

**Мельник Ю. В., Сторчак К. П., Пушкар'єв Д. М., Дорошенко Д. В., Попов Д. Л.**  
*Державний університет телекомунікацій, Київ.*

### ІДЕНТИФІКАЦІЯ ГОЛОСУ В СИСТЕМАХ РОЗУМНИЙ ДІМ

*Розглянуто алгоритм розпізнавання голосу для ідентифікації особи на основі перетворення Габора і його використання в системі «розумний дім». Запропонований підхід базується на створенні спектрограми, яка служить голосовою базою і з якої виділяються ознаки голосу, розпізнається голос особи, виконується команда та вимовляється відповідь. Перевірка особи проводиться з використанням класичної нейронної мережі.*

**Ключові слова:** *нейронна мережа, розпізнавання голосу, ідентифікація особи, перетворення Габора, евристичний алгоритм, розумний дім.*

**Melnyk Yu. V., Storchak K. P., Pushkariov D. M., Doroshenko D. V., Popov D. L.**  
*State University of Telecommunications, Kyiv*

### VOICE RECOGNITION IN INTELLIGENT HOME SYSTEMS

*In this article, an algorithm for voice recognition is presented for identifying a person based on the Gabor transformation and subsequent implementation of the system intelligent home voice message. The idea of recognition is that guests and outsiders can not manage the system. The proposed approach is based on the creation of a spectrogram that listens to a voice base and from which the features of the voice are distinguished through the heuristic algorithm, then the voice of the person is recognized, and then the command is executed and the answer is pronounced. A person's check is carried out with the use of the classical neural network. Represented on the spectrogram of the process of finding the voice of the host. From the drawings it is seen that when the number of sample samples increases, the recognition accuracy increases. A pre-created database of 20, 25, 75, 100 voice samples has been tested in real time with various extraneous noises and sounds. Improvement of identification is carried out by the algorithm of voice recognition, the algorithm is taught in each voice command.*

*With the help of the developed algorithm, it is possible to significantly improve the quality of perception of voice commands by identifying a person and removing noise from the signal. Theoretically, it is possible to say the command quietly and unclearly, but for this purpose it is necessary to develop scripts of the dialogue of the owner with the system. A large database of voice samples will greatly improve the quality. This algorithm is able to add real-time voice samples to the database, that is, when the host speaks the command, the algorithm selects the voice signs, then performs voice identification, then recognizes the command and executes it, at the end the program saves the voice sample by preliminarily filtering the outside sounds and noises.*

**Key words:** *neural network, voice recognition, person identification, Gabor transformation, heuristic algorithm, intelligent home.*

**Мельник Ю. В., Сторчак К. П., Пушкар'єв Д. М., Дорошенко Д. В., Попов Д. Л.**  
*Государственный университет телекоммуникаций, Киев.*

### ІДЕНТИФІКАЦІЯ ГОЛОСА В СИСТЕМАХ УМНИЙ ДОМ

*Рассмотрен алгоритм распознавания голоса для идентификации личности на основе преобразования Габора и его использование в системе «умный дом». Предложенный подход базируется на создании спектрограммы, которая служит голосовой базой и с которой выделяются признаки голоса, распознается голос лица, выполняется команда и произносится ответ. Проверка лица проводится с использованием классической нейронной сети.*

**Ключевые слова:** *нейронная сеть, распознавание голоса, идентификация голоса, преобразование Габора, эвристический алгоритм, умный дом.*

## 1. Вступ. Постановка задачі дослідження

Розпізнавання особи по голосу в наш час є одним з важливих напрямів технологій розпізнавання мови. Це обумовлено розвитком інформатизації суспільства, постійним нарощуванням потоків передачі даних по різних каналах зв'язку, які вимагають захисту від несанкціонованого доступу, зростанням значення автоматичної обробки даних, а також наростаючою популярністю використання систем голосового управління.

В системах «розумний дім», де підключена функція голосового управління, існує проблема виконання помилкових команд, для цього вже давно вигадали кодове слово для запуску програми розпізнавання, але це рішення не є ідеальним. Для того, щоб програма почала розпізнавати та виконувати команди, потрібно завжди вимовляти кодове слово, що в свою чергу спричиняє незручності керування. Проте, якщо кодове слово прибрати, то система буде намагатися розпізнавати кожне слово промовлене в домі, в тому числі й від телевізору. Тому доцільно впровадити в таку систему програмний код ідентифікації, який буде працювати в системі голосового управління та виконувати функцію виокремлення голосу з множини інших голосів та шумів.

Недавні наукові дослідження показують, що ідентифікація особи основана головним чином на обробці сигналів. Це область, в якій ми розрізняємо аналіз відбитків пальців, обличчя або зразків голосу. З точки зору комп'ютерного аналізу відбитка пальця або обличчя можна сказати, що об'єкт розглядається аналогічно двовимірному зображенню. Для цього зображення повинно бути оброблено, щоб мінімізувати обсяг інформації у вхідному файлі. Одним з найбільш відомих алгоритмів обробки зображень є виявлення «країв», що допомагає знайти тільки певну область на зображенні.

В роботі [1] автори представили ідею використання дескрипторів зображень на основі цієї обробки за допомогою алгоритму сканування. Отримані результати показали, що ця комбінація може бути використана в подальших дослідженнях з розпізнавання зображень.

В [2] представлена ідея вилучення ознак і індексації для великої системи баз даних. Звичайно, ці алгоритми використовуються в подальших роботах, наприклад, розпізнавання відбитків пальців. Цей тип ідентифікації може бути заснований на порівнянні конкретних компонентів або навіть областей зображень, що було показано в [3]. Це схоже на розпізнавання рукописного введення, де можуть використовуватися аналогічні методи. Більш того, в разі порівняння підписів ми також можемо використовувати динамічні характеристики – тиск пера або швидкість підпису. Одне з таких досліджень було показано в [4], де автори представили новий алгоритм такої ідентифікації.

Інша група ідентифікації – це розпізнавання голосу, де вхідний файл являє собою зразок звуку. В [5] представлений аналіз звуків для виявлення порушень мови. Ідея використання розпізнавання голосу в біометричних системах показана в [6].

Цікавий підхід до аналізу звуку показаний в [7], де система ідентифікує співака по силі звуку. Інший підхід полягає у використанні акустично-спектрографічного впливу в цих областях, що було досліджено в [8].

## 2. Перетворення Габора

Аналіз сигналів неможливий без використання перетворення, яке об'єднує конкретні сигнали і дозволяє їх порівнювати. Найбільш відомим є перетворення Фур'є. У 1946 році угорський фізик лауреат Нобелівської премії Деніс Габор зазначив, що у перетворенні Фур'є є недолік. Якщо більш конкретно, то перетворення не підходить для аналізу невеликих фрагментів обраного часового сигналу. Це спостереження привело його до ідеї виділення часового вікна і операції управління вікнами, що побічно допомагало аналізувати тільки окремі фрагменти сигналів.

Визначення часового вікна називається функцією  $w(n)$ , яка задовольняє таким умовам:

- $w(n)$  є ненульовою функцією в кінцевому інтервалі часу;
- $\max w(n)$  можна досягти в середині часового інтервалу;
- графік  $w(n)$  симетричний відносно  $\max w(n)$ .

Прикладом віконних функцій є вікно Хеммінга, яке визначається наступним чином:

$$w(n) = 0.5 - 0.5 \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right), \quad (1)$$

де  $N$  – максимальний поділ сигналу,  $n = 0, 1, 2, \dots, N$ .

Визначення вікна Ханнінга називається вибіркою сигналу  $s$  з використанням часового вікна  $w(n)$ , яке може бути представлено як

$$g(n) = s(n)w(n), -\infty < n < \infty. \quad (2)$$

Робота з вікнами дозволила мінімізувати недоліки перетворення Фур'є. Використання такого вікна дозволяє зробити спектральні характеристики більш плавними, що в свою чергу призводить до зменшення розмиття спектру сигналу.

Щоб використовувати віконну операцію для перетворення, було впроваджено безперервне перетворення Габора сигналу  $s$ :

$$G_s(x, f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(\tau) w(\tau - x) \exp(-if\tau) d\tau. \quad (3)$$

Для практичних цілей (в основному, для обчислень) ми вводимо дискретну форму перетворення сигналу:

$$G(k) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} C_{nm} g_{nm}(k), \quad (4)$$

звідки 
$$g_{nm}(k) = s(k - mN) \exp\left(\frac{2j\pi nk}{N}\right). \quad (5)$$

Згідно з формулою, де сигнал  $s$  ділиться на  $M$  часових інтервалів довжиною  $N$ , а  $C_{nm}$  означає конкретні значення сигналу  $s$ .

В області частотно-часового аналізу розглядається розподіл амплітуди в часі, їх щільність, а також характеристика спектра за шириною або за гармонійними складовими. У цій області сигнал повинен бути підданий трансформації для вилучення характеристик зразка, які можуть бути представлені у візуальній формі через спектрограми.

### 3. Алгоритм розпізнавання голосу

Прискорене зростання інтересу до пошуку альтернативних рішень задач оптимізації дозволив значно розширити евристичні алгоритми, засновані в основному на випадковості. Зростаюча популярність таких рішень пропонує нові методи, а також численні практичні застосування. Далі змодельємо сценарій подання та видалення хибних голосових команд.

Щоб змодельювати діалог гостей з господарем в «розумному домі», потрібно перш за все розробити декілька варіантів сценаріїв для навчання нейромережі.

Перш за все кожна особа в домі буде інтерпретуватись як точка  $X = (x, y)$  в двовимірному просторі, яка має швидкість  $V$  (початкове значення – випадкове число). Кожна особа знаходиться в домі в певному місці і має певний тембр голосу, що розповсюджується на певну область радіусом  $r_0$ . Крім того, число людей в приміщенні не є постійним і описується як  $N \pm N_c$ , де початкова позиція вибирається випадковим чином. Для того щоб описати діалог в приміщенні необхідно визначити кілька факторів: Люди не розмовляють разом, між діалогами є певний інтервал  $S_i$ . Крім того потрібно ввести коефіцієнт гучності розмови  $F_i$ , коефіцієнт тембру голосу  $A_i$ , коефіцієнт швидкості промови  $C_i$ , коефіцієнт кількості шумових завад  $E_i$ . Всі ці параметри розраховуються наступним чином:

$$S_i = -\sum_{j=1}^N X_j - X_i; \quad A_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N V_j; \quad C_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^n X_j - X_i; \quad F_i = X^+ - X_i; \quad E_i = X^- + X_i, \quad (6)$$

де  $X_j$  – голос гостя;  $X_i$  – ідентифікація голосу господаря.

Ідентифікація голосу буде моделюватися як перерозподіл відповідно до

$$X_i^{(t+1)} = X_i^t + \Delta X_i^{(t+1)}, \quad (7)$$

де  $t$  – номер поточної ітерації;

$\Delta X_i^{(t+1)}$  – кореляція всіх коефіцієнтів, визначених в такий спосіб:

$$\Delta X_i^{(t+1)} = (sS_i + aA_i + cC_i + fF_i + eE_i) + X_i^t, \quad (8)$$

де параметри  $\{s, a, c, f, e\} \in \langle 0|1 \rangle$  є вагами для конкретних коефіцієнтів.

На першій ітерації кожна особа в кімнаті має  $X_i^{(t=0)} = 0.5$ .

Щоб виявляти переміщення особи, модифікуємо рівняння (7):

$$X_i^{(t+1)} = X_i + L(x)X_i, \quad (9)$$

де  $L(x)$  – функція зміни гучності голосу відносно мікрофона, описана як

$$L(x) = 0.01 \frac{r_1 \gamma}{|r_2|^2}, \quad (10)$$

де  $r_1, r_2$  – випадкові значення в діапазоні  $\langle 0|1 \rangle$ ;

$\beta$  – постійне значення;

$\gamma$  описується як:

$$\gamma = \left( \frac{\Gamma(1 + \beta) \sin\left(\frac{\pi\beta}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1 + \beta}{2}\right) \beta^{\frac{\beta-1}{2}}}\right)^{\frac{1}{\beta}}, \quad (11)$$

де  $\Gamma(x) = (x-1)!$ .

На кожній ітерації алгоритму кожен голос оцінюється за допомогою функції  $f(X_i)$ . Потім вибирається найкращий  $X^+$  і найгірший  $X^-$ . Повний алгоритм моделювання діалогу в приміщенні – алгоритм навчання нейромережі в реальному часі – приведений нижче.

1. Вхідні параметри  $N, t, r_0, s, c, f, e, w$ ;
2. Визначити простір пошуку та функцію  $f(x)$ ;
3. Генерація початкової кількості рандомно;
4. Якщо  $T < t$ , то
5. Оцінити голос згідно  $f(x)$ ;
6. Знайти голос господаря  $X^+$  і голос гостя  $X^-$ ;
7. Оновлення коефіцієнтів  $\{s, c, f, e\}$ , збільшивши або зменшивши їх на постійну величину;
8. Оновлення всіх параметрів, використовуючи (6); якщо  $X_i$  визначає голос гостя в певному місці  $r_0$  то
9. Оновити положення особи  $X_i$ , використовуючи (7);
10. Оновити положення господаря, використовуючи (9);
11. Відфільтрувати голос та зберегти зразок в базу даних;
12. Кінець.
13. Якщо  $T = t - 1$ , то повторити ідентифікацію;
14. Оцінити голос згідно  $f(x)$ ;
15. Кінець.
16.  $T++$ ;
17. Кінець.

#### 4. Попередня перевірка голосу

Весь процес голосової перевірки складається з декількох кроків. Створення бази даних, що містить зразки голосу, що є комбінацією трьох елементів – створення зразків голосу, їх обробка та збереження. Після цього класифікатор повинен навчитися розпізнавати господаря чи гостя на основі голосових зразків з бази даних. Останній крок – ідентифікація в режимі в реальному часі, що означає поєднання наступних операцій – збереження нового зразка голосу, швидка обробка і ідентифікація.

#### 5. Витяг потрібного голосу з бази даних

Витяг потрібного голосу з бази даних полягає в добуванні ознак голосу господаря. Для цієї мети евристичний алгоритм буде переміщатися по спектрограмах, щоб знайти області, характерні для голосу господаря. Більш того, використання евристичного алгоритму допускає високу випадковість процесу верифікації. Алгоритм буде переміщуватися по спектрограмі, створеної на основі перетворення Габора. Кожен голос в кімнаті буде представлений пікселем на зображенні. Голос оцінюється з темних областей спектрограми (пікселя), описаної в такий спосіб:

$$f(x) = \frac{-(\eta + \delta)}{2}, \quad (12)$$

де  $\eta = \min(R(X), G(X), B(X))$ ,  $\delta = \max(R(X), G(X), B(X))$ .

Функції  $R(X)$ ,  $G(X)$ ,  $B(X)$  – це конкретний компонент даного пікселя  $X$ . Так певна функція дозволяє шукати найтемніші ділянки зображення. Евристичний алгоритм повертає кращі  $k$  голосу з останньої ітерації. Ці точки вказують області, де розпізнавання є кращим на практиці, це означає максимальну амплітуду для цього конкретного зразка голосу. Для кожної голосової команди алгоритм використовує декілька  $m$  спектрограм. Далі точки в області розпізнавання вибираються і об'єднуються в вектор, що складається з значень  $n = k \cdot m$  наступним чином.

$$[X_1, X_2, \dots, X_n] = [(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)]. \quad (13)$$

Даний вектор дозволяє моделювати вектор навчання, який може бути створений для кожної спектрограми для певної особи:

$$[[f(x_1, y_1), f(x_2, y_2), \dots, f(x_n, y_n)], id_1, \dots, id_m]. \quad (14)$$

де  $f(X)$  – функція темних ділянок, показана в (12);

$\{id_1, \dots, id_m\}$  – значення послідовності ідентифікатору господаря, де  $m$  – довжина цього ідентифікатора. Значення  $m$  залежить від кількості осіб в базі даних. Наприклад, якщо значення  $m$  буде дорівнювати трьом, то цієї довжини досить для семи чоловік (це комбінації двійкових чисел від 000 до 111).

#### 6. Нейронний класифікатор

Проблема класифікації існує через велику різноманітність автоматизованих систем, які повинні належним чином розділяти навчання і розпізнавання – також ті, які відхиляються від прийнятої норми. Нейронні мережі представляють собою математичні структури, які працюють як розум малої дитини, яка ще нічого не знає та не вміє [0, 11]. Нейронна мережа є одними з найбільш поширених класифікаторів.

1) В штучній нейронній мережі модель складається з шарів. Перший шар називається вхідним, останній – вихідним, а середній – прихованим. Вхідний шар відповідає за прийом навчального вектора, вихідні дані для синхронізації результатів мережі (результати класифікації) і приховані шари для пошуку даних. Кожен шар складається з більш дрібних блоків званих нейронами. Нейрон – це теоретична одиниця, яка приймає вихідні значення інших нейронів (з попереднього шару) і має зв'язки  $w$  (нейрони між шарами, з'єднаними між

собою, і кожна комбінація обтяжена зв'язками). Завдання нейрона – розрахувати вихідне значення  $\Theta$  за такою формулою:

$$\Theta([o_1, \dots, o_m], [w_1, \dots, w_m]) = \Phi\left(\sum_{i=1}^m o_i w_i\right), \quad (15)$$

де  $\Phi\left(\sum_{i=1}^m o_i w_i\right)$  – функція активації, яка визначається як

$$\Phi(x) = (1 + e^{-\alpha x})^{-1}, \quad (16)$$

де  $\alpha \in \langle 0|1 \rangle$ .

2) Алгоритм зворотного поширення: для правильної класифікації певного голосу з використанням нейронної мережі, система повинна бути навчена розпізнавати голос господаря. Для цього в [0] був запропонований алгоритм зворотного розширення, який є одним з найпопулярніших методів такого типу.

Помилка мережі розраховується як квадрат відхилення, описаного як

$$d([w_1, \dots, w_m]) = \frac{1}{2} \left[ \Phi\left(\sum_{i=1}^m o_i w_i - t\right) \right]^2, \quad (17)$$

де  $t$  очікуваний результат. Для побудованої функції помилки алгоритм змінює ваги, використовуючи градієнт цієї функції, визначеної як

$$\frac{\partial d(w_1, \dots, w_k)}{\partial w_j} = (\Theta - t) \Phi'(s) o_j. \quad (18)$$

На спектрограмі (рис. 1) зображений процес знаходження голосу господаря на прикладі попередньо створеної бази даних з 100 зразків голосу в реальному часі з різними сторонніми шумами та звуками. Видно, що при збільшенні кількості зразків голосу точність розпізнавання підвищується.

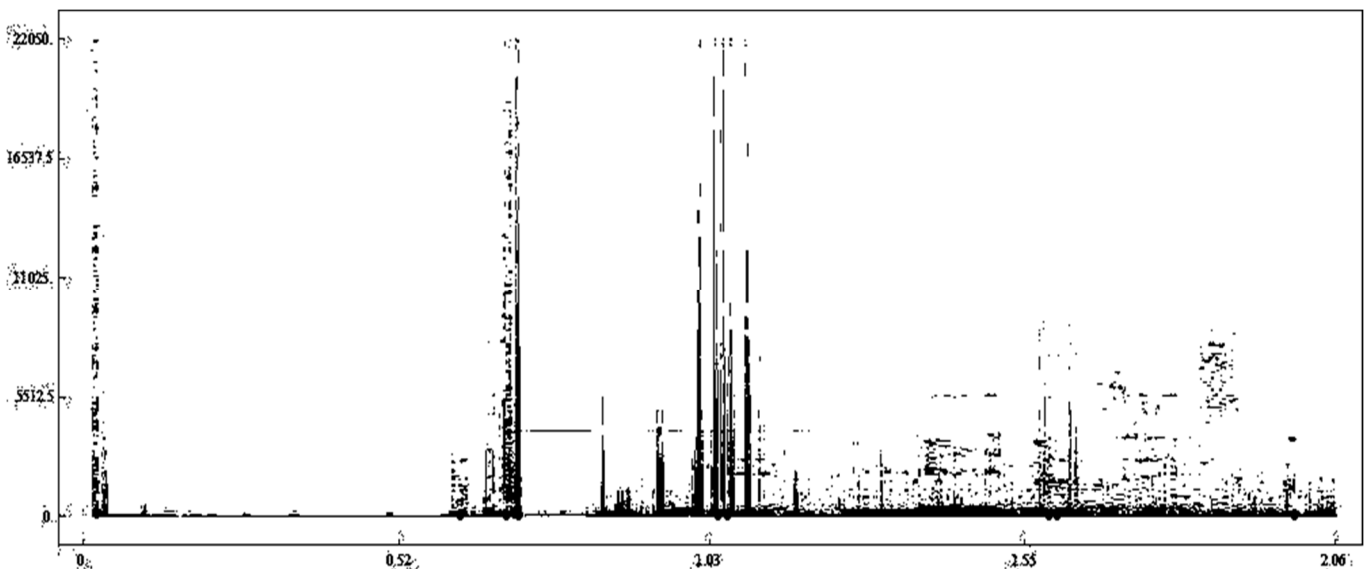


Рис. 1: Знаходження потрібного голосу на спектрограмі в 100 ітерацій

Наведений в статті алгоритм навчається на кожній голосовій команді, виділяє ознаки голосу та зберігає в базу даних вже відфільтрований зразок (без шумів та сторонніх звуків), це дозволяє з кожною промовленою голосовою командою розпізнавати голос та з кожним разом більш чітко та швидше виконувати команди. Теоретично з дуже великою базою зразків голосу можливо розпізнавати голос навіть при наявності в кімнаті джерел шуму та декількох чоловік які розмовляють одночасно.

**7. Висновки**

Отже, за допомогою розробленого алгоритму можна значно покращити якість сприйняття голосових команд шляхом ідентифікації особи та видалення шумів з сигналу. Запропонований підхід базується на створенні спектрограми, яка служить голосовою базою і з якої виділяються ознаки голосу і розпізнається голос особи. Перевірка особи проводиться з використанням класичної нейронної мережі.

Теоретично можливо промовляти команди тихо та нечітко, але для цього потрібно розробити сценарії діалогу господаря з системою. Велика база даних зразків голосу дозволить значно покращити якість. Даний алгоритм здатен додавати в базу даних зразки голосу в реальному часі, тобто коли господар промовляє команду, алгоритм виділяє ознаки голосу, потім проводить ідентифікацію голосу, потім розпізнає команду та виконує її, в кінці програма зберігає зразок голосу попередньо фільтруючи сторонні звуки та шуми.

**Список використаної літератури**

1. Awan S. N. Validation of the cepstral spectral index of dysphonia as a screening tool for voice disorders: development of clinical cutoff scores/ S. N. Awan, N. Roy, D. Zhang, S. M. Cohen // *Journal of Voice*. – 2016. – Vol. 30, №2. – P. 130-144.
2. Сра́лка К. A new algorithm for identity verification based on the analysis of a handwritten dynamic signature/ К. Сра́лка, М. Zalasí'nski, L. Rutkowski // *Applied soft computing*. – 2016. – Vol. 43. – P. 47-56.
3. Gregor K. "Draw: A recurrent neural network for image generation / K. Gregor, I. Danihelka, A. Graves, D. J. Rezende, D. Wierstra. // <https://arxiv.org/abs/1502.04623>. – 2015.
4. Grycuk R. Content-based image retrieval optimization by differential evolution / R. Grycuk, M. Gabryel, R. Nowicki, R. Scherer // *IEEE Congress on*. – 2016. – P. 86-93.
5. Kim J. Finger-knuckle-print for identity verification based on difference images / J. Kim, J. Teoh, A. Toh // *IEEE 11th Conference on*. – 2016. – P. 1073–1077.
6. Mirjalili S. Dragonfly algorithm: a new meta-heuristic optimization technique for solving single-objective, discrete, and multi-objective problems/ S. Mirjalili // *Neural Computing and Applications*. – 2016. – Vol. 27, № 4. – P. 1053-1073.
7. Pal M. On robustness of speech based biometric systems against voice conversion attack / M. Pal, G. Saha // *Applied Soft Computing*. – 2015. – Vol. 30. – P. 214-228.
8. Scherer M. Image descriptor based on edge detection and crawler algorithm / R. Grycuk, M. Gabryel, M. Scherer, S. Voloshynovskiy // *International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing*. – 2016. – P. 647-659.
9. Usha M. Objective identification of prepubertal female singers and non-singers by singing power ratio using matlab / M. Usha, Y. Geetha, Y. Darshan // *Journal of Voice*. – 2016.
10. Werbos P. Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences / P. Werbos. – 1974.
11. Williams D. Learning representations by backpropagating errors / D. Williams, G. Hinton // *Nature*. – 1986. – Vol. 323. – P. 533-536.
12. Краснова Е. М. Оценка эффективности акустико-спектрографического метода распознавания голоса нативной и неродной речи / Е. М. Краснова, Е. В. Булгакова, В. В. Шемелинин. – Москва: 2016. – 56 с.

**References (MLA)**

1. Awan S. N., Roy N., Zhang D., and Cohen S. M. "Validation of the Cepstral Spectral Index of Dysphonia as a Screening Tool for Voice Disorders: Development of Clinical Cutoff Scores." *Journal of Voice* 2(30) (2016): 130–144. Print.
2. Spalka K., Zalasiński M., and Rutkowski L. "A New Algorithm for Identity Verification Based on the Analysis of a Handwritten Dynamic Signature." *Applied soft computing* (43) (2016): 47–56. Print.
3. Gregor K., Danihelka I., Graves A., Rezende D. J., and Wierstra D. Draw: *A Recurrent Neural Network for Image Generation*. <https://arxiv.org/abs/1502.04623>. (2015). Web.
4. Grycuk R., Gabryel M., Nowicki R., and Scherer R. "Content-Based Image Retrieval Optimization by Differential Evolution." *IEEE Congress on* (2016): 86–93. Print.
5. Kim J., Oh K., Teoh A. B.-J., and Toh K.-A. "Finger-Knuckle-Print for Identity Verification Based on Difference Images." *IEEE 11th Conference on (ICIEA)* (2016): 1073–1077. Print.
6. Mirjalili S. "Dragonfly Algorithm: A New Meta-Heuristic Optimization Technique for Solving Single-Objective, Discrete, and Multi-Objective Problems." *Neural Computing and Applications* 4(27) (2016): 1053-1073. Print.
7. Pal M. and Saha G. "On Robustness of Speech Based Biometric Systems Against Voice Conversion Attack." *Applied Soft Computing* (30) (2015): 214–228. Print.
8. Scherer M., Grycuk R., Gabryel M., and Voloshynovskiy S. "Image Descriptor Based on Edge Detection and Crawler Algorithm." *International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing* (2016): 647–659. Print.
9. Usha M., Geetha Y., and Darshan Y. "Objective Identification of Prepubertal Female Singers and Non-Singers by Singing Power Ratio Using Matlab." *Journal of Voice* (2016). Print.
10. Werbos P. "Beyond Regression: New Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Sciences." (1974). Print.
11. Williams D. and Hinton G. "Learning Representations dy Backpropagating Errors." *Nature* (323) (1986): 533–536. Print.
12. Krasnova E., Bulgakova E., and Shchemelinin V. *Performance Evaluation of Acoustic-Spectrographic Voice Identification Method in Native and Non-Native Speech*. Moscow, 2016. Print.

**Автори статті (Authors of the article)**

**Мельник Юрій Віталійович** – к.т.н., старший дослідник, завідувач кафедри телекомунікаційних технологій (Melnyk Yurii Vitaliiovich – PhD in Technics, Head of the Department of Telecommunication Technologies). Phone: +380 99 376 4694. E-mail: melnik\_yur@ukr.net.

**Сторчак Каміла Павлівна** – к.т.н., завідувач кафедри інформаційних систем і технологій (Storchak Kamila Pavlivna – PhD in Technics, Head of Department of Informative Systems and Technologies). Phone: +380 44 249 2542. E-mail: kpstorchak@ukr.net.

**Пушкарьов Дмитро Миколайович** – магістрант (Pushkariov Dmytro Mukolaiovysh – master studies in electronics and telecommunications). Phone: +380 63 156 3246. E-mail: i\_pushka1996@ukr.net.

**Дорошенко Дмитро Васильович** – магістрант (Doroshenko Dmytro Vasyliovych – master studies in electronics and telecommunications). Phone: +380 93 698 2849. E-mail: dimchikmove@gmail.com.

**Попов Дмитро Лурійович** – магістрант (Popov Dmytro Luriiovych – master studies in electronics and telecommunications). Phone: +380 93 402 6356. E-mail: fadimaso@gmail.com.