

1. Вагин В. Н. Дедукция и обобщение в системе принятия решений / В. Н. Вагин. – М.: Наука, 1988. – 384 с. 2. Джарратано Д. Экспертные системы: принципы разработки и программирование / Д. Джарратано, Г. Райли. – 4-е изд. – М.: ООО “Вильямс”, 2007. – 1152 с. 3. Кузин Л. Т. Основы кибернетики: в 2-х т. – Т.2: Основы кибернетических моделей. – М.: Энергия, 1979. – 584 с. 4. Хант Э. Искусственный интеллект/ пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 558 с. 5. Вавіленкова А.І. Логіко-лінгвістична модель як засіб відображення синтаксичних особливостей текстової інформації / А. І. Вавіленкова // Математичні машини та системи. – 2010. – № 2. – С. 134–137. 6. Искусственный интеллект: в 3-х кн. / [ред. Д. А. Поспелов]. – Кн. 2: Модели и методы: справочник. – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.

УДК 004.942:934.22

М.В. Давидов, Ю.В. Нікольський, С.М. Тиханський
Національний університет “Львівська політехніка”

МЕТОД ІДЕНТИФІКАЦІЇ ВІЗЕМ ЗА АРТИКУЛЯЦІЇ У СКЛАДІ ЖЕСТУ УКРАЇНСЬКОЇ ЖЕСТОВОЇ МОВИ

© Давидов М.В., Нікольський Ю.В., Тиханський С.М., 2011

Розглядається проблема розпізнавання артикуляції на відеозаписах з мовленням. Пропонується багатокроковий метод розпізнавання, що ґрунтується на нормалізації зображення обличчя, методі активної моделі форми ASM та методі найменших квадратів. Метод протестований на відеозаписах промовляння слів та на основі облич.

Ключові слова: жестова мова, артикуляція, розпізнавання образів, розпізнавання обличчя, активна модель форми, нормалізація зображення.

The problem of articulations recognition on human speech videos is considered. Multistep recognition method that is based on face image normalization, active shape model (ASM) and least squares method is proposed. It was tested on human speech video records and on samples from the face database.

Key words: sign language, articulation, image recognition, face recognition, active shape model, image normalization.

Постановка проблеми

Автори розробили спеціальний тренажер, який використовується для навчання жестовій мові. Автоматичне візуальне розпізнавання жестової мови та переклад з неї у текст вимагає розв’язання низки задач, пов’язаних з ідентифікацією положення тіла людини у просторі, форми кисті руки, артикуляції, міміки, окремих жестів, семантичного та прагматичного лінгвістичного аналізу, синтезу письмового перекладу тощо. В українській жестовій мові важливу роль відіграє артикуляція. Артикуляція як складова мови дає змогу розрізняти різні слова, які показують одним жестом, надавати словам жестової мови емоційних відтінків, сприймати жестову мову людьми, які краще читають по губах, ніж розуміють рухи рук.

Тренажер містить словник відеозаписів жестів української жестової мови та дає змогу показувати жести зі словника, контролювати правильність виконання жесту, адаптуватися під специфіку навчання мові жестів конкретної людини. Розроблення та впровадження такого тренажера є дуже актуальним завданням, оскільки в Україні гострою є проблема нестачі кваліфікованих кадрів для здійснення такого навчання.

Аналіз останніх публікацій

У [1, 2] досліджено механізми формування складових жесту, зокрема артикуляцію, та синтезовано їх на анімованих зображеннях людини, а також досліджено методи *синтезу* артикуляції під час промовляння слів. На основі експериментальних даних виділено 15 візем української мови для усіх звуків, як голосних, так і приголосних: деякі віземи відповідають кільком звукам, що підтверджує отримання неповної інформації про слово візуально. Під віземою розуміють форму губ у максимальному відхиленні від стану спокою під час промовляння відповідного звуку.

Артикуляційний апарат – це система органів, що беруть участь у створенні звуків мови [3]. Артикуляція – це рух елементів артикуляційного апарата, який складається з таких трьох фаз.

1. Екскурсія – підготовка мовного апарата до промовляння звуку.
2. Витримка – власне промовляння зі збереженням положення органів артикуляційного апарата.

3. Рекурсія – закінчення артикуляції.

В процесі артикуляції губи як складова артикуляційного апарата набувають різних форм, кожна з яких зображається віземою.

Розпізнавання параметрів артикуляції та міміки обличчя виконують або 3D-моделюванням [1], моделюванням із застосуванням моделей ASM (Active Shape Model) [4] та AAM (Active Appearance Model) [4], які призначені для обчислення характеристик обличчя, або за допомогою статистичних методів [5].

