УДК 681.142.2; 622.02.658.284; 621.325

Пелешко Д. Д., Рашкевич М. І., Пелех Ю. М.

АВТОМАТИЧНА ПЕРВИННА СЕГМЕНТАЦІЯ МОВНОГО СИГНАЛУ НА ОСНОВІ СИМЕТРИЧНОЇ МАТРИЦІ ВІДСТАНЕЙ

Запропоновано метод первинної сегментації мовного сигналу квазістаціонарними ділянками за пороговим відхиленням алгебраїчних характеристик елементарних ділянок. Алгебраїчні характеристики отримуються із розв'язання за методом Мура-Пенроуза виродженої системи лінійних рівнянь, яка будується із алгебраїчного симетричного матричного оператора відстаней амплітудних значень на елементарній ділянці. Запропоновано автоматизоване визначення відхилень нормованих алгебраїчних характеристик для формування квазістаціонарних ділянок. В основі цього рішення лежить вирішення екстремальної задачі на основі критеріальної оцінки близької за мірами подібності. Наведено результати практичних експериментів сегментації мовного сигналу із використанням чебишевської та косинусної метрик. На основі цих результатів встановлено ефективність розробленого методу при сегментації ділянок мовного сигналу для різних діапазонів енергії.

Ключові слова: *мовний сигнал, первинна сегментація, симетрична матриця відстаней, псевдообернена матриця, алгоритм Мура-Пенроуза, сингулярний розклад, евклідова, метрика Чебишева, косинусна метрика, міра подібності.*

Предложен метод первичной сегментации речевого сигнала квазистационарными участками по пороговым отклонением алгебраических характеристик элементарных участков. Алгебраические характеристики получаются из решения по методу Мура-Пенроуза вырожденной системы линейных уравнений, которая строится из алгебраического симметричного матричного оператора расстояний амплитудных значений на элементарном участке. Предложено автоматизированное определение отклонений нормируемых алгебраических характеристик для формирования квазистационарных участков. В основе этого решения лежит решение экстремальной задачи на основе критериальной оценки близости по мерами сходства. Приводятся результаты практических экспериментов сегментации речевого сигнала с использованием чебишевской и косинусной метрик. На основе этих результатов установлена эффективность разработанного метода при сегментации участков речевого сигнала для различных диапазонов энергии.

Ключевые слова: *речевой сигнал, первичная сегментация, симметричная матрица расстояний, псевдообратная матрица, алгоритм Мура-Пенроуза, сингулярный разложение, метрика евклида, метрика Чебишева, косинусная метрики, мера сходства.*

In this paper the method of an initial segmentation of the speech signal via quasistationary intervals by threshold deviation of algebraic specifications of elementary areas is presented. The latter method of automatic initial segmentation is based on pseudorotation of symmetric matrix of distances and evaluation criteria.

Algebraic properties of the solution are obtained by Moore-Penrose method of degenerated systems of linear equations. The letter degenerated system is constructed from algebraic symmetric matrix operator of distances of amplitude values within the elementary area.

As a result of this work, an algorithm for speech signal segmentation is developed and presented. Chebyshev and cosine metrics are used for determining the distance. The efficiency of the developed method for the segmentation of high-energy parts of the speech signal is calculated based on these results.

Key words: *speech signal, the primary segmentation, symmetric matrix of distances, the pseudo inverse matrix algorithm for Moore-Penrose, singular value decomposition, Euclidean, Chebyshev and cosine metrics, measure of similarity.*

Вступ та аналіз літературних джерел

На сучасному етапі розвитку методів і засобів для побудови систем штучного інтелекту важливе значення займає оброблення мовних сигналів. Дуже часто окремою вимогою до методів аналізу та синтезу мовної інформації висувається необхідність підтримки режиму реального часу або максимально до нього наближеного. У зв'язку з цим особливий інтерес та широке застосування набули методи, що входять до напряму лінійного передбачення [5; 7] в процесі моделювання мовних сигналів, основною ідеєю яких є представлення сигналу у виді авторегресії.

Переваг методів цього напряму є багато. Серед них у найпершу чергу треба відзначити прогнозувальні властивості, які базуються на можливості за деякою лінійною комбінацією нормованих амплітудних значень мовного сигналу із певною точністю передбачити наступні значення. В описаній процедурі моделювання мовного сигналу визначальним є незалежність методів оброблення від наявності сигналу в цілому. А саме це і дає можливість використання методів лінійного передбачення у процедурах систем реального часу.

Іншою суттєвою перевагою є достатньо просте перетворення у модель мовотворення і відносно невелика обчислювальна складність визначення параметрів передбачення, оскільки остання базується на лінійних алгебраїчних процедурах.

