

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ГРАФІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

**Обідник М. Д., Стахов А. О.**

Вінницький національний технічний університет  
кафедра програмного забезпечення  
E-mail: nikolya\_vin@mail.ru, artemstahov@mail.ru

### *Анотація*

*Обідник М. Д., Стахов А. О. Аналіз методів оцінки якості графічних зображень. Наведено аналіз методів оцінки якості сформованих зображень за різними критеріями. Розроблено програмний модуль з порівняльною оцінкою якості статичних та динамічних зображень за критерієм NMSE.*

### **Вступ**

Комп'ютерна графіка стрімко розвивається, що призводить до розробки великої кількості різних методів формування графічних зображень на екрані комп'ютера. При цьому важливим є компроміс між обчислювальною складністю процесу формування зображення та реалістичністю подання графічної інформації.

Обчислювальну складність можна оцінювати за часом формування статичних зображень або частотою кадрів (fps) при виведенні графічної інформації у реальному масштабі часу. Розробники графічних засобів часто використовують спеціальні тести (бенчмарки) для оцінювання продуктивності.

Для визначення якості та реалістичності подання графічної інформації існує ряд методів і критеріїв. Якість графічного зображення залежить від ряду чинників, починаючи від набору інструментів системи формування комп'ютерної графіки (методи тонування, побудови тіней, антиаліазингу тощо) і закінчуючи роздільною здатністю, динамічним діапазоном і передачею кольору. Заключна оцінка проводиться на повному зображенні з урахуванням кожного окремого фактора, що впливає на якість та реалістичність.

Розроблені або удосконалені методи формування зображень тривимірних сцен оцінюють за допомогою тестування. При цьому результати досліджень порівнюються з зображеннями, сформованими за базовим методом. У програмі тестування важливо передбачити кількісну оцінку як обчислювальної складності, так і якості зображення. Тому постає необхідність у визначенні критерію оцінювання якості зображення, що формується, та його програмній реалізації у вигляді модуля програми тестування.

**Метою дослідження** є аналіз методів оцінки якості графічних зображень та визначення серед них оптимального для порівняльної оцінки якості зображень, що формуються засобами комп'ютерної графіки.

### **Аналіз методів оцінки якості зображення**

Методи оцінки якості зображення класифікують на [1]:

- суб'єктивні;
- кількісні.

Суб'єктивна оцінка якості зображення виконується на основі експертних оцінок, а кількісна – за допомогою математичних методів. В свою чергу, кожна з них може бути як абсолютною, так і порівняльною.

Зорова система людини – найбільш надійний та досконалий вимірювальний інструмент, що оцінює якість цифрового зображення. Однак суб'єктивна оцінка – це досить складний повільний процес, який вимагає досвідчених експертів та не є об'єктивним і універсальним. Суб'єктивна оцінка якості зображення залежить від різних зовнішніх факторів, наприклад, умов навколишнього середовища, освітлення, настрою фахівця, який

проводить оцінку, якості монітора, характеру аналізованих зображень тощо.

Існує два види експертних оцінок: абсолютні та порівняльні. У табл. 1 наведені приклади рейтингових шкал, використаних для суб'єктивної оцінки якості зображень [1].

Таблиця 1 - Рейтингові шкали для суб'єктивної оцінки якості зображень

Шкала загальної якості	Шкала похибок
5 – Чудово	1 – Непомітні
4 – Добре	2 – Ледь помітні
3 – Задовільно	3 – Цілком помітні
2 – Погано	4 – Погіршують зображення
1 – Незадовільно	5 – Трохи небажані
	6 – Безумовно небажані
	7 – Вкрай небажані

Для вирішення задачі оцінки якості зображення в загальному вигляді потрібно знайти кількісні оцінки, які найкращим чином відповідають суб'єктивним. Такі оцінки можна отримати за декілька етапів:

- готується набір зображень, на якому виконуються оцінки якості;
- здійснюється кількісний аналіз якості зображення різними методами, в результаті чого отримують оцінки якості зображення для кожного методу оцінювання;
- виконується суб'єктивний аналіз прийнятого зображення спостерігачами-експертами, яким демонструються зображення; оцінки різних експертів для одного і того ж зображення усереднюються;
- порівнюються оцінки зображень, отримані кількісними і суб'єктивними методами і з'ясовується, який з кількісних методів найбільш точно характеризує якість зображення.

