

УДК 534.4:612.78

А.А. Карпов, О.М. Карпов, Д.С. Журба

*Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара*

## **АЛГОРИТМИ МОДЕЛЮВАННЯ БІОМЕХАНІКИ АРТИКУЛЯЦІЇ ГУБ ЛЮДИНИ НА ОСНОВІ В-СПЛАЙН-ПОВЕРХОНЬ**

Наведено опис практичної реалізації алгоритму моделювання біомеханіки артикуляції губ людини.

**Ключові слова:** *алгоритм, артикуляція, поверхневі сплайни.*

Даётся описание практической реализации моделирования биомеханики артикуляции губ человека.

**Ключевые слова:** *алгоритм, артикуляция, сплайны поверхности.*

It is considered the description of the practical realization of the algorithm of modeling of human articulation of lips in the article.

**Keywords:** *algorithm, articulation, surface spline.*

**Вступ.** Математичне моделювання тіла, складеного з простих геометричних форм (сфер, циліндрів або конусів) не є складним. Але дуже часто цього недостатньо; кузова автомобілів, поверхні літаків, фюзеляжі і багато чого іншого не так просто описати. Процедура, зазвичай використовувана в цих випадках, полягає в такому:

- поверхня покривається двома уявними групами ліній; перша йде в поздовжньому напрямку, друга – трансверсально до першої. Ця сітка ліній визначає безліч осередків, кожна з яких (у разі гладкої поверхні) буде обмежена чотирма гладкими кривими;
- координати вузлів цієї уявної сітки вимірюються на моделі чи на наборі креслень поперечних перетинів поверхні;
- за допомогою інтерполяції (усереднення) математично описуються ці дві групи ліній, що утворюють сітку.

Можна будувати досить гладкі криві і поверхні з використанням поліномів. Припустимо, що ми хочемо побудувати поверхню у вигляді графіка функції  $z = z(x, y)$ . Лінія  $y = const$  на цій поверхні буде представлена лінією  $z = z(x)$ , вона буде проходити через послідовність

точок  $(x_0, z_0), (x_1, z_1), \dots, (x_n, z_n)$  з  $0 < \dots < x_i < \dots < x_n$ . Наша мета – провести через ці точки складову криву  $f(x)$ , що має такі властивості:

- на кожному інтервалі  $x_{i-1} \leq x \leq x_i, i = 1, 2, \dots, n$ , функція  $f(x)$  є кубічним поліномом;
- її перші й другі похідні неперервні у вузлах.

Отримана гладка крива називається кубічним сплайном. Термін «сплайн» виник за аналогією з назвою креслярського інструмента – тонкої металевої лінійки, яка може згинатися так, щоб проходити через задані точки. Фізично така крива мінімізує енергію внутрішніх напружень. Математично – має мінімальну середньоквадратичну кривизну, тобто вона найбільш гладка. Сплайни мають багато застосувань у конструюванні криволінійних форм. Однак вони мають і деякі обмеження:

- локальна зміна тягне за собою обчислення заново всього сплайна;
- можуть виникати проблеми при апроксимації прямої, що має розриви других похідних (наприклад, сполучення прямої лінії і дуги кола);
- із точки зору естетики не завжди прийнятні, оскільки кривизна поверхні, сконструйованої за допомогою сплайнів, змінюється іноді нерівномірно, що призводить до спотворень (наприклад, химерні спотворення предметів, відбитих від кузова автомобіля).

Ці обмеження можна усунути за допомогою В-сплайна [1].

**Загальна частина.** В-сплайн-поверхні. Природним розширенням поняття поверхні Безье є декартовий добуток В-сплайн-поверхонь, що визначається виразом

$$Q(u, v) = \sum_{i=1}^{n+1} \sum_{j=1}^{m+1} B_{i,j} * N_{i,k}(u) * M_{j,l}(v),$$

де  $N_{i,k}(u)$  і  $M_{j,l}(v)$  – базисні функції В-сплайна у біпараметричних напрямках  $u$  та  $v$  відповідно.

$$\begin{cases} N_{i,k}(u) = 1, x_i \leq u < x_{i+1} \\ N_{i,k}(u) = 0, \text{інакше} \end{cases}$$

$$N_{i,k}(u) = \frac{(u - x_i)N_{i,k-1}(u)}{x_{i+k-1} - x_i} - \frac{(x_{i+k} - u)N_{i+1,k-1}(u)}{x_{i+k} - x_{i+1}}$$

Аналогічно

$$\begin{cases} M_{j,i}(v) = 1, y_j \leq u < y_{j+1} \\ M_{j,i}(v) = 0, \text{інакше} \end{cases}$$

$$M_{j,i}(v) = \frac{(v - y_j)M_{j,i-1}(v)}{y_{j+1} - y_j} - \frac{(y_{j+1} - v)M_{j+2,i-1}(v)}{y_{j+1} - y_{j+1}}$$

де  $x_i$  та  $y_j$  є елементами вузлових векторів,  $B_{i,j}$  є вершинами визначаючої полігональної сітки [1].

