

УДК 778.528.7

**Михайленко Виктор Мефодиевич**

Доктор технических наук, профессор кафедры информационных технологий проектирования и прикладной математики, [orcid.org/0000-0002-9573-9873](https://orcid.org/0000-0002-9573-9873)

*Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев*

**Терейковская Людмила Алексеевна**

Кандидат технических наук, доцент кафедры кибернетической безопасности и компьютерной инженерии, [orcid.org/0000-0002-8830-0790](https://orcid.org/0000-0002-8830-0790)

*Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев*

**Легеза Виктор Петрович**

Доктор технических наук, профессор, и.о. заведующего кафедрой программного обеспечения компьютерных систем, [orcid.org/0000-0003-0403-6142](https://orcid.org/0000-0003-0403-6142)

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», Киев*

**АДАПТАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВУХСЛОЙНОГО ПЕРСЕПТРОНА,  
ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ  
ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПО ОТПЕЧАТКАМ ПАЛЬЦЕВ**

***Аннотация.** Одним из основных направлений развития систем биометрической аутентификации является внедрение в них нейросетевых методов распознавания отпечатков пальцев. Показано, что эффективность таких систем может быть обеспечена за счет использования двухслойного персептрона, адаптированного к условиям задачи распознавания отпечатков пальцев. Установлено, что адаптация должна быть направлена на минимизацию ошибки распознавания при использовании ограниченного объема вычислительных ресурсов. При этом в качестве отправной точки процесса адаптации целесообразно использовать определение множества входных параметров двухслойного персептрона. Показано, что основными особенностями задачи распознавания отпечатков пальцев являются размер отпечатка пальца и размер блока изображения, соответствующего отдельной минуции и количеству распознаваемых пользователей. Разработано математическое обеспечение для расчета значений адаптируемых параметров, с использованием которого и особенностей поставленной задачи распознавания предложена процедура адаптации, базирующаяся на сопоставлении входных нейронов двухслойного персептрона с координатами блоков изображений, характеризующих отдельную минуцию. Перспективность предложенных решений подтверждена результатами экспериментальных исследований.*

***Ключевые слова:** биометрическая аутентификация; отпечатки пальцев; адаптация; двухслойный персептрон; нейронная сеть*

**Введение**

В настоящее время одним из наиболее быстро развивающихся направлений в области защиты информации является разработка нейросетевых средств биометрической аутентификации пользователей. Это обусловлено увеличением потоков конфиденциальной информации, расширением класса информационных систем (в которых требуется обеспечить сервис распределения прав доступа пользователей), доказанными принципиальными недостатками классических систем аутентификации пользователей, а также объективными требованиями по обеспечению негласности и дистанционности работы систем контроля доступа в разных сферах их использования [1 – 4].

Результаты анализа современных нейросетевых систем биометрической аутентификации позволяют утверждать, что многие из них базируются на анализе параметров, которые описывают геометрию индивидуальных физических признаков человека. Наибольшее распространение получили нейросетевые системы, аутентифицирующие пользователя на основании анализа геометрии рук, ушей, лица, кровеносных сосудов на руках или поверхности глазного дна, а также кожных покровов пальцев пользователя (отпечатков пальцев). К преимуществам последних анализов относят удобство использования, высокую точность классификации, хорошую апробированность и низкую стоимость считывающих устройств.

Базируются такие системы на уникальности и постоянстве (у взрослого человека) рисунка папиллярных линий пальцев рук. Считается, что вероятность того, что у двух людей будут одинаковые отпечатки пальцев, составляет  $2 \cdot 10^{-12}$ .

Перспективность биометрических нейросетевых систем аутентификации пользователя на основании анализа геометрии отпечатков пальцев подтверждается как широким применением соответствующих технологий (например, в биометрических паспортах), так и большим количеством соответствующих теоретико-практических исследований, анализ которых проведен в [3 – 5].

В то же время практический опыт, а также результаты ряда работ [2 – 4] указывают на необходимость существенной модернизации современных биометрических нейросетевых систем аутентификации пользователя на основании анализа геометрии отпечатков пальцев в направлении уменьшения ресурсоемкости, увеличения точности распознавания, снижения срока разработки и повышения адаптации ко многим особенностям современных информационных систем, что и предопределяет актуальность исследований в этом направлении.

#### **Анализ нейросетевых методов биометрической аутентификации по отпечаткам пальцев**

В работе [5] рассматривается проблема биометрической аутентификации пользователей по отпечаткам пальцев. Предлагается нейросетевая модель аутентификации на основании двухслойного персептрона, у которого количество входных нейронов 90, количество скрытых нейронов 10, а количество выходных нейронов 4. Отмечено, что указанные параметры архитектуры сети рассчитывались экспериментально. В качестве входных параметров использованы геометрические характеристики локальных признаков: координата X, координата Y, вектор направления Q. Принято использовать 30 локальных признаков. Экспериментальным путем показано, что нейросетевой классификатор отклонения выбора имеет уровень ошибок первого рода 5,2 %, а уровень ошибок второго рода – 0 %. На основании этого утверждается, что построенная нейросетевая модель является эффективной по отношению к другим биометрическим технологиям аутентификации.

