

УДК 519.87:612.44

Н.І.ПАДЛЕЦЬКА, М.П.ДИВАК, А.В.ПУКАС, Ю.А.ГОРДІЄВИЧ, С.П.ВАЛЬЧИШИН

Тернопільський національний економічний університет

ПРОГРАМНА СИСТЕМА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЗВОРОТНОГО ГОРТАННОГО НЕРВА

У статті запропоновано та обґрунтовано алгоритмічну та програмну реалізацію системи для ідентифікації зворотного гортанного нерва під час хірургічного втручання на щитоподібній залозі. Система функціонує в режимі реального часу. Розроблена програмна система призначена для управління потоком інформаційних сигналів, отриманих в результаті подразнення тканини хірургічної рани, та подальшого їх опрацювання. Програмна система забезпечує візуалізацію покрокових результатів опрацювання отриманого інформаційного сигналу і повідомлення про тип тканини в точці подразнення хірургічної рани, що супроводжується сигналом у випадку подразнення зворотного гортанного нерва.

Проведено апробацію програмної системи для виявлення типу тканин хірургічної рани в процесі хірургічної операції для групи пацієнтів.

В результаті проведених досліджень встановлено, що під час хірургічного втручання на щитоподібній залозі в даного пацієнта з використанням розробленої програмної системи правильно прокласифіковано тип тканини хірургічної рани в усіх пацієнтів, що забезпечило безпомилкову ідентифікацію зворотного гортанного нерва.

Ключові слова: щитоподібна залоза, зворотний гортанний нерв, м'язова тканина, програмна система, інформаційний сигнал.

NATALIA PADLETSCA, MYKOLA DYVAK, ANDRIY PUKAS, YULIA HORDIIEVYCH, STEPAN VALCHYSHYN

Ternopil National Economic University

SOFTWARE SYSTEM TO STUDY THE IDENTIFICATION PROCESS RECURRENT LARYNGEAL NERVE

The article proposed and proved algorithmic and software implementation of the system to identify the recurrent laryngeal nerve during surgery on the thyroid gland. The system operates in real-time. The developed software system is designed to control the flow of information signals obtained as a result of stimulation of tissue of surgical wounds, and their subsequent processing. The software system provides step-by-step visualization of results of processing of the received information signal and reports the type of tissue at the point of irritation the surgical wound, which is accompanied by a signal of irritation of the recurrent laryngeal nerve.

The approbation of a software system identify the type of tissue surgical wounds in the course of surgical operations for patients.

As a result of the conducted researches it is established that during surgery on the thyroid gland in a given patient using the developed software system correctly preclasificado type tissue surgical wounds in all patients, which would have provided an unmistakable identification of the recurrent laryngeal nerve.

Key words: thyroid gland, recurrent laryngeal nerve, a muscle tissue, software system, the information signal.

Постановка задачі

Основною проблемою під час хірургічного втручання на щитоподібній залозі є виявлення зворотного гортанного нерва (ЗГН), пошкодження якого може призвести до погіршення функціонування голосового апарату, або ж дихальної системи людини.

Спосіб ідентифікації ЗГН з поміж м'язових тканин на хірургічній рані детально описаний в патенті [1]. Цей спосіб ґрунтується на подразненні області хірургічного втручання змінним електричним струмом фіксованої частоти та оцінюванні результатів цього подразнення на голосових зв'язках. У подальшому відбувається реєстрація фізіологічної реакції голосових зв'язок у вигляді акустичного сигналу з подальшим його перетворенням в електричний сигнал. Отриманий інформаційний сигнал містить певні інформативні ознаки, які вказують на подразнення ЗГН або ж м'язової тканини.

На основі проведених досліджень встановлено, що особливості гортані кожного пацієнта суттєвим чином впливають на характер отриманого інформаційного сигналу [2]. Тому виділення інформативних ознак з цього сигналу в процесі хірургічної операції на вибірці пацієнтів з метою ідентифікації ЗГН є досить складною задачею. Для розв'язування зазначеної задачі доцільно виявляти певні закономірності в отриманих сигналах, які є спільними для групи пацієнтів. Такі закономірності встановлено в працях [2,3,4]. Також розроблено метод та інформаційну технологію ідентифікації ЗГН [3,4], проте її програмна реалізація в режимі реального часу відсутня, що обумовлює актуальність задачі, наведеної в даній праці.

Особливості отримання інформаційного сигналу та його інформативних ознак для ідентифікації зворотного гортанного нерва

Розглянемо особливості отримання інформаційного сигналу для ідентифікації ЗГН.

Інформаційний сигнал, отриманий способом [1], є реакцією голосових зв'язок пацієнта на подразнення тканин хірургічної рани щитоподібної залози. В дихальній трубці, що розміщена в гортані пацієнта, встановлено над голосовими зв'язками сенсор звукових коливань, який реєструє коливання потоку повітря внаслідок подразнення тканин хірургічної рани маніпулятором перед хірургічним втручанням, що

під'єднаний до генератора змінного струму фіксованої частоти, для якої забезпечується мала провідність електричного сигналу м'язовими тканинами і висока провідність електричного сигналу гортанним нервом та м'язами, що керують натягом голосових зв'язок. Зафіксовані звукові коливання повітря перетворюються в електричний сигнал, підсилюються підсилювачем та передаються на аудіо-вхід звукової карти комп'ютера для подальшого опрацювання отриманого інформаційного сигналу.

