

УДК 004.932

В. Бородін, канд.техн.наук, доц.
КНУ імені Тараса Шевченка, Київ

МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ МІМІКИ ОБЛИЧЧЯ У ФЛЕШ-ІГРАХ

Розглядається задача автоматичного розпізнавання обличчя за зображенням та формуванню з допомогою розпізнано-го зображення анімації, яка відображала б міміку обличчя. Запропоновано метод розпізнавання еліпсу обличчя на фотографії та методи формування реалістичного зображення, що відображає міміку та рух обличчя.

ВСТУП. У сучасних мобільних іграх, де використовуються елементи комп'ютерної графіки для відображення реалістичного зображення людей і їхніх обличчя у динаміці, так само як і в ряді систем охорони й/або розпізнавання зображень зустрічається задача відображення реалістичної міміки обличчя. Також є популярним і важливим знаходження та розпізнавання особливих точок обличчя (очі, брови, губи, чоло й т.п.) для наступної обробки зображення, такої як рух цих точок, видалення зайвого червоного кольору, відблисків, зморшок і т.ін [1–7].

При рішенні цих завдань можна використовувати досить багато методів, але варто мати на увазі, що багато з цих методів є ресурсомісткими, тому що вимагають або значних витрат машинних операцій і, отже, часу для виконання, або потребують для подальшої обробки іноді досить значної попередньої бази зображень обличчя [1, 2]. Ці вимоги іноді бувають надмірними, наприклад, при створенні мобільних і флеш-ігр, у яких швидкість виконання роботи й до-тепер критичний параметр [3].

ФОРМУЛЮВАННЯ ОСНОВНОЇ ЗАДАЧІ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ. У зв'язку із цим виникає завдання розпізнавання обличчя й моделювання міміки в мобільних іграх і флеш-іграх без використання великих ресурсів часу (машинних операцій) і додаткових баз даних.

Проблема моделювання міміки обличчя ставиться таким чином. На сервер надходить фотографія, що містить зображення обличчя. Програма повинна розпізнати й виділити овал (еліпс) обличчя, перенести його на інше зображення й змоделювати рух губ, брів, щік і чола якомога реалістичніше.

Це завдання природно розбивається на наступні три підзадачі: виділення овалу обличчя, розпізнавання особливих точок обличчя – країв губ, брів, очей й інших, а також підзадачу реалістичного виконання зображення заданого руху цих особливих точок у формі серії малюнків (електронного кіно).

Для рішення першої із цих підзадач на даний момент існує безліч рішень, що використовують різні підходи: нейронні мережі [1–3, 6], використання вибірок баз даних осіб [3], методи визначення за кольором шкіри [4–8] й інші [9–10]. При цьому виділяють два типи завдання – коли відомо, що обличчя на зображенні нахилиється під відомим кутом до осі картинки, і коли цей кут невідомий. У другому випадку метод рішення вимагає значно більше часу. Оскільки в розглянутому варіанті завдання важливий саме час роботи, то буде досліджуватися перший варіант завдання, коли без обмежень загальності можна сказати, що обличчя на розглянутому зображенні (фотографії) розташовано без нахилу. У даній статті пропонується для такого завдання використати варіант розпізнавання за допомогою колірної диференціації шкіри, що проставлені в кольоровій моделі YCrCb [3, 4] та дозволяє контролювати кількість машинних операцій для виділення овалу обличчя при заданій точності результату.

Для другий підзадачі також на даний момент активно розвиваються методи розв'язування, що використовують схожі з першою задачею підходи [5–9]. На жаль, навіть найгарніші методи рішення цього завдання не дають стовідсотково коректного рішення навіть на фотографіях найкращої якості. Крім того, більшість цих методів використовують багато обчислювальних ресурсів [3]. У даній статті пропонуються методи пошуку країв очей, брів, губ, що не використовують великої кількості обчислювальних операцій і додаткової бази даних зображень при достатній коректності результатів.