В работе [6] отмечается, что отпечатки пальцев разных людей могут иметь одинаковые глобальные признаки, но совершенно невозможно наличие одинаковых локальных признаков (минуции). Поэтому процесс идентификации личности обычно состоит из двух этапов. Первым этапом является классификация отпечатков пальцев по глобальным

признакам, использующая базы данных для разделения на классы. Второй этап заключается в распознавании отпечатка пальца на основе сравнения структуры и коэффициента совпадения точек минуции. Предложены алгоритмы для классификации изображений отпечатков пальцев по типам папиллярных узоров на основе применения фильтра Габора, вейвлет-преобразования Хаара, Добеши и многослойной нейронной сети. Проведены численные эксперименты и представлены результаты работы предложенных алгоритмов. Показано, что использование алгоритма, основанного на совместном применении фильтра Габора, пятиуровневого вейвлет-преобразования Добеши и многослойной нейронной сети типа двухслойного персептрона, дает возможность достичь достоверности классификации около 75%. Также проведено исследование методов распознавания дактилоскопических изображений на основе нейронных сетей типа двухслойного персептрона с архитектурой 81-27-3. В качестве входных параметров нейронной сети использованы модуль и аргумент векторного поля градиента дактилоскопических изображений. Сформулирован вывод о необходимости увеличения мощности входного вектора нейронной сети до 400.

В статье [7] детально рассмотрены локальные и глобальные характеристики отпечатка пальца, используемые в биометрических системах аутентификации. Показано, что возможности выделения характерных признаков, которые в дальнейшем можно использовать в целях идентификации, в значительной мере зависят от качества изображения отпечатков пальцев. Также указано, что распространенные сканеры отпечатков пальцев обеспечивают разрешение 500 dpi, образ характеризуется 256 уровнями яркости, а максимальный угол поворота отпечатка от вертикали не более 15 градусов. При этом в качестве характерных признаков предлагается использовать конечные точки, в которых «отчетливо» заканчиваются папиллярные линии, а также точки ветвления, в которых папиллярные линии раздваиваются. Отмечено, что в изображениях поверхности пальца с разрешением около 1000 dpi можно обнаружить детали внутреннего строения самих папиллярных линий (поры потовых желез) и использовать уже их расположение в целях значительного повышения точности идентификации. Однако современный уровень технического обеспечения распространенных систем биометрической аутентификации не предоставляет возможности получения изображений такого качества.

В работе [8] рассмотрена технология проектирования и эксплуатации нейросетевой

системы двухуровневого распознавания отпечатков пальцев. На первом уровне реализуется выделение характерных признаков, а на втором уровне реализуется анализ выделенных признаков, результатом которого является идентификация пользователя. Показано, что на производительность системы распознавания влияет точность выделения информативных признаков отпечатков пальцев, которая, в свою очередь, в значительной степени зависит от качества распознаваемого изображения. Этим объясняется наличие в системе модуля повышения качества исходного (полученного со сканера) изображения. Особенность функционирования этого модуля заключается в том, что улучшение качества структуры отпечатков пальцев не должно повреждать минувии. Для этого предлагается использовать фильтры Габора и так называемое скелетирование, которое преобразует серо-масштабный отпечаток пальца в черно-белое изображение, где хребты имеют ширину всего в 1 пиксель. В предложенной системе нейронные сети использованы на обоих уровнях распознавания. В обоих случаях речь идет о двухслойном персептроне, скрытый слой которого содержит 200 нейронов с симметричным сигмоидом в качестве передаточной функции. При этом количество выходных нейронов для двухслойного персептрона, используемого на первом уровне распознавания, равно 5, а для такого же персептрона, используемого на втором уровне распознавания, равно 2. Отмечен эмпирический характер определения указанных параметров. Представленные результаты численных экспериментов показывают точность распознавания около 92%. Декларируется, что перспективы дальнейших исследований связаны с использованием глубоких нейронных сетей и распараллеливанием вычислительных процессов, связанных с обучением и распознаванием.

