

Сергій ПАВЛОВ<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф.,  
Сергій РОМАНЮК<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
Наталія ТИТОВА<sup>2</sup>, д-р техн. наук, проф.,  
Вальдемар ВУЙЦІК<sup>3</sup>, д-р техн. наук, проф.,  
Олександр РОМАНЮК<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф.,  
Леонід КОВАЛЬ<sup>3</sup>, канд. техн. наук, доц.

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет, e-mail: psv@vntu.edu.ua, rom8591@gmail.com

<sup>2</sup>Національний університет «Одеська Політехніка», e-mail: romaniuk.s.o@op.edu.ua, tn.v.titova@gmail.com

<sup>3</sup>Люблінський технологічний університет, м. Люблін, Польща, e-mail: waldemar.wojcik@pollub.pl

## СИСТЕМА ФОРМУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ОБЛИЧЧЯ ЛЮДИНИ ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ

**Анотація.** Проведено експериментальні дослідження розроблених ДФВЗ, адаптивного методу зафарбовування обличчя людини. Отримані значення нормованих середньоквадратичних похибок показали, що розроблені моделі та методи забезпечують високу якість формування тривимірних зображень обличчя людини. Розроблено структурну схему системи формування тривимірних зображень кінцевої візуалізації для різних застосувань.

**Ключові слова:** 3D-зображення обличчя, пластична та реконструктивна медицина, відбивна здатність шкіри, морфінг, експрес-діагностування, морфологічний аналіз обличчя, медичні прилади і системи.

**Актуальність.** Тривимірні моделі обличчя людини є найреалістичнішими, відображають анатомічну структуру, точно передають рельєфні та кольорові особливості об'єкта, підлягають модифікації для зміни зовнішності. 3D-модель обличчя є багатofакторним джерелом інформації про пацієнта, дозволяє істотно знизити необхідний обсяг взаємодії з користувачем порівняно з існуючими методами.

Натурне тривимірне моделювання для задач пластичної та реконструктивної медицини є неприйнятним, оскільки отримана модель є суб'єктивною. В цьому випадку доцільно розробка біомедичних засобів, які дозволять розробити реалістичні об'єкти, які є адекватними реальним.

У багатьох випадках пластичні хірурги при плануванні хірургічних втручань покладаються на аналіз фотографій обличчя пацієнта [1, 2, 3]. Такий підхід має суттєві обмеження, обумовлені просторовими спотвореннями, неможливістю відтворити зовнішній вигляд пацієнта після хірургічного втручання. Невідповідність очікуваного розміру або форми може призвести до повторного хірургічного втручання. За світовою статистикою в 20..40 % випадків пацієнти не задоволені результатами пластичної операції. Цей ризик можна суттєво зменшити за рахунок попередньої розробки 3D-моделі обличчя, яку може оцінити пацієнт до і після операції і висловити свої побажання [4, 5]

**Метод.** Для оцінки продуктивності формування тривимірних зображень з використанням нових дистрибутивних функцій використовувалось кількість тактів процесора для виконання складових інструкцій.

Візуальну відмінність між двома зображеннями оцінювалось за нормованою середньоквадратичною похибкою (NMSE) [5, 6]:

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

де  $i$  – кількість складових пікселів графічного об'єкта;  $(R_1(i), G_1(i), B_1(i)), (R_2(i), G_2(i), B_2(i))$  – інтенсивності складових кольору  $i$ -го пікселя зображень для тестового (еталонного) та сформованого об'єкта зображень.

Якщо значення  $\leq 0,0001$ , то зображення візуально не відрізняються; якщо

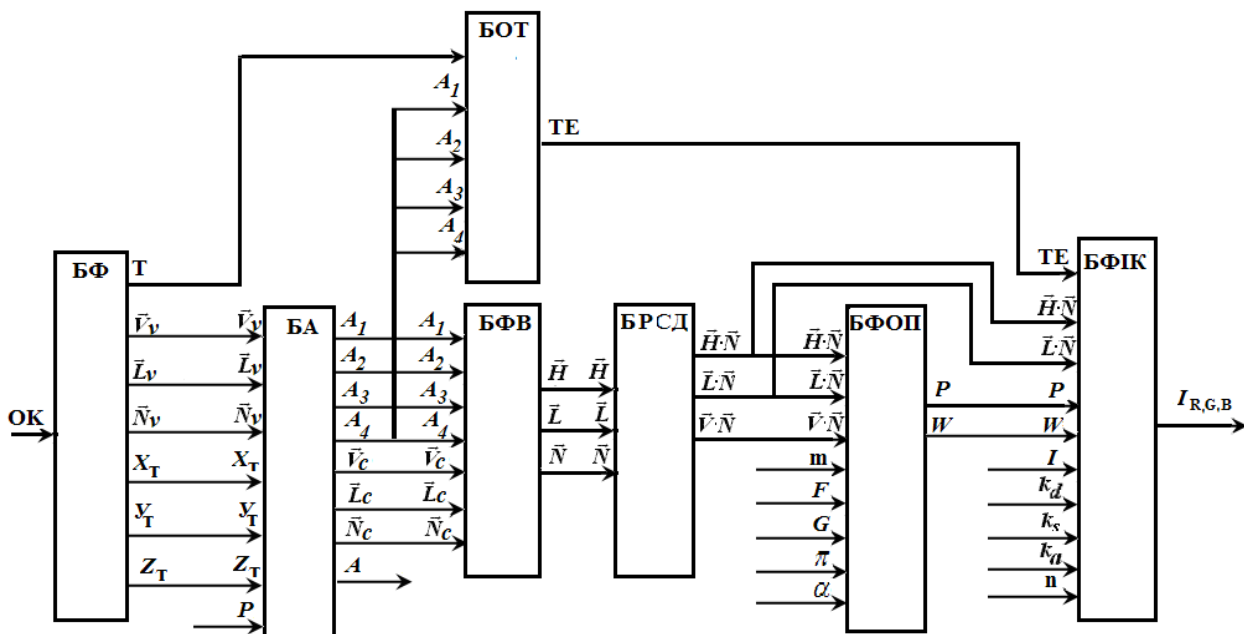
$0,0001 < NMSE \leq 0,00025$  то зображення мають несуттєві відмінності; якщо  $0,00025 < NMSE < 0,001$ , то зображення мають візуально помітні відмінності; якщо  $NMSE > 0,001$ , то має місце суттєва відмінність зображень [5].

Розширено функціональні можливості комп'ютерної програми для формування зображень 3D-об'єктів у статичному та динамічному режимах за рахунок інтеграції нових програмних модулів по візуалізації зображень облич.

Комп'ютерна програми виконує такі функції [5]: рендеринг 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; зміна інтенсивності джерел світла; реконструкція зображення обличчя людини; робота з текстурами [1, 2, 3], 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 мережі, якою задано графічний об'єкт.

**Реалізація, експериментальні дослідження.** Відповідно до теоретичних напрацювань було розроблено комп'ютерну систему формування зображень обличчя людини для планування операцій.

Система включає (рис. 1): блок фотометрії ФМ, адресний блок БА, блок формування векторів БФВ, блок розрахунку скалярних добутків БРСД, блок формування офсетних поверхонь БФОП, блок обробки текстур БОТ, блок формування інтенсивностей кольору БФІК.



**Рис. 1.** Структурна схема комп'ютерної системи формування тривимірних зображень обличчя людини

Блок фотометрії ФМ формує скелетну модель голови людини та вихідні текстури. Адресний блок БА виконує функції растеризатора трикутників і формує вектори нормалей до вершин. Блок формування векторів БФВ визначає значення одиничних векторів  $\vec{N}$ ,  $\vec{L}$ ,  $\vec{V}$ , на основі яких на виході блоку БРСД визначаються скалярні добутки  $\vec{N} \cdot \vec{L}$ ,  $\vec{N} \cdot \vec{V}$ ,  $\vec{L} \cdot \vec{V}$  для подальшого розрахунку фонові, дифузної та спекулярної складових кольору. Блок БФОП введено для формування офсетних поверхонь обличчя. Блок обробки текстур БОТ формує значення інтенсивностей кольору текстелів. Блок формування інтенсивностей кольору БФІК

визначає значення інтенсивності  $R$ ,  $G$ ,  $B$  складових кольору.

Блок формування інтенсивностей кольору БФК (рис. 2) включає в себе блок визначення дистрибутивної функції відбивної здатності поверхонь БВДФ, блок розрахунку дифузної складової кольору БРДС, блок розрахунку спекулярної складової кольору БРСС, блок розрахунку фонові складової кольору БРФС, блок розрахунку інтенсивностей кольору БРІК.

У блоці розрахунку дифузної складової кольору БРДС визначається значення  $I_d = k_d \cdot i_L \cdot \cos \theta = k_d \cdot i_L \cdot (\vec{N} \cdot \vec{L})$

У блоці розрахунку спекулярної складової кольору БРСС визначається спекулярна складова кольору за формулою:

$$I_s = i_L \cdot k_s \cdot \cos^n \gamma = i_L \cdot k_s \cdot (\vec{N} \cdot \vec{H})^n,$$

де  $I = i_L$  – інтенсивність спекулярної складової кольору.

У блоці розрахунку фонові складової кольору БРФС визначається фонові складова кольору за формулою

$$I_a = k_a \cdot I_a.$$

При необхідності внесення офсетних (мікрорельєфних) особливостей шкіри для розрахунку інтенсивностей дифузної та спекулярної складових кольору використовують параметри  $P$  і  $W$ .

При формуванні зображень облич найчастіше використовують текстури ТЕ, які поступають з блоку обробки текстур у блок формування інтенсивностей кольору БФК. У цьому випадку для визначення дифузної та спекулярної складових кольору використовують інтенсивності кольору текселів.

Розроблено панорамний тривимірний сканер (рис. 3), який включає спеціальні камери та інтегровані проектори для отримання точної 3D-моделі обличчя людини. Розроблене програмне забезпечення 3D реконструює 3D-модель обличчя, використовуючи отримані складові з урахуванням кольорів і текстур.

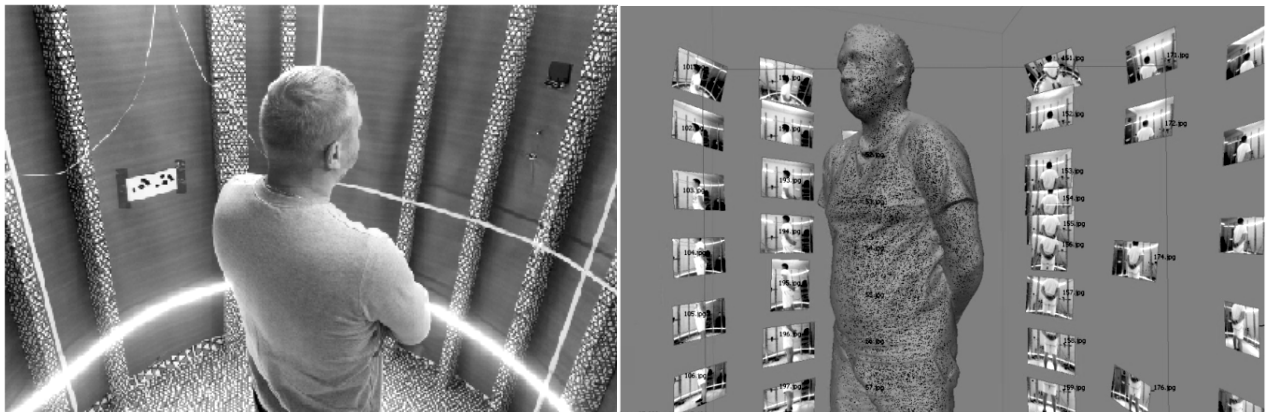


Рис. 3. Панорамний тривимірний сканер

Розроблені в роботі моделі, методи та засоби дозволяють підвищити ефективність

проведення пластичних і реконструктивних операцій за рахунок високореалістичного, високопродуктивного відтворення обличчя людини.

