

УДОСКОНАЛЕНА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЗВОРОТНОГО ГОРТАННОГО НЕРВА

¹Тернопільський національний економічний університет

Запропоновано та обґрунтовано удосконалену інформаційну технологію для виявлення місця знаходження зворотного гортанного нерва на хірургічній рані під час проведення операцій на щитоподібній залозі. Удосконалена інформаційна технологія, на відміну від існуючих, зменшує ризик пошкодження зворотного гортанного нерва та час проведення операції на щитоподібній залозі за рахунок розробленої інтервальної моделі з радіально-базисними функціями. Зазначено, що математичні моделі, базисні функції яких є радіальними, мають просту узагальнену структуру, а структурна їх ідентифікація зводиться до обчислення кількості центрів радіально-базисних функцій.

Встановлено, що основними характеристиками тканини хірургічної рани під час проведення операції на щитоподібній залозі є тип тканини та відстань від точки подразнення області хірургічного втручання до зворотного гортанного нерва. У результаті дослідження та опрацювання інформаційних сигналів різних пацієнтів обґрунтовано індикатори типу тканин хірургічної рани. Такими характеристиками є спектральна складова з максимальною амплітудою.

Проаналізовано інформаційні сигнали пацієнтів, які отримано в результаті реакції на подразнення м'язової та нервової тканини на різних відстанях до зворотного гортанного нерва. Встановлено, що інформаційні сигнали пацієнтів, які відповідають реакції на подразнення хірургічної рани змінним струмом на однакових відстанях до зворотного гортанного нерва різних пацієнтів подібні, проте характеристики сигналів відрізняються.

Для усунення невизначеності та неоднорідності вибірки даних запропоновано застосувати методи аналізу інтервальних даних. Використано алгоритм кластеризації неоднорідних вибірок даних, який ґрунтується на об'єднанні подібних спектральних характеристик інформаційних сигналів у групи, описані деяким інтервалом. Зазначено, що істинна відстань від точки подразнення області хірургічного втручання до зворотного гортанного нерва знаходиться в межах побудованого інтервалу відстані. Такий підхід уможливорює побудувати єдину математичну модель на основі радіально-базисних функцій для прогнозування відстані від точки подразнення до гортанного нерва.

Результатами експериментів підтверджено ефективність удосконаленої інформаційної технології для моніторингу зворотного гортанного нерва.

Ключові слова: інформаційна технологія, зворотний гортанний нерв, щитоподібна залоза, математична модель з радіально-базисними функціями, спектральні характеристики, інтервальний аналіз даних.

Вступ

Під час проведення операції на щитоподібній залозі перед хірургом виникає проблема виявлення місця знаходження зворотного гортанного нерва (ЗГН), оскільки його пошкодження може призвести до негативних наслідків, зокрема, до втрати пацієнтом голосу.

Відомий спосіб виявлення ЗГН на хірургічній рані, описаний у роботі [1], ґрунтується на подразненні змінним струмом фіксованої частоти області шиї та оцінювання результатів цього подразнення на голосових зв'язках пацієнта. У результаті отримуємо інформаційний сигнал (ІС) — реакцію на подразнення м'язової тканини або ЗГН. Класифікаційними ознаками тканин хірургічної рани є інформативні параметри ІС, які отримуємо у результаті опрацювання сигналів різних пацієнтів. У праці [2] розглянуто інтелектуальний класифікатор тканин хірургічної рани на основі вигляду автокореляційної функції сигналу та його енергетичного спектру. Зважаючи на індивідуальні характеристики гортані кожного пацієнта, по зазначених параметрах ІС не можливо достовірно визначити тип тканини області хірургічного втручання, що не знижує ризик пошкодження ЗГН на хірургічній рані.

У праці [3] описано інформаційну технологію для виявлення ЗГН на хірургічній рані, яка ґрунтується на експериментальному виявленні порогового значення енергії ІС, отриманого для певної, хоч і великої вибірки пацієнтів. Проте експериментальна оцінка інтервалу порогових значень енергії сигналу не гарантує безпомилкову ідентифікацію тканини хірургічної рани, що унеможливує виявлення ЗГН на хірургічній рані для будь-якого пацієнта.

Водночас у роботі [3] зазначено, що хірургічна рана пацієнта при оперативному втручанні на щитоподібній залозі характеризується не лише типом тканини, а й відстанню від точки подразнення середовища хірургічного втручання до ЗГН. У результаті досліджень встановлено, що ІС пацієнтів — реакція на подразнення хірургічної рани на однаковій відстані до ЗГН різних пацієнтів подібні, проте їх інформативні параметри відрізняються. Це породжує неоднорідність вибірки даних та вимагає застосування апарату інтервального аналізу даних.

Зважаючи на вищезазначене, актуальною залишається задача удосконалення розробленої інформаційної технології для моніторингу ЗГН такими програмними модулями, які б реалізовували математичні моделі на основі параметрів тканин хірургічної рани. Це суттєво знизить ризик пошкодження ЗГН та зменшить час проведення операції на щитоподібній залозі.