Статья [9] посвящена сравнению эффективности классификатора отпечатков пальцев на основе современных нейронных сетей относительно вероятностного нечеткого классификатора. Отмечается, что основной предпосылкой исследования является декларируемая перспективность использования глубоких нейронных сетей в области анализа графических изображений. В качестве базовой модели использован многослойный персептрон с тремя скрытыми слоями нейронов. Предобучение персептрона реализовано на базе разреженного автоэнкодера. Полученные результаты свидетельствуют о том, что изменение количества скрытых нейронов в пределах от 200 до 1250 практически не влияет на точность распознавания, которая составляет примерно 93%. При этом

классификация, проведенная с помощью нечеткого классификатора, показала более высокие результаты, а именно около 97%. Это позволило авторам статьи сформулировать вывод о недостаточной эффективности нейросетевых методов распознавания отпечатков пальцев. Вместе с тем, в статье отсутствует обоснование плана проведения экспериментов, направленных на изучение влияния на точность распознавания структурных параметров нейросетевой модели. Кроме этого вызывает вопрос целесообразность процесса предобучения, который критически необходим только в случае недостаточности маркированных учебных примеров и использования логистической функции активации.

Таким образом, в результате проведенного анализа современных нейросетевых решений в области биометрической аутентификации по отпечаткам пальцев можно утверждать, что важным направлением повышения их эффективности является адаптация параметров нейросетевой модели к условиям использования. Поскольку большинство современных нейросетевых моделей являются модификациями многослойного персептрона, то в качестве отправной точки исследований возможно рассмотреть случай адаптации параметров двухслойного персептрона, как наиболее простого варианта нейросетевой модели данного типа.

### **Цель статьи**

Цель – разработка процедуры адаптации параметров двухслойного персептрона к условиям задачи биометрической аутентификации пользователей по отпечаткам пальцев. Для достижения поставленной цели публикации следует решить следующие задачи: определить методологическую базу адаптации параметров двухслойного персептрона; определить особенности процедуры распознавания отпечатков пальцев, требующие адаптации нейросетевой модели; детализировать составляющие процедуры.

### **Изложение основного материала**

#### **Методологическая база адаптации параметров двухслойного персептрона**

Двухслойный персептрон относится к нейронным сетям с прямым распространением сигнала. Структурно он состоит из трех слоев нейронов: входного, скрытого и выходного. Как правило, в нейронах входного слоя используется линейная функция активации вида (1), а в нейронах скрытого и выходного слоя логистическая сигмоидальная (2) или гиперболический тангенс (3):

$$f(s) = s; \quad (1)$$

$$f(s) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha s}}; \quad (2)$$

$$f(s) = \frac{e^{\alpha s} - e^{-\alpha s}}{e^{\alpha s} + e^{-\alpha s}}, \quad (3)$$

где  $f(s)$  – выходной сигнал,  $s$  – входной сигнал,  $\alpha$  – коэффициент скорости обучения ( $\alpha = [0,7...1]$ ).

Входными данными являются параметры анализируемых образов, а выход сигнализирует о принадлежности входного образа к одному из заранее определенных классов. В базовом варианте обучение сети данного типа реализуется методом обратного распространения ошибки, который предусматривает наличие достаточного числа маркированных учебных примеров. В соответствии с [4; 12; 13], конструктивными параметрами двухслойного персептрона являются: количество входных, скрытых и выходных нейронов, кодировка входных и выходных данных, вид функции активации скрытых и выходных нейронов, а также количество учебных примеров. Рассмотрим методологические основы определения этих параметров.

Как правило, количество входных нейронов равно количеству параметров, характеризующих входной образ. В задаче распознавания изображений фиксированного размера каждому входному нейрону соответствует определенный пиксель изображения. Поэтому количество входных параметров равно размеру изображения, а на входы подаются числовые значения, соответствующие цвету пикселей. При этом следует учитывать, что, являясь базой для расчета всех остальных параметров двухслойного персептрона, количество входных параметров влияет как на ресурсоемкость сети, так и на ее точность.

В современных вариантах двухслойного персептрона каждому распознаваемому классу отвечает определенный выходной нейрон. Поэтому количество выходных нейронов равно количеству распознаваемых классов. Считается, что анализируемый образ принадлежит к классу, у которого соответствующий выходной нейрон реализует наибольший выходной сигнал.

При распознавании цветных изображений и изображений в оттенках серого характеристики функций (2) и (3) во многом схожие. Из-за меньшей сложности при вычислении рекомендуется использовать функцию активации вида (2).

В настоящее время разработка методологических основ определения количества скрытых нейронов двухслойного персептрона еще далека от завершения. Однако по мнению [4; 5], именно от этих параметров во многом зависит эффективность использования двухслойного персептрона. Вместе с тем известны удачные примеры определения этих параметров в задаче распознавания кибератак, а также в задаче

распознавания голосовых сигналов [2; 4]. Воспользовавшись этими источниками, получено:

$$N_h^A = \text{Round} \left( (0,4N_x + 0,2) \frac{\sqrt{PN_x}}{N_x + N_y} \right); \quad (4)$$

$$N_h^B = \text{Round} \left( \frac{2\sqrt{PN_x}}{N_y} \right); \quad (5)$$

где  $N_h^A, N_h^B$  – пределы интервала эффективного количества скрытых нейронов;  $N_x$  – количество входных нейронов,  $N_y$  – количество выходных нейронов,  $P$  – количество учебных примеров.

