

УДК 004.9

К. М. Барабан, аспірант

Хмельницький національний університет, м. Хмельницький

**РЕАЛІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПОБУДОВИ ПРОСТОРОВОЇ
МОДЕЛІ ОБЛИЧЧЯ ЛЮДИНИ ЗА ФОТОГРАФІЧНИМ
ЗОБРАЖЕННЯМ**

У статті запропоновано алгоритм побудови просторової моделі обличчя людини на основі фотографічних зображень. Наведено спосіб створення та обробки цих зображень, отримання необхідних для побудови моделі параметрів. Описано процес реалізації алгоритму з використанням спеціального програмного забезпечення.

Ключові слова: *просторова модель, NURBS-поверхня, B-сплайн поверхня.*

Вступ. Однією із важливих задач комп'ютерної графіки на сьогодні є задача побудови просторових моделей, що мають фотографічну схожість з реальними об'єктами і людьми. Такі моделі мають широкий спектр використання. Методи побудови просторових моделей повинні відповідати завданням, які будуть вирішуватись з їх допомогою. Однією із складних проблем, які можуть бути розв'язані за допомогою просторової моделі голови людини, є задача розпізнавання особистості [1; 2].

В залежності від області застосування моделювання обличчя людини може проводитися за допомогою трьохмірного лазерного сканера, по стереопарі, по одному фотознімку або по набору зображень: фотографіям або кадрам відео послідовності. Також методи моделювання можна класифікувати по типу вхідних даних. В деяких роботах ними є множина точок. В багатьох працях реконструйована форма представляється у вигляді полігональної моделі. Окремою задачею, що стала актуальною в останні роки з розвитком багатокористувацьких віртуальних середовищ, є реконструкція моделі, яка представляє собою компактний набір параметрів, що описують морфологічні характеристики голови чи обличчя людини [3].

Кожен метод побудови просторової моделі має свої переваги, а також певні недоліки. Недоліки методів можуть бути пов'язані з їх вартістю, незручним принципом роботи або недосконалістю побудованої в результаті їх використання моделі. Найбільше підходить для вирішення задачі побудови просторової моделі обличчя людини метод, що базується на принципі роботи проєкційних систем. Але для реалізації такого методу потрібно долучити додаткову обробку параметрів отриманої моделі. Кількість параметрів моделі повинна бути оптимальною для зручного зберігання, ефективного модифікування та візуалізації просторової моделі.

Постановка задачі. Потрібно запропонувати технологію створення моделі голови людини за фотографічним зображенням з урахуванням недоліків існуючих підходів. Необхідно враховувати такі застереження:

- повинна існувати можливість визначення параметрів моделі за допомогою математичних функцій;
- кількість параметрів моделі повинна бути мінімальною без втрати якості схожості основних рис обличчя з рисами реальної людини і без спотворення плавності природних ліній людського обличчя;
- параметри моделі повинні бути достатньо керованими, щоб існувала можливість змінювати вираз обличчя і емоційний мімічний стан моделі;
- спосіб отримання параметрів моделі повинен бути мінімально затратним по часу та коштам;
- використання пакетів трьохмірної графіки при створенні та керуванні моделлю повинно бути максимально простим і доступним для користувача будь-якого рівня [4].

Математична модель обличчя людини

Для моделювання обличчя пропонується використовувати математичний апарат нерівномірних раціональних базисних сплайнів (NURBS), заданих за допомогою рекурсивних функцій Кокса де Бура. Перевагами використання NURBS-кривих і NURBS-поверхонь є те, що:

- 1) розмірність зменшується на порядки;
- 2) контури кривих і поверхонь більш плавні — подібні до обрисів реальних облич, що дуже зручно при потребі імітації біологічно подібних обрисів людського обличчя;
- 3) можливість задавання NURBS-кривих і NURBS-поверхонь за допомогою рекурсивних функцій Кокса-де Бура полегшує роботу із комп'ютерною обробкою та графічним представленням NURBS-кривої чи NURBS-поверхні.

Зменшення розмірності впливає з того, що здійснюється перехід від дискретного простору опису моделі (сотні тисяч точок) до простору керуючих точок NURBS-кривих та поверхонь (десятки точок). Плавність обрисів NURBS-кривих та поверхонь впливає із їх властивостей. Зручність в комп'ютерній обробці NURBS-поверхонь полягає в тому, що функції задаються за допомогою рекурсивних функцій.