Постановка задачі

Зважаючи на вищезазначене, розглянемо основні алгоритми та методи, на яких базується технологія опрацювання ІС пацієнтів у задачі моніторингу ЗГН при проведенні операції на щитоподібній залозі.

Нехай у процесі операції на щитоподібній залозі на основі способу [1] отримано ІС пацієнта. На основі інформативних параметрів такого сигналу необхідно встановити чи точка подразнення належить м'язовій тканині і на якій відстані до ЗГН вона знаходиться, чи подразнено безпосередньо ЗГН.

У праці [4] запропоновано процедуру отримання інформативних параметрів ІС, що базується на певних кроках.

Крок 1. Сегментація отриманого ІС, одержаного подразненням тканин хірургічної рани.

Крок 2. Побудова спектру для усіх отриманих сегментів ІС.

Крок 3. Виділення спектральної складової сигналу з максимальною амплітудою.

Крок 4. Побудова інтервалів відстані від точки подразнення хірургічної рани до ЗГН.

Крок 5. Побудова математичної моделі прогнозування характеристик середовища хірургічного втручання.

Складними у процедурі є крок 4 і 5, оскільки вимагають розробки математичних моделей характеристик тканин хірургічної рани. Модель інтервального представлення характеристик середовища хірургічного втручання детально описана у [4], що уможливує реалізацію кроку побудови математичної моделі прогнозування параметрів хірургічної рани.

Зважаючи на вищевикладене, запропонована процедура отримання інформативних параметрів ІС може бути основою для удосконалення інформаційної технології для моніторингу ЗГН.

Удосконалена інформаційна технологія для моніторингу ЗГН

Вищеописана процедура отримання параметрів сигналу дає можливість удосконалити інформаційну технологію для виявлення місця розміщення ЗГН на хірургічній рані, котру представлено у вигляді схеми на рис. 1. Штрихпунктирною лінією на рис. 1 виділено частину, яка належить існуючій інформаційній технології та частину, за рахунок якої удосконалено існуючу інформаційну технологію.

Прогнозну оцінку відстані від точки подразнення хірургічної рани до ЗГН $[\hat{y}_k]$ отримуємо в результаті поетапного проходження усіх кроків удосконаленої інформаційної технології, починаючи від формування експериментальних даних і закінчуючи результатом прогнозування інтервальної моделі.

Перших три кроки інформаційної технології детально описано у праці [3]. Зважаючи на це, зупинимося детально на характеристиці останніх двох кроків, за рахунок яких удосконалено інформаційну технологію для моніторингу ЗГН.

