

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0824U002614

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 16-07-2024

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Буцій Роман Андрійович

2. Roman A. Butsiy

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-8415-8635

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 113

Назва наукової спеціальності: Прикладна математика

Галузь / галузі знань: математика та статистика

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Математичне моделювання та обчислювальні методи

Дата захисту: 08-08-2024

Спеціальність за освітою: комп'ютерна інженерія

Місце роботи здобувача:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): ДФ 26.255.009

Повне найменування юридичної особи: Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору

Код за ЄДРПОУ: 26022051

Місцезнаходження: Чоколовський бульвар, буд. 13, Київ, 03186, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору

Код за ЄДРПОУ: 26022051

Місцезнаходження: Чоколовський бульвар, буд. 13, Київ, 03186, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 20.54.07

Тема дисертації:

1. Моделювання та методи ефективного опрацювання циклічних сигналів в нейроінтерфейсних та кардіодіагностичних системах
2. Modeling and Methods for Effective Processing of Cyclic Signals in Neurointerface and Cardio-diagnostic Systems

Реферат:

1. Об'єктом дослідження є процес побудови математичної моделі та методів ефективного опрацювання циклічних біомедичних сигналів в сучасних неінвазивних нейроінтерфейсах, системах медичної діагностики та системах біометричної аутентифікації. Метою дисертаційного дослідження є розвиток математичних моделей та методів ефективного опрацювання циклічних біомедичних сигналів у сучасних неінвазивних нейроінтерфейсах, системах біометричної аутентифікації особи та системах медичної діагностики. Методи теорії випадкових процесів та векторів для моделювання ЕЕГ та ЕКГ сигналів, методи математичної статистики, а саме, методи статистичного точкового та інтервального оцінювання для побудови методів опрацювання біомедичних циклічних та верифікації їх математичних моделей. Методи спектрального

аналізу сигналів для зменшення розмірності діагностичного простору у нейроінтерфейсних та кардіодіагностичних системах. Методи машинного навчання в задачах класифікації сигналів. Розроблена у дисертації нова математична модель сукупності EEG сигналів у вигляді вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів та ефективні методи статистичного опрацювання EEG та EKG сигналів удосконалюють відоме математичне забезпечення сучасних неінвазивних нейроінтерфейсів, систем медичної діагностики та систем біометричної аутентифікації особи за її фізіологічними сигналами. На основі отриманих у дисертації нових теоретичних та прикладних результатів, на мові Python розроблено програмне забезпечення для попереднього та основного (статистичного та спектрального) ритмоадаптивного опрацювання циклічних біомедичних сигналів, а також для проведення процедури класифікації із використанням типових засобів машинного навчання (k -Nearest Neighbors, Linear SVM, Decision Tree, Random Forest, Multilayer Perceptron, Adaptive Boosting, Naive Bayes) в неінвазивних нейроінтерфейсних системах та системах біометричної аутентифікації особи за EKG. Новизна: вперше розроблено та верифіковано нову математичну модель сукупності електроенцефалографічних (EEG) сигналів із різних відведень (електродів), зареєстрованих в умовах багаторазового повторення ментальних керуючих впливів оператора неінвазивного нейроінтерфейсу, у вигляді вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів; вперше, обґрунтовано методи їх ритмоадаптивного статистичного опрацювання, що дало змогу сформулювати множину потенційно чутливих до ментального впливу оператора нейроінтерфейсу інформативних характеристик EEG сигналів; вперше розроблено високоефективний ритмоадаптивний метод біометричної аутентифікації особи за її EKG, зокрема, за лише одним циклом EKG; вперше обґрунтовано оптимальні вектори інформативних ознак в нейроінтерфейсних системах та в системах біометричної аутентифікації особи за EKG. Результати дисертаційного дослідження впроваджено у навчальний процес Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та в науково-дослідну роботу Тернопільського національного медичного університету імені І. Я. Горбачевського. Сфера використання: медична діагностика функціонального стану серця людини, а також систем динамічної біометричної аутентифікації особи за її біомедичними циклічними сигналами.