Запропонована наступна математична модель голови людини, представлена за допомогою NURBS-поверхні:

$$G : \left\{ \begin{array}{l} G(u, v) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m B_{i,p}(u) g_{i,j}(u, v) B_{j,q}(v) w_{i,j}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m B_{i,p}(u) B_{j,q}(v) w_{i,j}} \end{array} \right.,$$

$$\begin{aligned}
 g_{i,j}(u, v) &= (x_{i,j}(u, v), y_{i,j}(u, v), z_{i,j}(u, v))^T, \\
 U &= \left\{ \underbrace{0, \dots, 0}_{p+1}, u_{p+2}, \dots, u_{r-p+1}, \underbrace{1, \dots, 1}_{p+1} \right\}, \\
 V &= \left\{ \underbrace{0, \dots, 0}_{q+1}, v_{q+2}, \dots, v_{s-q+1}, \underbrace{1, \dots, 1}_{q+1} \right\}, \\
 i &= \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}, \quad r = n + p - 1, \quad s = m + q - 1 \Big\},
 \end{aligned} \tag{1}$$

де $G(u, v)$ — функція, що визначає NURBS-поверхню моделі; $B_{i,p}(u)$, $B_{j,q}(v)$ — функції-поліноми степеня відповідно p та q , задані за допомогою рекурсивних функцій Кокса де Бура; $g_{i,j}$ — керуючі точки NURBS-поверхні G ; $w_{i,j}$ — множина значень вагових коефіцієнтів; U та V — послідовність вузлів u та v , має відповідно $r + 2$ та $s + 2$ вузла; $n \times m$ — кількість контрольних точок NURBS-поверхні.

На практиці визначити розміщення керуючих точок $g_{i,j}$ відносно поверхні деякого реального об'єкта досить складно. Можна отримати координати точок, що належать самій поверхні. Існує математичний інструмент, що пов'язує точки деякої поверхні із керуючими точками В-сплайн поверхні: В-сплайн апроксимація і задача, обернена до неї. Для переходу в моделі (1) від NURBS-поверхні до В-сплайн поверхні потрібно прийняти $w_{i,j} = 1$.

При $w_{i,j} = 1$ модель (1) з NURBS-поверхнею зводиться до моделі з В-сплайн поверхнею, в якій

$$G(u, v) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m B_{i,p}(u) g_{i,j}(u, v) B_{j,q}(v). \tag{2}$$

В матричній формі модель можна представити у вигляді:

$$G = B_u \cdot g \cdot B_v^T, \tag{3}$$

де G — набір з $N \times M$ точок, що належать поверхні; B_u , B_v — матриці відповідно $N \times n$ та $M \times m$, елементами яких є значення функцій-поліномів степеня p та q відповідно, заданої за допомогою рекурсивних функцій Кокса де Бура, для параметрів u_1, \dots, u_N в матриці B_u та v_1, \dots, v_M в матриці B_v ; g — множина координат з $n \times m$ керуючих точок В-сплайн поверхні.

Отримання координат керуючих точок NURBS-поверхні чи В-сплайн поверхні реального об'єкта є досить складною задачею. Знач-

но простіше отримати значення координат точок самої поверхні досліджуваного об'єкта. На практиці задача отримання координат керуючих точок може бути реалізована при використанні допоміжних засобів. Такими допоміжними інструментами можуть стати математичні перетворення, що пов'язують параметри точкової поверхні з параметрами відповідної їй NURBS-поверхні чи B-сплайн поверхні.

Перетворення точкової поверхні в NURBS-поверхню

Пропонується метод отримання координат керуючих точок NURBS-поверхні моделі (1) на основі заданого набору координат точок поверхні досліджуваного об'єкта. Приймається $w_{i,j} = 1$, і модель з NURBS-поверхнею (1) переходить в модель з B-сплайн поверхнею (2).

Отже, на основі набору координат точок поверхні об'єкта потрібно отримати набір координат керуючих точок B-сплайн поверхні, тобто розв'язати задачу, обернену до задачі B-сплайн апроксимації.

