

СИНФАЗНИЙ МЕТОД СТАТИСТИЧНОГО ОПРАЦЮВАННЯ ВОКАЛІЗОВАНИХ ФРИКАТИВНИХ ЗВУКІВ ДЛЯ ЗАДАЧ ДІАГНОСТИКИ ГОЛОСОВОГО АПАРАТУ

В. Г. Дозорський, асистент,

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
м. Тернопіль,*

E-mail: dozorskyu@mail.ru

Обґрунтовано синфазний метод опрацювання вокалізованих фрикативних звуків виходячи з їх математичної моделі у вигляді періодично корельованого випадкового процесу, який дає змогу виділити нові в області діагностики інформативні ознаки, за допомогою яких можна оцінити стан органів голосового апарату людини на ранніх етапах виникнення їх захворювання. Обґрунтовано метод обчислення значення періоду корельованості фрикативних звуків для застосування синфазного методу їх опрацювання.

***Ключові слова:** фрикативний звук, періодично корельований випадковий процес, синфазний метод.*

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

За даними Міністерства охорони здоров'я України та Всесвітньої організації охорони здоров'я щорічно спостерігається тенденція до зростання числа людей із захворюваннями органів голосового апарату [1-3]. Тому, важливим завданням сучасної медицини є завчасна діагностика патологічних змін у голосовому апараті на ранніх етапах їх виникнення та розвитку.

Патологічні зміни органів голосового апарату призводять до порушень у їх роботі. Це знаходить своє виразне відображення в голосових сигналах – сонорних, а саме вокалізованих фрикативних (щілинних) звуках (ВФЗ) та призводить до появи в них шумової складової і наближення цих звуків до класу фрикативних шумових. Завчасна діагностика дає змогу виявити зміни функціонального стану органів голосового апарату шляхом належного опрацювання голосових сигналів і провести профілактичні заходи або вибрати курс лікування при розвитку хвороби у випадку патологічних порушень. Ефективність функціонування діагностичної системи вирішальною мірою визначається методами опрацювання голосових сигналів – ВФЗ, що лежать в основі побудови її програмного забезпечення та повинні мати засоби виділення інформативних характеристик – ознак зміни в роботі голосового апарату.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Відомі методи опрацювання ВФЗ ґрунтуються на дослідженні їх часової структури та характеристик амплітудних спектрів (методи гармонічного та формантного аналізу) [4,5]. В цьому випадку за математичну модель береться періодична функція чи їх суміш. У випадку ймовірнісного підходу до моделювання ВФЗ відомою є стаціонарна модель, що визначає методи спектрально-кореляційного аналізу. При цьому інформативними ознаками сигналу є його ймовірнісні характеристики та розподіли (ймовірностей значень випадкової величини, спектральної густини потужності тощо). Проте стаціонарна модель не має засобів опису коливань у часі, якими є ВФЗ, відповідно методи спектрально-кореляційного аналізу не дають можливості оцінювання фазово-часових характеристик сигналу з метою виявлення моменту прояву змін у функціонуванні голосового апарату.

У праці [6] шляхом виділення інформативно значущих для задач медичної діагностики характеристик ВФЗ обґрунтовано їх модель у вигляді періодично корельованого випадкового процесу (ПКВП), яка визначає загальні методи статистичного їх опрацювання – синфазний, компонентний.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАДАЧІ

На основі математичної моделі ВФЗ у вигляді ПКВП можна реалізувати синфазний метод статистичного опрацювання сигналу з метою визначення нових інформативних ознак стану голосового апарату людини для задач медичної діагностики.

СИНФАЗНИЙ МЕТОД ОПРАЦЮВАННЯ ВФЗ

Синфазний метод ґрунтується на тому, що відліки значень сигналу через період корельованості T_{corr} при різному виборі початкової фази $t_0 \in [0, T_{corr})$ утворюють стаціонарну ергодичну векторну випадкову послідовність $\{\Xi(t_0), t_0 \in [0, T_{corr})\}$, де $\Xi(t_0) \equiv \{\Xi(t_0 + kT_{corr}), k \in Z\}$, $\{\Xi(t_0), \Xi(t_1), \dots, \Xi(t_n)\}$ стаціонарні та стаціонарно пов'язані випадкові послідовності [7]. Таким чином, статистика періодично корельованих випадкових послідовностей зводиться до статистики стаціонарних випадкових послідовностей. При цьому кореляційні функції таких послідовностей унаслідок їх періодичності з періодом корельованості T_{corr} , виходячи з означення класу ПКВП, можуть бути розкладені в ряди Фур'є згідно з виразом (1).

$$b_{\xi}(t, u) = \sum_{k \in Z} e^{ik\Delta t} B_k(u), \quad \Delta = \frac{2\pi}{T_{corr}}, \quad (1)$$

де $b_{\xi}(t, u)$ – кореляційні функції; $B_k(u)$ – кореляційні компоненти; u – величина зсуву.