Спираючись на дослідження у праці [3,4], інформативні ознаки, отриманого в процесі хірургічної операції електричного сигналу способом [1], дають змогу ідентифікувати тип тканини в точці подразнення на хірургічній рані. На рис.1 подано інформаційний сигнал, отриманий внаслідок подразнення 6-ти точок хірургічної рани. Виділені на рис.1. фрагменти інформаційного сигналу характеризують вдих-видих пацієнта під час подразнення м'язової тканини чи ЗГН.

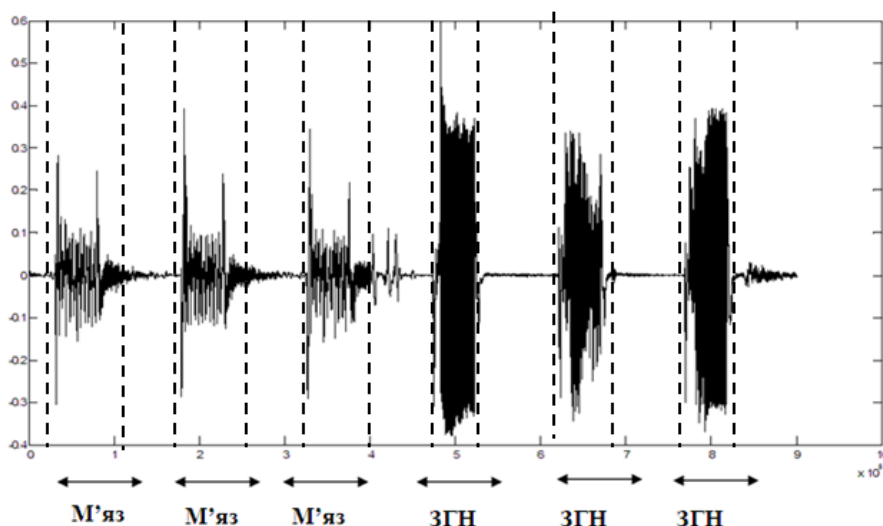


Рис.1. Інформаційний сигнал, отриманий під час подразнення тканин хірургічної рани

Виділення інформативних ознак з отриманого інформаційного сигналу є досить складним процесом, який включає в себе сукупність багатьох математичних і програмних методів. Основними інформативними ознаками, які дозволяють встановити, чи точка подразнення хірургічної рани належить ЗГН, чи – м'язовій тканині, є енергетичний спектр інформаційного сигналу та значення енергії у виділеному інтервалі частот.

Суть інформаційної технології опрацювання інформаційного сигналу в задачі ідентифікації ЗГН з тканин хірургічної рани [4], проілюстровано на рис.2.

Як видно з рис.2, ідентифікація тканин хірургічної рани внаслідок хірургічного втручання на щитоподібній залозі здійснюється поетапно.

Для отриманого інформаційного сигналу $u(t)$ на першому кроці із використанням технічних засобів (патент [1]) здійснюється сегментація (крок 2), якщо подразнення було здійснено протягом кількох вдихань та видихань пацієнтом повітря (рис.1). Внаслідок цього для множини сегментів, отриманих через подразнення тканини хірургічної рани в певній точці, застосовують математичні перетворення на наступних кроках для виділення інформативних ознак. На третьому кроці відбувається отримання автокореляційної функції (АКФ) [3] для сегментів інформаційного сигналу за наступною формулою [5]:

$$B_i(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} u_i(t) u_i(t - \tau) dt, \quad i = 1, \dots, m, \quad (1)$$

де m – кількість сегментів інформаційного сигналу (число m може бути різним), а $u_i(t)$ – i -тий сегмент інформаційного сигналу. В ході наступного кроку отримано енергетичні спектри сегментів інформаційного сигналу, застосовуючи перетворення Фур'є [5] до побудованих АКФ (1), за формулою:

$$|\dot{G}_{u_i}(f)|^2 = \Phi[B_{u_i}(\tau)] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} B_{u_i}(\tau) \cdot \cos(2\pi f \tau) d\tau, \quad i = 1, \dots, m, \quad (2)$$

де $|\dot{G}_{u_i}(f)|$ – спектральна густина i -го сегмента інформаційного сигналу $u(t)$, f – частота гармонічної складової.

Враховуючи дослідження в працях [3,4], оцінку енергії інформаційного сигналу або ж окремого сегменту здійснено за формулою:

$$E_i = \frac{1}{\pi} \int_{f_1}^{f_2} |\dot{G}_i(f)|^2 df, \quad i = 1, \dots, m, \quad (3)$$

де величина E_i задає значення енергії i -го сегмента інформаційного сигналу, яка зосереджена в діапазоні частот $[f_1; f_2]$.