У [4] запропоновано методи обчислення характеристик обличчя, які використовують AAM та ASM моделі. Метод AAM обчислює величину відмінності між моделлю та повним зображенням обличчя, а метод ASM – лише частиною зображення, яке прив'язане до ключових точок моделі. Також у [4] сформульовано загальні принципи побудови систем на основі моделей ASM або AAM. Конкретні задачі вимагають адаптації цих методів із врахуванням вимог до якості розпізнавання, швидкодії, умов зовнішнього середовища, параметрів обличчя, які необхідно отримати.

У [6] запропоновано та досліджено спосіб покращання результатів побудови моделі ASM на основі використання інформації з попередніх кадрів. У цьому методі для кожного кадру визначають границі обличчя на зображенні та порівнюють їх з границями обличчя на попередньому кадрі. На основі цього визначають зміну положення обличчя, що дає можливість точніше вибирати початкове розташування ключових точок. Такий підхід є ефективним для однорідного тла, колір якого відмінний від кольору шкіри.

Формулювання цілей статті

Автори впродовж багатьох років проводять дослідження із розпізнавання жестової мови [5, 7]. У межах цих досліджень виділено коло завдань, пов'язаних із аналізом артикуляції, загальний зміст яких викладено у [8].

У цій роботі визначено місце завдань аналізу артикуляції в загальному комплексі завдань розпізнавання української жестової мови. Запропоновано та досліджено багатокроковий метод ідентифікації візем у процесі артикуляції, що виконує поставлені завдання. Цей метод використовує фільтр гауссівського розмиття, фільтр нормалізації та ASM-моделювання. Був вдосконалений фільтр нормалізації, що уможливило зменшити втрату інформації під час його застосування, та алгоритм ASM-моделювання, що дало змогу підвищити точність розміщення контрольних точок на обличчі.

Метод застосовано на тестовій базі даних відеозаписів.

Основний матеріал

Розроблений метод опрацьовує прямокутник з вписаним у нього обличчям, який отримано в результаті застосування алгоритму Віоли та Джонса [9] пошуку обличчя на кадрі. В результаті опрацювання отримуємо позначення ідентифікованої віземи. Метод складається з таких етапів:

1. Масштабування зображення.

2. Попередня фільтрація зображення.
3. Знаходження моделі губ.
4. Ідентифікація візми на обличчі.

На етапі *масштабування* здійснюється перетворення вхідного зображення до стандартного розміру 100x100 пікселів, в якому кольори пікселів отримані білінійною інтерполяцією початкового зображення. Оскільки при цьому можуть змінитися пропорції зображення, то приклади у роботі показано в оригінальних розмірах.

На етапі *попередньої фільтрації* виконується опрацювання масштабованого зображення. Для цього застосовано фільтри у певній послідовності.

Знаходження моделі губ полягає у визначенні множини координат ключових точок на зображенні губ, взаємне розташування яких визначає їхню форму. Для знаходження моделі губ побудовано модифікацію методу ASM, яка дає змогу розпізнавати форму об'єкта на зображенні навіть за сильною деформацією об'єкта [4].

На етапі *ідентифікації візми* визначаємо візму, яка найімовірніше є на моделі обличчя.

Метою попередньої фільтрації є зменшення залежності результатів розпізнавання від нерівномірності освітлення, зашумленості зображення, неточної передачі кольорів камерою тощо. Для попередньої фільтрації обрано фільтри гауссівського розмиття та нормалізації кольорів зображення.

Фільтр гауссівського розмиття використано для зменшення шумів зображення. Вхідними даними цього фільтра розмиття є параметр S , ($S > 0$) та зображення у форматі RGB, у якому значення яскравості пікселів кожного кольору задано числом з проміжку [0; 255]. Фільтр гауссівського розмиття застосовано для кожного кольору. Застосування фільтра гауссівського розмиття полягає у виконанні операції згортки зображення, яка виконується за формулою

$$m'_{ij} = \sum_{k=1}^{2L+1} \sum_{l=1}^{2L+1} m_{i-k+L+1, j-l+L+1} \cdot g_{kl}, \quad i, j = 1, 2, \dots, 100, \quad (1)$$

де m_{ij} – елемент матриці яскравості пікселів розмірів 100×100 для вхідного зображення; m'_{ij} – елемент матриці яскравості пікселів розмірів 100×100 для опрацьованого зображення, $L = \lceil 3 \cdot S \rceil$; g_{ij} – елемент матриці ядра згортки, яку задано матрицею розмірів $(2 \cdot L + 1) \times (2 \cdot L + 1)$ з елементами обчисленими як значення функції Гауса вигляду

$$g_{ij} = \frac{1}{2\pi S^2} e^{-\frac{(i-L+1)^2 + (j-L+1)^2}{2S^2}}, \quad i, j = 1, 2, \dots, 2 \cdot L + 1. \quad (2)$$

На рис. 1, а показано приклад зображення перед застосуванням фільтра гауссівського розмиття, а на рис. 1, б – результат його застосування за $S = 1$. Для ідентифікації візем експериментальним шляхом було обрано значення $S = 3$.

