

67-72-14/2
10.02.2021

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора Саченка А. О.

на дисертацію Хоми Юрія Володимировича

**«ТЕОРІЯ І МЕТОДИ КОМП'ЮТЕРНОГО ОПРАЦЮВАННЯ
БІОСИГНАЛІВ НА ОСНОВІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ»,**

поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти,

Актуальність теми дисертації

Якісне опрацювання біосигналів має суттєве значення у біоінформатиці. Біосигнали дають важливу інформацію про психофізіологічний стан людини і функціонування окремих органів живих істот. Загальною тенденцією сучасного етапу розвитку методів та інструментальних засобів вимірювання і опрацювання біосигналів є їх інтелектуалізація і підвищення достовірності, а також уніфікація та мініатюризація апаратного забезпечення.

Проте, існує низка факторів (складність і різноплановість задач біоінформатики, природна мінливість біосигналів тощо), які ускладнюють процес комп'ютерного опрацювання біосигналів і відтак суттєво знижують ефективність класичних методів цифрової фільтрації, спектрального, кореляційного аналізу та хвилькового аналізу. Тому, дисертаційна робота Хоми Юрія Володимировича, яка присвячена вирішенню цієї науково-прикладної проблеми шляхом покращення методологічного та програмно-апаратного забезпечення комп'ютерних систем опрацювання біосигналів на основі методів машинного навчання, є, безумовно, актуальною.

Зв'язок дисертаційної роботи з державними науковими програмами, планами, темами, пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки.

Дисертаційна робота виконувалася згідно з тематичними планами Міністерства освіти та науки України в Національному університеті „Львівська політехніка“ при виконанні держбюджетних науково-дослідних проєктів, де Хома Ю. В. був безпосереднім виконавцем.

Ступінь обґрунтованості наукових положень дисертації та достовірність отриманих результатів.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, забезпечується коректністю постановки і вирішення задач дослідження, вибором адекватних методів досліджень з використанням математичної статистики і фундаментальних положень математичного аналізу, теорії машинного навчання та цифрового опрацювання сигналів, а також результатами теоретичних та експериментальних досліджень.

Структура та зміст дисертаційної роботи

Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, додатків, списку використаної літератури і додатків. Основний текст викладено на 282 сторінках, що містить 96 рисунків і 25 таблиць. Список використаних джерел містить 352 найменування, а додатки займають 22 сторінки.

У вступі наведено загальну характеристику роботи, окреслено проблему та обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, об'єкт та предмет дослідження, сформовано наукову новизну, практичну цінність та особистий внесок здобувача, подано відомості про апробацію отриманих результатів, публікації автора та впровадження.

Перший розділ розкриває сучасний стан досліджень і застосування комп'ютерного опрацювання біосигналів у сферах біоінформатики та біомедичної інженерії. В роботі запропоновано класифікацію біосигналів з огляду на природу їх формування та відбору, а також проаналізовано методи та засоби їх вимірювання. Обґрунтовано напрями дослідження проблеми опрацювання біосигналів та виокремлено основні задачі, які необхідно розв'язати в ході дисертаційного дослідження.

У *другому розділі* розроблена трирівнева концепція побудови комп'ютерних біоінформатичних систем. Запропонована концепція дозволяє уніфікувати процес побудови систем за рахунок виділення трьох системних рівнів і двох міжсистемних інтерфейсів в каналі опрацювання біосигналів. Суттю цієї концепції є чітке розмежування функції системних рівнів від методів і засобів реалізації цих функцій. Концепція реалізована у вигляді *framework* та апробована в наступних розділах.

Третій розділ присвячений вдосконаленню методів і засобів збору біосигналів. Проаналізовано особливості відбору електричних біопотенціалів і специфічних завад, що маскують інформативні компоненти. Запропоновано методи підвищення точності аналогової частини вимірювального каналу комп'ютерних систем опрацювання біосигналів, її мінімізацію та уніфікацію. Крім цього запропоновано і розроблено методи підвищення обчислювальної ефективності комп'ютерних систем опрацювання біосигналів.

Четвертий розділ висвітлює науково-практичні результати роботи, в яких продемонстровано застосування глибоких нейронних мереж для дослідження електричних біосигналів в комп'ютерних систем їх опрацювання. За приклад взято ЕКГ- у біометричних системах та ЕЕГ- сигнали в нейрокомп'ютерному інтерфейсі управління колісною роботизованою платформою. Найбільший інтерес представляє розроблений о метод зменшення похибки ідентифікації шляхом виявлення і коригування аномалій у біосигналах з застосуванням глибоких нейромережових автоенкодерів. При цьому досягнуто скорочення машинного часу підбору

архітектури і гіперпараметрів в процесі навчання штучних нейронних мереж на основі запропонованого трьох тактового підходу.