Отметим, что количество учебных примеров для двухслойного персептрона должно быть, как минимум в 10 раз больше количества выходных параметров:

$$P = 10N_y, \quad (6)$$

где  $P$  – количество учебных примеров.

Подставив (6) в (4), (5), получим:

$$N_h^A = \text{Round} \left( (0,4N_x + 0,2) \frac{\sqrt{10N_y N_x}}{N_x + N_y} \right); \quad (7)$$

$$N_h^B = \text{Round} \left( 6,33 \sqrt{\frac{N_x}{N_y}} \right). \quad (8)$$

### Особенности задачи распознавания отпечатков пальцев

Кожа человека состоит из двух слоев, при этом нижний слой образует множество выступов – папилляр, в вершинах которых имеются отверстия выходных протоков потовых желез. На основной части кожи потовые железы располагаются хаотично и трудно наблюдаемы. На отдельных участках кожи пальцев папилляры строго упорядочены в линии (гребни), образующие уникальные папиллярные узоры.

Выделяют три типа папиллярных рисунков (дуговые, завитки, круговые) и два типа макроособенностей (дельты и центры). Особенности папиллярного узора, отвечающие глобальным признакам отпечатков пальца, проиллюстрированы на рис. 1.

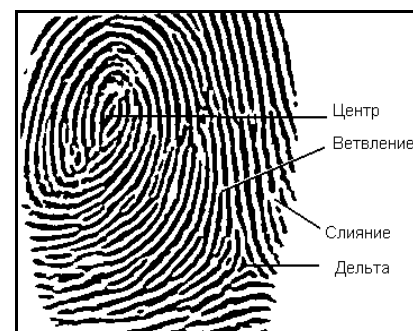


Рисунок 1– Особенности папиллярного узора

Система розпознавання снимає папілярний зор з одного із пальців заявителя прав доступу і порівнює його з еталонним зображенням [14-16]. Считается, что отпечатки пальца принадлежат одному человеку, если они совпадают не меньше, чем на 65%.

Для снятия папілярного зора використовуються різного виду сенсори, вартість яких достатньо швидко зменшується через відмову від оптики і кремнієвих світлочувствительних елементів. Достатньо перспективними вважаються контактні сенсори, які за рахунок вимірювання електричного поля пальця, здатні визначити дактилоскопічний зор.

Вимірювання інформації відбувається шляхом вимірювання ємності мікроконденсаторів мікросхеми, розташованих безпосередньо під пальцем. Загальна схема вимірювань з використанням мікроконденсаторів наведена на рис. 2. Вартість контактної системи виявляється суттєво нижче її оптичного аналога, розрахованого на попереднє оптичне перетворення зображення. Очікується, що при падінні вартості нових чутливих елементів так само зменшиться вплив вологості і забрудненості руки на результат дактилоскопічної ідентифікації.

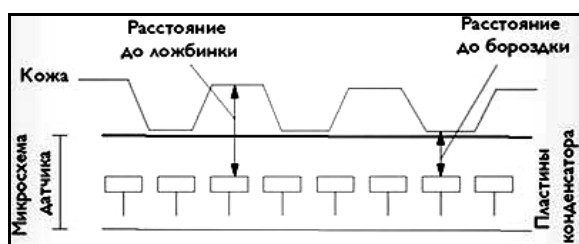


Рисунок 2 – Прямое считывание информации через контроль емкости конденсаторов

Виробники біометричних систем аутентифікації на основі аналізу відбитків пальців в рекламі своїх продуктів оцінюють помилки першого роду на рівні 2%, а помилки другого роду на рівні 0, 000000001%. В той же час за результатами незалежного тестування помилки першого роду для систем цього класу становлять від 10 до 20%. Вказується, що достатньо великі значення помилок першого роду отримані за рахунок урахування несприятливих випадків сухої шкіри, а також за рахунок включення в склад групи тестування осіб з погано вираженими папілярними зображеннями. Як правило, це жінки і особи азіатського походження.

Звернемо увагу, що незалежно від використовуваних сенсорів звичайно реконструйоване зображення відбитків пальців має розміри 25×14 мм, що відповідає 500×280 точкам. Також незалежно від використовуваних сенсорів в цілях біометричної

аутентифікації на папілярному зображенні (рис. 3) звичайно аналізується тільки два типи локальних ознак (минуцій), що представляють собою початок (закінчення) папілярних ліній або їх зливання (розгалуження). Кожен відбиток може містити від 30 до 70 і більше минуцій.

