

УДК 621.307

О.Ю.Ломакіна

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ЖЕСТІВ

До розгляду пропонується ефективна система розпізнавання жестів на основі нових підходів до визначення ознак, локалізації і сегментації зображень руки та з розширенням оптичного діапазону відеокамери через додатковий інфрачервоний канал із розробленими удосконаленими алгоритмами сегментації, локалізації та класифікації жестів та програмною реалізацією.

Ключові слова: система розпізнавання жестів, інфрачервоний канал, сегментація.

О.У.Lomakina

IMPROVEMENT OF GESTURES RECOGNITION SYSTEM

This article describes effective gesture-recognition system based on the new gesture recognition approaches which include features detection, localization and hand image segmentation. GRS has extended optical range of camera due to additional infrared channel and applies improved algorithms of hand image localization, segmentation, classification and program realization.

Keywords: gesture-recognition system, infrared channel, segmentation.

Е.Ю.Ломакіна

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ЖЕСТОВ

К рассмотрению предлагается эффективная система распознавания жестов на основе новых подходов к определению признаков, локализации и сегментации изображений руки, а также с расширением оптического диапазона видеокамеры через дополнительный инфракрасный канал с разработанными усовершенствованными алгоритмами сегментации, локализации, классификации жестов и программной реализацией.

Ключевые слова: система распознавания жестов, инфракрасный канал, сегментация.

Розробка нових інтерфейсів управління програмним та апаратним забезпеченням комп'ютерів на основі використання жестів та їх реалізація у вигляді системи розпізнавання жестів (СРЖ) є перспективним напрямком розвитку інформаційних технологій. Перевага при виборі інтерфейсу надається жестах тому, що вони є природним способом спілкування людини, дозволяють забезпечити дистанційне управління різними побутовими пристроями та розширити можливості інтерфейсу для людей з вадами слуху і мови.

Робота СРЖ включає основні етапи: збір даних про руку (отримання її зображення), локалізацію руки на зображенні, розпізнавання жестів, класифікацію жестів та присвоєння розпізаному жесту певної команди [1].

Мета дослідження полягає у розробці ефективної СРЖ на основі обраного методу розпізнавання жестів, нових підходів до локалізації, сегментації і класифікації зображень руки шляхом застосування нових та удосконалення відомих методів і засобів реалізації.

Вибір методу розпізнавання жестів.

Проведений огляд літературних джерел та аналіз сучасних технологій організації розпізнавання жестів надав можливість створити класифікацію методів розпізнавання жестів, придатних для побудови ефективною СРЖ.

Були встановлені основні переваги та недоліки методів на основі моделі, методів на основі виділення ознак, безконтактних та контактних методів.

Методи на основі моделі мають переваги (велика кількість жестів, що здатна розпізнати СРЖ; високі завадостійкість і надійність роботи алгоритмів) *та недоліки* (швидке зростання складності обчислень при збільшенні кількості камер та варіантів жестів, які треба розпізнати) [1,2].

Методи на основі виділення ознак мають такі переваги: зменшення складності обчислень шляхом переходу від аналізу всієї матриці образу до аналізу векторів ознак точного образу; можливість вибору ознак, які інваріантні до просторових перетворень, що дає спрощення обчислень і підвищує швидкодію. Їх недоліки – залежність від умов освітлення при використанні колірних ознак.

Основні переваги безконтактних технологій – зручність у використанні для корис-

© Ломакіна О.Ю., 2011

тувача; простота реалізації інтерфейсу у випадку використання однокамерної системи. *Недоліки вказаних технологій* – збільшення обчислювальних витрат при підвищенні кількості камер у СРЖ.

Переваги контактних технологій – висока завадостійкість і надійність роботи алгоритмів. *Недоліки* – СРЖ розпізнає лише жести, які створюються маніпуляцією пальців, а обертання долоні та інші складні рухи виходять за межі можливостей системи; обмеження для користувача: час роботи системи залежить від часу роботи елементів живлення; обмеження рухів користувача.