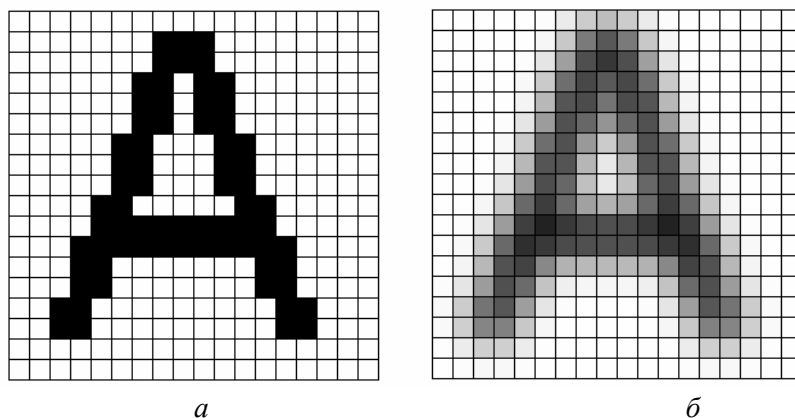


Рис. 1. Застосування фільтра гауссівського розмиття:
а – початкове зображення; б – опрацьоване зображення

Фільтр нормалізації зображення вирівнює яскравість усіх пікселів за збереження інформації про колір. Це зменшує вплив нерівномірності освітлення. Вхідними даними фільтра є параметр $l \in [0;255]$ та зображення, опрацьоване фільтром гауссівського розмиття. Зображення задано матрицями R, G, B розмірів 100×100 з елементами $r_{ij}, g_{ij}, b_{ij}, i, j = 1 \dots 100$ відповідно. У результаті застосування фільтра нормалізації отримаємо зображення, яке задано матрицями R', G', B' розмірів 100×100 з елементами $r'_{ij}, g'_{ij}, b'_{ij}, i, j = 1, 2, \dots, 100$ відповідно.

Нормалізація зображення виконується за два кроки:

1. Обчислення матриці коефіцієнтів K розмірів 100×100 з елементами $k_{ij} = \frac{3 \cdot l}{r_{ij} + g_{ij} + b_{ij}}, i, j = 1, 2, \dots, 100$.
2. Обчислення матриць R', G', B' з елементами $r'_{ij} = \lfloor r_{ij} \cdot k_{ij} \rfloor, g'_{ij} = \lfloor g_{ij} \cdot k_{ij} \rfloor, b'_{ij} = \lfloor b_{ij} \cdot k_{ij} \rfloor, i, j = 1, 2, \dots, 100$.

На рис. 2 показано результати застосування фільтра нормалізації, де на рис. 2, а знаходиться зображення до нормалізації, а на рис. 2, б – результат застосування фільтра нормалізації для $l = 128$. До нормалізації червоний та зелений канали заповнені сірим кольором, а на синьому каналі присутнє зображення чорної літери А на сірому фоні. Оскільки піксели з нульовою синьою компонентою темніші, то після нормалізації ці піксели стали яскравішими. Відповідно зросли значення яскравостей червоної та зеленої компонент. Оскільки під час чорно-білого друку неможливо передати інформацію про кольори, то усі приклади застосування фільтра нормалізації подано зображеннями каналів R, G, B.

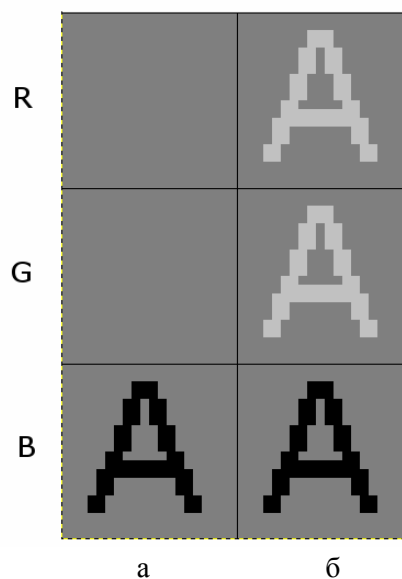


Рис. 2. Застосування фільтра нормалізації зображення:
а – зображення до застосування фільтра нормалізації; б – зображення,
отримане в результаті застосування фільтра у нормалізації за $l = 128$

Застосування цього фільтра усуває тіні, що присутні на зображенні обличчя. Проте у деяких випадках під час застосування фільтра нормалізації втрачається інформація про контури. Приклад таких втрат показано на рис. 3, а та рис. 3, б. Втрата відбувається тому, що кольори об'єкта й фону на зображенні є різними відтінками сірого кольору і за нормалізації яскравості пікселів вони зливаються в один колір.