2. The object of the research is the process of building a mathematical model and methods of effective processing of cyclic biomedical signals in modern non-invasive neurointerfaces, medical diagnostic systems and biometric authentication systems. The aim of the dissertation research is the development of mathematical models and methods of effective processing of cyclic biomedical signals in modern non-invasive neurointerfaces, biometric personal authentication systems and medical diagnostic systems. Methods of the theory of random processes and vectors for modeling EEG and ECG signals, methods of mathematical statistics, namely, methods of statistical point and interval estimation for building methods of processing biomedical cyclical and verification of their mathematical models. Methods of spectral analysis of signals to reduce the dimensionality of the diagnostic space in neurointerface and cardiodiagnostic systems. Methods of machine learning in signal classification problems. The dissertation developed a new mathematical model of the set of EEG signals in the form of a vector of cyclic rhythmically connected random processes and effective methods of statistical processing of EEG and ECG signals improve the well-known mathematical support of modern non-invasive neurointerfaces, medical diagnostic systems and systems for biometric authentication of a person based on his physiological signals. Based on the new theoretical and applied results obtained in the dissertation, software was developed in the Python language for preliminary and basic (statistical and spectral) rhythm-adaptive processing of cyclic biomedical signals, as well as for the classification procedure using typical machine learning tools (k -Nearest Neighbors, Linear SVM, Decision Tree, Random Forest, Multilayer Perceptron, Adaptive Boosting, Naive Bayes) in non-invasive neurointerface systems and systems of biometric authentication of a person based on ECG. Novelty: for the first time, a new mathematical model of a set of electroencephalographic (EEG) signals from different leads (electrodes), registered under the conditions of multiple repetition of the mental controlling influences of the operator of a non-invasive neurointerface, in the form of a vector of cyclic rhythmically connected random processes, was developed and verified for the first time; for the first time, the methods of their rhythm-adaptive statistical processing were substantiated, which made it possible to form a set of informative characteristics of EEG signals potentially

sensitive to the mental influence of the neurointerface operator; for the first time, a highly effective rhythm-adaptive method of biometric authentication of a person based on his ECG was developed, in particular, based on only one ECG cycle; for the first time, the optimal vectors of informative features in neurointerface systems and in systems of biometric authentication of a person based on the ECG were substantiated. The results of the dissertation research were implemented in the educational process of the Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyu and in the research work of the Ternopil National Medical University named after I. Ya. Gorbachevskii. Scope of use: medical diagnostics of the functional state of the human heart, as well as systems of dynamic biometric authentication of a person based on his biomedical cyclical signals.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Науки про життя, нові технології профілактики та лікування найпоширеніших захворювань

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Впровадження нових технологій та обладнання для якісного медичного обслуговування, лікування, фармацевтики

Підсумки дослідження: Нове вирішення актуального наукового завдання

Публікації:

1. Lupenko, S.; Butsiy, R. Isomorphic Multidimensional Structures of the Cyclic Random Process in Problems of Modeling Cyclic Signals with Regular and Irregular Rhythms. *Fractal Fract.* 2024, 8, 203. [Article, Scopus, Web of Science, Google Scholar, JCR – Q1, CiteScore – Q1, SJR – Q2, Impact Factor 5.4, ISSN 2504-3110] doi:<https://doi.org/10.3390/fractalfract8040203>
2. Lupenko, S.; Butsiy, R.; Shakhovska, N. Advanced Modeling and Signal Processing Methods in Brain-Computer Interfaces Based on a Vector of Cyclic Rhythmically Connected Random Processes. *Sensors* 2023, 23, 760. [Article, Scopus, Web of Science, Google Scholar, JCR – Q2, CiteScore – Q1, SJR – Q2, Impact Factor 3.9, ISSN 1424-8220] doi:<https://doi.org/10.3390/s23020760>
3. Lupenko, S.; Butsiy, R.; Volyanyk, O.; Stadnyk, N. Advanced Signal Processing and Classification of EEG Patterns in Neurointerface Systems. In *Proceedings of the 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2023)*, Ternopil, Ukraine, Opole, Poland, 22–24 November 2023, 3628, 156–164. [Article, Scopus, Web of Science, Google Scholar, ISSN 1613-0073]
4. Butsiy, R.; Lupenko, S. Comparison of Modern Methods of Classification of EEG Patterns for Neurointerface Systems. In: Yang, X.S., Sherratt, S., Dey, N., Joshi, A. (eds) *Proceedings of Seventh International Congress on Information and Communication Technology. Lecture Notes in Networks and Systems*; Springer, Singapore, 2022, 465, 345–354. [Article, Scopus, Google Scholar, ISSN 2367-3370] doi:https://doi.org/10.1007/978-981-19-2397-5_32
5. Butsiy, R.; Lupenko, S.; Zozulya, A. Comprehensive justification for the choice of software development tools and hardware components of a multi-channel neurointerface system. *2021 IEEE 16th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*, 2021, 1, 309–312. [Article, Scopus, Google Scholar, ISSN 2766-3639] doi:<https://doi.org/10.1109/CSIT52700.2021.9648788>
6. Butsiy, R.; Lupenko, S. Comparative Analysis of Neurointerface Technologies for the Problem of Their Reasonable Choice in Human-Machine Information Systems. *Sci. J. TNTU (Tern.)*, 2020, 4, 135–148. [Article, Index Copernicus, Google Scholar, ISSN 2522-4433] doi:https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2020.04.135
7. Lupenko, S.; Butsiy, R. Express Method of Biometric Person Authentication Based on One Cycle of the ECG Signal. *Sci. J. TNTU (Tern.)*, 2024, 113, 100–110. [Article, Index Copernicus, ISSN 2522-4433] doi:https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2024.01.100
8. Лупенко, С.; Буцїй, Р. Сучасні нейроінтерфейсні технології: актуальність, перспективи та складності. У Матеріалах міжнародної наукової конференції “Іван Пулюй: життя в ім’я науки та України” (до 175-ліття від дня народження), 28-30 вересня 2020 р.; ТНТУ: Тернопіль, Україна, 2020, 81–82. [Conference Paper,

Google Scholar]

- 9. Буцїй, Р.; Лупенко, С. Аналіз основних характеристик комерційних нейроінтерфейсів. У Матеріалах ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів, 25-26 листопада 2020 р.; ТНТУ: Тернопіль, Україна, 2020, 2, 9-10. [Conference Paper, Google Scholar]
- 10. Катеринюк, І.; Лупенко, С.; Буцїй, Р. Аудіоінтерфейсні та нейроінтерфейсні технології вводу діагностичної інформації в інформаційну систему "Імідж-Терапевт" для народної медицини. У Матеріалах ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів, 25-26 листопада 2020 р.; ТНТУ: Тернопіль, Україна, 2020, 2, 24-25. [Conference Paper, Google Scholar]
- 11. Буцїй, Р.; Лупенко, С. Аналіз методів для задач опрацювання сигналів нейроінтерфейсних систем. У Матеріалах п науково-технічної конференції "Інформаційні моделі, системи та технології", 9-10 грудня 2020 р.; ТНТУ: Тернопіль, Україна, 2020, 3. [Conference Paper, Google Scholar]
- 12. Буцїй, Р.; Лупенко, С. Підхід до побудови доступних за ціною дослідницьких нейроінтерфейсних систем. У Матеріалах ХХ Міжнар. наук.-практ. конф. "Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях", 4-8 жовтня 2021 р.; Юстон: Київ, Україна, 2021, 131-134. [Conference Paper]
- 13. Буцїй, Р.; Лупенко, С. Принцип керування роботизованою рукою зі зворотним зв'язком за допомогою нейроінтерфейсу. У Матеріалах ІХ Науково-технічної конференції "Інформаційні моделі, системи та технології", 8-9 грудня 2021 р.; Тернопіль, Україна, 2021, 3. [Conference Paper]
- 14. Лупенко, С; Буцїй, Р. Математична модель векторної ЕЕГ у вигляді вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів. У Матеріалах ХХІ Міжнар. наук.-практ. конф. "Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток", 14-16 листопада 2022 р.; Юстон: Київ, Україна, 2022, 49-52. [Conference Paper, Google Scholar]
- 15. Лупенко, С; Буцїй, Р. Дослідження класифікаторів для інтерфейсів мозок-комп'ютер на основі сигналів ЕЕГ. У Матеріалах ХХІІ Міжнар. наук.-практ. конф. "Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток", 14-15 листопада 2023 р.; Юстон: Київ, Україна, 2023, 57-59. [Conference Paper]