Задача B-сплайн апроксимації є підгонкою B-сплайн поверхні з набором керуючих точок $P_{n \times m}$, до множини точок $D_{N \times M}$ (зазвичай $n \ll N, m \ll M$) із заданими параметрами $u_1, \dots, u_N, v_1, \dots, v_M$. Така задача апроксимації приводить до перевизначеної системи рівнянь, яка в матричній формі має вигляд:

$$D = B_u P B_v^T. \quad (4)$$

Формула (4) збігається з формулою (3) при $D = G, P = g$.

Задача, обернена до задачі B-сплайн апроксимації, формулюється наступним чином. Необхідно знайти такий набір P керуючих точок B-сплайн поверхні, яка відповідає заданій точковій поверхні D Тобто знайти розв'язок перевизначеної системи (4). Це можливо за умови використання методу найменших квадратів. У матричній формі розв'язок матиме вигляд:

$$P = \left(B_u^T B_u \right)^{-1} B_u^T D B_v \left(B_v^T B_v \right)^{-1}, \quad (5)$$

за умови, що $\det \left(B_u^T B_u \right) \neq 0, \det \left(B_v^T B_v \right) \neq 0$.

Алгоритм технології побудови просторової моделі обличчя людини

У загальному випадку етапи процесу створення просторової моделі обличчя людини показано на рис. 1. Виходячи з постановки задачі, необхідно запропонувати алгоритм для реалізації запропонованої технології.

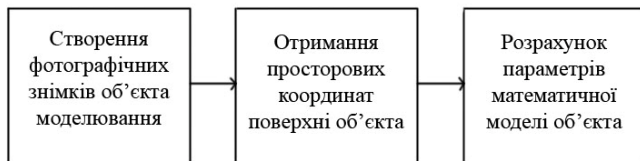


Рис. 1. Етапи побудови просторової моделі обличчя

У рамках математичної моделі NURBS-поверхні (1) запропоновано технологію побудови просторової моделі обличчя людини з використанням точкової поверхні та переходу до B-сплайнів.

1. На обличчя актора проектується зображення сітки ліній. Створюються спеціальні фотографічні знімки актора.
2. З фотографічних знімків отримуються координати $N \times M$ точок спроектованої сітки: $D_{N \times M} = [d_{ij}]$, $d_{ij} = [x_{ij} \ y_{ij} \ z_{ij}]^T$, $(i = \overline{1, N}, \ j = \overline{1, M})$. Ці точки належать поверхні об'єкта моделювання.
3. Обчислюються координати контрольних точок NURBS-поверхні P за допомогою перетворення (5).

Специфічні фотографічні знімки виконуються з використанням мультимедійного проектора, за допомогою якого проектується на обличчя людини зображення деякої сітки ліній. Сітка ліній на обличчя кожної конкретної людини спотворюється особливим чином. Фотографування здійснюється в анфас та профіль з однакової фокусної відстані, так щоб у фотознімків була відповідність по висоті та по пропорційності (рис. 2).

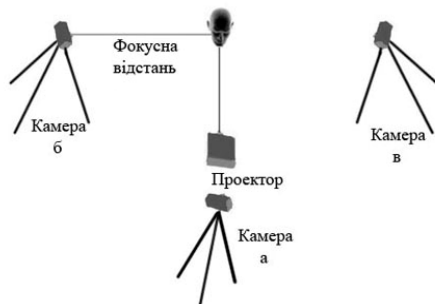


Рис. 2. Положення проектора та камер відносно актора

Для отримання координат точок спроектованої сітки ліній проводиться обробка фотознімків. В процесі обробки послідовно розглядаються всі вертикальні лінії спроектованої сітки, які видимі на обличчі від чола до підборіддя. Обов'язковим є одночасне відслідковування координатних залежностей між фотознімками в анфас та в профіль. При цьому

на фотографічному зображенні в анфас обирається деяка лінія l^a . Їй у відповідність ставиться зображення цієї ж лінії, але зафіксоване на зображенні відповідного (правого чи лівого) профілю l^p . Рухаючись по фотографічним зображенням вздовж однієї з ліній послідовно виконуються «зчитування» координат по всій довжині лінії. При чому кожному значенню координати по осі OZ ставиться у відповідність координата по осі OX зі знімку в анфас та координата OY зі знімку профілю. Таким чином отримуються просторові координати деякої точки:

$$\begin{aligned} X &= x_a - k_x^a / 2 \\ Y &= -x_{p1} \text{ або } Y = x_{p2}, \\ Z &= y_a = y_{p1} = y_{p2}, \end{aligned} \quad (6)$$

