

РОМАНЮК С.О., ПАВЛОВ С.В., РОМАНЮК О.Н., ТІТОВА Н.В.

ІНТЕЛЕКТУАЛІЗОВАНІ ВИСОКОПРОДУКТИВНІ СИСТЕМИ ПЛАНУВАННЯ ПЛАСТИЧНИХ І РЕКОНСТРУКТИВНИХ ОПЕРАЦІЙ НА ОБЛИЧЧІ ЛЮДИНИ

¹Вінницький національний технічний університет

²Державний університет «Одеська Політехніка»
Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, Україна
Тел. (0432) 51-32-56, e-mail: psv@vntu.edu.ua

Анотація. В статті представлено реалізація перспективних інтелектуалізованих високопродуктивних систем планування пластичних і реконструктивних операцій, а саме: створення необхідних геометричних 3D моделей анатомічних ділянок пацієнта із заданою точністю та на їх основі мультимодальної діагностичної моделі за даними діагностики; візуалізація різних 3D моделей анатомічних ділянок пацієнта; створення гібридних 3D-моделей необхідних анатомічних елементів пацієнта із заданою точністю; синтез еталонного післяопераційного вигляду пацієнта та відповідних післяопераційних 3D моделей; створення гібридних мультимодальних (розрахункових) 3D-моделей необхідних анатомічних елементів для моделювання процесу оперативного втручання та післяопераційних змін у процесі одужання пацієнта параметрів пульсових хвиль для задач моніторингу стану судинного русла.

Ключові слова: тривимірні моделі, дифузна, спекулярна складові інтенсивності кольору, інтелектуалізована система комп'ютерного планування ринохірургічних втручань

Abstract. The article presents the implementation of promising intellectualized high-performance systems for planning plastic and reconstructive operations, namely: creating the necessary geometric 3D models of anatomical areas of the patient with a given accuracy and based on a multimodal diagnostic model according to diagnostics; visualization of various 3D models of anatomical areas of the patient; creation of hybrid 3D-models of necessary anatomical elements of the patient with the set accuracy; synthesis of the reference postoperative view of the patient and the corresponding postoperative 3D models; creation of hybrid multimodal (computational) 3D-models of necessary anatomical elements for modeling the process of surgical intervention and postoperative changes in the process of patient recovery parameters of pulse waves for tasks of monitoring of a condition of a vascular bed.

Keywords: three-dimensional models, diffuse, specular components of color intensity, intellectualized system of computer planning of rhinosurgical interventions

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. Підвищення рівня проведення та планування реконструктивних і пластичних операцій пов'язують з використанням тривимірного моделюванням [3]-[11].

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 [12], [13]. 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

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], [15], [16], 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.

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.

При формуванні кольорів для різних ділянок обличчя важливо реалістично відобразити дифузну, спекулярну складові інтенсивності кольору [17]-[20]. При цьому необхідно враховувати залежності коефіцієнтів відбиття від вікових змін людини, офсетну структуру поверхні обличчя. Важливою для планування та проведення пластичних і реконструктивних операцій є розробка фізично-коректних моделей відбивної здатності поверхні, які підвищують достовірність діагностування. Важливою вимогою до методів формування тривимірних зображень обличчя людини є висока продуктивність, яка повинна бути достатньою для підтримки динамічного та інтерактивного режимів.

Враховуючи вище викладене, **метою роботи** є підвищення ефективності проведення пластичних і реконструктивних операцій за рахунок високореалістичного, високопродуктивного відтворення обличчя людини новими моделями, методами та засобами.

РЕАЛІЗАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗОВАНИХ СИСТЕМ КОМП'ЮТЕРНОГО ПЛАНУВАННЯ РИНОХІРУРГІЧНИХ ВТРУЧАНЬ

Інтелектуалізована система комп'ютерного планування ринохірургічних втручань має виконувати дії, спрямовані на отримання даних анатомічних і функціональних

обстежень, аналіз результатів комплексного анатомо-функціонального картування, формування плану проведення оперативного втручання, прогнозування функціональних результатів, незалежну верифікацію та оцінку ефективності проведеного втручання.

На рис. 1 наведено узагальнену структурну схему системи комп'ютерного планування хірургічних втручань

До складу системи входять підсистеми реєстрації та зберігання вихідних діагностичних даних, підсистема обробки та аналізу даних, підсистема формування параметрів хірургічного впливу, а також підсистема візуалізації.

