
СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

УДК 615.47: 616–072.7

С.О. РОМАНЮК, С.В. ПАВЛОВ, Н.В. ТІТОВА, Л.Г. КОВАЛЬ

ВИКОРИСТАННЯ ГРАФІЧНИХ 3D-ЗОБРАЖЕНЬ ОБЛИЧЬ ДЛЯ ЕКСПРЕС-ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ПОБУДОВИ БІОМЕДИЧНИХ ЗАСОБІВ

*Національний університет «Одеська Політехніка»
Вінницький національний технічний університет, [Вінниця, e-mail: psv@vntu.edu.ua](mailto:psv@vntu.edu.ua)*

Анотація. У статті розглянуто використання графічних зображень для експрес-діагностування та побудови біомедичних програмних засобів. Визначено діагностичні ознаки морфологічного аналізу зображень обличчя людини для проведення пластичних і реконструктивних операцій. Розглянуто використання 3D-зображень для діагностики генетичних захворювань. Розроблено рекомендації по використанню тривимірного моделювання в цій галузі. Запропоновано використання морфінгу 3D-зображень обличчя людини для задач діагностики. Запропоновано метод аналізу відповідності вікових змін розвитку дитини встановленим нормам на основі використання морфінгу зображень, що дає можливість підвищити оперативність експрес – діагностування.

Визначено основні вимоги до побудови програмних аналогів біомедичних приладів з використанням 3-D моделей, що є основою для побудови комп'ютеризованих сучасних біомедичних приладів і систем.

Ключові слова: графічні зображення, 3-D моделі, морфінг 3D-зображень, експрес – діагностування, пластичні і реконструктивні операції.

Abstract. The article discusses the use of graphic images for rapid diagnosis and the construction of biomedical software. Diagnostic features of morphological analysis of images of the human face for plastic and reconstructive operations are determined. The use of 3D images for the diagnosis of genetic diseases is considered. Recommendations for the use of three-dimensional modeling in this field have been developed. The use of morphing of 3D images of the human face for diagnostic tasks is proposed. A method of analyzing the compliance of age-related changes in the child's development with established norms based on the use of image morphing is proposed, which makes it possible to increase the efficiency of express diagnosis. The main requirements for the construction of software analogs of biomedical devices using 3-D models are defined, which is the basis for the construction of computerized modern biomedical devices and systems.

Keywords: graphic images, 3-D models, 3D-image morphing, express diagnosis, plastic and reconstructive operations.

DOI:10.31649/1681-7893-2021-42-2-12-20

ВСТУП

Лице людини визначає її привабливість людини та є основним засобом ідентифікації і невербальної комунікації. Травми обличчя відносяться до найпоширеніших пошкоджень з постійною тенденцією до зростання [1]. Число пошкоджень за останнє десятиліття зросло в 2,4 рази. Це обумовлює зростання ролі пластичної та реконструктивної медицини. За статистикою [2], щорічно в світі проводиться біля 18 млн. пластичних операцій.

Враховуючи збереження динаміки травматизму актуальними є питання покращення діагностування, підвищення ефективності проведення пластичних і реконструктивної операцій.

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

Підвищення рівня проведення та планування реконструктивних і пластичних операцій пов'язують з використанням тривимірного моделювання [3, 4, 5].

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 багатофакторним 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 [6, 7, 8]. 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 [9, 10, 11]

Моделювання кінцевого результату пластичної операції до її проведення дасть можливість пацієнту уточнити вимоги по зміні своєї зовнішності, а пластичному хірургу - краще зрозуміти побажання пацієнта. У свою чергу, використання тривимірних зображень обличчя дозволяє хірургу не тільки краще підготуватися до хірургічного втручання, але і зробити його менш інвазивним і небезпечним для пацієнта, а також знизити ймовірність ускладнень.

У медичній практиці тривимірна модель зображення обличчя має характерну відмінність від інших застосувань, оскільки вона є об'єктом дослідження для діагностики [1, 3, 12, 13], а тому повинна бути точною та надавати можливість для отримання різних метрик. У цьому випадку поєднання антропометричних даних з іншими методами досліджень дозволяє в значній мірі уточнити діагноз. Сьогодні на основі аналізу співвідношень різних ділянок обличчя можна діагностувати багато генетичних захворювань [14, 15].