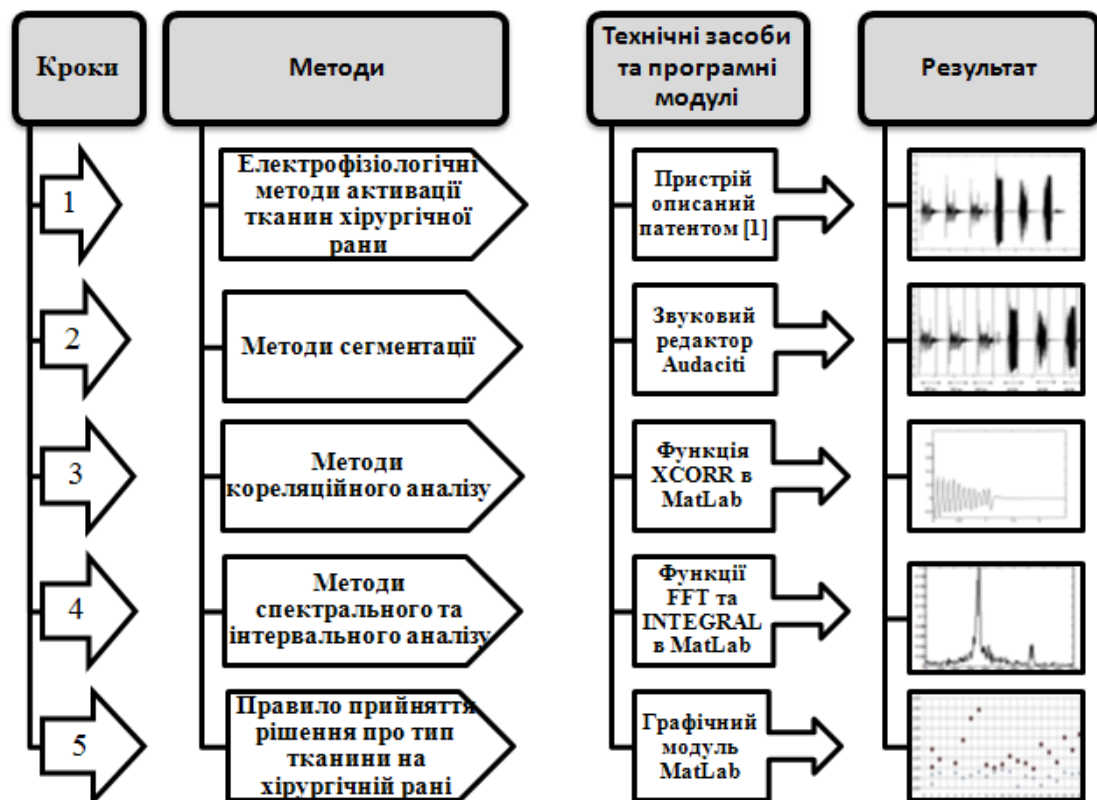


Рис.2. Схема інформаційної технології опрацювання інформаційного сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани.

У результаті виконаних перетворень на четвертому кроці для всього інформаційного сигналу отримано інтервальну оцінку енергії $[E^-; E^+]$, характерну для області подразнення на хірургічній рані. Отримана інтервальна оцінка гарантовано включає значення енергії E_i кожного сегмента інформаційного сигналу, тобто:

$$\forall E_i \in [E^-; E^+], i = 1, \dots, m \quad (4)$$

На п'ятому кроці отримані інтервальні оцінки енергії $[E^-; E^+]$ інформаційного сигналу порівнюють з пороговим інтервалом $[E_n^-; E_n^+]$, метод та алгоритм отримання якого описано в праці [4] за правилом виявлення: якщо для інтервальної оцінки енергії інформаційного сигналу у точці подразнення виконується нерівність за правилами $[E_m^-; E_m^+] < E_n^-$, то точка подразнення належить м'язовій тканині, якщо ж $[E_{згн}^-; E_{згн}^+] > E_n^+$, то точка подразнення належить ЗГН.

Спираючись на вище наведені математичні перетворення та дослідження, описані в працях [3,4], для опрацювання інформаційного сигналу авторами даної праці розроблено та запропоновано програмну систему для ідентифікації ЗГН, яка функціонує в режимі реального часу. Результатом функціонування системи є візуалізація та звукові повідомлення про тип тканини під час хірургічної операції протягом 0,5 секунди після подразнення тканин хірургічної рани.

Вимоги до програмної системи для ідентифікації зворотного гортанного нерва в режимі реального часу

Програмна система призначена для використання в реальному часі під час проведення операції, тому головним її завданням є попередити лікаря про наявність зворотного гортанного нерва в точці подразнення. Спочатку сформулюємо функціональні вимоги до програмної системи:

1. Зчитування сигналу зі звукового сенсора;
2. Запис сигналу до медіа-файлу;
3. Фільтрація дискретизованого сигналу;
4. Сегментація отриманого інформаційного сигналу;
5. Визначення інформативних ознак:
 - а) Отримання АКФ інформаційного сигналу;
 - б) Побудова енергетичного спектру інформаційного сигналу;
 - в) Визначення рівня енергії в заданому діапазоні частот;

6. Порівняння енергії з пороговим інтервалом;

7. Повідомлення про тип тканини в точці подразнення на хірургічній рані.

Тепер сформулюємо обов'язкові не функціональні вимоги до програмного продукту:

- Зручний графічний інтерфейс з палітрою кольорів в спокійних нейтральних тонах, інтерфейс не повинен містити зайвих елементів, які могли б відволікати увагу користувача. Інтерфейс повинен бути інтуїтивно зрозумілим та простим для користувачів.

- Система повинна коректно працювати і вихідні дані системи повинні залежати лише від сукупності вхідних даних, тобто вона повинна бути ізольована від зовнішніх впливів і результат повинен бути вірний за будь-яких умов.

- Захищеність від несанкціонованого доступу

- Програмна надійність – програма повинна бути стійкою до різноманітних дій користувача.

- Швидкість відгуку – для опрацювання сигналу в режимі реального часу 0,5 секунди. Система повинна миттєво та точно реагувати на дії користувача під час проведення операції.

- Гнучкість – розроблена архітектура повинна надавати можливість легко розширювати інформативні ознаки, які використовуються для ідентифікації ЗГН.