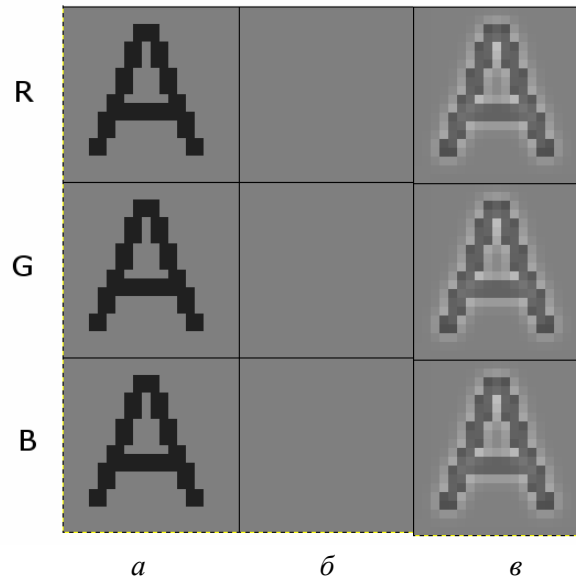


Рис. 3. Втрати інформації про контури під час застосування фільтра нормалізації зображення: а – зображення до застосування фільтра нормалізації; б – зображення, отримане застосуванням фільтра нормалізації за $l = 128$; в – зображення, отримане застосуванням вдосконаленого фільтра нормалізації за $l = 128, S = 1$

Для зменшення втрати інформації про контури вдосконалено метод нормалізації [10] на основі застосування фільтра гауссівського розмиття до матриці коефіцієнтів K .

Вхідними даними вдосконаленого методу є параметр $l \in [0; 255]$, параметр S та зображення, опрацьоване фільтром гауссівського розмиття. Початкове зображення задано матрицями R, G, B розмірів 100×100 , а отримане зображення – матрицями R', G', B' розмірів 100×100 .

Нормалізація зображення у цьому методі виконується у три кроки.

1. Обчислення матриці коефіцієнтів K розмірів 100×100 з елементами $k_{ij} = \frac{3 \cdot l}{r_{ij} + g_{ij} + b_{ij}}$, $i, j = 1, 2, \dots, 100$.
2. Застосування фільтра гауссівського розмиття до матриць R, G, B з параметром S за формулами (1) та (2).
3. Обчислення матриць R', G', B' з елементами $r'_{ij} = \lfloor r_{ij} \cdot k_{ij} \rfloor$, $g'_{ij} = \lfloor g_{ij} \cdot k_{ij} \rfloor$, $b'_{ij} = \lfloor b_{ij} \cdot k_{ij} \rfloor$, $i, j = 1, 2, \dots, 100$.

Параметр S призначений для регулювання ступеня розмиття матриці коефіцієнтів. На рис. 3, в показано зображення до нормалізації, а на рис. 3, г – результат застосування вдосконаленого алгоритму нормалізації для $l = 128$ та $S = 1$.

Для побудови моделі губ розроблено метод, який є модифікацією методу ASM. Цей метод буде модель конкретного обличчя як множини ключових точок на його зображенні. Існуюче еталонне розташування ключових точок метод ASM уточняє шляхом ітеративного перерахунку координат цих точок для конкретного обличчя. Модифікація методу ASM опрацьовує не обличчя повністю, а лише зображення губ. Відповідно замість повної моделі обличчя використовується модель губ.

Для застосування цього методу зображення обличчя RGB-формату перетворене у зображення у відтінках сірого, в якому кожен піксел задано значенням яскравості в діапазоні $[0; 255]$.

Модель губ є множиною ключових точок – вершин графа-циклу $C_6 = (V, E)$, де $V = \{p_1, p_2, \dots, p_6\}$, $E = \{\{p_1, p_2\}, \{p_2, p_3\}, \{p_3, p_4\}, \{p_4, p_5\}, \{p_5, p_6\}, \{p_6, p_1\}\}$. Модель губ

задамо кортежем ключових точок $P = (p_1, p_2, \dots, p_6)$, а кожен ключову точку p_i , $i = 1, 2, \dots, 6$ координатами $p_i = (p_{ix}, p_{iy})$. Приклад моделі губ показано на рис. 4.

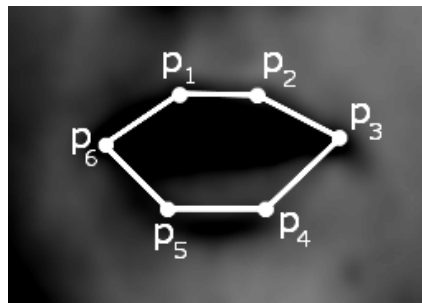


Рис. 4. Приклад моделі губ, нанесеної на їхнє зображення

Метод ASM використано для опрацювання таких зображень:

- досліджуваного обличчя, яке подане матрицею M розмірів 100×100 , та початкове наближення моделі губ, яка подана шестиелементним кортежем ключових точок P (рис. 5, а);
- еталонного обличчя, яке подане матрицею N розмірів 100×100 , та еталонною моделлю губ, яка подана шестиелементним кортежем ключових точок R (рис. 5, б).

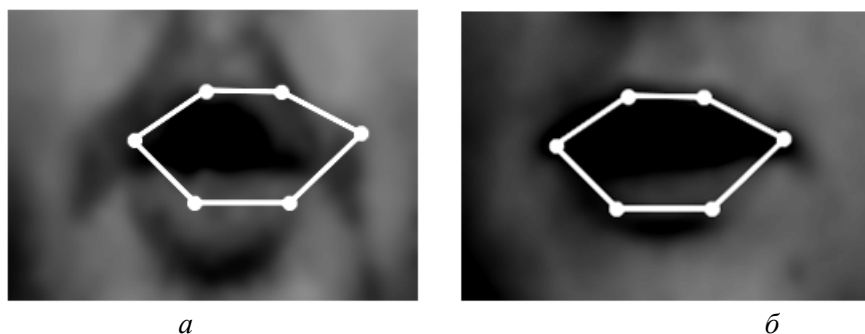


Рис. 5. Зображення губ з їх моделлю: а – досліджуване зображення і початкове наближення моделі; б – еталонне зображення з еталонною моделлю

Еталонне зображення обличчя та еталонну модель губ створюємо один раз і використовуємо для усіх кадрів, які опрацюємо методом ASM.

Модифікація методу ASM ґрунтується на порівнянні моделі губ на еталонному та досліджуваному обличчях. Для виконання алгоритму введемо поняття локальної структури ключової точки p_k , $k = 1, 2, \dots, 6$, під якою розуміємо яскравість пікселів в її околі. Околом точки p_k є піксели, які знаходяться у прямокутній області з центром у точці p_k (рис. 6).

Для побудови локальної структури потрібно:

- побудувати вектор $v = (v_x, v_y)$ нормалі до прямої, проведеної через дві суміжні до p_k вершини моделі P . Вектор напрямлений у півплощину, в якій знаходиться точка p_k , а його довжина дорівнює відстані між цими вершинами;

- обчислити координати точок $(c_{xl}^{(k)}, c_{yl}^{(k)})$, де $l = 11i + j + 61$ для усіх цілих $i, j \in [-5; 5]$ за формулами $c_{xl}^{(k)} = \lfloor p_{kx} + i v_x + j v_y \rfloor$, $c_{yl}^{(k)} = \lfloor p_{ky} + i v_y + j v_x \rfloor$.

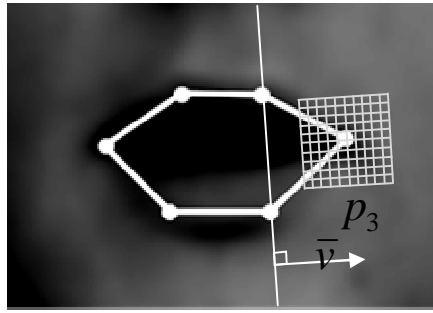


Рис. 6. Точки з околу p_3 , значення яскравостей яких визначають локальну структуру

Локальну структуру ключової точки p_k на досліджуваному зображенні M подано кортежем L з елементами $l_q = m_{c_{xq}, c_{yq}}$, $q = 1, 2, \dots, 121$.

Для локальних структур L_1 та L_2 введемо міру подібності r , яку обчислюємо за формулою

$$r(L_1, L_2) = \sqrt{\sum_{i=1}^{121} (l_i^{(2)} - l_i^{(1)})^2}, \quad l_i^{(1)} \in L_1, l_i^{(2)} \in L_2.$$

За $r = 0$ локальні структури однакові.

Визначимо модель зображення губ як пару $G = (M, P)$, де M – матриця зображення обличчя, P – модель губ. Для моделей зображення губ введемо міру подібності I за правилом

$$I(G_1, G_2) = \sum_{k=1}^6 r(L_k^{(G_1)}, L_k^{(G_2)}),$$

де $L_k^{(G)}$ – локальна структура точки p_k в моделі зображення губ G .

Алгоритм пошуку моделі губ P^* будує таку збіжну послідовність моделей P_0, P_1, P_2, \dots , що $P_n \rightarrow P^*$ за $n \rightarrow \infty$, де P_0 – початкова модель губ, $P_n = F(P_{n-1}), n = 1, 2, \dots$

Обчислення відображення F полягає у мінімізації:

- міри подібності за зсуву усіх точок моделі губ;
- міри подібності за зсуву кожної точки моделі губ.

Для спрощення позначень індекс n далі опущено там, де погіршене сприйняття.