Аналіз методів на основі виділення ознак виявив доцільність використання саме цих методів завдяки можливості спрощення обчислення та підвищення завадостійкості СРЖ на основі виділення ознак, які передбачають використання ознак контурів і які є інваріантними до освітлення разом з кольорними ознаками шкіри людини, що легко відстежити на фоні зі складним змістом.

Аналіз можливостей використання безконтактних технологій показав переваги використання однокамерної СРЖ: на відміну від стерео- або багатокамерної СРЖ, однокамерна система не висуває високих вимог до засобів, на базі яких можна реалізувати інтерфейс такої СРЖ завдяки відносно невеликому обсягу опрацьовуваних даних.

Фактично саме така система є найпростішою для реалізації та, при відповідному рівні ефективності алгоритмів функціонування, надає відмінні результати за швидкістю.

Структура такої системи містить одну відеокамеру, *блок попередньої фільтрації, блок локалізації та виділення образу* та *блок прийняття рішення* (рис.1).

Алгоритм роботи такої СРЖ зображено на рис. 2.

Фізичний об'єкт (руку, кисть, пальці) подається у вигляді просторового розподілу одного або декількох параметрів, що безпосередньо або непрямо пов'язані з об'єктом – $P(x,y)$. Сукупність точок розподілу обраного параметра визначає первинне параметричне поле,

$$P(x,y) \Rightarrow J(u,v).$$

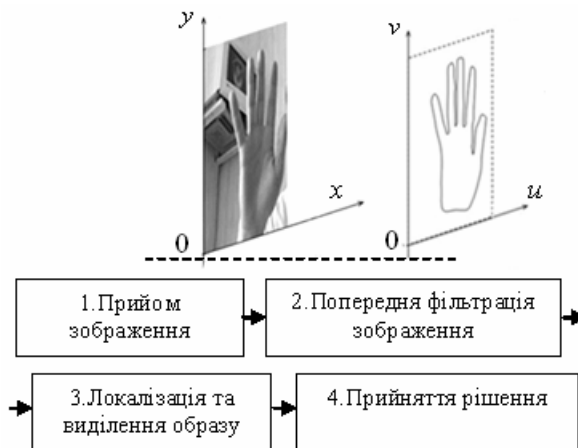


Рис. 1. Структурна схема СРЖ

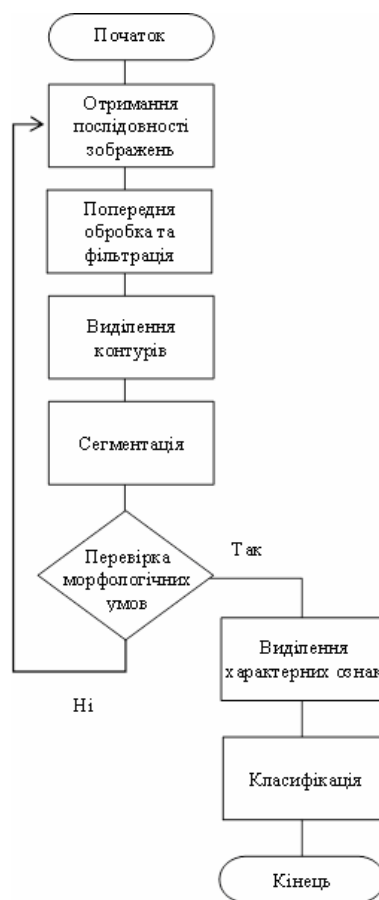


Рис. 2. Алгоритм роботи СРЖ

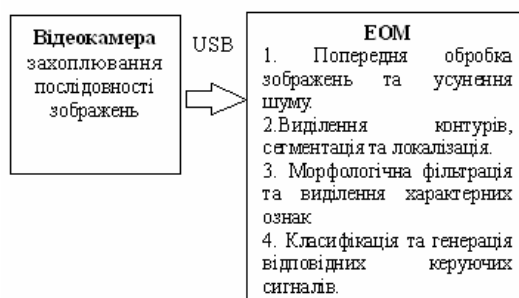


Рис. 3. Архітектура СРЖ

Функцію приймального пристрою у побудованій СРЖ виконує відеокамера, яка під'єднана до ЕОМ за допомогою USB.

