

УДК 004.942

Информационные технологии при моделировании и распознавания лица человека по его мимическим изображениям

А.С. Миненко

Донецкий национальный технический университет
sam_dntu@i.ua

Миненко А.С. Информационные технологии при моделировании и распознавания лица человека по его мимическим изображениям. Работа посвящена разработке методов, моделей, алгоритмов и компьютерных средств, для моделирования и распознавания эмоциональной и артикуляционной составляющей при речеобразовании на фотографических изображениях лица и трехмерных моделях головы человека для воспроизведения и распознавания жесткой речи. Ключевые слова: аппроксимация, мимические проявления, эмоции, алгоритм, сплайн-аппроксимация.

Введение

Математические методы и компьютерные технологии анализа и синтеза лица человека, эмоции на нем исследуются и разрабатываются в ведущих научных организациях мира, в частности, в Массачусетском технологическом институте, Оксфордском, Кембриджском, Стэнфордском, Московском, Санкт-Петербургском университетах, др. В Украине исследованием таких проблем занимаются в Донецком институте проблем искусственного интеллекта, Институте кибернетики им. В.М.Глушкова НАН Украины, Международному научно-учебном центре информационных технологий и систем НАН Украины и Министерстве образования и науки Украины, Киевском национальном университете имени Тараса Шевченко и других учреждениях.

Приведем обзор теорий, которые объясняют механизмы возникновения и проявления эмоций [1-5].

Использование контурных моделей на базе NURBS-кривых для анализа мимических проявлений эмоций

Для анализа мимических проявлений эмоций, имея в виду формальную модель эмоций состояния человека, предлагается оригинальная технология. Основная ее идея заключается в том, чтобы предложить алгоритм автоматического получения гибких шаблонов (на базе NURBS-кривых) контуров бровей, глаз и рта. Для построения этих шаблонов нужно предложить.

– метод который даёт возможность выделить наиболее важные части лица человека, а именно: нос, брови, глаза, губы и щеки.

– алгоритм получения точечных кривых, которые соответствуют контурам лица, которые будут анализироваться;

– алгоритм аппроксимации полученных точечных кривых с помощью NURBS-кривых;

– алгоритм анализа мимических проявлений эмоций используется в качестве пространства векторное пространство, построенный с помощью координат управляющих точек NURBS-кривых, которые есть гибкими шаблонами контуров бровей, глаз и рта.

Определение опорных точек рта

Для воспроизведения открывания рта необходимо точно определить его положение. Крайние точки можно найти программными методами, но существуют модели голов, в которых распознать их с необходимой точностью достаточно сложно. Сделаем это в ручную, что не потребует много времени и не будет давать значительных погрешностей. Обозначим их соответственно (x_n, y_n) – крайняя справа и (x_d, y_d) – крайняя левая точки. С помощью этих двух точек будем определять все части лица.

Построение части профиля, которая проходит через нос

При построении профиля носа используем несколько особенностей, которые определяют его среди всех частей лица:

- со всех точек лица высшая точка по z находится на носу;
- при движении вдоль профиля от рта до носа мы наталкиваемся на стремительный перепад высот, который определит начало профиля носа;
- нос переходит в лоб, причем, если отойти от профиля уменьшая или увеличивая абсциссу x , то наблюдается уменьшение координаты z , но когда мы доберемся лба, то координата z или не уменьшится, или это уменьшение будет незначительным.

Нахождение начальной точки. С начала возьмем точку, которая находится посередине рта $(\frac{x_n + x_l}{2}, \frac{y_n + y_l}{2})$. Отметим, что эта точка находится на профиле головы.

Нахождение начала профиля носа. Начнем движение от начальной точки по направлению увеличения ординаты y , проверяя при этом изменение координаты z . Таким образом, дойдем до некоторой точки, в окрестности которой начнет резко увеличиваться координата z (то есть $z_{yy} > z_{y21}$ - некоторое пороговое значение, которое определяется на практике; в разработанном программном продукте используется значение $z_{y21}=2.5$). Эта точка и определит начало профиля носа.

Нахождение верхушки носа. Верхушку определим продолжая двигаться в направлении увеличения ординаты y пока $z'_y > 0$, то есть пока увеличивается координата z . Искомая точка находится по условиям $z'_y(x, y + \lambda) < 0$, $z'_y(x, y - \lambda) > 0$ Нахождение конца профиля носа

Далее воспользуемся свойством носа. Начнем исследовать склоны с профилем, который определяется значениями $z'_x(x - \delta, y)$, $z'_x(x + \delta, y)$.

Условия $z'_y(x - \delta, y) > z_{x11}$, $z'_y(x + \delta, y) < z_{x11}$ (где z_{x11} - некоторое пороговое значение $z'_x(x, y)$, которое определяет тангенс угла наклона; $z_{x11} = 0.5$) характеризуют наличие склонов.