Важливою задачею є розробка на основі тривимірних моделей обличчя діагностичних ознак для проведення пластичних і реконструктивних операцій. Для цього необхідна розробка засобів для достовірних вимірів криволінійних профілів, необхідних кутів анатомічних елементів, аналізу виділених ділянок обличчя.

МЕТОД

Для реалізації морфінгу зображення обличчя людини важлива адаптивна зміна густини триангуляційної мережі. При цьому важливо досягти збалансованої завантаженості відеокарти. Це можливо реалізувати шляхом поділу трикутників на складові приблизно однакової площі, які визначають кількість пікселів.

Розглянемо прості з обчислювальної точки зору процедури розбиття трикутника на складові (рисунок 1). Якщо у трикутнику вибрати внутрішню точку з координатами $x = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3}$,

$y = \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3}$ (рисунок 1, а) і з'єднати отриману точку з вершинами трикутника, то утворюється три

трикутники однакової площею. Дійсно площі $\Delta P_1 P_2 O$, $\Delta P_2 P_3 O$, $\Delta P_3 P_1 O$ мають такі значення:

$$S_1 = \frac{1}{2} \left(x_1 y_2 + y_1 \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3} + x_2 \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3} - y_2 \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3} - x_2 \cdot y_1 - x_1 \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3} \right),$$

$$S_1 = (x_1 y_2 - x_1 y_3 - x_2 y_1 + x_2 y_3 + x_3 \cdot y_1 - x_3 y_2) / 6 ;$$

$$S_2 = \frac{1}{2} \left(x_2 y_3 + y_2 \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3} + x_3 \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3} - y_3 \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3} - x_3 \cdot y_2 - x_2 \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3} \right),$$

$$S_2 = (x_1 y_2 - x_1 y_3 - x_2 y_1 + x_2 y_3 + x_3 \cdot y_1 - x_3 y_2) / 6 ;$$

**СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ
З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ**

$$S_3 = \frac{1}{2} \left(x_3 y_1 + y_3 \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3} + x_1 \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3} - y_1 \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3} - x_1 \cdot y_3 - x_3 \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3} \right),$$

$$S_3 = (x_1 y_2 - x_1 y_3 - x_2 y_1 + x_2 y_3 + x_3 \cdot y_1 - x_3 y_2) / 6.$$

З наведених формул видно, що площі складових трикутників рівні.

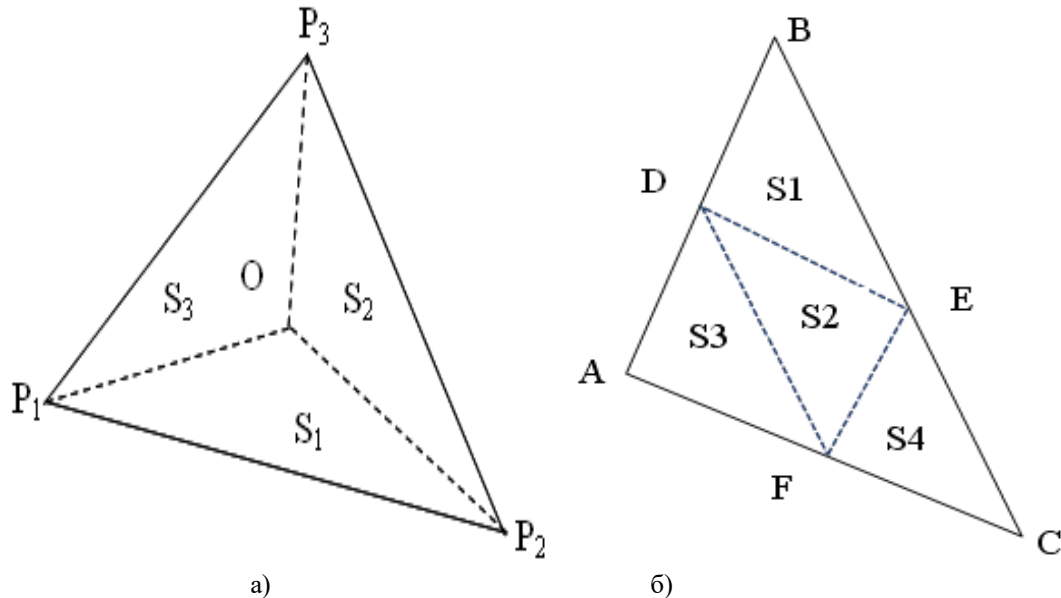


Рисунок 1 – Розбиття трикутника на складові

Якщо трикутник розбити на чотири (рисунок 1,б), які утворюються шляхом поділу ребер трикутника пополам, то отримані трикутники однакової площі. Важливо, що для отриманих трикутників легко визначити вектори до вершин.