Компоненти $B_k(u)$ характеризують структуру часової мінливості сигналу. Оцінки їх для випадку періодично корельованих випадкових послідовностей знаходяться за виразом (2):

$$B_k(u) = \frac{1}{N_T} \sum_{n=0}^{N_T-1} b_{\xi}(n\Delta t, u) \cdot e^{ik \frac{2\pi}{N_T} n}, \quad (2)$$

де N_T – дискретний період корельованості фрикативного звуку; $N_T = T_{corr} / \Delta t$, Δt – крок дискретизації; u – зсув; N_k – кількість відгуків фрикативного звуку.

МЕТОД ОБЧИСЛЕННЯ ПЕРІОДУ КОРЕЛЬОВАНOSTІ ВФЗ

Для застосування синфазного методу статистичного опрацювання ВФЗ при поданні його математичною моделлю у вигляді ПКВП, а саме – формування стаціонарних послідовностей, числення кореляційних функцій та кореляційних компонент згідно з виразом (2) необхідно знати величину періоду корельованості (ПК). Зрозуміло, що ПК буде близьким до періоду основного тону (ПОТ) ВФЗ, який є оберненим до частоти основного тону (ЧОТ), яка є найнижчою гармонікою сигналу ВФЗ. Тому за його початкове значення використано значення ПОТ, і задача пошуку ПК звелася до задачі визначення ПОТ.

У літературі відомо багато методів визначення ПОТ [8-11]. Простим є метод, що ґрунтується на аналізі часової структури голосового сигналу [8, 9]. Відстань між максимумами амплітуди сигналу береться за значення ПОТ. Також відомим є кепстральний метод знаходження ПОТ [8, 9]. Розміщення максимуму в кепстрі ВФЗ в діапазоні від 2 до 20 мс визначає період аналізованого сигналу.

Найпоширенішим методом знаходження ПОТ є автокореляційний [10, 11]. Початкова оцінка ПОТ визначається часовою відстанню між максимальними за амплітудою значеннями автокореляційної функції в межах визначеного інтервалу (рис. 1). Значення періоду корельованості T_{corr} визначається з виразу (3):

$$T_{corr} = M(T_n), \quad n \in Z, \quad (3)$$

де T_n – проміжні значення ПОТ, знайдені за автокореляційною функцією; $M(\cdot)$ – символ усереднення.

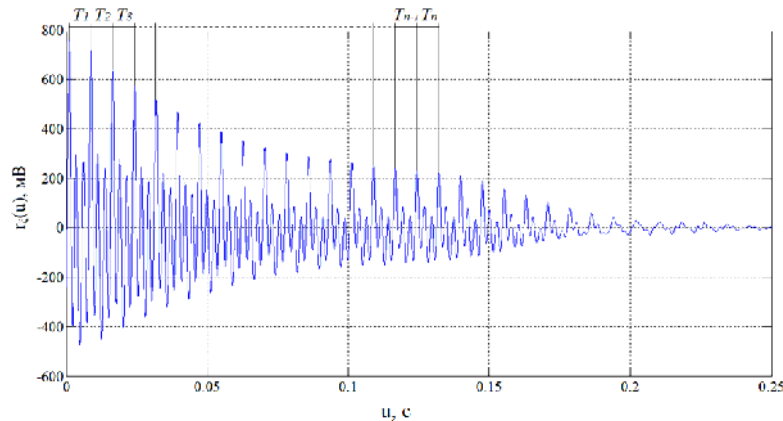


Рисунок 1 – Знаходження періоду основного тону ВФЗ за автокореляційною функцією

Однак на точність обчислення ПОТ за автокореляційною функцією можуть впливати обертони, що є наявні в сигналі, та гармоніки з вищою амплітудою. Для вирішення проблеми обчислено розподіл спектральної густини потужності сигналу за частотами, що призвело до розділу ЧОТ і частот обертонів. Отримана оцінка спектральної густини потужності сигналу зображена на рис. 2.

