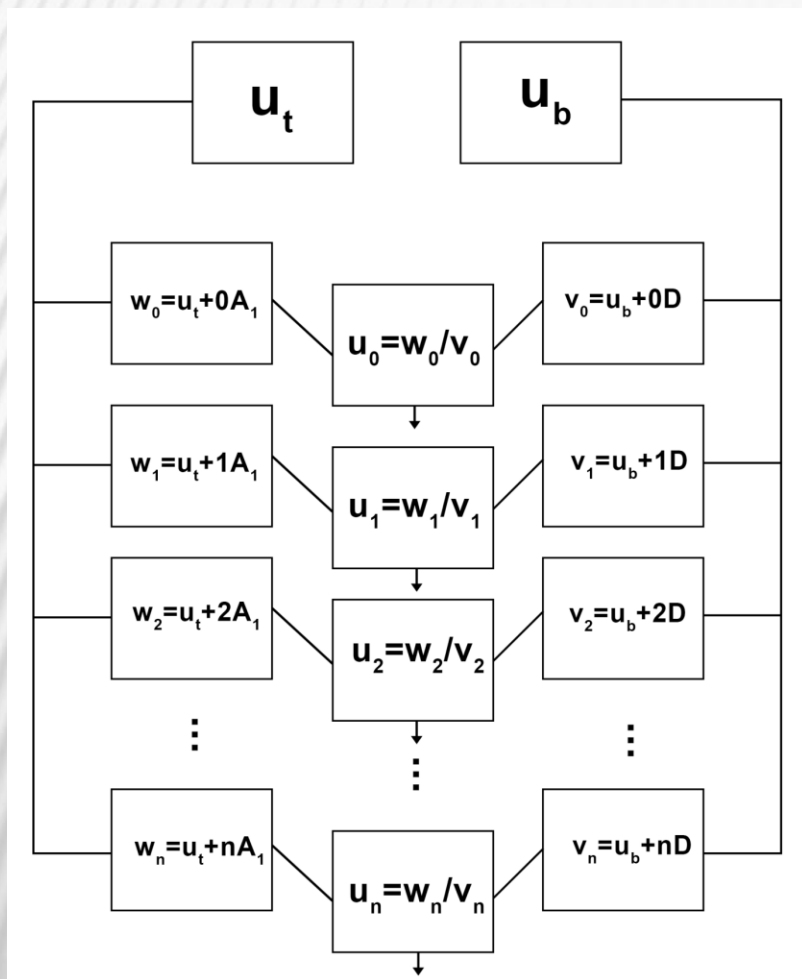
Отже,  $u_n$  може бути обчислено за формулою:

$$u_n = \frac{u_t + A_1 \cdot n}{u_b + D \cdot n}$$

# МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПЕРСПЕКТИВНО-КОРЕКТНОГО ТЕКСТУРУВАННЯ

$$w_n = u_t + A_1 \cdot n \quad v_n = u_b + D \cdot n$$

$$w_n = w_{n-1} + A_1 \quad v_n = v_{n-1} + D$$



# НЕОРТОГОНАЛЬНА РАСТЕРИЗАЦІЯ ПРИ ПЕРСПЕКТИВНО-КОРЕКТНОМУ ТЕКСТУРУВАННІ

Трикутник (полігон) однозначно визначає площину,

рівняння якої має такий вигляд:  $AX_w + BY_w + CZ_w = D$

$$Z_w = \frac{A \cdot X_w + B \cdot Y_w + D}{C} \quad X_v = \frac{X_w}{Z_w}, \quad Y_v = \frac{Y_w}{Z_w}, \quad X_w = X_v \cdot Z_w, \quad Y_w = Y_v \cdot Z_w.$$

Будемо шукати кут нахилу прямої, рівняння якої має

вигляд:  $Y_v = k \cdot X_v + h$

$$Y_w = Y_v \cdot Z_w = (k \cdot X_v + h) \cdot Z_w \quad A \cdot X_v \cdot Z_w + B \cdot (k \cdot X_v + h) \cdot Z_w + C \cdot Z_w = D$$

Якщо  $Z_w = const$ , то 
$$\frac{D}{X_v \cdot (A + B \cdot k) + B \cdot h + C} = \frac{D}{(X_v + j) \cdot (A + B \cdot k) + B \cdot h + C}$$

$$k = -A/B \quad Z_w = D / (B \cdot h + C)$$

Між координатами текстурного та екранного просторів

існує така залежність:

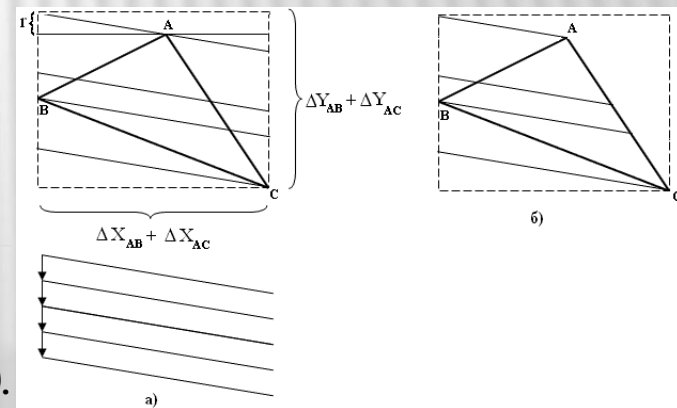
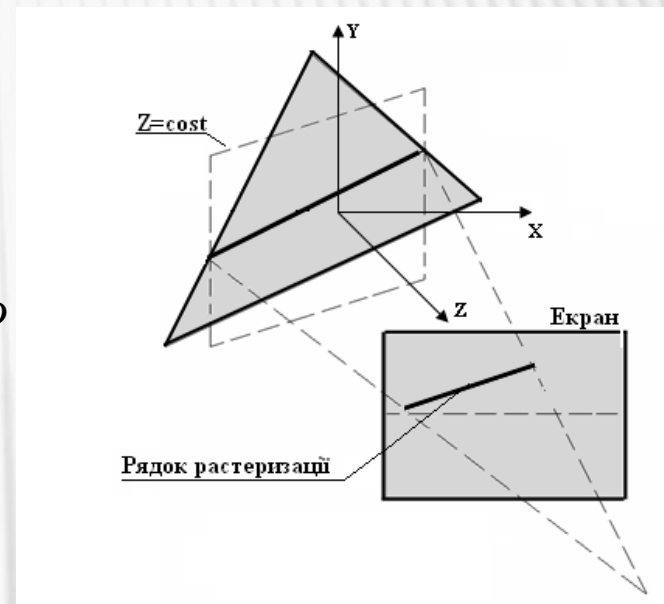
$$u = \frac{a \cdot X_v + b \cdot Y_v + c}{A \cdot X_v + B \cdot Y_v + C}, \quad v = \frac{d \cdot X_v + e \cdot Y_v + f}{A \cdot X_v + B \cdot Y_v + C}$$

Позначимо знаменник наведених виразів через  $T$ , а  $1/T = \mathfrak{R}$ ,  
тоді:  $u = (a \cdot X_v + b \cdot Y_v + c) \cdot \mathfrak{R}$ ,  $v = (d \cdot X_v + e \cdot Y_v + f) \cdot \mathfrak{R}$

$$u = (a \cdot X_v + b \cdot (k \cdot X_v + h) + c) \cdot \mathfrak{R} = [X_v \cdot (a + b \cdot k) + (b \cdot h + c)] \cdot \mathfrak{R}.$$

$$u_0 = \mathfrak{R} \cdot (b \cdot h + c).$$

$$u_{i+1} = [(X_v + 1) \cdot (a + b \cdot k) + (b \cdot h + c)] \cdot \mathfrak{R} = u_i + \mathfrak{R} \cdot (a + b \cdot k).$$



# МЕТОД АНІЗОТРОПНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ВАГОВИХ ФУНКЦІЙ

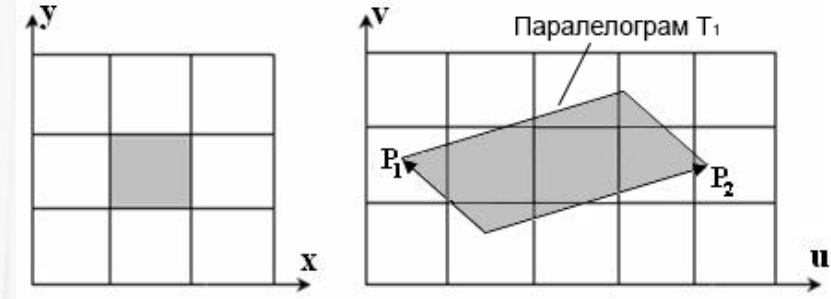
Підвищення реалістичності вихідного зображення можна досягти шляхом використання вагової функції на базі додаткової вагової текстурної карти. Для цього:

1. Формуємо в текстурній площині паралелограм  $T_1$ , що є проєкцією точки в екранній площині на текстуру
2. Шляхом знаходження різниці між відповідними координатами вершин визначаємо розміри сторін паралелограма. Залежно від розмірів сторін визначаємо тір-рівень вагової текстурної карти.
3. Вагові карти формуємо, відповідно до Гаусівської моделі пікселя за допомогою матриці чисел, сума яких рівна 1. У подальшому карту висот використовуємо як текстуру, інтенсивність кольорів точок якої зменшується від центру до зон блюмінгу
4. Формуємо нову текстуру шляхом накладання вагової карти на паралелограм, який еквівалентний паралелограму  $T_1$  (далі  $T_2$ ). Колір пікселя паралелограма  $T_2$  пропорційний вазі пікселя паралелограма  $T_1$
5. Проводимо одночасну синхронну растеризацію обох паралелограмів. Після чого знаходимо суму інтенсивностей кольору внутрішніх точок паралелограма  $T_1$  помножену на вагу точок нового паралелограма  $T_2$  і ділимо отримане значення на кількість точок за формулою:

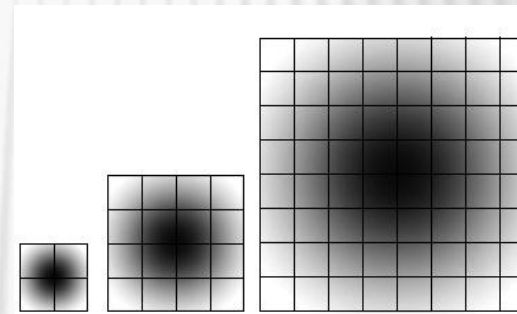
$$P = \frac{P_1 B_1 + P_2 B_2 + \dots + P_N B_N}{N}$$

де  $P_1, P_2, \dots, P_N$  – кольори точок на текстурній площині,  $B_1, B_2, \dots, B_N$  – ваги відповідних точок,  $N$  – кількість точок паралелограма

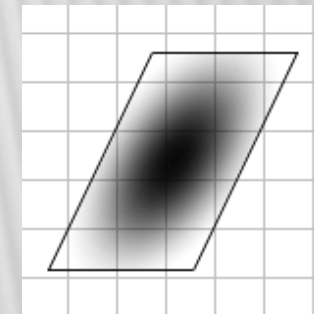
Підвищити якість анізотропної фільтрації можна за рахунок надання пікселям, які перетинають ребра паралелограма інтенсивностей, що пропорційні площі пікселя, яка відтинається ребром



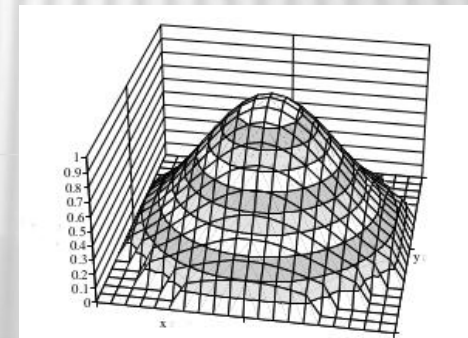
Слід пікселя у вигляді паралелограма при анізотропній фільтрації



Карти висот для різних тір-рівнів



Накладання карти висот на паралелограм



Гаусівська модель пікселя



Пікселі, які перетинають ребра паралелограма



# МОДИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ АНІЗОТРОПНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ

Для того, щоб обчислити колір пікселя, необхідно врахувати кольори всіх текселів, які охоплює еліпс. Це складна процедура для генерації зображень у реальному часі, тому використовують спрощення. Основна ідея таких спрощень – це наближення еліпса з великим ексцентриситетом декількома еліпсами з меншими ексцентриситетами, як правило кола рівного діаметру. Потім знаходять середні значення кольору для кожного кола .

На практиці коло апроксимують квадратом площею чотири текселі. Визначення координат усіх необхідних точок є ресурсоємкою задачею тому ряд виробників графічних процесорів спрощують її, розглядаючи лише два часткові випадки положення вектору нахилу: паралельно осі OX та перпендикулярно їй. 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 істотних артефактів.

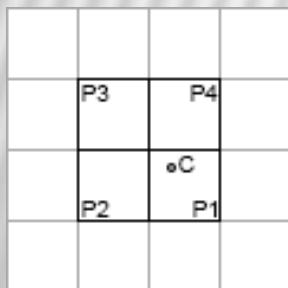
Тому даний метод можна покращити шляхом обрахунку координат пікселів для кутів близьких до 45°, 135°, 225°, або 315° з урахуванням зміщення центру кола, викликаного апроксимацією квадратом.

