

Д. Пелешко, А. Ковальчук, Ю. Пелех, В. Киричук
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра інформаційних технологій видавничої справи

ВИДІЛЕННЯ ПСЕВДОІНВАРІАНТІВ ТА КВАЗІСТАЦІОНАРНИХ ДІЛЯНОК МОВНИХ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ СИНГУЛЯРНИХ РОЗКЛАДІВ

© Пелешко Д., Ковальчук А., Пелех Ю., Киричук В., 2012

Запропоновано методи розв'язання задачі побудови квазістаціонарних ділянок мовного сигналу, які ґрунтуються на характеристиках сингулярного розкладу квадратних дійсно визначених матриць операторів, визначених на елементарних ділянках. Особливістю цих методів є їх незалежність від моделі мовотворення.

Ключові слова: сингулярний розклад, мовний сигнал, квазістаціонар, інваріанти, топологія, оператор.

A solution to the problem of building quasistationary intervals of speech signal is presented. These methods are based on the characteristics of singular expansion of square matrices of operators defined on the elementary intervals. Feature of these methods is their independence from the model voice tract.

Key words: singular decomposition, speech signal, quasistationary, invariant, topology, the operator.

Вступ та аналіз літературних джерел

Задача первинного поділу мовного сигналу на квазістаціонарні ділянки є однією із ключових в комплексі задач аналізу, перетворення та синтезу мови, успішне вирішення якої значною мірою визначає ефективність вирішення проблеми загалом. За своєю природою мовний сигнал є нестаціонарним та інваріантним, хоч завдяки інерційності артикуляторів (губи, язик тощо) в ньому можна виділяти ділянки, спектральний склад яких є дуже близьким. Такі ділянки називають квазістаціонарними. В кожному випадку результати поділу сигналу на квазістаціонари (сегментація) мають суб'єктивний характер, оскільки повністю залежать від вибраного методу подальшої обробки. Різноманіття звукових елементів мовного сигналу та поставлених задач його оброблення приводять до того, що не існує не те що оптимального, а навіть і загальноприйнятого методу сегментації.

Оскільки мовний сигнал володіє властивістю інваріантності, тобто не залежить від системи координат і дуже часто є спотвореним або зашумленим, задачі інтелектуальної обробки даних можуть зводитися до побудови фундаментальних просторів інваріантів, за допомогою яких можна розділити два нееквівалентні об'єкти.

Аналіз літературних джерел [3–6, 10] показує, що для кожної із вибраних моделей мовотворення та для кожної задачі оброблення сигналу можуть бути рекомендовані різноманітні методи його первинного поділу. Як правило, ці методи тісно пов'язані із моделлю мовотворення і, відповідно, не є універсальними.

Постановка задачі

Основним завданням роботи є розроблення методів сегментації на основі використання характеристик сингулярного розкладу оператора, визначеного в топологічному просторі мовного сигналу. Особливістю цих методів є незалежність їх від моделі сигналу. Під сегментацією розуміється побудова квазістаціонарних ділянок.

1. Побудова оператора у вигляді квадратної дійсно визначеної матриці

Нехай задано часовий проміжок $\tau = [0; T]$, $T \in \mathbb{R}_{1,+}$. На проміжку τ системою відкритих множин

$$\Gamma = \{T_i\}_{i=1, 2, \dots}, T_i = [t \mid t_{i-1} \leq t < t_i, t_{i-1}, t_i \in \tau], \quad (1)$$

з діаметром $|T_i| = \sup_{t_a, t_b \in T_i} d(t_a, t_b)$ (де d – метрика простору \mathbb{R}^1), визначимо топологію Γ . Оскільки

проміжок τ є замкненою обмеженою множиною, то у топології Γ завжди існує диз'юнктивне (з тривіальним перетином) скінченне покриття $\chi = \{T_i \mid i = 1..n\}$, тобто існує

$$\forall i, j \in [1; n]: T_i, T_j \in \chi \wedge i \neq j \rightarrow T_i \cap T_j = \emptyset; \quad (2)$$

$$\tau = \bigcup_{i=1}^n T_i. \quad (3)$$

Вважатимемо, що усі елементи покриття χ мають однаковий діаметр ε : $\forall i \in [1, n]: |T_i| = \varepsilon$. Це визначає χ як ε -покриття проміжку τ .