Усі функції блока обробки інформації виконує ЕОМ.

Система відображення, яку включено до схеми на рис. 1, формує візуальний образ поля, який називається вторинним параметричним полем. Первинне поле містить об'єкт, а вторинне – його образ.

Функція просторового розподілу первинного параметра взаємно однозначно перетворюється системою відображення у функцію образу $J(u, v)$. Таким чином, точка у площині первинного поля з координатами (x, y) у площині вторинного поля має координати (u, v) . У системах відображення, що не вносять масштабних переключень, взаємний зв'язок між координатами первинного та вторинного полів може бути поданий лінійними рівняннями:

$$x = Mu; y = Mv,$$

де M – масштабний коефіцієнт.

За лінійної системи процес отримання образу можна подати за допомогою інтеграла Фредгольма

$$J(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(u, v, x, y) P(x, y) dx dy, \quad (1)$$

де $h(u, v, x, y)$ – імпульсний відгук системи.

Для систем, в яких характеристика перетворення не залежить від абсолютного значення координат як у первинному, так і у вторинному полях, вираз (1) має такий вигляд:

$$J(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(u - x, v - y) P(x, y) dx dy,$$

або в скороченому варіанті:

$$J = h \otimes P,$$

де \otimes – оператор згортки.

У такому випадку для багатоканальної системи з RGB-простором розкладання образу справедливі рівняння:

$$J_R = h_R \otimes P;$$

$$J_G = h_G \otimes P;$$

$$J_B = h_B \otimes P;$$

де J_R, J_G, J_B – інтенсивності відповідно червоного, зеленого та синього підобразів сумарного кольорового образу.

Попередня фільтрація здійснюється для підготовки зображень до етапу виділення контурів з метою усунення шуму, зменшення розмірів, стиснення зображення та калібрування кольорів.

Згладжування зображення здійснюється фільтром Гауса.

Зображення з корисною складовою і шумом

$$X(i, j) = P(i, j) + Err(i, j),$$

де $Err(i, j)$ – похибка, яка визначена шумом.

Підвищення якості зображення досягається усередненням

$$\bar{X}(i, j) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N X_k(i, j),$$

де $N \gg 1$ – кількість зображень, по яких виконують усереднення.

Фільтр Гауса для згладжування крайових ефектів

$$\bar{X}(i, j) = \sum_{l=-N}^N \sum_{k=-M}^M X[(i+l)(j+k)] \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{d^2}{2\sigma^2}},$$

де $d = \sqrt{l^2 + k^2}$.

Параметр σ задає ступінь розмиття зображення

Виділення високочастотної складової

$$X_{HF}(i, j) = X(i, j) - \bar{X}(i, j).$$

Виділення контурів відрізняється фільтрами згладжування і методами обчислення сили країв.

Для виділення контурів як оптимальний за критеріями виділення, локалізації та мінімізації декількох відгуків одного контуру застосовується детектор контурів Канні [3], який є сумою чотирьох експонент і може бути задовільно наближений першою похідною функції Гауса, та поняття Non-Maximum Suppression (придушення немаксимумів), яке означає, що виділяються пікселі контурів, в яких локальний максимум градієнта досягається в напрямку його вектора.

Для оцінки величини градієнта зображення використовується оператор Собеля:

$$B_u = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} B; B_v = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \otimes B;$$

Фільтр Собеля обрано завдяки його здатності ефективно фільтрувати низькочастотні компоненти.

