

ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРІОДУ ПАПІЛЯРНОГО ВІДБИТКА НА ЗОБРАЖЕННІ НА ОСНОВІ ПОБУДОВИ ФУНКЦІОНАЛІВ МАТЕМАТИЧНОГО СПОДІВАННЯ

Ростислав Косаревич, Ігор Ісаєв, Богдан Русин

Фізико-механічний інститут ім Г.В. Карпенка НАН України, 79601, м. Львів, вул. Наукова 5,

тел.(0322) 65-45-30, e-mail: dep32@ah.ipm.lviv.ua

Представлено метод визначення періоду відбитка папілярних ліній на зображенні за допомогою побудови функціоналів математичного сподівання по випадковій реалізації. Розроблено новий підхід для визначення центра відбитка на зображенні.

1. ВСТУП

Сліди папілярних відбитків (ПВ) за своїм ідентифікаційним значенням займають перше місце серед біометричних характеристик особистості таких як обличчя, голос, підпис та ін. Візерунки, які утворюють папілярні лінії (ПЛ) нігтьових фаланг рук не змінюються протягом цілого життя. Якщо у однієї особи відібрати відбитки всіх десяти пальців, то вірогідність збігу із візерунками іншої людини буде рівна 1 з 64 млрд. Взявши до уваги загальну чисельність населення земної кулі, можна вважати, що збіг відбитків пальців двох людей практично неможливий [1].

На даний час широко поширені як автоматичні так і автоматизовані системи для ідентифікації особистості за допомогою візерунків папілярних ліній. Для роботи вони використовують або безпосереднє сканування поверхні нігтьових фаланг, або сканування відбитків візерунків папілярних ліній. В системах ідентифікації особистості, як правило, використовується другий спосіб оскільки він більш зручний. Результатом сканування є зображення розміром 512×512 , що має 256 градацій яскравості сірого кольору (Рис.1).

Для обробки зображень ПВ та ідентифікації особистості на їх основі, важливе значення має величина так званого періоду ПВ. Під ним розуміють суму величин ПЛ та міжпапілярного проміжку (МП) в одиницях виміру зображення. Ефективне покращення зображень ПВ, як правило, полягає у підвищенні контрасту між ПЛ та МП, а також в усуненні шумів на зображеннях. Таке покращення зводиться до застосування певного фільтра із заданими розмірами [2]. Ці розміри мають бути спільномірними з періодом ПВ, крім того

коефіцієнти фільтра та їх розташування залежать від діапазону в якому змінюються величини ПЛ та величини МП. Вважається, що товщина ПЛ є величина постійна, але при утворенні ПВ вона змінюється, оскільки поверхня пальця випукла, а слід переноситься на плоску поверхню. Крім того, при утворенні цифрового зображення слід квантується, що також вносить певні спотворення у величини ПЛ та МП, причому ці спотворення не є однаковим для різних ділянок ПВ. Коефіцієнти фільтра розташовуються так, щоб посилити ПЛ на зображенні та послабити МП. Таким чином для побудови фільтра необхідно знати діапазон зміни величини ПЛ та МП.

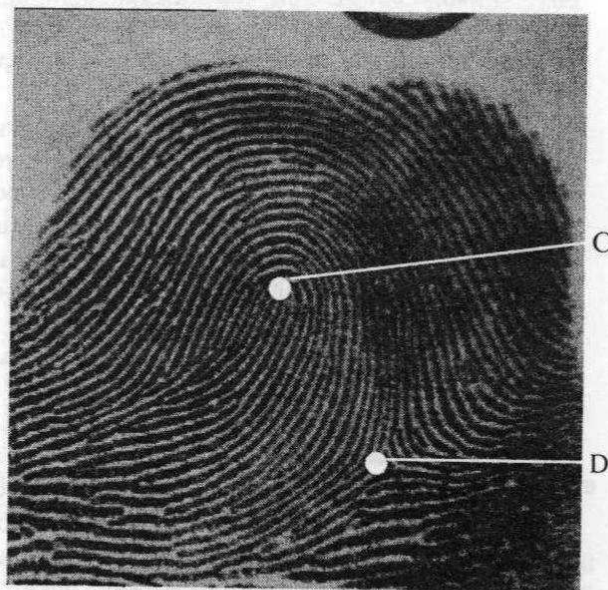


Рис.1. Особливі точки ПВ: С-центр; D-дельта.