Нехай на проміжку τ визначено мовний сигнал $x(t)$ як неперервне сюр'єктивне відображення

$$x: \tau \rightarrow \mathbb{R}^1. \quad (4)$$

Оскільки $x(t)$ є неперервним відображенням, то за умови існування покриття χ отримуємо покриття η (необов'язково диз'юнктивне) області значень функції $x(t)$

$$\eta = \{X_i \mid i = 1..n\}, \quad (5)$$

де $X_i = \{x(t) \mid t \in T_i\} = \{x(t) \mid t \in T_i\}$ – елемент покриття η . За означенням покриття маємо

$$x(t) = \bigcup_{i=1}^n X_i, X_i \in \eta. \quad (6)$$

У дискретному випадку τ є скінченним, а тому компактом. Більше того, усі елементи T_i покриття χ будучи рівно потужними ($\forall i \in [1, n]: |T_i| = \dim T_i = l$) є гомеоморфними між собою. Тоді потужність дискретного простору τ за покриттям χ визначатиметься за формулою Грасмана з урахуванням диз'юнктивності покриття η

$$T+1 = |\tau| = \left| \bigcup_{i=1}^n X_i \right| = \sum_{i=1}^n |X_i| - \left| \bigcap_{i=1}^n X_i \right| = nl. \quad (7)$$

Значення l визначає також потужність елемента X_i : $|X_i| = l$.

На проміжку τ сигнал $x(t)$ зсунемо в додатну область $x(t) = x(t) + \max x(t) - \min x(t)$ і пронормуємо зсунутий сигнал $x(t)$ за схемою оберненого мінімаксного множника K [7]

$$K = \frac{1}{\sup_{i \in [1, n]} x(t)}. \quad (8)$$

За допомогою (8) надалі розглядатимемо $x(t)$ як дискретний нормований сигнал $x'(t) = K(x(t))$, $t \in \tau$.

Для кожного елемента X_i покриття η будемо оператор $\nabla_i: \mathbb{R}^1 \times \mathbb{R}^1 \rightarrow \mathbb{R}^1$

$$\nabla_i = \left(\delta_{i(p,q)} = \frac{x(t_q)}{x(t_p)} \mid x(t_q), x(t_p) \in X_i \right)_{p=1, q=1}^{l,l}. \quad (9)$$

Тут p та q є внутрішніми індексами дискретизованих значень сигналу $x'(t)$, які належать відповідному елементу X_i покриття η . Розмірність оператора (9) дорівнює: $\dim \nabla_i = l \times l$.

Оператор ∇_i є квадратною додатно визначеною матрицею. Застосуємо до оператора ∇_i операцію сингулярного розкладу (розклад SVD, [8])

$$\nabla_i = U_i \Sigma_i V_i^*, \quad (10)$$

де U_i , V_i – унітарна матриця порядку $l \times l$; V_i^* – спряжено-транспонована матриця до V_i ; Σ_i – діагональна матриця порядку $l \times l$, яка складається із сингулярних чисел $\{\sigma_i, q | q = 1..l\}$ таких, що $\sigma_{i,1} \geq \sigma_{i,2} \geq \dots \geq \sigma_{i,l} \geq 0$. Оскільки $\nabla_i \in \mathbb{R}$ є матрицею дійсних чисел, то $V_i^* = V_i^T$.

2. Виділення псевдоінваріантів мовного сигналу

Для вирішення завдання пошуку псевдоінваріантів $\{y_i | i = 1..n\}$ для кожного елемента покриття χ розглянемо рівняння

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

де $x_i = \{x(t_p) \in X_i | p = 1..l\}$; $y_i = (y_i, 1, \dots, y_i, 1)$ – l -вимірний вектор, який є псевдоінваріантом для i -го елемента покриття χ . За (11) псевдоінваріант y_i визначатиметься так

$$y_i = \nabla_i^{-1} x_i, \quad (12)$$

оскільки $\nabla_i \in \mathbb{R}$ є виродженою матрицею ($\det(\nabla_i) = 0$), то оберненої матриці ∇_i^{-1} не існує. Розглянемо псевдообернену матрицю ∇_i^+ , яка за сингулярним розкладом (10) визначається так

$$\nabla_i^+ = V_i \Sigma_i^+ U_i^T, \quad (13)$$

де Σ_i^+ – матриця порядку $l \times l$, яка є псевдооберненою до діагональної матриці Σ_i . Оскільки матриця Σ_i є також виродженою, то матриця Σ_i^+ отримується з Σ_i шляхом заміни усіх ненульових елементів σ_i, q на обернені до нього $1/\sigma_i, q$.