Отже, отримавши оцінки, можна знайти величину градієнта за формулою

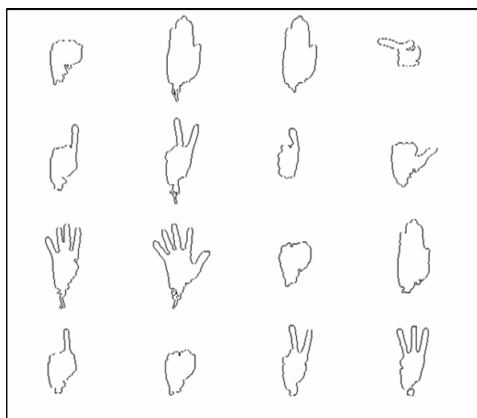
$$|\nabla B| = \sqrt{B_u + B_v};$$

Напрямок градієнта обчислюють так:

$$\theta = a \tan 2(B_u, B_v).$$



а



б

Рис. 4. Виділення контурів:
а – оригінальні зображення;
б – виділені контури

Сегментація за кольорними ознаками застосовується через те, що саме кольорові особливості образів жестів людини є найбільш інформативними і характерними для цього класу об'єктів.

Прикладом застосування сегментації за кольорними ознаками є набір жестів, наведений на рис.5,а. Колірні області (канали) визначаються обчисленням максимальних і мінімальних значень RGB:

$$\begin{cases} r_{\max} = \max_{\bar{x} \in J} r(\bar{x}), r_{\min} = \min_{\bar{x} \in J} r(\bar{x}); \\ g_{\max} = \max_{\bar{x} \in J} g(\bar{x}), g_{\min} = \min_{\bar{x} \in J} g(\bar{x}); \\ b_{\max} = \max_{\bar{x} \in J} b(\bar{x}), b_{\min} = \min_{\bar{x} \in J} b(\bar{x}); \end{cases}$$

Пікселі ділянок шкіри – це пікселі, які задовольняють умовам [4]:

$$|R - G| > 15, R > G, R > B.$$

$$R > 95, G > 40, B > 20;$$

$$\max(R, G, B) - \min(R, G, B) > 15.$$



а



б

Рис. 5. Сегментація за кольорними ознаками:
а – оригінальне зображення;
б – результат сегментації

Зображення, яке отримано з веб-камери (рис.5,а), містить жести на фоні, яскравість якого не суттєво відрізняється від яскравості жестів. Кольори фону обрано так, що вони не різко відрізняються від кольору шкіри. Результати сегментації за допомогою кольорних ознак показано на рис.5,б. Очевидно, що отримані результати є задовільними, але потребують додаткової фільтрації та морфологічної обробки.

З метою підвищення якісних показників роботи СРЖ було **розширено RGB-простір інфрачервоним (ІЧ)-каналом**. Фізично для розширення оптичного діапазону чутливості більшості веб-камер достатньо усунути ІЧ-фільтр.

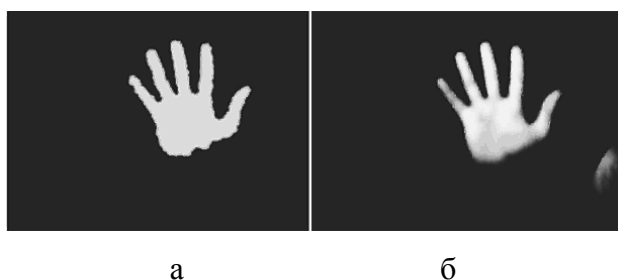


Рис. 6. Сегментація за допомогою ІЧ /тучного освітлення

Характерною особливістю цього способу розширення каналу прийому візуальної ін-формації за рахунок ІЧ-спектра є можливість використання кожного каналу окремо – RGB, RGB+IR або IR – на апаратному рівні. Причому можливість окремої обробки R-, G- та B-каналів залишається незмінною.

Стосовно питання сегментації за колірними ознаками також треба відзначити, що додавання ближнього ІЧ-спектра до звичайного оптичного діапазону веб-камери хоча і змінює загальний колірний простір усього кадру, але водночас надає шкірі людини характерний відтінок. Зображення, отримане з веб-камери, де відкрито ІЧ-канал, показано на рис.5,а. Значну увагу привертає якість сегментації, особливо якщо врахувати, що для отримання зображення на рис.5,б не застосовувалася додаткова обробка зображення – лише сегментація за колірними ознаками.