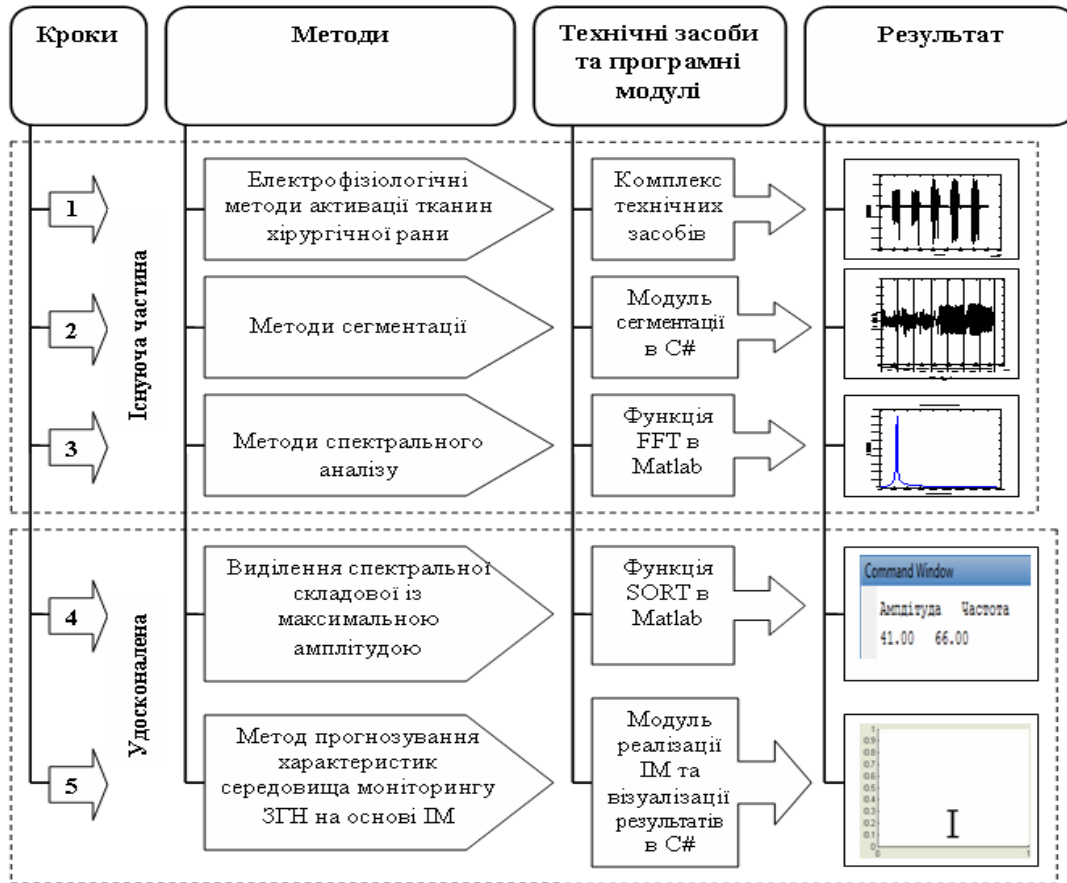


Рис. 1. Удосконалена інформаційна технологія для моніторингу ЗГН

Крок 1. На основі технічних засобів подразнення тканин хірургічної рани, отримуємо ІС — реакцію на подразнення тканин хірургічної рани при застосуванні способу, що описаний у роботі [1]. Результуючий ІС оцифруємо та записуємо в оперативну пам'ять комп'ютера.

Крок 2. Протягом кількох вдихань та видихань пацієнтом повітря отриманий ІС сегментуємо на ділянки, які відповідають процесу вдихання чи видихання. У результаті подразнення тканин хірургічної рани у різних точках отримуємо множину сегментів.

Крок 3. На основі швидкого перетворення Фур'є будуємо спектр сигналу. Алгоритм FFT необхідно застосувати для перетворення дискретних даних з часового у частотний діапазон.

Крок 4. Виділення спектральної складової у спектрі сигналу з максимальною амплітудою та частотою, на якій вона зосереджена у деякому діапазоні частот (рис. 2).

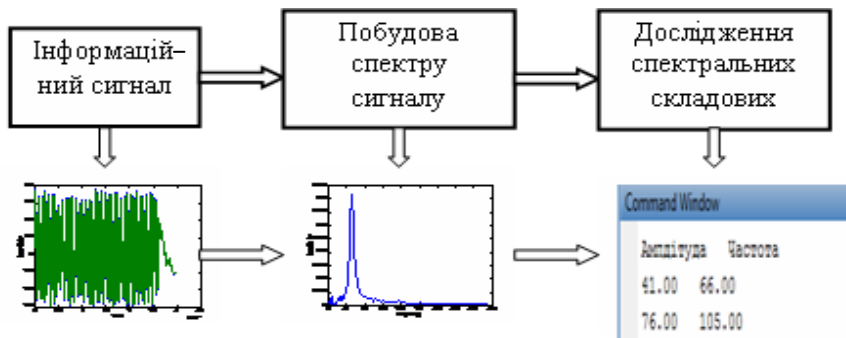


Рис. 2. Схема отримання первинних характеристик хірургічної рани

Дослідження спектральних характеристик сигналів, а саме спектральної складової з максимальною амплітудою $x_{1k} = U_{\max}$ та частоти, на якій зосереджена спектральна складова $x_{2k} = F_{U_{\max}}$, $k = 1, \dots, N$, показали, що існують подібні ІС пацієнтів, які відповідають реакції на подразнення на однаковій відстані до ЗГН, первинні характеристики яких відрізняються. Такий випадок проілюстровано на рис. 3.