Третє завдання є найменш дослідженим з розглянутих, хоча на даний момент уже існують комерційні продукти, які візуалізують деякі із гримас обличчя по даній фотографії [8, 9]. У даній статті пропонується відкрите рішення цього завдання, тобто формули перетворень зображення, що за даними про особливі точки обличчя здійснює ряд його мімічних перетворень: посмішку, погрозу, гримаси подиву й інших.

ВИДІЛЕННЯ ОВАЛУ ОБЛИЧЧЯ. Нехай дано фотографію із зображенням обличчя в одному зі стандартних графічних форматів, який являє собою набір матриці кольорів пікселів зображення, що зберігає кольори в стандартному представленні кольору RGB. Для виділення овалу обличчя пропонується, як і в більшості відомих методів, скористатися критеріями визначення кольору шкіри обличчя, при цьому найкращі характеристики має подання кольору у формі YCrCb, де критерій збігу з кольором шкіри буде [4]:

$$Y > 80, 85 < Cb < 135, 135 < Cr < 180. \quad (1)$$

Тут значення параметрів Y, Cr, Cb нормуються так, щоб вони належали інтервалу [0, 255].

Таким чином, завдання зводиться до знаходження еліпсу найменшого розміру, який би включав всі точки з деякої зв'язної області точок, що задовольняють критерій (1), і за формою є близькою до овалу.

На початку роботи програми ми не знаємо, де на фотографії перебуває обличчя. Для того, щоб знайти його, потрібно визначити найбільшу 8-зв'язну групу точок (пікселів), що задовольняють (1). Виділення такої області можна зробити класичним алгоритмом послідовного сканування [9]. При цьому під час першого застосування алгоритму варто додати операції для обчислення центра мас зв'язних областей (тобто підсумувати в кожній області координати по кожній з осей координат й збільшувати щоразу при виконанні (1) лічильник точок, що попали в дану зв'язну область на одиницю), а під час другого обходу підсумувати ці дані по кожній з областей, що належать тій самій області.

Поділивши в підсумковому масиві суми координат по осях OX і OY на відповідні кількості точок ми одержимо центри мас, а визначивши максимум по кількості точок знаходимо центр еліпсу обличчя.

Визначивши центр мас отриманої зв'язної множини точок, можна вказати, що цей центр буде також центром обличчя, а, отже, і центром шуканого еліпса (овалу) обличчя. Крім того, можна вказати приблизну ширину (W) і висоту (H) еліпса за формулами

$$W = \sqrt{N/2}, H = \sqrt{2N} \quad (2)$$

де N – кількість точок зв'язної області.

Подальший алгоритм виділення овалу обличчя заснований на класичному енергетичному алгоритмі [10], коли створюється функція, яка отримує результат співвідношення частини заданого еліпсу, що задовольняють критерію (1) та тієї частини, що не задовольняє йому. Аргументами цієї функції будуть координати центру еліпсу та його радіуси. Потрібно знайти максимум цієї функції на даному зображенні. Надалі здійснюється поправка коректності координат центру еліпсу.

Тоді, для розв'язання цієї задачі можна скористатись методом градієнтів, що дозволяє за не надто значну кількість рухів досягти шуканого максимуму цієї функції та визначити еліпс обличчя.

Початкові наближення для висоти й ширини еліпса вже задані. Далі межа еліпса ділиться на (експериментальним шляхом це число обрано як 20) певну кількість рівних частин. У кожній із цих частин визначається співвідношення кількості пікселів, що задовольняють (1) і всіх пікселів цієї частини. Якщо воно більше 9/10 (90%), то центр мас еліпса зрушується в напрямку центра цієї частини межі еліпса на 1/20 частину відстані до нього, за винятком нижніх частин, відповідальних за шію, де зрушення робиться на 1/40 (2,5%).

Після цього потрібно зробити поправку величин ширини та висоти для шуканого еліпсу.