Оскільки матриця $\nabla_i^+ \nabla_i$ не є виродженою, то псевдоінваріант i -го елемента покриття χ визначатиметься так [9]

$$y = \nabla_i^+ x_i + (1 - \nabla_i^+ \nabla_i) r_i, \quad (14)$$

де $(1 - \nabla_i^+ \nabla_i)$ – оператор проектування на ядро оператора ∇_i ; r_i – з точності до розмірності випадковий вектор. Перший доданок у (14) є псевдооберненим рішенням, а другий є розв'язком однорідної системи $\nabla_i y_i = 0$.

Зазначимо, що псевдообернену матрицю можна знайти за псевдооберненням Мура–Пенроуза [9], яке узагальнює поняття оберненої матриці.

3. Виділення квазістаціонарних ділянок мовного сигналу

3.1. Схема побудови квазістаціонарної ділянки

Суть задачі визначення квазістаціонарних ділянок Y_i полягає у побудові нового представлення сигналу $x(t)$

$$x(t) \leftrightarrow \bigcup_{i=1}^m Y_i, \quad (15)$$

де Y_i – квазістаціонарна ділянка (надалі квазістаціонар), яка є об'єднанням послідовних елементарних ділянок X_i

$$Y_i = \bigcup_{j=I_i}^{m_i+I_i-1} X_j. \quad (16)$$

Тут m – кількість квазістаціонарних ділянок Y_i ; m_i – кількість елементарних ділянок X_i в об'єднанні (16). Очевидно, що $m \leq n$ і $n = \bigcup_{j=1}^m m_j$. Потужність квазістаціонарної ділянки Y_i , подібно

до (7), дорівнює: $|Y_i| = m_i$ і є залежною від характеристик мовного сигналу; I_i – початковий індекс об'єднання (16) в покритті η , при цьому завжди $\Pi = 1$. Фактично множина індексів $\{I_i | i = 1..m\}$

визначає нову топологію η' , яка, своєю чергою, індукує нову топологію χ' як видозміну відповідної топології χ .

Тоді основним завданням задачі побудови квазістаціонарних ділянок є визначення параметрів m_i та Π_i при заданих покриттях χ та η . У загальному випадку цю задачу можна розглядати як побудову відображення перетворення топологій $f: \chi \rightarrow \chi'$ або $F: \eta \rightarrow \eta'$.

Оскільки індекс першого квазістаціонару Y_1 завжди дорівнює одиниці, Π_i , то

$$\forall i \in [2, m]: I_i = I_1 + \sum_{k=1}^{i-1} m_k = 1 + \sum_{k=1}^{i-1} m_k, \quad (17)$$

і основне завдання зводиться до визначення лише параметрів m_i , відповідного квазістаціонару Y_1 , а формула (16) набуде вигляду

$$Y_i = \bigcup_{j=1+\phi_1}^{\phi_2} X_j, \quad \phi_1 = \sum_{k=1}^{i-1} m_k, \phi_2 = \phi_1 + m_i. \quad (18)$$

Алгоритм визначення m_i полягає у наступному. Нехай деяка умова (надалі умова належності – УН) визначена мірою подібності між елементарним ділянками (МПЕД). Якщо ця умова між ділянкою, яка визначає початок стаціонару і ділянкою, яка слідує після наступної, що входить в квазістаціонар, виконується, то збільшується значення m_i , а остання ділянка вважається такою, що включена в квазістаціонар. В іншому випадку починається побудова нового квазістаціонару.

3.2. Використання характеристик сингулярних розкладів для розв'язання задачі побудови квазістаціонарних ділянок

Надалі для розв'язання задачі виділення квазістаціонарних ділянок мовного сигналу визначимо число обумовленості оператора ∇_i

$$\mu_i = \mu(\nabla_i) = \|\nabla_i\| \cdot \|\nabla_i^{-1}\|, \quad (19)$$

де $\|\cdot\|$ – норма оператора ∇_i . Оскільки норма Фробеніуса у матричному випадку має вигляд

$$\|\nabla_i\| = \max_{1 \leq q \leq l} (\sigma_{i,q}), \quad (20)$$

тоді за визначенням (14) маємо, що $\|\nabla_i\| = \sigma_{i,1}$.