Якщо виділити ІЧ-канал на апаратному рівні за допомогою оптичного фільтра, то можна отримати зображення, показане на рис.6,а. Очевидно, що таке зображення жестів потребує мінімальної додаткової фільтрації для отримання зображення (рис.6,б). Фактично отримується абсолютна інваріантність до складу фону. Порівняння з результатами сегментації при використанні лише RGB-простору показує переваги використання додаткового ІЧ-каналу в СРЖ. Зокрема, питання фільтрації «шуму» в деяких випадках може бути усунуте взагалі, що дає змогу значно підвищити надійність і швидкість роботи СРЖ, особливо за обмежених обчислювальних ресурсів.

Оцінка ефективності використання штучного ІЧ-освітлення у СРЖ була проведена на основі експериментальних даних шляхом порівняння таких режимів, як RGB, RGB+IR і IR. Результати, отримані за такою схемою, зведено в табл. 1.

1. Результати сегментації за колірними ознаками

(умови: монотонний фон кольору, який помітно відрізняється від шкіри людини, та звичайне денне освітлення)

Колірний простір	Вірно розпізнані пікселі, %	Помилки 1-го роду, %	Помилки 2-го роду, %
RGB	73,5	26,5	17,5
RGB+IR	88,9	11,1	9,3
IR	98,9	1,1	1,95

При застосуванні ІЧ-каналу використане штучне світлодіодне освітлення в напрямку, перпендикулярному до головного екрану. Також слід зазначити, що під помилками 1-го роду розуміється відносна кількість пікселів, які не сегментовані разом з пікселями, але належать шкірі людини; помилки 2-го роду – це пікселі, які було сегментовано, але вони не належать жесту, що розпізнається.

Отримані в ході експерименту результати показують, що до задовільних показників можна віднести RGB+IR-простір – показник сегментації дорівнює 88,9 % вірно розпізнаних пікселів. Найбільш точні результати, як і очікувалося, отримано при використанні ІЧ-каналу та штучного освітлення. Застосування лише RGB потребує або додаткової попередньої обробки кадрів, або зміни умов головної сцени.

Метод аналізу головних компонент (АГК), використаний у СРЖ, – дуже ефективний інструмент у виділенні характерних ознак образів, які представлено великою кількістю даних. Суть цього методу – значне зниження розмірності даних.

Надана матриця значень пікселів вхідного зображення X розкладається на дві нові матриці T і P . Перша розмірність цих матриць A менше ніж кількість змінних у наданій матриці X . Друга розмірність I , яка є кількістю рядків, зберігається. Матриця T несе в собі стільки ж інформації, скільки містить матриця X , але T менша за X .

Нехай дано матрицю змінних X , розмірністю $(I \times J)$, де I – кількість рядків, а J – кількість стовпців.

У методі АГК використовують нові формальні змінні

$$t_a (a = 1, 2, \dots, A),$$

які є лінійною комбінацією вихідних змінних

$$x_j (j = 1, 2, \dots, J)$$

$$t_a = p_{a1} x_1 + \dots + p_{aJ} x_J,$$

де p_{aj} – коефіцієнти лінійної комбінації.

За допомогою нових змінних матриця X розкладається на добуток двох матриць T і P :

$$X = TP^t + E = \sum_{a=1}^A t_a P_a^t + E,$$

де E – матриця залишків.

Для визначення достатньої кількості головних компонент використовується нормована **дисперсія похибки**

$$D_a = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{I_a} \sum_{j=1}^J e_{i,j}^2}{\sum_{i=1}^{I_a} \sum_{j=1}^J x_{i,j}^2},$$

де e – елементи матриці залишків, x – елементи матриці X .

Чим менша дисперсія при певному a , тим більше інформації міститься у синтезованому зображенні.