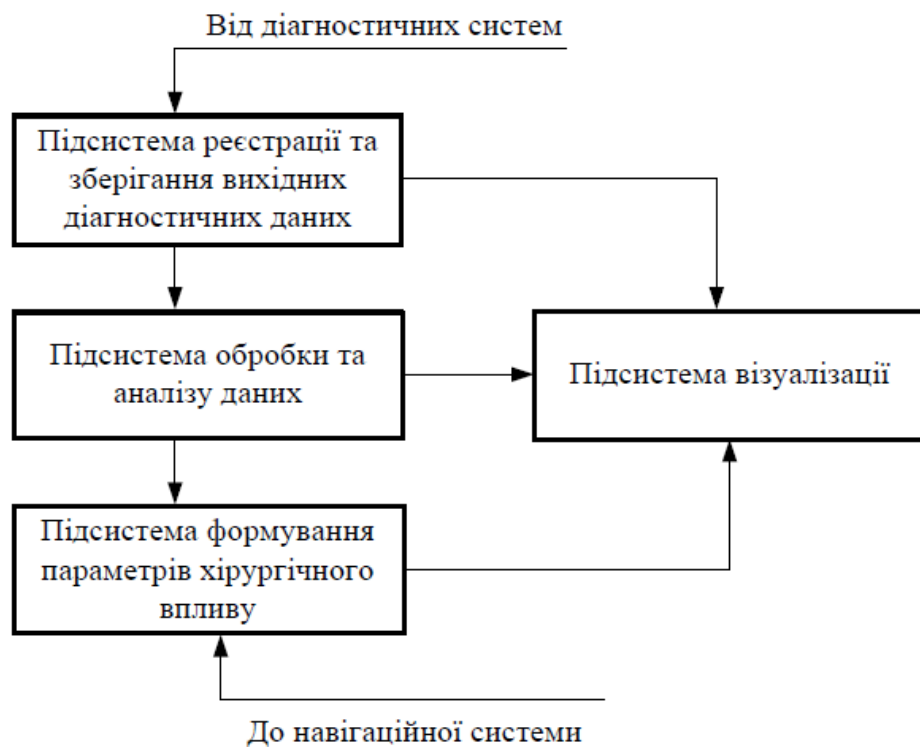


Рис. 1 – Узагальнена структурна схема системи комп'ютерного планування хірургічних втручань

У роботі [11] розроблено систему для динамічної зміни параметрів моделі, що важливо для проведення віртуальних операцій.

Система включає комплекс програм, що дозволяє формувати візуальні моделі, призначені для максимального наближення віртуальних експериментів, які виконуються над моделями досліджуваних об'єктів з можливістю інтерактивного зміни значень параметрів досліджуваних моделей, до реальних експериментів.

Система реалізує взаємопов'язані рівні: об'єктний, логічний і візуальний (рис. 2).

На об'єктному рівні реалізовані засоби інтеграції з реальним об'єктом і його комп'ютерна модель, представлена в форматі мови моделювання об'єктів, що допускають декомпозицію на компоненти з неоднорідними векторними зв'язками, що дозволяють реалізувати інформаційні потоки між компонентами системи.

На логічному рівні за допомогою виразів мови математико-алгоритмічних конструкцій формуються алгоритми виконання реально-віртуальних експериментів з використанням значень, що надходять з інформаційних джерел даних. Є можливість формування документів на основі інтерактивних звітних форм.

На візуальному рівні за допомогою візуальних компонентів формуються екранні вікна для візуалізації результатів і управління параметрами досліджуваних об'єктів і моделей.