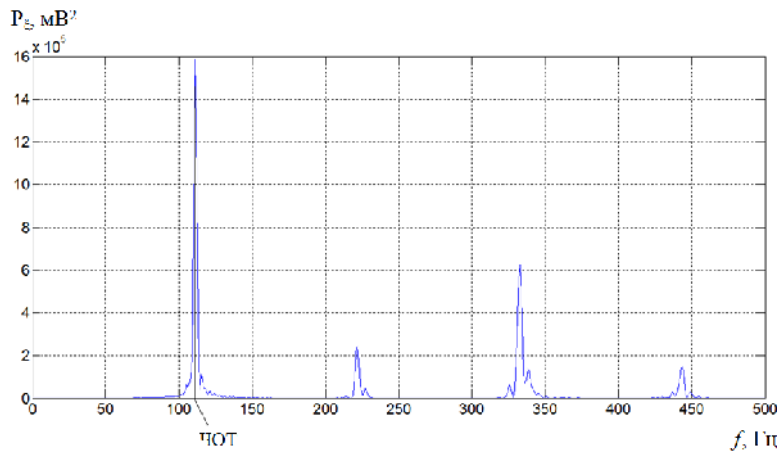


Рисунок 2 – Оцінка спектральної густини потужності ВФЗ [л]

Відповідно до рис. 2 перший пік відповідає першій форманті, а частота його розміщення – ЧОТ.

Оскільки ПОТ є змінним для різних дикторів та різних реалізацій сигналу одного диктора, обчислення ПК описаним вище методом необхідно проводити для кожної реалізації сигналу. Для автоматичного пошуку періоду корельованості розглянутим способом розроблено програмне забезпечення в середовищі Matlab.

РЕЗУЛЬТАТИ ОПРАЦЮВАННЯ ВФЗ СИНФАЗНИМ МЕТОДОМ

На рис. 3 а-г зображено реєстрограми ВФЗ [л] у стані норми (рис. 3 а, б) та з патологією (рис. 3 в, г – дисфункція язика).

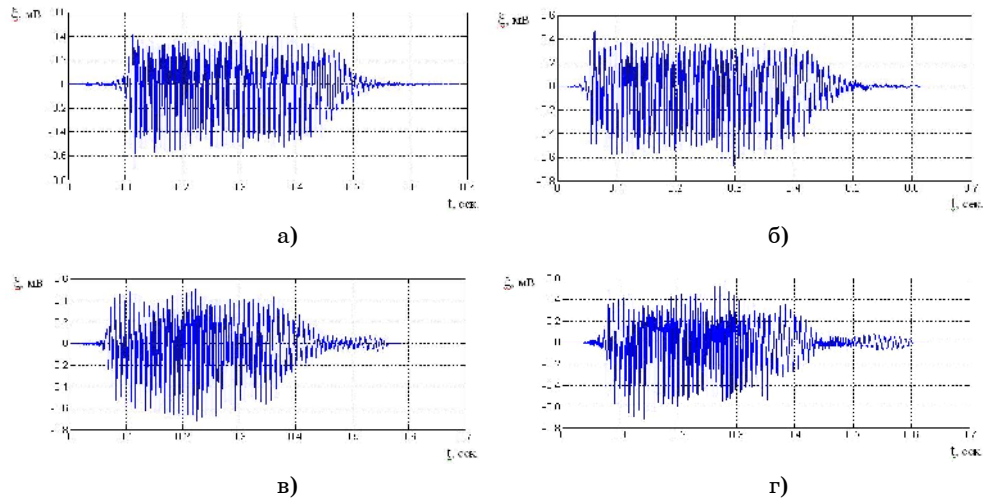


Рисунок 3 – Реєстрограми ВФЗ [л]: а), б) – норма; в), г) – патологія

Результатом опрацювання ВФЗ синфазним методом є обчислення оцінок кореляційних компонент згідно з виразом (2), які для випадку задачі діагностики голосового апарату є інформативними ознаками ВФЗ та характеризують його функціональний стан. Оцінки кореляційних компонент, обчислені для реалізацій ВФЗ, зображених на рис.3, наведено на рис. 4.