Для моделювання поверхні голови було обрано однорідну В-сплайн-поверхню, замкнену вздовж одного параметра та незамкнену вздовж іншого.

Для моделювання артикуляції та міміки обличчя було реалізовано функцію залежності переміщення точки моделі, побудованої внаслідок реалізації сплайн-поверхні, від топологічної відстані цієї точки до обраних початкових точок, положення яких відповідає положенню м'язів на обличчі людини:

$$\begin{cases} \Delta\alpha = \alpha_0 * F(i, i_{center}, \sigma) * F(j, j_{center}, \sigma) \\ \Delta\beta = \beta_0 * F(i, i_{center}, \sigma) * F(j, j_{center}, \sigma) \\ \Delta r = r_0 * F(i, i_{center}, \sigma) * F(j, j_{center}, \sigma), \end{cases}$$

де

$$F(i, i_{center}, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(i - i_{center})^2}{2\sigma^2}}$$

Для вказівки положення точок використана сферична система координат  $(\alpha, \beta, r)$ , де

$$\begin{cases} x = r * \cos(\beta) * \sin(\alpha) \\ y = r * \sin(\beta) \\ z = r * \cos(\beta) * \cos(\alpha), \end{cases}$$

Для моделювання руху м'язів обличчя людини було записано декілька положень обличчя, кожне з яких відповідає вимові певного звуку російської мови. Рух здійснюється за рахунок наближення поточного стану обличчя до стану, що відповідає вимові наступного звуку. Кожна точка моделі, побудованої за допомогою В-сплайн-поверхні, наближається до кінцевої за час, що відповідає часу вимови даного звуку (прийнято вважати за 0,2 секунди на кожний звук).

**Реалізація.** У процесі виконання роботи була розроблена та реалізована програма, що імітує вимову звуків російської мови артикуляційним апаратом людини [2]. Для створення тривимірної

моделі голови людини була побудована B-сплайн-поверхня із заданим числом вузлів в обох напрямках, замкнена вздовж параметричної координати  $u$  та незамкнена вздовж координати  $v$ .

Для моделювання руху артикуляційного апарату були використані тривимірні колоколовидні функції, що визначають зміщення точки поверхні залежно від відстані до заданих точок, а також поступова зміна положення точок поверхні між певними вузловими положеннями, що відповідають вимові певних звуків.

Вхідними даними для виконання роботи програми є вхідний текст, вимову якого потрібно змоделювати.

Вихідними даними є параметри моделі артикуляційного апарату людини у кожний момент часу, а також візуалізація цієї моделі.

Середовище розробки програми – Microsoft Visual Studio 2010, Графічна бібліотека – OpenGL, Платформа – Tao Framework. Програма моделює функціонування артикуляції та міміки обличчя людини (рис.1).

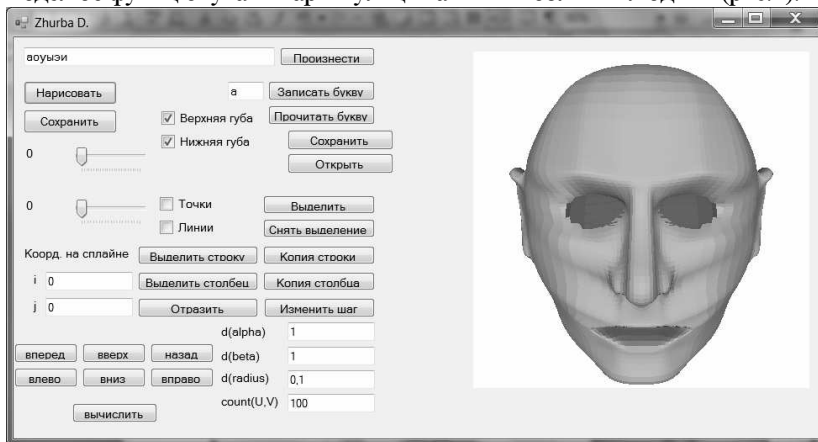


Рис.1. Моделювання

Для запуску програми слід спочатку завантажити певну модель (кнопка «Нарисувати»), а потім ввести символний рядок, вимові якого відповідає артикуляція, що моделюватиметься у програмі, та натиснути кнопку «Произнести». Результат моделювання буде відображений графічно (рис.2).

Програма дозволяє моделювати B-сплайн-поверхню, за якою виконується побудова обличчя. Для цього слід увімкнути режим сітки та користатися відповідними інструментами (рис.3).