де x_a , y_a — значення відповідно координати по осі абсцис та по осі ординат деякої фіксованої точки на фотознімку в анфас; x_{p1} та x_{p2} — значення координат по осі абсцис фіксованої точки на зображеннях відповідно правого та лівого профілів; y_{p1} та y_{p2} — значення координат по осі ординат цієї ж точки на фотографічних зображеннях відповідно правого та лівого профілів; $(k_x^a \times k_y^a)$, $(k_x^{p1} \times k_y^{p1})$, $(k_x^{p2} \times k_y^{p2})$ — розміри у пікселях відповідно зображень: в анфас, правого та лівого профілів.

Результатом обробки є набір трьохмірних координат сукупності точок, які належать поверхні обличчя актора:

$$L = \{l_{ij}\}, i \in [-n_m; n_m], j \in [1; k_{\max}], \quad (7)$$

де L — матриця, що містить координати всіх отриманих точок поверхні; l_{ij} — j -та точка i -тої лінії; n_m — кількість вертикальних ліній, що розміщуються на половині обличчя. Для кожної моделі значення n_m різне; k_{\max} — максимальна кількість точок в кривій.

Цей набір координат перетворюється за формулою (5), де $D = L$. І таким чином обчислюються параметри математичної моделі (1) з В-сплайн поверхнею (2).

Практична реалізація

Для підтвердження ефективності запропонованої технології на її основі було здійснено побудову просторової моделі обличчя деякої людини. Покрокова реалізація технології вимагала певних допоміжних засобів. Такими засобами стали LCD проектор та оригінальний програмний продукт. За допомогою проектора були створені спеціальні фотознімки, а програмний продукт дозволив здійснити обробку

цих фотознімків людини, автоматизувати виконання розрахунків параметрів математичної моделі, а також візуалізувати просторову модель за допомогою елементів трьохмірної графіки.

Далі розглянемо процес створення просторової моделі обличчя людини більш детально.

Було створено ряд специфічних фотографічних знімків людини. Для цього на обличчя людини, за допомогою LCD проектора, спроектовано сітку з вертикальних та горизонтальних ліній. Сітка проєктується на обличчя людини та спотворюється особливим чином в залежності від рис, притаманних кожному обличчю. Фотознімки виконувались з трьох позицій відносно обличчя людини (рис. 2): з позиції а — робився знімок в анфас, з позицій б та в — відповідно правого та лівого профілів. Фокусна відстань від обличчя людини до кожної з позицій камери однакова. Людина фотографувалась із заплоненими очима, оскільки промені лампи проектора є небезпечними для зору. Після виконання трьох фотознімків зі спроектованою сіткою, проектор вимикався, людина розплющувала очі, і виконувався ще один фотознімок з позиції а із фотоспалахом. В подальшому цей фотознімок використовувався для надання просторовій моделі більшої подібності із реальною людиною.

Для обробки фотографічних зображень обличчя зі спроектованими лініями створено допоміжний програмний продукт. Програма дала можливість завантажувати одночасно три зображення (фото в анфас — блок а, фото правого (б) та лівого (в) профілів, рис. 3) та досліджувати координатні залежності відповідних точок на поверхні обличчя актора. Програма має головне меню, а також три вкладки: «Точки поверхні» — дозволяє створити набір точок поверхні об'єкта; «NURBS» — відображає NURBS-поверхню, параметри якої обчислюються на основі масиву точок поверхні об'єкта; «Перегляд WRL» — допомагає візуалізувати просторову модель, створену на основі параметрів NURBS-поверхню із накладанням текстури.



Рис. 3. Інтерфейс допоміжного програмного продукту

Програмний код допоміжного програмного продукту містить багато спеціальних класів та методів, які у своїй взаємодії дозволяють реалізувати функції програми. Складні обчислення (зокрема побудова та перетворення матриць), візуалізація для більшої наочності та зручності кожного кроку користувача та власне готової просторової моделі обличчя людини реалізовано за допомогою мови програмування C#. Загальна схема класів та методів, що використовувались у програмному забезпеченні приведена на рис. 4.