Двигаясь в направлении увеличения ординаты y доберемся до точки для которой $z'_x(x - \delta, y) > \varepsilon$, $z'_x(x + \delta, y) < \varepsilon$, $z'_x(x - \delta, y + \lambda) < \varepsilon$, $z'_x(x + \delta, y + \lambda) > \varepsilon$. Точка (x, y) есть искомой. Обозначим ее $(x_{ня}, y_{ня})$.

Построение границы носа

На предыдущем шаге был определен профиль носа, используя склоны на абсциссе x . Теперь используя их определим границу носа.

Начнем движение с точки $(x_{ня}, y_{ня})$, которая представляет собой точку перехода носа в лоб, вдоль профиля по направлению уменьшения ординаты y с шагом δ .

Рассмотрим k -й шаг. $x_k = x_{ня}, y_k = y_{ня} - k\lambda$

(x_k, y_k) - точка профиля.

Зафиксируем ординату y и начнем с шагом δ уменьшать абсциссу x , наблюдая за величиной $z'_x(x, y)$. Движение будет продолжаться пока $z'_x(x, y)$ не станет меньше некоторого порогового значения z_{x12} ($z_{x12} = 0.6$). Так найдем некоторую точку $(x_k^{(n)}, y_k^{(n)})$, которая лежит на правой границе носа. Аналогично, увеличивая абсциссу x получаем соответствующую точку $(x_k^{(л)}, y_k^{(л)})$ на левой границе носа. Совокупность точек $(x_k^{(n)}, y_k^{(n)})$, $(x_k^{(л)}, y_k^{(л)})$ будет составлять границу носа, а все точки, которые лежат в этой области формируют сам нос.

Построение линии бровей

Линии бровей начинаются с переносицы. Эту точку было найдено при построении профиля носа и обозначено как точку перехода нос-лоб. Рассмотрим некоторые особенности бровей.

Пусть имеем точку (x, y) на бровях. Тогда при уменьшении ординаты y на λ произойдет резкое уменьшение ординаты z . Это условие запишем так: $z_y(x, y) < z_{y22}$, ($z_{y22} = 1.5$)

Начнем движение с точки (x, y) в направлении уменьшения абсциссы x по линии $y = y_n$. Рассмотрим k -й шаг.

Имеем точку $(x_k, y_k) : x_k = x_{nl} - k\delta, y_k = y_{nl}$.

Рассмотрим линию $x = x_k$.

Будем двигаться вдоль ее по точкам $(x_k, y_k + l\lambda), l = 1, 2, \dots$ пока не найдем такую точку $(x_k^{(n)}, y_k^{(n)})$, что будет выполняться неравенство $z''_{yy}(x_k, y_k + l\lambda) < z_{y22}$.

Движение по направлению уменьшения абсциссы x останавливаем когда выполняется условие $z''_x(x_k, y_k) > z_{y23}$ ($z_{y23} = -1.3$), то есть, когда будет наблюдается резкое уменьшение координаты z . Аналогично строится и левая бровь.

Построение контура глаз

Рассмотрим построение правого глаза.

Для распознавания глаза используем найденную ранее бровь.

Нахождение крайней правой точки глаза.

Начнем движение от средней точки брови по направлению уменьшения абсциссы x с шагом δ . Рассмотрим k -й шаг. Найдем (x_k, y_k) - точка брови.

Зафиксируем абсциссу x и начнем двигаться по направлению уменьшения ординаты y :

$$x_k = x_{пл} - k\delta, (y_k = y_k + l\lambda, l = 1, 2, \dots)$$

Точки контура глаза найдем из условий

$$z''_{yy}(x_k, y_{kl1}) > z_{y24}$$

$$z''_{yy}(x_k, y_{kl2}) < 0, l_1 < l_2 < l_3,$$

$$z''_{yy}(x_k, y_{kl3}) > z_{y24}$$

эти условия определяют наличие вогнутости на краях глаза и выпуклости посередине). Если возникнет ситуация когда $l_3 - l_2 < 2$, то эта неравенство определит крайнюю правую точку глаза.

Обратное движение.

Движение организуем аналогично первому этапу с отличием в том, что двигаться по брови будем справа налево пока не найдем крайнюю левую точку глаза.

Аналогично будем контур левого глаза.

Построение контура губ

Построение линии, которая проходит между губами. Движение начнем с крайней правой точки губ (x_n, y_n) (напоминаем, что эта точка задается вручную) по направлению увеличения абсциссы x с шагом δ .