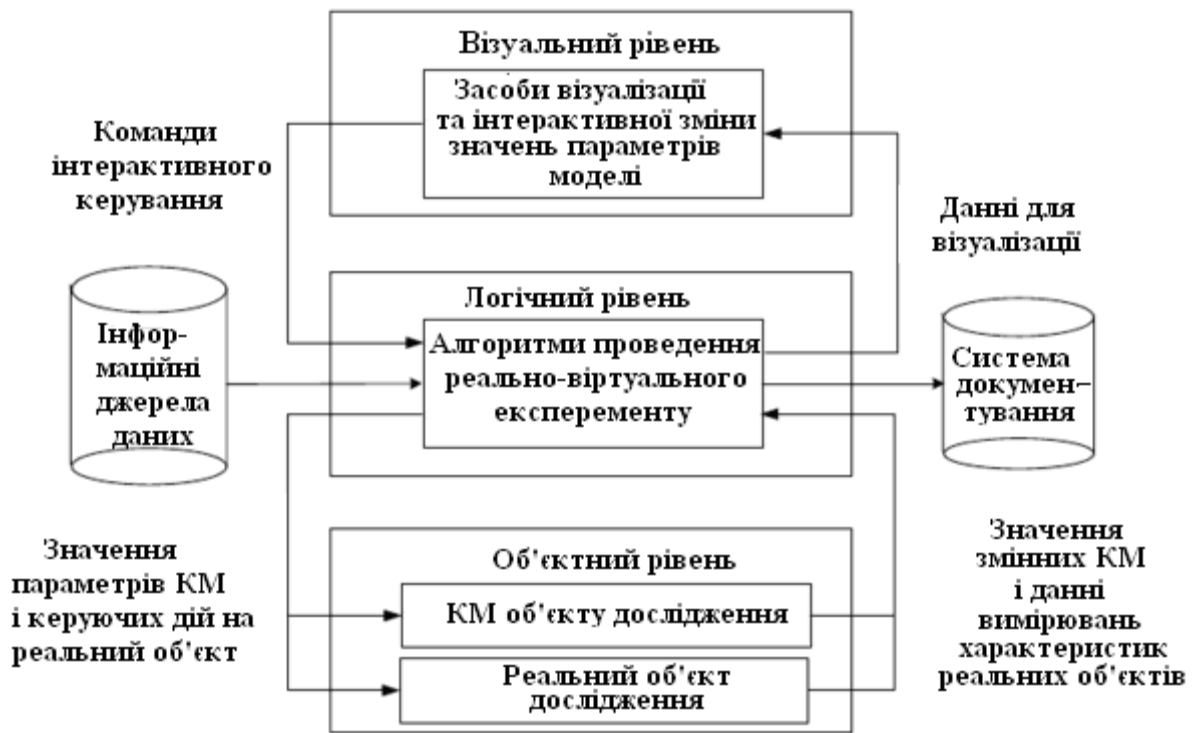


Рис. 2 – Взаємопов'язані рівні: об'єктний, логічний і візуальний

Розглянемо основні етапи [12], необхідні для реконструкції 3D-моделі зони інтересу, з її подальшим використанням для віртуального планування операції. На рис. 3 наведено структуру відповідної системи.

На першому етапі відбувається формування набору медичних зображень для оцифрування зони інтересів пацієнта. Для цього формують зображення з різних ракурсів.

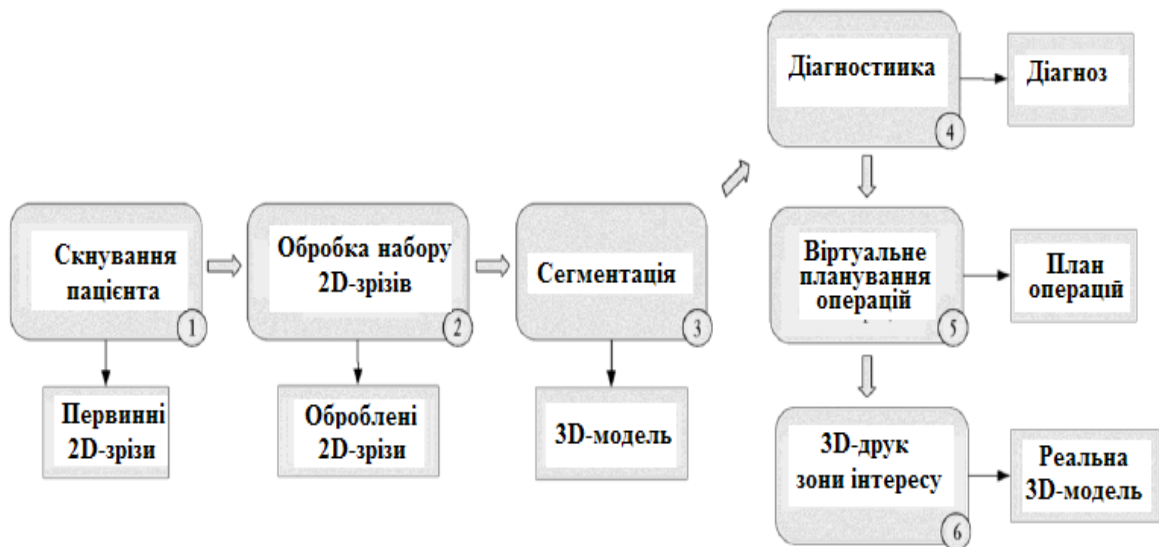


Рис. 3 – Структурна схема інтелектуалізовано системи для проведення віртуальних операцій