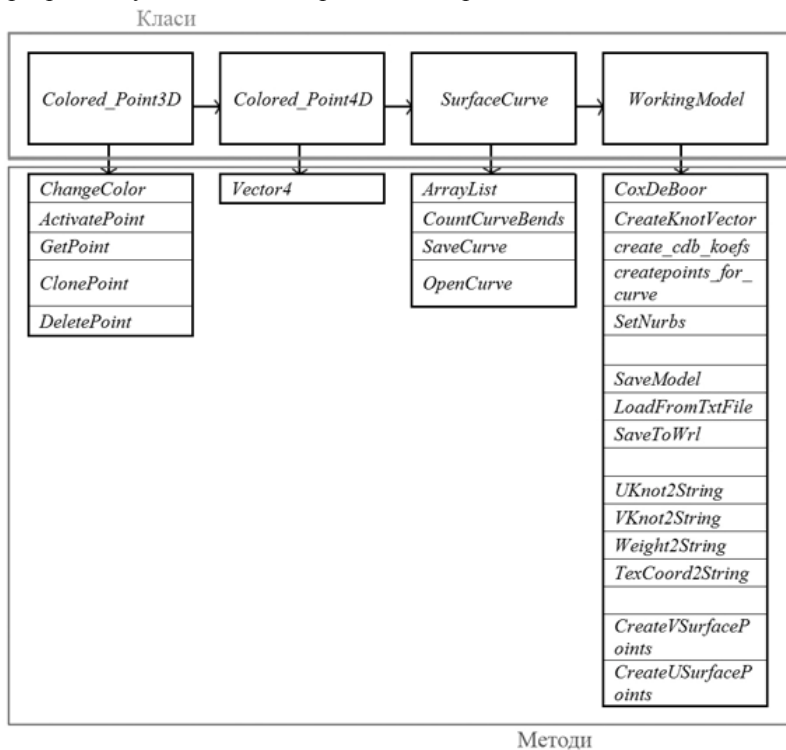


Рис. 4. Класи та методи програмного продукту

Процес зчитування координат поверхні обличчя розпочинається після завантаження трьох фотографічних зображень і проводиться наступним чином. На зображенні блоку а (рис. 3) обирається деяка вертикальна лінія. Лівою кнопкою маніпулятора «миша» здійснюється клацання на цій лінії. Після цього на зображенні відповідного профілю (рис. 3 б, в) здійснюється клацання лівою кнопкою «миші» на тій самій лінії, сфотографованій на фотознімку профілю. Після цих дій відмічена активна точка отримує деякі просторові координати на

Для цього в головному меню програми обирається пункт «Зберегти криві» (див. рис. 6). Відповідно можна завантажувати лінії вже побудовані раніше для створення нової моделі за допомогою пункту «Завантажити криві» того ж головного меню. Ці функції реалізуються за допомогою класу *SurfaceCurve* з наступними основними методами.

ArrayList	Формує масив координат виділених точок поверхні об'єкта
CountCurveBends	Здійснює підрахунок кількості перегинів кривої, використовується для визначення мінімального числа NURBS вершин
SaveCurve	Виконує збереження масиву координат точок поверхні об'єкта у файл *.cur
OpenCurve	Забезпечує відкриття файлу *.cur, завантаження та відображення у робочому вікні програми точок поверхні об'єкта, координати яких містяться у цьому файлі

За допомогою інтерфейсних елементів програми можна з прорисованими лініями робити деякі маніпуляції, що полегшують та пришвидшують процес створення моделі. Зокрема за допомогою елементів блоку «б» (рис. 7) є можливість відобразити дзеркально прорисовані лінії.



Рис. 7. Керуючі елементи допоміжного програмного продукту

Елементи блоків «в» та «г» (рис. 7) дозволяють на основі заданих координат точок поверхні об'єкта обчислити параметри відповідної NURBS-поверхні моделі. При натисканні на кнопку НУРБС (рис. 7, в), програма переходить у наступну вкладку, яка створена саме для обробки та візуалізації NURBS-поверхні моделі. Можливості змінювати та відображати параметри NURBS-поверхні реалізуються за допомогою класу *NurbsSurface*, який включає наступні основні методи та класи, що входять у нього.

