

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ХВОРОБИ АЛЬЦГЕЙМЕРА ТА ФРОНТОТЕМПОРАЛЬНОЇ ДЕМЕНЦІЇ НА ОСНОВІ СИГНАЛІВ ЕЛЕКТРОЕНЦЕФАЛОГРАФА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі було обґрунтовано вибір ансамблю нейронних мереж DNN, RNN, LSTM та BiLSTM для діагностування хвороби Альцгеймера та фронтотемпоральної деменції на основі сигналів електроенцефалографа, які перетворюються у скалограми за допомогою неперервного вейвлет-перетворення (CWT). Програмне забезпечення для діагностування хвороби Альцгеймера та фронтотемпоральної деменції створено на мові програмування Python. Навчання та тестування програмного забезпечення відбувалось з використанням набору даних записів EEG у стані спокою 88 осіб, включаючи 36 осіб з діагнозом хвороба Альцгеймера (АГ), 23 з фронтотемпоральною деменцією (ФТД) і 29 здорових осіб. Розроблене програмне забезпечення має середню достовірність діагностування хвороби Альцгеймера та фронтотемпоральної деменції 95%, а кращий з аналогів – 93%.

Ключові слова: хвороба Альцгеймера, фронтотемпоральна деменція, EEG, скалограма, нейронна мережа, класифікація, нейродегенеративні захворювання.

Abstract

The paper substantiated the choice of an ensemble of neural networks DNN, RNN, LSTM and BiLSTM for diagnosing Alzheimer's disease and frontotemporal dementia based on electroencephalograph signals, which are converted into scalograms using continuous wavelet transform (CWT). The software for diagnosing Alzheimer's disease and frontotemporal dementia was created in the Python programming language. The software was trained and tested using a dataset of resting EEG recordings of 88 individuals, including 36 individuals diagnosed with Alzheimer's disease (AD), 23 with frontotemporal dementia (FTD) and 29 healthy individuals. The developed software has an average accuracy of diagnosing Alzheimer's disease and frontotemporal dementia of 95%, and the best among analogues is 93%.

Keywords: Alzheimer's disease, frontotemporal dementia, EEG, scalogram, neural network, classification, neurodegenerative diseases.

Вступ

Хвороба Альцгеймера (АГ) та фронтотемпоральна деменція (ФТД) становлять серйозні проблеми сучасної медицини, які суттєво впливають на якість життя пацієнтів та їхніх близьких. З відповідним ростом середнього віку населення зростає й розповсюдженість цих нейродегенеративних захворювань, що підкреслює необхідність ефективних методів їхньої діагностики та класифікації, оскільки раннє виявлення захворювання дозволяє вчасно розпочати лікування та підтримувати якість життя пацієнтів. АГ є найпоширенішим типом деменції, становлячи 60—70% від загальної кількості випадків. Симптоми АГ включають втрату пам'яті, зміни в когнітивних функціях та здатність до щоденної діяльності. ФТД починається з пошкодження клітин в областях мозку, відповідальних за особистість, емоції, поведінку та мову. Симптоми ФТД включають зміни в поведінці, втрату емоційного контролю та проблеми з мовою. Рання діагностика ФТД допомагає пацієнтам та їхнім родинам зрозуміти хворобу та планувати майбутнє.

Метою роботи є підвищення достовірності діагностування хвороби Альцгеймера та фронтотемпоральної деменції на основі сигналів електроенцефалографа за рахунок використання ансамблю нейронних мереж.

Результати досліджень

У роботі було розглянуто задачу діагностування хвороби Альцгеймера та фронтотемпоральної деменції на основі сигналів електроенцефалографа. В ході аналізу предметної області спираючись на аналіз існуючих рішень для часово-частотного представлення сигналів EEG

було обрано використання неперервне вейвлет-перетворення (CWT) для формування графічного представлення сигналів ЕЕГ [1]. Потім, на основі порівняльного аналізу було розглянуто існуючі методи діагностування хвороби Альцгеймера та фронтотемпоральної деменції та обґрунтовано вибір методу на основі застосування глибокого навчання, що має добре задовольняти критерії достовірності, чутливості, специфічності, гнучкості та стійкості в задачі класифікації хвороби Альцгеймера (АГ) та фронтотемпоральної деменції (ФТД). Було проведено аналіз програмних засобів діагностування хвороби Альцгеймера та фронтотемпоральної деменції, який показав, що середня достовірність їх роботи не перевищує 93%.

Було розроблено процес екстракції векторів ознак, застосовано системний підхід для вибору оптимального екстрактора ознак, налаштування моделей класифікації, аналізу їхніх сильних і слабких сторін, проведення налаштування та підкреслено важливість перехресної валідації з одним пропуском (LOOCV) для надійної оцінки. Було обґрунтовано вибір параметрів неперервного вейвлет-аналізу для вилучення дискримінативних ознак зі скалограм сигналів ЕЕГ. Також було створено кілька моделей класифікації з використанням обраного екстрактора ознак, що включили такі архітектури нейронних мереж, як DNN [2], RNN, LSTM [3] та BiLSTM. Було проведено ретельний аналіз сильних і слабких сторін моделей, враховуючи такі фактори, як обчислювальна складність, інтерпретованість і здатність до узагальнення. Вибір гіперпараметрів був здійснений шляхом ітеративних експериментів, де різні конфігурації були протестовані та оцінені з використанням валідаційних наборів даних.

