

МЕТОД НАВЧАННЯ СИСТЕМ МУЛЬТИЕКЗЕМПЛЯРНОЇ БІОМЕТРИЧНОЇ АУТЕНТИФІКАЦІЇ

Д. В. Бахмач¹, О. М. Барановський¹

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Анотація

В роботі проведений короткий аналіз існуючих методів та систем біометричної аутентифікації, створений прототип мультіекземплярної біометричної системи для розпізнання відбитків пальців, заснований на методах нечіткої логіки, досліджена якість даного алгоритму в порівнянні з іншими стратегіями прийняття рішень у даній області.

Ключові слова: аутентифікація, біометрія, відбитки пальців, мультібіометрія, мультіекземплярний, нечітка логіка.

Вступ

На сьогоднішній день інформаційні технології проникли майже в усі сфери нашого життя, тому проблема безпеки доступу до інформаційних систем і приватної інформації стала вкрай актуальною. Класична аутентифікація суб'єкта залежить від паролів і ключів, які можуть бути легко втрачені або забуті. Також вона не гарантує, що паролем користується саме той суб'єкт, якому надано доступ. Ця проблема може бути вирішена шляхом використання біометричної аутентифікації, тобто аутентифікації, яка перевіряє особу суб'єкта на основі його фізіологічних або поведінкових характеристик, як відбитки пальців, геометрія обличчя, голос тощо.

Загальний алгоритм роботи стандартної біометричної системи включає в себе отримання біометричних характеристик, наприклад, зняття відбитків пальців або запис голосу. Після цього проводиться їх обробка та побудова цифрових шаблонів. Таким чином, з характеристики виділяються відмінні риси. Для цифрового шаблону й еталонного обчислюється чисельна метрика схожості, яка вже порівнюється з граничним значенням. Таким чином приймається рішення про збіг суб'єкта, якому належать отримані характеристики, з тим суб'єктом, кому належать еталонні. Така стандартна біометрична система має ряд особливостей.

На кожному етапі роботи системи відбувається значна втрата інформації й саме рішення ґрунтується тільки на чисельній метриці схожості. Дані, отримані з сенсорів, залежать від шуму, спричиненого навколишнім середовищем, і фізіологічних особливостей суб'єкта (чистоти сенсора, освітленості, температури тіла тощо). Це призводить до того, що прийняття рішення про ідентичність характеристик має імовірнісну природу.

Таким чином, більша частина досліджень в області біометрії спрямована на збільшення точності і надійності систем.

Найчастіше для підвищення якості прийняття рішення застосовуються мультимодальні біометричні

системи. Такі системи використовують більше однієї біометричної характеристики або більше одного алгоритму для розрахунку оцінки схожості. Також можна враховувати вихідну якість біометричної характеристики. Ці підходи дозволяють використовувати більшу кількість факторів для прийняття рішення. При такому підході через ускладнення системи класична бінарна логіка і порівняння з граничним значенням не дають ідеального результату.

Висновок на основі нечіткої логіки є одним з підходів до вирішення цієї проблеми. Нечітка логіка – розділ математики, що є узагальненням класичної логіки і теорії множин. Висновок в нечіткій логіці заснований на змінних, для яких визначена не бінарна, а функціональна приналежність. Цей підхід забезпечує меншу втрату інформації при роботі системи. Також він дає можливість тонкого й детального налаштування системи за рахунок зміни параметрів нечіткого виводу. Це дозволяє змінювати пріоритет того чи іншого фактору, що впливає на рішення.

1. Класифікація біометричних методів та систем аутентифікації

Нині широко використовується велика кількість методів біометричної аутентифікації. Розрізняють дві групи методів біометричної аутентифікації: *статичні* та *динамічні*.

Статичні методи засновані на фізіологічних характеристиках людини, присутніх від народження і до смерті, що знаходяться при ній протягом всього її життя, і які не можуть бути втрачені, вкрадені й скопійовані.

До них можна віднести:

- відбитки пальців
- форма/геометрія долоні
- розташування вен на тильній стороні долоні
- райдужна оболонка ока
- сітківка ока
- форма/геометрія обличчя (2D / 3D)
- термограма обличчя
- шкірне відображення/термограма тіла

- ДНК суб'єкта
- форма вух
- запах
- піднігтьовий шар шкіри

Динамічні методи ґрунтуються на поведінкових характеристиках людини, тобто засновані на характерних підсвідомих рухах в процесі відтворення або повторення будь-якої звичайної дії.

