DOI: 10.33994/kndise.2024.69.33
УДК 343.98

Юрій Олександрович Мазниченко

Кандидат юридичних наук, доцент, провідний науковий співробітник відділу нормативно-методичного забезпечення лабораторії організації наукової, методичної діяльності, нормативного забезпечення, міжнародного співробітництва та підготовки експертів Київського науково-дослідного інституту судових експертиз Міністерства юстиції України

ORCID: 0009-0002-9388-9090, e-mail: navskke@ukr.net

Віктор Петрович Колонюк

Кандидат юридичних наук, доцент Київського науково-дослідного інституту судових експертиз Міністерства юстиції України

ORCID: 0000-0001-7714-5732, e-mail: viktor.koloniuk@kndise.gov.ua

Методи порівняння відбитків в автоматизованих дактилоскопічних ідентифікаційних системах

Стаття присвячена узагальненню наукових підходів щодо використання методів моделювання графічного образу відбитка пальця руки у процесі автоматизованої ідентифікації особи. На основі аналізу пошукових алгоритмів, що використовуються у вітчизняних автоматизованих ідентифікаційних дактилоскопічних системах, окреслено вимоги до їх оптимізації з метою розширення можливостей достовірного порівняння відбитків.

Ключові слова: *ідентифікація особи*; *папілярний узор*; *методи порівняння відбитків*; *загальна ознака*; *окрема ознака*; *автоматизована ідентифікаційна дактилоскопічна система*; *графічний образ*; *пошуковий алгоритм*; *достовірність порівняння відбитків*; *багатоваріантний пошук.*

Постановка проблеми. Ідентифікація людини з метою встановлення особи є постійним і найбільш складним криміналістичним завданням, що постає у процесі розслідування кримінальних правопорушень. Наявність на сьогодні у розпорядженні криміналістів такого потужного інноваційного інструмента як автоматизовані ідентифікаційні системи (далі — *AIC*) відкриває нові можливості досліджень у згаданій предметній сфері шляхом використання інформаційних моделей об'єктів дактилоскопічного походження. У свою чергу, ступінь достовірності відображення згаданих

об'єктів дослідження обраною інформаційною моделлю визначається відповідним методом математичного опису (моделювання) графічного образу у пошуковому алгоритмі АІС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Окремі теоретичні та методологічні аспекти щодо удосконалення процесу автоматизованої ідентифікації особи за відбитками пальців рук з використанням АІС розглянуті на дисертаційному рівні лише у роботах таких вітчизняних вчених-криміналістів як Ю. Пілюков та Ю. Мазниченко [2, 3], а також у публікаціях, фахівців у сфері розроблення, впровадження та використання автоматизованих систем для формування банків дактилоскопічної інформації з метою забезпечення розслідування кримінальних проваджень — В. Аністратенко, Д. Пуртов, А. Боков, А. Трусов, М. Чурилов [4, 5, 6]. Тому дана проблематика є на сьогодні недостатньо проробленою та потребує подальших досліджень.

Мета дослідження. Метою дослідження є аналіз та оцінка ефективності використання пошукових алгоритмів в АІС на основі різних методів моделювання графічних образів відбитка пальця руки, а також напрацювання практичних рекомендацій щодо вирішення окремих проблемних питань пов'язаних з автоматизацією процесу ідентифікації особи.

Викладення основного матеріалу. Серед науковців, криміналістів та практичних експертів-дактилоскопістів до цього часу не має єдиної думки щодо оптимізації алгоритмів ідентифікації відбитків у частині виключення багатоваріантності результатів пошуку АДІС з огляду на значний ріст дактилоскопічних масивів як в облікових базах слідів з місць нерозкритих злочинів (зазвичай, від 10^4 до 10^5 об'єктів обліку), так і в базі дактилокарт осіб, що скоїли (чи підозрюються у скоєнні) кримінальне правопорушення (відповідно, 10^5—10^6).

Особливо це проявляється у режимі пошуку «слід — у базі дактилокарт» для таких найбільш поширених в Україні автоматизованих дактилоскопічних ідентифікаційних систем (далі — *АДІС*) як «Дакто 2000» та «Сонда» [7].

Вирішальну роль, на нашу думку, в оптимізації згаданого вище процесу відіграють базові методи розпізнання відбитка пальця руки та його математичне моделювання як графічного образу. У першу чергу, це стосується рівня формалізації досліджуваного образу відбитка.