Типовим використанням методів лінійного передбачення є спектральні оцінки сигналу на інтервалі квазістаціонарності, побудова систем мовного синтезу на основі рекурсивних цифрових фільтрів та систем розпізнавання на основі моделюванні спектру [4]. Таке широке коло використання призвело до появи різноманітних варіацій лінійного передбачення, зокрема коваріаційне, автокореляційне, максимальної правдоподібності, скалярного добутку та ін.

Проте як дуже часто відзначається в літературі, наприклад у [12], основним недоліком методів лінійного передбачення є недостатня точність або складність визначення порогових коефіцієнтів процесу моделювання сигналу на ділянках низької енергії.

Мета дослідження

Однією з найбільш поширених проблем, яка виникає при аналізі мовних сигналів, в процесі розроблення сучасних систем штучного інтелекту є визначення їх тимчасових і частотних характеристик, оскільки будь-який недетермінований сигнал є нелінійним об'єктом. Проте в такому сигналі при заданому періоді дискретизації завжди можна виділити деякий часовий інтервал, на якому значення цих характеристик змінюються в межах несуттєвого відхилення. Тоді характеристики сигналу на цьому інтервалі вважаються постійними, а сам інтервал називають інтервалом квазістаціонарним.

Іноді такі ділянки мовного сигналу називають кадром сигналу [5]. А сам процес їх виділення – первинною сегментацією.

Якщо в мовному сигналі виділити якісні характеристики, то на інтервалі квазістаціонарності можна побудувати достатньо точну параметричну модель мовного сигналу, яку, у свою чергу, можна успішно використати під час розв'язання широкого кола задач, які виникають у ході розроблення систем штучного інтелекту.

Саме тому основним завданням роботи є розробка методу автоматичної первинної сегментації мовного сигналу квазістаціонарними ділянками на основі псевдобертання симетричної матриці відстаней та критеріальної оцінки для автоматичного визначення порогових значень.

1. Постановка задачі виділення квазістаціонарних ділянок мовного сигналу

Нехай у просторі $\mathbf{R}^1$ задано компакт $\tau = [0; T]$, $T \in \mathbf{R}^1$, $T > 0$, який виступатиме областю визначення мовного сигналу $x(t)$, $t \in \tau$. Тоді сам мовний сигнал можна розглядати неперервним сюр'єктивним відображенням

$$x: \tau \to \mathbf{R}^1. \tag{1}$$

На проміжку τ системою відкритих множин T_i, які визначаються за правилом

$$T_i = \left[t_{i-1}; t_i\right]: \forall t_0 \in T_i, \exists r > 0 : T_i^r\left(t_0\right) \subset T_i,\ T_i^r\left(t_0\right) = \left\{t \in T : \rho(t, t_0) = \left\|t - t_0\right\| < r\right\}, \tag{2}$$

з діаметром $\rho\left(T_i\right) = \sup\limits_{t_a, t_b \in T_i} \rho(t_a, t_b)$ (тут ρ – метрика простору $\mathbf{R}^1$), можна визначити топологію $\Gamma = \{T_i\}_{i = 1, 2, \dots}$. Оскільки проміжок τ є компактом (замкненою обмеженою множиною), то у топології Γ завжди можна виділити диз'юнктивну (з тривіальним перетином) скінченну множину $\chi = \{T_i \mid i = 1..n\}$

$$\forall i, j \in [1; n]: i \neq j,\ T_i, T_j \in \chi,\ T_i \neq \varnothing,\ T_j \neq \varnothing \to T_i \cap T_j = \varnothing, \tag{3}$$

яка виступатиме покриттям компакту τ

$$\tau = \bigcup_{i=1}^{n} T_i, T_i \in \chi, n = |\chi|, \tag{4}$$

де n – потужність множини χ.

Надалі приймемо припущення, що потужність усіх елементів $|T_i|$ покриття χ рівна r, тобто має місце: $\forall i \in [1, n] : |T_i| = l$. Це визначає χ як l-покриття проміжку τ.

Неперервне відображення $x(t)$ з покриття χ породжує покриття η (необов'язково диз'юнктивне) області значень $X \subseteq \mathbf{R}^1$ функції $x(t)$

$$\eta = \{X_i \mid i = 1..n\}, \qquad x(t) = \bigcup_{i=1}^{n} X_i, X_i \in \eta, \tag{5}$$

де $X_i = \{x(t) |\ t \in T_i\}$ – елемент покриття η. Потужність покриття η завдяки неперервності $x(t)$ є рівна потужності покриття χ: $|\eta| = |\chi| = n$. Очевидно також, що потужність елемента X_i є рівною потужності елемента T_i.