На другому етапі відбувається оброблення отриманих 2D- зображень з метою покращення їх якості. На третьому етапі медичні зображень сегментують з метою формування точної анатомічної комп'ютерної 3D-моделі. Для проведення медичної 3D-

сегментації існують спеціалізовані пакети прикладних програм [12], зокрема, Mimics Innovation Suite, 3D Slicer. На четвертому етапі 3D-модель, отриману після реконструкції використовують лікарем для детального огляду зони інтересів з метою аналізу її геометричних розмірів, виявлення аномалії. При цьому важливою є розробка методів комп'ютерного порівняння сформованої тривимірної моделі зони інтересу з підготовленим набором 3D-моделей здорових органів і з їх патологіями. У результаті такого порівняння автоматично визначається діагноз пацієнта, який в подальшому може бути верифіковано лікарем.

РЕАЛІЗАЦІЯ 3-D МОДЕЛІ ДОСЛІДЖЕНЬ

Після реконструкції комп'ютерної 3D-моделі та формування діагнозу, на п'ятому етапі моделі імпортують в САПР-систему для надання хірургічних можливостей проведення маніпуляцій над ними з метою оптимального хірургічного втручання. При необхідності, можлива розробка ідеальної, персоніфікованої 3D-моделі імплантату. На заключному етапі комп'ютерна 3D-модель зони інтересу пацієнта, а при необхідності і модель імплантату, може бути виготовлена з використанням систем прототипування.

У роботі [15] описано систему (рис. 4) комп'ютерного планування пластичних операцій на обличчі людини. У системі реалізовано зміну геометрії анатомічних структур тривимірної моделі обличчя за допомогою деформацій. Зрозуміло, що в такій системі передбачається модифікація полігональної моделі

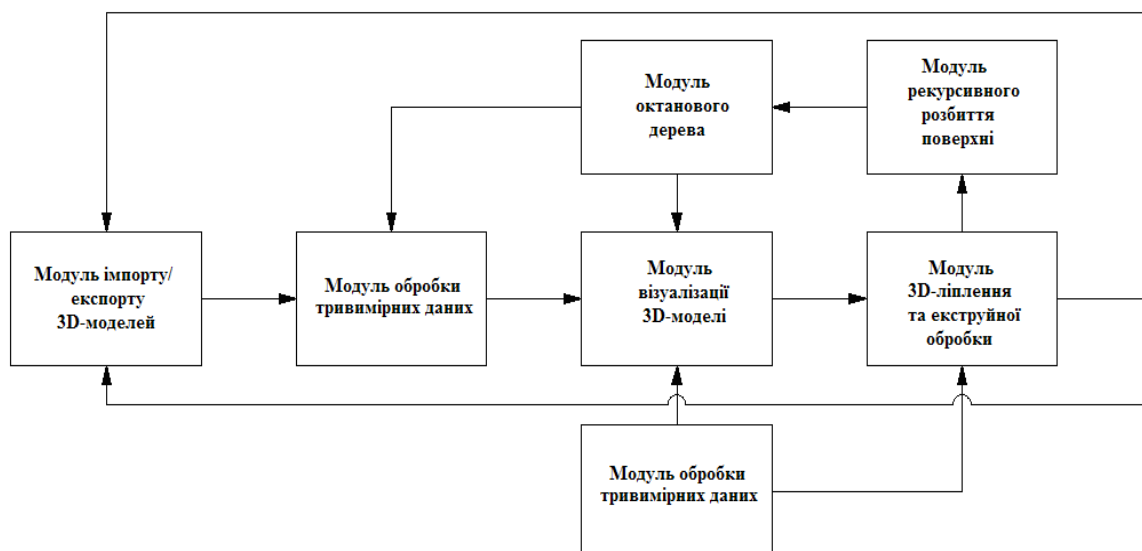


Рис. 4 – Система комп'ютерного планування пластичних операцій на обличчі людини з використанням зміни геометрії анатомічних об'єктів