$(x_{k(c)}, y_{k(c)})$ - точка на искомой линии

$$x_{k(c)} = x_n + k\delta$$

Величину $y_{k(c)}$ определим так:

$$y_{k(c)} = y_{k-1(c)} + \hat{l} = \arg \min_{l \in Z} z''_{yy}(x_{k(c)}, y_{k-1(c)} + l\lambda). \quad (1)$$

Построение линии, которая ограничивает верхнюю губу. Движение начнем с крайней правой точки губ (x_n, y_n) по направлению увеличения абсциссы x с шагом δ .

$(x_{k(c)}, y_{k(c)})$ - точка на искомой линии

$$x_{k(c)} = x_n + k\delta$$

Величину $y_{k(c)}$ определим так:

$$y_{k(c)} = y_{k(c)} + \hat{l}\lambda = \arg \max_{l \in Z} z''_{yy}(x_k, y_{k(c)} + l\lambda). \quad (2)$$

Построение линии, которая ограничивает нижнюю губу. Эта линия строится аналогично предыдущей с отличием в обозначении $\hat{l}$:

$$\hat{l} = \arg \max_{\substack{l \in Z \\ l < 0}} z''_{yy}(x_k, y_{k(c)} + l\lambda). \quad (3)$$

Замечания

Для вычисления $z'(x_k, y_k)$ используем приближенную формулу

$$z'_x(x_k, y_k) \approx \frac{z_{k+1} - z_{k-1}}{x_{k+1} - x_{k-1}}, z'_y(x_k, y_k) \approx \frac{z_{k+1} - z_{k-1}}{y_{k+1} - y_{k-1}} \quad (4)$$

Для вычисления $z''(x_k, y_k)$ используем приближенную формулу

$$z''_{xx}(x_k, y_k) \approx \frac{z'_x(x_{k+1}, y_k) - z'_x(x_{k-1}, y_k)}{x_{k+1} - x_{k-1}} \quad (5)$$

$$z''_{yy}(x_k, y_k) \approx \frac{z'_y(x_k, y_{k+1}) - z'_y(x_k, y_{k-1})}{y_{k+1} - y_{k-1}} \quad (6)$$

Использование методов сплайн-аппроксимации NURBS для моделирования биологических объектов

В статье предложено для выделения характерных признаков черт лица использовать модели которые задаются с помощью неравномерных рациональных базисных сплайнов NURBS-кривых.

Рассмотрим NURBS-кривые. Допустим, что задано массив опорных точек $p_0, \dots, p_m$. Необходимо найти функцию

$$p(u) = [x(u), y(u), z(u)]^T, \text{ обозначенную на}$$

интервале $u_{\min} \leq u \leq u_{\max}$, такую, что она есть достаточно гладкой и проходит, в определенном смысле, около опорных точек.

Допустим, что есть последовательность узлов $u_0, u_1, \dots, u_n$, такая что:

$$u_{\min} = u_0 \leq u_1 \leq \dots \leq u_n = u_{\max}. \quad (7)$$

При использовании аппроксимации сплайнами функция $p(u)$ имеет вид полинома степени d на интервале между соседними узлами:

$$p(u) = \sum_{j=0}^d c_{jk} u^j, u_k < u < u_{k+1}. \quad (8)$$

Таким образом, чтобы найти сплайн степени d , необходимо будет найти $n(d+1)$ трёхмерный вектор-коэффициентов c_{jk} . Необходимые для этого уравнения можно получить, рассматривая разного рода ограничения, связанные с непрерывностью функции и критерием близости к опорным точкам. Такой подход к формированию сплайна есть глобальным – необходимо решить систему из $n(d+1)$ уравнение относительно

$n(d+1)$ неизвестных, а значит, каждый полученный коэффициент будет зависит от всех опорных точек. Хотя такая методика определения коэффициентов сплайна и обеспечить получение гладкой кривой, что проходит через заданные опорные точки, она не очень хорошо согласовывается с спецификой задач компьютерной графики (выполнение рендеринга объектов в реальном времени).

Подход выбранный для формирования В-сплайнов состоит из того, чтоб обозначит сплайн в терминах базисных функций, каждая из которых отличная от нуля только на интервале в несколько узлов. Итак, можно записать функцию $p(u)$ в виде:

$$p(u) = \sum_{i=0}^m B_{id}(u) p_i, \quad (9)$$

где каждая функция $B_{id}(u)$ есть полином степени d на интервале в несколько узлов и равняется нулю за границами этого интервала. Существует много способов обозначения базисных функций, но особенное место принадлежит одному из них – методу рекурсивных функций Кокса-де Бура:

$$B_{k,0} = \begin{cases} 1, & \text{если } u_k \leq u \leq u_{k+1} \\ 0 & \text{в другом случае} \end{cases} \quad (5)$$

$$B_{k,d} = \frac{u - u_k}{u_{k+1} - u_k} B_{k,d-1}(u) + \frac{u_{k+1} - u}{u_{k+d+1} - u_{k+1}} B_{k+1,d-1}(u)$$

