

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Чернетченка Дмитра Володимировича
за темою «Метод та апаратно-програмний засіб обробки
електрокардіографічних сигналів за допомогою
штучних мультистабільних нейронних мереж», що представлена на здобуття
наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи

Актуальність теми дисертації.

По даним Всесвітньої організації охорони здоров'я найбільш поширеними хворобами, що викликають передчасну смертність, є серцево-судинні захворювання. Особливо важлива рання діагностика серцево-судинних захворювання у людей, що мають додаткові фактори ризику виникнення та ускладнення таких хвороб. Для ранньої діагностики таких захворювань необхідні інструментальні засоби реєстрації та автоматизованого аналізу ЕКГ-сигналів в режимі реального часу.

Тому тема дисертаційної роботи Чернетченка Д.В., яка присвячена розробці та застосуванню апаратно-програмного засобу обробки електрокардіографічних сигналів з метою підвищення ефективності обробки та точності детектування головних ознак Р-QRS-T-комплексу ЕКГ-сигналів шляхом розроблення методу на основі штучних мультистабільних нейронних мереж є актуальною, що також підтверджується її виконанням відповідно до держбюджетної науково-дослідної роботи Дніпровського національного університету ім. Олеся Гончара, а також відповідно до договору науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт для ТОВ «Науково-виробниче підприємство СМД».

Наукова новизна одержаних результатів:

- вперше розроблено імпульсну штучну нейронну мережу на основі спайкового шифратора вхідного сигналу, рекурентних нейронів внутрішнього шару та вихідних нейронів, яка забезпечує обробку в режимі реального часу клінічно-значущих випадків ЕКГ-сигналу всередині мережі;

- вперше розроблено метод оброблення ЕКГ-сигналу в SNN-мережі, який забезпечує зниження щільності даних, набуття мережею відповідних стабільних станів, які відповідають піковим моментам ЕКГ, і зменшення

похибки розпізнавання;

- удосконалено адаптовану модель імпульсного штучного нейрона, що зумовило її використання в якості базового компонента нейроморфного модуля;

- вперше висунуто гіпотезу, згідно якої нейронні структури із більшою кількістю стабільних станів спроможні генерувати більш складні патерни вихідної активності, що свідчить про можливість виконання в такій нейронній мережі обчислювань підвищеної складності;

- удосконалено модель структури спайкового шифратора, що створило необхідні і достатні передумови для побудови імпульсної штучної мережі і на її основі апаратно-програмного засобу для обробки ЕКГ-сигналів.

Практичне значення одержаних результатів:

- на основі вибору сучасної елементної бази для схемо-технічної реалізації апаратного забезпечення засобу виконано розроблення універсальної схеми реєстрації ЕКГ-сигналу, схеми аналогової фільтрації та адаптивного регулювання підсилювання вхідного сигналу, що надходить з ЕКГ-електродів та інструментального підсилювача, який керується вбудованим в мікроконтролер програмним забезпеченням;

- розроблено і виготовлено дослідний зразок апаратно-програмного засобу обробки електрокардіографічних сигналів, а також розроблено комплект конструкторської документації для подальшого дрібносерійного виробництва;

- результати дисертаційної роботи впроваджено у виробничий процес на підприємстві ТОВ «Науково-виробниче підприємство СМД», що дозволило оптимізувати технічні рішення в приладі для реєстрації та аналізу ЕКГ з зап'ястя людини;

- результати роботи використовуються у навчальному процесі кафедри експериментальної фізики та фізики металів Дніпровського національного університету ім. Олеся Гончара, що сприяло поглибленню знань студентів в напрямку створення вбудованих систем та підвищило якість викладання відповідних дисциплін.

Практичні результати роботи не викликають сумнівів та підтверджуються відповідними актами впровадження.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій що викладені у роботі, підтверджена аргументованою

постановкою мети і задач дослідження, коректним використанням сучасних методів дослідження, результатами верифікації отриманих результатів та впровадження. Теоретичні дослідження виконано з використанням методів дискретної обробки інформації, математичної статистики, математичного моделювання та штучного інтелекту. Достовірність отриманих результатів підтверджується їх узгодженням із теоретичними висновками та використанням запропонованих методів у розроблених програмно-апаратних комплексах.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання полягає у підвищенні ефективності оброблення та точності детектування головних ознак P-QRS-T-комплексу ЕКГ-сигналів шляхом розроблення методу та апаратно-програмного засобу на основі штучних мультистабільних нейронних мереж.