Таким чином, в результаті проведеного дослідження завдання розпознавання відбитків пальців, а також даних літературних джерел [12-16] визначено, що з позицій забезпечення ефективного нейросетевого аналізу двохшаровий перцептрон слід адаптувати до кількості розпознаваних відбитків пальців (кількості розпознаваних користувачів), розміру і якості сканованого зображення відбитка пальця, а також до кількості і параметрам враховуваних минуцій.

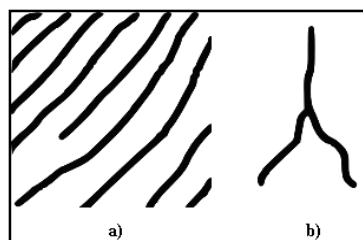


Рисунок 3 – Локальные признаки отпечатка пальца: а – окончание; б – разветвление

### Процедура адаптації параметрів двохшарового перцептрона

Як випливає з результатів аналізу робіт [8 – 10], в системах біометричної аутентифікації на основі аналізу відбитків пальців нейронні мережі можуть застосовуватися для розв'язання наступних завдань:

- виділення минуцій;
- розпознавання користувача на основі порівняння різноманітних минуцій.

Оскільки виділення минуцій може бути реалізоване без використання нейросетевих методів, то в цій статті акцент поставлено на розв'язанні другої задачі.

Відповідно до теоретичних даних [4; 12], початковою точкою розробки процедури адаптації стало визначення множини входних параметрів двохшарового перцептрона. Взято до уваги, що після попередньої обробки:

- відбиток пальця центровано і масштабовано до стандартного розміру 500×280 пікселів;
- зображення відбитка пальця має чорно-білий формат;
- товщина папілярних ліній становить 1 піксель;
- розмір блоку зображення, що характеризує окрему минуцію, становить 10×10 пікселів;

– каждая минущая должна быть описана двумя координатами на плоскости и углом направления.

Это позволило сопоставить входные нейроны двухслойного персептрона с координатами блоков изображений, характеризующих отдельную минущую. Поскольку горизонтальный и вертикальный размер блока равен 10 пикселей, то количество входных параметров нейронной сети равно  $N_x = 50 \times 28 = 1400$ . При этом на вход сети предполагается подавать численные значения угла направления минущей. Следует отметить, что принятое количество входных параметров сопоставимо с количеством входных параметров нейросетевых моделей на базе двухслойного персептрона, успешно используемого для распознавания рукописных символов, представленных в базе данных MNIST. При нейросетевом распознавании символов количество входных параметров равно  $32 \times 32 = 1024$ . Поэтому можно обосновано предположить, что при решении практических задач ресурсоемкость двухслойного персептрона с  $N_x = 1400$  не будет критической. В то же время детализация минущей, принятая согласно [8], является достаточной для средств биометрической аутентификации. Дальнейшая реализация процедуры адаптации предполагает:

– определение количества распознаваемых пользователей, которое равно количеству выходных параметров  $N_y$ ;

– определение диапазона эффективного количества скрытых нейронов. Для этого используются формулы (6) – (8);

– определение эффективного количества скрытых нейронов –  $N_h^e$ . Для этого следует провести численные эксперименты, с помощью которых рассчитывается:

$$\text{if } \Delta(N_h) = \min \rightarrow N_h = N_h^e, N_h \in [N_h^A, N_h^B], \quad (9)$$

где  $\Delta(N_h)$  – ошибка распознавания двухслойным персептроном отпечатков пальцев.

Предложенная процедура использована для адаптации двухслойного персептрона к распознаванию отпечатков пальцев 10 пользователей. С использованием (6) – (8) определено  $N_y = 10$

$N_h^A = 149, N_h^B = 79$ . Для определения эффективного количества скрытых нейронов проведен ряд численных экспериментов, в которых рассчитывалась точность распознавания для количества скрытых нейронов  $N_h \in [10, 400]$ . При этом использован универсальный персональный компьютер на основе процессора Intel(R) Core(TM)2 Quad CPU Q6600 @ 2.40GHz с оперативной памятью объемом 3,7 ГБ, жестким диском объема 1 ТБ. Эксперименты

проводились с помощью написанного на языке Python программного обеспечения, позволяющего реализовать нейросетевое распознавание отпечатков пальцев. В результате численных экспериментов определено, что минимальная ошибка распознавания равная 0,057 соответствует количеству скрытых нейронов равному  $N_h^e = 120$ . Поскольку полученная точность распознавания соответствует лучшим подобным результатам [8; 16], а величина  $N_h^e$  находится в пределах от  $N_h^A$  до  $N_h^B$ , то можно считать, что результаты экспериментов в достаточной степени верифицируют предложенную процедуру.