Проектування структури системи

Після аналізу предметної області та вимог до програмної системи розроблено її структуру, яка схематично представлена на рис 3. UML-діаграмою варіантів використання.

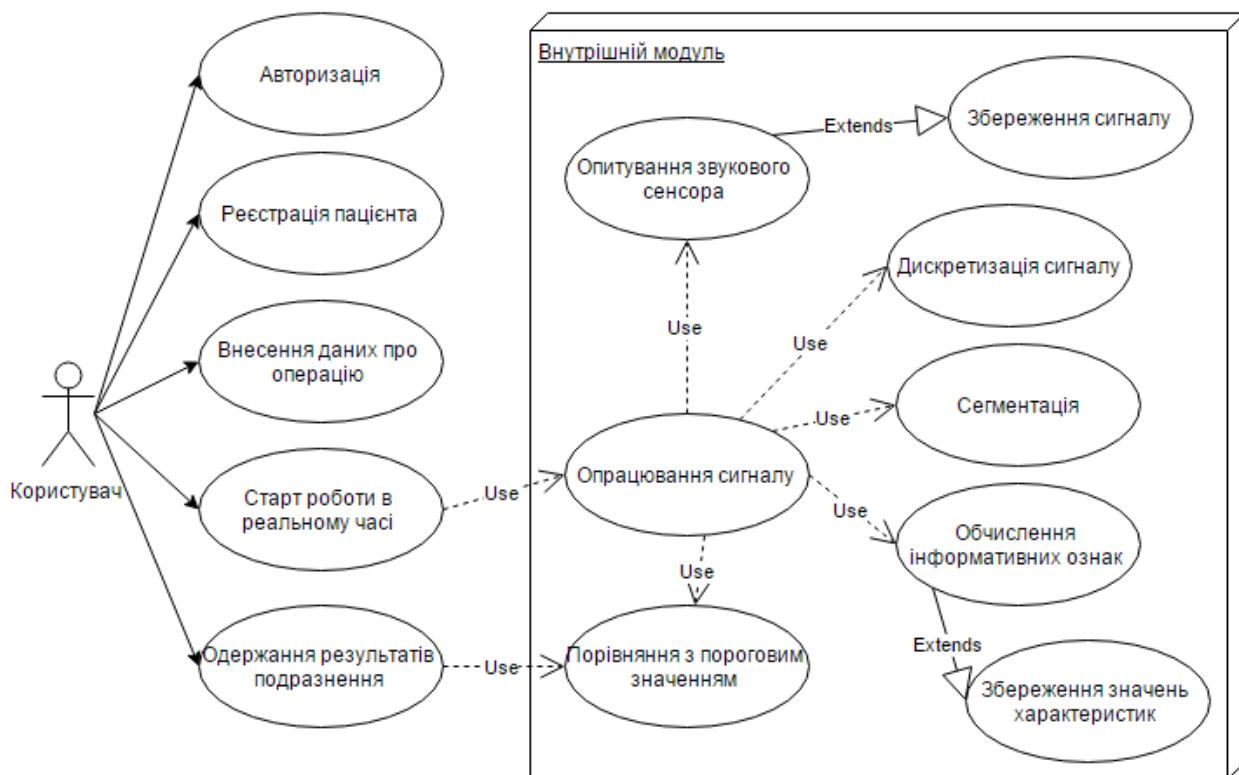


Рис 3. UML діаграма варіантів використання

Як бачимо з рис.3 користувач системи, у ролі якого може виступати як хірург, так і особа з необмеженим доступом, має можливість після авторизації виконувати операції додавання пацієнтів, опрацьовувати сигнали в реальному часі після запуску цієї функції та отримувати результати опрацювання.

Внутрішній модуль системи безпосередньо здійснює обробку вхідних сигналів, визначає інформативні ознаки та видає результат роботи: чи даний сигнал отриманий внаслідок подразнення гортанного нерва чи м'язової тканини. Після запуску користувачем системи, внутрішній модуль знаходиться в режимі опитування звукового сенсора. При надходженні сигналу, в іншому потоці проводиться обробка сигналу, однак опитування звукового сенсора не припиняється.

Як видно з діаграми класів (рис.4), у внутрішньому модулі головним класом є SignalManager. Цей клас інкапсулює в собі логіку опитування звукового сенсора, перетворення одержаного сигналу в цифровий сигнал, одержання інформативних характеристик та порівняння їх з пороговим значенням. У методі ReadSignal() у «вічному циклі» опитується звуковий сенсор, після одержання сигналу він конвертується у цифровий вигляд за допомогою класу SignalConverter. Після цього цифровий сигнал сегментується за допомогою SegmentManager, зокрема методу Segmentation(), який повертає масив сегментів. Одержані сегменти опрацьовує клас FeaturesCalculator до отримання значень енергії.