Першу задачу розв'язуємо зміщенням усіх точок моделі губ P_{n-1} на величини $i^* \Delta x$ та $j^* \Delta y$ по осях абсцис і ординат відповідно, де Δx , Δy – задані фіксовані значення. В результаті отримаємо нову модель губ P'_n з елементами

$$p_k^* = (p_{kx} + i^* \Delta x, p_{ky} + j^* \Delta y), \quad k = 1, 2, \dots, 6.$$

Пара цілих значень (i^*, j^*) отримана з співвідношення

$$(i^*, j^*) = \arg \min_{(i, j) \in I \times J} I(G^{(i, j)}, G_N),$$

де $G_N = (N, R)$ – модель зображення губ еталонного зображення, $I = J = [-5; 5]$, $G^{(i, j)}$ – модель зображення губ, яка визначена для моделі губ з ключовими точками:

$$p_k' = (p_{kx} + i \Delta x, p_{ky} + j \Delta y), \quad k = 1, 2, \dots, 6.$$

Другу задачу розв'язуємо зміщенням кожної точки моделі губ P'_n . Модель губ P_n з координатами p_k'' обчислюємо з моделі губ P'_n з координатами p_k^* зміщенням точок моделі губ P'_n на величини $i_t^* \Delta x$, $j_t^* \Delta y$, $t = 1, 2, \dots, 6$ по осях абсцис і ординат відповідно:

$$p_k'' = (p_{kx} + i_t^* \Delta x, p_{ky} + j_t^* \Delta y), k = 1, 2, \dots, 6.$$

Пару цілих значень (i_t^*, j_t^*) отримано із співвідношення

$$(i_t^*, j_t^*) = \arg \min_{(i_t, j_t) \in I \times J} I(G^{(i_t, j_t)}(t), G_N),$$

де $G^{(i_t, j_t)}(t)$ – моделі зображень губ, які визначені для моделей губ з ключовими точками:

$$p_k'' = \begin{cases} (p_{kx} + i_t \Delta x, p_{ky} + j_t \Delta y), & \text{якщо } k = t, \\ (p_{kx}, p_{ky}), & \text{якщо } k \neq t. \end{cases}$$

Експерименти показали [4], що для точного визначення положення ключових точок потрібно виконати $n = 18$ ітерацій. Приклад побудови моделі губ запропонованою модифікацією методу ASM показано на рис. 7.

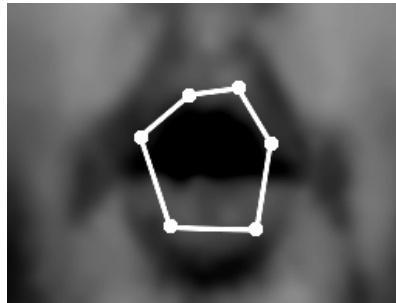


Рис. 7. Результат побудови моделі губ запропонованою модифікацією методу ASM

Для ідентифікації візми використано побудовану модель губ P та множину еталонних моделей губ візем $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$, де n – кількість візем.

Відстань між моделями губ P , $p_i \in P$, $i = 1, 2, \dots, 6$ та R , $r_i \in R$, $i = 1, 2, \dots, 6$ обчислюємо за формулою

$$d(P, R) = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 \left(\sqrt{(p_{ix} - p_{jx})^2 + (p_{iy} - p_{jy})^2} - \sqrt{(r_{ix} - r_{jx})^2 + (r_{iy} - r_{jy})^2} \right)^2, \quad (3)$$

де $(p_{ix}, p_{iy}) \in P$, $(r_{ix}, r_{iy}) \in R$.

Чим менші значення d , тим подібніші моделі. Результатом ідентифікації є візема v , яку отримують із співвідношення

$$v = \arg \min_{e \in E} d(P, e).$$

Експерименти застосування алгоритму для розпізнавання артикуляції

Для ідентифікації візем на зображенні обличчя розроблено програмний комплекс мовою C++, в якому з бібліотеки OpenCV використано функції отримання зображення з відеокамери та пошуку обличчя на зображенні.

Для тестування розроблених алгоритмів проведено три групи експериментів:

1. Перевірка точності знаходження моделі губ.
2. Перевірка ідентифікації візем за фронтального освітлення обличчя.
3. Перевірка ідентифікації візем за різних умов освітлення обличчя.

Першу групу експериментів проведено на основі обличчя "BioID" [11], яка містить 1521 зображення 23 осіб в анфас. Кожен експеримент проведено за такою схемою.

1. Обрано зображення однієї людини з бази. Усю множину зображень розбито на дві підмножини: еталонних та досліджуваних зображень.

2. На усіх зображеннях розставлено ключові точки для отримання моделей губ.

3. Обрано пару зображень: одне з множини еталонних і одне з множини досліджуваних зображень. Для еталонного зображення обчислено матрицю N та еталонну модель губ R . Для досліджуваного зображення обчислено матрицю M та початкове наближення моделі губ P .

4. Застосуванням модифікованого алгоритму ASM отримано модель губ досліджуваного зображення P^* .

5. Обчислено відстань за формулою (3) між отриманою моделлю губ P^* та моделлю \tilde{P} , отриманою для цього зображення у другому пункті.

6. Якщо обчислена відстань була меншою за порогове значення, то результат експерименту вважався успішним, інакше – неуспішним. Порогове значення, за якого деформація моделі ще була незначною, отримане експериментально.