У системі передбачається опис геометрії моделі в текстовому вигляді з використанням файлів форматів «.X» або «.OBJ», що дало можливість роботи з багатьма пакетами прикладних програм. У модулі обробки тривимірних даних виконують масштабування координат усіх вершин моделі зі збереженням пропорцій моделі. У цьому ж модулі розраховують вектори до кожної вершини моделі. При цьому вектори нормалей задають кривизну складових поверхонь. Модуль візуалізації виконує растеризацію трикутників з використанням шейдерів четвертого покоління. При цьому необхідно дотримуватися порядку обробки фрагментів залежно від їх віддаленості до площини екрану.

У розробленій підсистемі візуалізації колір і глибина фрагмента зберігаються в пам'яті спільно в одній структурі. Для реалізації екструзійних і інтрузійних деформацій використовується спеціальний інструмент – кісточка для деформацій. Даний вид маніпуляцій з тривимірними моделями також називається «3D ліпленням». Деформуюча

кісточка є сферою, заданого радіуса, що знаходиться на поверхні моделі. При переміщенні маніпулятора «миша» по частині екрану, відведеної для відображення тривимірної моделі обличчя людини та маніпуляцій з нею, координати курсору миші переводяться в тривимірний простір і проєктуються на поверхню моделі. Таким способом визначається положення центру сфери деформації. Для аналізу, які саме вершини потрапили в ділянку дії кісточки, використано структуру - октанове дерево, що виключило з обчислювального процесу послідовний перебір всього набору вершин полігональної мережі.

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОМП'ЮТЕРНОГО ПЛАНУВАННЯ ПЛАСТИЧНИХ ВТРУЧАНЬ НА ОБЛИЧЧІ ЛЮДИНИ.

У роботі наведено детальну структурну схему системи комп'ютерного планування пластичних втручань на обличчі людини. Призначення блоків відображено безпосередньо на структурній схемі (рис. 5).