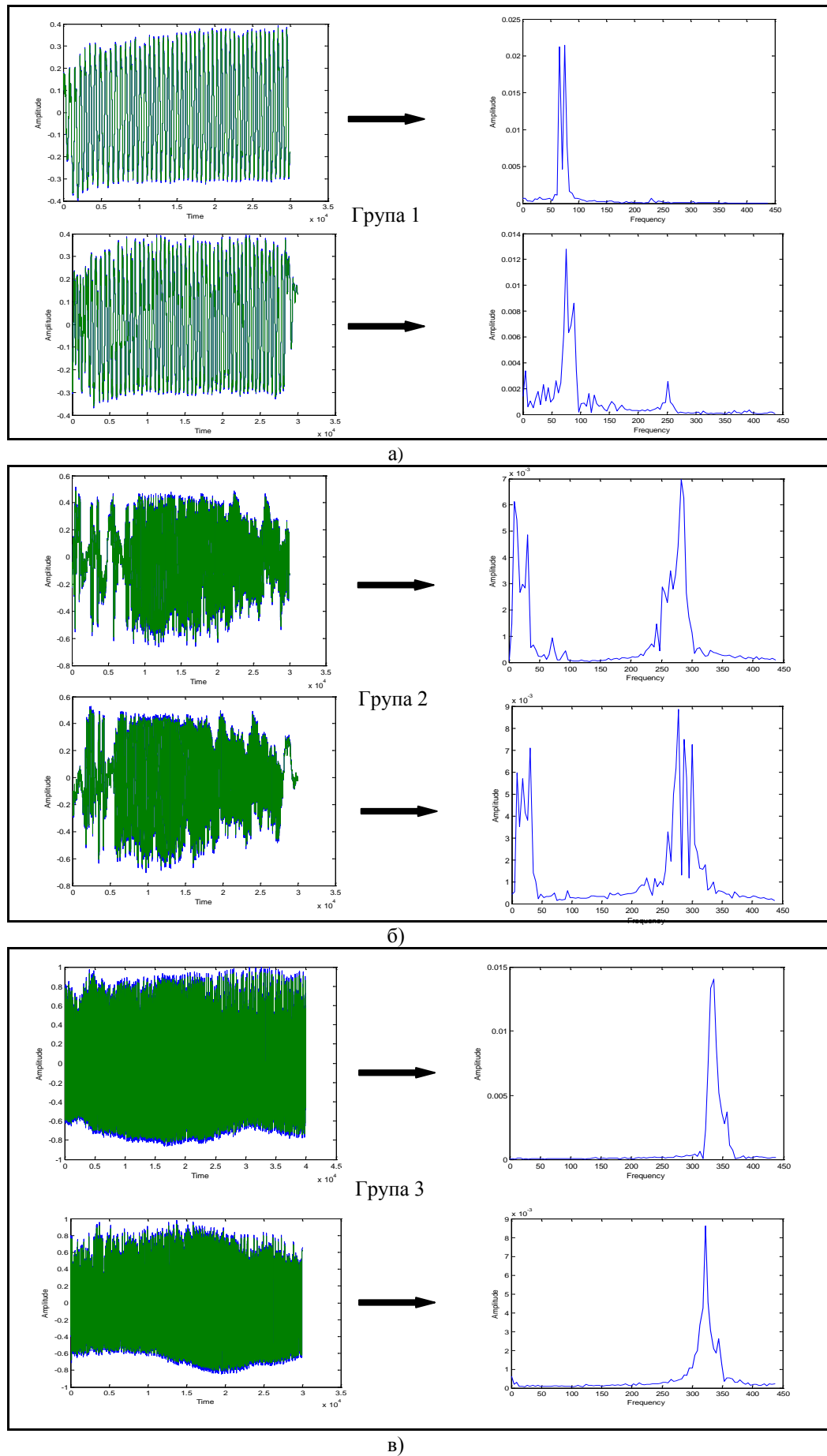


Рис. 3. Групи подібних інформаційних сигналів, спектральні характеристики яких відрізняються

Як бачимо на рис. 3а, візуально ІС — результат подразнення м'язової тканини на великій відстані до ЗГН першої групи пацієнтів подібні, однак їх спектральні ознаки відрізняються, тобто $\{x_{11}; x_{21}\} \neq \{x_{12}; x_{22}\}$, що свідчить про неоднорідність вибірки первинних характеристик ІС у межах групи пацієнтів. Щодо групи подібних сигналів — результату подразнення м'язової тканини на відстані дуже близькій до ЗГН, що проілюстровано на рис. 3б, то незважаючи на те, що частота спектральної складової зосереджена на однаковому діапазоні частот, спектральні ознаки зазначених сигналів також відрізняються, тобто $\{x_{11}; x_{21}\} \neq \{x_{12}; x_{22}\}$. На рис. 3в показано групу подібних ІС — реакції на подразнення безпосередньо ЗГН різних пацієнтів. Як бачимо, сигнали подібні, проте їх спектральні характеристики відрізняються.

З аналізу випливає, що через індивідуальні особливості гортані кожного пацієнта та різноманітної анатомічної будови їх щитоподібної залози зв'язок між первинними характеристиками хірургічної рани $x_{1k} = U_{\max}$, $x_{2k} = F_{U_{\max}}$ та відстанню $[y_k]$ від k -ї точки подразнення тканини хірургічної рани до ЗГН для групи пацієнтів не є чітким, що унеможливує побудувати єдину математичну модель характеристик середовища моніторингу ЗГН для групи пацієнтів. При цьому підвищується ризик пошкодження ЗГН при розтині тканин хірургічної рани та збільшується час проведення операції на щитоподібній залозі.

Таким чином, для опису невизначеності між спектральними характеристиками ІС x_{1k} , x_{2k} та відстанню $[y_k]$ від k -ї точки подразнення тканини хірургічної рани до ЗГН групи пацієнтів слід застосувати інтервальний аналіз даних. Математичну модель характеристик середовища моніторингу ЗГН, що ґрунтується на методі субтрактивної кластеризації та аналізу інтервальних даних, детально описано у роботі [4]. Реалізуючи цю модель, отримуємо нормоване інтервальне значення відстані від точки подразнення хірургічної рани до ЗГН що описує первинні характеристики ІС групи пацієнтів.