На практиці компакт τ розглядають дискретним і скінченним. Елементи T_i покриття χ такого компакту також будуть дискретними, скінченними і однакової потужності. А це визначає взаємний гомеоморфізм елементів T_i. Тоді потужність компакту τ з диз'юнктивним покриттям χ топології Γ визначатиметься за формулою Грасмана

$$T+1=|\tau|=\left|\bigcup_{i=1}^{n}T_i\right|=\sum_{i=1}^{n}|T_i|-\left|\bigcap_{i=1}^{n}T_i\right|=nl\cdot \quad (6)$$

У результаті *задачу сегментації мовного сигналу* $x(t)$ *на дискретному компакті* τ *при визначеному диз'юнктивному покритті* χ *можна сформулювати як синтез нового представлення сигналу* $x(t)$ *на компакті* τ

$$x(t)=\bigcup_{i=1}^{m}Y_i,\ m\le n, \quad (7)$$

де m – кількість квазістаціонарних ділянок Y_i. Квазістаціонарна ділянка (надалі квазістаціонар) Y_i є деяким об'єднанням послідовних елементів покриття η

$$Y_i=\bigcup_{j=I_i}^{m_i+I_i-1}X_j, \quad (8)$$

тут I_i – початковий індекс об'єднання (8) в покритті η, при цьому завжди $I_1 = 1$; m_i – кількість елементарних ділянок X_i в об'єднанні (8). Очевидно, що $n=\bigcup_{j=1}^{m}m_i$. Подібно до (6) потужність квазістаціонарної ділянки Y_i визначається так: $|Y_i| = m_i l$ – і є залежною від характеристик покриття η.

Множина індексів $\{I_i\}_{i=1..m}$ визначає нове покриття $\eta' = \{Y_i|\ i = 1..m\}$, яке, у свою чергу, індукує нове покриття χ′ компакту τ, як модифікацію відповідного покриття χ. Тоді задача побудови квазістаціонарних ділянок полягає *у визначенні параметрів* m_i *та* I_i *при заданих початкових покриттях* χ *та* η. У загальному випадку цю задачу можна розглядати як побудову оператора перетворення покриттів f: $\chi \to \chi'$ або F: $\eta \to \eta'$.

Початкові покриття χ та η у практичних задачах обробки мовних сигналів називають *розбиттям сигналу на елементарні ділянки*.

2. Побудова агрегатної матриці дівергенцій

На відміну, наприклад, від [18], при побудові матричного оператора мовний сигнал не нормується і не зсувається в додатну область. Амплітудні значення мовного сигналу елемента X_i, які відповідають елементарній ділянці T_i, без жодних додатковий перетворень використовуються для побудови деякого матричного оператора ∇_i: $T_i \to X_i$.

Оператор ∇_i: $T_i \to X_i$ перетворення l-вимірних векторів, визначених на проміжку T_i, який відповідає елементу X_i покриття η, будуємо як агрегатну симетричну матрицю відстаней [6], яка в загальному випадку є одним із різновидів матриці дівергенцій:

$$\forall i\in[1;n]:\nabla_i=\begin{pmatrix}\delta_{i,(1,1)} & \dots & \delta_{i,(1,l)}\\ \dots & \dots & \dots\\ \delta_{i,(l,1)} & \dots & \delta_{i,(l,l)}\end{pmatrix},\ \delta_{i,(z,k)}=|x_{i,k}-x_{i,z}|,\ z,k=1..l \quad (9)$$

де i – індекс елементарної ділянки X_i, $x_{i,j} = x(t_j)$, $t_j \in T_i$. Розмірність матриці (10) рівна: $\dim \nabla_i = l \times l$. У випадку евклідової відстані з матриці (9) можна отримати таку

$$\forall i\in[1;n]:\nabla_i=\begin{pmatrix}0 & \Delta\frac{dx_{1,1}}{dt} & \dots & (l-1)\Delta\frac{dx_{1,1}}{dt}\\ \Delta\frac{dx_{1,1}}{dt} & 0 & \dots & (l-2)\Delta\frac{dx_{1,2}}{dt}\\ \dots & \dots & \dots & \dots\\ (l-1)\Delta\frac{dx_{1,1}}{dt} & (l-2)\Delta\frac{dx_{1,2}}{dt} & \dots & 0\end{pmatrix}. \quad (10)$$

Для вирішення завдання виділення векторів, які виступатимуть характеристиками елементарної ділянки мовного сигналу для кожного елемента X_i покриттях η розглянемо рівняння:

$$\nabla_i g_i = x_i, \quad (11)$$

де $x_i=\{x(t_p)\in X_i\mid p=1..l\}$ – l-вимірний вектор амплітудних значень мовного сигналу $x(t)$ на інтервалі X_i; $g_i = (g_{i,1}, \dots, g_{i,l})$ – вектор невідомих.