Очевидно, що оригінальному жесту на рис.7,а повністю відповідає форма зображеного жесту на рис.7,б. Отже, на розгляданому прикладі очевидним стає той факт, що повна інформація про жест зберігається лише у 6 головних компонентах.

Обрання методу головних компонент для отримання характерних ознак дозволяє скоротити розмірність матриці початкового зображення з 120×120 пікселів до матриці з розміром 120×6 пікселів, тобто зменшити розмір масиву характерних ознак у **20 разів**.

Безумовно, обраний підхід є ефективним з точки зору підвищення швидкодії роботи СРЖ. З іншого боку, зменшення розмірності масивів характерних ознак дає змогу обробляти більшу кількість даних за певну одиницю часу, що надає переваги у надійності розпізнавання.

Після отримання характерних ознак образів жестів виконується задача їх правильна **класифікація**, тобто вибір критерію, за яким буде проведено порівняння ознак, та алгоритму класифікації.

У практичних додатках, при порівнянні зображень та їх ознак, використана метрика Евкліда. Після того, як визначена відстань між образами, знаходиться вираз для відстані між образом та класом. Якщо виконується принцип компактності, тобто вектори ознак образів одного класу компактно розташовані у просторі

ознак, то здійснюється перехід до еталонного образу, значення векторів ознак якого отримуються усередненням значень усіх векторів образів відповідного класу. Відстань між цим вектором та поточним образом

$$D_2(X, W_i) = \|X - C_i\|_2 = \sqrt{(X_1 - C_1)^2 + \dots + (X_N - C_N)^2}, \quad (2)$$

де $C = \frac{1}{|W|} X$ – елементи еталонного вектора ознак.

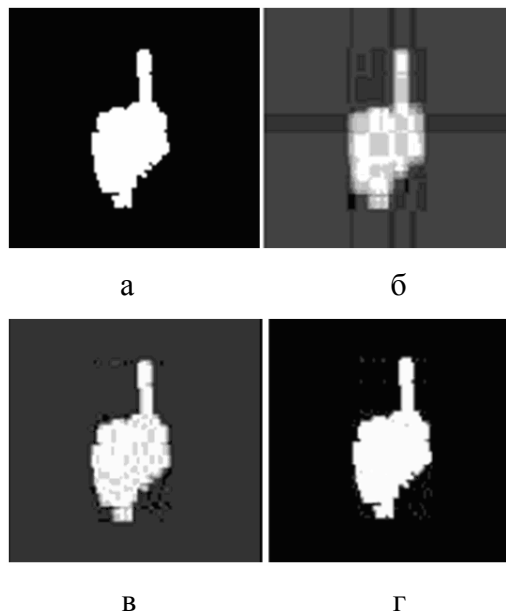


Рис. 7. Аналіз зображення методом АГК:
а – оригінальне зображення;
б, в, г – синтезовані зображення відповідно по 6, 12 та 20 головних компонентах

Машинне навчання алфавіту жестів. До цього алфавіту належать усі жести, які СРЖ може розпізнати, тобто повний набір цих жестів складає алфавіт.

У загальному випадку процедура машинного навчання «з учителем» передбачає запис у пам'ять ЕОМ навчальної вибірки. Ця вибірка повинна містити весь алфавіт жестів. Кожний поточний жест СРЖ порівнює з алфавітом та виявляє, до якого він ближче за всіх.

На простому прикладі, коли алфавіт складається з двох жестів “1” та “2”, можемо уявити процес роботи СРЖ – рис.8,а. Якщо у пам'яті ЕОМ записано вектори ознак двох жестів, які зображені на цьому рисунку справа, то, при отриманні зображення з жесту, показаного на рис.8,а зліва та зверху, виходячи з найменшої обчисленої відстані 0,0384, класифікатор визначає, що це жест “1”, який зображено на цьому ж рисунку, але справа та зверху.