На основі запропонованої імпульсної штучної нейронної мережі, розробленого методу оброблення ЕКГ-сигналу в SNN-мережі, а також удосконалення адаптованої моделі імпульсного штучного нейрона та моделі структури спайкового шифратора розроблений апаратно-програмний засіб для обробки ЕКГ-сигналів, що дозволило значно покращити якість детектування зубців P, R та T ЕКГ-сигналу.

Результати дисертаційних досліджень впроваджено у ТОВ «Науково-виробниче підприємство СМД» та в навчальному процесі Дніпровського національного університету ім. Олесея Гончара.

Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях.

Основні наукові положення і рекомендації, які сформульовані в дисертаційній роботі, у повній мірі відображені в публікаціях здобувача і пройшли апробацію на Міжнародних науково-технічних конференціях.

За темою дисертації опубліковано 20 наукових робіт, з них: 5 статей у наукових фахових виданнях України; 3 статті в закордонних виданнях; 2 статті в інших виданнях; 8 матеріалів і тез доповідей конференцій; отримано 2 патенти США на корисні моделі.

Структура та обсяг дисертації.

Робота складається з анотації двома мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та 7 додатків. Загальний обсяг дисертації складає 230 сторінок, основний текст викладено на 125 сторінках, в якому міститься 66 рисунків та 7 таблиць. Список використаних джерел

містить 101 найменування.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, відзначено зв'язок роботи з темами, програмами та планами НДР, сформульовано мету та задачі наукового дослідження, визначено наукову новизну, практичне значення одержаних результатів дослідження за темою.

У **першому розділі** проведений критичний аналіз моделей, методів та апаратно-програмних засобів для обробки електрофізіологічних сигналів, зокрема, ЕКГ-сигналів, в тому числі за допомогою штучних нейронних мереж. На підставі проведеного аналізу визначені особливості оброблення ЕКГ-сигналу та інтерпретації результатів, вказані недоліки та обмеження існуючих апаратно-програмних засобів для аналізу ЕКГ-сигналу й визначені базові умови і вимоги для застосування штучних нейронних мереж. В результаті аналізу сформульована мета роботи та визначені задачі, які мають бути вирішені.

Другий розділ присвячений моделюванню нейроморфного модуля для оброблення ЕКГ-сигналу, визначено передумови застосування штучних мультистабільних нейронних мереж. Запропоновано модель імпульсної штучної нейронної мережі, удосконалена адаптована модель імпульсного штучного нейрона та модель структури спайкового шифратора для запропонованої штучної нейронної мережі. Крім того в другому розділі виконано впровадження властивості мультистабільності імпульсних штучних нейронів для апаратної реалізації та моделювання роботи нейроморфного модуля на базі FPGA.

У **третьому розділі** розроблено апаратно-програмний засіб обробки ЕКГ-сигналів на базі архітектури FPGA. Виконано вибір платформи для розроблення нейроморфного модуля, розроблено архітектуру, структурну схему та схему електричну принципову засобу обробки ЕКГ-сигналів. Крім того у розділі розроблене алгоритмічно-програмне забезпечення запропонованого засобу, за допомогою якого виконується попередня фільтрація та обробка сигналу, а також детектування QRS- та P-QRS-T-комплексів.

У **четвертому розділі** наведено результати експериментального дослідження та апробації методу та апаратно-програмного засобу обробки ЕКГ-сигналів. Зроблено оцінювання ефективності запропонованого апарату мультистабільної імпульсної нейронної мережі для детектування P-QRS-T-комплексів та P-, R-, T-, Q-, S-піків ЕКГ-сигналів в реальному часі, а також порівняння результатів точності детектування з алгоритмом, що працює за

детермінованим принципом кінцевого автомата.

У **висновках** сформульовано основні теоретичні положення та результати дослідження.

Відповідність дисертаційної роботи вимогам ДАК України.

Матеріал дисертації викладений досить грамотно, логічно та обґрунтовано. Кожен з чотирьох розділів має свою специфіку, котра у сукупності свідчить про цілісність та завершеність дисертаційної роботи.

Таким чином, представлена дисертаційна робота є завершеним дослідженням та написана науковим стилем. Зміст дисертації, структура, послідовність та повнота розв'язаних задач цілком відповідають темі роботи.

Автореферат дисертації ідентичний за змістом із основними положеннями дисертації і достатньо повно відображає основні наукові положення, практичну значимість і висновки. Дисертаційна робота та автореферат оформлені у відповідності із встановленими вимогами.

Недоліки та зауваження щодо змісту дисертації та автореферату:

1. Не зовсім вдало сформульоване практичне значення отриманих результатів. Перелічені практичні здобутки за формою опису більш схожі на загальні висновки до роботи. Особливо це стосується пункту 3 практичних значень отриманих результатів.

2. В загальних висновках дисертаційної роботи відсутня преамбула, в якій вказується, яка саме вирішена науково-технічна або науково-практична задача.

3. В першому розділі варто було б приділити увагу не тільки нейромережевим рішенням оброблення та детектування головних ознак ЕКГ-сигналу, а й іншим математичним моделям та методам, які вирішують подібні задачі.

4. В другому розділі запропонована модифікація модуля АЕР за рахунок додавання буферу FIFO та регістру пріоритету енкодера для усунення конфліктів передачі спайків у мережі, однак з тексту розділу не зрозуміло, яким чином встановлюються пріоритети у випадку, коли одночасно відбуваються декілька подій.

5. В другому розділі виконана оптимізація цифрової моделі імпульсного штучного нейрона та порівняльний аналіз використання ресурсів для оптимізованої та неоптимізованої цифрових моделей нейрона. Але відсутня перевірка адекватності оптимізованої цифрової моделі імпульсного штучного нейрона.

6. В третьому розділі пропонується застосування різних фільтрів для попередньої обробки ЕКГ-сигналу, але не наведена перевірка стійкості рекурсивних фільтрів, що використовуються.

7. З тексту третього розділу не зрозуміло, як реалізується алгоритм детектування Р-, Т-, Q-, S-піків ЕКГ-сигналу, тому що у розділі наведений лише алгоритм детектування R-піків.

8. В четвертому розділі для оцінки якості детектування піків ЕКГ-сигналу розробленим методом запропоновано використовувати середню абсолютну процентну помилку між часовими мітками шуканого піку, які знайдені розробленим і референтним методами, але не зрозуміло, як розраховувати цей критерій у випадку наявності помилок детектування першого та другого роду, що наявні при застосуванні обох методів.

9. В четвертому розділі зазначено, що час навчання SNN-мережі повинен бути не менш 30 с, але не зазначено, таке навчання потрібне для кожної реалізації ЕКГ-сигналу, що обробляється, чи достатньо навчити SNN-мережу один раз для кожного користувача засобу.

10. В табл. 4.1, 4.2 на стор. 124-125 розділу чотири та в відповідних табл. 3, 4 на стор. 16-17 автореферату наведені результати точності детектування R-піків ЕКГ-сигналу за допомогою референтного методу та запропонованої SNN-мережі, але не зрозуміло, чому перевірка виконувалася вказаними методами для різних вибірок.

11. Оформлення дисертаційної роботи та автореферату виконано акуратно, послідовно, логічно, але у тексті дисертації та автореферату зустрічаються незначні технічні помилки, зокрема:

- не зовсім коректний запис умов системи рівнянь (2.15) на стор. 85 дисертації;

- при поясненні змінних в формулах слово «де» повинно писатися без абзацного відступу, виконано не завжди;

- текстові позначення рис. 2.7 стор. 62, рис. 2.8 стор. 63, рис. 2.9 стор. 68, рис. 3.7 стор. 102, рис. 3.10 стор. 107, рис. 3.14 стор. 113, рис. 4.1 стор. 121, рис. 4.4 стор. 123, рис. 4.8 стор. 129 дисертації та рис. 2 стор. 10, рис. 3 стор. 11, рис. 7 стор. 13, рис. 8 стор. 14 автореферату менші мінімально допустимих.

Однак зазначені зауваження не є принциповими і не знижують цінності проведеного здобувачем дослідження, отриманої наукової новизни та практичної значущості дисертаційної роботи.

Загальний висновок.

Вважаю, що дисертаційну роботу «Метод та апаратно-програмний засіб обробки електрокардіографічних сигналів за допомогою штучних мультистабільних нейронних мереж» слід оцінити як завершену наукову роботу, що містить нові науково обґрунтовані теоретичні і практичні результати, які, в сукупності, дозволяють вирішити науково-технічну задачу щодо підвищення ефективності оброблення та точності детектування головних ознак P-QRS-T-комплексу ЕКГ-сигналів шляхом розроблення методу та апаратно-програмного засобу на основі штучних мультистабільних нейронних мереж, робота відповідає сучасним вимогам МОН України, зокрема п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567, а здобувач Чернетченко Дмитро Володимирович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи.

Офіційний опонент
професор кафедри обчислювальної
техніки та програмування
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»,
доктор технічних наук, доцент

Г.С. Філатова