Доцільно ввести вагову функцію: Усереднене значення кольору в кожному квадраті слід обраховувати за формулою

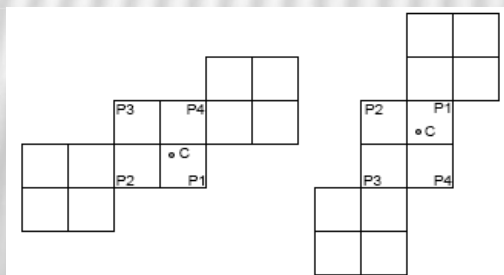
$$P = \frac{P_1B_1 + P_2B_2 + P_3B_3 + P_4B_4}{4}$$

Отримані значення для всіх квадратів слід усереднити за формулою:

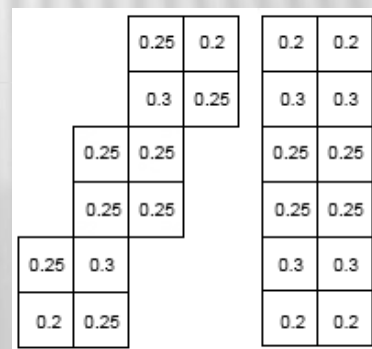
$$P = \frac{P_1B_1 + P_2B_2 + \dots + P_NB_N}{N}$$



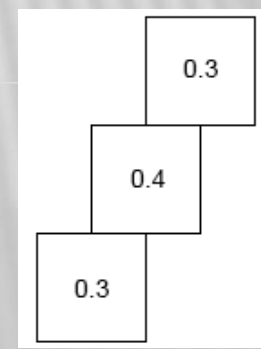
Координати центру проєкції



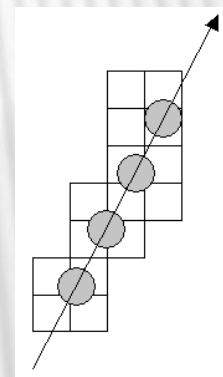
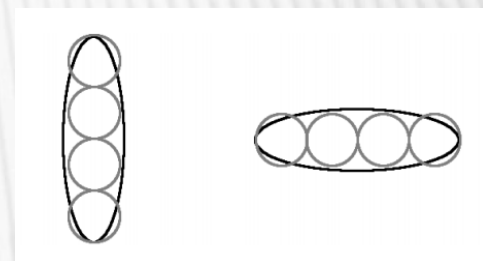
Текселі що належать до проєкції пікселя для кута нахилу 45°



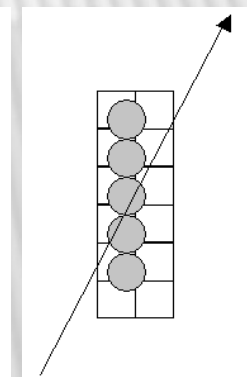
Ваги точок



Ваги квадратів



Визначення точок, що належать до проєкції пікселя на текстуру



Спрощений метод визначення точок, що належать до проєкції пікселя на текстуру

# ГАУСІВСЬКА МОДЕЛЬ ПІКСЕЛЯ В ЗАДАЧАХ АНІЗОТРОПНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ

Використаємо модель розподілу інтенсивності пікселя, коли щільність інтенсивності розподілена за нормальним законом

$$p(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right)$$

Інтенсивність кольору пікселя  $I$  визначається за формулою:

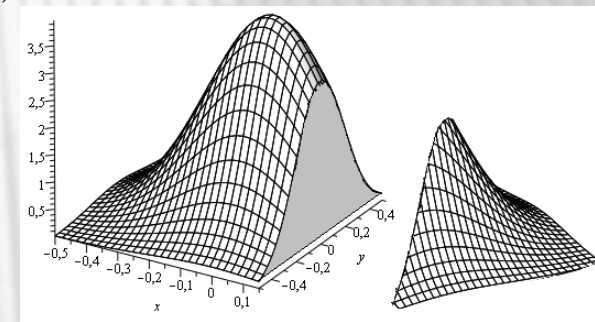
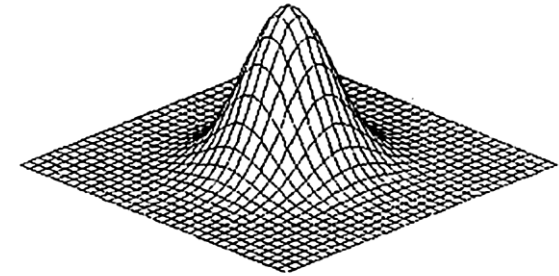
$$I = F(d) = V(d) - V(d)$$