Якщо взяти до уваги вродженість матриці ∇_i , то за (17) матимемо

$$\|\nabla_i^{-1}\| = \max_{\substack{1 \leq q \leq l \\ \sigma_{i,q} \neq 0}} \left(\frac{1}{\sigma_{i,q}} \right), \quad (21)$$

тоді число обумовленості, яке відповідає i -му елементу покриття χ , визначатиметься так

$$\mu_i = \max_{\substack{1 \leq q \leq l \\ \sigma_{i,q} \neq 0}} \left(\frac{\sigma_{i,1}}{\sigma_{i,q}} \right), \quad (22)$$

Надалі в просторі елементів X_i покриття η можна породити метричний простір за допомогою евклідової метрики

$$\forall i, j \in [1, n]: d_{\text{SVD}}(X_i, X_j) = |\mu_i - \mu_j|, \quad (23)$$

Метрика (23) є МПЕД для випадку використання характеристик сингулярних розкладів. Завдяки метриці (23) визначимо умову належності елементарної ділянки X_j до квазістаціонару Y_i

$$\forall j \in [I_i, I_i + m_i - 1]: d_{\text{SVD}}(X_{I_i}, X_j) \leq \varepsilon, \quad (24)$$

де $\varepsilon \in \mathbb{R}_{1,+}$ – похибка віднесення елементарної ділянки X_j до квазістаціонару Y_i . Саме кількість послідовних, починаючи з індексу Π_i , ділянок X_j визначає значення параметра m_i .

Умова (24), яка визначається МПЕД (24), є УН для випадку побудови квазістаціонарів на основі параметрів сингулярного розкладу.

3.3. Використання псевдоінваріантів для розв’язання задачі побудови квазістаціонарних ділянок

У випадку використання псевдоінваріантів (14), останні будуть представленнями елементарної ділянки X_i

$$X_i \leftrightarrow \{y_{i1}, \dots, y_{il}\}. \quad (25)$$

Завдяки представленню (25) можна породити метричний простір за допомогою p -метрики і визначити МПЕД для випадку використання псевдоінваріантів

$$\forall i, j \in [1, n]: d_{PI}(X_i, X_j) = \sqrt[p]{\sum_z^l (y_{iz} - y_{jz})^p}, \quad p > 0. \quad (26)$$

Тоді, подібно до (24), умова належності визначатиметься так

$$\forall j \in [I_i, I_i + m_i - 1]: d_{PI}(X_{I_i}, X_j) \leq \varepsilon, \quad (27)$$

Умова (27), яка визначається МПЕД (26), є УН для випадку побудови квазістаціонарних на основі псевдоінваріантів.

4. Результати експериментів та висновки

Якість сегментації мовного сигналу на основі запропонованого методу апробовано на прикладі первинного поділу слова “миша”, графік якого наведено на рис. 1. Мовний сигнал містить основні види фонем: наголошену та ненаголошену голосні, а також вокалізовану та невокалізовану приголосні. Фонемну сегментацію цього мовного сигналу наведено у [7]. Характеристики мовного сигналу є такими: тривалість слова – 1,03 секунди, частота дискретизації 11 025 Гц, довжина вікна аналізу (елементарної ділянки) – $l = 60$ відліків, перекивання відсутнє.

На рис. 2 у хвильовій формі наведено результати побудови квазістаціонарних ділянок за першими елементарними ділянками слова “миша”. Кількість ділянок – 28. У табл. 1 наведено результати цілого слова “миша”. Сегментація здійснювалась за характеристиками сингулярного розкладу.

Подібними є результати сегментації, наведені на рис. 3 та у табл. 2. Але у цьому випадку сегментація здійснювалась за псевдоінваріантами елементарних ділянок мовного сигналу.