Крок 5. Метод прогнозування характеристик середовища моніторингу ЗГН ґрунтується на отриманні інтервальної оцінки відстані від точки подразнення хірургічної рани до ЗГН на основі інтервальної моделі з радіально-базисними функціями (РБФ). Особливості зазначених математичних моделей, базисні функції яких є радіальними, детально описано у працях [5], [6]. Зокрема відмічено, що такі математичні моделі мають просту узагальнену структуру, а структурна їх ідентифікація зводиться до обчислення параметрів рецепторного поля радіально-базисних функцій, а саме до знаходження центрів РБФ, оскільки параметр ширини вікна базисної функції задаємо емпірично. В результаті реалізації зазначеного етапу удосконаленої інформаційної технології на екрані монітора комп'ютера виводиться інтервальне значення відстані від точки подразнення до ЗГН.

Якщо ж при подразненні тканин хірургічної рани отримано інтервал відстані до ЗГН, ширина якого рівна 0, то це означає, що подразнено безпосередньо ЗГН. Зазначений випадок супроводжується звуковим сигналом. Цей крок в удосконаленій інформаційній технології найскладніший, оскільки вимагає побудови адекватної моделі характеристик середовища моніторингу ЗГН, що забезпечить одночасне зниження ризику пошкодження ЗГН та зменшення часу проведення операції на щитоподібній залозі.

Приклад реалізації удосконаленої інформаційної технології для моніторингу ЗГН у певного пацієнта

Для прикладу вибрано інформаційний сигнал певного пацієнта, показаний на рис. 4.

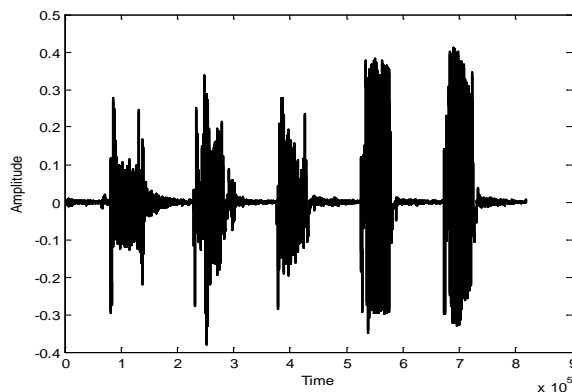


Рис. 4. Інформаційний сигнал — реакція на подразнення тканин хірургічної рани

На основі модуля сегментації по вдихах-видихах пацієнта проводимо сегментацію ІС. Результат сегментації зображено на рис. 5. Як бачимо на рис. 5, сигнал поділено на 7 фрагментів, що відповідають сімом точкам подразнення тканин хірургічної рани.

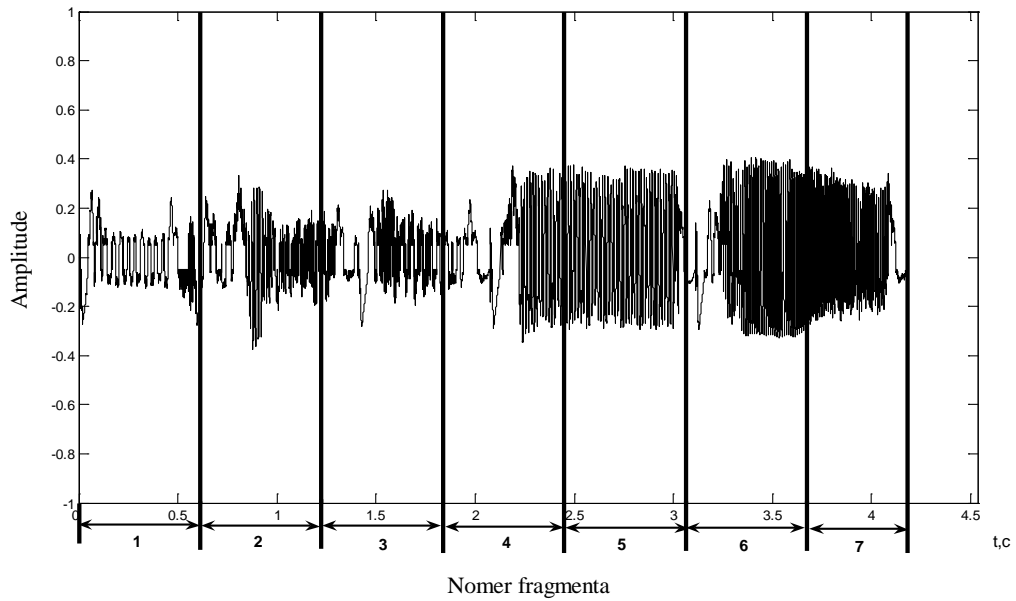


Рис. 5. Сегментований інформаційний сигнал — реакція на подразнення тканин хірургічної рани

Для моніторингу ЗГН на хірургічній рані застосуємо інтервальну модель зі структурними елементами у вигляді РБФ. Розроблену інтервальну модель детально описано у праці [5].