У першій групі експериментів опрацьовано зображення обличч 10 людей. Успішний результат отримано у 81 % експериментів.

Для проведення другої групи експериментів створено базу відеозаписів артикуляції слів української мови. База складається з 50 слів української мови. Відеозаписи для цієї бази були записані за фронтального освітлення обличчя (рис. 8, а).

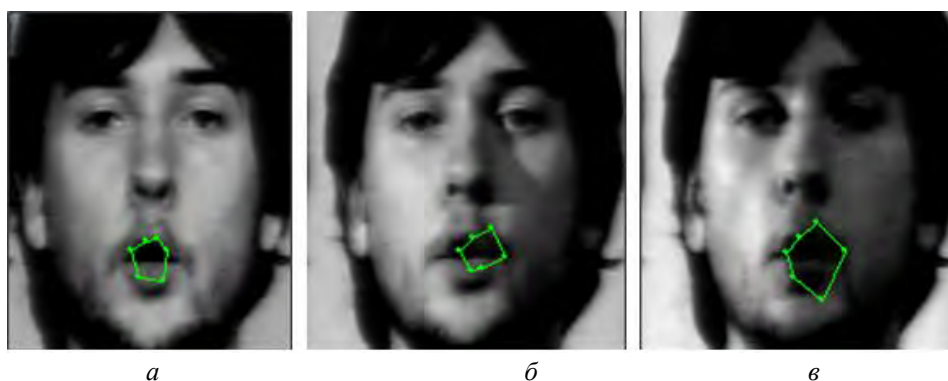


Рис. 8. Вплив освітлення на точність знаходження ключових точок губ:
а – переднє освітлення; б – передньо-бокове освітлення; в – бокове освітлення

Перед проведенням другої групи експериментів створено моделі губ для кожної віземи з таблиці. Експеримент проведено за такою схемою:

1. Обрано одне слово з бази.
2. Для кожного кадру відеозапису слова визначено, якій віземі відповідає форма губ.
3. Застосовано алгоритм ідентифікації віземи на кожному кадрі відеозапису.
4. Для кожної віземи слова пораховано на скількох кадрах віземи ідентифіковано правильно.

Якщо віземи правильно ідентифіковано більше ніж на половині кадрів, то вважаємо, що загалом віземи ідентифіковано правильно.

У другій групі експериментів опрацьовано усі 50 слів з бази. Правильно ідентифіковано 89 з 119 візем (74 %). Кількість правильно ідентифікованих візем для кожного типу візем подано у таблиці.

Результати ідентифікації візем

№ віземи	Звуки, що відповідають віземі	Кількість опрацьованих візем	Кількість правильно ідентифікованих візем
1	А	14	10
2	О	19	12
3	У	30	26
4	Е	44	33
5	І, И	12	8
Загалом		119	89

На рис. 9 показано кадри відеозапису слова “Тато” з бази: на рис. 9, а – під час промовляння звука “А”, на рис. 9, б – під час промовляння звука “О”.

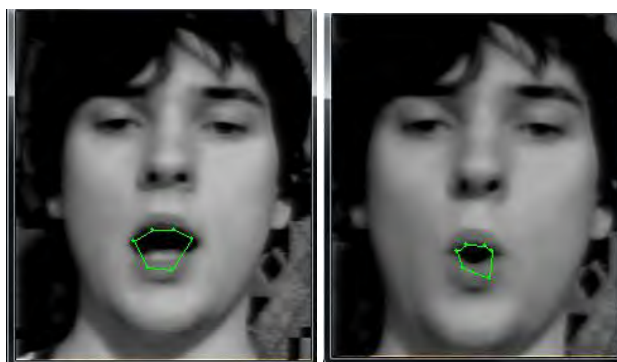


Рис. 9. Розпізнавання візем слова “Тато”:

а – під час промовляння звука “А”; б – під час промовляння звука “О”

Для третьої групи експериментів створено базу відеозаписів артикуляції слів української мови, записаних за різних умов освітлення. База містить 300 відеозаписів 10 слів за 30 різних умов освітлення. Умови освітлення відрізняються:

- положенням джерела світла;
- типом джерела світла;
- температурою кольору світла;
- фоновим освітленням.

Схема третьої групи експериментів аналогічна до схеми другої групи експериментів.

У третій групі експериментів опрацьовано 70 відеозаписів п'яти слів за 14 умов освітлення. Правильно ідентифіковано 37 % візем. Низький результат показує, що алгоритм недостатньо добре ідентифікує віземи в умовах нерівномірного освітлення обличчя (коли на обличчі присутні тіні). На рис. 8 показано вплив напряму освітлення на результат застосування алгоритму під час ідентифікації віземи “О”: на рис. 8, а – джерело світла знаходиться попереду, на рис. 8, б – джерело світла, відхилено на кут 45° , на рис. 8, в – джерело світла, відхилено на кут 90° .