П'ятий розділ присвячено застосуванню технологій машинного навчання в медичній діагностиці. Автором продемонстровано метод встановлення ступеня хрящових розладів у колінному суглобі за допомогою суміщення технологій цифрового опрацювання сигналів і машинного навчання, а також побудовану прогностичну модель на базі EMR-даних за допомогою алгоритмів машинного навчання.

У **шостому розділі** розкрито результати застосування, у прикладних задачах вимірювання біоімпедансу, цифрового опрацювання сигналів і машинного навчання. Запропоновано підхід до побудови портативного аналізатора біоімпедансу, який забезпечив суттєве розширення діапазону робочих частот. В його основу покладено коригування спотворень від нелінійності вимірювального каналу за допомогою штучних нейронних мереж.

Завершують роботу *висновки, список використаної літератури*, на які є посилання в роботі, та *додатки*.

Наукова новизна дисертаційної роботи:

До найбільш суттєвих наукових результатів дисертаційної роботи слід віднести наступні положення:

1. Вперше розроблена трирівнева концепція побудови комп'ютерних систем опрацювання біосигналів, яка дозволяє уніфікувати процес проектування і забезпечує адаптивність під конкретні задачі за рахунок виділення трьох системних рівнів і двох міжсистемних інтерфейсів в послідовності опрацюванні біосигналів.

2. Вперше розроблено метод пошуку оптимальних значень гіперпараметрів багатосарового нейрокласифікатора біосигналів, особливістю якого є використання прогностичної моделі на основі алгоритму

машинного навчання, а його застосування суттєво скорочує час пошуку порівняно із повним перебором в просторі можливих значень.

3. Вперше розроблено та апробовано підхід до детектування і коригування аномалій біосигналів, заснований на використанні автоенкодерів для нелінійної фільтрації завад, що дозволяє суттєво зменшити кількість хибних розпізнавань.

4. Удосконалено метод опрацювання сигналів віброартрографії в задачах медичної діагностики, який відрізняється виділенням діагностичних ознак, одержаних статистичними методами на вибраних рівнях хвилькової декомпозиції ВАГ-сигналу, а його застосування забезпечило високу точність і чутливість моделі класифікатора при її навчанні на відносно невеликому обсязі даних.

Практична значення отриманих в дисертації результатів

Практична значення роботи полягає в тому, що отримані нові наукові результати дали змогу:

- обґрунтувати вибір архітектури комп'ютерних систем опрацювання біосигналів в залежності від розподілу обчислювальних ресурсів (хмарна - *cloud*, стаціонарна - *stand-alone* і носима - *wearable*) та можливих комбінацій різних апаратних засобів (центрального процесора - CPU, графічного процесора - GPU, програмованих логічних матриць - FPGA, кастомізованих мікросхем - ASIC)
- збудувати прогностичну модель, навчену основі електронних медичних реєстрів, для моделювання реакції пацієнтів на протокольне лікування і превентивного виявлення пацієнтів без очікуваної позитивної реакції на стандартне лікування.

**Повнота викладу матеріалів в опублікованих працях.
Впровадження результатів дослідження**

Основні положення дисертації викладені у 32 наукових працях, а саме – 7 статей у закордонних періодичних виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз Web of Science та Scopus, та 15 статей у фахових виданнях.

Результати дисертації були використані та впроваджені у ряді підприємств та установ, а також в навчальному процесі Національного університету «Львівська політехніка».

Зміст дисертаційної роботи цілком відповідає спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти, за якою вона подана до захисту.

Автореферат дисертації адекватно відображає основний зміст, положення, висновки, рекомендації дисертаційної роботи та відповідає вимогам, які встановлені відповідними нормативними документами до авторефератів.

По змісту дисертації є наступні зауваження:

1. В роботі застосовуються терміни “комп'ютерна біоінформатична система”, “система комп'ютерного опрацювання біосигналів”, “вимірювальні канали”, в той час як по суті йде мова про клас інформаційно-вимірювальних систем з біосенсорами. Останнє підтверджується змістом третього, п'ятого і шостого розділів, де описані вимірювальні канали. Тим більше, що інформаційно-вимірювальні системи є складовою частиною паспорту спеціальності 05.13.05.
2. Стан предметної області у першому розділі висвітлений недостатньо глибоко, зокрема, автор не відзначив особистий внесок зарубіжних і вітчизняних дослідників у сфері комп'ютерного опрацювання та інтелектуального аналізу біосигналів.