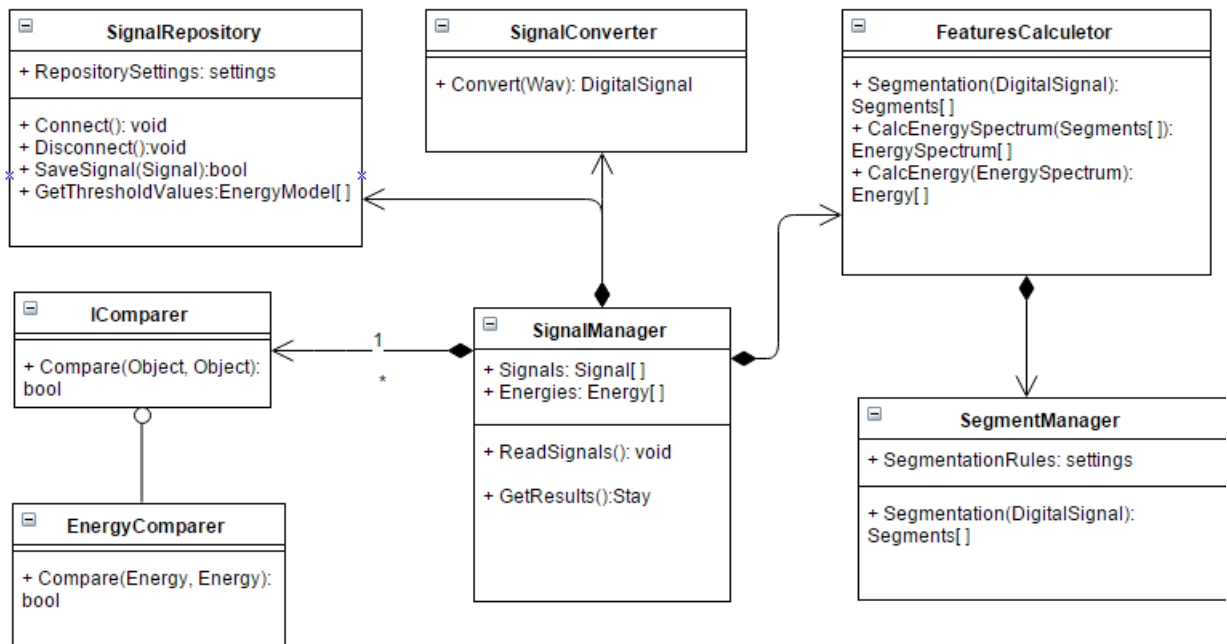


Рис.4. Діаграма класів

Подальше опрацювання проводиться використовуючи шаблон «Observer». Коли значення енергії отримано, їх записують до тимчасового потокобезпечного масиву Energies у SignalManager. При додаванні нових значень до масиву, сповіщається клас IComparer, який представлений класом EnergyComparer та є головним для SignalManager. Клас EnergyComparer «відповідальний» за читання даних з бази даних порогових значень, порівняння їх з щойно отриманими та формування відгуку користувачу. Вся робота з базою даних проводиться лише через SignalRepository, який є додатковим рівнем абстракції, що робить дану архітектуру незалежною від RDBMS, яка зараз використовується. Також усі інформаційні сигнали та отримані їх інформативні ознаки зберігаються в базі даних за допомогою SignalRepository для їх подальшого дослідження.

Якщо системою виявлено, що отриманий сигнал є результатом подразнення ЗГН, то для інформування користувача використовується звукове повідомлення (сигнал тривоги) та інформаційне повідомлення на екрані монітора.

Приклад реалізації програмної системи для ідентифікації тканин хірургічної рани в процесі хірургічної операції

Перед початком хірургічної операції на щитоподібній залозі лікар заносить в базу даних інформацію про пацієнта і викликає програмну систему. Система після запуску одразу ж переходить в режим опитування звукового сенсора на результат подразнення тканин хірургічної рани.

У процесі хірургічної операції хірург, перш ніж зробити надріз, шупом, що під'єднаний до генератора змінного струму фіксованої частоти, подразнює тканини хірургічної рани вздовж лінії майбутнього надрізу. Програмна система отримує інформаційний сигнал – реакцію на подразнення тканин хірургічної рани, зі звукового сенсора, з допомогою внутрішнього модуля опрацьовує, визначає інформативні ознаки вихідного сигналу та видає покрокові результати на екран монітора. Оскільки, хірурга в процесі хірургічного втручання цікавить тип тканини в точці подразнення, то результатом подразнення тканин хірургічної рани є візуальне повідомлення: «М'ЯЗОВА ТКАНИНА» або «ЗВОРОТНИЙ ГОРТАННИЙ НЕРВ». Остання також супроводжується звуком (попередження або сигнал тривоги). Такий підхід дозволяє лікареві проводити хірургічну операцію без неперервного відволікання уваги на екран монітора. На рис.5. зображено отриманий під час подразнення тканин хірургічної рани інформаційний сигнал.

З рис.5. видно, що подразнення тканини хірургічної рани було здійснено протягом одного вдиху-видиху пацієнтом повітря, тому етап сегментації під час опрацювання отриманого інформаційного сигналу опускається. На другому етапі візуалізовано

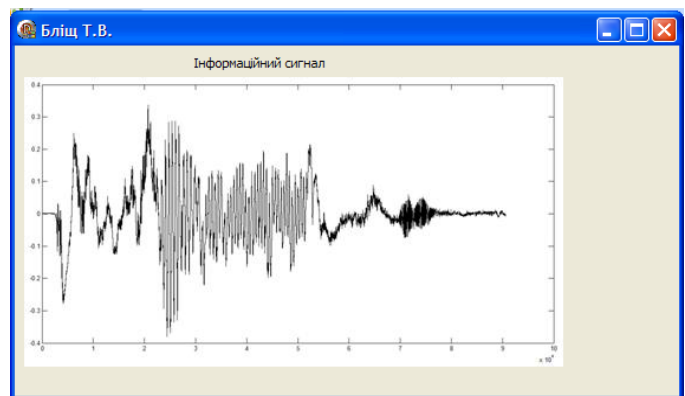


Рис.5. Зображення інформаційного сигналу

автокореляційну функцію для інформаційного сигналу. Отриманий результат АКФ відображено на рис.6.