Для задач текстурування необхідно обчислювати значення функції  $V(d)$

$$V(d) = \int_{-\infty}^{+\infty} dy \int_{-\infty}^d p(x, y) dx$$

$$V(d) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} dy \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^d e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx = 1 \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^d e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx = N(d, 0, \sigma)$$

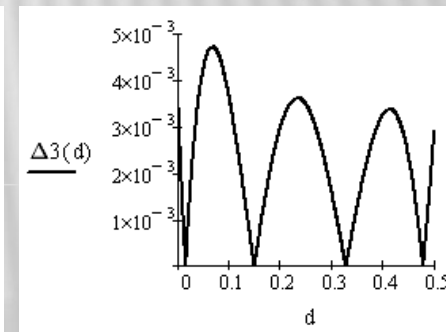
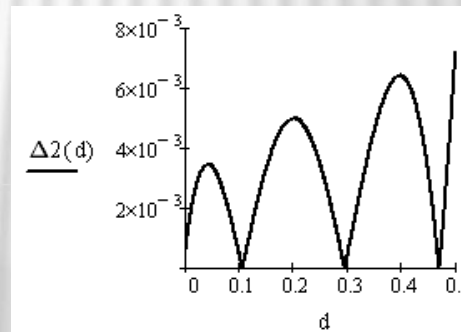
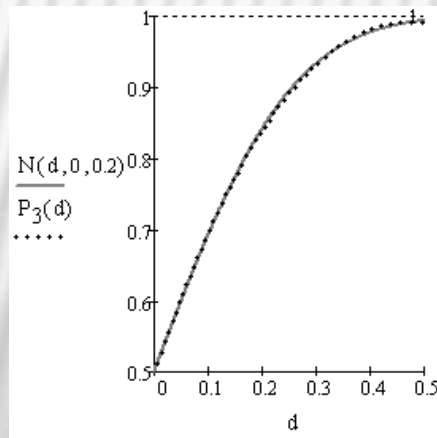
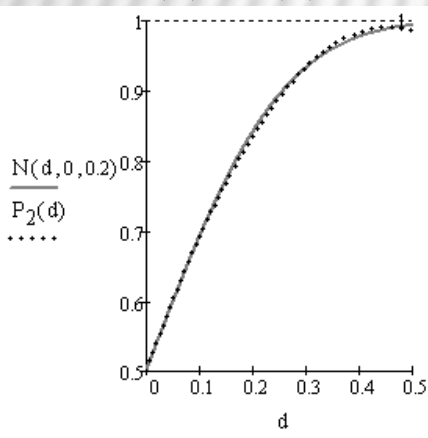
де  $N(d, 0, \sigma)$  – нормальний закон розподілу з математичним сподіванням  $a = 0$  і середнім квадратичним відхиленням  $\sigma$ .



Апроксимуємо функцію  $N(d, 0, \sigma)$  многочленом  $P_n(d)$  невисокого порядку  $n = 2$ , або  $n = 3$

$$V(d) \approx P_2(d) = 0.5 + 2.151d - 2.358d^2$$

$$V(d) \approx P_3(d) = 0.496 + 2.288d - 3.074d^2 + 0.956d^3$$



Графіки абсолютних похибок

Графіки функції  $V(d)$ , та апроксимуючих функцій

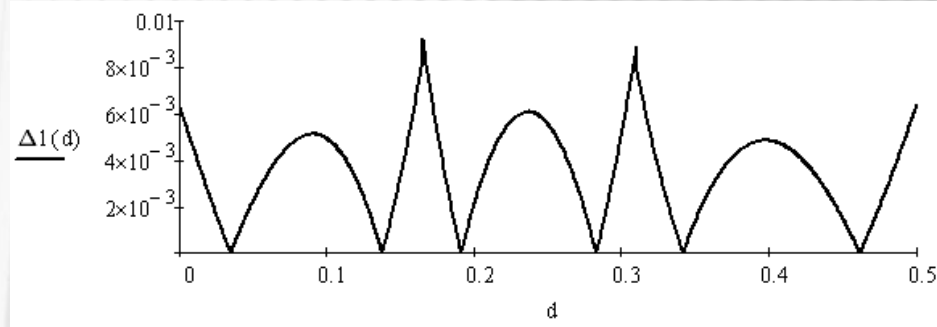
# ГАУСІВСЬКА МОДЕЛЬ ПІКСЕЛЯ В ЗАДАЧАХ АНІЗОТРОПНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ

Розглянемо наближення функції  $V(d) = N(d, 0, \sigma)$ ,  $\sigma = 0.2$ ,  $d \in [0, 0.5]$

за допомогою кусково-лінійної апроксимації.

