

УДК 53.05: 617.753

Ткачук Роман, д.т.н., проф.; Ткачук Роман, аспірант

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
Україна

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ В МОДЕЛІ ТЕСТОВОГО ЕЛЕКТРОРЕТИНОСИГНАЛУ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ НЕЙРОТОКСИКАЦІЇ ЛЮДИНИ

Анотація. У роботі розглянуто особливості створення прототипу системи для параметричної ідентифікації моделі тестового електроретиносигналу (ЕРС) з метою оцінювання ризиків нейротоксикації (ідентифікація нейротоксикантів, оцінку їх типу, кількісних характеристик та тривалості впливу). Проведено аналіз різних методів оптимізації для параметричної ідентифікації моделі ЕРС викликану низькою інтенсивністю стимуляції. Особливу увагу приділено порівнянню часу обробки застосованих методів, аналізу їх часової складності та вивченню збіжності алгоритмів оброблення ЕРС у середовищі MATLAB. Дослідження показують, що застосування ефективних методів оптимізації може значно покращити точність і швидкість ідентифікації параметрів у моделі, що є критично важливим для своєчасного виявлення нейротоксикації в реальному часі та запобігання негативним наслідкам для здоров'я.

Ключові слова: електроретинсигнал, низька інтенсивність стимуляції, виявлення нейротоксикації, оптимізація обробки, ідентифікація параметрів.

Tkachuk Roman, D.Sc., Prof.; Tkachuk Roman, PhD Student
Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ukraine

OPTIMIZATION OF PARAMETERS IN THE TEST ELECTRORETINOSIGNAL MODEL FOR ASSESSING HUMAN NEUROTOXICITY RISKS

Abstract: This paper explores the development of a prototype system for the parametric identification of a test electroretinosignal (ERS) model aimed at assessing neurotoxicity risks, including the identification of neurotoxins, their type, quantitative characteristics, and exposure duration. Various optimization methods for the parametric identification of the ERS model induced by low-intensity stimulation are analyzed. Special attention is given to comparing the processing time of applied methods, analyzing their time complexity, and studying the convergence of ERS processing algorithms in the MATLAB environment. The findings demonstrate that the use of efficient optimization methods can significantly improve the accuracy and speed of parameter identification in the model, which is crucial for timely detection of neurotoxicity in real time and preventing adverse health effects.

Keywords: electroretinosignal, low-intensity stimulation, neurotoxicity detection, processing optimization, parameter identification.

1. Вступ.

Для сучасних досліджень ранніх стадій хвороб ока та стану зорового аналізатора важливо мати початкову достовірну інформацію та встановити причини проблем зору [1]. Відомий метод електроретинографії (ЕРГ) має особливе значення в дослідженнях розладів сітківки, оскільки здатний фіксувати ЕРС та результати про функціонування палочок і колбочок, що забезпечує діагностування зорового аналізатора [2-4]. Наприклад, при таких хворобах, як пігментний ретиніт, окремі генетичні розлади, що призводять до прогресуючої дегенерації сітківки, тому ЕРГ може виявляти функціонування зниження реакції фоторецепторів ще до появи клінічних симптомів. Також при виявленні діабетичної ретинопатії, поширеними ускладненнями діабету, яке впливає на кровоносні судини сітківки і є також важливим симптомом для оцінювання токсичності деяких ліків на ранніх стадіях їх вживання, а також оцінити блокувальний вплив деяких наночастинок на процеси зниження зорових функцій [5-7].

Розвиток мережевих комп'ютерних технологій та цифрового аналізу сигналів відгуку на різні види подразнення, значно розширив можливості ЕРГ. Сучасні системи вже використовують удосконалену фотостимуляцію на основі світлодіодних матриць для забезпечення контрольованих світлових стимулів заданої інтенсивності та потрібної довжини хвилі. Цей підхід забезпечує створення необхідних та відтворюваних умов тестування, що є необхідним для підвищення точності діагностики при довготривалих дослідженнях.

2. Дослідження методів визначення параметрів моделі тестового ЕРС.

Специфічність оброблення електроретинограм, при відборі сигналу в умовах наднизьких інтенсивностей подразнення світлом, викликають деякі ускладнення із забезпеченням точності і достовірності результатів. Враховуючи співвідношення сигнал/шум у ЕРГ, який може бути низьким при малих рівнях освітленості. А це означає, що реальний сигнал від сітківки може бути зашумлений фоновою електричною активністю під впливом інших джерел, що ускладнює виокремлення важливих інформативних параметрів ЕРГ і через цей вплив ускладнюється їх аналіз та інтерпретація. Цифрові методи обробки отриманих результатів дозволяють автоматизувати запис даних, що прискорює отримувати точніші вимірювання реакції сітківки, зміни морфологічних параметрів (амплітуд та часових компонентів) їх відхилення від специфічної форми. Ця активність реєструється у вигляді хвилі, що відображає функціональність різних шарів клітин сітківки. Важливість цього способу

полягає в періодичному тестуванні ЕРГ, тому офтальмологи можуть моніторити функцію сітківки в реальному часі, що дозволяє своєчасно втрутитися. Важливо, що ЕРГ також відіграє вирішальну роль при реєстрації впливу нових препаратів, невідомих потенційними побічними ефектами на сітківку ока, виявляючи нейротоксичні ефекти вже на початковій стадії дії на організм. Це потребує впровадження удосконалених методів фільтрації та обробки сигналів і всіх даних перед їхнім аналізом [5], що є неможливим без удосконалених математичних і обчислювальних процедур та інструментів для диференціації сигналу на всій його складові частини

Наявність артефактів, спричинених рухом ока, морганням або незначними зсувами в позиціонуванні електроду, можуть погіршити стабільність сигналу ЕРГ та створювати передумови щодо прийняття хибних висновків та їх ідентифікації. Виходом із цієї ситуації є й точнішого віднесення їх до конкретних категорій при патологічних станах. Фактори, такі як вік, індивідуальні параметри сітківки та загальний стан здоров'я, можуть спричиняти відхилення у показниках ЕРГ, що ускладнює встановлення діапазону стандартних еталонних значень. Ця міжіндивідуальна змінність підтверджує, що потрібна реєстрація значних баз даних та надійні моделі й алгоритми, які можуть враховувати ці відмінності з виділенням ознак достовірної діагностичної інформації. Удосконалена математична модель та алгоритми забезпечують оброблення сигналів скорочуючи тривалість процедури, а потужність обчислювальних ресурсів дозволяє виконувати це в реальному часі. Один тест може налічувати тисячі значень даних, їх аналіз вимагає потужних обчислювальних ресурсів та удосконалених алгоритмів оброблення для досягнення необхідної точності, які вирішують поставлені задачі.

В даній роботі запропоновано удосконалену математичну модель ЕРГ та розроблено основні засади побудови прототипу інформаційно-вимірювальної системи для вивчення змін функціонального стану сітківки на ранніх стадіях виявлення нейротоксичності. Ці результати спрямовані на покращення діагностичної корисності ЕРГ шляхом підвищення її точності, надійності та достовірності отриманих даних. їх інтерпретації. Визначення додаткових параметрів математичної моделі (коефіцієнтів різницевого рівняння) на основі застосування методу прямого повного перебору. У цьому випадку в дослідженнях для пришвидшення встановлення параметричної ідентифікації електроретинографічного сигналу використовувалися удосконалені алгоритми, такі як метод Хука-Дживса та метод спряжених градієнтів, в ситуаціях, коли функція не має аналітичної похідної або є недиференційованою [6,7]. Однак, ефективнішими серед відомих методів виявилися методи Бройдена-Флетчера-Голдфарба-Шанно (BFGS) та метод Нелдера-Міда. Метод BFGS

є ітераційним алгоритмом, призначеним для мінімізації функцій з нелінійними обмеженнями, який знижує обчислювальне навантаження порівняно з точними обчисленнями Гессіана. Метод Нелдера-Міда є одним з поширених методів оптимізації без обчислення похідних. Він працює через ітеративний процес, де набір точок, який називається симплексом, модифікується на кожній ітерації для пошуку мінімуму або максимуму функції та застосовується для широкого спектру задач оптимізації, включаючи ті, що мають кілька локальних мінімумів.