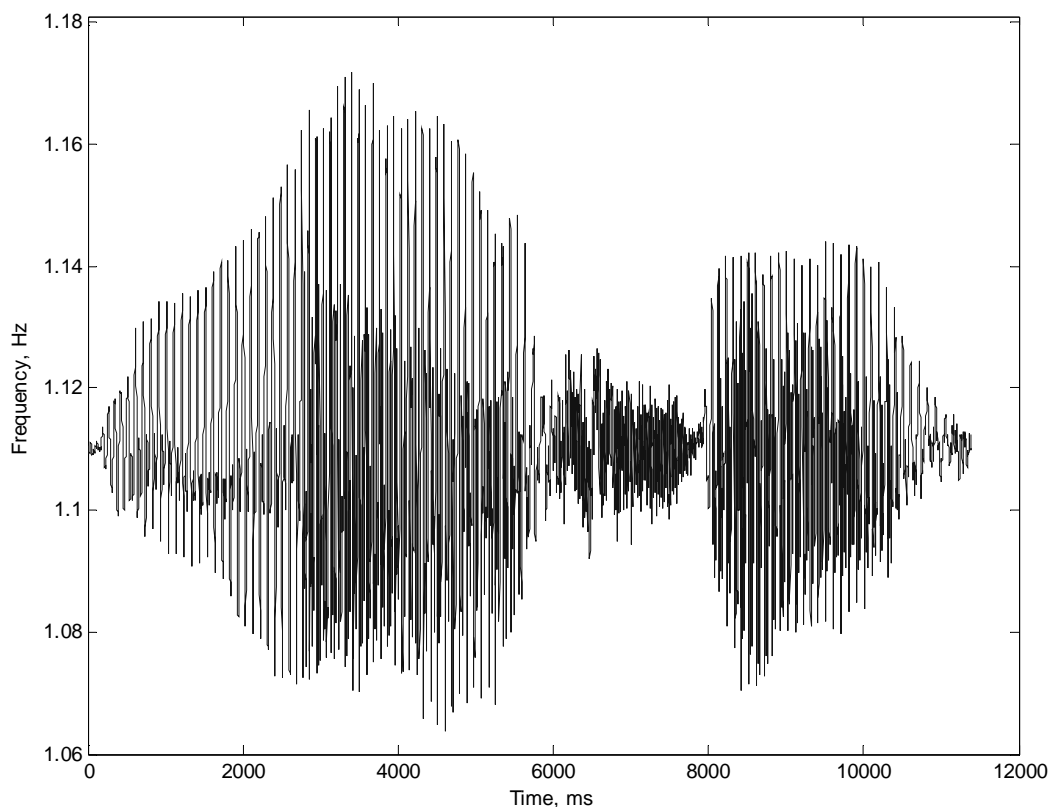


Рис. 1. Хвильове представлення вхідного мовного сигналу (слово “миша”)

Порівнюючи результати, наведені у табл. 1, 2, можна констатувати, що результати сегментації переважно збігаються. Проте сегментація на основі псевдоінваріантів є більш “чутливою” до характеристик елементарних ділянок мовного сигналу. Це добре ілюструють графіки, наведені на рис. 2, 3. Так, у випадку використання числа обумовленості квадратної матриці отримано лише 6 сегментів. У випадку використання псевдоінваріантів їх уже 8. При цьому немає перекривання сегментів, отриманих різними методами. Фактично у випадку використання псевдоінваріантів квазістаціонарні ділянки є дрібнішими. Це визначає більшу чутливість і точність цього методу порівняно з першим методом та вже отриманими, наприклад, у [7] результатами сегментації. Ця чутливість є особливо виразною в областях низьких енергій мовного сигналу. Проте більша обчислювальна складність цього методу, яка породжується (14), може знівелювати використання цього методу.