Кількісні міри якості зображення, як і суб'єктивні, можна розділити на дві групи: абсолютні та порівняльні. Абсолютна міра представляє собою число, яке визначається на основі аналізу цього зображення. Основними абсолютними оцінками якості зображення є:

- оцінка різкості зображення;
- оцінка контрасту зображення;
- оцінка розподілу яскравості у зображенні.

Різкість зображення – один з найважливіших показників його якості, багато в чому визначає придатність зображення до подальшої обробки. Різкість зображення – це ступінь розмитості границі між двома сусідніми ділянками зображення з різною оптичною густиною (яскравістю). У деяких джерелах міру різкості зображення  $S$  пропонують визначати шляхом знаходження кута нахилу профілю яскравості зображення на кордоні перепаду [1]:

$$S_i = \operatorname{tg} \alpha = \frac{G}{w}, \quad (1)$$

де  $i$  – кількість крайових пікселів на зображенні,  $w$  – це ширина перепаду,  $G$  – це різниця між значеннями яскравості пікселів на кордоні перепаду.

Контраст – це градаційна характеристика чорно-білого або кольорового зображення, яка визначається різницею насиченості кольору його найбільш яскравих і найбільш темних ділянок. Контраст кожної пари пікселів обчислюється за формулою [1]:

$$C_{ij} = \frac{L_i - L_j}{L_i + L_j}, \quad (2)$$

де  $L_i$  та  $L_j$  – яскравості елементів зображення.

Пікселі для порівняння вибираються у горизонтальному та вертикальному напрямках.

Проводячи усереднення матриці локальних контрастів, отримують сумарний контраст.

Експериментально було встановлено, що оптимальне, з точки зору суб'єктивного сприйняття, зображення має нормальний розподіл яскравості його елементів. Для зручності подальших розрахунків був застосований критерій нормального розподілу. За ступенем відхилення реального розподілу яскравості від нормального проводиться оцінка якості зображення. Результати оцінки якості зображення, отримані за цим методом, добре корелюють з суб'єктивною оцінкою візуальної якості зображення [2]. Якщо в (1) замість  $G$  підставити (2), вийде комбінована оцінка різкості і яскравості зображення.

Визначення абсолютної кількісної оцінки якості зображення – це дуже складна, трудомістка і до цих пір до кінця не вирішена задача. На практиці найчастіше використовують порівняльні кількісні міри якості зображень.

У більшості випадків методи формування зображень оцінюють за часом формування статичних тривимірних графічних об'єктів і візуальним порівнянням їх з об'єктами, які сформовані за базовим методом [3]. Проте порівнювати розроблені методи зафарбовування доцільно не тільки з базовими методами, а й з іншими, оскільки вони методи можуть забезпечувати більш високу продуктивність і реалізм.

Порівняльні критерії якості здебільшого використовуються для порівняння різних алгоритмів стиснення зображень. Проте серед них є такі, що повністю задовольняють вимоги порівняння зображень, сформованих засобами тривимірної графіки:

1. Середньоквадратична помилка (mean square error) або середній квадрат помилок

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [B(m, n) - \tilde{B}(m, n)]^2.$$

2. Середня абсолютна помилка (mean absolute error)

$$MAE = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |B(m, n) - \tilde{B}(m, n)|.$$

3. Нормована середньоквадратична помилка (normalized MSE)

$$NMSE = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [B(m, n) - \tilde{B}(m, n)]^2}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [B(m, n)]^2}.$$

4. Нормована абсолютна помилка (normalized absolute error)

$$NAE = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |B(m, n) - \tilde{B}(m, n)|}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |B(m, n)|}.$$

5. Середня різниця (average difference)

$$AD = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [B(m, n) - \tilde{B}(m, n)].$$

6. Максимальна різниця (maximum difference)

$$MD = \text{Max}(|B(m, n) - \tilde{B}(m, n)|).$$

7. Структурний вміст (structural content)

$$SC = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [B(m, n)]^2}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [\tilde{B}(m, n)]^2}.$$

Проаналізувавши критерії порівняння якості зображень, було зроблено висновок, що для оцінки засобів формування зображень тривимірних сцен найбільше підходить

нормована середньоквадратична помилка.  $NMSE$  не має одиниць вимірювання, та за рахунок нормалізації дає можливість встановити відповідність між її значенням та якісною оцінкою візуальної відмінності між зображеннями, що тестуються.

Модуль, що обраховує кількісну оцінку порівняння якості зображень за критерієм  $NMSE$ , було вбудовано в програму тестування та апробації розроблених методів і алгоритмів комп'ютерної графіки, що використовує професійний графічний конвеєр та різних моделі освітлення. У ній методи зафарбовування оцінюють за часом формування зображень тривимірних об'єктів та критерієм  $NMSE$ . Також візуальну відмінність зображень тривимірних об'єктів, сформованих різними методами, можна оцінити суб'єктивно за допомогою експертів. Порівнювати розроблені методи рендерингу доцільно з методом, який забезпечує найбільш точне відтворення графічного зображення (наприклад, при використанні локальних моделей освітлення вибирають метод Фонга).

Програма розроблена з використанням мови програмування Java на основі бібліотеки `idx3d`. За допомогою полів редагування користувач має можливість змінювати коефіцієнт спекулярності  $n$ ; інтенсивності розсіяного  $I_a$  та точкового  $I_l$  джерел світла; коефіцієнти розсіяної  $(C_a(red), C_a(green), C_a(blue))$ , дифузної  $(C_d(red), C_d(green), C_d(blue))$  та спекулярної  $(C_s(red), C_s(green), C_s(blue))$  складових кольору. Передбачено вибір різних типів дистрибутивних функцій відбивної здатності поверхні та моделей об'єктів із бібліотеки. На рис. 1 наведено інтерфейс користувача програми для моделювання та тестування методів зафарбовування.