В [3] запропонований метод оцінки періоду ПВ на основі профілів рядків та стовпців зображення. Цей метод дає можливість тільки приблизно оцінити межі зміни періоду ПВ. З метою більш точної оцінки пропонується для визначення періоду скористатися елементами теорії ПКВП.

Метод визначення діапазону зміни періоду ПВ за допомогою профілів має своїм недоліком те, що він не враховує розташування папілярних ліній на зображенні. У випадку, якщо ПЛ розташована під кутом відмінним від

90° величина періоду буде спотворена і це спотворення тим більше чим менший кут між прямою, що відповідає ряду або стовпцю зображення і папілярною лінією. Для більш точного визначення періоду ПВ та діапазону його зміни запропоновано новий метод, який полягає у скануванні зображення ПВ з його центра у декількох напрямках. На основі отриманих даних за допомогою методики ПКВП обчислюється період ПВ.

2. ЗНАХОДЖЕННЯ ЦЕНТРА ВІДБИТКА

2.1. Позначення і означення

Нехай D так званий "directional image" - поле напрямків напівтонового зображення G розміром $g \times g$, яке у випадку зображення ПВ містить ПЛ та МП. Напрямок у кожній точці представляє локальну орієнтацію ПЛ в цій точці. Напрямок $D_{(i,j)}$ в точці (i,j) зображення - це напрямок d , для якого S_d - сума різниць значень яскравості на зображенні вздовж напрямку d є мінімальною. Ця сума визначається як

$$S_d = \sum_{m=0}^{M-1} |G(i_m, j_m) - G(i, j)|, \text{ для } d=1, \dots, N,$$

де $G(i,j)$ та $G(i_m, j_m)$ - значення яскравості в точках (i,j) та (i_m, j_m) відповідно. Точка, яка відповідає (i_m, j_m) є m -ою точкою вздовж напрямку d від (i,j) , M - кількість точок вибрана для обчислення, N - кількість напрямків.

На основі поля напрямків D отримується поле напрямків блоків B (Рис.2) за допомогою знаходження домінуючого напрямку в блоці точок розміром $b_s \times b_s$. Це також зменшує розмірність з $(g \times g)$ до $(g/b_s \times g/b_s)$. Операції виконуються за допомогою обчислення гістограми напрямків H , яка формується на основі поля напрямків блоків B . Гістограма напрямків H - послідовність $\{H(0), \dots, H(N-1)\}$, де $H(j)$ - частота напрямку j в деякому околі.

В наших дослідженнях ми використовували $g=512$, $N=8$, $M=8$, $b_s=16$. Вибір величини g пов'язаний із вимогою якнайкращого представлення ПЛ на зображенні. Величина блоків b_s вибирається із припущення, що один блок містить принаймні одну ПЛ та МП. Величини кількості напрямків N та кількості точок M необхідних для обчислення напрямку пов'язані між собою. Більше число напрямків N вимагатиме збільшення кількості точок M . В наших експериментах, а також в інших дослідженнях відомих з літератури [4,5] вибір величини $N=8$ дав добрі результати. Більше N дає більш точніше представлення напрямків ПЛ на зображенні але також спричинює значне зростання обчислень для кожної точки зображення.

Гістограма напрямків H може бути наступних видів[4]:

а) пік гістограми зліва - коли напрямки менші або рівні ніж 90° домінуючі, іншими словами, сума частот напрямків які менші ніж 90° перевищує суму частот напрямків більших ніж 90°;

б) пік гістограми справа - коли напрямки більші або рівні ніж 90° домінуючі;

в) піки гістограми на краях - коли домінуючими є напрямки, які не належать діапазону 45°-135°.

Особливими точками зображення ПВ є точки центрів та точки дельт (Рис.1). За означенням точкою центру ПВ є точка, яка знаходиться на вершині найбільш внутрішньої ПЛ центрального потоку ПВ. Для точки центру ПВ область, що розташована зліва від неї буде мати гістограму, пік у якої зліва, а для області, що розташована справа - гістограма буде мати пік справа. Точкою дельти є точка в якій с три потоки ПЛ зустрічаються один з одним. Тому для такої точки додатково до критерію точки центру повинна виконуватись умова, що гістограма області, яка розташована нижче дельти, матиме піки на краях.

2.2. Знаходження особливих точок ПВ.