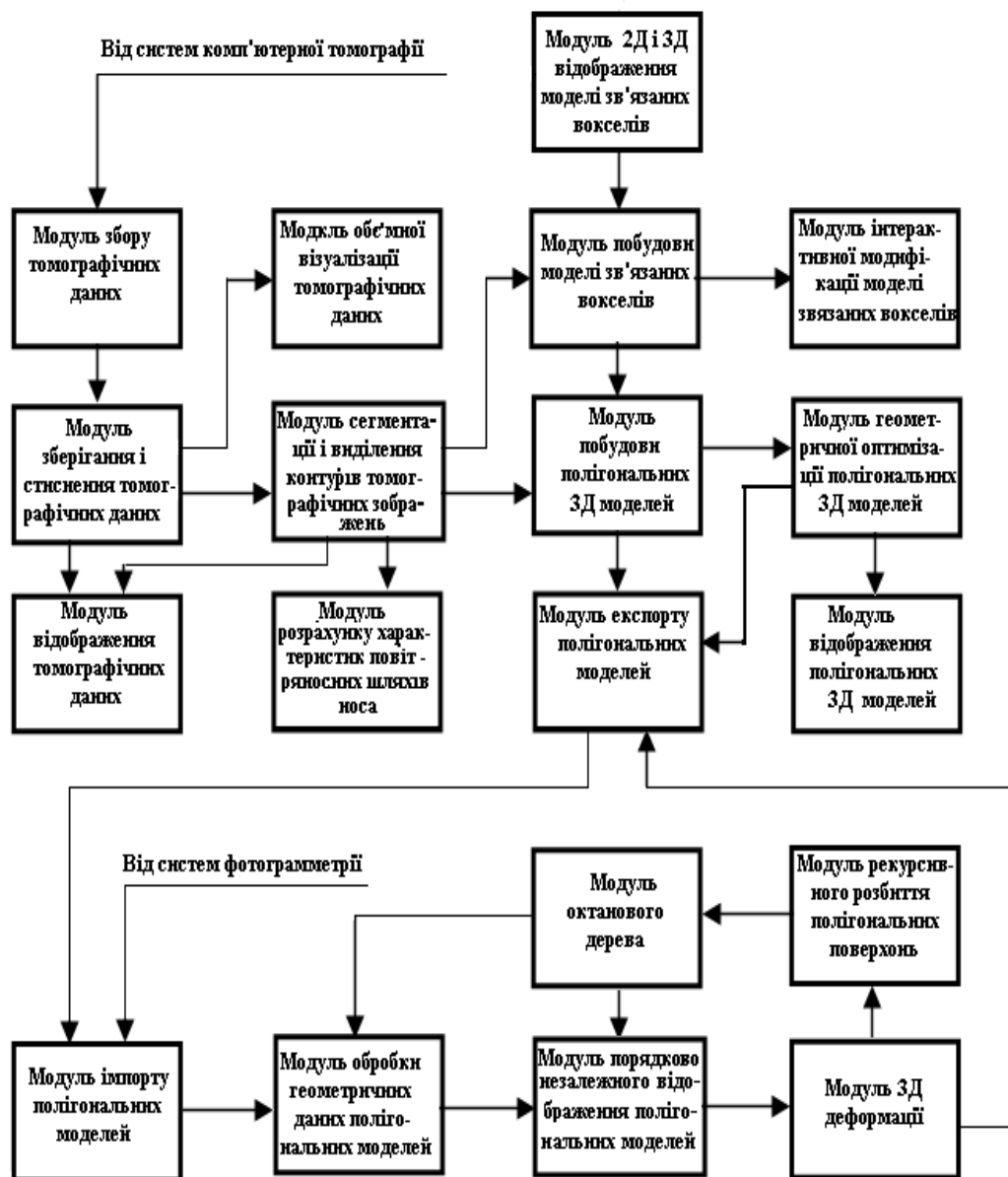


Рис.5 - Структурна схема інтелектуалізованої системи комп'ютерного планування пластичних втручань на обличчі людини

Аналіз структур для планування та проведення пластичних операцій показав необхідність: а) створення високореалістичних зображень обличчя людей з обов'язковим формуванням та зберіганням полігональної моделі; б) розробки засобів для деформації поверхонь обличчя шляхом модифікації полігональної мережі; забезпечення високої швидкодії формування тривимірних зображень обличчя для підтримки динамічного режиму; розробки персоніфікованої 3D-моделі імплантату на основі тривимірної моделі обличчя; розробки засобів діагностування шляхом порівняння сформованої моделі обличчя людини з підготовленими наборами 3D-моделей, побудови віртуальних моделей хірургічного обладнання; визначення геометричних характеристик ділянки оперативного втручання і відповідних керуючих впливів для застосовуваного хірургічного обладнання.

ВИСНОВКИ

В статті розроблено основні вимоги до перспективних інтелектуалізованих високопродуктивних систем планування пластичних і реконструктивних операцій, а саме: створення необхідних геометричних 3D-моделей анатомічних ділянок пацієнта із заданою точністю та на їх основі мультимодальної діагностичної моделі за даними діагностики; візуалізація різних 3D-моделей анатомічних ділянок пацієнта; створення гібридних 3D-моделей необхідних анатомічних елементів пацієнта із заданою точністю; синтез еталонного післяопераційного вигляду пацієнта та відповідних післяопераційних 3D-моделей; створення гібридних мультимодальних (розрахункових) 3D-моделей необхідних анатомічних елементів для моделювання процесу оперативного втручання та післяопераційних змін у процесі одужання пацієнта; формальний опис оперативного втручання, створення бібліотеки описів типових хірургічних операцій; синтез технологічного оснащення оперативного втручання для усунення патології; моделювання процесу обраного варіанту оперативного втручання з урахуванням робочих зон інструменту та доступності операційних зон для хірурга при прийнятті рішення щодо вибору варіантів операції; проектування інструменту та оснастки для виконання операції; прогнозування наслідків оперативного втручання; технологічне проектування оперативного втручання; інтраопераційний супровід ходу операції з можливістю оперативної зміни плану операції і використовуваного інструментарію.