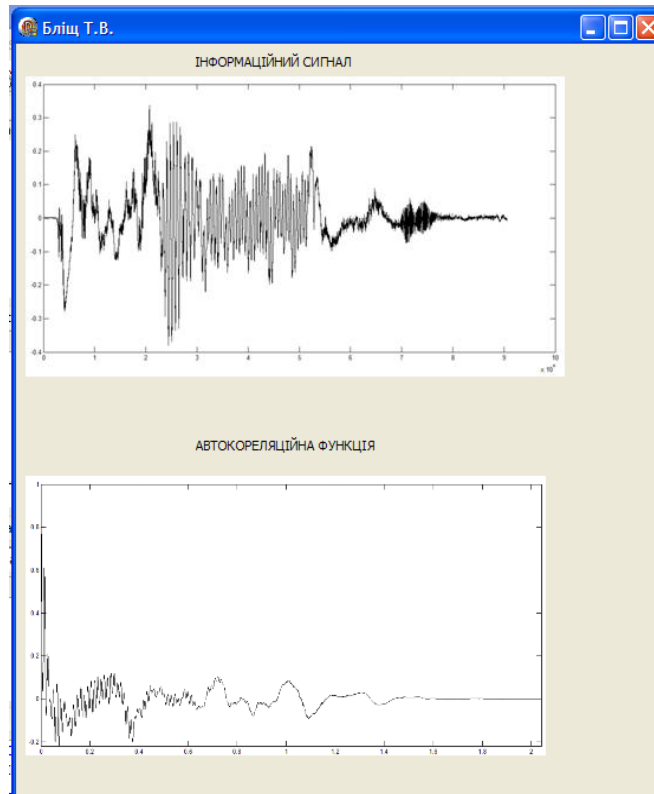


Рис.6. Зображення АКФ інформаційного сигналу.

На рис.7. візуалізовано результат побудови енергетичного спектру інформаційного сигналу.

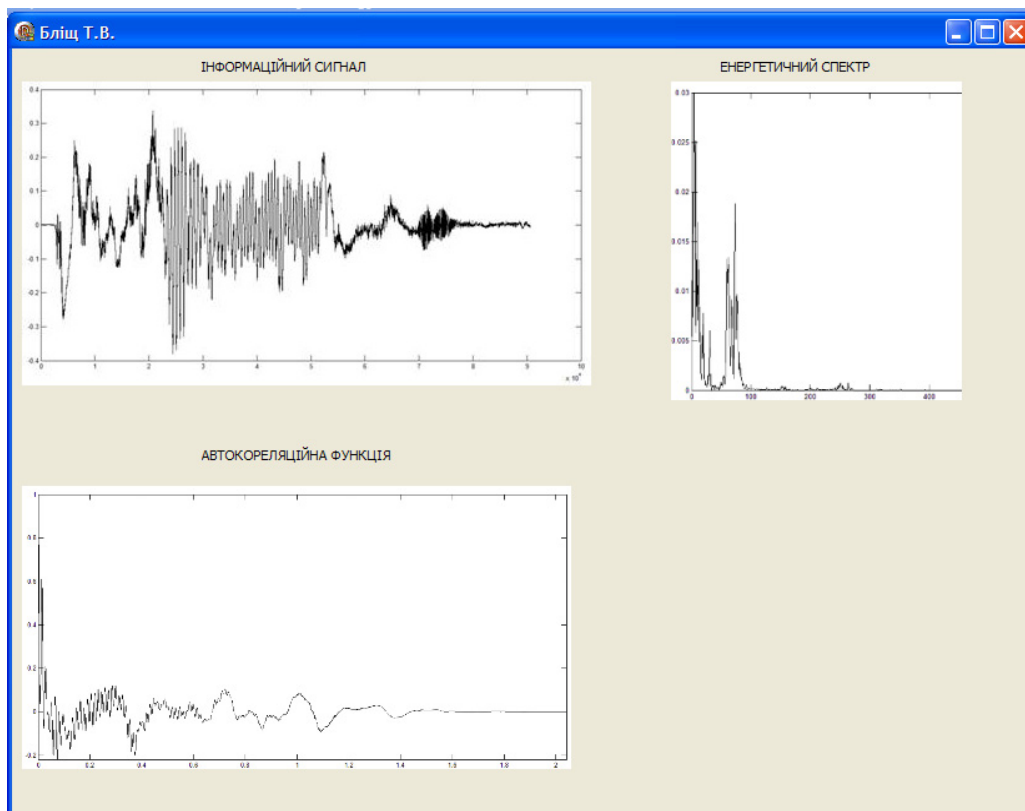


Рис.7. Зображення енергетичного спектру інформаційного сигналу.

На останньому етапі – проводиться порівняння отриманого значення енергії з пороговим інтервалом енергії за правилом виявлення. Результат порівняння на екрані монітора наведено на відеограмі рис.8, а результат порівняння для випадку подразнення ЗГН, наведено на відеограмі рис.9.