За (11) вектор g_i буде визначатись так:

$$g_i=\nabla_i^{-1}x_i. \quad (12)$$

Оскільки матриця ∇_i є виродженою ($\det(\nabla_i) = 0$) [3], то обернена матриця ∇_i^{-1} не існує. Тому для вирішення задачі (11) за теоремою про мінімізацію нев'язки $\|x_i - \nabla_i g_i\|^2$ лінійної системи (12) пропонується такий спосіб визначення вектора y_i [1; 17]

$$g_i=\nabla_i^{+}x_i+\left(1-\nabla_i^{+}\nabla_i\right)r_i, \quad (13)$$

де ∇_i^{+} – узагальнена обернена матриця Мура-Пенроуза (псевдобернена до ∇_i матриця [1; 17]); $\left(1-\nabla_i^{+}\nabla_i\right)$ – оператор проектування на ядро оператора ∇_i; r_i – випадковий вектор розмірності l. Перший доданок у (13) виступає псевдо-оберненим рішенням, а другий є розв'язком однорідної системи $\nabla_i g_i = 0$. Наведений через (13) спосіб визначення вектора характеристик i-го елемента покриття χ є можливим, оскільки згідно з [1] матриця $\nabla_i^{+}\nabla_i$ не є виродженою.

Сама матриця Мура-Пенроуза ∇_i^{+} визначається за сингулярним розкладом матриці ∇_i у такий спосіб [17]

$$\nabla_i^{+}=V_i\Sigma_i^{+}U_i^{T}, \quad (14)$$

де U_i, V_i – унітарні матриці порядку $l\times l$ сингулярного розкладу матриці ∇_i; Σ_i^{+} – матриця порядку $l\times l$, яка є псевдооберненою до діагональної матриці Σ_i сингулярного розкладу [3] матриці ∇_i. Оскільки матриця Σ_i є також виродженою, то матриця Σ_i^{+} отримується з Σ_i шляхом заміни усіх ненульових сингулярних чисел $\sigma_{i,q}$ ($\sigma_{i,1} \ge \sigma_{i,2} \ge \dots \ge \sigma_{i,l} \ge 0$) на відповідно обернені до них $1/\sigma_{i,q}$.

В ітераційному процесі знаходження за g_i^{j+1} (14) випадковий вектор r_i^{j+1} – визначався за нев’язкою: $r_i^{j+1} = \|x_i - \nabla_i g_i^j\|_l$, тут $\|\cdot\|_l$ – l-норма [1].

3. Сегментація мовного сигналу квазістаціонарними ділянками

З векторів $g'_i = (g'_{i,1}, \ldots, g'_{i,l})$, отриманих за (13), сформуємо матрицю G':

$$G' = \begin{pmatrix} g'_1 \\ g'_2 \\ \ldots \\ g'_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} g'_{1,1} & g'_{1,2} & \ldots & g'_{1,l} \\ g'_{2,1} & g'_{2,2} & \ldots & g'_{2,l} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ g'_{n,1} & g'_{n,2} & \ldots & g'_{n,l} \end{pmatrix}, \quad (15)$$

яку треба пронормувати за максимальним елементом: $G = G'/\max(G')$. У результаті цього отримаємо матрицю $G = \langle g_i \rangle_{i = 1..n}$, елементи якої визначаються так: $g_i = g'_i / \max(G')$.

У просторі векторів $\{g_i\}$ введемо метрику для двох елементів X_i та X_j через чебишевську відстань відповідних векторів g_i та g_j:

$$\mu\left(X_i, X_j\right) = \max_{k\in[1;l]}\left\{\left|g_{i,k} - g_{j,k}\right|\right\}. \quad (16)$$

За допомогою метрики (16) можна провести первинну сегментацію шляхом визначення умови належності елементарної ділянки X_j до квазістаціонару Y'_i

$$X_j \in Y'_i \Leftrightarrow \forall z \in \left[a_i; b_i\right] : \mu\left(X_j, X_z\right) \le \varepsilon, \quad (17)$$

де $\varepsilon \in \mathbf{R}^{1,+}$– порогове значення, яке є похибкою віднесення елементарної ділянки X_j до квазістаціонару Y'_i.

Термін первинна сегментація тут вжито в контексті того, що в випадках використання окремих метрик, наприклад, кореляційної, можливо виникне потреба в додатковій процедурі. Суть цієї процедури полягає в об’єднанні сусідніх сегментів Y'_i і Y'_j, якщо відстань між їхніми початками є рівною l. У результаті буде отримано набір квазістаціонарних ділянок $\{Y_i\}$. Очевидно, що необхідність додаткової процедури повинна визначатись для кожної метрики окремо. Якщо обрано таку метрику, за якої додаткового об’єднання проводити не треба, то Y_i = Y'_i і додаткова процедура фактично виступає нульовим адитивним оператором. Її використання не вплине на результати сегментації, а лише сповільнить швидкість обчислювального процесу.