Було розроблено та описано програмне забезпечення для автоматизованої діагностики хвороби Альцгеймера, фронтотемпоральної деменції або здорового стану. Для вирішення цієї задачі було обрано набір даних, опублікований у 2023 році. Він є добре задокументованим, а також відрізняється високою роздільною здатністю, якістю збору та обробки даних. В результаті тестування розробленої програми було доведено її повну працездатність та відповідність поставленому завданню. Моделі бінарної класифікації було навчено на 75% даних, тобто 88 пацієнтах. Найкраща модель для задачі АГ/КГ досягла достовірності 95%, для задачі ФТД/КГ — 91%, а АГ/ФТД — 90%. Середня достовірність діагнозів ансамблю склала 95% через що можна зробити висновок, що об'єднання результатів різних моделей дозволяє врахувати більшу кількість ознак і зменшити ймовірність помилкових діагнозів, а також дало можливість залишати діагноз невизначеним у неоднозначних ситуаціях. Таким чином, створення ансамблю з трьох окремих моделей бінарної класифікації для діагностики АГ, ФТД та здорового стану є ефективним підходом, який забезпечує високу точність і надійність діагностики. Це рішення враховує різні аспекти захворювань і зменшує ймовірність помилок, що є критично важливим для клінічного застосування. Середня достовірність діагностування хвороби Альцгеймера та фронтотемпоральної деменції розробленою системою становить 95%, а кращим з аналогів [4] — 93%. Тобто середня достовірність діагностування хвороби Альцгеймера та фронтотемпоральної деменції підвищена на 2 %, що свідчить про досягнення мети магістерської кваліфікаційної роботи.

Висновки

У цій роботі запропонована розробка інформаційної технології для автоматизованої класифікації хвороби Альцгеймера та фронтотемпоральної деменції на основі графіків ЕЕГ. Наш підхід базується на використанні скалограм, які дозволяють візуалізувати часово-частотні характеристики сигналів ЕЕГ, а також на застосуванні попередньо натренованих моделей різних нейронних мереж для автоматичної класифікації. Таким чином, було обґрунтовано вибір ансамблю нейронних мереж DNN, RNN, LSTM та BiLSTM для діагностування хвороби Альцгеймера та фронтотемпоральної деменції на основі сигналів електроенцефалографа, які перетворюються у скалограми за допомогою неперервного вейвлет-перетворення (CWT). Програмне забезпечення для діагностування хвороби Альцгеймера та фронтотемпоральної деменції створено на мові програмування Python з використанням спеціалізованих бібліотек NumPy та Matplotlib. Навчання та тестування програмного забезпечення відбувалось з використанням набору даних записів ЕЕГ у стані спокою 88 осіб, включаючи 36 осіб з діагнозом хвороба Альцгеймера (АГ), 23 з фронтотемпоральною деменцією (ФТД) і 29 здорових осіб. Розроблене програмне забезпечення має середню достовірність діагностування хвороби Альцгеймера та фронтотемпоральної деменції 95%, а кращий з аналогів — 93%. Таким чином, розроблене програмне забезпечення має порівняно з аналогом збільшену на 2% достовірність діагностування хвороби Альцгеймера та фронтотемпоральної деменції..

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Zheng X, Wang B, Liu H, Wu W, Sun J, Fang W, et al. Diagnosis of Alzheimer's disease via resting-state EEG: integration of spectrum, complexity, and synchronization signal features // *Frontiers in Aging Neuroscience*. – 2023. – Т. 15.
2. Fouladi S, Safaei A, Mammone N, Gh F, Ebadi M J. Efficient Deep Neural Networks for Classification of Alzheimer's Disease and Mild Cognitive Impairment from Scalp EEG Recordings // *Cognitive Computation*. – 2022. – Т. 14.
3. Pasak S, Jayadi R. Investment Decision on Cryptocurrency: Comparing Prediction Performance Using ARIMA and LSTM // *Journal of Information Systems and Informatics*. – 2023. – Т. 5. – 407-427 с.
4. Lal U, Chikkankod A V, Longo L. A Comparative Study on Feature Extraction Techniques for the Discrimination of Frontotemporal Dementia and Alzheimer's Disease with Electroencephalography in Resting-State Adults // *Brain Sciences*. – 2024. – Т. 14.

Пересенчук Максим Олегович — студент групи 1КН-24м, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: peresenhuk2003@gmail.com

Колесницький Олег Костянтинович — канд. техн. наук, професор кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця. email: kolesnytskyi@vntu.edu.ua

Peresenhuk Maksym O. — student of Intelligent Information Technologies and Automation Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: peresenhuk2003@gmail.com

Kolesnytskyj Oleh K. — Cand. Sc. (Eng.), Professor of the Computer Science Chair, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. email: kolesnytskyi@vntu.edu.ua