

УДК 004.942

Моделирование и информационные технологии при распознании лица человека по его мимическим фотографиям

А.С. Миненко

Донецкий национальный технический университет
sam_dntu@mail.ru

Миненко А.С. Информационные технологии при моделировании и распознании лица человека по его мимическим фотографиям. Работа посвящена разработке методов, моделей, алгоритмов и компьютерных средств, для моделирования распознавания эмоциональной составляющей фотографических изображений лица и трехмерных моделей человека.

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, Московском, Санкт-Петербургском университетах, др. В Украине исследованием таких проблем занимаются в Институте кибернетики им. В.М.Глушкова НАН Украины, Киевском национальном университете имени Тараса Шевченко, ГОУВПО Донецкий национальный технический университет и других учреждениях.

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

Формальная модель эмоций

Для формализации эмоций, чтобы избежать двусмысленностей при их феноменологическом описании, предлагается перейти к изучению ситуаций, в которых эти эмоции возникают [1]. То есть, при определении эмоций, в наиболее общем виде описывается ситуация, в которой они возникают. Различать будем эмоции и их обозначение. Под обозначением будем иметь в виду вектор (Em) (то есть абстрактное понятие) со следующими признаками:

$$Em_i^n = (\xi_1, \xi_2, \xi_3), i = 1 \dots 8,$$

где ξ – бинарный признак, который классифицирует эмоции:

ξ_1 – признак, который определяет знак эмоции – позитивная (1) эмоция или негативная (0). Будем называть эмоцию позитивной, если она возникает в связи с удовлетворением потребности или

достижением цели, и, следовательно, негативной – в связи с неудовлетворением или недостижением;

ξ_2 – признак, который определяет время возникновения эмоции относительно действия (предвидевшая (0) и констатирующая (1) эмоции). Предвидя эмоции возникают до действия связанного с достижением (недостижением) цели, предвидят ее;

ξ_3 – признак, который определяет направление эмоции. По этому признаку выделяют эмоции направленные на себя (1) и направленные на внешние объекты, на других людей (0). Сокращенная функция эмоции лежит в том, что эмоции подготавливают организм к определенному событию которое возникнет. Эмоции служат для решения определенных жизненных трудностей, сложных положений. Каждая эмоция готовит человека к какому-то событию. Это событие может происходить с внешним объектом или с самим человеком. Например, гнев нацелен на устранение преград для достижения цели, и, таким образом, направленный на внешний объект. Грусть готовит человека обходиться той целью, которую не удалось достичь, и направлена на себя.

Рассматривается задача моделирования мимических проявлений эмоций формального описания базовых эмоций. Для поиска пространства характеристических признаков, построения базиса этого пространства, воспроизведение производных эмоциональных состояний со следующим использованием выпуклой комбинации, предлагается следующее:

- создание множества фотографических изображений, на которых актерами воссоздаются ситуации (ξ_1, ξ_2, ξ_3) , у которых

возникают базовые эмоции, и описание мимики, свойственной этим эмоциям;

- анализ полученного множества с целью выявления областей, которые содержат характеристические признаки эмоций и описание их (используя анатомические признаки и методику Facial Action Coding System);
- создание в пространстве характеристических признаков базиса для следующего расписания по нему произвольных векторов мимических проявлений эмоциональных состояний (как выпуклой комбинации базисных эмоциональных состояний);
- анализ характеристических признаков и ранжирование их по степени влияния в рамках предложенного базиса.

Для анализа полученного множества фотографических изображений с целью выявления областей, которые содержат характеристические признаки эмоций, был использован подход, предложенный авторами методики FACS [1-6]. В ходе исследования, анализируя мимические проявления в разрезе зон лица, было получено 21 характеристический признак, комбинация которых образует базис мимических проявлений эмоций. То есть, мимические проявления эмоций (Em) были представлены в виде вектора:

$$Em_i^{\eta} = (\mu_1, \dots, \mu_{21}), i = 1 \dots 8,$$

где $\mu_j \in [0;1]$ – характеристический мимический признак (при $\mu = 0$ – нет признака, а при $\mu = 1$ влияние признака максимально).

Набор 8-ми векторов, указанных таким образом, создает базис (B_{ij} , где $i = 1, \dots, 21, j = 1, \dots, 8$) пространство мимических проявлений эмоциональных состояний.

Таким образом, произвольный вектор $b = (\mu_1, \dots, \mu_{21})$, полученных путем анализа изображений с каким либо эмоциональным состоянием, можно разложить по базису B и получить описание эмоции, как выпуклой комбинации:

$$x = (B^T B)^{-1} B^T b$$

где B – базисная матрица эмоциональных состояний; B^T – транспонирована матрица B ; b – вектор, который описывает мимическое проявление произвольного эмоционального состояния;

$$x = (a_1, \dots, a_8)$$

где a_i – коэффициенты выпуклой комбинации ($\sum a_i = 1, a \in [0;1]$) для каждой из 8-ми базовых эмоций.