## Выводы

Повышение эффективности нейросетевых систем биометрической аутентификации по отпечаткам пальцев может быть обеспечена за счет использования двухслойного персептрона, адаптированного к условиям поставленной задачи распознавания.

Установлено, что адаптация должна быть направлена на минимизацию ошибки распознавания при использовании ограниченного объема вычислительных ресурсов. При этом в качестве отправной точки процесса адаптации целесообразно использовать определение множества входных параметров двухслойного персептрона. Разработано математическое обеспечение для расчета значений адаптируемых параметров.

Показано, что основными особенностями задачи распознавания отпечатков пальцев являются: размер отпечатка пальца и размер блока изображения, соответствующего отдельной минущей и количеству распознаваемых пользователей.

С использованием разработанного математического обеспечения и особенностей поставленной задачи распознавания предложена процедура адаптации параметров двухслойного персептрона, базирующаяся на сопоставлении входных нейронов двухслойного персептрона с координатами блоков изображений, характеризующих отдельную минущую.

Проведенные компьютерные эксперименты по распознаванию отпечатков пальцев адаптированным двухслойным персептроном в условиях, приближенных к системе биометрической аутентификации, показали удовлетворительную точность распознавания, что подтверждает перспективность предложенных решений.

Направление дальнейших исследований связаны с использованием в системах биометрической аутентификации по отпечаткам пальцев нейросетевых моделей, адаптированных к задачам анализа графической информации.

## Список літератури

1. Aitchanov B., Korchenko A., Tereykovskiy I., Bapiyev I. Perspectives for using classical neural network models and methods of counteracting attacks on network resources of information systems. *News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences, Volume 5, Number 425 (2017), 202 – 212.*
2. Tereykovska, L., Tereykovskiy, I., Aytkhozaeva, E., Tynymbayev, S., Imanbayev, A. Encoding of neural network model exit signal, that is devoted for distinction of graphical images in biometric authenticate systems. *News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences, Volume 6, Number 426 (2017), 217 – 224.*
3. Bapiyev, I.M., Aitchanov, B.H., Tereikovskiy, I.A., Tereikovska, L.A., Korchenko, A.A. deep neural networks in cyber attack detection systems. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). Volume 8, Issue 11, November 2017, pp. 1086–1092.*
4. Hu Z., Tereykovskiy I., Tereykovska L., Pogorelov V. Determination of Structural Parameters of Multilayer Perceptron Designed to Estimate Parameters of Technical Systems. *I.J. Intelli-gent Systems and Applications. No 10, pp. 57–62 (2017).*
5. Hu Z., Gnatyuk V., Sydorenko V., Odarchenko R., Gnatyuk S. (2017). Method for Cyberincidents Network-Centric Monitoring in Critical Information Infrastructure, *International Journal of Computer Network and Information Security, Vol. 9, № 6, pp. 30–43*
6. Stephane Kouamo, Claude Tangha *Fingerprint Recognition with Artificial Neural Networks: Application to E-Learning. Journal of Intelligent Learning Systems and Applications, 2016, 8, 39–49.*
7. Hamsa A. Abdullah *Fingerprint Identification System Using Neural Networks. Nahrain University, College of Engineering Journal (NUCEJ) Vol.15 No.2, 2012 pp234 – 244.*
8. Marak P., Hambalik A. *Fingerprint recognition system using artificial neural network as feature extractor: design and performance evaluation. Tatra Mt. Math. Publ. 67 (2016), 117–134.*
9. Ruxin Wang, Congying Han, Yanping Wu, and Tiande Guo. *Fingerprint Classification Based on Depth Neural Network. arXiv:1409.5188v1 [cs.CV] 18 Sep 2014, 1-14.*
10. Michelsanti, D., Guichi, Y., Ene, A-D., Stef, R., Nasrollahi, K., & Moeslund, T. B. (2017). *Fast Fingerprint Classification with Deep Neural Network. In VISAPP – International Conference on Computer Vision Theory and Applications.*
11. Daniel Peralta, Isaac Triguero, Salvador García, Yvan Saeys, Jose M. Benitez, and Francisco Herrera *On the use of convolutional neural networks for robust classification of multiple fingerprint captures. arXiv:1703.07270v3 [cs.CV] 15 May 2017, 1-22.*
12. Yann LeCun, Leon Bottou, Yoshua Bengio, Patrick Haffner. 1998. *Gradient-based learning applied to document recognition. Proceedings of IEEE, 86(11), pp. 2278-2324.*
13. Y. LeCun, F.J. Huang, and L. Bottou. *Learning methods for generic object recognition with invariance to pose and lighting. In Computer Vision and Pattern Recognition, 2004. CVPR 2004. Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on, volume 2, pages II–97. IEEE, 2004.*
14. ISO/IEC 19794-4:2005 *Information technology — Biometric data interchange formats – Part 4: Finger image data (IDT). p.24.*
15. M. Kayaoglu, B. Topcu, U. Uludag. *Standard Fingerprint Databases Standard. Manual Minutiae Labeling and Matcher Performance Analyses. arXiv:1305.1443 [cs.CV] 7 May 2013 P.13.*
16. S.C. Turaga, J.F. Murray, V. Jain, F. Roth, M. Helmstaedter, K. Briggman, W. Denk, and H.S. Seung. *Convolutional networks can learn to generate affinity graphs for image segmentation. Neural Computation, 22(2):511–538, 2010.*

Статья поступила в редколлегию 22.03.2018

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Цюцюра, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев.