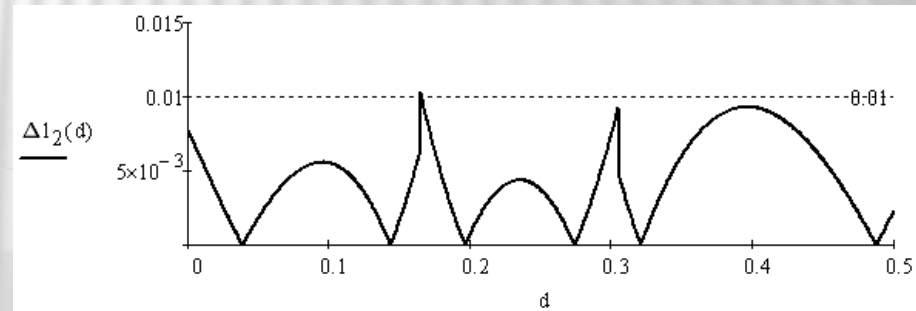
При цьому поставимо умову використання невеликої кількості проміжків розбиття відрізка при забезпеченні достатньо високої точності апроксимації.

$$V(d) \approx P_1(d) = \begin{cases} 0.506 + 1.79d, & 0 \leq d < 0.165; \\ 0.636 + 1.008d, & 0.165 \leq d < 0.305; \\ 0.853 + 0.295d, & 0.305 \leq d < 0.5. \end{cases}$$