3. У першому розділі на с.93 стверджується , що розроблено концепцію гнучкої архітектури комп'ютерної біоінформатичної системи для різнопланових завдань, але далі в дисертації вже нічого не згадується про гнучку архітектуру.
4. Машинне навчання пов'язане як правило із застосуванням великих даних, цей аспект у роботі не знайшов висвітлення. Зокрема, у другому розділі, наголошується що для використання алгоритмів глибинного навчання необхідно вирішити проблему формування великого обсягу даних, але з тексту роботи не зрозуміло як саме вирішено цю проблему.
5. Другий розділ (підрозділ 2.6) перезавантажений описом понять, переваг і недоліків графічних процесорів і обчислювальних кластерів і програмованих логічних матриць, що слід було б перенести у перший розділ.
6. Підрозділи 3.1 і 3.2 третього розділу переобтяжені схемотехнічними розрахунками, частину яких можна було б помістити у Додаток. В загальному, третій розділ виглядає дещо «відірваним» від загального контексту дисертаційної роботи.
7. У четвертому розділі при дослідженні шляхів побудови нейромережевого класифікатора, не проведено порівняльний аналіз з іншими методами на основі так званого autoML-підходу, зокрема алгоритмами Reinforcement Learning та Баєсової оптимізації.
8. Четвертий розділ містить рис 4.13 Модель простого алгоритму машинного навчання Random Forest, що типово застосовується в літературі. Тому цей рисунок з відповідним описом слід було б перенести у перший розділ.
9. У п'ятому розділі згадується, що корисна частина ВАГ сигналу зосереджена в смузі частот від 78Гц до 780Гц, але не наведено жодних деталей, які б пояснювали і підтверджували такий висновок

10. Матеріал підрозділу 5.2 містить надто багато посилань на відомі джерела і не підкріплений власними публікаціями.
11. Потребує деталізації оцінка швидкодії розроблених систем комп'ютерного опрацювання біосигналів, що пов'язано із затратами часу на навчання глибокої нейронної мережі.
12. Деякі висновки по роботі мають якісний характер, їх слід було б замінити кількісними співвідношеннями.
13. У списку власних джерел відсутні патенти, що дещо знижує інноваційний характер дисертаційної роботи.
14. В дисертаційній роботі зустрічаються деякі термінологічні і технічні неточності, а також стилістичні, граматичні помилки і невдалі вислови, надлишкова кількість підкреслень у тексті, зокрема, “глибинні-глибокі”, “вимірювальний канал-тракт”, речення “І для різних цілей. ”, “Як видно на слайді...” с.101, “автори збудували с. 228, авторами розроблено”с.230, “у проекті розроблено” с.232, посилання [...,308,300...] с.266, тощо.

Зазначені зауваження не є принциповими, істотно не впливають на зміст дисертації та не знижують її наукової та практичної цінності.

Висновок.

Дисертаційна робота Хоми Ю.В. “Теорія і методи комп'ютерного опрацювання біосигналів на основі машинного навчання” є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати у сферів галузі комп'ютерного опрацювання біосигналів, що в сукупності вирішують важливу науково-прикладну проблему у галузі біоінформатики – створення теоретичних засад для удосконалення методологічного і програмно-апаратного забезпечення комп'ютерних систем опрацювання

біосигналів на основі машинного навчання та методів цифрового опрацювання сигналів.

За актуальністю, науковим рівнем розробок та їх практичним втіленням, наявністю необхідної кількості та обсягу публікацій дисертаційна робота **Хоми Ю.В.** "Теорія і методи комп'ютерного опрацювання біосигналів на основі машинного навчання", відповідає вимогам пунктів 9, 10 та 12 Постанови Кабінету Міністрів України М2567 від 24.07.2013 р. "Порядок присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника" щодо докторських дисертацій, а її автор Хома Ю. В. заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 - комп'ютерні системи та компоненти.

Офіційний опонент, завідувач кафедри

інформаційно-обчислювальних систем і управління

Західноукраїнського національного університету,
науковий керівник НДІ інтелектуальних комп'ютерних систем
заслужений винахідник України,
доктор технічних наук, професор



Саченко А. О.



Саченко А. О.
Завідувач кафедри
Інформаційно-обчислювальних систем і управління
Найшов Михайлов