### **Висновок**

Розглянуто практичну реалізацію запропонованих моделей і методів формування тривимірних зображень обличчя людини для медичних систем. Розроблено програмні засоби для моделювання та тестування розроблених методів зафарбовування тривимірних об'єктів із використанням графічного конвеєра та різних моделей освітлення. Проведено експериментальні дослідження розроблених ДФВЗ, адаптивного методу зафарбовування обличчя людини. Отримані значення нормованих середньоквадратичних похибок показали, що розроблені моделі та методи забезпечують високу якість формування тривимірних зображень обличчя людини. Розроблено структурну схему системи формування тривимірних зображень кінцевої візуалізації для різних застосувань.

### **Література**

1. Д.С. Аветіков, В.М. Соколов, С.О. Ставицький, В.Д. Ахмеров, та О.П. Буханченко. *Пластична та реконструктивна хірургія*. Полтава: ТОВ «АСМІ», 2013.
2. ISAPS Global Statistics. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.surgery.org/media/statistics>. Дата звернення: Грудень, 2018.
3. S.O. Romanyuk, “Approximation of bidirectional reflectance distribution function for highly efficient shading”, in Monography *Information Technology in Medical Diagnostics*, W. Wójcik and A. Smolarz, London: England: CRC Press, 2017, chapter 2, pp. 27–49. doi:10.1201/9781315098050.
4. A. Maier, S. Steidl, V. Christlein, and J. Hornegger. *Medical Imaging Systems*, Erlangen-Nürnberg, Germany: Springer, 2016.
5. S.O. Romanyuk, “Approximation of bidirectional reflectance distribution function for highly efficient shading”, in Monography *Information Technology in Medical Diagnostics*, W. Wójcik and A. Smolarz, London: England: CRC Press, 2017, chapter 2, pp. 27–49. doi:10.1201/9781315098050.
6. S.O. Romanyuk, O. N. Romanyuk, S. V. Pavlov, O. V. Melnyk, A. Smolarz, and, M Bazarova, “Method of anti-aliasing with the use of the new pixel model”, *Proc. SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications*, 2015. doi: 10.1117/12.2229013.
7. S.O. Romanyuk., S.V. Pavlov, and O.V. Melnyk, “New method to control color intensity for antialiasing”, in *International Siberian Conference on Control and Communications SIBCON*, 2015. doi: 10.1109/sibcon.2015.7147194.
8. S.O. Romanyuk, O.G. Avrunin, M.Y. Tymkovych, S.P. Moskovko, A. Kotyra, and S. Smailova, “Using a priori data for segmentation anatomical structures of the brain”, *Przegląd Elektrotechniczny*, Vol. 93, Issue 5, pp. 102–105, 2017. doi: 10.15199/48.2017.05.20.
9. S.O. Romanyuk, S.I. Vyatkin, O.N. Romanyuk, and A. Smolarz, “Texturing method of the full pixel dynamic range”, *Proc. SPIE*, Vol. 10808, 2018. doi: 10.1117/12.2500789.
10. Wójcik, W., Pavlov, S., Kalimoldayev, M. (2019). *Information Technology in Medical Diagnostics II*. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. pp. 336.
11. Pavlov S.V. *Information Technology in Medical Diagnostics* // Waldemar Wójcik, Andrzej Smolarz, July 11, 2017 by CRC Press. pp. 210.