До них можна віднести:

- голос
- рукописний почерк
- клавіатурний почерк
- хода
- рух губ

Для реалізації деяких біометричних прикладних програм вимагається такий рівень технічних характеристик, який важко забезпечити за допомогою однієї біометричної характеристики. Такі прикладні програми дозволяють уникати використання декількох прикладних програм для перевірки документів, що підтверджують особу, а також для забезпечення безпеки при авіаперельотах. Крім того, такі прикладні програми необхідні для людей, котрі з тої чи іншої причини не можуть надати якісні біометричні зразки деяких біометричних модальностей.

Використання великої кількості біометричних характеристик, отриманих у результаті застосування декількох незалежних датчиків, алгоритмів або модальностей, як правило, забезпечує покращення технічних характеристик та зниження рівня ризику. Використання даних систем також забезпечує можливість прийняття рішення про допуск/недопуск суб'єкта при наявності будь-якого числа характеристик.

Поняття мультимодальний та мультибіометричний вказують на застосування більш ніж одного датчика, одного екземпляра та/або алгоритму в тій чи іншій комбінації для прийняття певного рішення щодо біометричної ідентифікації або верифікації. Метод об'єднання декількох зразків, ступенів схожості або рішень про схожість може бути елементарним або складним з математичної точки зору [1].

В мультибіометрії виділяють п'ять категорій систем:

- I – мультимодальна
- II – мультиалгоритмічна
- III – мультиекземплярна
- IV – мультидатчикова
- V – мультипредставницька

Табл. 1. Категорії мультибіометричних систем

Категорія	Мод-ть	Алгоритм	Біо х-ка	Датчик
(I)	2	2	2	2
(II)	1	2	1	1
(III)	1	1	2	1
(IV)	1	1	1	2
(V)	1	1	1	1

2. Нечітка логіка

Нечітка логіка узагальнює теорію множин і класичну логіку. Поняття нечіткої множини введено вперше Лотфі Заде в 1965 році. Нечітка множина A – це сукупність упорядкованих пар, складених з елементів x універсальної множини X і відповідних ступенів приналежності $\mu_A(x)$.

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\}$$

Функція приналежності вказує якою мірою елемент x належить множині A .

Множина значень цієї функції – інтервал $[0, 1]$.

У разі множини значень $\{0, 1\}$ нечітка множина є звичайною множиною.

Висновок в нечіткій логіці ґрунтується на лінгвістичних змінних. Це змінні, значення яких є фразами деякої мови. Наприклад, змінна «якість» може приймати значення «висока», «середня», «низька». Кожне значення лінгвістичної змінної є нечіткою множиною. Наприклад, «якість» може бути «високою» на 0,8 і «низькою» на 0,1.

Висновок проходить в три етапи:

- фазифікація (fuzzification)

Чисельні значення переводяться в значення лінгвістичних змінних за допомогою застосування відповідних функцій приналежності.

- застосування правил

Правила мають стандартний вигляд – «якщо A , то B » і використовують лінгвістичні змінні. Спочатку обчислюється ступінь приналежності посилки. Для цього використовується один з трьох видів операцій над множинами. Після цього значенню змінної присвоюється обчислений ступінь приналежності.

- дефазифікація (defuzzification)

З виведених змінних отримують чисельні значення і результати.

3. Побудова мультиекземплярної біометричної системи

Для реалізації мультиекземплярної біометричної системи була обрана система, що працює з трьома відбитками пальців. З біометричних ознак обрані відбитки пальців, оскільки вони прості у використанні й дають надійні результати. В системі використовується саме три відбитки, так як менша кількість біометричних характеристик не дає повною мірою можливість відчувати різні стратегії прийняття рішення, більша ж кількість уповільнює роботу системи, але не дає змістовної відмінності від трьох відбитків.

Вся система складається з двох основних частин: системи розпізнавання відбитків пальців і підсистема прийняття рішення. Система розпізнавання складається з незалежних модулів: модуля оцінки схожості двох відбитків і модуля оцінки якості вихідного відбитка [2].

3.1. Оцінка якості відбитків пальців

Для отримання більш точної оцінки якості використовуються три алгоритми, які вимірюють якість відбитка пальця за різними критеріями.

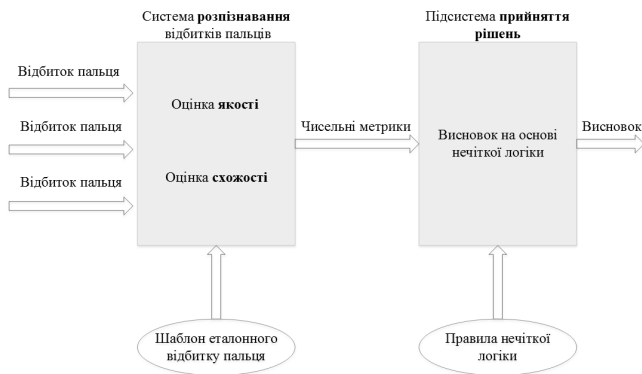


Рис. 1. Архітектура мультитемпоральної біометричної системи

Алгоритм *NFIQ (NIST Fingerprint Image Quality)* – є стандартним і широко використовуваним алгоритмом для оцінки якості відбитків пальців.