Збіжність цих алгоритмів залежить від природи цільової функції, початкових умов і конкретних обмежень задачі. Правильний вибір критеріїв збіжності та урахування контексту задачі дозволяє максимізувати ефективність оптимізаційного процесу. При наявності високопродуктивних комп'ютерів та удосконалених алгоритмів обробки результатів дослідження досягається можливість роботи в реальному часі, що значно скорочує процес отримання результатів і висновків про стан нейротоксикації людини.

Висновок.

Метод Нелдера-Міда відомий своєю універсальністю й надійністю забезпечує ефективність оптимізації складних, нерівномірних або шумних цільових функцій без пошуку значень та інформації про похідні. Його адаптивність в різномаанітних оптимізаційних умовах дозволяє створювати експертні електроретинографічні системи для задач ідентифікації ризиків нейротоксикації людини.

Проведено оцінювання часової складності застосованого алгоритму Нелдера-Міда та встановлено зменшення на 13-15% часу визначення коефіцієнтів при роботі системи в тестовому режимі оброблення електроретиносигналу.

Застосування запропонованого алгоритму Нелдера-Міда забезпечує в середньому на 10-30 % менше обчислювальних потужностей, що у реальному часі уможливорює його використання у прототипах експертних інформаційно-вимірювальних системах для аналізу параметрів нейротоксикації.

Джерела та література

1. Ткачук Р.А. Оптимізація ретинографічної системи для виявлення прихованого біологічного впливу на організм людини. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. Вінниця: ВНТУ. 2009. №2. С.145–152.

2. Cornish, E.E., Vaze, A., Jamieson, R.V. and Grigg, J.R., 2021. The electroretinogram in the genomics era: outer retinal disorders. *Eye*, 35(12), pp.2406-2418. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41433-021-01659-y>.

3. Tkachuk, R.A., Yavorsky, B.I. and Yanenko, O.P., 2015. Evaluation of the risk of neurotoxicity with the help of electroretinography. *Bulletin of the National Technical University of Ukraine Kyiv Polytechnic Institute, Ser. Radio engineering. Radio equipment construction*, 0(61), 108-115pp. DOI:10.33108/RADAR.2015.-61.108-115pp.

4. Robson, A.G., Nilsson, J., Li, S., Jalali, S., Fulton, A.B., Tormene, A.P., Holder, G.E. and Brodie, S.E., 2018. ISCEV guide to visual electrodiagnostic procedures. *Documenta Ophthalmologica*, 136(1), pp.1-26.

5. Tymkiv, P., 2021. Analysis of the Complexity of Algorithms for Finding the Coefficients of the Mathematical Model of Low-Intensity Electroretinosignal. In: *Advanced Applied Energy and Information Technologies 2021. Proceedings of the International Conference*, Ternopil, 15-17 December 2021, pp.145-150.

6. Muskingum Models Using Nelder-Mead Simplex Algorithm, 2011. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16(11), pp.946-954. DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000379.

7. Nocedal, J. and Wright, S.J., 2016. Optimization methods: A review. *SIAM Review*, 58(3), pp.492-525.

УДК 621.314

Яськів В.І., д.т.н., проф.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

Яськів А.В., к.т.н.

Економічний університет у Вроцлаві, Польща

Юрченко О.М., д.т.н., проф.

Інститут електродинаміки НАН України, Україна

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИСОКОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИСОКОЧАСТОТНИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Анотація. Представлено запропонований метод синхронного випрямлення в імпульсному стабілізаторі постійної напруги (ІСПН) на основі високочастотних магнітних підсилювачів (ВМП), що базується на використанні уже наявних в перетворювачі сигналів та відсутності будь-яких додаткових елементів чи спеціалізованих драйверів в його схемотехніці на відміну від загальноприйнятих підходів. Описано принцип його роботи. Приведено результати експериментального дослідження ефективності такого перетворювача на вихідну потужність 300-400 Вт при живленні його від джерела постійної напруги 310 В (еквівалент мережі промислової частоти). При цьому отримано ККД на рівні 95 %. На сьогодні це найвищий показник у світовій практиці в області перетворювальної техніки за критерієм ефективність/собівартість.