ЛІТЕРАТУРА

1. 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.
2. Feng, S. Gilani, Y. Wang, and A. Mian "3D Face Reconstruction from Light Field Images», in *ECCV 2018*, Munich, 2018, pp. 1-8.
3. J. Udupa, and G. Herman, *3D Imaging in Medicine*, Boca Raton, USA: CRC Press, 2010.
4. F. Farncombe, and K. Iniewski, *Medical Imaging: Technology and Applications*, Boca Raton, USA: CRC Press, 2017.
5. J. Clement, and M. Marks, *Computer-Graphic Facial Reconstruction*, London, England: Academic Press, 2012.
6. S. O. Romanyuk, O. G. Avrunin, M. Y. Tymkovich, 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.
7. H. Chia et al. *3D Printing in Medicine*. Burglinton, USA: Scientific Research Publishing, 2016.
8. "Технический директор Google: прогноз до 2099 года". [Электронный ресурс]. Доступно: <http://mmr.ua/show/tehnicheskij-direktor-google-raspisalbuduschee-mira-prognoz-do-2099-goda>. Дата обращения: Март. 23, 2017.
9. S. O. Romanyuk, O. G. Avrunin, D.V. Kukharenko, and etc., "Computer system for forecasting surgery on the eye muscles", *Proc. SPIE*. Vol. 9816, 2015. <https://doi.org/10.1117/12.2229033>.
10. M. Feng, S. Gilani, Y. Wang, and A. Mian. "3D Face Reconstruction from Light Field Images: A Model-free Approach", in *European Conference on Computer Vision (ECCV)*, Munich, 2018, pp.

508-526.

11. T. Akenine-Möller, E. Haines, N. Hoffman, *Real-Time Rendering*, Publisher: A K Peters/CRC Press, 2018.
12. Montes Rosana, and Urena Carlos, “An Overview of BRDF Models”, *Report LSI*. 26 p., 2012.
13. C. A Schlick, “Fast Alternative to Phong’s Specular Model” , in *Graphics Gems IV. USA:Academic Press*, 1994, pp. 404-409.
14. 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.

REFERENCES

1. 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.
2. Feng, S.Gilani, Y. Wang, and A. Mian “3D Face Reconstruction from Light Field Images», in *ECCV 2018*, Munich, 2018, pp. 1-8.
3. J. Udupa, and G. Herman, *3D Imaging in Medicine*, Boca Raton, USA: CRC Press, 2010.
4. F. Farncombe, and K. Iniewski, *Medical Imaging: Technology and Applications*, Boca Raton, USA: CRC Press, 2017.
5. J. Clement, and M. Marks, *Computer-Graphic Facial Reconstruction*, London, England: Academic Press, 2012.
6. S. O. Romanyuk, O. G. Avrunin, M. Y. Tymkovich, 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.
7. H. Chia et al. *3D Printing in Medicine*. Burglinton, USA: Scientific Research Publishing, 2016.
8. “Технический директор Google: прогноз до 2099 года”. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://mmr.ua/show/tehnicheskij-direktor-google-raspisalbuduschee-mira-prognoz-do-2099-goda>. Дата обращения: Март. 23, 2017.
9. S. O. Romanyuk, O. G. Avrunin, D.V. Kukhareenko, and etc., “Computer system for forecasting surgery on the eye muscles”, *Proc. SPIE*. Vol. 9816, 2015. <https://doi.org/10.1117/12.2229033>.
10. M. Feng, S. Gilani, Y. Wang, and A. Mian. “3D Face Reconstruction from Light Field Images: A Model-free Approach”, in *European Conference on Computer Vision (ECCV)*, Munich, 2018, pp. 508-526.
11. T. Akenine-Möller, E. Haines, N. Hoffman, *Real-Time Rendering*, Publisher: A K Peters/CRC Press, 2018.
12. Montes Rosana, and Urena Carlos, “An Overview of BRDF Models”, *Report LSI*. 26 p., 2012.
13. C. A Schlick, “Fast Alternative to Phong’s Specular Model” , in *Graphics Gems IV. USA:Academic Press*, 1994, pp. 404-409.
14. 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.
15. Wójcik, W., Pavlov, S., Kalimoldayev, M. (2019). *Information Technology in Medical Diagnostics II*. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. – 336 Pages, <https://doi.org/10.1201/9780429057618>.

РОМАНЮК СЕРГІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ – к.т.н., доцент, кафедри біомедичної техніки, Державний університет «Одеська Політехніка», Одеса, Україна
ПАВЛОВ СЕРГІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ – д.т.н., професор кафедри біомедичної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна
РОМАНЮК ОЛЕКСАНДР НИКИФОРОВИЧ – д.т.н., професор, завідувач кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна
ТИТОВА НАТАЛІЯ ВОЛОДИМИРІВНА – д.т.н., професор, завідувач кафедри біомедичної техніки, Державний університет «Одеська Політехніка», Одеса, Україна