Задача (17) має рішення при заданому наперед пороговому значенні ε. Проте у випадку визначення критеріальної ознаки K процедуру вибору ε можна автоматизувати шляхом вирішення деякої екстремальної задачі.

Реалізацією описаного підходу може стати спосіб автоматизованого визначення значення ε, в основі якого критерієм K є оптимізація відхилення результатів сегментації Y, отриманих розробленим методом, від результатів $Y_{ет}$, отриманих за «еталонним» методом

$$K : \left\|Y - Y_{ет}\right\| \to \mathrm{opt}\left(\varepsilon\right). \quad (18)$$

У процесі практичної реалізації описаного методу спосіб автоматизованого визначення порогового значення ε базувався на максимізації значення вибраного коефіцієнта подібності (міри подібності) [10]. У загальному випадку замість одного коефіцієнта можна вибрати декілька і визначити за їхньою допомогою деякий інтегральний параметр. З цією метою із загальної формули континума мір подібності Сьомкіна [11]

$$K_{\tau,\iota}\left(Y, Y_{ет}\right) = \left(\frac{K_{\tau,\iota}\left(Y \mid Y_{ет}\right) + K_{\tau,\iota}\left(Y_{ет} \mid Y\right)}{2}\right)^{\frac{1}{\iota}}; -1 < \tau < \infty, -\infty < \iota < \infty. \quad (19)$$

при τ = 0 (міра близькості сусідніх об’єктів згідно з узагальненою формулою середніх Колмогорова [10; 11]) і ι = + ∞, 1, 0, 1, - ∞ обрано впорядкований по ι набір найбільш використовуваних мір подібності, зокрема Кульчинського $K_{0,1}$ [15], Охаі $K_{0,0}$ [16], Сьоренсена $K_{0,-1}$ [20], Брауна-Бланке $K_{0,-\infty}$ [13], Шимкевича-Сімпсона $K_{0,+\infty}$ [19]. З елементів набору мір можна визначити середнє значення:

$$K_{\Sigma} = \frac{K_{0,+\infty} + K_{0,1} + K_{0,0} + K_{0,-1} + K_{0,-\infty}}{5}. \quad (20)$$

Тоді, відповідно до (18), для обчислення значення ε розв’язується задача пошуку максимуму:

$$\left\|Y - Y_{ет}\right\| \to \max_{0<\varepsilon\le 1} K_{\Sigma}. \quad (21)$$

4. Результати експериментів та висновки

З метою перевірки теоретичних досліджень на основі запропонованого методу розроблено алгоритм сегментації мовного сигналу. Програмну реалізацію цього алгоритму апробовано на прикладі первинного поділу слова «миша», хвильове представлення якого наведено на рис. 1, 2. Характеристики мовного сигналу є такими: тривалість слова – 1,03 секунди, частота дискретизації 11 025 Гц, довжина елементарної ділянки – l = 120 відліків.

Відзначимо, що в практичних реалізаціях для визначення відстані використовувалась чебишевська метрика (рис. 1 та табл. 1) та косинусна метрика (рис. 2 та табл. 1). У результаті процедури автоматичного визначення порогового значення ε для випадку чебишевської метрики отримано значення ε = 0.15, а для випадку косинусної метрики – ε = 0.01.

Як критеріальну оцінку для автоматичного визначення значення порогового відхилення ε обрано результати сегментації цього ж сигналу за алгоритмом DELCO [7] із пороговим значенням 1.6 при тому самому розмірі елементарної ділянки (чисельні значення результатів сегментації за методом DELCO наведено в таблиці). При цьому екстремальна задача розв’язувалась стосовно інтегрального показника (20). На рис. 3 наведено значення всіх показників з (20). У додаток до них розраховувались ще й міри Юрцева $K_{0,+\infty}$ [9] та Жакара $K_{1,-1}$ [14]. В інтегральний показник (2) вони не увійшли, оскільки міра Юрцева є двоїстою мірі Брауна-Бланке, а міра перекриття Жакара є еквівалентною мірі Сьоренсена. Для покращення сприйняття значень коефіцієнтів подібності на рис. 2 наводяться значення цих же коефіцієнтів для випадку сегментації на основі асиметричної матриці конвергенції. Результати сегментації за цим методом наведені у таблиці.

З отриманих результатів треба відзначити те, що міри Кульчинського, Охаі, Сьоренсена та Брауна-Бланке приблизно однаково відображають характер подібності результатів сегментації до результатів за методом DELCO. При цьому чебишевська метрика забезпечує вищі результати за мірою близькості до результатів сегментації за методом DELCO.