Наведені пропозиції по використанню морфінгу зображень обличчя людини можуть бути використанні в медичній діагностиці та планування і проведення пластичних операцій.

**ДІАГНОСТИЧНІ ОЗНАКИ МОРФОЛОГІЧНОГО АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕНЬ ОБЛИЧЧЯ ЛЮДИНИ
ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПЛАСТИЧНИХ І РЕКОНСТРУКТИВНИХ ОПЕРАЦІЙ.**

При плануванні та проведенні пластичних операцій часто використовують методику оцінки співвідношень ділянок обличчя [1, 12]. Використовуючи її, пластичний хірург зможе домогтися оптимального естетичного результату пластики та задовольнити потреби пацієнта.

У роботі на основі аналізу літератури [16, 17], консультацій з пластичними хірургами розроблено рекомендації [16] щодо встановлення оптимальних співвідношень ділянок обличчя та голови для експрес-аналізу.

У дисертаційній роботі розроблено програму фотометричного аналізу зображень обличчя для задач пластичної хірургії.

Для визначення співвідношень ділянок обличчя за Н. S. Byrd [11, 12] використовуються такі точки обличчя: глabella - G, корінь носа R, кінчик носа O, ментон S_m , а також стоміон - S. Ці точки відображені на рисунку 2.

Використовуючи ці точки визначають такі параметри:

- від точки G до АВР - висота середньої зони обличчя (MFH);
- від АВР до SM- висота нижньої зони обличчя (LFH);
- від точки R до Т - проекція кінчика носа;
- від точки S до S_m - відстань від стоміона до ментона (SMe);
- від СР до РР - проекція кореня носа;
- від АСJ до ТР - проекція кінчика носа;
- від найбільш передньої точки підборіддя до NLCP - проекції підборіддя.

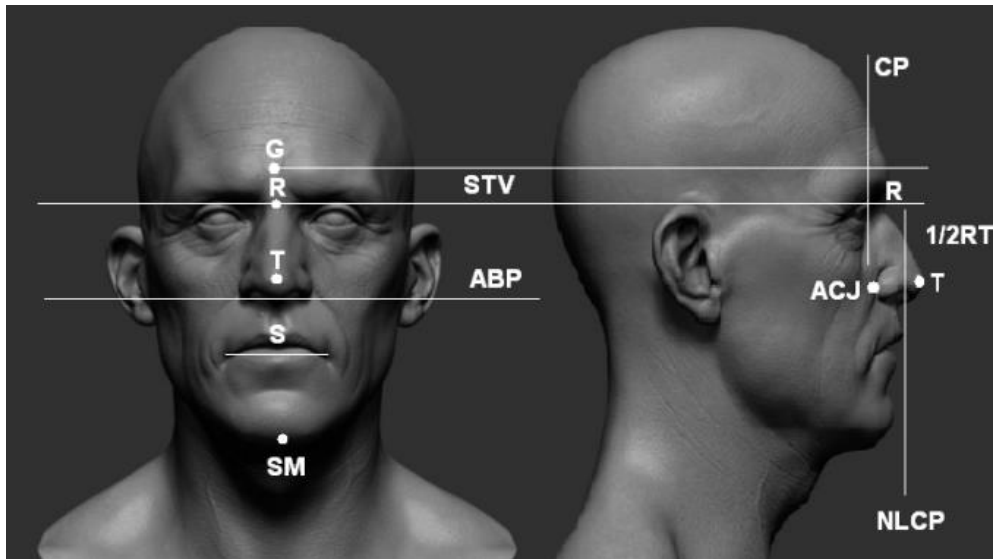


Рисунок 2 – Базові точки обличчя людини

Вважаються оптимальними такі співвідношення.

1. значення $LFH - MFH \leq 3i \text{ } \grave{\text{a}}$;
2. ідеальна проекція кінчика носа повинна рівнятися $0,67 RTi$;
3. ідеальна проекція кореня носа повинна рівнятися $0,28 RTi$;
4. ідеальна довжина носа RTi може відрізнятись від наявної довжини носа RT , якщо середня частина обличчя дорівнює нижній частині $RTi = SM$;
5. проекція підборіддя повинна бути на рівні $NLCP$ у чоловіків і на 3 мм ззаду від неї у жінок.