Оскільки поле напрямків блоків B зберігає характеристики напрямків ПЛ на багатоградацийному зображенні, то подальші дії по виділенню і знаходженню особливих точок ПВ доцільно проводити на ньому.

2.2.1. Виділення.

Якщо елементам B поставити у відповідність числа від 1 до 8 за наступним правилом: 0° , 180° → 1, 22°30' → 8, 45° → 7, 67°3' → 6, 90° → 5, 112°3' → 4, 135° → 3, 157°3' → 2, то як показали дослідження необхідними умовами для віднесення точки до розряду особливих є наступні вирази:

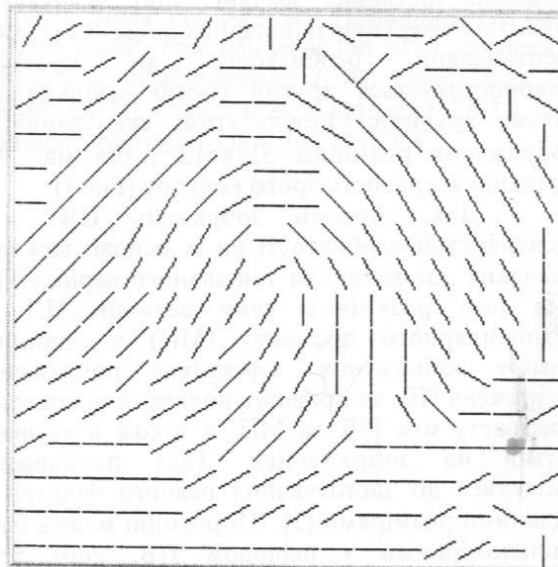


Рис.2. Зображення поля напрямків блоків B .

$$\begin{aligned}
 & B[j,i]=5 \wedge B[j,i+1] \in \{3,4\}, \\
 & B[j,i]=6 \wedge B[j,i+1] \in \{2,3,4,5\}, \\
 & B[j,i]=7 \wedge B[j,i+1] \in \{3,4,5\}, \\
 & B[j,i]=8 \wedge B[j,i+1]=2.
 \end{aligned} \quad (1)$$

При виконанні хоча б однієї умови (1) $B[j,i]$ відноситься до особливих точок ПВ. Про те спотворення вихідного зображення G можуть спричинити виявлення хибних особливих точок ПВ. Для того щоб цього не було запропоновано для кожної точки, що задовольняє вирази (1) перевіряти виконання наступної умови. Якщо позначити точки околу $B[j,i]$ розміром 3×3 через c_1, c_2, \dots, c_8 , то точка $B[j,i]$ не береться до уваги, якщо для неї не виконується умова $\sum_{i=1}^7 |c_i - c_{i+1}| \leq p$. Невиконання такої умови

означає, що окіл точки $B[j,i]$ є однорідним, а в самій точці є локальне збурення напрямку, що можливе при спотвореннях зображення G .

2.2.2. Кластеризація.

Наступним кроком знаходження особливих точок ПВ є кластеризація. Вона необхідна оскільки за означенням центра ПВ це є верхня точка найбільш внутрішньої ПЛ. Тому умовам (1) можуть задовольняти точки, які розташовані поряд на сусідніх ПЛ. Для зменшення їх кількості використовується алгоритм знаходження центрів кластерів. Далі особливими точками ПВ вважаються точки, що відповідають центрам виявлених кластерів. Для виявлення центрів кластерів використовується проста евристична процедура наведена у [6]. Її перевага в невеликих обчислювальних затратах, оскільки для виділення центрів кластерів достатньо однократного перегляду даних.

2.2.3. Відокремлення центра.

Після проведених операцій множина знайдених особливих точок ПВ містить точку, що відповідає центру ПВ та точки, які відповідають точкам дельт ПВ (якщо є). Для того щоб виділити єдину точку центра пропонується наступна процедура.

Спочатку розглядається окіл розміром 5×5 навколо кожної особливої точки. Цей окіл розбивається на чотири частини $R1, R2, R3, R4$ (Рис. 3).

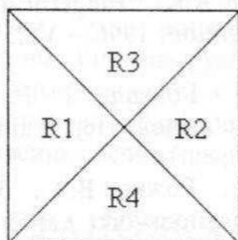


Рис. 3. Частини околу особливої точки.

