

Член-кореспондент НАН України Ю. Г. Кривонос, Ю. В. Крак,
О. В. Бармак, Г. М. Єфімов

Моделювання та аналіз мимічних проявів емоцій

This work presents a computer technology for the emotion detection on human faces. The model is offered as a linear combination of some basic emotions. Parameters of the model are found with the help of the method of deformable templates using NURBS curves. An arbitrary emotion on a human face is detected as a convex combination of basic emotions.

Формальна психологічна модель емоцій, запропонована у [1], розширена для синтезу та аналізу мимічних проявів емоційних станів людини. В [2] вперше запропоновано для моделювання миміки емоційних станів людини використовувати лінійну опуклу комбінацію деяких базових станів. В ході цих досліджень було отримано 21 характеристичну ознаку, комбінація яких утворює базис мимічних виразів емоцій. Тобто, мимічні вирази емоції (Em) були подані у вигляді вектора

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

де $\mu_j \in [0; 1]$ — характеристична мимічна ознака (при $\mu = 0$ немає ознаки, а при $\mu = 1$ вплив ознаки максимальний); перелік ознак наведений в табл. 1.

Набір восьми векторів утворює базис (B_{ij} , де $i = \overline{1, 21}$, $j = \overline{1, 8}$) простору мимічних проявів емоційних станів.

У запропонованій в [2] моделі базис простору мимічних ознак емоційних станів будується на основі апріорного досвіду експериментатора, вимагає певної кваліфікації і, відповідно, дає неоднозначний результат — констатація одного і того ж емоційного м'язового прояву у різних людей розрізняється. Для того щоб перейти від феноменологічного визначення характеристичних мимічних ознак до певної їх формалізації, у [3] запропоновано власну модифікацію методу моделей, які деформуються. За параметричні криві для виділення характерних ознак рис обличчя брали моделі, що задаються за допомогою нерівномірних раціональних базисних сплайнів — NURBS-кривих [4]:

В рамках проведених досліджень була побудована модель, яка складається з гнучких шаблонів — NURBS-кривих. Виходячи з того, що опорні точки NURBS-кривої однозначно визначають саму криву, розглядалися тільки вектори опорних точок. Для побудови базису були використані наступні вектори опорних точок (табл. 1).

Для цілей автоматичного деформування контурних моделей запропоновано апроксимацію B -сплайн кривих [4]. Відомо, що при $w_i = 1$ NURBS-крива зводиться до B -сплайн кривої. Зважаючи на те, що при моделюванні гнучких шаблонів приймалися $w_i = 1$, для спрощення апроксимації було здійснено перехід до B -сплайн кривих.

Задача B -сплайн апроксимації є задачею підгонки B -сплайн кривої з K опорними точками $p = [p_0, \dots, p_{K-1}]^T$ до точкової кривої $d = [d_0, \dots, d_{M-1}]^T$, де $M > K$ (зазвичай $M \gg K$) для значень параметра u_0, \dots, u_{M-1} . Така задача апроксимації приводить до перевизначеної системи лінійних рівнянь:

$$Np = d, \quad (2)$$

де $N_i(u)$ — B -сплайн базисна функція.

Одним з шляхів отримання розв'язку перевизначеної системи лінійних рівнянь (1) є:

$$N^T N p = N^T d,$$

звідки

$$p = (N^T N)^{-1} N^T d, \quad \det(N^T N) \neq 0. \quad (3)$$



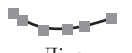
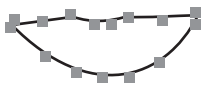
Для застосування B -сплайн апроксимації потрібно вміти отримувати на зображенні точкові криві $d = [d_0, \dots, d_{M-1}]^T$, які відповідають шуканим контурам, з тим, щоб далі застосувати перетворення (3). Існуючі технології отримання на зображенні точкових кривих $d = [d_0, \dots, d_{M-1}]^T$, які відповідають контурам брів, очей та рота, базуються на отриманні контура зображення, як різкої границі між елементами зображення (за допомогою згорток, аналізу кольору тощо) з подальшим скелетуванням (отриманням контуру одиничної товщини).