Висновки

У роботі запропоновано та досліджено метод ідентифікації візем під час артикуляції людини. Запропонований метод використовує фільтр гауссівського розмиття, вдосконалений фільтр нормалізації, модифікацію методу ASM для знаходження моделі губ. Описано експерименти, які проведено для тестування розроблених на основі методу алгоритмів та результати цих експериментів. Експерименти показали високий рівень ідентифікації візем за фронтального освітлення обличчя, проте за погіршення умов освітлення кількість правильно ідентифікованих візем зменшується. Робота над усуненням впливу умов освітлення на результат розпізнавання триває. Для підвищення якості розпізнавання необхідно провести додаткові дослідження: впливу різних умов освітлення на результат застосування методу, можливість використання інформації з попередніх кадрів для покращання результатів.

1. Інформаційна технологія для моделювання української жестової мови / Ю. Г. Кривонос, Ю. В. Крак О. В. Бармак, А. С. Тернов, Б. А. Троценко // *Искусственный интеллект*. – 2009. – № 3. – С.186–197. 2. Мурыгин К. В. Концепция системы распознавания речи на основе чтения по губам // *Искусственный интеллект*. – 2009. – № 2. – С.116–123. 3. Wikipedia – [Електронний ресурс]: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Артикуляция>. 4. Stan Z. Li. *Handbook of face recognition* / Stan Z. Li, Anil K. Jain. – Springer-Verlag London Limited, 2005. – 395 с. 5. Давидов М. В. Вибір ефективного методу опрацювання зображень на основі еталону для ідентифікації елементів жестової мови /

М. В. Давидов, В. В. Пасічник, Ю. В. Нікольський // *Автоматизированные системы управления и приборы автоматики: Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник*. —2008. — № 139. — С. 59–68. 6. *Suat Akyol Evaluation of ASM head tracker for robustness against occlusion / Suat Akyol, Jörg Zieren*. – *Proceedings of the International Conference on Imaging Science, Systems, and Technology (CISST 02), June 24–27, Las Vegas, Nevada. Volume I, CSREA Press, ISBN 1-892512-95-5*. 7. Давидов М.В. Методи та засоби опрацювання зображень реального часу для ідентифікації елементів жестової мови / М.В. Давидов, Ю.В. Нікольський // *Штучний інтелект: Науково-технічний журнал, Державний університет інформатики і штучного інтелекту*. – Донецьк, 2008. – № 1. – С. 131–138. 8. Давидов М. В. Визначення форми губ при артикуляції в українській жестовій мові / М. В. Давидов, Ю. В. Нікольський, С. М. Тиханський // *Інформаційні системи та мережі: Вісник Національного університету “Львівська політехніка”*. – 2010. – № 673. – С. 267–273. 9. *Robust Real-time Object Detection / Paul Viola, Michael Jones*. – *International Journal of Computer Vision (2001), Volume 57, Issue 2, Publisher Citeseer, Pages: 137–154*. 10. *Normalized RGB* – [Електронний ресурс]: <http://www.aishack.in/2010/01/normalized-rgb/>. 11. *BioID face database* [Електронний ресурс]: <http://www.bioid.com/support/downloads/software/bioid-face-database.html>.

УДК 003.26.09:004.032.24:519.852.67

Н.В. Загородна, С.А. Лупенко, А.М. Луцків

Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя,
кафедра комп'ютерних систем та мереж

ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ GRID-СИСТЕМ НА ОСНОВІ GPU-ВУЗЛІВ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ КРИПТОАНАЛІЗУ

© Загородна Н.В., Лупенко С.А., Луцків А.М., 2011

Сформовано проект грід-мережі на основі обчислювальних вузлів, обладнаних GPU-платами для розв'язання задачі криптоаналізу, та сформульовано вимоги до неї. Здійснено вибір і обґрунтування програмних компонент, які б забезпечили роботу такої мережі.

Ключові слова: GPGPU, обчислювальний-грід, криптоаналіз.

The design of grid-network based on GPU-nodes for purposes of cryptanalysis based on the criteria of flexibility, availability, functionality and ease of development is developed. Requirements for distributed computing systems for cryptanalysis are formed.

Key words: GPGPU, grid, cryptanalysis.

Вступ. Загальна постановка проблеми

Важливим етапом розроблення та вдосконалення існуючих алгоритмів шифрування є процедура їх криптоаналітичної верифікації. Розвиток криптоаналізу здійснюється як у напрямі вдосконалення методів його проведення, так і у напрямі вдосконалення технічних засобів реалізації криптоаналітичних задач. Незважаючи на те, що вдосконалення методів криптоаналізу лежить насамперед в теоретичній площині, а саме – в розробленні математичного апарата криптоаналітичних методів, однак зважаючи на те, що криптоаналітичні задачі характеризуються високою ресурсомісткістю, важливим завданням є розроблення апаратно-програмних засобів,