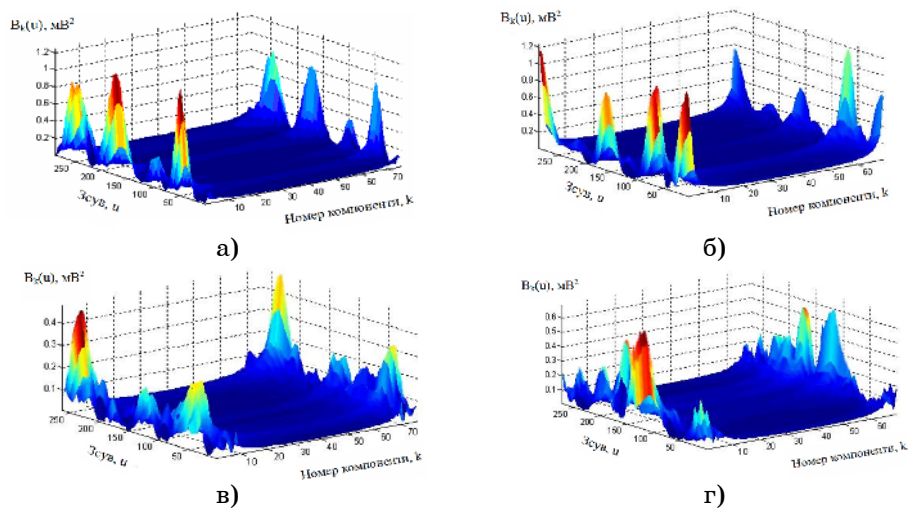


Рисунок 4 – Оцінки кореляційних компонент ВФЗ: а), б) – норма; в), г) – патологія

Для оцінювання загального функціонального стану (норма/патологія) голосового апарату проведено усереднення кореляційних компонент (рис. 4) за зсувами відповідно до виразу (4).

$$M_u \{B_k(u)\} = \frac{1}{N_k} \sum_{k=1}^{N_k} B_k(u), \quad k = \overline{1, N_k}, \quad (4)$$

де $M_u \{ \cdot \}$ - символ усереднення за зсувами u ; k - номер кореляційної компоненти; N_k - кількість кореляційних компонент.

Результати усереднення кореляційних компонент наведено на рис. 5.

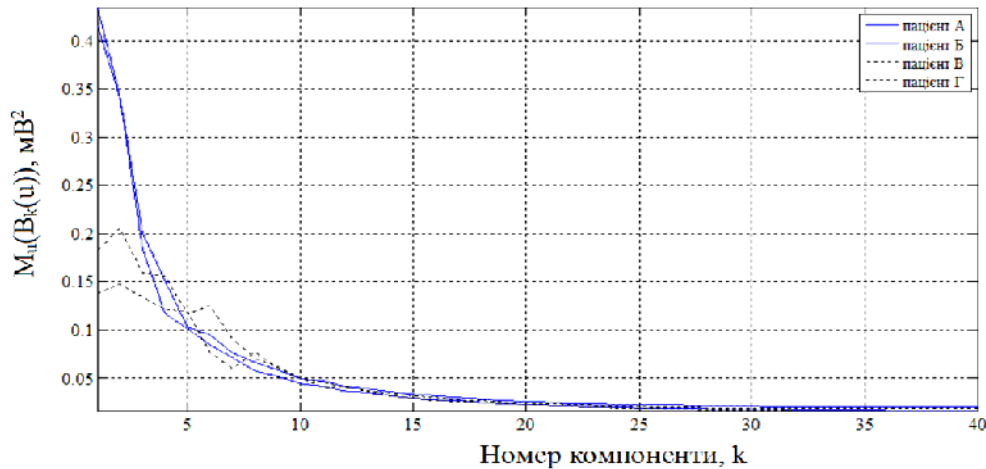


Рисунок 5 – Усереднені значення кореляційних компонент

Графіки на рис. 3 (а, б) відповідають пацієнтам А та Б (рис. 5), що знаходяться в стані норми. Відповідно графіки на рисунку 3 (в, г) відповідають пацієнтам В та Г (рис. 5), що знаходяться в стані патології (дисфункція язика). У результаті порівняльного аналізу ознак ВФЗ на основі рис. 5 можна відзначити, що для пацієнтів А та Б ознаки лежать у межах норми, а для пацієнтів В та Г спостерігається зміна ознак, що свідчить про порушення роботи органів голосового апарату. Отже, за допомогою синфазного методу опрацювання отримано інформативні ознаки сигналу – кореляційні компоненти (рис. 5), які є інваріантними у часі, показують однорідність властивостей сигналу, і поряд з тим зміни, за характером і значеннями яких можна оцінити стан голосового апарату, а також діагностувати зміни його функціонування.