Алгоритм *виділення фону* – частини зображення без папілярних ліній. Даний алгоритм заснований на порівнянні визначеності напрямку (того, наскільки виражені папілярні лінії) в даному блоці і в середньому по всьому відбитку. На виході алгоритму виходить метрика, що показує відсоток фону на всьому зображенні.

Алгоритм *оцінки яскравості* – оцінка будується підрахунком тих пікселів, чия яскравість нижче певного граничного значення. Процентне співвідношення таких пікселів до всіх пікселів відбитка визначає метрику якості.

Визначення яскравості і фону доповнюють оцінку якості *NFIQ*, так як в ньому ці параметри не враховуються.

3.2. Оцінка схожості відбитків пальців

Другий модуль системи розпізнавання відбитків оцінює те, з якою ймовірністю два відбитка пальця є відбитками одного і того ж пальця суб'єкта.

Перед визначенням схожості проводиться поліпшення якості зображення відбитка пальця і приведення його до вигляду, зручного для подальшої роботи.

Воно проходить в три етапи:

- сегментація
- покращення зображення
- скелетизація

Після поліпшення зображення проводиться виділення мінуцій. Мінуція – це особлива точка на відбитку пальця, на якій папілярна лінія роздвоюється або закінчується. Саме взаємне розташування мінуцій і їх вид є унікальним для кожної людини.

Далі за набором мінуцій будується шаблон – компактна структура даних, зручна для порівняння. Алгоритм побудови шаблонів *Minutia Cylinder Code (MCC)* для кожної мінуції будує «циліндр», який описує положення найближчих мінуцій щодо даної. Мірою схожості двох відбитків виступає сума відстаней Хеммінга між «циліндрами». *MCC* розроблений в Лабораторії біометричних систем Болонського університету. Даний алгоритм стійкий до поворотів відбитка, його зрушень і розтягування.

3.3. Підсистема прийняття рішень на основі нечіткої логіки

Підсистема прийняття рішень приймає на вхід п'ять чисельних метрик для кожного з трьох відбитків: чотири метрики якості і одна метрика схожості з еталоном.

Фазифікації схожості

При фазифікації, тобто отриманні лінгвістичних змінних, метрики схожості результатом є змінна *Identity* зі значеннями *Same* і *Different*. Обидва ці значення є нечіткими множинами.

Метрика схожості, одержувана від алгоритму *MCC*, коливається від 0 до 1, де 1 означає абсолютно однаковий відбиток, а значення, близькі до 0 – різні. Ця метрика береться в якості аргументу функцій приналежності, і в результаті обчислення виходять ступені приналежності для відповідних змінних.

Фазифікації якості

Аналогічно тому, як проводилася фазифікація якості, лінгвістичні змінні виводяться для метрик якості. Далі для кожної з них буде описана область допустимих значень, що отримується змінна і функції приналежності її значень.

Метрика середньої якості

Метрика середньої якості алгоритму *NFIQ* змінюється в межах від 0 до 5, де 0 – низька якість, 5 – найвища.

Отримана змінна – *QualityNfiq* зі значеннями *Low* і *High*.

Метрика відсотка блоків низької якості

Метрика кількості блоків низької якості за алгоритмом *NFIQ* коливається від 0 до 100. Блоками низької якості вважаються ті, у яких оцінка *NFIQ* 0 або 1.

Отримана змінна – *LowQualityBlocks* зі значеннями *Little* і *Many*.

Метрика яскравості

Метрика яскравості відбитка також змінюється в межах від 0 до 100.

При цьому значення, близькі до 0, характеризують нормальний відбиток, а великі значення – темний.

Отримана змінна – *Brightness* зі значеннями *High* і *Low*.

Метрика відсотка фону

Метрика відсотка фону коливається між 0 і 100.

Отримана змінна *Background* зі значеннями *Large* і *Normal*.

Застосування правил

Наступний етап нечіткого виводу – застосування правил. Перед початком цього етапу правила зчитуються з файлу. На вхід подаються лінгвістичні змінні, отримані при фазифікації.

Вивід змінної якості

Спочатку виводиться змінна *Quality* зі значеннями *Low*, *Middle* і *High*. Вона показує загальне значення якості для відбитка. Так як правил досить багато, буде описаний принцип їх побудови.