Далі для кожної з частин $R1, R2, R3, R4$ формуються гістограми напрямків $H1, H2, H3, H4$ і в кожній гістограмі вибирається напрямок h_1, h_2, h_3, h_4 , що має максимальну частоту. Якщо для особливої точки ПВ величин h_1, h_2, h_3, h_4 задовольняють хоча б одній з наступних умов

$$\begin{aligned}
 & (h_1=4) \wedge (h_2 \in \{5,6\}) \wedge (h_3 \in \{1,2,7,8\}) \wedge (h_4 \in \{3,4,5,6,7\}), \\
 & (h_1=5) \wedge (h_2 \in \{4,5,6\}) \wedge (h_3 \in \{1,2,7,8\}) \wedge (h_4 \in \{3,4,5,6,7\}), \\
 & (h_1=6) \wedge (h_2 \in \{3,4,5\}) \wedge (h_3 \in \{1,2,7,8\}) \wedge (h_4 \in \{3,4,5,6,7\}), \\
 & (h_1=7) \wedge (h_2 \in \{4,5,6\}) \wedge (h_3 \in \{1,2,7,8\}) \wedge (h_4 \in \{3,4,5,6,7\}), \\
 & (h_1=8) \wedge (h_2 \in \{3,4,5,6\}) \wedge (h_3 \in \{1,2,7,8\}) \wedge (h_4 \in \{3,4,5,6,7\}),
 \end{aligned}$$

то вважаємо, що ця особлива точка – шуканий центр відбитка. Наведені умови відображають наведене в розділі 2 означення центра ПВ.

3. ФОРМУВАННЯ ВИПАДКОВОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ

Після того як знайдено центр ПВ необхідно сформувати дані для обчислення періоду ПВ. Для цього з точки центра ПВ вздовж восьми ліній до перетину з краєм зображення G зчитуємо значення елементів (Рис. 4).

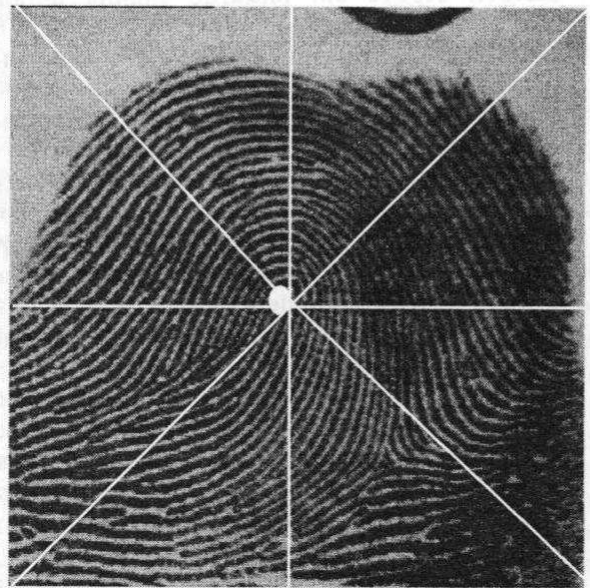


Рис. 4. Напрямки зчитування елементів зображення

Вибір напрямків зчитування пов'язаний із тим, що при правильній орієнтації ПВ проведені лінії в більшості випадків утворюють кути близькі до 90° із ПЛ на зображенні. Це дасть змогу більш точно оцінити період ПВ.

4. ЗНАХОДЖЕННЯ ПЕРІОДУ ПАПЛЯРНОГО ВІДБИТКА

Оскільки у випадковій реалізації, сформованій по ПВ, присутні періодичні коливання, модульовані випадковими збуреннями, найбільш адекватною моделлю для її дослідження і пошуку періоду, є модель у вигляді періодично корельованих випадкових

процесів (ПКВП). Ця модель є узагальненням детерміністичного і стаціонарного підходів до обробки сигналів. ПКВП визначаються як періодично нестационарні випадкові процеси з інваріантними відносно періоду корельованості математичним сподіванням і кореляційною функцією

$$m(t) = E\xi(t) = m(t+T),$$

$$b(t,u) = E\overset{\circ}{\xi}(t)\overset{\circ}{\xi}(t+u) = b(t+T,u),$$

$\overset{\circ}{\xi}(t) = \xi(t) - m(t)$. T - період корельованості процесу [7].