ВИСНОВКИ

Синфазний метод дає можливість обчислити оцінки нових в області діагностики стану голосового апарату інформативних ознак оцінки кореляційних компонент, які відповідають функціональному стану голосового апарату людини. Результати роботи можуть бути використані при побудові комп'ютерних систем автоматизованого діагностування голосового апарату людини.

**A SINPHASE METHOD OF STATISTICAL PROCESSING OF VOKALIZED FRICATIVE
SOUNDS FOR THE PROBLEMS OF DIAGNOSTICS OF VOCAL APPARATUS**

V. Dozorsky,

Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Ternopil, Ukraine

The in-phase method of processing of vocalized fricative sounds is based on the mathematical model as the periodically correlated stochastic process, which allows selecting of new informative characteristics for the diagnostics of human vocal apparatus state in the early stages of it's disease. The method of calculation of the period of fricative sounds correlation for use of in-phase processing method is grounded.

Key words: *fricative sound, periodically correlated stochastic process, in-phase method.*

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пальчун В. Т. Оториноларингология: руководство для врачей / В. Т. Пальчун, А. И. Крюков. – М. : Медицина, 2001. – 616 с. – ISBN 5-225-04612-6.
2. Джафек Брюс. Секреты оториноларингологии : пер. с англ. / Б. Джафек, Е. Старк ; [под ред. Новикова Н. И., Овчинникова А. Ю.]. – М. ; СПб.: БИОНОМ : Невский диалект, 2001. – 624 с. – ISBN 5-79870197-1.
3. Бабияк В. И. Клиническая оториноларингология: руководство для врачей / В. И. Бабияк, Я. А. Накатис.– СПб. : Гиппократ, 2005. – 800 с. – ISBN 8-8232-0505-8.
4. Фант Гунер. Акустическая теория речеобразования : пер. с англ. / Гунер Фант ; [под ред. В. С. Григорьева]. – М. : Наука, 1964. – 284 с.
5. Sadaoki Furui. Digital speech. Processing, synthesis and recognition. / Furui Sadaoki. – Токуо : Токуо institute of technology, 2000. – 439 с. – ISBN 0-8247-0452-5.
6. Дозорський В. Обґрунтування математичної моделі фрикативного звуку у вигляді періодично корельованого випадкового процесу / Я. Драган, Є. Яворська, В. Дозорський // Вісник Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя. – Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2010. – Т. 15, № 10. – С. 159-164. – ISBN 1727-7108.
7. Драган Я. П. Энергетична теорія лінійних моделей стохастичних сигналів : монографія / Я. П. Драган. – Львів : Центр стратегічних досліджень еко-біо-технічних систем, 1997. – XVI. – 333 с. – ISBN 5-12-003724-0.
8. Рабинер Лоренс. Цифровая обработка речевых сигналов: пер. с англ. / Л. Рабинер, Р. Шафер ; [под ред. М. В. Назарова, Ю. Н. Прохорова]. – М.: Радио и связь, 1981. – 496 с.
9. Маркел Дж. Д. Линейное предсказание речи : пер. с англ. / Дж. Д. Маркел, А. Х. Грэй ; [под ред. Ю. Н. Прохорова, В. С. Звездина]. – М.: Связь, 1980. – 308 с.
10. Баронин С. П. Автокорреляционный метод выделения основного тона речи. Пятьдесят лет спустя / С. П. Баронин // Речевые технологии. – 2008. – №2. – С. 3-13.
11. Гитлин В. Б. Совместный алгоритм выделения основного тона речи по методам GS и автокорреляционной функции спектра / В. Б. Гитлин, Д. А. Лузин // Речевые технологии. – 2008. – №3. – С. 36-43.

Надійшла до редакції 2 вересня 2012 р.