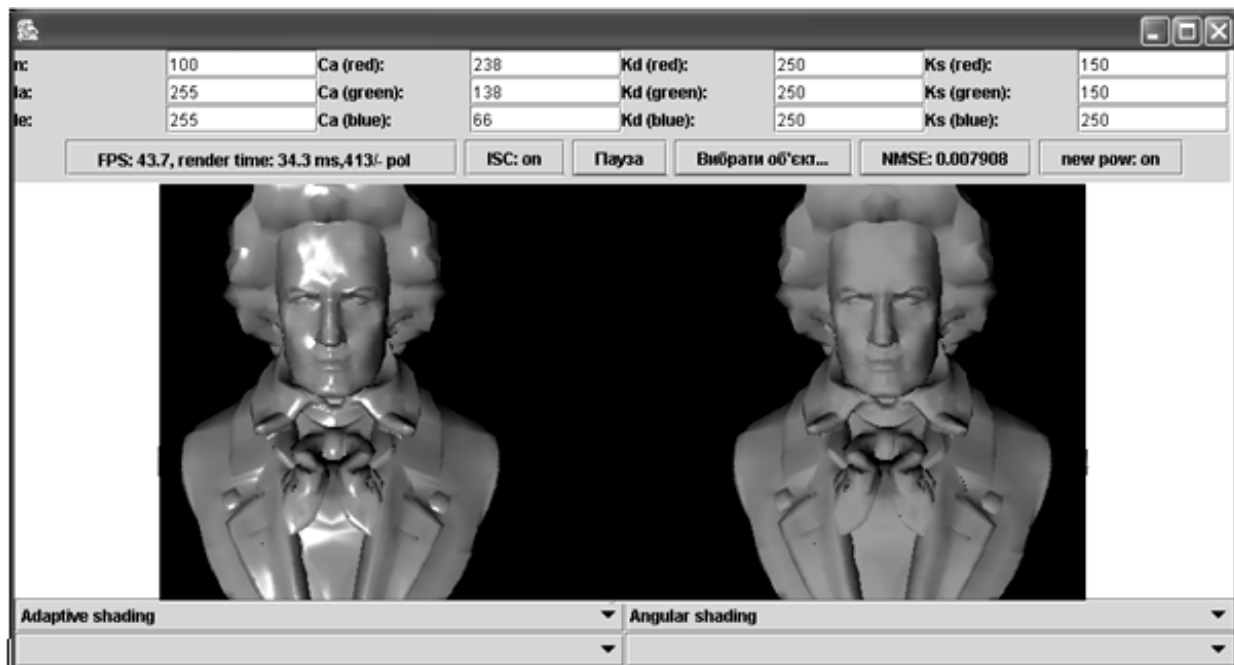


Рис. 1. Інтерфейс користувача програми для моделювання та тестування методів зафарбовування

Модуль програми тестування, що обраховує кількісну оцінку порівняння якості двох зображень, для обчислення нормованої середньоквадратичної похибки ( $NMSE$ ) використовує таку формулу:

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

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.

Розроблена комп'ютерна програма [4] виконує такі функції: формування 3D-об'єктів у статичному та динамічному режимах за вибраним методом зафарбовування; визначення за  $NMSE$  візуальних відмінностей між двома зображеннями, сформованими за різними методами; вибір для моделювання різних моделей освітлення, значень коефіцієнтів спекулярності, інтенсивностей розсіяного та точкового джерел світла, коефіцієнтів розсіяної, дифузної та спекулярної складових кольору; визначення часу формування графічних об'єктів у статичному режимі; визначення кількості кадрів у секунду при формуванні динамічних зображень із виділенням окремо часу, який витрачено на процедуру зафарбовування; визначення загальної кількості трикутників у триангуляційній сітці, якою задано графічний об'єкт; співвідношення між загальною кількістю трикутників і кількістю трикутників, в яких спостерігається відблиск або його частина.

## Висновки

Аналіз методів оцінки якості графічних зображень показав, що їх можна розділити на експертні та кількісні. Перші мають обмежене застосування, оскільки передбачають залучення експертів для оцінки якості зображення, що не завжди можливо через їх територіальну розосередженість. Крім того, при невеликій кількості експертів отримані оцінки не завжди об'єктивні.

Кількісні оцінки основані на по-піксельному або по-блоковому порівнянні зображень за деякими критеріями, серед яких найпоширенішими є середня абсолютна помилка ( $MAE$ ) та нормована середньоквадратична помилка ( $NMSE$ ).

Авторами розроблено програмний модуль з порівняльною оцінкою  $NMSE$ , який дозволяє оцінити як статичні, так і динамічні графічні зображення, сформовані засобами комп'ютерної графіки.

## Література

1. Монич Ю. И. Оценки качества для анализа цифровых изображений / Ю. И. Монич, В. В. Старовойтов // Государственное научное учреждение «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси» (ОИПИ НАН Беларуси), г. Минск, Беларусь, 2008. Режим доступа: [http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/ii/2008\\_4/-JournalAI\\_2008\\_4/Razdel4/14\\_Monich\\_Starovoytov.pdf](http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/ii/2008_4/-JournalAI_2008_4/Razdel4/14_Monich_Starovoytov.pdf)
2. Janssen T.J.W.M. Computational image quality / by Timotheus Johannes Wilhelmus Maria Janssen // Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 1999. — 30 p.
3. Kenney A. R. Moving Theory into Practice: Digital Imaging for Libraries and Archives / A. R. Kenney, O. Y. Rieger // RLG, 2000. Режим доступа: [http://library.nauu.kiev.ua/imark/tutorial-russian/tutorial\\_Russian.pdf](http://library.nauu.kiev.ua/imark/tutorial-russian/tutorial_Russian.pdf)
4. Романюк О. Н. Програмний модуль для формування тривимірних зображень і тестування процедур рендерингу / Романюк О. Н., Обідник М. Д., Гончарук О.П., Олійник С.В. // Сборник научных трудов «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте». / – Одесса: проект SWorld, 2010.