На основі теорії ПКВП у ФМІ НАН України були розроблені методи пошуку прихованих періодичностей, які попередньо ґрунтувалися на одній з перших історичних схем для виявлення періодичностей - схемі Бью-Балло. Ця схема має певні селективні властивості і при обробці реалізацій ПКВП. Після дослідження властивостей різних методів оцінки періоду, було показано, що метод максимальної правдоподібності дає асимптотично незміщену і асимптотично ефективну оцінку періоду корельованості ПКВП. Проте він вимагає знання детальної структури кореляційної функції. Були розроблені методи, які й програють по збіжності порівняно з методом максимальної правдоподібності, проте є більш простими по своїй реалізації, і менш вибагливими до апріорним відомостям про характеристики процесу. Ці методи базуються на властивостях функціоналів, побудованих подібно до виразів для когерентних і компонентних статистик ПКВП, з тою відмінністю, що замість істинного значення періоду, в них використовується деяка пробна величина.

Оскільки властивістю періодичності володіють математичне сподівання, дисперсія - на рівні перших моментів, кореляційна функція, спектральна густина і їх компоненти - на рівні других моментів, то побудова функціоналів для оцінювання періоду можлива по всіх цих характеристиках випадкового процесу. В даній роботі обмежимося дослідженням функціоналів, що побудовані на властивостях математичного сподівання.

Аналогічно до когерентного методу оцінювання ПКВП, побудуємо когерентний функціонал по математичному сподіванню для оцінювання періоду корельованості ПВ:

$$\hat{m}(t_0, \tilde{T}) = \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N \xi(t_0 + n\tilde{T})$$

Когерентний функціонал при $\tilde{T} = kT$, k - ціле число, \tilde{T} - пробний період, приймає максимальні значення, що дозволяє уточнити межі, в яких знаходиться значення основного періоду ПЛ. Оскільки особливістю когерентного функціоналу є відбирання значень через

пробний період, то за його допомогою можливе знаходження тільки цілих значень.

Для точнішого визначення періоду використаємо схему, основу на інтегральних перетвореннях Фур'є. На рівні математичного сподівання розглянемо компонентний функціонал

$$\hat{m}_k(\tilde{T}) = \frac{1}{\theta} \int_{-\theta}^{\theta} \xi(t) \cos(\tilde{\Lambda}_k t) dt, \quad \tilde{\Lambda}_k = \frac{2k\pi}{\tilde{T}}$$

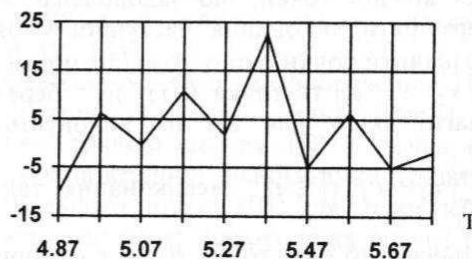


Рис. 5. Результат обчислення функціоналу 2-го компоненту математичного сподівання.

ВИСНОВКИ

Запропонований підхід до визначення особливих точок ПВ дозволяє ефективно проводити виділення центра відбитка.

По сформованій реалізації можливе оцінювання періоду ПВ за допомогою компонентних функціоналів математичного сподівання. Більш точне значення періоду досягається при використанні функціоналів по дисперсії та кореляційній функції.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дубовий О.П., Лукашенко В.Я., Рибалко Я.В. та ін. "Криміналістичне дослідження слідів рук": Науково-практичний посібник. / За ред. Я.Ю. Кондратьєва. - К.: Атіка, 2000. - 152 с.: іл.
2. O'Gorman L., Nickerson J.V. "An approach to fingerprint filter design" // Pattern recognition.- 1989.- Vol. 22.- №. 1.- P. 29-38.
3. Косаревич Р.Я. "Метод визначення діапазону зміни періоду папілярного відбитка" / Матеріали XV відкритої науково-технічної конференції молодих науковців і спеціалістів ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАН України "КМН - 2000", Львів, 2000. - С. 110-111.
4. Srinivasan V.S., Murthy N.N. "Detection of singular points in fingerprint images" // Pattern recognition.- 1992.- Vol. 25.- №. 2.- P. 139-153.
5. Karu K., Jain A.K., "Fingerprint classification" // Pattern Recognition, 1996. - Vol. 29. - №. 3. - P. 389-404.
6. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов: Пер с англ. - М.: Мир, 1978.- 411 с.
7. Драган Я.П., Рожков В.А., Яворский И.Н. "Методы вероятностного анализа ритмики океанологических процессов". - Л.: Гидрометеоздат, 1989. - 319с.