Выводы

В работе разработано информационную технологию, алгоритм и реализацию основных методов которые позволяют решить задачу моделирования и распознавания мимических проявлений эмоциональных состояний. Анализ полученных результатов дает основание сделать такие выводы:

- 1) впервые для психологической формальной модели эмоциональных состояний предложена формальная модель мимических проявлений этих эмоциональных состояний, то есть сделан переход от пространства признаков, которые описывают базовые эмоции с точки зрения ситуаций в которых они возникают до пространства признаков, которые характеризуют визуальную, мимическую составляющую для эмоциональных состояний;
- 2) впервые для перехода от феноменального определения характеристических мимических признаков до первой их формализации, предложено использовать NURBS-кривые, а именно, выходя из того, что управляющие точки NURBS-кривой однозначно определяют саму кривую – предложено в качестве координат

пространства модели брать только координаты управляющих точек;

- 3) впервые для анализа мимических проявлений эмоций предложена оригинальная информационная технология, основная идея которой состоит в алгоритме автоматического получения гибких шаблонов (на базе NURBS-кривых) контуров бровей, глаз и рта, для чего используется оконтурения, скелетизация изображений и преобразование точечных кривых с помощью В-сплайн аппроксимации на гибких кривых шаблоны NURBS-кривые;

- 4) впервые создание алгоритма и программное обеспечение которое реализует целостную информационную технологию для моделирования и распознавания мимических проявлений эмоционального состояния на лице человека.

Литература

1. Ильин Е.П. Эмоции и чувства/ Ильин Е.П. – СПб: Питер, 2001. – 752 с.
2. Dufour Ph/ Essai sur l'etude le l'Homme considere sous le double point vue de la vie animale et de la vie intellectuelle. 2 vol / Dufour Ph. – Paris: Person, 1883, Режим доступа: <http://www.psychology-online.net/articles>
3. Джемс У. Психология / Джемс У. – М.: Педагогика, 1991 – 368 с.
4. Ланге Г. Душевные движения / Ланге Г. – СП
5. Миненко А.С. О минимизации одного интегрального функционала методом Ритца / А.С. Миненко // Укр. мат. журнал. – 2006. – №10. – С. 1385-1394.
6. Minenko A.S. Axially symmetric flow. Fifth SIAM conference on optimization / A.S. Minenko. – Victoria, British Columbia, May 20 – 22, 1996. – Victoria, 1996. – P. 12.
7. Миненко А.С. Аналитичность свободной границы в одной задаче осесимметричного течения / А.С. Миненко // Укр. мат. журнал. – 1998. – №12. – С. 1693-1700.
8. Миненко А.С. Проблема минимума одного класса интегральных функционалов с неизвестной областью интегрирования / А.С. Миненко // Мат. физика и нелинейная механика. – 1993. – Вып. 16. – С. 48-52
9. Миненко А.С. Вариационные задачи со свободной границей / Миненко А.С. – Киев: Наукова думка, 2005. – 354 с.
10. Миненко А.С. Приближенный анализ многомерной конвективной задачи Стефана / А.С. Миненко, А.И. Шевченко // Доповіді НАН України. – 2010. – №4. – С. 30-34.

A.C. МІНЕНКО*Донецкий национальный технический университет***ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ І РОЗПІЗНАВАННІ ОБЛИЧЧЯ ЛЮДИНИ ПО ЙОГО МІМІЧНИМ ЗОБРАЖЕННЯМ**

Робота посвячена розробці методів, моделей, алгоритмів і комп'ютерних засобів, для моделювання і розпізнавання емоційної та артикуляційної складової при мововиникненні на фотографічних зображеннях обличчя і тривимірних моделях голови людини для відтворення і розпізнавання жорсткої мови.

Ключові слова: *апроксимація, мімічні прояви, емоції, алгоритм, сплайн-апроксимація.*

MINENKO A.S.*Donetsk National Technical University***INFORMATION TECHNOLOGY IN THE MODELING AND RECOGNITION OF HUMAN FACE BY HIS FACIAL IMAGE**

Work on the development of methods, models, algorithms and computer tools for modeling and recognition of emotional and articulation component the emergence of language, in the event the photographic facial images and three-dimensional models of the human head for playback and recognition of the hard language.

Key words: *approximation, mimic expression, emotions, algorithm, spline-approximation*

Статья поступила в редакцию 20.05.2016

Рекомендована к публикации д-ром техн. наук В.Н. Павлышом