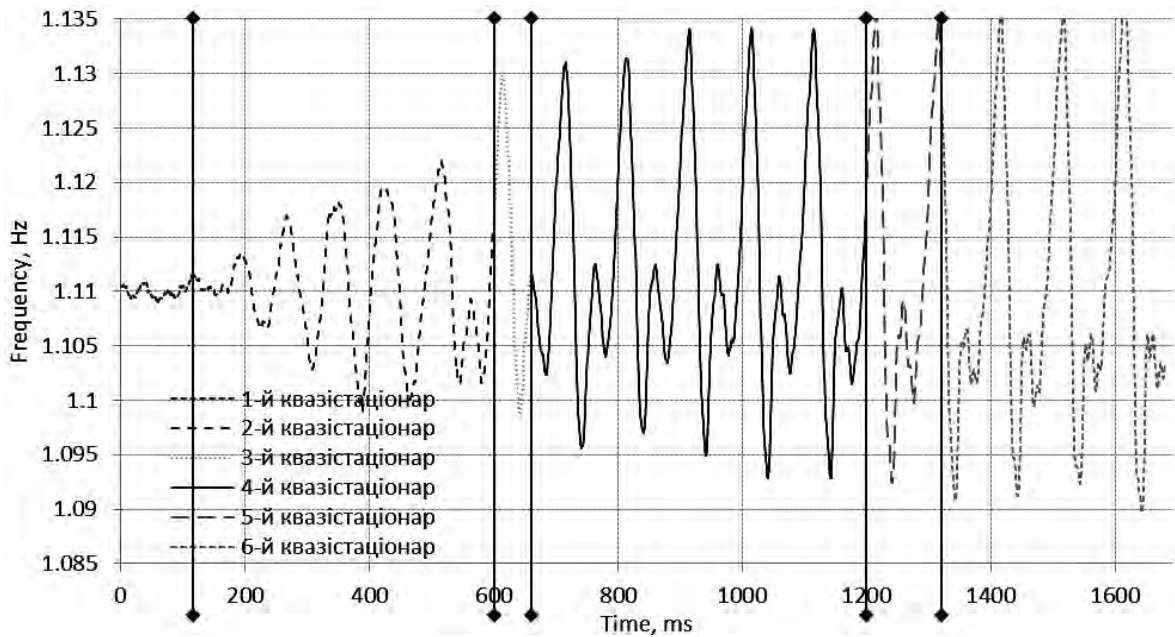


Рис. 2. Хвильове представлення результатів сегментації методом на основі характеристик сингулярного розкладу

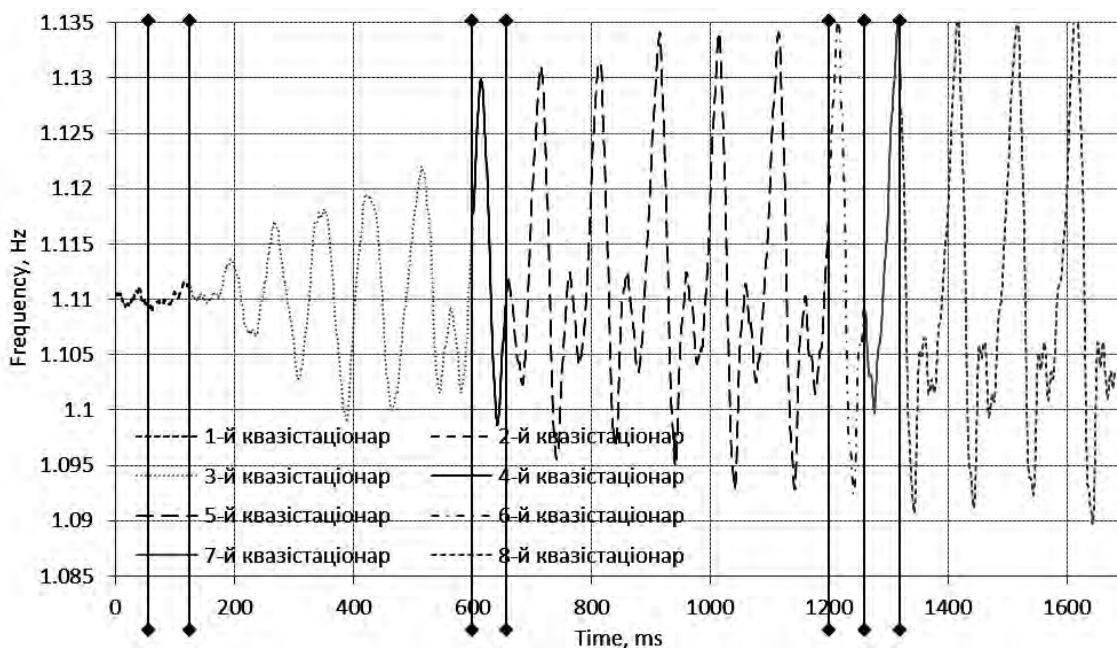


Рис. 3. Хвильове представлення результатів сегментації методом на основі псевдоінваріантів

На вибір методу сегментації впливає також подальша задача обробки мовного сигналу. Можливо, що алгоритми подальшої обробки навіть незважаючи на обчислювальну складність, не потребують (за різних причин) такої детальної сегментації.

Описані у роботі методи було апробовано на прикладах інших слів і фраз мовного сигналу. При цьому результати сегментації якісно були аналогічними наведеним у табл. 1, 2. Результати експериментів підтверджують можливість використання запропонованих методів для первинної сегментації мовного сигналу. Цей метод може ефективно доповнювати інші методи сегментації, які ґрунтуються на вибраних моделях мовотворення.