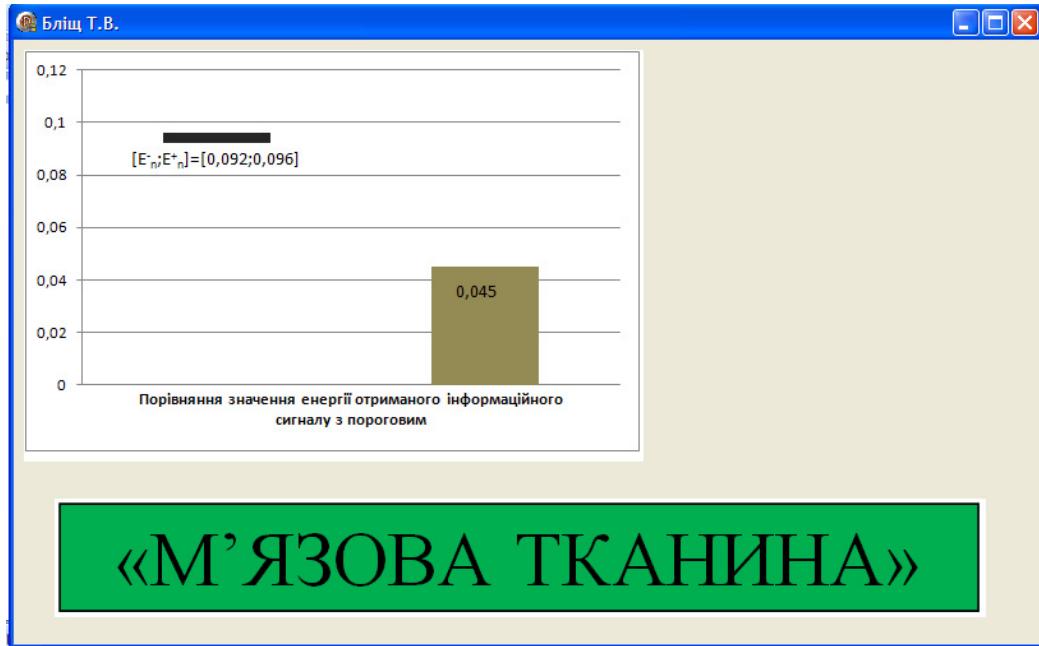


Рис.8. Результат опрацювання інформаційного сигналу у випадку подразнення м'язової тканини.

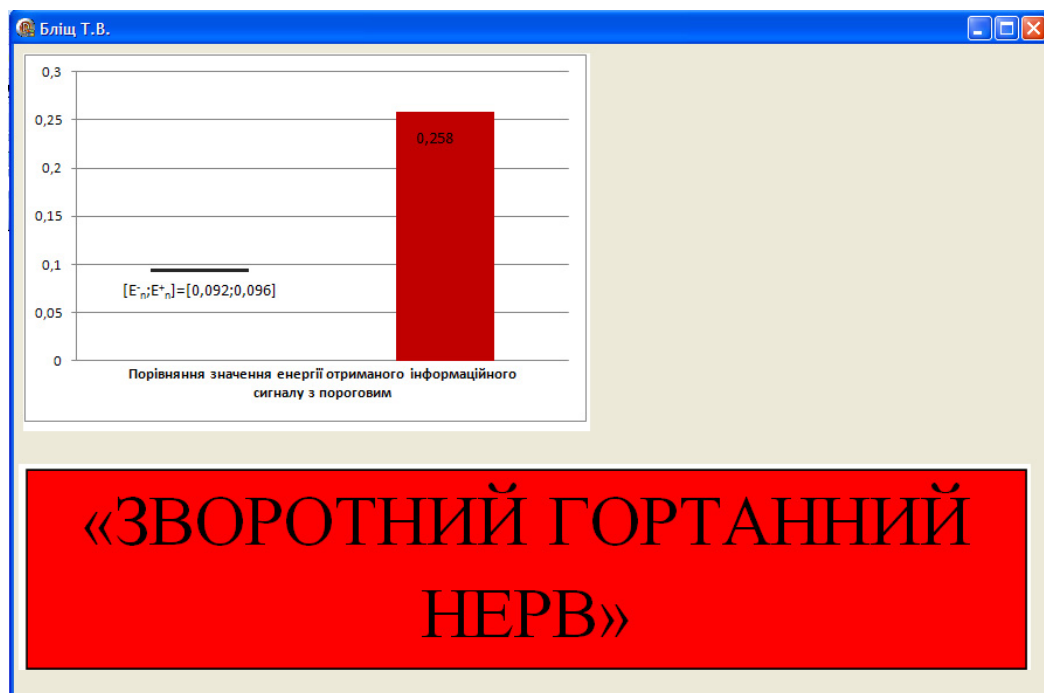


Рис.9. Результат опрацювання інформаційного сигналу у випадку подразнення ЗГН.

Після повідомлення хірургу про тип тканини хірургічної рани оновлення екрану здійснюється після поступлення нового інформаційного сигналу.

Висновки

Запропоновано та обґрунтовано програмну систему для ідентифікації ЗГН під час хірургічного втручання на щитоподібній залозі в режимі реального часу, що значно зменшує ризик його пошкодження в порівнянні з відомими підходами. Розроблена програмна система призначена для опрацювання потоку інформаційних сигналів, отриманих в результаті подразнення тканини хірургічної рани. Програмна система надає можливість візуалізації на моніторі поетапні результати опрацювання отриманого інформаційного сигналу і повідомлення про тип тканини в точці подразнення хірургічної рани. За бажанням користувача, видача проміжних результатів опрацювання інформаційного сигналу може бути заблокована.

Проведено апробацію програмної системи для виявлення типу тканини хірургічної рани в процесі хірургічних операцій і підтверджено її функціональну придатність.