З цією метою внутрішність і зовнішня частина еліпса ділиться на 4 частини малюнку згідно схеми, що зображена на рис. 1.

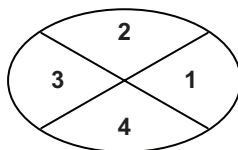


Рис.1. Розбивка еліпса

Якщо на межі й усередині частин 1 і 3, більше 80% точок задовольняє умові (1), то ширина еліпса збільшується на коефіцієнт, обраний 8/7. Якщо навпаки, менше 80% точок на межі задовольняють (1), то ширина зменшується на коефіцієнт, який обраний 25/24.

Аналогічно, якщо на межі й усередині частин 2 і 4, більше 80% точок задовольняє (1), то висота еліпса збільшується на коефіцієнт, що обраний 8/7. Якщо навпаки, менше 80% точок на межі задовольняють (1), то висота зменшується на коефіцієнт, обраний 25/24. Зазначені коефіцієнти та пропорції підібрані експериментально для серії зображень осіб, завантажених з Інтернету.

Вказані дії являють собою операції однієї ітерації циклу. Для розв'язання основної задачі пошуку еліпсу обличчя потрібно виконати ці ітерації достатню кількість разів, доки за результатами двох послідовних ітерацій значення обчислюваних параметрів не залишиться незмінним.

Оскільки для розглянутого завдання необхідно завершувати роботу, навіть якщо овал обличчя не підібраний належним чином, раціонально поставити обмеження на кількість ітерацій при роботі циклу пошуку обличчя – експеримент показав, що кількість ітерацій рівна $n=100$ забезпечує прийнятну точність визначення овалу обличчя.

Наступне завдання – визначення особливих точок обличчя. Це завдання є одним з найбільш важливих завдань розпізнавання зображень. Для його рішення використовуються різні методи, що ґрунтуються як на колірних, так і на геометричних характеристиках обличчя, а також ті, що використовують попередню базу подібності для зображень обличчя, нейромережі й т.п. [1, 10]. Оскільки в розглянутій ситуації найбільш важливою характеристикою розв'язання завдання є економія часу й обчислювальних ресурсів, то було обрано метод, що використовує геометричні характеристики обличчя й розподіл кольору [10].

Головними особливими точками обличчя є очі та рот. Важливими геометричними властивостями цих точок, що допомагають знайти їх на обличчі є наступні [4–6]:

- ліве око, праве око та центр рота утворюють рівносторонній трикутник;
- ліве та праве око симетричні відносно головної осі еліпсу обличчя;
- лінія, що з'єднує обидва ока ділить головну діагональ у відношенні, що є близьким до відношення 1:2.

Для пошуку очей критерієм є також кольорові характеристики. Колір очей суттєво відрізняється від кольору шкіри. Тому відслідковуючи зміну кольорів на лінії, що ділить головну діагональ еліпсу обличчя у відношенні 1:2, можна знайти координати очей.

Таким чином, алгоритм пошуку особливих точок обличчя полягає в наступному:

- 1) Будується головна вісь еліпсу;
- 2) Вона ділиться у відношенні 1:2;
- 3) Вздовж цієї лінії рахується зміна кольорів (неважливо в якій кольоровій системі, зручніше обрати систему YCrCb, в якій вже проводилися розрахунки);
- 4) Там, де знайдено пік зміни значення кольорів, виділяються координати очей;
- 5) Побудувавши рівносторонній трикутник по двом вершинам (координати очей) знаходимо координати центру рота;
- 6) Рухаючись по головній осі еліпсу обличчя в районі центру знайденого трикутника за змінами кольору визначаються координати носу;
- 7) Рухаючись з центру рота, виділяємо ділянку де зміна червоного кольору не є значною – це виділяється губи та їх границі.

Таким чином, запропонований метод пошуку особливих точок обличчя дозволяє за відносно малу кількість операцій та без використання додаткової бази даних, а отже й обчислювальної пам'яті комп'ютера, знаходити та виділяти особливі точки зображення обличчя.