Значення всіх вказаних коефіцієнтів демонструють те, що результати сегментації на основі розробленого методу з чебишевською метрики є найбільш подібними до результатів DELCO. При цьому відхилення значень, навіть якщо брати до уваги значення міри Сімпсона, є достатньо невеликим. Це свідчить, що, на відміну від випадку використання матриці конвергенції, розроблений метод на основі чебишевської відстані є достатньо стійким до мір близькості і дозволяє замість інтегрального показника (20) обійтись розрахунком лише одного із коефіцієнтів Кульчинського, Охаі, Сьоренсена, Брауна-Бланке чи Сімпсона.

У випадку косинусної метрики значення мір подібності є менші за значенням, але й девіація є також незначною. Тому при використанні косинусної метрики також можна констатувати стійкість результатів сегментації і автоматичного визначення порогового відхилення до вибору міри близькості.

За отриманими і наведеними на рис. 1-2 даними можна констатувати, що розроблений метод із використанням чебишевської відстані дає можливість виділяти цілі мовні одиниці. У той час, використання косинусної метрики дозволяє здійснювати лише первинну сегментацію. У зашумлених ділянках мовного сигналу цей метод є більш чутливим за метод DELCO.

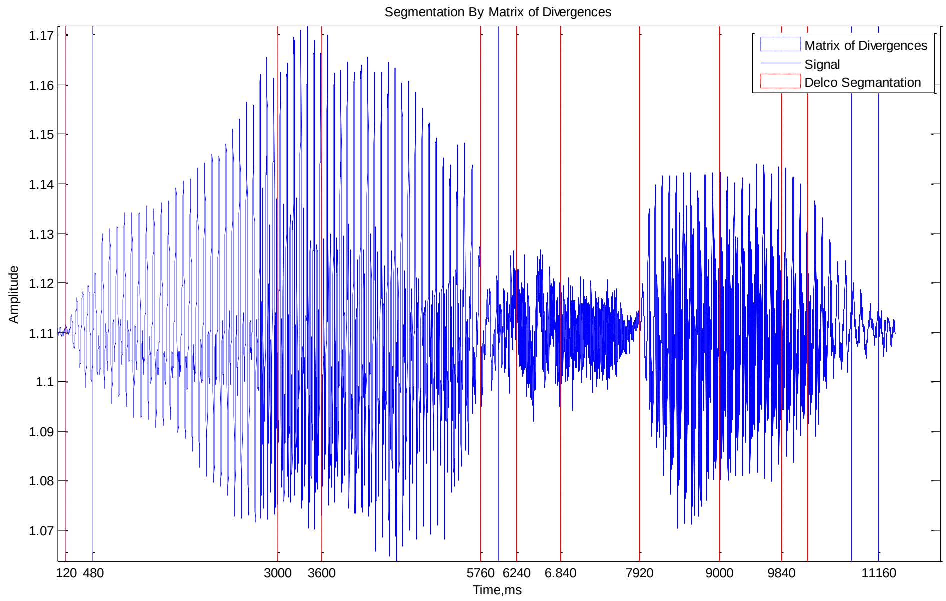

Рис. 1. Результати сегментації мовного сигналу (слово миша) за алгоритмом DELCO та за розробленим методом з використанням чебишевської метрики

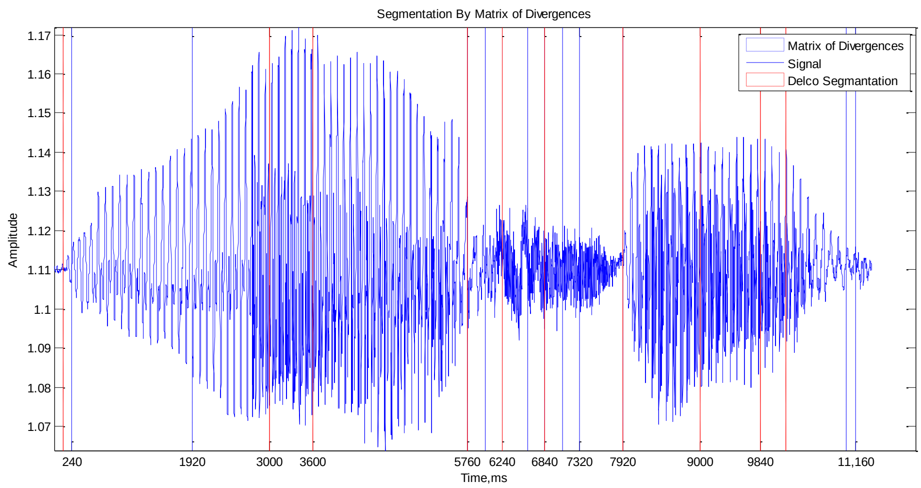

Рис. 2. Результати сегментації мовного сигналу (слово миша) за алгоритмом DELCO та за розробленим методом з використанням косинусної метрики