Слід зауважити, що розроблена програмна система ґрунтується на встановленому емпірично пороговому інтервалі енергій, отриманого для певної (хоча і значної) вибірки пацієнтів [4], тому запропонована система не гарантує безпомилкову ідентифікацію ЗГН на хірургічній рані для будь-якого пацієнта.

Література

1. Патент України на корисну модель №51174 . Спосіб ідентифікації гортанного нерва з інших тканин хірургічної рани при проведенні хірургічних операцій на щитовидній залозі / Дивак М.П., Шидловський В.О., Козак О.Л. // Бюл. «Промислова власність» №13. – 2010.
2. M. Dyvak, N. Kasatkina, A. Pukas, N. Padletska, "Spectral analysis the information signal in the task of identification the recurrent laryngeal nerve in thyroid surgery", //PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN 0033-2097, R. 89 NR 6/2013 pp.275-277.
3. Дивак М. П. Метод інтервального аналізу енергетичного спектру інформаційного сигналу для задачі ідентифікації зворотного гортанного нерва / М. П. Дивак, Н. І. Падлецька. // Індуктивне моделювання складних систем. – 2014. – №6. – С. 69–80.
4. Падлецька Н. І. Інформаційна технологія для ідентифікації зворотного гортанного нерва під час хірургічної операції на щитовидній залозі / Н. І. Падлецька, М. П. Дивак // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. - 2015. - № 1. - С. 151-157.
5. Мандзій Б.А., Желяк Р.І. Основи теорії сигналів: Підручник / За ред. Б.А. Мандзія. – Львів: Видавничий дім «Ініціатива», 2008. – 240 с.

References

1. Patent Ukrayiny na korysnu model' №51174 . Sposib identyfikatsiyi hortannoho nerva z inshykh tkanyn khirurhichnoyi rany pry provedenni khirurhichnykh operatsiy na shchytovydniy zalozy / Dyvak M.P., Shidlovs'kyi V.O., Kozak O.L. // Byul. «Promyslova vlasnist» №13. – 2010.
2. M. Dyvak, N. Kasatkina, A. Pukas, N. Padletska, "Spectral analysis the information signal in the task of identification the recurrent laryngeal nerve in thyroid surgery", //PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN 0033-2097, R. 89 NR 6/2013 pp.275-277.
3. Dyvak M. P. Metod interval'noho analizu enerhetychnoho spektru informatsiynoho syhnalu dlya zadachi identyfikatsiyi zvorotnoho hortannoho nerva / M. P. Dyvak, N. I. Padlets'ka. // Induktyvne modelyuvannya skladnykh system. – 2014. – №6. – S. 69–80.
4. Padletska N. I. Informatsiyna tekhnolohiya dlya identyfikatsiyi zvorotnoho hortannoho nerva pid chas khirurhichnoyi operatsiyi na shchytovydniy zalozy / N. I. Padletska, M. P. Dyvak // Vymiryuval'na ta obchyslyval'na tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. - 2015. - № 1. - S. 151-157.
5. Mandziy B.A., Zhelyak R.I. Osnovy teorii syhnaliv: Pidruchnyk / Za red. B.A. Mandziya. – L'viv: Vydavnychyy dim «Initsiatyva», 2008. – 240 s.

Рецензія/Peer review : 19.11.2014 р.

Надрукована/Printed :20.10.2015 р.

УДК 537.312.52

М.Ф. БОГОМОЛОВ, Г.П. КАНЬШИНА, І.О. КАНЬШИН
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З ФОРМЕННИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ КРОВІ ЛЮДИНИ

В основу роботи покладена побудова теоретичної математичної моделі порівняння взаємодії лазерного випромінювання з ансамблем формених елементів крові (ФЕК) та одним ФЕК людини. Завдяки базовим рівнянням електродинаміки - рівнянням Максвелла - можна дослідити зміну параметрів ФЕК при взаємодії з лазерним променем. Відомі чотири варіанти взаємодії: поглинання, відбиття, розсіювання та проходження [1]. У силу великої різноманітності та структурованої складності біологічних систем, розробка адекватних оптичних моделей розсіювання і поглинання світла є найбільш складною частиною дослідження. Ці моделі охоплюють практично всі основні розділи оптики дисперсних середовищ: просте наближення однократного розсіювання, некогерентного розсіювання багаторазове, що описується рівнянням переносу, і багаторазове розсіювання електромагнітних хвиль в конденсованих системах, взаємодіючих розсіювачів або неоднорідностей.

Ключові слова: випромінювання, кров, елементарні частинки, лазер.

N. F. BOHOMOLOV, G.P. KANSZYNA, I.O. KANSHYN
National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

MATHEMATICAL MODEL OF LASER INTERACTION WITH HUMAN BLOOD CELLS

At the heart of the work is the construction of a theoretical mathematical model comparing the interaction of laser radiation with an ensemble of blood cells (EBC) EBC and one man. Due to the basic equations of Maxwell - you can change the parameters of the EBC to investigate the interaction with the laser beam. There are four options for interaction: absorption, reflection, scattering and transmission of [1]. By virtue of a wide variety of structured and complexity of biological systems, the development of adequate models of optical scattering and absorption of light is the most difficult part of the study. These models cover almost all the main sections of the optics of dispersive media: a simple single-scattering approximation, incoherent scattering multiple that is described by the transfer, and multiple scattering of electromagnetic waves in condensed systems interacting scatterers or discontinuities.

Tags: radiation, blood, elementary particles, laser

1. Актуальность

Глобальною задачею сучасної медичної оптики при дослідженні ФЕК є знаходження таких