ПЕРЕТВОРЕННЯ МІМІКИ ОБЛИЧЧЯ. Задача перетворення міміки обличчя повинна розглядатись для деяких окремих виразів обличчя.

У даній роботі дослідження проводилася для наступних виразів обличчя:

- а) посмішка – коли обидві половинки губ піднімаються вгору;

- b) гримаса суму – коли обидві половинки губ опускаються вниз;
 c) гримаса – коли одна половинка губ піднімаються нагору, а інша вниз;
 d) насуплення брів – брови опускаються в напрямку до носа.

Розглянемо завдання а). Нехай $2L$ – ширина губ на обличчі, а $2h$ – їхня висота. Координати центра посмішки позначимо (x, y) . Тоді координати країв губ будуть $(x - L, y)$ і $(x + L, y)$. Оскільки ширина губ при посмішці поняття розтяжне введемо коефіцієнти розтягання губ по осі OX і OY відповідно α, β . Тоді нові координати лівого й правого країв губ будуть

$$(x - \alpha L, y + \beta h), (x + \alpha L, y + \beta h) \quad (3)$$

Рух точок обличчя буде визначатися в такий спосіб.

Нехай R – відстань від даної точки обличчя (px, py) до лівого краю губ, де

$$R = \sqrt{(px - x + L)^2 + (py - y)^2}. \quad (4)$$

Позначимо ρ_x, ρ_y , як

$$\rho_x = \begin{cases} 0, & R \geq 0.7L \\ (1 - px/0.35L)^\gamma, & R < 0.7L \end{cases}, \quad (5)$$

$$\rho_y = \begin{cases} 0, & R \geq 0.7L \\ (1 - py/0.35L)^\sigma, & R < 0.7L \end{cases}. \quad (6)$$

Нові координати обчислюються за формулою

$$x' = (px - x - L)\rho_x + px, \quad (7)$$

$$y' = (py - y - L)\rho_y + py. \quad (8)$$

При цьому варто брати всі точки із прямокутника з координатами протилежних вершин $(x - 2L, y - 2h)$ та $(x + 2L, y + 2h)$. Експериментальним шляхом встановлено найбільш оптимальні коефіцієнти, які використовуються у формулах: $\alpha = 1.2$, $\beta = 1.1$, $\gamma = 2$, $\sigma = 2$. Для правої частини посмішки виконуються операції за майже аналогічними формулами.

Завдання b) виконується аналогічно, але у формулах (7)–(8) міняється знак ρ_y .

Завдання c) як легко побачити – комбінація рішень a) і b).

Завдання d) виконується аналогічно c) за формулами (4)–(8) з коефіцієнтами $\alpha = 1.1$, $\beta = 1$, $\gamma = 1$, $\sigma = 1$.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЗАПРОПОНОВАНИХ МЕТОДІВ. Для перевірки та апробації результатів було створено відповідне програмне забезпечення на мові PHP з використанням серверної технології. Було завантажено з Інтернету декілька фотографій та зображень облич та проведено відповідні описані перетворення трансформації облич.

Експериментальні результати роботи запропонованого алгоритму показано на рис. 2. для перетворення гримаси й посмішки. Для тестування спеціально було обрано дещо неякісно оброблені фотографії.