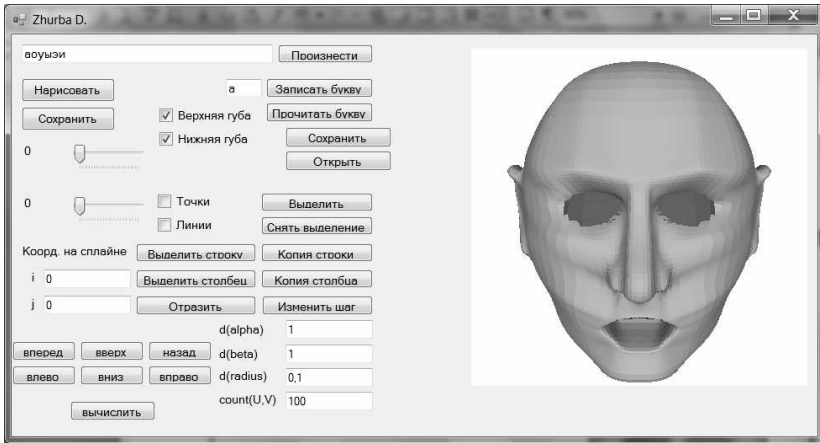


Рис.2. Моделювання процесу вимови звуку

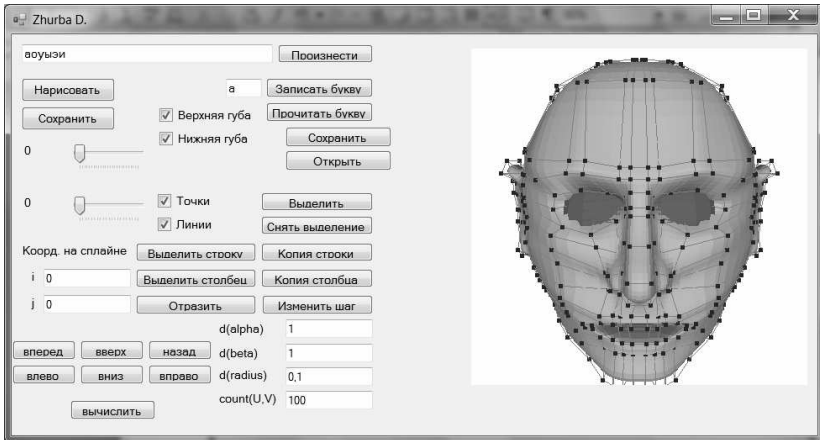


Рис.3. Моделювання обличчя. Тестування

Введемо наступний рядок (рис.4), запустимо програму.

Програма розраховує параметри, наближені до реальних при вимові даних звуків. Введемо іншу послідовність звуків, для яких форма та положення ротових м'язів значно відрізняються. При цьому програма відобразить інший результат, що відповідає заданій послідовності звуків.

За допомогою відповідних інструментів можна записати певний стан міміки обличчя та присвоїти це значення певній літері.

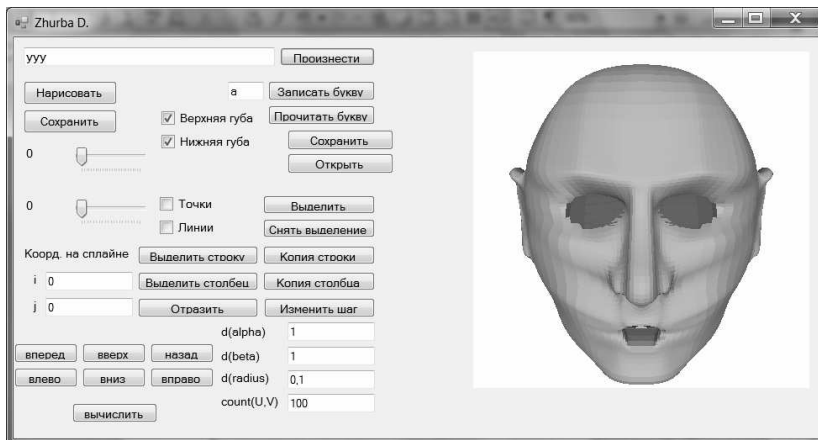


Рис.4. Тестування програми

**Висновки.** У результаті виконання роботи були досягнуті такі результати:

- досліджені способи математичного моделювання функціонування артикуляції та міміки обличчя;
- досліджені сучасні методи побудови тривимірної моделі та візуалізації голови людини;
- розроблені методи наближеного моделювання функціонування артикуляції та міміки обличчя;
- реалізована програма демонстрації роботи артикуляційного апарату.

#### Бібліографічні посилання

1. **Роджерс Д.** Математические основы машинной графики / Д.Роджерс. – М.: Мир, 2001.
2. **Журба Д.С.** Алгоритми моделювання біомеханіки артикуляції обличчя / Д.С. Журба, О.М. Карпов // Проблеми математичного моделювання: тези доп. Міждерж. наук.-метод. конф. 13–15 червня 2013р. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2012. – С.114–115.

*Надійшла до редколегії 23.06.2013 р.*