Загальна характеристика відбитків пальців як об'єктів ідентифікації. У кожному відбитку пальця руки людини, як у графічному образі, можна визначити два типи ознак — *загальні й локальні (окремі)*.

Загальні ознаки — це ті, які можна побачити навіть неозброєним оком, зокрема:

- *папілярний узор* — виділений інформаційно значущий фрагмент відбитка, у якому відображені всі загальні та окремі ознаки;
- *центр узору* — точка, локалізована у середині відбитка або у його певній виділеній області;

- *«дельта»* — початкова точка, місце, у якому відбувається розгалуження або злиття потоків папілярних ліній;
- *потоки папілярних ліній* — найбільші лінії, що починаються як паралельні, а потім розходяться і огинають всю центральну область папілярного узору.

Для оцінки інформативності відбитка використовують такий показник як *щільність папілярних ліній* — це кількість ліній у певній частині узору або між центром і дельтою.

Існують такі типи папілярних узорів:

- *петля* (права, ліва, подвійна, центральна та ін.);
- *дуга* (проста і гостра);
- *завиток* центральна і змішана («спіраль» або клубки).

Інший тип ознак — *окремі ознаки*. Їх ще називають особливими точками узору — це унікальні для кожного відбитку пальця ознаки, які визначають характерні зміни структури папілярних ліній (розгалуження, закінчення, розрив тощо), орієнтацію папілярних ліній і координати у цих пунктах. Кожен образ відбитку може містити до 70 і більше окремих ознак.

Практика показує, що відбитки пальців у різних людей можуть мати окремі однакові загальні ознаки, проте абсолютно неможливо мати наявність однакових мікроузорів. Тому загальні ознаки використовують з метою поділу бази даних на класи та на етапі автентифікації. На другому етапі розпізнавання користуються вже окремими ознаками.

Стандарти у сфері дактилоскопії. На сьогодні у міжнародній криміналістичній практиці здебільшого використовуються стандарти *ANSI* і ФБР США. У них визначені такі вимоги до образу відбитка:

- кожен образ представлено у форматі нестислого *.tiff* файлу;
- образ повинен мати роздільну здатність не менше 500 *dpi*;
- образ має бути напівтоновим із 256 градаціями яскравості;
- максимальний кут повороту для відбитка від вертикалі — не більше 15°;
- основні типи розрізнюваних окремих ознак — «закінчення» і «розгалуження». Зазвичай у базі даних зберігають електронні образи відбитка створені більше ніж одним способом. Це дозволяє поліпшити якість розпізнавання та ідентифікації особи.

Образи можуть відрізнятися зміщенням і поворотом складових елементів, але, при введенні їх в автоматизовану систему, масштаб не змінюється, так як всі відбитки отримують з одного пристрою.

Методи порівняння відбитків пальців поділяються на:

1. Метод на основі порівняння загальних ознак. Визначаються *інтегральні ознаки* (центр, дельта). Кількість таких ознак і їх взаємне

розташування дозволяє отримати класифікацію типу узору (завитковий, петльовий, дуговий), що дозволяє значно зменшити число пошукових ітерацій (за правило, число порівнянь для бази даних великих розмірів буває на кілька порядків нижче). Остаточне розпізнавання виконують на основі методу порівняння окремих ознак (див. нижче). Також цей метод можна використовувати для завдань, відмінних від впізнання, наприклад, для групофікації однорідних об'єктів.

2. Порівняння за окремими ознаками відбувається шляхом послідовного проведення наступних програмних процедур:

- покрашення якості вихідного зображення відбитка. Збільшується різкість меж папілярних ліній;
- обчислення поля для орієнтації папілярних ліній відбитка пальців. Зображення розбивають на квадратні блоки, зі сторонами більше 4 пікселів і по градієнтам яскравості обчислюють кут α орієнтації папілярних ліній фрагмента відбитка пальця;
- бінаризація зображення відбитка пальця (приведення до чорно-білого зображення з пороговою обробкою в 1 *bit*);
- витончення ліній в зображенні відбитка (потоншення робиться доти, поки лінії не будуть шириною 1 *px*);
- виділення окремих ознак (зображення розбивають на блоки 3x3 *px*). Після цього підраховують число чорних (ненульових) пікселів, що знаходяться біля центру). Піксель у центрі вважається ознакою, якщо він сам ненульовий, і сусідніх ненульових пікселів один (ознака «закінчення») чи три (ознака «розгалуження»). Координати виявлених ознак і їх кути орієнтації записуються у вектор:

$$W(p) = [(x_1, y_1, \alpha_1), (x_2, y_2, \alpha_2) \dots (x_p, y_p, \alpha_p)],$$

де p — кількість ознак.

При реєстрації облікових об'єктів такий вектор вважається порівняльним еталоном і записується у базу даних як окремий цілісний образ відбитка. У процесі розпізнавання власне вектор і визначає шуканий відбиток.

- зіставлення ознак. Два відбитка з одного пальця будуть відрізнятися поворотом, зміщенням, зміною масштабу і / або площею дотику у залежності від того, як облікова особа прикладає палець до сканера чи прокочує фалангу пальця на паперовій дактилокарті. Тож не можна сказати, чи належить відбиток певній людині чи ні на підставі простого їх порівняння (вектори еталона і поточного відбитка можуть відрізнятися по довжині, містити неспівпадаючі ознаки тощо). Через це процес зіставлення має бути зроблений для кожної виділеної окремої ознаки.

Стадії порівняння відбитків містять:

- реєстрацію даних;
- пошук пар відповідних ознак;
- оцінку відповідності відбитків.

При реєстрації визначають параметри *афінних перетворень* [1] (кут повороту, масштаб і зрушення), при яких деяка ознака з одного вектора є певною ознакою з іншого. При пошуку для кожної ознаки слід перебрати до 30 значень повороту (починаючи від -15 до +15°) та 0,5 тис. значень зміщення (в інтервалі -250 ... +250 *px* — хоча іноді вибирають і менші межі) і 10 значень масштабу (0,5...1,5 з кроком 0,1). Разом до 150 тис. кроків для кожної з 70 можливих ознак.

На практиці усі можливі варіанти не перебираються — після підбору значень для однієї ознаки їх же намагаються підставити і до інших ознак, інакше було б важко зіставити практично будь-які відбитки між собою. Оцінку відповідності відбитків виконують за формулою:

$$K = D^2 / pq \times 100\,\%,$$

де *D* — кількість ознак, які збігаються,

p — кількість ознак еталону,

q — кількість ознак впізнаваного відбитка.

У разі, якщо результат *K* перевищує 65 %, відбитки вважають ідентичними (поріг можна знизити виставлянням іншого рівня достовірності порівняння). Якщо виконувалася автентифікація, то на цьому все і закінчується. Для впізнання необхідно повторити цей процес для усіх відбитків у базі даних (потім вибирається кандидат на ототожнення, у якого найбільший рівень відповідності).

Приклад роботи пошукового алгоритму сучасної АДІС «Дакто 2000» у режимі «Порівняння відбитків» показано на рис. 1.

У зображенні (див. рис. 1) відбитків сліду пальця руки (зліва) та порівняльного зразка з дактилокарти (справа) жовтим кольором підсвічені співпадаючі окремі ознаки. Їх кількість перевищує мінімально необхідне число (за критерієм Бальтазара — більше 12), що дозволяє однозначно ідентифікувати особу.

1 Афі́нне перетво́рення — взаємо-однозначне лінійне відображення площини, за якого трьом точкам, що лежать на одній прямій, відповідають три точки, що також лежать на одній прямій. Найпростішими афінними перетвореннями об'єкта на площині є: зсув, поворот, масштабування.

Рис. 1. Вікно «АДІС ДАКТО 2000» у режимі «Порівняння відбитків»

3. Метод на основі графів. Згідно цьому методу початкове зображення відбитка пальця перетворюється у зображення поля з лінійною орієнтацією папілярних ліній (іноді його називають «шаблон» чи «скелет» узору). На ньому помітні ділянки з однаковою орієнтацією ліній, тож їх можна розмежувати як окремі геометричні елементи, з'єднуючи їх вихідні та кінцеві точки відносно визначених умовних центрів цих ділянок (у математиці — це метод «кусочно-лінійної апроксимації») — отримаємо граф [1]. У сучасних АДІС при створенні шаблона відбитка передбачена можливість модифікувати зображення невідображених (спотворених) ділянок папілярного узору шляхом ручного домальовування у режимі «електронного олівця».

Подальші дії алгоритму схожі на попередній метод — порівняння за локальними ознаками. Але з тією різницею, що полягає у розрахунку *інтегрального коефіцієнта*, який для кожного відбитка є фіксованою величиною, яка однозначно індивідуалізує кожен дактилоскопічний об'єкт внесений у базу слідів чи дактилокарт. Інтегральний коефіцієнт *L* розраховується як зважена сума відстаней між базовими точками відбитка (центр узору чи дельта / дельти) та характеристичними точками елементів папілярних ліній, наприклад, початок чи закінчення ліній, злиття чи розгалуження ліній.

1 Граф — це геометричний образ на площині, що становить сукупність вершин (вузлів), зв'язаних між собою дугами (ребрами). Кожен вузол має своє позначення, а кожне ребро – свою вагу (величину).

$$\mathbf{L} = \sum_{i=1}^{n} l_i,$$

де *l* – відстань між базовою точкою та характеристичними точками папілярних ліній.

Відстань l між двома значущими точками «скелетованого» образу відбитка обчислюється системою за відомою з аналітичної геометрії формулою для двовимірних координат $A(x_1, y_1)$ і $B(x_2, y_2)$ на площині:

$$| L | = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}.$$

.

Слід зазначити, що особливістю роботи пошукових алгоритмів сучасних АДІС, наприклад, «Дакто 2000» та «Сонда» є те, що для обрахунку інтегрального коефіцієнта використовуються лише одна (або дві) найближчі від базових точок папілярні лінії, що дещо заощаджує обчислювальний ресурс системи, але призводить до багатоваріантності при пошуку кандидата на ідентифікацію особи [7].

Виходячи із сказаного вище та для порівняльного аналізу методів ідентифікації відбитків нами складена таблиця (див. табл. 1), у якій наведено переваги та недоліки кожного з методів розпізнання образу папілярного узору.

Таблиця 1.

Порівняльний аналіз методів ідентифікації відбитків

Метод розпізнання	Переваги	Недоліки
За загальними ознаками	Простота використання, можливість дослідження без застосування спеціального обладнання, візуально	Розглядається як попередня стадія процесу розпізнання наступними методами (див. нижче)
За окремими ознаками	Чіткість алгоритму, однозначність результату пошуку, можливість працювати з великою варіативністю та різноманіттям характеристик відбитка	Значна потреба в обчислювальному ресурсі та часі виконання алгоритму, складність з точки зору створення робочого алгоритму
Метод графів	Проста і зрозуміла математична модель, однозначність результатів	Мала варіативність, значні витрати часу на обробку графічного образу відбитка

Висновки. У статті нами розглянуто основні дактилоскопічні характеристики відбитків пальців та стандарти у сфері дактилоскопії. Крім цього, проаналізовано відомі методи порівняння відбитків, які використовуються в діючих дактилоскопічних ідентифікаційних автоматизованих системах. Показано окремі стадії і процедури реалізації узагальнених пошукових алгоритмів, виявлено їх переваги і недоліки.

Також, виходячи з проведеного порівняльного аналізу, можна зробити висновок, що найбільш оптимальним та розповсюдженим є метод порівняння відбитків за окремими (індивідуальними) ознаками. Такий висновок слідує з того, що даний метод має велику варіативність і велику кількість однозначних характеристик для порівняння, які можна комбінувати, створюючи власний, *кастомізований* (від англ. *customize* — налаштовувати). Тобто такий налаштований «під задачу» алгоритм порівняння відбитків дозволяє реалізовувати більш ефективний, — *людино-машинний (евристичний)* алгоритм пошуку, який є оптимальним як з точки зору витрат обчислювальних ресурсів, так і зменшення списку кандидатів на впізнання при багатоваріантному результаті пошуку.