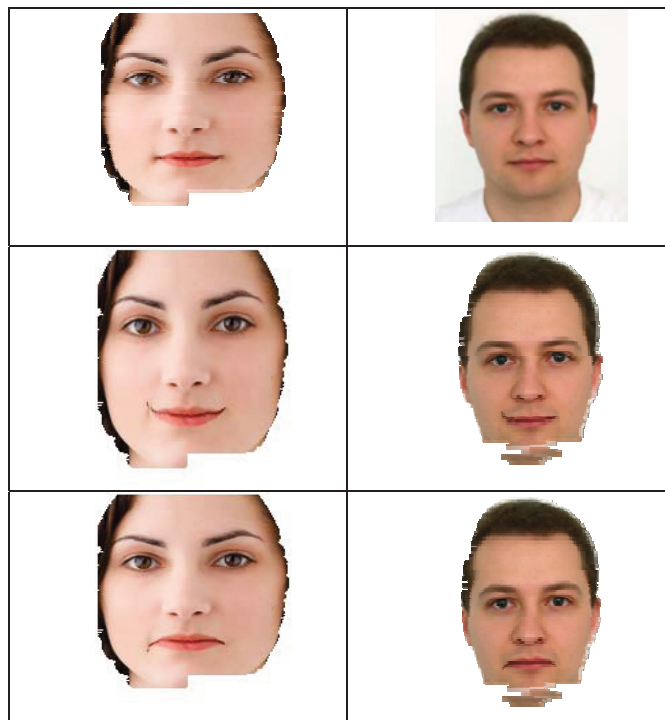


Рис. 2. Приклад роботи алгоритму перетворень мимики для фотографій

ВИСНОВКИ. Запропоновано метод моделювання міміки обличчя по фотографії. Даний метод може застосовуватися для створення мобільних ігор і був програмно реалізований. Перевагою цього методу є універсальність, оскільки для програмування нової емоції потрібно лише змінювати значення коефіцієнтів перетворень. Експериментально визначено значення відповідних коефіцієнтів.

Результати роботи на тестових фотографіях показали достатню швидкість і високу точність роботи даного методу.

Список використаних джерел

1. Chai D., Bouzerdourm A. A Bayesian Approach to Skin Color Classification in YCbCr Color Space. In Proceedings of IEEE Region Ten Conference, vol. 2, 1999. – P. 421–414.
2. Chai D., Ngan K.N.. Face segmentation using skin-color map in videophone applications./ Chai D., and Ngan K.N.// IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, June 1999 – № 9 (4) – P.551–564.
3. Kakumanu P., Makrogiannis S., Bourbakis N.. A Survey of Skin-Color Modeling and Detection Methods / P. Kakumanu, S. Makrogiannis, N. Bourbakis. Pattern Recognition № 40, 2007. – P.1106–1122., (available at www.sciencedirect.com.)
4. Vezhnevets V., Sazonov V., Andreeva A.. A survey on pixelbased skin color detection techniques. / V. Vezhnevets, V.Sazonov, and A. Andreeva. In GraphiCon, Moscow, Russia, Sept. 2003. (<http://cgm.graphicon.ru>).
5. Vezhnevets V., Soldatov S., Degtiareva A., Park In Kyu. Automatic extraction of frontal facial features (<http://cgm.graphicon.ru>)
6. M. H. Yang Detecting faces in images: A survey / Yang M. H., Kriegman D. J., Ahuja N. // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2002. – Vol. 24. – No. 1. – P.34–58.
7. Yilmaz Alper, Mubarak A. Shah Automatic Feature Detection and Pose Recovery for Faces / Alper Yilmaz, Mubarak A. Shah. ACCV2002: The 5th Asian Conference on Computer Vision, 23–25 January 2002, Melbourne, Australia – P. 134–146
8. <http://www.adobe.com/devnet/pixelbender.html>
9. <http://oddcast.com/technologies/photoface/>
10. <http://www.icaen.uiowa.edu/~djp/LECTURE/lecture.html>

Надійшла до редколегії 29.01.13

В. Бородин, канд. техн. наук, доц.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЙ МИМИКИ ЛИЦА В ФЛЕШ-ИГРАХ

Рассматривается задача автоматического распознавания лица по изображениям и формированию с помощью распознанного изображения анимации, которая отображала бы мимику лица. Предложен метод распознавания эллипса лица на фотографии и методы формирования реалистического изображения, отображающего мимику и движения лица.

V. Borodin, PhD (eng)

FACE MIMICS MOVEMENT MODELING METHOD FOR FLASH-GAMES

The problem of automatic face detection on images and forming the animation of face mimics from the recognized face. The methods of face ellipse extraction from photo and realistic face mimics movement visualization are proposed.