Для аналізу мімічних виразів емоцій запропонована така цілісна інформаційна технологія [2, 3]:

1) для конкретної людини отримуємо множину із восьми фотографічних зображень обличчя, на якому відтворена мімічна реакція на ситуації, які відповідають базовим емоціям: радість, горе, надія, страх, задоволення, гнів, інтерес, зневага;

2) у відповідному програмному забезпеченні нормуємо фотографічні зображення (за відстанню між центрами очей);

Таблиця 1. Мімічні прояви для формування базових емоцій

Мімічна ознака	Опис мімічних проявів у розрізі областей обличчя		Для брів, очей та рота — вектори p_i^j , для зморшок — $\mu_j \in [0, 1]$		
	Область обличчя	Мімічний прояв			
μ_1 μ_2 μ_3 μ_4 μ_5 μ_6 μ_7	Область чола і брів	Чоло	Зморшки в центрі чола Одна горизонтальна зморшка Між бровами вертикальна зморшка	p_i^1 , $i = 0, \dots, 4$	 Ліва брова
Брови		Внутрішні кутики підняті вгору Опущені та зведені Припідняті Припідняті та зведені			
μ_8 μ_9 μ_{10} μ_{11}	Область очей (очі, повіки, основа носа)	Верхні повіки	Внутрішні кутики підняті Напружені Підняті (видно склеру) Припідняті	p_i^2 , $i = 0, \dots, 5$	 Ліва верхня повіка
μ_{12} μ_{13}		Нижні повіки	Припідняті та ненапружені Припідняті та напружені	p_i^3 , $i = 0, \dots, 5$	 Ліва нижня повіка
μ_{14} μ_{15}		Зморшки	Біля зовнішніх кутиків Під повіками		
μ_{16} μ_{17} μ_{18} μ_{19} μ_{20} μ_{21}	Нижня частина обличчя (ніс, щоки, рот)	Рот	Закритий, зуби стиснуті Розкритий	p_i^4 , $i = 0, \dots, 16$	 Губи
Губи (лінія, кутики)		Кутики губ відтягнуті в сторони Розтягнуті та напружені Кутики губ опущені			
Зморшки		Від носа до кутиків губ			

3) за допомогою відомих технологій оконтурення та скелетування зображень отримуємо контури таких частин обличчя: зморшки в області чола, брови, верхні повіки, нижні повіки, зморшки “гусячі лапки” біля зовнішніх кутків очей, зморшки під повіками, рот, зморшки від носа до кутків губ;

4) використовуючи гнучкі шаблони у вигляді NURBS-кривих [3] та B -сплайн апроксимацію, отримуємо множину опорних точок NURBS-кривої для шаблонів, які характеризують кожен з восьми базових емоцій (див. табл. 1):

$p_i^{1,(e)} = [x_i^{1,(e)}, y_i^{1,(e)}]^T$, $i = \overline{0,4}$, $e = \overline{1,8}$, — шаблон лівої брови для восьми емоційних станів;

$p_i^{2,(e)} = [x_i^{2,(e)}, y_i^{2,(e)}]^T$, $i = \overline{0,5}$, $e = \overline{1,8}$, — шаблон лівої верхньої повіки для восьми емоційних станів;

$p_i^{3,(e)} = [x_i^{3,(e)}, y_i^{3,(e)}]^T$, $i = \overline{0,5}$, $e = \overline{1,8}$, — шаблон лівої нижньої повіки для восьми емоційних станів;

$p_i^{4,(e)} = [x_i^{4,(e)}, y_i^{4,(e)}]^T$, $i = \overline{0,16}$, $e = \overline{1,8}$, — шаблон губів для восьми емоційних станів та для опису зморшок отримуємо деякі характеристичні мімічні ознаки (див. табл. 1):

$\mu^{(e)} = [\mu_1^{(e)}, \mu_2^{(e)}, \mu_3^{(e)}, \mu_{14}^{(e)}, \mu_{15}^{(e)}, \mu_{21}^{(e)}]^T$, $e = \overline{1,8}$, $e = \overline{1,8}$, — характеристичні мімічні ознаки (табл. 1);

5) з восьми отриманих множин опорних точок NURBS-кривих (шаблонів) та вектора характеристичних мімічних ознак для зморшок побудуємо базис емоційних станів конкретної людини:

$$B = \begin{bmatrix} \mu^{(1)} & \dots & \mu^{(8)} \\ \mathbf{p}^{1,(1)} & \dots & \mathbf{p}^{1,(8)} \\ \mathbf{p}^{2,(1)} & \dots & \mathbf{p}^{2,(8)} \\ \mathbf{p}^{3,(1)} & \dots & \mathbf{p}^{3,(8)} \\ \mathbf{p}^{4,(1)} & \dots & \mathbf{p}^{4,(8)} \end{bmatrix}, \quad \text{де} \quad \mathbf{p}^{j,(k)} = \begin{bmatrix} p_0^{j,(k)} \\ \vdots \\ p_{n_j}^{j,(k)} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де $j = \overline{1,4}$, $k = \overline{1,8}$, $n_1 = 4$, $n_2, n_3 = 5$, $n_4 = 16$.

В подальшому, для аналізу будь-якого зображення обличчя цієї людини повторимо пункти 1–4 для зображення довільної емоції та одержимо вектор:

$$b = [\mu^{(*)}, \mathbf{p}^{1,(*)}, \mathbf{p}^{2,(*)}, \mathbf{p}^{3,(*)}, \mathbf{p}^{4,(*)}]^T, \quad \mathbf{p}^{j,(*)} = [p_0^{j,(*)}, \dots, p_{n_j}^{j,(*)}]^T, \quad (5)$$

де $j = \overline{1,4}$, $n_1 = 4$, $n_2, n_3 = 5$, $n_4 = 16$.

Розкладемо його за побудованим базисом B (4):

$$B^T Bx = B^T b,$$

звідки

$$x = (B^T B)^{-1} B^T b \quad \text{за умови} \quad \det(B^T B) \neq 0. \quad (6)$$

Коефіцієнти розкладу $x = (\alpha_1, \dots, \alpha_8)$ будуть вказувати на конкретний внесок кожної з восьми базових емоцій у довільну емоцію b .

Результати дослідження. За умови переходу від феноменологічного опису емоцій до ситуацій, у яких емоції виникають, була створена множина фотографічних зображень базових емоцій. З отриманих зображень виділялися, описаними вище способами, необхідні

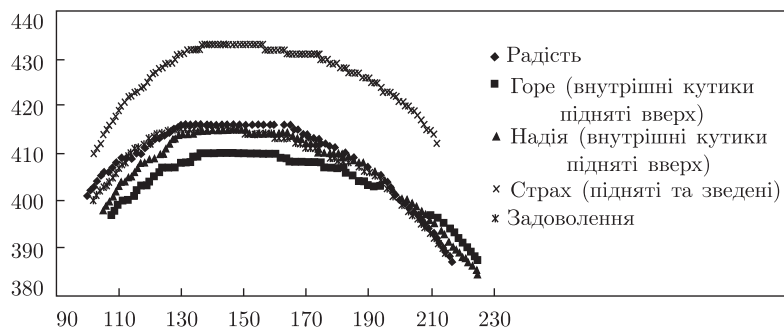


Рис. 1. Графік точкових кривих правої брови для деяких емоцій

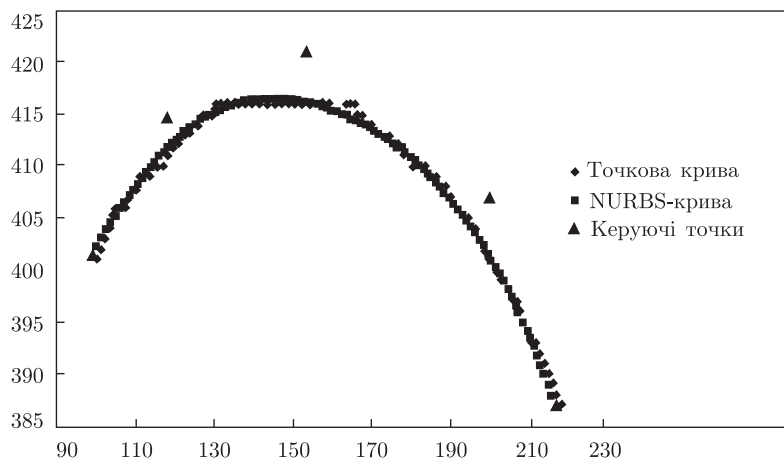


Рис. 2. Контур та відповідна цьому контуру NURBS-крива для положення правої брови при емоції радості

для подальшої обробки контури (брови, очі, губи тощо). На рис. 1 контури правої брови наведені у вигляді точкової кривої. На графіку видно, що положення отриманих контурів правої брови відповідають опису міміки емоцій. Тобто видно, що для емоцій задоволення та радості особливого прояву міміки немає, для емоцій горя та надії — внутрішні кутики підняті догори, а для емоції страху — брова піднята та зведена.