Перелік посилань

1. ДСТУ 2226-93 Автоматизовані системи. Терміни та визначення. Київ : Держстандрт України. 1994. 6 с.
2. Пілюков Ю. О. Використання інформаційних систем в експертних підрозділах МВС України : автореф. … канд. юрид. наук. Київ, 2009. 20 с.
3. Мазниченко Ю. О. Використання автоматизованих робочих місць експерта в судово-експертних дослідженнях : автореф. … канд. юрид. наук. Київ, 2010. 20 с.
4. Аністратенко В. В. Аспекти впровадження в діяльність експертних підрозділів МВС України автоматичної дактилоскопічної інформаційно-пошукової системи «UKRDAKTO». *Використання сучасних досягнень науки і практики у підвищенні ефективності боротьби зі злочинністю* : тези доп. наук.-практ. конф. Київ, 2000. С. 308—319.
5. Анистратенко В. В., Пуртов Д. В. Тенденции развития учетов дактилоскопических данных. *Специальная техника и вооружение*. 2001. № 2. С. 6—8.

References

1. DSTU 2226-93 Automated systems. Terms and definitions (1994). Kiyv : State Standard of Ukraine. 6 p. [in Ukrainian].
2. Pilyukov, Yu. O. (2009). Use of information systems in expert divisions of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine: autoref. … PhD law. Kiyv. 20 p. [in Ukrainian].
3. Maznychenko, Yu. O. (2010). The use of automated expert workplaces in forensic expert research: autoref. … PhD law. Kiyv. 20 p. [in Ukrainian].
4. Anistratenko, V. V. (2000). Aspects of implementation of the automatic dactyloscopic information and search system “UKRDAKTO” in the activity of expert divisions of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine. *The use of modern achievements of science and practice in increasing the effectiveness of the fight against crime: theses of the addendum* : science and practice conf. Kiyv. Pp. 308—319 [in Ukrainian].
5. Anistratenko, V. V., Purtov, D. V. (2001). Trends in the development of fingerprint data records. *Special equipment and weapons*. No. 2. Pp. 6—8 [in Russian].

6. Боков А. С., Трусов А. А., Чурилов Н. В. АДИС «Сонда» в Украине: задачи, достижения, перспективы. *Использование дактилоскопической информации в раскрытии и расследовании преступлений: проблемы и пути совершенствования* : сб. мат-лов междунар. науч.-практ. конф. Киев, 2005. 208 с.
Bokov, A. S., Trusov, A. A., Churilov, N. V. (2005). AFIS “Sonda” in Ukraine: tasks, achievements, prospects. The use of fingerprint information in solving and investigating crimes: problems and ways of improvement: collection of articles. master. international scientific-practical conf. Kiyv. 208 p. [in Russian].
7. Мазниченко Ю. О. Інформаційні технології в експертній практиці : еднавч.-практ. посіб. Київ : КНУВС, 2006. С. 40—51, 113—117.
Maznychenko, Yu. O. (2006). Information technologies in expert practice : education-practice manual. Kyiv : KNUVS. Pp. 40—51, 113—117 [in Ukrainian].

Methods of print comparison in automated fingerprint identification systems

Yu. Maznychenko, V. Kolonyuk

The article is devoted to the generalization of scientific approaches to the use of methods of modeling the graphic image of a fingerprint in the process of automated identification of a person. Based on the analysis of search algorithms used in domestic automated fingerprint identification systems, the requirements for their optimization are outlined in order to expand the possibilities of reliable comparison of fingerprints. The availability of such a powerful innovative tool as automated identification systems at the disposal of criminologists today opens up new opportunities for research in the mentioned subject area through the use of information models of dactyloscopic objects. In turn, the degree of reliability of the display of the mentioned research objects by the selected information model is determined by the appropriate method of mathematical description (modeling) of the graphic image in the search algorithm. This issue is currently insufficiently developed and requires further research. Therefore, in the article proposed by the authors, an analysis and evaluation of the effectiveness of the use of search algorithms based on various methods of modeling graphic images of a handprint was carried out, as well as the development of practical recommendations for solving certain problematic issues related to the automation of the process of identification of a person. The work also takes into account the opinion of specialists in the field of development, implementation and use of automated systems for the formation of banks of dactyloscopic information in order to ensure the investigation of criminal proceedings.

Keywords: person identification; papillary pattern; fingerprint comparison methods; common feature; separate feature; automated dactyloscopic identification system; graphic image; search algorithm; reliability of fingerprint comparison; multivariate search.

⇒ Мазниченко, Ю. О., Колонюк, В. П. (2024). Методи порівняння відбитків в автоматизованих дактилоскопічних ідентифікаційних системах. *Криміналістика і судова експертиза.* Вип. 69. С. 347—355. DOI: 10.33994/kndise.2024.69.33.