В результаті проведених експериментів, тобто одночасного обчислення радіально-базисних функцій та пошуку невідомих параметрів моделі при розв'язуванні ітервальної системи лінійних алгебричних рівнянь отримано оптимальну структуру інтервальної моделі з радіально-базисними для виявлення місця розміщення ЗГН на хірургічній рані у вигляді

$$\hat{y} = w_1 f_1(\|\bar{x} - \bar{c}_1\| \sigma^{-2}) + w_2 f_2(\|\bar{x} - \bar{c}_2\| \sigma^{-2}) + w_3 f_3(\|\bar{x} - \bar{c}_3\| \sigma^{-2}) + w_4 f_4(\|\bar{x} - \bar{c}_4\| \sigma^{-2}). \quad (1)$$

На основі множинних оцінок параметрів моделі шукаємо вектор інтервальних оцінок параметрів інтервальної моделі з РБФ $[\bar{w}] = [w_1^-, w_1^+]$, $i = 1 \dots 4$, де w_i^-, w_i^+ — нижня та верхня гарантовані межі значень параметрів інтервальної моделі з РБФ. Отримані оцінки параметрів мають вигляд

$$\begin{aligned} [\bar{w}] &= \left([w_1^-, w_1^+], [w_2^-, w_2^+], [w_3^-, w_3^+], [w_4^-, w_4^+] \right) = \\ &= ([2,239 \ 2,341], [0,002 \ 0,084], [0,774 \ 0,783], [-1,97 \ -0,091]). \end{aligned} \quad (2)$$

Побудований коридор інтервальних моделей оцінки відстані від точки подразнення хірургічної рани до ЗГН має вигляд

$$\begin{aligned} [\hat{y}] &= \left[\min \left\{ \sum_{i=1}^4 w_i^- \cdot f_i(\|\bar{x} - \bar{c}_i\| \cdot \sigma^{-2}); \sum_{i=1}^4 w_i^+ \cdot f_i(\|\bar{x} - \bar{c}_i\| \cdot \sigma^{-2}) \right\}; \right. \\ &\quad \left. \max \left\{ \sum_{i=1}^4 w_i^- \cdot f_i(\|\bar{x} - \bar{c}_i\| \cdot \sigma^{-2}); \sum_{i=1}^4 w_i^+ \cdot f_i(\|\bar{x} - \bar{c}_i\| \cdot \sigma^{-2}) \right\} \right]. \end{aligned} \quad (3)$$

Інтервальні оцінки параметрів (2) уможливають записати інтервальну модель з радіально-базисними функціями для виявлення місця розміщення ЗГН під час операції на щитоподібній залозі у вигляді

$$\begin{aligned} [\hat{y}] &= f_1(\|\bar{x} - \bar{c}_1\| \sigma^{-2}) \cdot [2,239; 2,321] + f_2(\|\bar{x} - \bar{c}_2\| \sigma^{-2}) \cdot [0,002; 0,084] + \\ &\quad + f_3(\|\bar{x} - \bar{c}_3\| \sigma^{-2}) \cdot [0,774; 0,783] + f_4(\|\bar{x} - \bar{c}_4\| \sigma^{-2}) \cdot [-1,972; -0,091]. \end{aligned} \quad (4)$$

Результати моделювання на основі інтервальної моделі з РБФ (4) показано на рис. 6. З резуль-

татів видно, що інтервальна модель на основі радіально-базисних функцій, яка враховує характеристики середовища хірургічного втручання, уможливує визначити не лише тип тканини хірургічної рани, а й встановити (спрогнозувати) місце розміщення ЗГН.

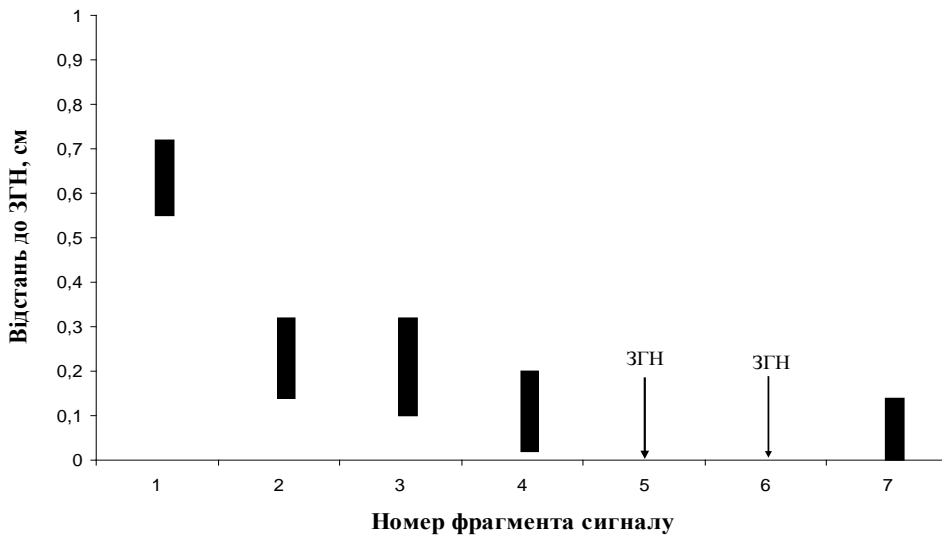


Рис. 6. Результат виявлення ЗГН на основі інтервальної моделі з радіально-базисними функціями

Для порівняння застосуємо існуючу математичну модель моніторингу ЗГН для виявлення ЗГН, яку описано у праці [3] Результат класифікації тканин хірургічної рани проілюстровано на рис. 7.

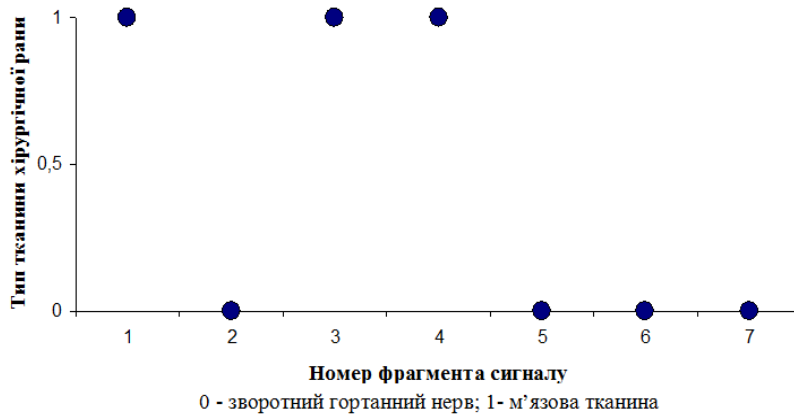


Рис. 7. Результат виявлення ЗГН на основі існуючої математичної моделі класифікації

Згідно з існуючою моделлю 1, 3 та 4 фрагменти ІС відповідають реакції на подразнення м'язової тканини, а 2, 5, 6, 7 фрагменти — реакції на подразнення ЗГН. Зважаючи на це, варто зазначити, що інтервальна модель на основі РБФ дає точніший результат, на відміну від існуючої математичної моделі класифікації, оскільки дослідження другого фрагменту сигналу свідчать, що вказаний фрагмент відповідає реакції на подразнення м'язової тканини.

Сьомий фрагмент сигналу характеризується певною невизначеністю, оскільки існуюча модель показує, що це результат подразнення ЗГН, а інтервальна модель на основі радіально-базисних функцій — що це або ЗГН, або дуже близько до ЗГН $([0; 0,14])$. Проте така невизначеність не становить ризику пошкодження ЗГН під час операції на щитоподібній залозі.

Оцінку ефективності удосконаленої інформаційної технології для моніторингу ЗГН проведено на вибірці з 120 пацієнтів й вставлено, що ризик пошкодження ЗГН становить 16 %, що на 4 % менше, ніж у разі застосування існуючої математичної моделі, а час проведення операції зменшується на 20 хв і становить — 70 хв.

Висновки

Удосконалено інформаційну технологію моніторингу ЗГН, яка на відміну від існуючих, включає модуль оцінки відстані від точки подразнення до ЗГН, що забезпечує зниження ризику пошкодження ЗГН та одночасне зменшення часу проведення операції на щитоподібній залозі.

Проведено апробацію удосконаленої інформаційної технології під час проведення операції на щитоподібній залозі. Результатами порівняльного аналізу застосування удосконаленої інформаційної технології у випадку використання відомої математичної моделі та розробленої інтервальної моделі з радіально-базисними функціями підтверджено достовірність отриманих теоретичних результатів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] М. П. Дивак, В. О. Шідловський, та О. Л. Козак, «Спосіб ідентифікації гортанного нерва з інших тканин хірургічної рани при проведенні хірургічних операцій на щитовидній залозі.» *Патент України на корисну модель № 51174*, 2010.
- [2] N. Savka, M. Dyvak, A. Pukas, and V. Nemish, «Intelligent Classifier Based on Radial Basis Function Network for the Task of Identification the Recurrent Laryngeal Nerve in a Surgical Wound,» *Journal of Applied Computer Science*, vol. 22, no 2, pp. 55-64, 2014.
- [3] Н. І. Падлецька, та М. П. Дивак, «Інформаційна технологія для ідентифікації зворотного гортанного нерва під час операції на щитовидній залозі,» *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, № 1, с. 151-157. 2015.
- [4] M. Dyvak, Y. Maslyiak, O. Papa, and N. Savka, «Clustering and Interval Analysis of Heterogeneous Data Sample» in *12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT' 2017*. Lviv, 2017, pp. 528-532.
- [5] Н. Я. Савка, та О. Л. Козак «Інтервальні моделі з радіально-базисними функціями для задачі виявлення розміщення зворотного гортанного нерва,» *Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій: зб. наукових праць*, № 815, с. 225-233, 2015.
- [6] M. Dyvak, and N. Savka, «Identification of Artificial Neural Networks with Radial Basis Functions by Methods of Interval Data Analysis» in *XIth International Conference the Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM'2011)*, Lviv-Polyana-Svalyava, 2011, pp. 304.