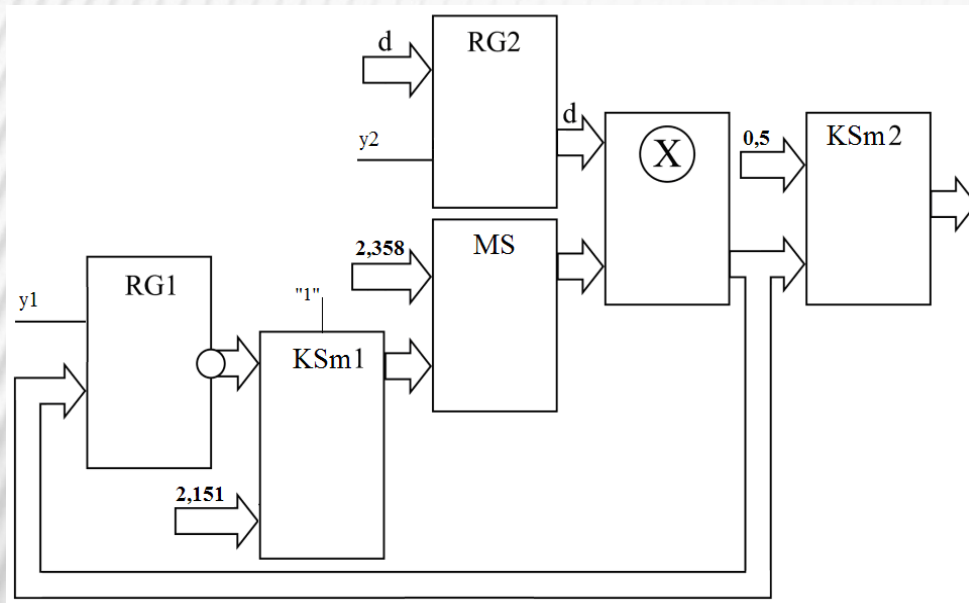


Подамо коефіцієнти лінійних функцій як бінарні, зберігаючи розряди до  $2^{-8}$

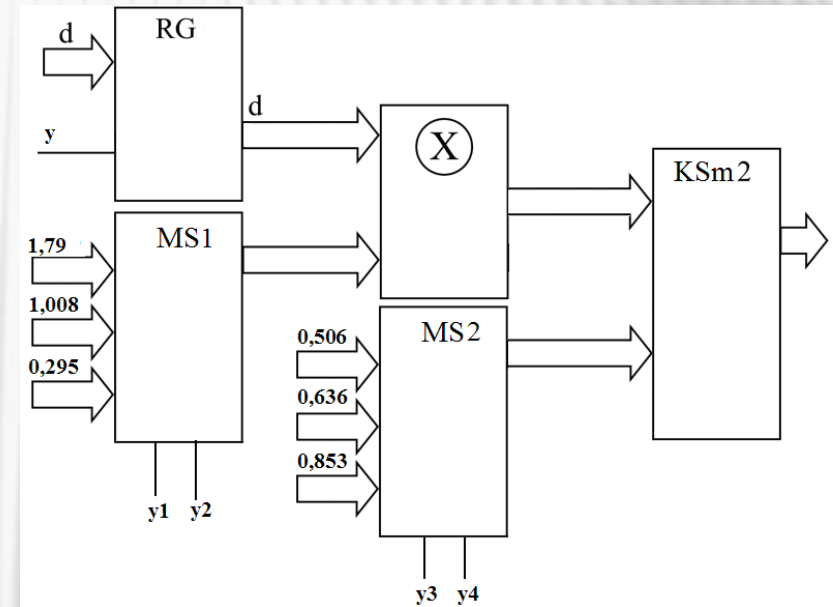
$$V(d) \approx P_{1b}(d) = \begin{cases} 0.1000001_b + 1.11001_b \cdot d, & 0 \leq d < 0.165; \\ 0.101001_b + 1_b \cdot d, & 0.165 \leq d < 0.305; \\ 0.11011011_b + 0.01001_b \cdot d, & 0.305 \leq d < 0.5. \end{cases}$$



# ГАУСІВСЬКА МОДЕЛЬ ПІКСЕЛЯ В ЗАДАЧАХ АНІЗОТРОПНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ

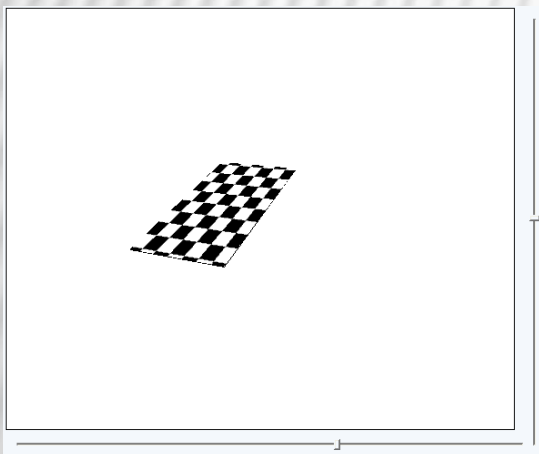
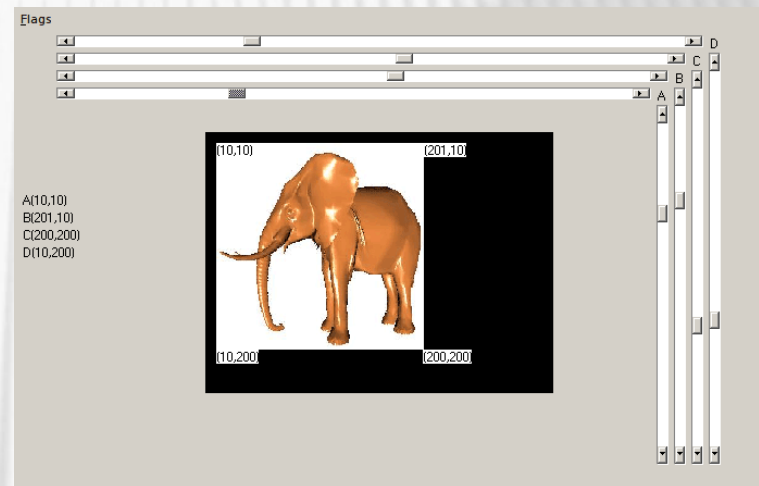
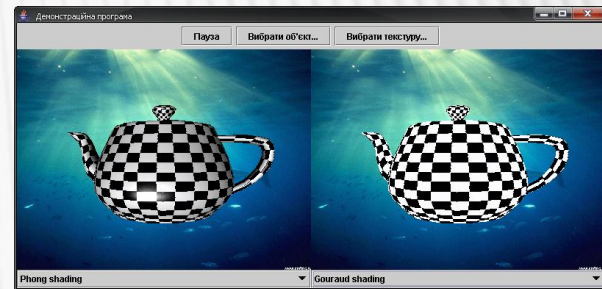
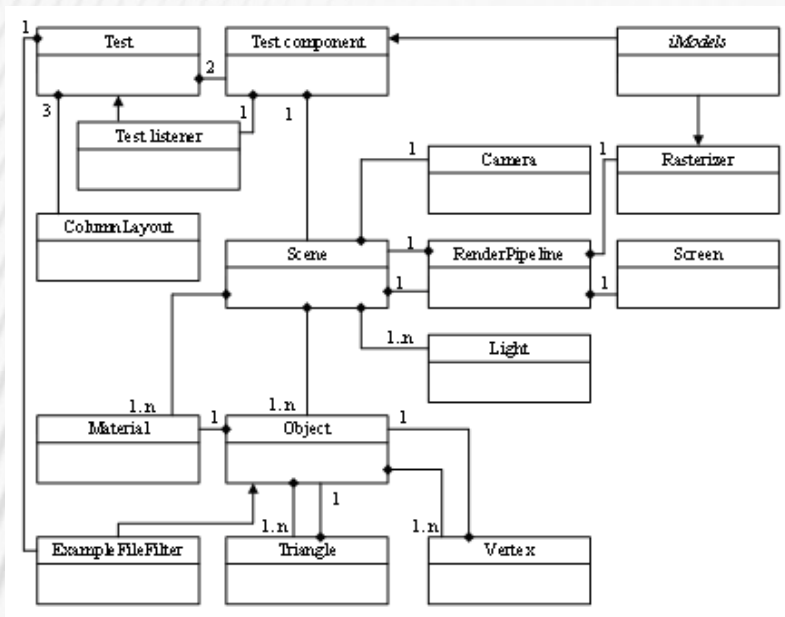