SurfaceCurve	Клас, що дозволяє здійснювати маніпуляції з масивом, який містить координати точок поверхні об'єкта (зберігання, запам'ятовування)
CountCurveBends	Підрахунок кількості перегинів NURBS кривих. Використовується для обчислення мінімального числа NURBS вершин, необхідних для задавання кривої
EnvironmentVariables	Виконує дзеркальне відображення прорисованих ліній половини обличчя
CoxDeBoor	Обчислює коефіцієнти рекурентної функції Кокса-Де Бура
CreateKnotVector	Обчислює значення параметрів U та V
SetNurbs	Обчислює власне значення координат керуючих точок NURBS-поверхні

Блок «д» (рис. 7) дає можливість змінювати вигляд вкладки NURBS. Користувач сам може регулювати відображати чи приховувати керуючі точки NURBS-поверхні моделі. Також в разі необхідності є можливість показувати точки самої поверхні об'єкта. Наявність або відсутність точок регулюється окремо для кожного блоку фотографій (див. рис. 3 а, б, в).

Блок «е» (рис. 7, е) викликає функції побудови візуальної моделі на основі сформованої точкової поверхні, та обчислених параметрів NURBS-поверхні. Програма має вбудовані функції побудови візуальних моделей з NURBS-поверхонь за допомогою інструментів VRML. Оператор має можливість не тільки побудувати візуальну модель, але й надати їй ще більше ознак схожості з актором, по фотознімкам якої вона побудована. Цього можна досягнути за допомогою нанесення на побудовану модель текстури. В якості текстури використовується фотографічне зображення обличчя в анфас (без координатної сітки). Це фото створюється в процесі фото сесії з позиції а (рис. 2) при використанні фотоспалаху. При чому проєктор вимикається, і оскільки лампи проєктора вже не створює небезпеки, актор фотографується з розплющеними очима.

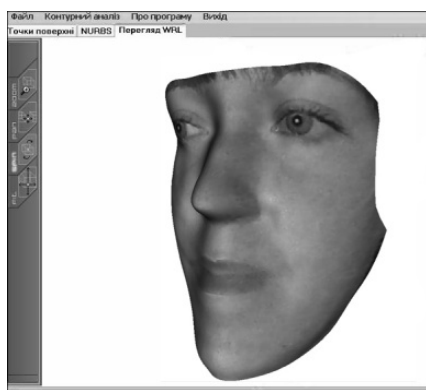


Рис. 8. Вкладка «Перегляд WRL»

Інструменти VRML викликаються в програмі за допомогою використання класу *WorkingModel*, який має наступні основні методи.

SaveToWrl	Зберігає файл з розширенням *.wrl
add2wrl_sp, add2wrl_cp	Дозволяє текстурувати зображення
CreateVSurfacePoints	Обчислює значення параметрів V
CreateUSurfacePoints	Обчислює значення параметрів U

Модель, побудована таким чином, подана на рис. 9.



Рис. 9. Просторова модель обличчя людини в різних ракурсах

Перевірка ефективності технології

Отримані моделі обличчя реальних людей візуально досить достовірні. Для перевірки об'єктивної достовірності отриманих моделей запропоновано наступне. Для кожного актора, для якого було побудовано трьохмірну модель обличчя, було створено по кілька додаткових фотознімків. Фотографування відбувалось в різних ракурсах, під різним кутом зору камери відносно обличчя актора. У відповідність цим фотографічним знімкам було поставлено зображення трьохмірної моделі обличчя людини, що показують обличчя актора в тому ж ракурсі і під тим самим кутом.

Обидва відповідних зображення було віднормовано, тобто оброблено так, щоб вони мали відповідність у розмірах обличчя та розміщенні обличчя на зображення (рис. 10 а, б). Далі зображення були оброблені в графічному редакторі Photoshop CS2, для того щоб виділити контури обличчя (рис. 10 в, г). Наступним кроком було накладання одного зображення на інше. При цьому зображенню верхнього шару було надано прозорості, для того щоб зображення нижнього шару можна було роздивитись, і контури обох зображень співпадали (рис. 10 д).



Рис. 10. Віднормований фотознімок актора (а) та зображення трьохмірної моделі (б); контуризовані зображення обличчя актора (в) та проєкції моделі у відповідному ракурсі (г); накладання зображень актора та моделі(д)

Оскільки головні контури обличчя — носа, рота, очей, овалу обличчя — співпали можна зробити висновок, що дана технологія дозволила отримати трьохмірну модель обличчя людини, яка має досить високий рівень схожості з оригіналом. Але для доведення ефективності технології було проведено аналіз координат відповідних

контурних зображень елементів обличчя актора на довільному знімку та зображення моделі у такому ж ракурсі.