Рекомендована кафедрою біомедичної інженерії ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 4.12.2019

Савка Надія Ярославівна — канд. техн. наук, старший викладач кафедри комп'ютерної інженерії, e-mail: nadya_savka@ukr.net ;

Гураль Ірина Володимирівна – канд. техн. наук, старший викладач кафедри комп'ютерної інженерії. Тернопільський національний економічний університет, Тернопіль

N. Ya. Savka¹
I. V. Hural¹

The Improved Information Technology for Monitoring Recurrent Laryngeal Nerve

¹Ternopil National Economic University

The information technology has been proposed and substantiated to detect the location of the laryngeal nerve in the surgical wound during operations on the thyroid gland. The information technology, in contrast to existing, reduces the risk of the laryngeal nerve damage and the time of operation on the thyroid gland due to the developed interval model with radial basis functions. The mathematical models, which basis functions are radial, have a simple generalized structure and their structural identification is reduced to calculating the number of centers of radial basis functions.

The main characteristics of the surgical wound tissue during surgery on the thyroid gland are its type and the distance from the point of irritation of the surgical area to the laryngeal nerve. As a result of research and processing of information signals of different patients, indicators of the type of the surgical wound tissue are substantiated. Such characteristics are the spectral components with the maximum amplitude.

The patient information signals resulting from the response to muscle and nerve irritation at different distances to the laryngeal nerve have been analyzed. The information signals of patients, which respond to the irritation of the surgical wound with alternating current at equal distances to the laryngeal nerve of different patients, are similar, but the characteristics of the signals are different.

The interval data analysis methods to eliminate the uncertainty and heterogeneity of the data sample have been proposed. A clustering algorithm of inhomogeneous data samples has been used, which is based on the integration of similar spectral characteristics of information signals into groups described at intervals. The true distance from the irritation point of the surgical area to the back laryngeal nerve is within the constructed distance interval. This approach makes it possible to construct a single mathematical model based on radial basis functions to predict the distance from the irritation point to the laryngeal nerve.

The results of the experiments confirmed the efficiency of advanced information technology for the laryngeal nerve monitoring.

Keywords: information technology, recurrent laryngeal nerve, thyroid gland, mathematical model of radial basis functions, spectral characteristics, interval data analysis.

Savka Nadiia Ya. — Cand. Sc. (Eng.), Senior Lecturer of the Chair of Computer Engineering, e-mail: nadya_savka@ukr.net ;

Hural Iryna V. — Cand. Sc. (Eng.), Senior Lecturer of the Chair of Computer Engineering

Н. Я. Савка¹
И. В. Гураль¹

Усовершенствованная информационная технология для мониторинга возвратного гортанного нерва

¹Тернопольский национальный экономический университет

Предложено и обосновано усовершенствованную информационную технологию для обнаружения места нахождения обратного гортанного нерва на хирургической ране при проведении операций на щитовидной железе. Усовершенствованная информационная технология, в отличие от существующих, уменьшает риск повреждения обратного гортанного нерва и время проведения операции на щитовидной железе за счет разработанной интервальной модели с радиально-базисными функциями. Отмечено, что математические модели, базисные функции которых являются радиальными, имеют простую обобщенную структуру, а структурная их идентификация сводится к вычислению количества центров радиально-базисных функций.

Установлено, что основными характеристиками ткани хирургической раны во время проведения операции на щитовидной железе является тип ткани и расстояние от точки раздражения области хирургического вмешательства к обратному гортанному нерву. В результате исследования и обработки информационных сигналов различных пациентов обоснованы индикаторы типа тканей хирургической раны. Такими характеристиками являются спектральная составляющая с максимальной амплитудой.

Проанализированы информационные сигналы пациентов, полученные в результате реакции на раздражение мышечной и нервной ткани на различных расстояниях до обратного гортанного нерва. Установлено, что информационные сигналы пациентов, которые отвечают реакции на раздражение хирургической раны переменным током на одинаковых расстояниях до обратного гортанного нерва разных пациентов подобные, однако характеристики сигналов отличаются.

Для устранения неопределенности и неоднородности выборки данных предложено применить методы анализа интервальных данных. Использован алгоритм кластеризации неоднородных выборок данных, основанный на объединении подобных спектральных характеристик информационных сигналов в группы, описанных некоторым интервалом. Отмечено, что истинное расстояние от точки раздражения области хирургического вмешательства к обратному гортанному нерву находится в пределах построенного интервала расстояния. Такой подход позволяет построить единую математическую модель на основе радиально-базисных функций для прогнозирования расстояния от точки раздражения до гортанного нерва.

Результатами экспериментов подтверждена эффективность усовершенствованной информационной технологии для мониторинга гортанного нерва.

Ключевые слова: информационная технология, возвратный гортанный нерв, щитовидная железа, математическая модель с радиально-базисными функциями, спектральные характеристики, интервальный анализ данных.

Савка Надежда Ярославовна — канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры компьютерной инженерии, e-mail: nadya_savka@ukr.net ;

Гураль Ирина Владимировна — канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры компьютерной инженерии