Таблиця 1

**Повні результати побудов квазістаціонарних ділянок слова “миша”
на основі характеристик сингулярного розкладу**

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Кількість елементарних ділянок	2	8	1	9	2	6	1	4	1	1	1	4	1
Кількість точок	120	480	60	540	120	360	60	240	60	60	60	240	60
Номери ділянок	1; 2	3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	11	12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20	21; 22	23; 24; 25; 26; 27; 28	29	30; 31; 32; 33	34	35	36	37; 38; 39; 40	41
№	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Кількість елементарних ділянок	3	1	4	2	1	1	6	1	11	1	9	1	1
Кількість точок	180	60	240	120	60	60	360	60	660	60	540	60	60
Номери ділянок	42; 43; 44	45	46; 47; 48; 49	50; 51	52	53	54; 55; 56; 57; 58; 59	60	61; 62; 63; 64; 65; 66; 67; 68; 69; 70; 71	72	73; 74; 75; 76; 77; 78; 79; 80; 81	82	83
№	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Кількість елементарних ділянок	1	14	1	2	1	11	1	4	1	4	1	13	2
Кількість точок	60	840	60	120	60	660	60	240	60	240	60	780	120
Номери ділянок	84	85; 86; 87; 88; 89; 90; 91; 92; 93; 94; 95; 96; 97; 98	99	100; 101	102	103; 104; 105; 106; 107; 108; 109; 110; 111; 112; 113	114	115; 116; 117; 118	119	120; 121; 122; 123	124	125; 126; 127; 128; 129; 130; 131; 132; 133; 134; 135; 136; 137	138; 139
№	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Кількість елементарних ділянок	2	1	5	1	2	1	10	1	5	1	16	1	3
Кількість точок	120	60	300	60	120	60	600	60	300	60	960	60	180
Номери ділянок	140; 141	142	143; 144; 145; 146; 147	148	149; 150	151	152; 153; 154; 155; 156; 157; 158; 159; 160; 161	162	163; 164; 165; 166; 167	168	169; 170; 171; 172; 173; 174; 175; 176; 177; 178; 179; 180; 181; 182; 183; 184	185	186; 187; 188; 189

**Повні результати побудов квазістаціонарних ділянок слова “миша”
на основі псевдоінваріантів**

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Кількість елементарних ділянок	1	1	8	1	9	1	1	6	1	4	1	1	1	4
Кількість точок	60	60	480	60	540	60	60	360	60	240	60	60	60	240
Номери ділянок	1	2	3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	11	12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20	21	22	23; 24; 25; 26; 27; 28	29	30; 31; 32; 33	34	35	36	37; 38; 39; 40
№	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Кількість елементарних ділянок	1	3	1	4	1	1	1	1	6	1	11	1	9	1
Кількість точок	60	180	60	240	60	60	60	60	360	60	660	60	540	60
Номери ділянок	41	42; 43; 44	45	46; 47; 48; 49	50	51	52	53	54; 55; 56; 57; 58; 59	60	61; 62; 63; 64; 65; 66; 67; 68; 69; 70; 71	72	73; 74; 75; 76; 77; 78; 79; 80; 81	82
№	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
Кількість елементарних ділянок	1	1	14	1	2	1	11	1	4	1	4	1	13	1
Кількість точок	60	60	840	60	120	60	660	60	240	60	240	60	780	60
Номери ділянок	83	84	85; 86; 87; 88; 89; 90; 91; 92; 93; 94; 95; 96; 97; 98	99	100; 101	102	103; 104; 105; 106; 107; 108; 109; 110; 111; 112; 113	114	115; 116; 117; 118	119	120; 121; 122; 123	124	125; 126; 127; 128; 129; 130; 131; 132; 138 133; 134; 135; 136; 137	
№	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56
Кількість елементарних ділянок	1	2	1	5	1	2	1	10	1	5	1	16	1	3
Кількість точок	60	120	60	300	60	120	60	600	60	300	60	960	60	180
Номери ділянок	139	140; 141	142	143; 144; 145; 146; 147	148	149; 150	151	152; 153; 154; 155; 156; 157; 158; 159; 160; 161	162	163; 164; 165; 166; 167	168	169; 170; 171; 172; 173; 174; 175; 176; 177; 178; 179; 180; 181; 182; 183; 184	185	186; 187; 188; 189