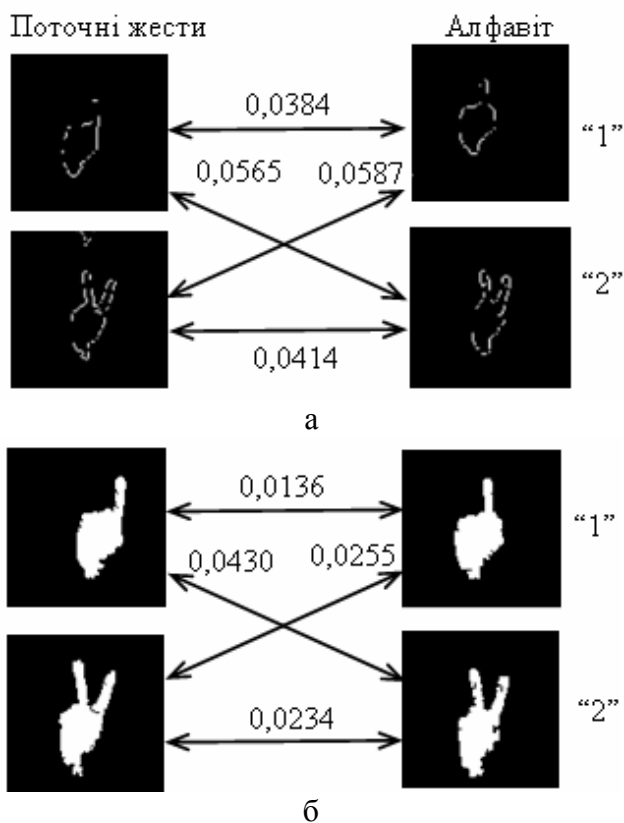


Рис. 8. Відстані між векторами ознак різних жестів:

- а – контурні ознаки;
- б – ознаки сегментованих зображень

Для перевірки ефективності роботи нової СРЖ були розроблені програми виділення контурів, сегментації за кольорними ознаками, розрахунку головних компонент зображень та виділення векторів характерних знак з визначеною точністю. Окремо розроблено програму, що дає змогу реалізувати сегментацію зображень, які отримані з використанням розширеного оптичного діапазону.

Перевірка точності отриманих теоретичних і практичних результатів

Проведемо аналіз результатів роботи програми розпізнавання жестів, яка використовує для сегментації контурні ознаки маски рухів. Для виділення ключових ознак із образів отриманих жестів використовується метод головних компонент. Критерієм винесення рішення щодо належності поточного жесту до відповідного класу є відстань Евкліда.

Отже, зведемо у табл.2 результати розрахунків відстаней Евкліда для тестового набору жестів, які розпізнано методом “з учителем” за допомогою бази даних з п’яти аналогічних жестів. Жести, які використовуються у базі даних, розташовані у першому рядку таблиці.


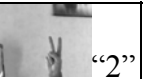
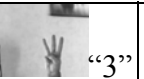

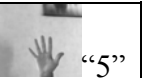





Аналіз отриманих даних показує, що для жесту “1” мінімальним значенням відстані Евкліда є 0,7792, яке відповідає жесту “1” з бази даних. Отже, у заданих умовах, розпізнавання жесту “1” є вірним. Значення інших відстаней помітно відрізняються і є більшими.

Висновки

В ході дослідження:

- проведено аналіз існуючих СРЖ та виявлені їх основні переваги та недоліки;
- запропоновано нові підходи до виділення ознак та показано, що найбільший ступінь надійності та найвищу завадостійкість забезпечують саме методи на основі виділення ознак, які передбачають використання ознак контурів, інваріантні до освітлення, разом з кольорними ознаками шкіри людини;
- на етапі попередньої фільтрації вперше показано можливість спростити структуру СРЖ шляхом розширення оптичного діапазону відеокамери на ближній інфрачервоний