Так как невозможно мимически определить источник происхождения эмоций (η), получаем следующее множество из 21-й эмоции, которую можно определить предложенными способами.

Использование контурных моделей на базе сплайн 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 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 сплайн кривых.

Определение опорных точек рта

Для воспроизведения изображения 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_l, y_l) – 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 ($\frac{x_n + x_{\text{л}}}{2}, \frac{y_n + y_{\text{л}}}{2}$). 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

$$z'_x(x - \delta, y), z'_x(x + \delta, y). \quad \text{Условия}$$

$$z'_x(x - \delta, y) > z_{x11}, \quad z'_x(x - \delta, y) > z_{x11},$$

$$z'_x(x + \delta, y) < z_{x11} \quad (\text{где } z_{x11} - \text{некоторое}$$

пороговое значение, которое определяет

тангенс угла наклона; $z_{x11} = 0.5$) характеризуют наличие склонов.

Двигаясь в направлении увеличения ординаты y доберемся до точки для которой $z'_x(x - \delta, y) > \varepsilon$,

$$z'_x(x + \delta, y) < \varepsilon, \quad z'_x(x - \delta, y + \lambda) < \varepsilon,$$

$$z'_x(x + \delta, y + \lambda) > \varepsilon. \text{ Точка } (x, y) \text{ есть искомой.}$$

Обозначим ее $(x_{\text{ня}}, y_{\text{ня}})$.

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

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

(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) : $x_k = x_{\text{нл}} - k\delta$, $y_k = y_{\text{нл}}$.

Рассмотрим линию $x = x_k$.

Будем двигаться вдоль нее 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 :

$$x_k = x_{nl} - k\delta,$$

Точки контура глаза найдем из условий

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

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

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

где z_{y24} - некоторое пороговое значение, которое определяется на практике. 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:

$$y_{k(c)} = y_{k-1(c)} + \hat{l}\lambda, \quad (1)$$

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 следующим образом:

$$y_{k(c)} = y_{k(c)} + \hat{l}\lambda, \quad (2)$$

Построение линии, которая ограничивает нижнюю губу. Эта линия строится аналогично предыдущей с отличием в обозначении $\hat{l}$ [6]:

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

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

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

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

Использование методов сплайн-аппроксимации для моделирования биологических объектов

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

Рассмотрим сплайн кривые. Допустим, что задано массив опорных точек $p_0, \dots, p_m$. Необходимо

найти функцию $p(u) = [x(u), y(u), z(u)]^T$,

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:

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

Величина $\hat{l}$ в формулах (1), (2) определяется следующим образом [6]:

$$\hat{l} = \arg \min_{L=-1,1} z_{yy}''(x_{k(c)}, y_{k-1(c)} + l\lambda),$$

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

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

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

Таким образом, чтобы найти сплайн степени d , необходимо будет найти $n(d+1)$ трёхмерный вектор-коэффициентов.

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 может обеспечить получение гладкой кривой, которая проходит через заданные опорные точки, но она не очень хорошо согласовывается с спецификой задач компьютерной графики.

Подход выбранный для формирования В-сплайнов состоит из того, чтоб обозначить 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 [5]:

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

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

Выводы

В работе разработан и реализован алгоритм, который позволяет решить задачу моделирования и распознавания мимических проявлений эмоциональных состояний. Анализ полученных результатов дает основание сделать такой вывод: создан алгоритм который 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. deBoor C.A. Practical Guide to Splines / deBoor C. – New York: Springer-Verlag, 1978. – 392p.
6. Кривонос Ю.Г. Моделирование и анализ мимических проявлений эмоций / Ю.Г. Кривонос, Ю.В. Крак, Г.М. Ефимов // Доповіді НАНУ. – 2008. – №12. – С. 51-55.
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.

Міненко А.С. Інформаційні технології при моделюванні та розпізнаванні обличчя людини по його мімічних фотографіям. Робота посвячена розробці методів, моделей, алгоритмів і комп'ютерних засобів, для моделювання і розпізнавання емоційної складової на фотографічних зображеннях обличчя і тривимірних моделях голови людини. Ключові слова: апроксимація, мімічні прояви, емоції, алгоритм, сплайн-апроксимація.

Minenko A.S. Information technology in the modeling and recognition of human face by his facial photos. 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

Стаття поступила в редакцію 20.11.2016
Рекомендована к публікації д-ром техн. наук В.Н. Павлышом