До точкових контурів застосовувалися перетворення (2), (3) для отримання множин керуючих точок NURBS-кривих. На рис. 2 зображено графік контура та відповідну цьому контуру NURBS-криву для положення правої брови при емоції радості.

З восьми одержаних множин опорних точок NURBS-кривих (шаблонів) та вектора характеристичних мімічних ознак для зморшок був побудований базис (1) емоційних станів конкретної людини.

Аналогічно, з фотографічного зображення довільної емоції, що відтворює ситуацію, у якій виникає відчуття провини, був побудований відповідний вектор b (5).

При застосуванні перетворення (6) був проведений розклад отриманого вектора b за базисом B .

Для емоційного стану “провина” одержано такі коефіцієнти опуклої комбінації базових станів: $\alpha_1 = 0$, $\alpha_2 = 0,7$, $\alpha_3 = 0$, $\alpha_4 = 0$, $\alpha_5 = 0,3$, $\alpha_6 = 0$, $\alpha_7 = 0$, $\alpha_8 = 0$, $\sum_{i=1}^8 \alpha_i = 1$, де α_i відповідають таким емоційним станам: радість, горе, надія, страх, задоволення, гнів,

інтерес та зневага. Згідно з [1], стан, який складається з комбінацій задоволення ($\alpha_5 = 0,3$) та горя ($\alpha_2 = 0,7$), відповідає емоції “провина”.

Таким чином, вперше запропонована математична модель та цілісна інформаційна технологія для автоматичного визначення довільного емоційного стану конкретної людини як опуклої комбінації деяких базових станів. Для цього за допомогою математичної моделі та оригінального програмного забезпечення створюється базовий простір емоційних станів конкретної людини. В подальшому довільний емоційний прояв цієї людини розкладається як опукла комбінація емоційних станів в цьому просторі.

Для побудови базису простору емоційних станів використовуються гнучкі шаблони контурів основних зон обличчя. Гнучкі шаблони подані за допомогою NURBS-кривих. Налаштування шаблону на точковий контур конкретного зображення проходить за допомогою B -сплайн апроксимації, шляхом розв’язку перевизначеної неоднорідної системи лінійних рівнянь.

В подальшому запропонована технологія буде використана при візуальному контролі за операторами складних виробництв для автоматичного визначення їх емоційного стану в системах прийняття рішень.

1. Леонтьев В. О. Классификация эмоций. – Одесса: Инновационно-ипотечный центр, 2002. – 84 с.
2. Крак Ю. В., Бармак О. В., Єфімов Г. М. Синтез мімічних виразів емоцій на основі формальної моделі // Штучний інтелект. – 2007. – № 2. – С. 22–31.
3. Крак Ю. В., Бармак О. В., Єфімов Г. М. Використання контурних моделей для побудови базису простору мімічних виразів емоцій // Там само. – 2007. – № 4. – С. 288–296.
4. Piegl L., Tiller W. The NURBS Book, 2nd ed. – Berlin: Springer, 1996. – 645 p.

Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова
НАН України, Київ

Надійшло до редакції 16.04.2008

УДК 681.5.015

© 2008

Н. Д. Панкратова, Т. В. Подладчикова

Адаптивные стохастические модели в трудно формализуемых естественнонаучных задачах

(Представлено академиком НАН Украины М. З. Згуровским)

To formalize and estimate the dynamical processes in the difficultly formalized problems of the different physical nature, an approach to create the stochastic models with the a priori unknown noise statistics based on the approximating determinate functions is proposed. The examples of the development of models for the estimation and prediction of the solar activity and the blood pressure based on the identification of the noise statistics and the adaptive filtration are given.

Одной из важнейших целей практически любого прикладного исследования динамического процесса является формализация закономерностей в его динамике и определение количественных оценок параметров процесса. Некоторые закономерности в динамических процессах