Структурна схема блока для розрахунку  $V(d)$  поліномом  $P_2(d)$



Структурна схема блока для розрахунку  $P_1(d)$

# РОЗРОБКА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ

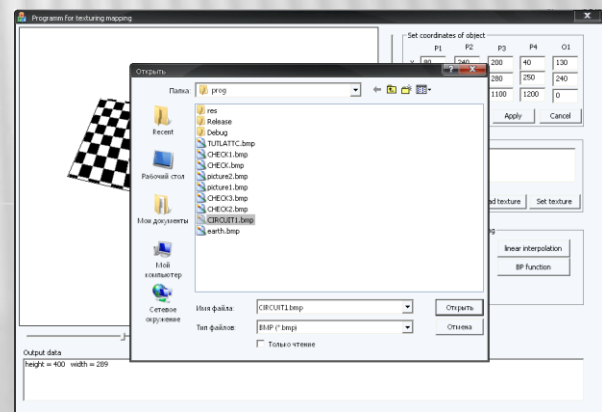


Texture picture

chess-board.bmp  
curcit1.bmp  
Earth.bmp

Load texture    Set texture

	P1	P2	P3	P4	O1
X	80	240	200	40	130
Y	50	80	280	250	240
Z	1600	1500	1100	1200	0



## НАУКОВА НОВИЗНА ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

- Запропоновано новий метод анізотропної фільтрації, в якому використано вагові функції для розрахунку кольору пікселя, що дозволило підвищити реалістичність вихідного зображення.
- Розроблено модифікацію методу перспективно-коректного текстурування, яка відрізняється від класичного використанням квадратичної апроксимації для визначення координат текселів, що дозволило виключити із обчислювального процесу операції ділення, і як наслідок, підвищити продуктивність.
- Запропоновано модифікацію методу Хесберга, в якій використано ітераційні формули для визначення координат текселів, що дозволило зменшити кількість операцій додавання та множення, і як наслідок підвищити продуктивність.
- Отримано нові аналітичні залежності для апроксимації гаусівської моделі пікселя, для якої використовується поліном другої степені, що дозволило зменшити обчислювальну складність алгоритмів рендерингу.

## АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

Основні положення й результати досліджень доповідалися й обговорювалися на Міжнародній науково-практичній конференції «Електронні інформаційні ресурси: створення, використання доступ (м. Вінниця, 2014)», Міжнародній науково-практичній Інтернет-конференції «Молодь в технічних науках: дослідження, проблеми, перспективи (м. Вінниця, 2015)», Міжнародній конференції «Моделювання і комп'ютерна графіка (м. Красноармійськ, 2015)», Міжнародній науково-практичній конференції «Наука без кордонів (м. Шеффілд, 2015)».

## ПУБЛІКАЦІЇ

За тематикою дослідження опубліковано 10 наукових праць, з них 5 статей у виданнях, що входять до переліку фахових видань, затверджених ВАК України, 1 свідоцтво на реєстрацію авторського права на комп'ютерну програму у Державному департаменті інтелектуальної власності України, тези до 4 міжнародних науково-практичних конференцій.

**ДЯКУЮ ЗА УВАГУ**