2. Результати розрахунків відстаней Евкліда

Образ / Відстань	 “1”	 “2”	 “3”	 “4”	 “5”
 “1”	0,7792	0,8947	0,9387	1,1356	1,0787
 “2”	0,7698	0,7854	0,8265	0,9484	0,7562
 “3”	0,9167	0,9399	0,9355	1,1252	1,0985
 “4”	0,8720	0,9377	0,8682	0,9889	0,7647
 “5”	0,8853,	0,7742	0,8721	1,0371	0,9160

спектр, що дає змогу звести такі складні функції у блоці отримання інформації, як попередня фільтрація, калібрування колір-ного простору, локалізація та сегментація, лише до тривіальної морфологічної обробки отриманих зображень;

показано на практичних прикладах шляхи ефективного застосування фільтрів Гауса для реалізації операції усунення шуму, підвищення чіткості зображення та вирівнювання яскравості у рамках процедури попередньої фільтрації зображень, що дозволили помітно підвищити швидкодю алгоритму СРЖ;

запропоновано ефективну процедуру вилучення характерних ознак методом АГК та методом визначення мінімальної кількості головних компонент, які містять повну інформацію про початкове зображення, що є важливим для забезпечення надійності роботи СРЖ (на практичному прикладі показано, що для зображень, які містять жести людини можливо скоротити розмірність векторів характерних ознак у 20 разів, і що ця перевага дозволяє суттєво спростити роботу СРЖ з великими навчальними вибірками, або впровадити її за умов обмежених обчислювальних ресурсів);

розроблено вдосконалені алгоритми сегментації, локалізації та класифікації жестів та їх програмну реалізацію;

розроблено ефективний алгоритм СРЖ, який відрізняється новим підходом до обробки зображень жестів, ефективною процедурою виділення контурів, високою надійністю роботи при частковому затіненні жестів та іншими перевагами.

За результатом проведеного дослідження розроблено удосконалену СРЖ на основі нових підходів до визначення ознак, локалізації і сегментації зображень руки та з розширенням оптичного діапазону відеокамери через додатковий ІЧ-канал із розробленими удосконаленими алгоритмами сегментації, локалізації та класифікації жестів та програмною реалізацією, ефективність роботи якої підтверджено експериментально.

Отримано 30.10.2011

Список використаної літератури

1. Абакумов В.Г. Застосування жестів рук при людино-машинному інтерфейсі / В.Г. Абакумов, О.Ю.Ломакіна, О.Б. Ровенко // *Електроника и связь, тематич.вып. "Электроника и нанотехнологии"*, 2011.
2. Stenger B., Mendonça P. R. S. and Cipolla R. Model-Based Hand Tracking Using an Unscented Kalman Filter, *Proc. BMVC.* – Vol. I. – September.– 2001. – P. 63–72.
3. Canny J. A Computational Approach to Edge Detection, *IEEE Trans, on Pattern Analysis and Machine Intelligence.* –1986. – № 8(6).
4. Meyer F. Color image segmentation. *Proceedings of the International Conference on Image Processing and its Applications.* – 2002. – P. 303–306.

References

1. Abakumov V.G., Lomakin A., Rovenko O.B. Using hands signes in man-machine interface / *Electronics and Communications, thematic pulication. "Elektronika i Nanotehnologii"*, 2011 [in Ukrainian].
2. Stenger B., Mendonça P. R. S. and Cipolla R. Model-Based Hand Tracking Using an Unscented Kalman Filter, *Proc. BMVC.* – Vol. I. – September, 2001. – P. 63–72 [in English].
3. Canny J. A Computational Approach to Edge Detection, *IEEE Trans, on Pattern Analysis and Machine Intelligence.* –1986. – № 8(6) [in English].
4. Meyer F. Color image segmentation. *Proceedings of the International Conference on Image Processing and its Applications.* – 2002. – P. 303–306 [in English].



Ломакіна
Олена Юрїївна,
аспірантка Нац. техніч.
ун-ту України «КПІ»,
03056, Київ,
пр. Перемоги, 37
тел. 0974670250
leleka85@rambler.ru