**Міхайленко Віктор Мефодійович**

Доктор технічних наук, професор кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики, [orcid.org/0000-0002-9573-9873](https://orcid.org/0000-0002-9573-9873)

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**Терейковська Людмила Олексіївна**

Кандидат технічних наук, доцент кафедри кібернетичної безпеки та комп'ютерної інженерії,

[orcid.org/0000-0002-8830-0790](https://orcid.org/0000-0002-8830-0790)

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**Легеза Віктор Петрович**

Доктор технічних наук, професор, в.о. завідувача кафедрою програмного забезпечення комп'ютерних систем, [orcid.org/0000-0003-0403-6142](https://orcid.org/0000-0003-0403-6142)

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ

**АДАПТАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ДВОШАРОВОГО ПЕРСЕПТРОНА, ПРИЗНАЧЕНОГО  
ДЛЯ БІОМЕТРИЧНОЇ АУТЕНТИФІКАЦІЇ КОРИСТУВАЧІВ ЗА ВІДБИТКАМИ ПАЛЬЦІВ**

**Анотація.** Одним з основних напрямів розвитку систем біометричної аутентифікації є впровадження в них нейромережових методів розпізнавання відбитків пальців. Показано, що ефективність таких систем може бути забезпечена за рахунок використання двошарового перцептрона, адаптованого до умов завдання розпізнавання відбитків пальців. Встановлено, що адаптація повинна бути спрямована на мінімізацію помилки розпізнавання при використанні обмеженого обсягу обчислювальних ресурсів. При цьому за відправну точку процесу адаптації доцільно використовувати визначення множини вхідних параметрів двошарового перцептрона. Розроблено математичне забезпечення для розрахунку значень параметрів, що адаптуються. Показано, що основними особливостями завдання розпізнавання відбитків пальців є: розмір відбитка пальця, розмір блоку зображення, який відповідає окремій мінуції і кількість розпізнаваних користувачів. З використанням розробленого математичного забезпечення і певного переліку особливостей поставленого завдання розпізнавання, сформована процедура адаптації, що базується на зіставленні вхідних нейронів двошарового перцептрона з координатами блоків зображень, що характеризують окрему мінуцію. Перспективність запропонованих рішень підтверджено експериментально.

**Ключові слова:** біометрична аутентифікація; відбитки пальців; адаптація; двошаровий перцептрон; нейронна мережа

#### **Mihaylenko Victor**

DSc (Eng.), Professor of Information Technology Design and Applied Mathematics, [orcid.org/0000-0002-9573-9873](https://orcid.org/0000-0002-9573-9873)  
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

#### **Terekovska Liudmyla**

PhD (Eng.), Associate Professor of the Department of Cyber Security and Computer Engineering, [orcid.org/0000-0002-8830-0790](https://orcid.org/0000-0002-8830-0790)  
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

#### **Legeza Viktor**

DSc (Eng.), Professor, Acting Head of the Department of Software for Computer Systems, [orcid.org/0000-0003-0403-6142](https://orcid.org/0000-0003-0403-6142)  
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv

### **ADAPTATION OF PARAMETERS OF A TWO-LAYER PERCEPTRON INTENDED FOR BIOMETRIC AUTHENTICATION OF USERS BY FINGERPRINTS**

**Abstract.** One of the main directions of development of biometric authentication systems is the introduction of neural network fingerprint recognition methods in them. It is shown that the effectiveness of such systems can be ensured by using a two-layer perceptron adapted to the conditions of the fingerprint recognition problem. It has been established that adaptation should be aimed at minimizing the recognition error when using a limited amount of computing resources. In this case, as the starting point of the adaptation process, it is expedient to use the definition of the set of input parameters of a two-layer perceptron. The mathematical support for calculating the values of the adapted parameters is developed. It is shown that the main features of the fingerprint recognition problem are: the size of the fingerprint, the size of the image block, which corresponds to a separate minus and the number of recognizable users. Using the developed software and a specific list of features of the task of recognition, an adaptation procedure is based on the comparison of input neurons of a two-layer perceptron with the coordinates of image blocks characterizing a separate minus. Prospectivity of the proposed solutions is confirmed experimentally.

**Keywords:** biometric authentication; fingerprints; adaptation; two-layer perceptron; neural network

#### **References**

1. Aitchanov, B., Korchenko, A., Terekovskiy, I., Bapiyev, I. (2017). Perspectives for using classical neural network models and methods of counteracting attacks on network resources of information systems. *News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*, 5, 425, 202–212.
2. Terekovska, L., Terekovskiy, I., Ayt Khozhaeva, E., Tynymbayev, S., Imanbayev, A. (2017). Encoding of neural network model exit signal, that is devoted for distinction of graphical images in biometric authenticate systems. *News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*, 6, 426, 217–224.
3. Bapiyev, I.M., Aitchanov, B.H., Terekovskiy, I.A., Terekovska, L.A., Korchenko, A.A. (2017). Deep neural networks in cyber attack detection systems. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 8, 11, 1086–1092.
4. Hu, Z., Terekovskiy, I., Terekovska, L., Pogorelov, V. (2017). Determination of Structural Parameters of Multilayer Perceptron Designed to Estimate Parameters of Technical Systems. *I.J. Intelli-gent Systems and Applications*, 10, 57–62.
5. Hu, Z., Gnatyuk, V., Sydorenko, V., Odarchenko, R., Gnatyuk, S. (2017). Method for Cyberincidents Network-Centric Monitoring in Critical Information Infrastructure, *International Journal of Computer Network and Information Security*, 9, 6, 30–43.
6. Kouamo, Stephane, Tangha, Claude. (2016). Fingerprint Recognition with Artificial Neural Networks: Application to E-Learning. *Journal of Intelligent Learning Systems and Applications*, 8, 39–49.
7. Hamsa, A. (2012). Abdullah Fingerprint Identification System Using Neural Networks. *Nahrain University, College of Engineering Journal (NUCEJ)*, 15, 2, 234–244.



8. Marak, P., Hambalik, A. (2016). *Fingerprint recognition system using artificial neural network as feature extractor: design and performance evaluation*. *Tatra Mt. Math. Publ.*, 67, 117–134.
  9. Wang, Ruxin, Han, Congying, Wu, Yanping, Guo, Tiande. (2014). *Fingerprint Classification Based on Depth Neural Network*. *arXiv:1409.5188v1 [cs.CV]*, 1-14.
  10. Michelsanti, D., Guichi, Y., Ene, A-D., Stef, R., Nasrollahi, K., & Moeslund, T. B. (2017). *Fast Fingerprint Classification with Deep Neural Network*. In *VISAPP – International Conference on Computer Vision Theory and Applications*.
  11. Peralta, Daniel, Triguero, Isaac, Garc ía, Salvador, Saeys, Yvan, Benitez, Jose M., Herrera, Francisco. (2017). *On the use of convolutional neural networks for robust classification of multiple fingerprint captures*. *arXiv:1703.07270v3 [cs.CV]*, 1-22.
  12. LeCun, Yann, Bottou, Leon, Bengio, Haffner, Yoshua Patrick. (1998). *Gradient-based learning applied to document recognition*. *Proceedings of IEEE*, 86(11), pp. 2278-2324.
  13. Y. LeCun, F.J. Huang, and L. Bottou. (2004). *Learning methods for generic object recognition with invariance to pose and lighting*. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 2004. CVPR 2004. Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on*, volume 2, pages II–97. IEEE, 2004.
  14. ISO/IEC 19794-4:2005 *Information technology – Biometric data interchange formats – Part 4: Finger image data (IDT)*. p. 24.
  15. Kayaoglu, M., Topcu, B., Uludag, U. (2013). *Standard Fingerprint Databases Standard. Manual Minutiae Labeling and Matcher Performance Analyses*. *arXiv:1305.1443 [cs.CV]*, 13.
  16. Turaga, S.C., Murray, J.F., Jain, V., Roth, F., Helmstaedter, M., Briggman, K., Denk, W. & Seung, H.S. (2010). *Convolutional networks can learn to generate affinity graphs for image segmentation*. *Neural Computation*, 22(2):511–538.
- 

#### Ссылка на публикацию

- APA Mihaylenko, Victor, Tereikovska, Liudmyla & Legeza, Viktor, (2018). *Adaptation of parameters of a two-layer perceptron intended for biometric authentication of users by fingerprints*. *Management of Development of Complex Systems*, 34, 130 – 138.
- ГОСТ Михайленко, В.М. *Адаптация параметров двухслойного перцептрона, предназначенного для биометрической аутентификации пользователей по отпечаткам пальцев / В.М. Михайленко, Л.А. Терейковская, В.П. Легеза // Управління розвитком складних систем. – 2018. – № 34. – С. 130 – 138.*