Правила виведення змінної якості будувалися за таким принципом:

- якщо всі значення в посилці високі, то значення якості високе
- якщо одне із значень в посилці низьке, то якість середня
- якщо більше одного найнижчого значення, то якість низька

Приклад правила:

$Brightness\ high \wedge Background\ normal \wedge QualityNfiq\ high \wedge Low\ QualityBlocks\ little \Rightarrow Quality\ high$

\wedge – в даному випадку означає логічне «І» або кон'юнкцію. Тобто в даному випадку це правило означає наступне: якщо у зображення висока яскравість, невелика кількість фону, якість за оцінкою алгоритму NFIQ висока і блоків низької якості мало, то його якість висока.

Вивід відповіді для одного відбитка

У цій частині виведення використовуються змінна якості і змінна схожості, і правила будуються за наступним принципом:

- якщо якість висока, то відповідь збігається зі змінною схожості
- якщо якість середня, відповідь з коефіцієнтом $\frac{1}{2}$ збігається зі змінною схожості і з коефіцієнтом $\frac{1}{2}$ невідомий
- якщо якість низька, відповідь невідома

Приклад правила:

$Quality\ high \wedge Identity\ same \Rightarrow FingerPrintAnswer\ YES$

$Quality\ high \wedge Identity\ different \Rightarrow FingerPrintAnswer\ NO$

$Quality\ low \wedge Identity\ same \Rightarrow FingerPrintAnswer\ IDK$

(IDK = I Don't Know)

Вивід загальної відповіді для трьох відбитків

В останній частині правила застосовуються до відповідей від трьох відбитків пальців. Принципи побудови правил можна описати як узагальнення голосування простою більшістю на три відповіді. Тобто, якщо відповіді YES, NO та IDK уявити відповідно як 1, -1 та 0, то загальна відповідь буде виходити усередненням відповідей від трьох відбитків і округленням у бік збільшення модуля.

Приклад правила:

$F1\ YES \wedge F2\ YES \wedge F3\ IDK \Rightarrow Answer\ YES$

$F1\ YES \wedge F2\ YES \wedge F3\ NO \Rightarrow Answer\ YES$

$F1\ YES \wedge F2\ NO \wedge F3\ IDK \Rightarrow Answer\ IDK$

Отримавши загальну відповідь, ми дефазифікуємо його і в результаті отримуємо відповідь з найбільшим ступенем приналежності.

4. Результати досліджень

Результати розпізнавання системи з підсистемою прийняття рішення на основі нечіткої логіки порівнювалися з результатами розпізнавання схожих систем, кожна з яких відрізнялася від даної тільки блоком прийняття рішення. Це було зроблено для того, щоб виключити вплив інших факторів, не пов'язаних з системою прийняття рішення. Вони описані нижче:

- 1) Мономодальна система з порівнянням за граничним значенням
- 2) Мультиmodalна система з порівнянням за граничним значенням. Позитивна відповідь систе-

ми виноситься, якщо відповідь для кожного з трьох відбитків позитивний

- 3) Мультиmodalна система з порівнянням за граничним значенням. Відповідь системи визначається голосуванням простою більшістю.

Табл. 2. Порівняння ERR та граничних значень систем

	Система з нечіткою логікою	Мономодальна система	Мультиmodalна система з голосуванням	Мультиmodalна система (3 із 3)
ERR	17,81%	30,82%	29,3%	28,21%
Граничне значення	0.525	0.545	0.545	0.53

Висновки

У роботі були розглянуті основні біометричні методи та система аутентифікації суб'єктів, створений прототип мультиекземплярної біометричної системи відбитків пальців з підсистемою прийняття рішень на основі нечіткої логіки та порівняний з іншими стратегіями прийняття рішень.

З усього вище зазначеного можна зробити висновок, що при збільшенні кількості модальностей виникає проблема прийняття рішення. У випадку з кількома модулями і, відповідно, декількома відповідями є наступні стратегії прийняття рішень:

- порівняння за граничним значенням і винесення позитивного рішення, якщо всі модулі відповіли позитивно. Цей випадок характеризується меншою ймовірністю помилкового допуску і більшою – помилкою відмови в допуску.
- порівняння за граничним значенням і голосування простою більшістю. Цей випадок, навпаки, підвищує ймовірність помилкового допуску і знижує – помилку відмови в допуску.
- висновок рішення за допомогою нечіткої логіки. Цей спосіб дозволяє детально налаштувати процес прийняття рішення і дає можливість враховувати більшу кількість факторів.

Перелік використаних джерел

1. Ross Arun A., Nandakumar Karthik, Jain Anil K. Handbook of Multibiometrics (International Series on Biometrics). — Secaucus, NJ, USA : Springer-Verlag New York, Inc., 2006. — ISBN: 0387222960.
2. Handbook of Fingerprint Recognition / Davide Maltoni, Dario Maio, Anil K. Jain, Salil Prabhakar. — 2nd edition. — Springer Publishing Company, Incorporated, 2009. — ISBN: 1848822537.