Далі наведено аналіз порівняння координат на прикладі точок, що належать лініям контуру обличчя актора на фотознімку — L_f і на проекційному зображенні моделі у відповідному ракурсі — L_m . Кожній з цих ліній відповідає набір координат її точок:

$$L_f = \{l_{f,i} : l_{f,i} = [x_{f,i} \quad y_{f,i}], i = \overline{1, n}\}$$

та

$$L_m = \{l_{m,i} : l_{m,i} = [x_{m,i} \quad y_{m,i}], i = \overline{1, n}\}$$

відповідно. При чому $y_{f,i} = y_{m,i}, i = \overline{1, n}$.

Було визначено відстані між відповідними точками: $\sqrt{(x_{f,i} - x_{m,i})^2 + (y_{f,i} - y_{m,i})^2}, (i = \overline{1, n})$, а також максимальне значення

для всіх $i = \overline{1, n} : \hat{d} = \max_i \sqrt{(x_{f,i} - x_{m,i})^2 + (y_{f,i} - y_{m,i})^2} = 6$ (дана вели-

чина вимірюється в пікселях). \hat{d} становить 1,3 % від довжини фотографічного зображення в пікселях. Тобто значення координат відповідних точок мають досить маленьку різницю. А отже можна стверджувати, що криві, яким ці точки належать, є дуже подібними (рис. 11).

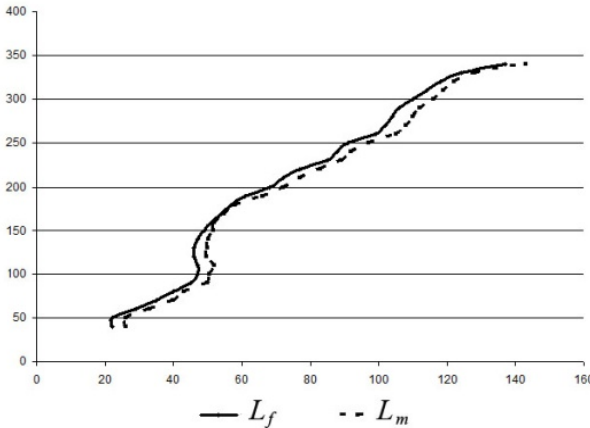


Рис. 11. Порівняння координат точок, які належать лініям контуру обличчя

Висновки. Запропоновано алгоритм побудови просторової моделі обличчя людини на основі фотографічних зображень, виконаних певним чином. Для реалізації алгоритму створено спеціальний про-

грамний продукт та з його допомогою побудовано просторову модель обличчя людини. Модель має високий рівень візуальної схожості з оригіналом, що було підтверджено порівняльним аналізом координат відповідних елементів обличчя.

Подальші дослідження будуть направлені на вдосконалення технології та на використання отриманої моделі для задачі розпізнавання.

Список використаних джерел:

1. Крак Ю. В. Комп'ютерна габітоскопія / Ю. В. Крак, О. В. Бармак // Штучний інтелект. — 2006. — № 1. — С. 39—46.
2. Шлезингер М. Десять лекцій по статистическому и структурному распознаванию / М. Шлезингер, В. Главач. — К. : Наук. думка, 2004. — 545 с.
3. Федюков М. Построение параметрической модели головы человека по полигональному представлению / М. Федюков, А. Соболев // Graphicon-2008: материалы конференции. — М., 2008. — С. 317—318.
4. Бармак О. В. Інформаційна технологія моделювання трьохмірної голови людини / О. В. Бармак, К. М. Барабан // Вісник Хмельницького національного університету. — 2009. — № 5. — С. 87—93.
5. Piegl, Les and Tiller, Wayne. The NURBS Book, 2nd Edition, Berlin : Springer-Verlag, 1996. — С. 646.

The article proposed algorithm for constructing spatial models of human face based on photographic images. Reproduced the way of creation and processing these images, obtaining necessary for the model parameters. Described the process of the algorithm using special software.

Key words: *spatial model, NURBS surface, B-spline surface.*

Отримано: 12.09.2010