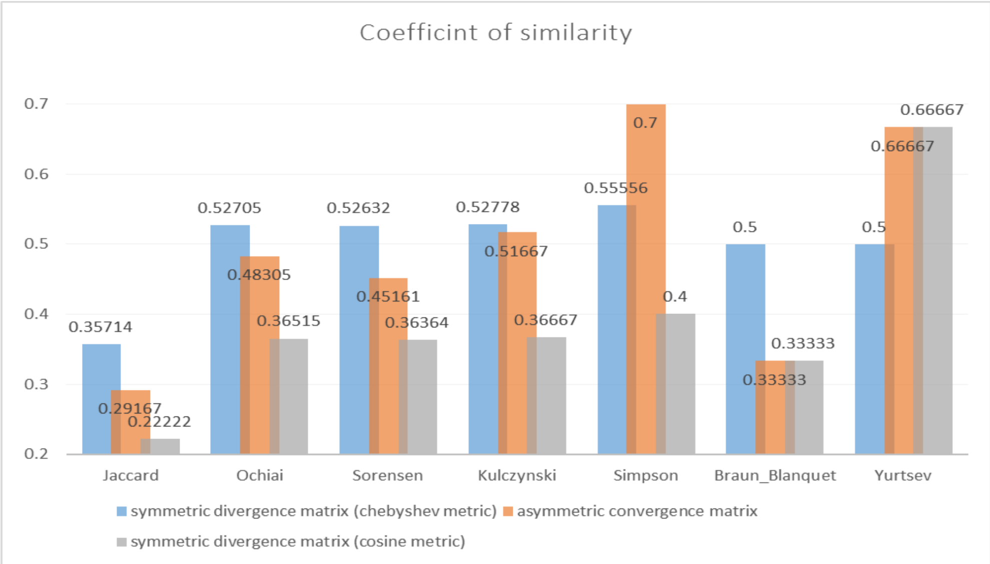

Рис. 3. Коефіцієнти подібності результатів сегментації за алгоритмом DELCO та отриманим методом

Таблиця 1

Interval (ms:ms)	**Segment by index**	**Count of elements**	**Interval (ms:ms)**	**Segment by index**	**Count of elements**
Segmentation By Matrix of Divergences			Segmentation by		
#Euclidean metric			Assymetric Convergence Matrix		
(120:480)	[1;4]	3	(480:1200)	[4;10]	6
(480:5760)	[4;48]	44	(1200:1680)	[10;14]	4
(5760:6000)	[48;50]	2	(1680:2160)	[14;18]	4
(6000:6240)	[50;52]	2	(2160:2760)	[18;23]	5
(6240:6840)	[52;57]	5	(2760:3000)	[23;25]	2
(6840:7920)	[57;66]	9	(3000:3600)	[25;30]	5
(7920:10800)	[66;90]	24	(3600:3960)	[30;33]	3
(10800:11160)	[90;93]	3	(3960:4680)	[33;39]	6
#Cosine metric			(4680:5160)	[39;43]	4
(240:1920)	[2;16]	14	(5160:5760)	[43;48]	5
(1920:5760)	[16;48]	32	(5760:6240)	[48;52]	4
(5760:6000)	[48;50]	2	(6240:6600)	[52;55]	3
(6000:6240)	[50;52]	2	(6600:7200)	[55;60]	5
(6240:6600)	[52;55]	3	(7200:7920)	[60;66]	6
(6600:6840)	[55;57]	2	(7920:8400)	[66;70]	4
(6840:7080)	[57;59]	2	(8400:9000)	[70;75]	5
(7080:7320)	[59;61]	2	(9000:9240)	[75;77]	2
(7320:7920)	[61;66]	5	(9240:9840)	[77;82]	5
(7920:11040)	[66;92]	26	(9840:10440)	[82;87]	5
(11040:11160)	[92;93]	1	(10440:11160)	[87;93]	6
Delco Segmentation					
(120:3000)	[1;25]	24	(6240:6840)	[52;57]	5
(3000:3600)	[25;30]	5	(6840:7920)	[57;66]	9
(3600:5760)	[30;48]	18	(7920:9000)	[66;75]	9
(5760:6240)	[48;52]	4	(9000:9840)	[75;82]	7
			(9840:10200)	[82;85]	3

ЛІТЕРАТУРА

1. Алберт А. Регрессия, псевдоинверсия и рекуррентное оценивание/ А. Алберт ; [пер. с англ.]. – М. : Наука, 1977. – 224 с.
2. Айвазян С. А. Кассификация многомерних наблюдений / С. А. Айвазян, З. И. Бежаева, О. В. Староверов. – М. : Статистика, 1974. – 240 с.
3. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц / Ф. Р. Гантмахер. – М. : Наука, 1967. – 576 с.
4. Сегментация речевого сигнала. «Искусственный интеллект» / Дорохин О. А., Старушко Д. Г., Федоров Е. Е., Шелепов В. Ю. – 2000. – № 3. – С. 450–458.
5. Кагановский Ю. Д. Применение модели линейного предсказания для анализа стохастических сигналов [Текст] / Ю. Д. Кагановский // Технические науки: традиции и инновации : материалы междунар. науч. конф. (г. Челябинск, январь 2012 г.). – Челябинск : Два комсомольца, 2012. – С. 12–14.