1. Алберт А., Регрессия, псевдоинверсия и рекуррентное оценивание: Пер. с англ., 1977. – М.: Наука, 224 с. 2. Роджер Пенроуз, A generalized inverse for matrices. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* 51, 406-413 (1955). 3. Жиляков Є.Г., Прохоренко Є.І., Болдишев А.В., Фірсова А.А., Фатова М.В. Сегментація мовних сигналів на основі аналізу особливостей розподілу часток енергії за частотним інтервалам // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – 2011. – № 17. – С. 44 – 50. 4. Сорокин В.Н., Цыплихин А.И. Сегментация речи на кардинальные элементы, *Информ. процессы.* — 2006, Т. 6, № 3. — С. 1772—207. 5. Дорохин О.А., Старушко Д.Г., Федоров Е.Е., Шелепов В.Ю. Сегментация речевого сигнала // *Искусственный интеллект.* – 2000. – №3. – С. 450–458. 6. Сорокин В.Н., Цыплихин А.И. Сегментация и распознавание гласных, *Информ. процессы.* — 2004, Т. 4, № 2. — С. 202–220. 7. Рашкевич Ю., Пелешко Д., Купчак М., Ковальчук А. Виділення квазістаціонарних ділянок мовного сигналу за спектром матричного оператора // *Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Комп’ютерні науки та інформаційні технології”.* – 2011. –

№ 710. – С.70–74. 8. Peleshko D., Kovalchuk A., Pelekh Y., Peleshko M. Singular decomposition in a speech signal processing. *Computer Science And Information Technologies: Materials of the Vith International Scientific and Technical Conference CSIT 2001*. Peleshko Lviv: Publishig House Vezha&Co, 2011. – 2011. – С.19–20. 9. Rashkevych Y., Peleshko D., Kovalchuk A., Kupchak M., Pelekh Y. Speech signal pseudo invariants. *Computer Science And Information Technologies: Materials of the Vith International Scientific and Technical Conference CSIT 2001*. – Lviv: Publishig House Vezha&Co, 2011. – 2011. – С.21–22. 10. Wall, Michael E., Andreas Rechtsteiner, Luis M. Rocha, "Singular value decomposition and principal component analysis". In D.P. Berrar, W. Dubitzky, M. Granzow. *A Practical Approach to Microarray Data Analysis*. Norwell, MA: Kluwer. – 2003. – С. 91–109.

УДК 004.31

М. Черкаський, Т. Ткачук

Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра СКС

ЕФЕКТИВНИЙ ПРИСТРІЙ ЗГОРТКИ

© Черкаський М., Ткачук Т., 2012

Розглянуто способи структурного синтезу та параметричної оптимізації конвеєрного пристрою згортки на основі характеристик складності Н-моделі алгоритму. Синтезовано схему конвеєрного тракту з часовою складністю, що дорівнює часовій складності суматора.

Ключові слова: Н-модель алгоритму, алгоритм згортки, пристрій множення.

This paper describes methods of structural synthesis and parametrical optimization of pipeline device of convolution, based on characteristics of complexity of H-model of algorithm. Synthesized scheme of pipeline tract with time complexity like time complexity of full-adder.

Key words: H-model of algorithm, convolution algorithm, multiplying device.

Вступ

Пристрій згортки, що реалізує цифрову фільтрацію, є обов'язковим елементом в системах цифрової обробки сигналів (ЦОС). В процесі проектування спеціалізованих комп'ютерних систем цього напрямку основну увагу приділяють отриманню високої продуктивності. У статті це завдання пов'язується з параметричною оптимізацією характеристик складності SH-моделі комп'ютера (SH – software/hardware)[1]. Мета – отримання високої продуктивності обробки сигналів разом з оптимізацією витрат на проектування пристрою.

Основними архітектурними способами отримання високої продуктивності оброблення даних на обмеженому списку заданих алгоритмів є:

- апаратне виконання функціональних залежностей;
- конвеєризація процесу оброблення;
- використання паралелізму процесів на всіх ієрархічних рівнях системи.

Теоретичною основою побудови потужних спецпроцесорів є теорія складності апаратно-програмних та зокрема апаратно реалізованих алгоритмів. Останні досліджуються на основі Н-моделі.