Розбиття обличчя на ділянки з вказівкою співвідношень зображено на рисунку 3.

Для пластичного хірурга важливо провести детальний аналіз обличчя людини на предмет відповідності реального обличчя «ідеальному» [17].

У таблиці 1 наведено оптимальні співвідношення ділянок обличчя людини, які можна використати для планування пластичних операцій, зокрема, для ринопластики.

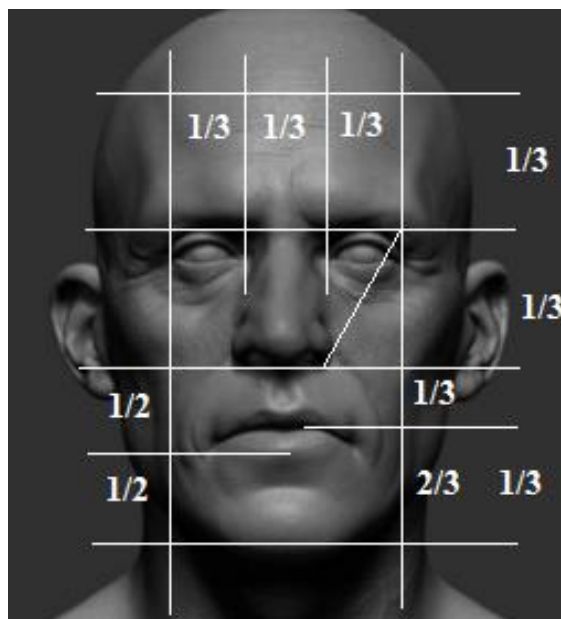


Рисунок 3 – Розбиття обличчя на ділянки

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ ФОРМУВАННЯ ТРИВИМІРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ОБЛИЧЬ ЛЮДЕЙ У БІОМЕДИЧНИХ СИСТЕМАХ

На рисунку 4 наведено об'єктно-орієнтовану модель програмного модуля для формування зображень обличчя людини.

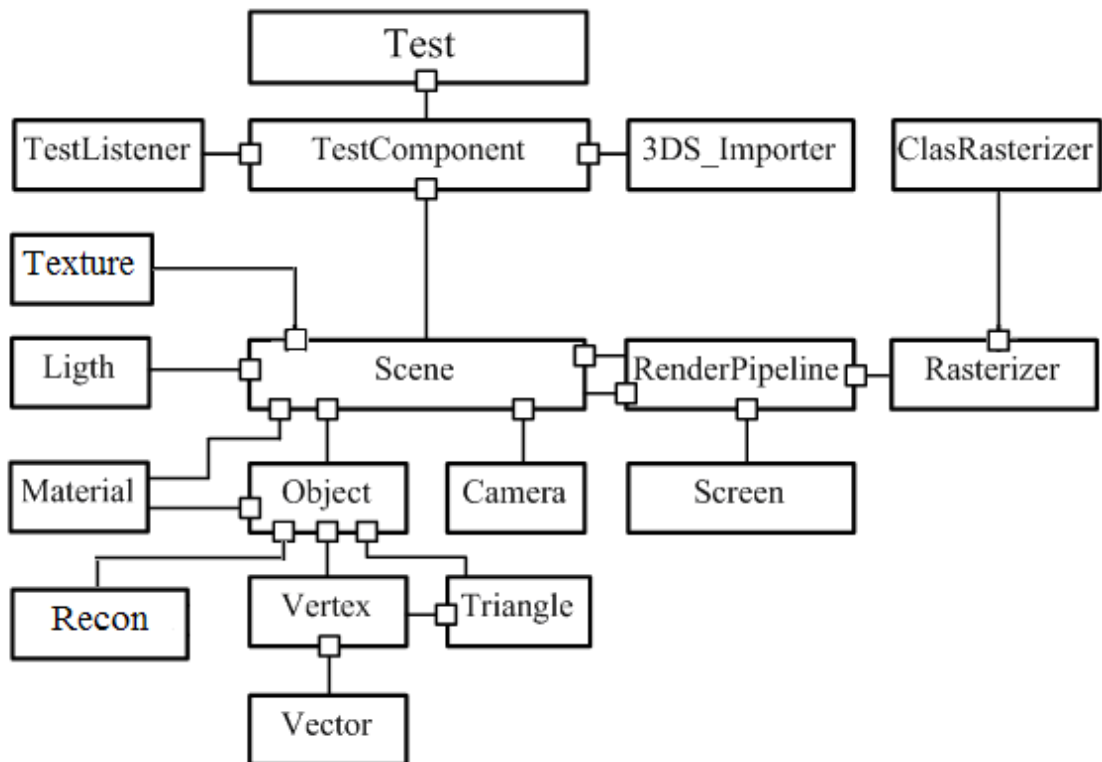


Рисунок 4 – Об'єктно-орієнтована модель програмного модуля для формування зображень обличчя людини.

Графічний конверс в програмі включає: етап геометричних перетворень, де над об'єктом виконують афінні та видові перетворення, що дозволяє здійснювати переміщення об'єкта в просторі; етап рендерингу, на якому виконується видалення невидимих поверхонь за методом z-буфера та зафарбовування об'єкта згідно з обраним методом.

У програмному модулі використовуються такі класи: **Scene**- клас, що об'єднує всі об'єкти, що утворюють сцену; **TestComponent** – клас для завантаження файлів із об'єктами у програму, додавання в сцену джерела світла, реалізація перетворень об'єкта, що зафарбовується, встановлення кольорів складових поверхонь об'єкта, розрахунок нормованої середньоквадратичної похибок; визначення часу зафарбовування об'єкта; **Test** - інтегральний клас програмного модулю. Реалізує загальний інтерфейс користувача; **TestListener** – клас, який керує компонентами рендерингу; **Light** – клас, який визначає позицію джерел світла та їх інтенсивності; **Camera** – клас, який визначає позицію спостерігача в об'єктному просторі; **Vertex** – клас, який визначає адреси вершин трикутників і вектори до них; **Triangle** – клас, який визначає геометрію складових трикутників полігональної моделі; **Screen**- клас, що забезпечує формування екран – бітової площини, на яку виводиться сформоване графічне зображення після рендерингу; **Object** – клас, що реалізує для полігональної моделі базові функції для просторових перетворень об'єкта (поворот, паралельне переміщення, масштабування), функції створення об'єкта та імпортування об'єкту; **Rasterizer** – клас, що реалізуються основні методи зафарбовування об'єкта; **RenderPipeline** – клас, який здійснює рендеринг рядків растеризації; **Rasterizer** – клас, який керує зафарбовуванням одного трикутника; **3ds Importer** – клас завантаження об'єкта з файлу; **Material** – клас, який визначає матеріал, з якого виготовлено об'єкт, його оптичні властивості та коефіцієнт спекулярності; **Texture** – клас для обробки текстур; **TestComponent** - клас, який керує відображенням сцени, яку згенеровано на етапі кінцевої візуалізації; **Recon** – клас для реконструкції об'єкта.

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ 3D-МОДЕЛЕЙ

Розроблено комп'ютерну програму [11, 12] для реконструкції 3D-моделей, зокрема, обличчя людини. Програма посіла 2 місце на Міжнародному конкурсі «Золотий байт» у 2016 році в номінації програмних проєктів STARTUP CHALLENGE. На рисунку 5 зображено UML-діаграму програмного модулю реконструкції 3D-моделей



Рисунок 5 – UML-діаграма програмного модулю реконструкції 3D-моделей

У програмі формується карта глибини точок (карта висот) на основі хмари точок, отриманих від стереозображення.

Для роботи програмного засобу реконструкції вводиться стереозображення. У подальшому здійснюється первинний аналіз, пошук точкової відповідності для кожного пікселя,

Основними функціями модулю пошуку фундаментальної матриці (FM) є:

- знаходження епіполісів за схемою найменших квадратів;
- параметризація FM;
- мінімізація FM;
- збереження FM для подальшої обробки.

Після визначення фундаментальної матриці виконується формування скелетної моделі на основі триангуляції [16]. Основними функціями модулю триангуляції є: знаходження центру проєкцій; параметризація епіполісних ліній; формування складових трикутників; збереження триангульованного стереозображення для подальшої обробки.

На підставі триангульованого зображення виконується пошук відповідностей та полярна ратифікація. За пошук відповідностей відповідає модуль пошуку відповідностей. Основними функціями модулю пошуку відповідності є: вибір проєктного перетворення; вирівнювання епіполісних ліній триангульованного стереозображення; створення текстурної карти зсуву; збереження текстурної карти зсуву для подальшої обробки.

За виконання полярної ратифікації відповідає модуль полярної ратифікації, основними функціями якого є: визначення ділянки зображення; визначення відстані між епіполісними лініями триангульованного стереозображення; перевірка на відповідність; отримання інформації про первісне зображення; збереження інформації про первісне зображення для подальшої обробки.

На підставі знаходження відповідностей та полярної ратифікації формують фінальну 3D-модель. За це відповідає модуль візуалізації. Основними функціями модулю візуалізації є: отримання даних з попередніх етапів; пошук відповідностей; візуалізація результатів на основі пошуку відповідностей; суміщення результатів пошуку відповідностей та полярної ратифікації; оптимізація кількості точок; шейдинг.

Інтерфейс програми наведено на рисунку 6. Дану програму була розроблено за допомогою графічного інтерфейсу Windows Forms, який є інтерфейсом програмування додатків (API),

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

відповідальний за графічний інтерфейс користувача і є частиною Microsoft .NET Framework. Даний інтерфейс спрощує доступ до елементів інтерфейсу Microsoft Windows за допомогою створення обгортки для Win32 API в керованому коді.

Після завантаження зображень обличчя у профіль і анфас необхідно розставити реперні точки. Для того, щоб провести відрізок прямої між двома реперними точками потрібно у першій реперній точці затиснути ліву кнопку миші та переміщати курсор до другої реперної точки, після чого потрібно відпустити кнопку миші. На зображенні буде намальований відрізок прямої, що з'єднає між собою виділені точки.

Після того як усі реперні точки та лінії на усіх фотографіях задано можна дізнатись результат тестування натиснувши на кнопку «Результат».

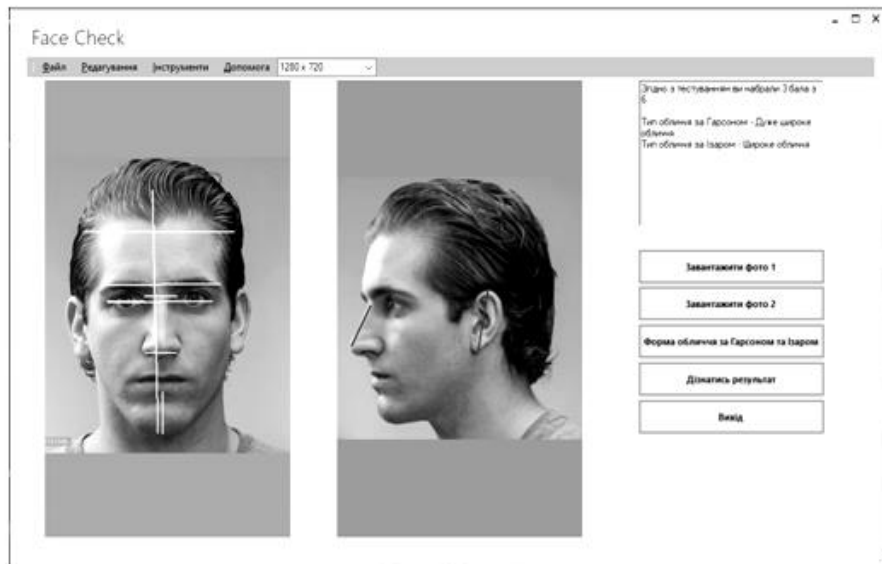


Рисунок 6 – Зовнішній вигляд інтерфейсу програми

У програмі форму обличчя за Гарсоном [108] визначають відповідно до співвідношення:

$$\frac{\text{Морфологічна висота обличчя}}{\text{Ширина обличчя в ділянці виличних дуг}} \cdot 100$$

Основні показники форми обличчя за Гарсоном наведено в таблиці 1.

У програмі форму обличчя можна визначити також за допомогою індексу за Ізаром (IFM) [108] - індекс фаціальний морфологічний.

Таблиця 1

Форма обличчя за Гарсоном

Дуже вузьке обличчя (гіперлептопросоп)	Індекс 93,0 і більше
Вузьке обличчя (лептопросоп)	Індекс 88,0-92,9
Обличчя середньої ширини (мезопросоп)	Індекс 84,0-87,9
Широке обличчя еуріпросоп)	Індекс 79,0 83,9
Дуже широке обличчя (гіпереуріпросоп)	Індекс 78,9 і менше

Довжину обличчя визначають від точки oph до gn , ширину обличчя між zy - zy у мм.

$$IFM = \frac{Oph - gn}{zy - zy} \cdot 100\%$$

Величина індексу 104 і більше характеризує вузьке обличчя, від 97 до 103 — середнє, 96 і менше — широке обличчя.

Для розробки програмного модулю для експрес-діагностики на основі тривимірної моделі обличчя було використано OBJ формат вхідного файлу. Це файл опису геометричних побудов є

“СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

відкритим і прийнятим розробниками 3D графіки. Формат експортується та імпортується в поширені пакети прикладних програм, зокрема, 3ds Max, Maya, Blender та інші.

ВИСНОВКИ

У статті розглянуто використання графічних зображень для експрес-діагностування та побудови біомедичних програмних засобів. Визначено діагностичні ознаки морфологічного аналізу зображень обличчя людини для проведення пластичних і реконструктивних операцій. Розглянуто використання 3D-зображень для діагностики генетичних захворювань. Розроблено рекомендації по використанню тривимірного моделювання в цій галузі. Запропоновано використання морфінгу 3D-зображень обличчя людини для задач діагностики. Запропоновано метод аналізу відповідності вікових змін розвитку дитини встановленим нормам на основі використання морфінгу зображень, що дає можливість підвищити оперативність експрес-діагностування.

Визначено основні вимоги до побудови програмних аналогів біомедичних приладів з використанням 3-D моделей, що є основою для побудови комп'ютеризованих сучасних біомедичних приладів і систем.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Башков Е. А., “Методы и алгоритмы реального времени для поиска, генерации, 3-D реконструкции и моделирования изображений сложных объектов”, *Известия ТРТУ*, № 1, 2005. С. 70-74,
2. Хлебников В.В., и Юров А.А., “Моделирование реалистичных изображений объектов, используя различные алгоритмы расчета освещенности”, *Вестник ТГУ*, т.15, вып.2, 2010. С. 732-735,
3. Akenine-Möller T., Haines E., Hoffman N., *Real-Time Rendering*, Publisher: A K Peters/CRC Press, 2018.
4. Montes Rosana, and Urena Carlos, “An Overview of BRDF Models”, *Report LSI*. 2012 26 p., .
5. Романюк С.О., Павлов С.В. та Абрамчук І.В., “Модель для відтворення спекулярної складової кольору при формуванні високореалістичних біомедичних зображень”, *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах* №3, 2016. С. 161-167,.
6. Зуев А.А. “Алгоритм расчета освещения сцен трехмерной графики в реальном масштабе времени”, *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*, №9, с. 46-51, 2006.
7. Романюк С.О., Павлов С.В., та Нечипорук М.Л., “Адаптивне визначення дифузної та спекулярної складових кольору для рендерингу зображень обличчя при плануванні пластичних операцій”, *Scientific Journal «ScienceRise* №8 (49), 2018. С. 24-28,
8. Романюк О. Н., “Класифікація дистрибутивних функцій відбивної здатності поверхні”, *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Інформатика, кібернетика і обчислювальна техніка»*, Випуск 9 (132), 2008. С. 145-151,
9. Romanyuk S. O., “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.
10. Romanyuk S. O., Romanyuk O. N., . Pavlov S. V, Melnyk O. V., and etc. “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.
11. Romanyuk S. O., Pavlov S. V., and Melnyk O. V., “New method to control color intensity for antialiasing”, in *International Siberian Conference on Control and Communications SIBCON*, 2015. doi: 10.1109/sibcon.2015.7147194.
12. Romanyuk S. O., Avrunin O. G., Tymkovich M. Y., and etc. “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.
13. Erian A. and Shiffman. M. *Advanced Surgical Facial Rejuvenation*, Berlin, Deutschland: Springer, 2012.
14. Milutinovic J., Zelic K., and etc. “Nedeljkovic Evaluation of Facial Beauty Using Anthropometric Proportions”, *The Scientific World Journal*, №2, 2014, pp. 106-113.
15. Халилова Н. Г, Зенин О.К. Вовк Ю.Н., и Генбач И.О. “Количественные параметры фронтальной нормы лица девушек украинок”, *Український морфологічний альманах*, Том 9, 2011. С. 74-76.
16. Бини В., “Эстетический анализ челюстно-лицевой области с использованием 3D- технологий”, *Современная ортодонтия*, №01 (35), 2014. С. 26-28,.
17. Бюкинг В., “Анализ профиля лица” [електронний ресурс]. Доступно: <http://dentaltechnic.info/index.php/obshie-voprosy/> Дата обращения: Янв., 2017.

**“СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ
З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ**

REFERENCES

1. Bashkov E. A., “Real-time methods and algorithms for searching, generating, 3-D reconstruction and modeling of images of complex objects”, *Izvestiya TSURE*, No. 1, 2005. P. 70-74,
2. Khlebnikov V.V., and Yurov A.A., “Modeling realistic images of objects using various algorithms for calculating illumination”, *Bulletin of TRTU*, V.15, issue 2, 2010. P. 732-735,.
3. Akenine-Möller T., Haines E., Hoffman N., *Real-Time Rendering*, Publisher: A K Peters/CRC Press, 2018.
4. Montes Rosana, and Urena Carlos, “An Overview of BRDF Models”, *Report LSI*. 26 p., 2012.
5. Romanyuk S.O., Pavlov S.V. and Abramchuk I.V., "A model for reproducing the specular component of color in the formation of highly realistic biomedical images", *Measuring and computing technology in technological processes* No. 3, 2016. P. 161-167,
6. Zuev A.A. "Algorithm for calculating scene illumination of three-dimensional graphics in real time", *Bulletin of NTU "Kharkiv Polytechnic Institute"*, No. 9, 2006. P. 46-51,
7. Romanyuk S.O., Pavlov S.V., and Nechiporuk M.L., "Adaptive determination of diffuse and specular component colors for rendering of face images when planning plastic surgery", *Scientific journal "ScienceRise"* No. 8 (49), 2018. P. 24-28,
8. Romanyuk O. N., "Classification of distribution functions of surface reflectivity", Scientific works of Donetsk National Technical University. Series "Informatics, Cybernetics and Computer Engineering", Issue 9 (132), 2008. P. 145-151,
9. Romanyuk S. O., “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.
10. Romanyuk S. O., Romanyuk O. N., . Pavlov S. V, Melnyk O. V., and etc. “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.
11. Romanyuk S. O., Pavlov S. V., and Melnyk O. V., “New method to control color intensity for antialiasing”, in *International Siberian Conference on Control and Communications SIBCON*, 2015. doi: 10.1109/sibcon.2015.7147194.
12. Romanyuk S. O., Avrunin O. G., Tymkovych M. Y., and etc. “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.
13. Erian A. and Shiffman. M. *Advanced Surgical Facial Rejuvenation*, Berlin, Deutschland: Springer, 2012.
14. Milutinovic J., Zelic K., and etc. “Nedeljkovic Evaluation of Facial Beauty Using Anthropometric Proportions”, *The Scientific World Journal*, №2, 2014, P. 106-113.
15. Khalilova N. G., Zenin O. K. Vovk Y.N., i. Genbach I.O. "Quantitative parameters of the frontal norm of the face of Ukrainian girls", *Ukrainian morphological almanac*, Volume 9, 2011. C. 74-76.
16. Byny V., "Esthetic analysis of the maxillofacial region using 3D technologies", *Modern Orthodontics*, No. 01 (35), 2014. P. 26-28.
17. Byuking V., "Analysis of the face profile" [electronic resource]. Available: <http://dentaltechnic.info/index.php/obshie-voprosy/> Accessed: Jan., 2017.

РОМАНЮК СЕРГІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ – к.т.н., старший викладач кафедри біомедичної інженерії, Національний університет «Одеська Політехніка», Одеса, Україна, **[e-mail: rom8591@gmail.com](mailto:rom8591@gmail.com)**

ПАВЛОВ СЕРГІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ – д.т.н., професор кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна, **[e-mail: psv@vntu.edu.ua](mailto:psv@vntu.edu.ua)**

ТІТОВА НАТІЛІЯ ВОЛОДИМИРІВНА – д.т.н., професор, зав. кафедри біомедичної інженерії, Національний університет «Одеська Політехніка», Одеса, Україна, **[e-mail: tnv.titova@gmail.com](mailto:tnv.titova@gmail.com)**

КОВАЛЬ ЛЕОНІД ГРИГОРОВИЧ – д.т.н., професор кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна, **[e-mail: koval.l@vntu.edu.ua](mailto:koval.l@vntu.edu.ua)**