6. Матрица расстояний [Електронний ресурс]. – Режим доступу до журналу : http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%86%D0%B0_%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%B8%D0%B.
7. Маркел Дж. Д. Линейное предсказание речи / Маркел Дж. Д., Грэй А. Х. ; [пер. с английского]. – Москва : Издательство «Связь», 1980.
8. Сорокин В. Н. Сегментация речи на кардинальные элементы / Сорокин В. Н., Цыплихин А. И. // Информ. процессы. – 2006. – Т. 6. – № 3. – С. 172–207.
9. Сёмкин Б. И. Количественные показатели для оценки односторонних флористических связей, предложенных Б. А. Юрцевым / Б. И. Сёмкин // Бот. ж. – 2007. – Т. 92. – № 4. С. 114–127.
10. Сёмкин Б. И. Об еквивалентности мер сходства и различия / Б. И. Семкин, В. И. Двойченков // Исследование систем. – Т. 1. : Анализ сложных систем. – Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1973. – С. 95–104.
11. Сёмкин Б. И. Теоретико-графовые методы в сравнительной флористике / Б. И. Семкин // Теоретические и методологические проблемы сравнительной флористики : материалы 2-го рабочего совещания по сравнительной флористике. – Неринга, 1983. – С. 149–163.
12. Фаніна Л. О. Алгоритми відновлення вимовленої послідовності в системах розпізнавання мови / Л. О. Фаніна // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – Херсон : Изд-во Херсон. нац. техн. ун-та. – 2004. – № 2. – С. 131–137.
13. Braun-Blanquet J. Pflanzensoziologie Grundzüge der Vegetationskunde / J. Braun-Blanquet. – Berlin : Verlaq von Julius springer, 1928. – 330 s.
14. Jaccard P. Distribution de la flore alpine dans le Bassin des Dranses et dans quelques regions voisines / Jaccard P. // Bull. Soc. Vaudoise sci. Natur. – 1901. – V. 37. – Bd. 140. – S. 241–272.
15. Kulczinsky S. Zespoly róslin w Pienach / S. Kulczinsky // Bull. intern. acad. polon. sci. lett. Cl. sci. math. natur. Ser. B. 1927. S. 2. P. 57–203.
16. Ochiai A. Zoogeographical studies on the soleoid fishes found Japan and its neighboring regions. II / A. Ochiai // Bull. Jap. Soc. sci. Fish. – 1957. – V. 22. – № 9. – P. 526–530.
17. Penrose R. A. generalized inverse for matrices. Proceedings of the Cambridge Philosophical Society 51, 406-413 (1955).
18. Speech signal pseudoinvariants / Rashkevych Y., Peleshko D., Kovalchuk A., Kupchak M., Pelekh Y. // Computer Science and Information Technologies : Materials of the Vith International Scientific and Technical Conference CSIT 2011. – Lviv : Publishig House Vezha&Co, 2011. – C. 21–22.
19. Simpson G. G. Holarctic mammalian faunas and continental relationship during the Cenozoic / Simpson G. G. // Bull. Geol. Sci. America. – 1947. – V. 58. – P. 613–688.
20. Sörensen T. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content / T. Sörensen // Kongelige Danske Videnskabernes Selskab. Biol. krifter. – Bd V. – № 4. – 1948. – P. 1–34.
21. Szymkiewicz D. Une contribution statistique a la géographie floristique / D. Szymkiewicz // Acta Soc. Bot. Polon. – 1934. – T. 34. – № 3. – P. 249–265.

Дата надходження статті до редколегії 23.05.2014 р.

ПЕЛЕШКО Дмитро Дмитрович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних технологій видавничої справи, Національний університет «Львівська політехніка».

Коло наукових інтересів: штучний інтелект, обробка мовних сигналів, зображень та відеопотоків.

РАШКЕВИЧ Марія Іванівна – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри інформаційних технологій видавничої справи, Національний університет «Львівська політехніка».

Коло наукових інтересів: штучний інтелект, обробка мовних сигналів.

ПЕЛЕХ Юрій Миронович – аспірант кафедри інформаційних технологій видавничої справи, Національний університет «Львівська політехніка».

Коло наукових інтересів: штучний інтелект, обробка мовних та зорових образів.