УДК 629.195

Б. Кіфоренко, д-р фіз.-мат. наук, І. Васильєв, канд. фіз.-мат. наук,
Я. Ткаченко, канд. фіз.-мат. наук, Л. Харитоновна, канд. фіз.-мат. наук,
КНУ імені Тараса Шевченка, Київ
Email: kifor@univ.kiev.ua

ОПТИМАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ТЯГОЮ ЕЛЕКТРИЧНОГО РАКЕТНОГО ДВИГУНА З СОНЯЧНИМ ДЖЕРЕЛОМ ЕНЕРГІЇ

Розглянуто задачу керування рухом космічного апарату (КА) в центральному гравітаційному полі. Досліджено вплив вибору робочого тіла електричного ракетного двигуна (ЕРД) на час виконання міжорбітальних маневру і втрати робочої речовини, необхідні для його виконання. Проведено оцінку ефективності оптимального змінного і оптимального релейного керувань ЕРД, а також, запропонованого раніше квазіоптимального управління.

ВСТУП. Використання електричних ракетних двигунів як маршових двигунів для перспективних міжорбітальних транспортних апаратів (МТА) стимулює переосмислення класичних результатів оптимізації маневрування КА з ідеально-регульованим та нерегульованим двигунами та потребує математичного описання ЕРД більш адекватного існуючим та перспективним ракетним двигунам. В [3] запропоновано математичну модель плазменного ЕРД з енергоживленням від сонячної батареї, що враховує ряд обмежень, які характерні для реальних процесів генерування електричної тяги. Аналіз оптимального керування величиною та напрямком реактивної тяги двигуна, проведений в [3] з використанням принципу максимуму Л.С. Понтрягіна, дозволив провести інваріантне відносно крайових умов маневру КА звуження множини допустимих керувань, що у свою чергу спростило порівняння ефективності регульованого двигуна відносно двигуна сталої тяги.

В [4] підтверджено можливість описаного в [3] алгоритму керування. Зокрема, було показано єдиність розв'язку задачі визначення точки максимуму функції Л.С. Понтрягіна, що значно спрощує й скорочує витрати машинного часу на чисельне розв'язання цієї задачі. Крім того, було запропоновано третій спосіб керування величиною тяги – релейний з оптимально підібраним її рівнем на кожній активній дузі – котрий дозволяє отримувати економію робочого тіла, що витрачається на виконання маневру, майже таку ж, як і при оптимальному змінному керуванні, зберігаючи при цьому простоту реалізації програми керування, властиву керуванню релейному.

Зауважимо, що результати обчислень траєкторій та параметрів МТА в [3, 4] одержані для гіпотетичного робочого тіла ЕРД з атомною масою у 10 разів меншою, ніж у ксенона. У даній статті подано результати відповідних розрахунків для випадку, коли як робоче тіло використовуються реальні паливні компоненти, а саме: водень, літій, калій, криптон, ксенон, цезій, ртуть, вісмут. Зіставлення трьох вказаних режимів керування величиною тяги ЕРД проведено для ксенона.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ. Згідно з [2, 5–7] залежність тяги P та витрати робочої речовини ЕРД q від величини струму I та напруги U джерела потужності рушійної установки запишемо наступним чином:

$$P = \eta_b \mu I \sqrt{2U\eta(U)}, \quad q = \frac{\eta_b \cdot \mu^2}{\eta_c} I. \quad (1)$$

В формулі (1) η_c – сталий коефіцієнт, рівний відношенню анодної витрати до повної витрати робочої речовини у рушії, η_b – величина відношення іонного струму, що безпосередньо генерує тягу, до сумарного струму I , яка зазвичай вважається сталою. Величина μ визначається типом робочої речовини, що прискорюється у двигуні:

© Кіфоренко Б., Васильєв І., Ткаченко Я., Харитоновна Л., 2013