Наукова (науково-технічна) продукція:

Соціально-економічна спрямованість: поліпшення якості життя та здоров'я населення, ефективності діагностики та лікування хворих

Охоронні документи на ОПІВ:

Впровадження результатів дисертації: Впроваджено

Зв'язок з науковими темами: 0119U000509

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Лупенко Сергій Анатолійович

2. Sergij A. Lupenko

Кваліфікація: д. т. н., професор, 01.05.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-6559-0721

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Код за ЄДРПОУ: 05408102

Місцезнаходження: вул. Руська, буд. 56, Тернопіль, Тернопільський р-н., 46001, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Юзефович Роман Михайлович

2. Roman M. Yuzefovych

Кваліфікація: д.т.н., професор, 01.05.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-5546-453X

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка
Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 03534506

Місцезнаходження: вул. Наукова, буд. 5, Львів, 79060, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Марченко Надія Борисівна

2. Marchenko Nadiia B.

Кваліфікація: к.т.н., доц., 05.13.05

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут електродинаміки Національної академії наук
України

Код за ЄДРПОУ: 05417236

Місцезнаходження: пр. Берестейський, буд. 56, Київ, 03057, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Литвиненко Ярослав Володимирович
2. Iaroslav V. Lytvynenko

Кваліфікація: д. т. н., професор, 01.05.02**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-7311-4103**Додаткова інформація:****Повне найменування юридичної особи:** Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя**Код за ЄДРПОУ:** 05408102**Місцезнаходження:** вул. Руська, буд. 56, Тернопіль, Тернопільський р-н., 46001, Україна**Форма власності:** Державна**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України**Ідентифікатор ROR:****Рецензенти****Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Васянін Володимир Олександрович
2. Volodymyr O. Vasyanin

Кваліфікація: д. т. н., с.н.с., 01.05.02**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-4046-5243**Додаткова інформація:** <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6507111909>**Повне найменування юридичної особи:** Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору**Код за ЄДРПОУ:** 26022051**Місцезнаходження:** Чоколовський бульвар, буд. 13, Київ, 03186, Україна**Форма власності:** Державна**Сфера управління:** Національна академія наук України**Ідентифікатор ROR:****Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Калюх Юрій Іванович
2. Yurii I. Kalyukh

Кваліфікація: д.т.н., професор, 01.05.02**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-7240-4934**Додаткова інформація:****Повне найменування юридичної особи:** Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору

Код за ЄДРПОУ: 26022051

Місцезнаходження: Чоколовський бульвар, буд. 13, Київ, 03186, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові
голови ради**

Калюх Юрій Іванович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові
головуючого на засіданні**

Калюх Юрій Іванович

**Відповідальний за підготовку
облікових документів**

Буцій Роман Андрійович

Реєстратор

УкрІНТЕІ

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є
відповідальним за реєстрацію наукової
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна