

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Львівська політехніка»

ШАТНИЙ СЕРГІЙ В'ЯЧЕСЛАВОВИЧ



УДК 004.67:007.52:621.391

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ТА АНАЛІЗУ
КАРДІОСИГНАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ**

Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі систем автоматизованого проектування Національного університету «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
ТИМОЩУК Павло Володимирович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
професор кафедри систем автоматизованого проектування.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
ТИМЧЕНКО Олександр Володимирович
Українська академія друкарства,
професор кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій

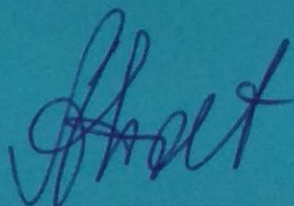
кандидат технічних наук, доцент
КОМАР Мирослав Петрович
Західноукраїнський національний університет,
доцент кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління

Захист відбудеться «*09*» квітня 2021 року о *16⁰⁰* годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.14 у Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 28а, ауд. 807, V-й навчальний корпус.

З дисертацією можна ознайомитися у Науково-технічній бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий «*23*» березня 2021 року.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,
к.т.н., доцент



А.Є. Батюк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Згідно із даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, за останні два десятиріччя загальна частота раптових летальних наслідків не суттєво змінилася, незважаючи на використання нових методів діагностики та профілактики, і являє 20-25% серед всіх випадків серцево-судинних хвороб. Виявлення електричної нестабільності сигналів, розробка методів виявлення груп пацієнтів з високим ризиком аритмічних подій - основні методи зниження захворюваності. На даний час питання підвищення точності діагностики захворювань серця і серцево-судинної системи набули особливого значення. Показники якості діагностики визначаються точністю ідентифікації електричної нестабільності джерел біопотенціалів, що являється основним параметром діагностики розвитку небезпечних хвороб, які характеризують циклічність роботи серцево-судинної системи. Сучасний розвиток інформаційних технологій дає можливість проводити ефективний аналіз кардіосигналів, зокрема їх форми, що відкриває нові можливості в діагностиці патологій, при виявленні електричної нестабільності сигналів, діагностиці загрозливих для життя порушень ритму електрокардіограми (ЕКГ).

Покращені можливості інформаційним технологіям обробки та аналізу кардіосигналів надають нейромережеві підходи, які будуються на основі методу теорії адаптивного резонансу, що використовує нейронні схеми призначені для знаходження максимальних/мінімальних значень сигналів. Основні переваги таких підходів – висока швидкодія в режимі тестування та тренування, можливість розпаралелення обробки сигналів, низька обчислювальна складність.

Значний внесок в теорію та практику обробки кардіосигналів висвітлені в працях відомих вчених, зокрема: М.П. Дивак – методи аналізу інформаційних сигналів; Б.І. Яворський – моделювання та оптимізація біотехнічних систем; О.М. Березький - побудова інтелектуальних біомедичних та вимірювальних систем; Я.П. Драган – діагностика станів природних систем; Р.О. Ткаченко – інтелектуальний аналіз даних та теорія ШНМ; В.О. Фесечко – цифрова обробка біомедичних сигналів та зображень; О.Г. Руденко – обробка сигналів алгоритмом fuzzy ART; Є.А. Настенко – методи обробки біомедичних сигналів, даних та зображень; В.С. Рогоза – інформаційно-телекомунікаційні системи медичного призначення; Ю.В. Твердохліб – інформаційна технологія комплексного оцінювання параметрів сигналів.

Запропоновані авторами методики, в яких описані теоретичні та практичні підходи до опрацювання кардіосигналів, а також застосування нейромережевих засобів для аналізу кардіосигналів, на жаль, не висвітлюють процедури аналізу форми ЕКГ в режимі реального часу та без втрати точності. Таким чином, задача розроблення інформаційної технології обробки і аналізу кардіосигналів із застосуванням нейронної мережі є актуальною науковою задачею.

Зв'язок роботи із науковими програмами, планами, темами.

Тема дисертації відповідає науковому напрямку кафедри систем автоматизованого проектування «Автоматизація проектування та моделювання вбудовуваних систем».

Робота виконана в межах науково-дослідної роботи кафедри обчислювальної

техніки Національного університету водного господарства та природокористування м. Рівне «Підвищення ефективності обробки даних та захисту інформації в комп'ютерних системах», номер державної реєстрації 0117U001086, термін виконання 2017 – 2019 р.; «Дослідження та удосконалення раціональної ресурсозберігаючої технології очищення підземних вод від сполук заліза для питного водопостачання», номер держреєстрації 0116U003758, 2016-2017 рр., Міністерство освіти та науки України, розроблена інформаційна технологія та спеціалізована комп'ютерна система обробки даних із використанням нейромережових засобів; «Інформаційно-аналітична система органічного землеробства та забезпечення екологічної стійкості ґрунтів», номер державної реєстрації 0120U000235, термін виконання 2020 р., Міністерство освіти та науки України, розроблена інформаційна технологія класифікації графічних об'єктів із використанням нейронної мережі.

Мета і задачі дослідження.

Метою дисертаційної роботи є розробка інформаційної технології обробки та аналізу форми кардіосигналу з використанням нейронної мережі, призначеної для підвищення точності та швидкості аналізу форми електрокардіограми.

Для досягнення поставленої у роботі мети необхідно було розв'язати такі завдання:

- проаналізувати існуючі методи обробки та аналізу кардіосигналів;
- удосконалити метод попередньої обробки ЕКГ за рахунок використання штучних нейронних мереж;
- розробити метод аналізу форми ЕКГ шляхом визначення амплітуди та тривалості кожного з P, Q, R, S, T-сегментів;
- розробити метод класифікації кардіосигналів за допомогою використання частково-розпаралеленої нейронної мережі;
- створити інформаційну технологію обробки та аналізу кардіосигналів у програмному та апаратному забезпеченні для її функціонування в режимі реального часу.

Об'єктом дослідження є процеси обробки, перетворення та оцінювання кардіосигналів.

Предметом дослідження є методи, моделі, структурно-функціональні схеми інформаційної технології обробки електрокардіограми.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених у дисертаційній роботі завдань використано: методи і алгоритми навчання та застосування нейромереж, методи математичного моделювання, теорію алгоритмів, теорії штучних нейронних мереж, а також основи теорії обробки сигналів.

Наукова новизна одержаних результатів. На основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень отримано такі результати:

1. Вперше розроблено метод аналізу форми ЕКГ шляхом обрахунку амплітуди і тривалості виокремлених елементів P, Q, R, S, T із кардіокомплексів PQ, QRS, ST та визначення регулярності ЕКГ відносно ізоелектричної лінії, що дає можливість підвищити точність аналізу кардіосигналів та визначити супутні захворювання.

2. Покращено метод аналізу параметрів ЕКГ за допомогою здійснення розпаралелених обчислень із нормованими значеннями кардіоімпульсів, що дало

змогу підвищити швидкість отримання результатів такого аналізу.

3. Удосконалено методи визначення максимальних значень кардіоімпульсів та фільтрування завад за рахунок використання частково-розпаралелених штучних нейронних мереж, що дало можливість скоротити затрати часу на виконання таких операцій.

4. Отримав подальший розвиток метод класифікації форми кардіосигналів за допомогою використання частково-розпаралеленої нейронної мережі, що дало можливість підвищити швидкість і точність класифікації ЕКГ.

Практичне значення одержаних результатів полягає у наступному:

1. Застосування для попередньої обробки ЕКГ нейромережевих методів визначення найбільших/найменших за величиною сигналів та паралельної частотної фільтрації дає можливість зменшити загальний час обробки кардіосигналів більше, ніж на 30 %.

2. Використання методу класифікації форми кардіосигналів за допомогою нейронної мережі нечіткої теорії адаптивного резонансу дає змогу підвищити точність визначення відхилень електрокардіограм від нормальних значень на 21,2 %.

3. Розроблена інформаційна технологія дає можливість підвищити швидкість та рівень автоматизації опрацювання форми ЕКГ, зменшити енергоспоживання порівняно з іншими аналогічними системами на 37%.

4. Отримані теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи використані у науково-дослідному відділі Національного університету водного господарства та природокористування м. Рівне, в Рівненській міській дитячій лікарні, Обласному лікувально-діагностичному центрі м. Рівне та впроваджені у навчальний процес кафедрою обчислювальної техніки Національного університету водного господарства та природокористування. Впровадження отриманих результатів досліджень підтверджено відповідними актами.

Особистий внесок здобувача. Всі наукові результати дисертаційної роботи отримані автором особисто. Зокрема, наукові праці [2, 12] виконані одноосібно. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, автору належать: моделювання нейронної схеми, призначеної для визначення максимальних за значеннями кардіосигналів [4, 17]; моделювання частково розпаралеленої системи класифікації кардіосигналів на основі нечіткої теорії адаптивного резонансу [2, 3]; метод аналізу форми ЕКГ шляхом виокремлення та визначення амплітуди та тривалості елементів P, Q, R, S, T із кардіокомплексів [1]; проектування та розробка підсистем технічного та інформаційного забезпечення ІТ обробки та аналізу кардіосигналів [5, 6]; аналіз способів попередньої обробки кардіосигналів [11]; програмно-алгоритмічні засоби реалізації ШНМ за допомогою розпаралеленого апаратного забезпечення [22]; моделювання роботи апаратних засобів реалізації ІТ, призначеної для ідентифікації кардіосигналів [12, 14]; проектування системи первинного збору та попередньої обробки кардіосигналів [15]; моделювання роботи аналогової нейронної мережі для проведення сортування дискретизованих значень кардіосигналів [16]; програмно-алгоритмічна реалізація ШНМ, призначеної для динамічної класифікації даних, на основі нейронних схем дискретного часу, які визначають найбільші/найменші за значеннями дані кардіосигналів [13]; метод визначення максимальних значень

кардіоімпульсів та фільтрування завад за рахунок використання частково-розпаралеленої нейронної мережі [9]; програмно-алгоритмічні засоби послідовної і частково-розпаралеленої ШНМ нечіткої теорії адаптивного резонансу [7]; моделювання алгоритму частково розпаралеленої системи класифікації, побудованої на основі нечіткої теорії адаптивного резонансу [10]; метод класифікації форми ЕКГ за допомогою ШНМ нечіткої теорії адаптивного резонансу [19]; проектування розпаралеленої ШНМ нечіткої теорії адаптивного резонансу [8]; моделювання цифрової реалізації інформаційної технології класифікації сигналів ЕКГ [18, 20]; проектування апаратної реалізації ШНМ за допомогою ПЛІС [21].

Апробація результатів дисертації. Основні результати наукових досліджень неодноразово доповідалися на міжнародних та Всеукраїнських наукових конференціях, симпозіумах, зокрема: апробаційні частини дисертації доповідалися і схвалені на: XX, XXI та XXII Міжнародних українсько-польських конференціях «САПР у проектуванні машин. Питання впровадження та навчання» (Львів, 11-13 жовтня 2012 р.; 10-11 жовтня 2014 р.; 21-22 жовтня 2016 р.); VII, VIII та X Міжнародних конференціях «Комп'ютерні науки та інформаційні технології» (Львів 22-24 листопада 2012 р.; Львів 18-22 листопада 2014 р.; Львів 14-17 вересня 2015 р.); XII, XIII та XIV Міжнародних конференціях «Досвід розробки і застосування САПР в мікроелектроніці» (Поляна 19-23 лютого 2013 р.; Поляна 24-27 лютого 2015 р.; Львів-Поляна 21-25 лютого 2013 р.); X та XII Міжнародних конференціях «Перспективні технології і методи проектування МЕМС» (Львів-Поляна 22-24 червня 2014 р.; Львів-Поляна 2-6 вересня 2015 р.); V міжнародній науково-практичній конференції «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси» (Київ, 15-16 травня 2012 р.); XX International Conference on «Microwaves, Radar and Wireless Communications» (Gdansk, 16-18 June, 2014 p.); XX International Seminar «Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory», (Львів, 21-24 вересня, 2015 р.); Міжнародній науковій конференції «Сучасні проблеми математичного моделювання та обчислювальних методів» (Рівне, 19-22 лютого 2015 р.); II Всеукраїнській конференції «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості» (Івано-Франківськ, 6-9 жовтня 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції молодих науковців, аспірантів та студентів «Інформаційно-обчислювальні технології, автоматика та електротехніка» (Рівне, 10-11 листопада 2016 р.); III Всеукраїнській науково-практичній конференції «Комп'ютерне моделювання та програмне забезпечення інформаційних систем і технологій» (Рівне, 28-30 вересня 2017 р.).

Публікації. За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 22 наукові праці, серед них 2 статті у міжнародних виданнях, 4 статті у фахових виданнях України, та 16 публікацій у матеріалах конференцій, 7 з яких входять до міжнародної наукометричної бази Scopus.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 4-х розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 174 сторінки, у тому числі 132 сторінки основного тексту, 53 рисунки та 15 таблиць, список використаної літератури налічує 121 бібліографічне найменування. Дисертація містить 7 додатків, розміщених на 15 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, сформульовано мету, основні завдання, об'єкт та предмет досліджень, визначено наукову новизну роботи і практичне значення отриманих результатів. Подано відомості про апробацію результатів роботи, особистий внесок автора та його публікації.

У першому розділі проаналізовано сучасний стан та тенденції розвитку існуючих інформаційних технологій обробки біомедичних сигналів, у тому числі сигналів електрокардіограм. Висвітлено особливості, переваги та обмеження існуючих підходів, методів та засобів, поставлено задачу дисертаційного дослідження. Отримання та аналіз біознаків є найважливішим завданням сучасної медичної діагностики, вирішення якої в переважній більшості залежить від ефективності діагностичного та лікувального процесу. Для зняття біомедичних сигналів застосовують спеціалізовані прилади та апарати - електрокардіографи, електроенцефалографи, реографи тощо.

Задача визначення параметрів біосигналів відноситься до задач класифікації та діагностики ґрунтується на методах математичної логіки, статистичного аналізу та комбінацією вищевказаних методів. Основні параметри кардіосигналу: часова тривалість інтервалів сигналу ЕКГ (інтервал R-R, TRR); амплітудно-часові значення зубців сигналу ЕКГ (P, Q, R, S, T, U); часові параметри інтервалів сигналу ЕКГ (тривалості інтервалів PQ, ST); сегментні параметри тривалості та відхилень (тривалість сегменту PQ, значення амплітуди та тривалості сегменту ST). Найбільш поширеним на даний час методом обробки та аналізу кардіосигналів є Холтерівське моніторування, проте існують недоліки наступного характеру: потребує значного часу для отримання сигналу; обов'язкове постійне обслуговування рухомих механічних елементів реєстратора і відтворювального приладу; стаціонарне застосування в межах медичних установ; не гарантує надійної діагностики; має великі розміри і відповідно високий рівень енергоспоживання. В свою чергу портативні пристрої кардіомоніторингу не забезпечують високої достовірності результатів діагностики.

Загалом, проведений аналіз сучасного стану наукових досліджень та існуючих методів та засобів показав, що: відсутня загальна технологія оперативного аналізу результатів медичної діагностики, яка б забезпечувала взаємодію між лікарем та пацієнтом, здійснювала паралельну передачу медико-діагностичних даних, збереження та доступ до даних медичної діагностики, а також охоплювала весь процес досліджень, починаючи від збору та попередньої обробки кардіосигналів і закінчуючи візуалізацією отриманих даних та графічним представленням результатів їх аналізу в режимі реального часу.

У другому розділі розроблена структурна схема інформаційної технології обробки кардіосигналів, представлено метод попередньої обробки кардіосигналів за рахунок використання нейронних мереж для визначення максимальних значень та фільтрування кардіосигналів.

Структурна схема інформаційної технології обробки кардіосигналів представлена на рисунку 1.

Відповідно до представленого рисунка вхідними даними є кардіосигнал,

отриманий контактними електродними давачами. Попередня обробка виконується на портативному носимому пристрої, виконаному на основі мікроконтролера та FPGA матриці, у функціонал якої закладено проведення фільтрації для усунення частотних завад від джерел живлення, шляхом реалізації паралельного ранжувального нейромережевого фільтра та ідентифікації кардіокомплексу шляхом визначення максимального значення сегмента QRS із використанням WTA нейронної мережі. На етапі аналізу сигналу, на основі методу визначення параметрів P, Q, R, S, T кардіоімпульсу отримуються значення величини та тривалості сегментів ЕКГ, проводиться класифікація форми кардіосигналу на основі удосконаленого методу з використанням частково-розпаралеленої нейронної мережі нечіткої теорії адаптивного резонансу. В системі передбачено засоби візуалізації із використанням web-серверу та додатку для мобільного пристрою, зокрема графічне відображення електрокардіограми, накопичення архівних даних зміни кардіосигналу, формування особистої медичної книжки пацієнта, забезпечення зручної взаємодії між лікарем та пацієнтом.



Рисунок 1 – Структурна схема інформаційної технології обробки та аналізу кардіосигналів із застосуванням нейронної мережі

Структура паралельного ранжувального фільтра, представлена на рисунку 2 містить суматори дискретного часу, підсилювач А, інтегратор та Softprocessor блоки вибору порогового значення функцій відрізняється від існуючих високою швидкістю фільтрації, низькою складністю програмної та апаратної реалізації, здатна обробляти сигнали будь-якого скінченного діапазону, не потребує перезавантаження та відповідних засобів контролю, що спрощує вимоги до забезпечення та реалізації.

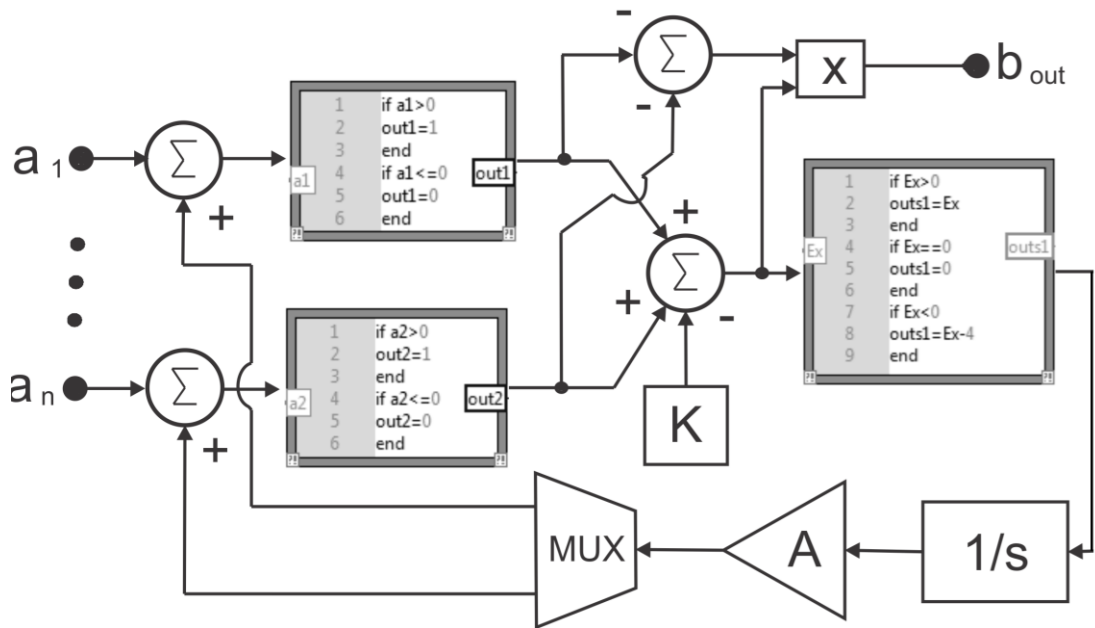


Рисунок 2 – Структура паралельного ранжувального фільтра

Результати фільтрування отримані після проведення комп'ютерного моделювання із вхідним синусоїдальним сигналом $a_i = \sin(\omega t + i\varphi) + d$ ($i=1, 2, \dots, m-1$), де ω – кутова частота, φ – фазовий зсув, d – зміщення, додатково використаний сигнал a_m – довільний шум.

На рисунку 3 показано, у нормованих одиницях та нормалізованій шкалі часу, вісім вхідних синусоїдальних сигналів, випадковий шум n , рівномірно розподілений на інтервалі $[-1, 1]$, для $m=9$, $d=2$, $\omega = 2\pi f$, та $\varphi = \pi/4$.

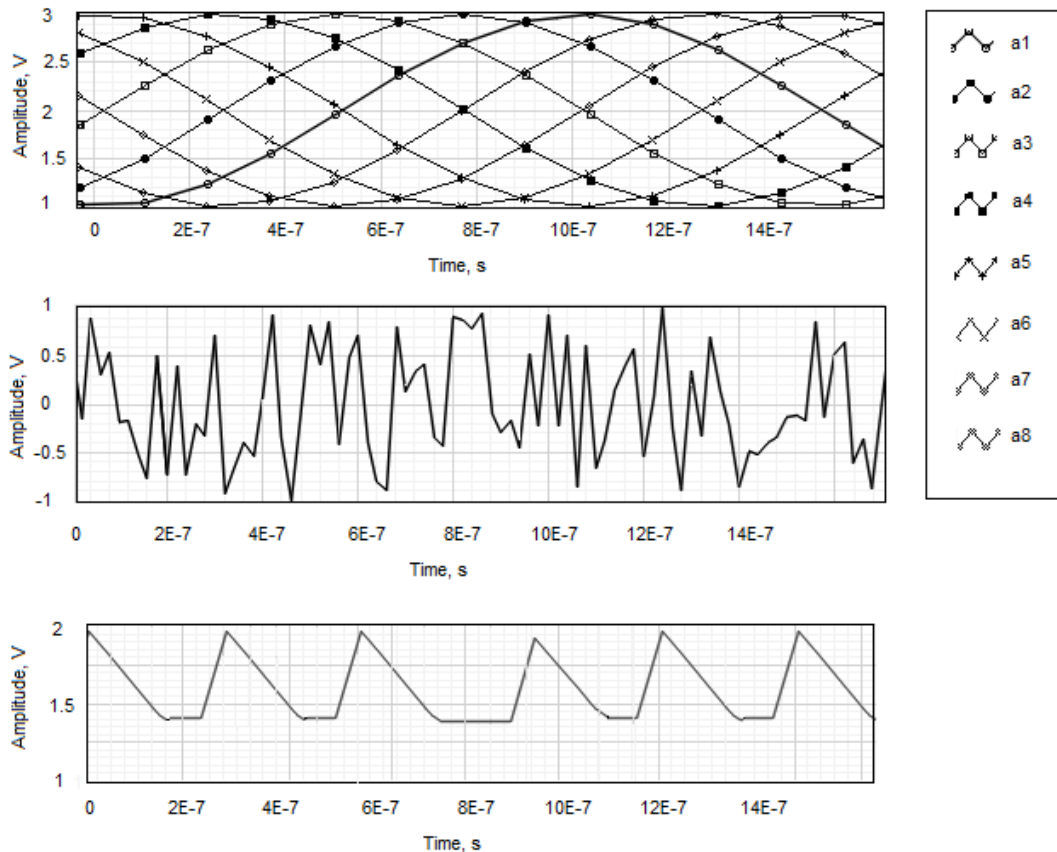


Рисунок 3 – Результати комп'ютерного моделювання схеми ранжувального фільтра

Результати засвідчують, що фільтрація вхідних сигналів на заданому інтервалі досягається через час $t=1.0 \times 10^{-6}$ с. Таким чином, час фільтрації у п'ять разів менший порівняно з тим, який отримано при моделюванні процесу із послідовним виконанням операцій, що на відміну від існуючих засобів, дозволяє проводити одночасну фільтрацію декількох кардіологічних відведень пацієнта у режимі реального часу без необхідності перемикання між каналами сигналів. Розроблена схема дозволяє усунути один із найбільш впливових факторів при обробці кардіосигналів, а саме завади та зашумлення, які спотворюють сигнал.

Структурно-функціональна схема визначення найбільшого за значенням елементу P-Q-R-S-T кардіокомплексу представлена на рисунку 4, містить суматори дискретного часу, перемножувач, блоки сигнум-функцій sgn , зовнішні джерела постійних та керованих сигналів A , K . Схема ідентифікації найбільших значень сигналів здійснює вибір K серед N елементів, де $1 \leq K < N$. Вибір K найбільших елементів з множини даних N дійсних чисел є ключовою задачею класифікації, розпізнавання і виокремлення даних.

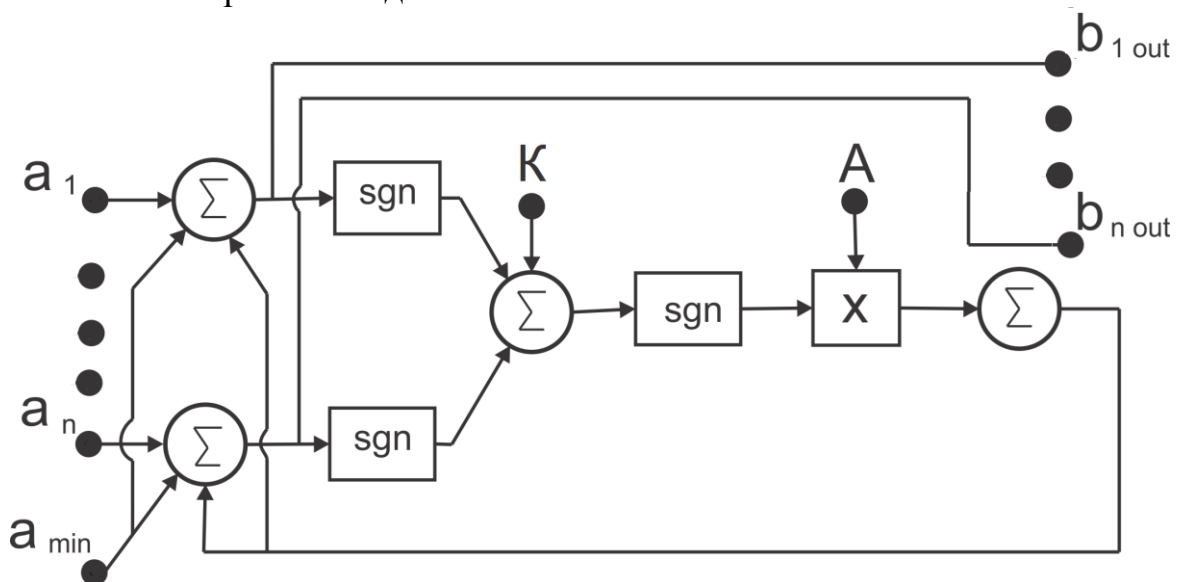


Рисунок 4 – Структурно-функціональна схема ідентифікації найбільшого за значенням кардіосигналу

Результати ідентифікації найбільшого за значенням із сигналів вектора $a = [-1, 0.7, -0.3, -0.8, 0.2]$, $N=5$, отримані шляхом комп'ютерного моделювання із застосуванням апаратної моделі пристрою паралельного обчислення із наступними параметрами: $A_{\min} = -1$, $A = 2$, початкова умова $x^{(1)} = A$, параметр $\alpha = 0.7$. Визначені траєкторії дискретного часу зсуву $x^{(k)}$ і вихідні сигнали $b_i^{(k)}$, $i=1,2,3,4,5$ показані на рисунку 5.

В усталеному режимі сигнали $b_2 > 0$, $b_5 > 0$ відповідають чотирьом найбільшим компонентам вектора a – переможцям, сигнал $b_1 < 0$, $b_3 < 0$, $b_4 < 0$ відповідає переможеному. Збіжність пошукового процесу до усталеного режиму досягається за шість ітерацій, на четвертій ітерації пошук можна зупинити та отримати максимальне та нормовані значення сигналів.

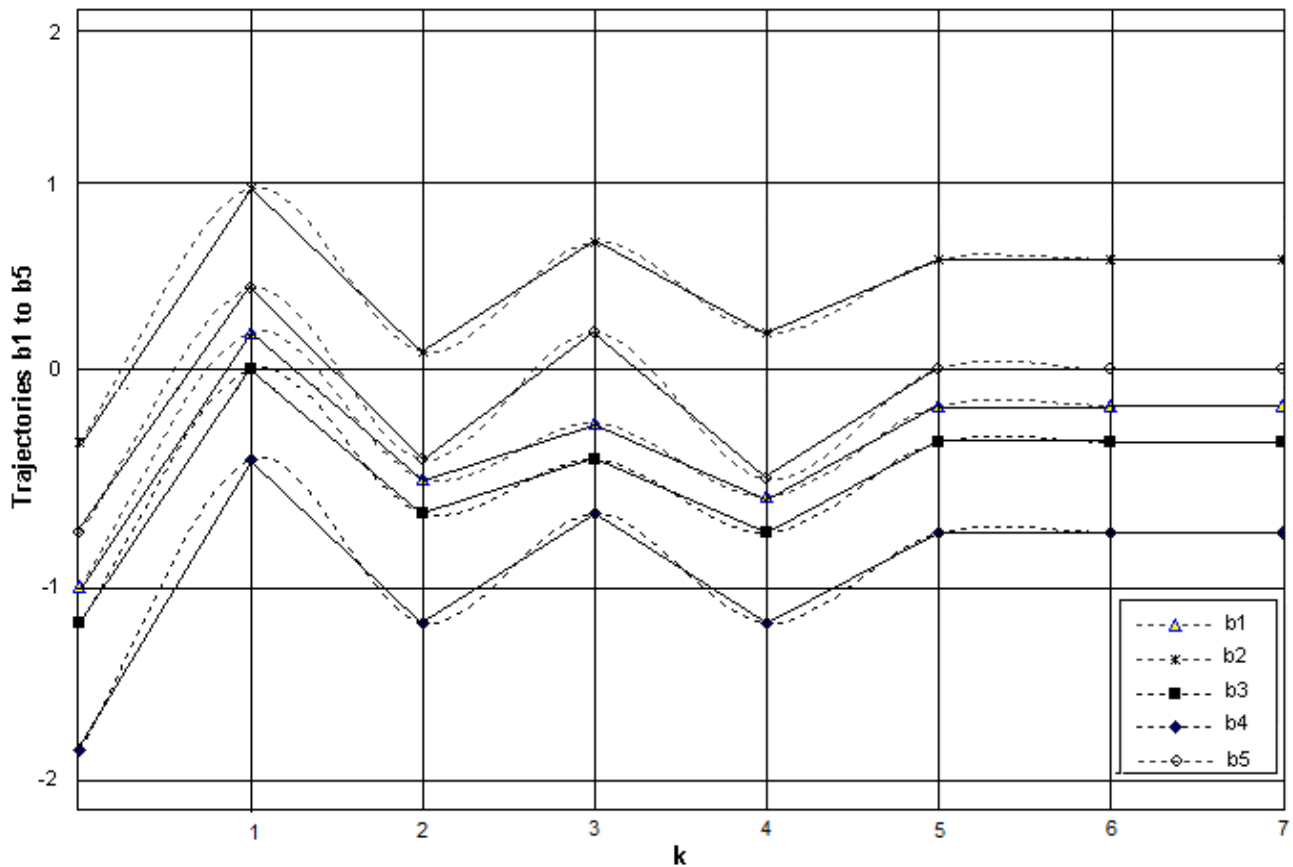


Рисунок 5 – Траекторії вихідних сигналів b

У третьому розділі роботи розроблено метод аналізу форми кардіосигналу, шляхом визначення амплітуди та тривалості окремих сегментів P, Q, R, S, T та визначення регулярності ЕКГ відносно ізоелектричної лінії. Запропоновано метод класифікації форми кардіосигналу за допомогою використання частково-розпаралеленої нейронної мережі.

Метод аналізу форми кардіосигналів організований у вигляді послідовності етапів та полягає у наступному:

- 1) Визначення амплітудних значень – визначаються максимальні, мінімальні та середні значення кардіосигналу на визначеному інтервалі;
- 2) Визначення періоду і фази – шукається максимальне значення кардіосигналу та визначається період кардіоімпульсу між двома сусідніми точками R;
- 3) Визначення параметрів кардіокомплексу – проводиться оцінка окремих елементів PQRST-комплексу поблизу очікуваних точок появи цих комплексів;
- 4) Визначення регулярності електрокардіограми – проведення аналізу комплексу кардіограми на поточному періоді, оскільки фактичні значення елементів можуть відрізнятися від прогнозованих;
- 5) Адаптація результатів – отримані значення елементів кардіограми використовуються для уточнення прогнозу на наступний період. Після цього здійснюється перехід до етапу аналізу наступного періоду.

На етапі визначення амплітудних значень A_i , надходять сигнали з частотою дискретизації f_{dis} , оцінюються значення амплітуди, \bar{A} , A_{min} , A_{max} .

Визначення періоду і фази починається після того, як закінчиться перший після визначення амплітудних значень. По закінченню чергового етапу проводиться скидання оцінки параметрів ЕКГ, тобто, оцінка параметрів ЕКГ проводиться з початку з урахуванням нових значень \bar{A} , A_{\min} , A_{\max} .

Визначення параметрів кардіокомплексу починається з отримання оцінки пульсу, як відстані між максимальними значеннями амплітуди зубця R. Положення t_R зубця R визначається виходячи з таких двох умов:

1) Наявність максимального значення амплітуди кардіоімпульсу, що задовольняє умові $A_R > A_P$, де $A_P = A_{\max} - (\bar{A} - A_{\min})$.

2) Наявність максимальних значень амплітуд електрокардіограми на інтервалі часу тривалістю від t_R до $t_R + R_{R\min} < a_R$, де $R_{R\min}$ – мінімальний період ЕКГ, відповідний частоті серцевого ритму.

Положення двох останніх зубців R (поточного t_{R1} і попереднього t_{R0}) запам'ятовуються. Як тільки відстань між поточним моментом часу і t_{R1} перевищить $R_{R\min}$, за величиною різниці $(t_{R1} - t_{R0})$ проводиться оцінка пульсу. Якщо ж $(t_{R1} - t_{R0})$ перевищує $R_{R\max}$, то оцінка пульсу не проводиться, і все обчислення на етапах 2 і 3 починається спочатку. Після того, як оцінка пульсу отримана, починається визначення наступних параметрів:

Z – рівень ізоелектричної лінії; a_P , $[t_{PSt}, t_{PEnd}]$ – амплітуда і положення на осі часу зубця P; a_Q , $[t_{QSt}, t_{QEnd}]$ – амплітуда і положення на осі часу зубця Q; a_R , $[t_{RSt}, t_{REnd}]$ – амплітуда і положення на осі часу зубця R; a_S , $[t_{SSt}, t_{SEnd}]$ – амплітуда і положення на осі часу зубця S; a_T , $[t_{TSt}, t_{TEnd}]$ – амплітуда і положення на осі часу зубця T.

Рівень ізоелектричної лінії Z вважається рівним середньому значенню амплітуди ЕКГ на інтервалі часу $[t_{ZSt}, t_{ZEnd}]$, обраному для оцінки рівня ізоелектричної лінії. Момент часу t_{ZSt} вибирається таким чином, щоб він знаходився після зубця T, а момент t_{ZEnd} – передував зубцю P ділянки сигналу PQRST:

$$t_{ZSt} = t_{TEnd} + L_{QRS0.5,x}, \quad (1)$$

$$t_{ZEnd} = t_R + pulse - (L_{RT} + L_{QRS0.5,x}), \quad (2)$$

де $t_R = t_{R0}$ – час, відповідний максимуму поточного зубця R, отриманому на другому етапі; $L_{QRS0.5,x}$ – половина максимально можливої тривалості комплексу QRS, що дорівнює 0, 1 с; $L_{RT} = (t_T - t_R)$ – відстань між максимумами зубців R і T; t_T – час, відповідний максимуму поточного зубця T.

У разі початку оцінок на третьому етапі, час t_T поточного зубця T визначається на інтервалі $[t_R + L_{QRS0.5,x}, t_R + L_{QRST,x}]$ і відповідає локальному максимуму на цьому інтервалі, а час t_{TEnd} – закінчення зубця T, повинне бути рівним $t_{TEnd} = t_R + L_{QRST,x}$, де $L_{QRST,x}$ – максимально можлива тривалість комплексу QRST.

Після того, як отримана оцінка рівня ізоелектричної лінії Z , починається пошук і оцінка параметрів зубців P, Q, R, S і T. Таким чином, в регулярному режимі циклічно виконуються етапи аналізу поточного і прогнозу наступного періодів кардіограми з адаптацією до її невеликих варіацій. Для ілюстрації результатів роботи методу визначення ознак сигналів електрокардіограми, на рисунку 6 наведено результати графічної ідентифікації кардіологічного комплексу.

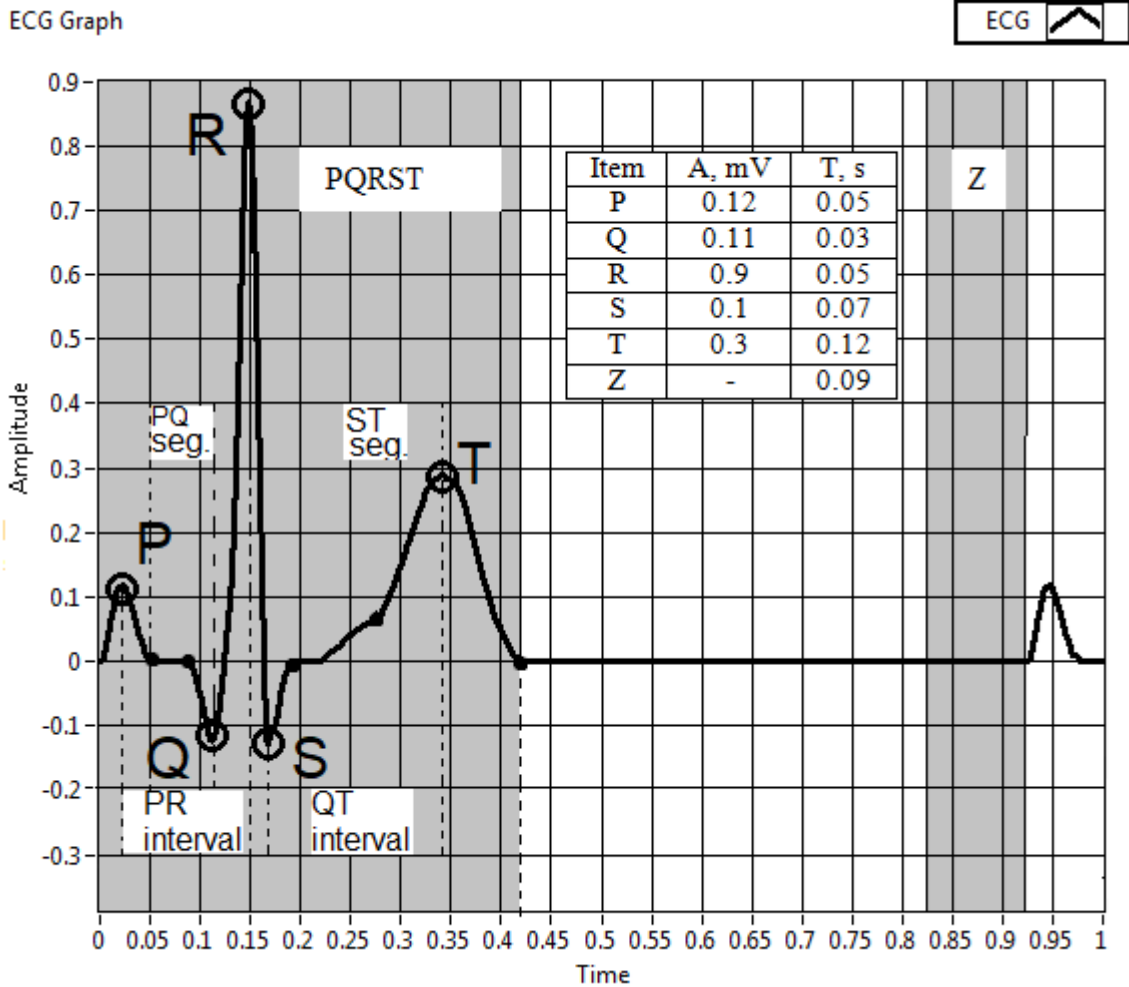


Рисунок 6 – Результати визначення параметрів кардіоімпульсу

У лівій частині рисунка визначено ділянку сигналу, для якої ці параметри отримані. Інтервали оцінки ізоелектричної лінії позначені літерою Z, а ділянку ЕКГ, для якого отримані параметри окремих кардіологічних комплексів, позначений як інтервал PQRST

Удосконалено метод класифікації форми кардіосигналу із використанням штучної нейронної мережі нечіткої теорії адаптивного резонансу. Мережа складається з двох шарів обчислювальних нейронів F1 і F2, а також підсистеми спостереження, яка задається параметром $\rho \in [0,1]$. F1 – вхідний шар, що складається з N вхідних комірок. Кожна вхідна комірка отримує компонент I_i $[0,1]$ вхідного аналогового вектора $I=(I_1, \dots, I_N)$. F2 – шар категорій, складається з M комірок, кожна з яких представляє можливу категорію. Кожна категорія комірки отримує вхідний сигнал T_j . Кожен окремий шар нейронів F1 з'єднаний з кожним відповідним шаром нейронів F2 за синаптичним зв'язком ваги z_{ij}^{bu} та синаптичним зв'язком міцності z_{ji}^{td} .

Реалізація методу класифікації форми кардіосигналів, представлена у вигляді блок-діаграми (рисунок 7), складається з двох незалежних модулів, зокрема паралельного обчислювального пристрою та локального обчислювача, реалізована із використанням спеціалізованого програмного середовища National Instruments LabView.

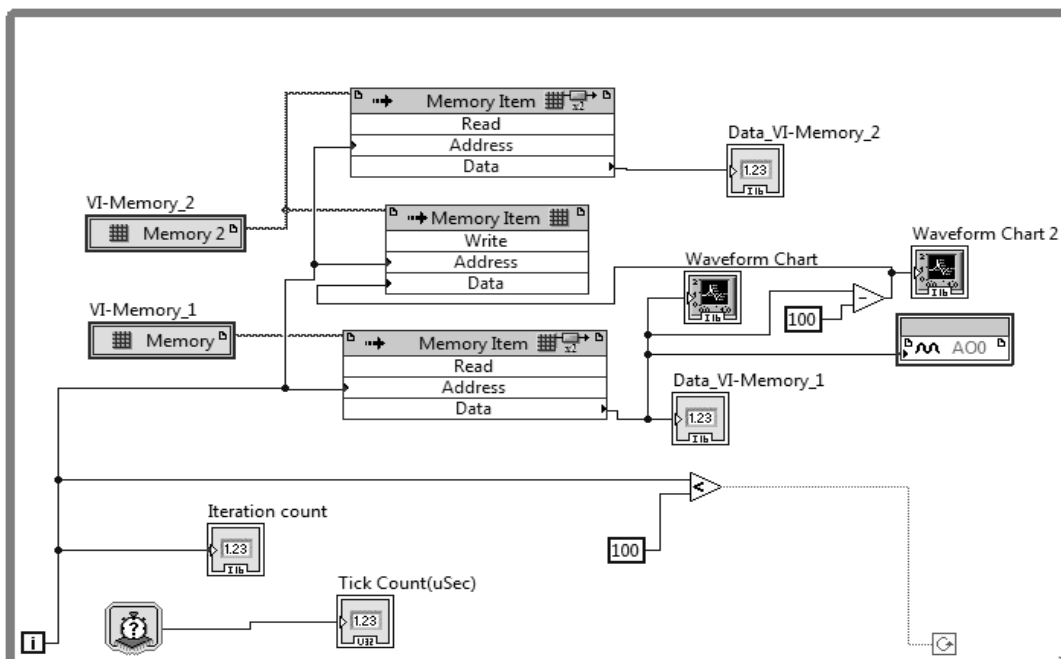


Рисунок – 7 Блок-діаграма апаратної реалізації модуля класифікації кардіосигналу

Результати комп'ютерного моделювання процесу класифікації сигналів отримані із використанням апаратної платформи Real-Time Single Board RIO sbRIO-9637, відповідно до блок-діаграми, представленої на рисунку 8.

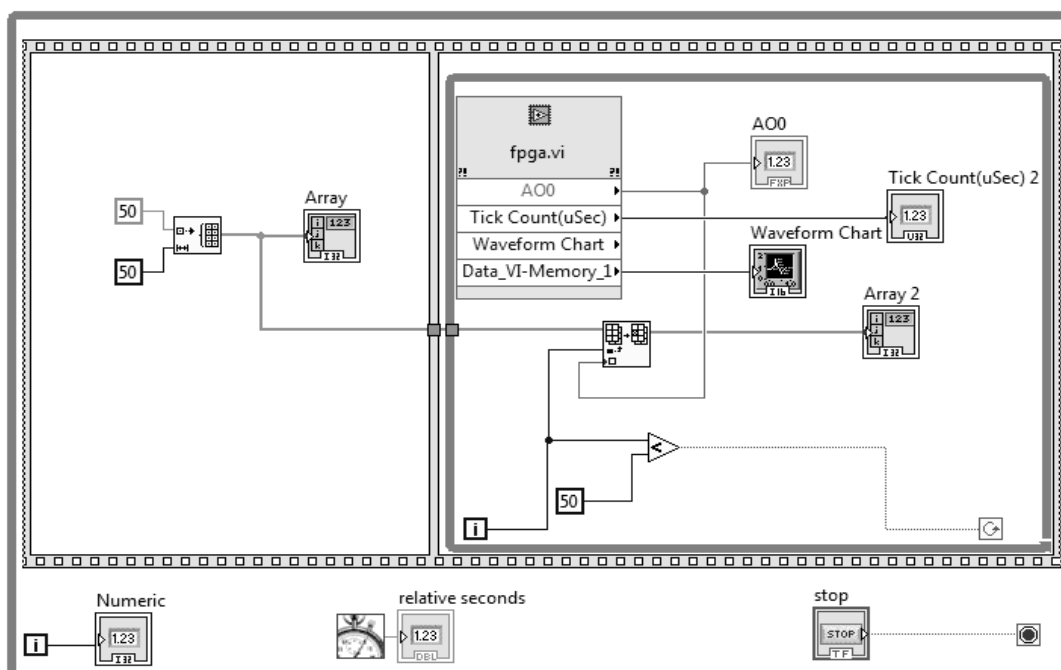


Рисунок 8 – Блок-діаграма програмної реалізації модуля класифікації кардіосигналу

В таблиці 1 представлено загальний час класифікації різних наборів даних із послідовним та паралельним вибором категорії: T_s – час послідовного обчислення із паралельним вибором категорій T_p – час паралельного обчислення, N_M^{cat} – кількість паралельних каналів, N_{int}^{max} – кількість обчислювальних ітерацій.

Результати комп'ютерного моделювання нечіткої ТАР нейронної мережі із послідовним та паралельним вибором категорій

№	P	T_S (s)	T_p (s)	N_M^{cat}	N_{int}^{max}
1	0.1	8.19	4.09	2	2
2	0.2	11.09	1.58	4	7
3	0.3	11.25	1.61	5	7
4	0.4	11.73	1.46	6	8
5	0.5	12.36	1.76	10	7
6	0.6	15.28	1.38	12	11
7	0.7	17.15	1.71	19	10
8	0.8	19.85	2.48	38	8
9	0.9	44.44	4.44	106	10
10	1.0	1193.06	1193.06	1	1

Результати класифікації та відокремлення основних сегментів сигналів ЕКГ наведені на рисунку 9.

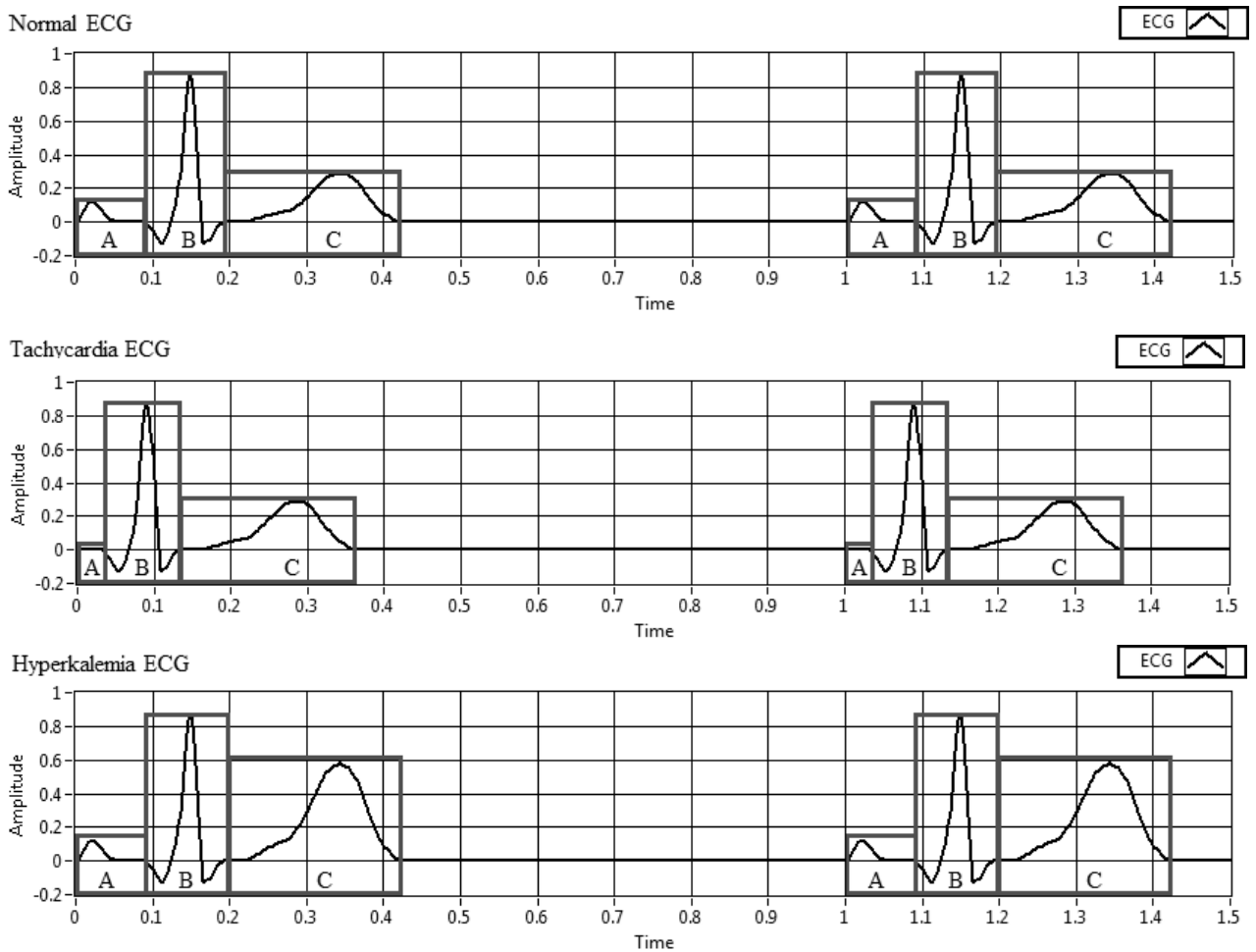


Рисунок 9 – Результати класифікації кардіологічних комплексів

Із представлених результатів видно, що паралельна реалізація методу класифікації, здатна працювати до 10 разів швидше, ніж послідовна реалізація. В процесі проведення симуляції було встановлено, що при досягненні значення параметра $P=1.0$ час паралельного та послідовного обчислення стає рівним.

В четвертому розділі розроблено структуру програмно-апаратного забезпечення інформаційної технології обробки кардіосигналів, представлені програмні та апаратні реалізації засобів оброблення, показані результати обробки та аналізу сигналів електрокардіограми.

Структура програмно-апаратного забезпечення інформаційної технології обробки та аналізу кардіосигналів представлена на рисунку 10.

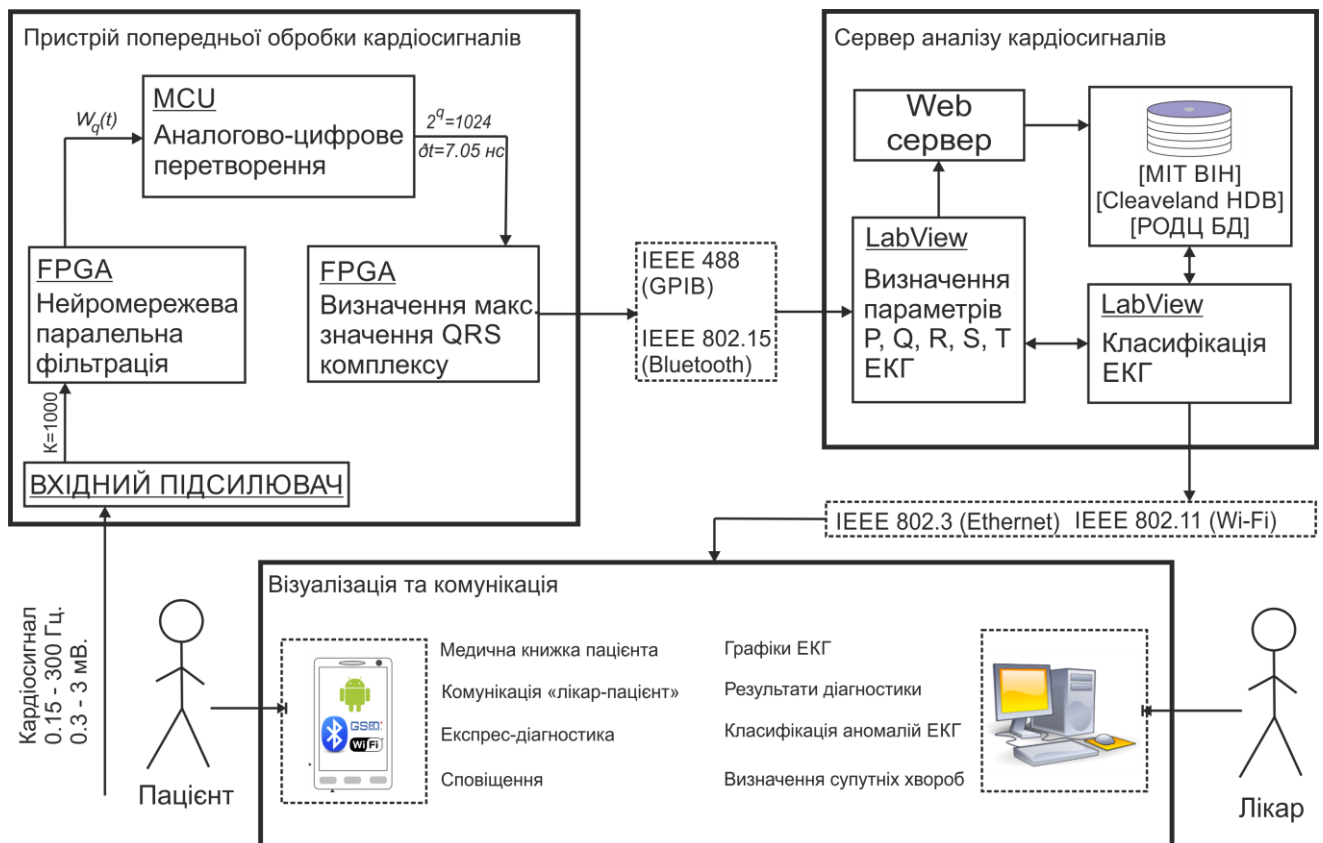


Рисунок 10 – Структура програмно-апаратного забезпечення інформаційної технології обробки кардіосигналів

Грунтуючись на попередніх дослідженнях, виявлені обмеження системи, а саме, недостатня пропускна спроможність існуючих відкритих протоколів передачі даних. Тому, для визначення впливу цього фактору проведено моделювання процесів передачі даних попередньої обробки сигналів із визначенням показників завантаження окремого елемента системи. Реалізовано програмне забезпечення для аналізу кардіосигналу, приклад робочої області аналізу сигналів представлено на рисунку 11. Для зручної взаємодії у вигляді «лікар-пацієнт», реалізований web-сайт для візуалізації та інтерпретації досліджуваних кардіосигналів, дистанційного моніторингу стану пацієнтів та надання медичних консультацій без необхідності фізичної присутності, приклад web-сторінки із візуалізацією кардіосигналу представлений на рисунку 12.

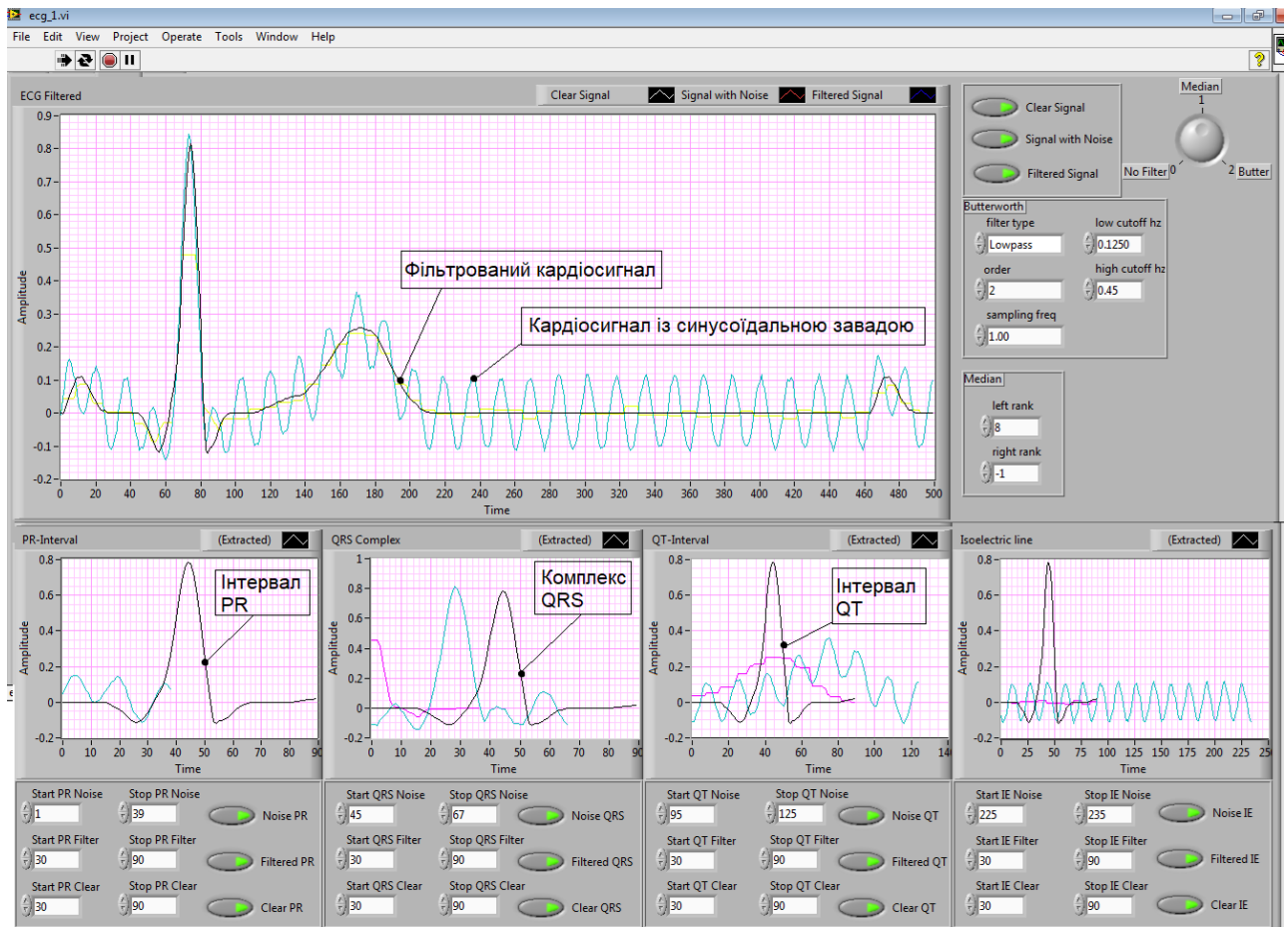


Рисунок 11 – Приклад основного вікна програми аналізу кардіосигналів

Як видно із представленого рисунка, додаток верхнього рівня розділяє комплексний сигнал на складові: PR-інтервал; QRS комплекс; QT-інтервал; додатково визначає і формує ізоелектричну лінію.

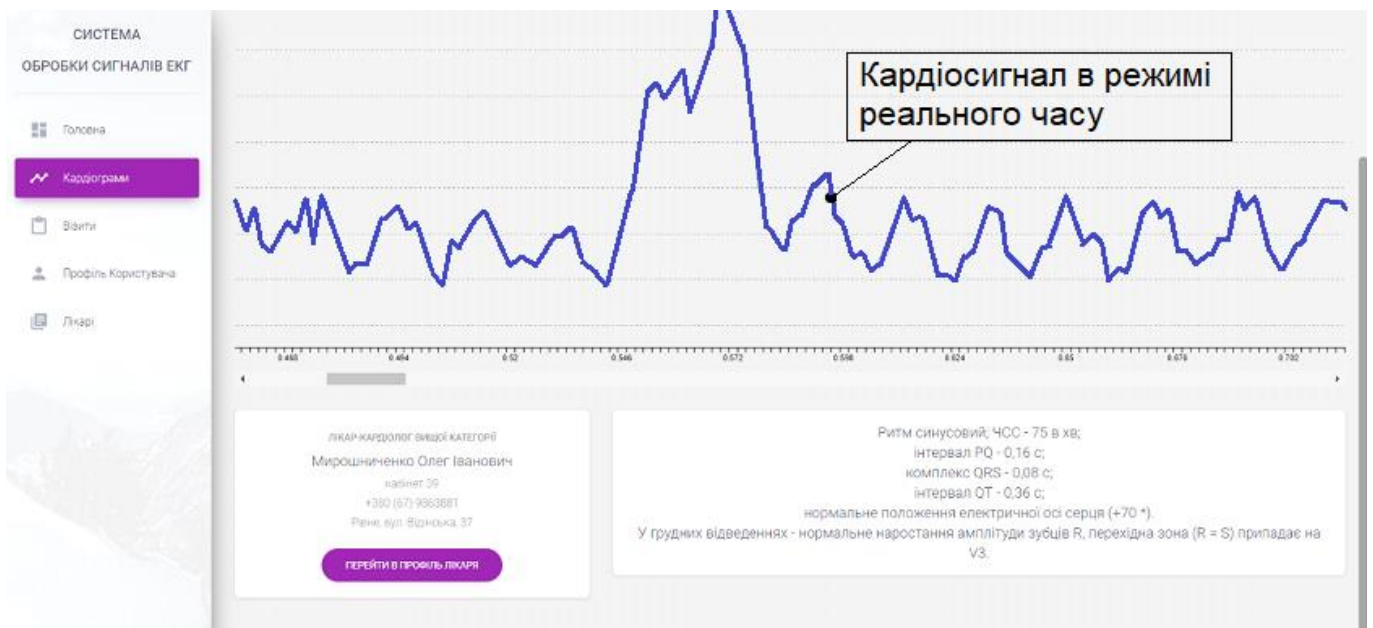


Рисунок 12 – Web-сторінка інтерфесу візуалізації електрокардіограми

Представлені результати моделювання процесу обробки та аналізу кардіосигналів для попереднього визначення таких аномалій серця, як гіперкаліємія та аритмічна тахікардія. В таблиці 2 представлені часові інтервали тривалості кожного виокремленого сегмента кардіосигналу.

Таблиця 2

Часові та класифікаційні параметри ознак

Клас хвороб	PR, s	QRS, s	QT, s	PR, pt	QRS, pt	QT, pt
Нормальний	0.08	0.12	0.22	0.12	0.83	0.3
Тахікардія	0.03	0.1	0.23	0	0.83	0.3
Гіперкаліємія	0.09	0.1	0.24	0.12	0.83	0.59

Виходячи зі зміни рівня серцевого ритму ЕКГ, можна визначити аномалії гіперкаліємії і підтвердити хворобу тахікардії. При визначенні відхилень, беруться до уваги окремі інтервали та сегменти кардіосигналу, як видно, для тахікардії значення інтервалу PR дорівнює 0, а для гіперкаліємії інтервал QT значно зростає та досягає максимального значення. Також наведено результати визначення максимальних значень рівня, оскільки класифікація вхідного сигналу для певного виду захворювання виникає за рахунок визначення значень рівня кожного сегмента ЕКГ.

Максимальне значення рівнів сигналу залежить від параметрів попередньої обробки сигналу, зокрема, рівня напруги апаратної складової системи класифікатора та коефіцієнтів підсилення, тому доцільно представляти значення, які отримані у відносних одиницях.

В таблиці 3 представлені результати обробки, зокрема визначаються часові параметри, необхідні для проведення як окремої операції, так і комплексу операцій.

Таблиця 3

Результати обробки та аналізу кардіосигналів

К-сть записів	Час виконання				
	Фільтрація, мс	Ідентифікація, мс	Визначення параметрів, мс	Класифікація, мс	Загальний час, с
1	225	0.921	420	24	0.669
10	2230	9.216	4140	239	6.618
30	6570	27.648	12240	7092	25.933
50	10850	46.083	20100	11570	42.566
100	20900	92.165	39600	22640	83.232
300	63900	276.483	117000	58920	240.096
500	103000	460.815	192000	73200	368.661
1000	198000	921.735	378000	96400	673.321
3000	576000	2764.817	1116000	144600	18393.648
5000	955000	4608	1830000	361500	3151.108
10000	1860000	9216	3580000	732700	6181.916

Як видно, набори даних для аналізу визначені в залежності від кількості записів, тобто один запис сигналу містить повну сукупність отриманих ознак. Отримані результати демонструють, що більшу частину операційного часу займає попередня обробка сигналу, яка полягає у фізичному зніманні сигналу контактними давачами, аналогово-цифровому перетворенні, фільтрації та передачі до пристрою обробки та аналізу. Із результатів швидкодії окремих етапів обробки кардіосигналів видно, що при збільшенні кількості записів сигналу швидкість обробки теж підвищується, за рахунок формування бази попередніх значень сигналу. Порівняльні результати швидкодії окремих етапів обробки та аналізу кардіосигналів представлені на рисунку 13.

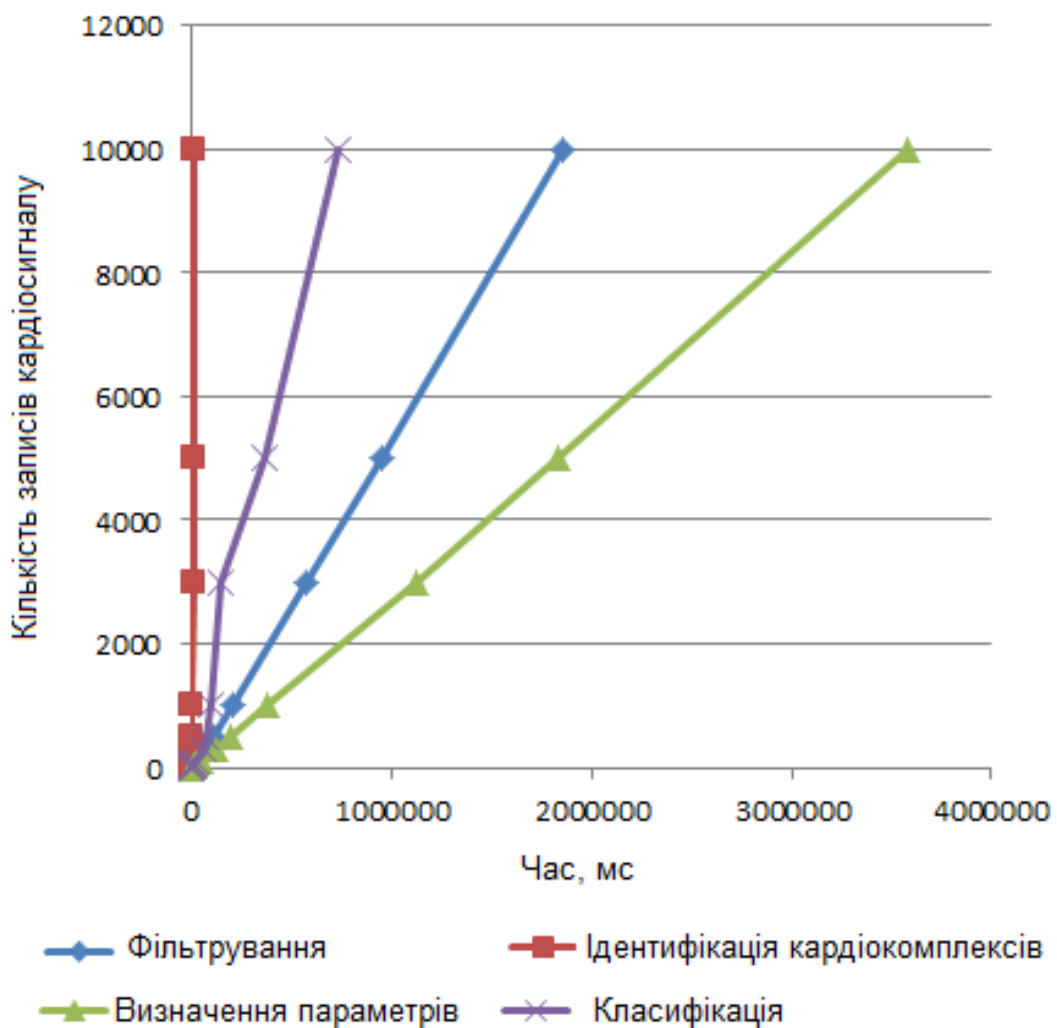


Рисунок 13 - Порівняльні графіки швидкодії обробки та аналізу кардіосигналів

Також проведено аналіз ефективності визначення класів кардіосигналів та порівняння існуючих моделей для наборів біомедичних даних та кардіографічних сигналів «MIT-BIH» та «The Cleveland heart disease database» із розробленою. Результати порівняння представлені в таблиці 4 та рисунку 14.

Результати ефективності обробки та аналізу кардіосигналів

Модель	Ефективність %
KNN	67.5
IB2	71.4
ARTMAP	74.3
C4	75.5
IB1	75.7
ART-EMAP	76.7
IB3	78.0
ARTMAP-IC	78.1
CLASSIT	78.9
ІТОКС (Розроблена система)	79.8

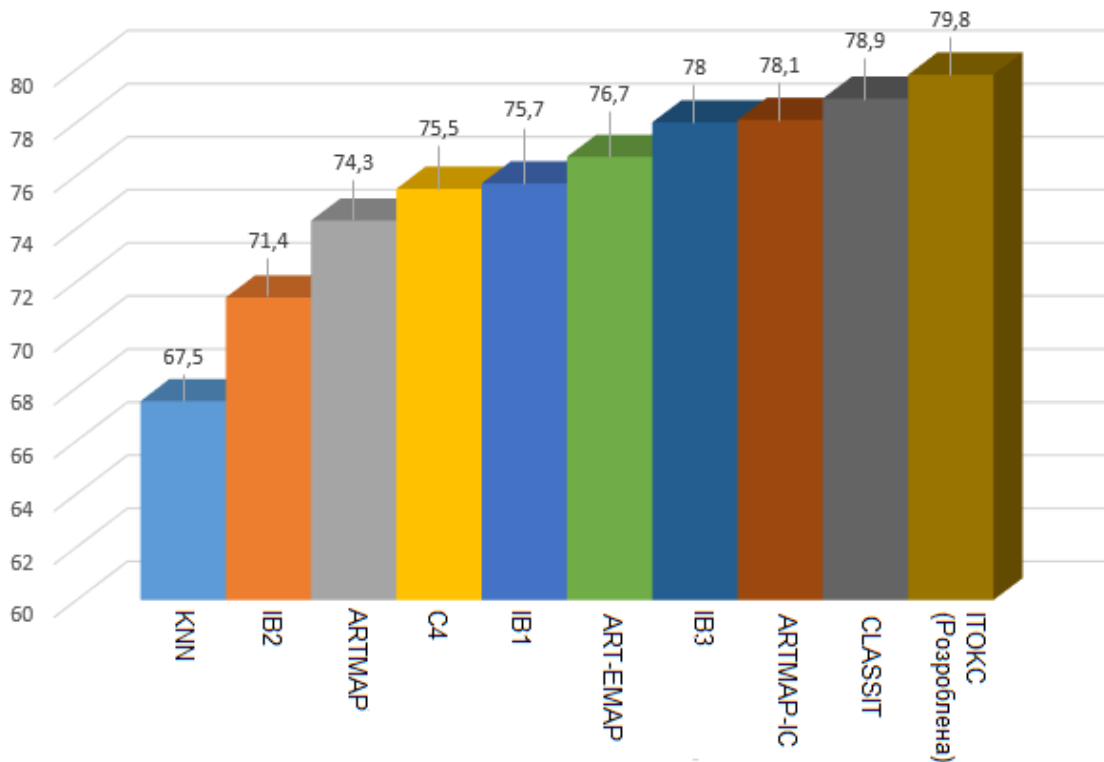


Рисунок 14 – Порівняльні результати ефективності обробки та аналізу кардіосигналів

Інформаційна технологія обробки та аналізу кардіосигналів із застосуванням нейронної мережі є логічним кроком та важливим компонентом при розробленні ефективних та швидкодіючих систем медичної діагностики. Щодо подальшого розвитку технології, існують шляхи оптимізації її функціонування у програмному та апаратному напрямках.

Щодо модернізації апаратного забезпечення інформаційної технології обробки та аналізу кардіосигналів, вона полягає у розробці спеціалізованих процесорів вузькоспрямованої архітектури, заміні мікроконтролерів на цифрові процесори, підвищенні роздільної здатності аналогово-цифрових перетворювачів, а також

розробці та впровадженні нових давачів, які здатні усувати початкові завади на етапі зняття сигналу.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, на основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень, розв'язано актуальне наукове завдання розроблення інформаційної технології обробки та аналізу кардіосигналів із застосуванням нейронної мережі для підвищення точності класифікації сигналів.

В результаті аналізу методів, сучасного стану та тенденцій розвитку інформаційних технологій обробки та аналізу кардіосигналів з використанням нейронних мереж, визначено основні напрямки розроблення програмно-апаратних засобів обробки та аналізу кардіосигналів, описано їхні особливості та недоліки, сформовано задачі дисертаційного дослідження.

1. Вперше розроблено метод аналізу форми ЕКГ шляхом обрахунку амплітуди і тривалості виокремлених елементів P, Q, R, S, T із кардіокомплексів PQ, QRS, ST та визначення регулярності ЕКГ відносно ізоелектричної лінії, що дає можливість підвищити точність аналізу кардіосигналів та визначити супутні захворювання

2. Покращено метод аналізу параметрів ЕКГ за допомогою здійснення розпаралелених обчислень значень кардіоімпульсів, що дало змогу підвищити швидкість отримання результатів такого аналізу.

3. Удосконалено метод визначення максимальних значень кардіоімпульсів та фільтрування завад за рахунок використання частково-розпаралеленої нейронної мережі, що дало можливість зменшити загальний час обробки кардіосигналів більше, ніж на 30 %.

4. Отримав подальший розвиток метод класифікації форми кардіосигналів за допомогою використання частково-розпаралеленої нейронної мережі, що дало можливість підвищити точність визначення відхилень форми електрокардіограми на 21,2 %.

5. Розроблені спеціалізовані програмно-апаратні засоби інформаційної технології обробки кардіосигналів із застосуванням нейронної мережі, на базі високопродуктивних обчислювальних платформ, що дає можливість підвищити рівень автоматизації опрацювання ЕКГ та зменшити енергоспоживання порівняно з іншими аналогічними системами на 37%.

6. Результати дисертаційної роботи використані в роботі науково-дослідного відділу Національного університету водного господарства та природокористування м. Рівне, в Рівненській міській дитячій лікарні, Рівненському обласному діагностичному центрі та впроваджені у навчальний процес кафедри обчислювальної техніки Національного університету водного господарства та природокористування м. Рівне.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Shatnyi S., Tymoshchuk P. Simulation of electrocardiogram processing and analysis using Fuzzy ART // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика. 2017. № 882. С. 70–75.

2. Shatnyi S. Fuzzy ART System Design for Electrocardiogram Signals Processing

// International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology. 2019. Volume 8, Issue 6. P. 248 – 252. ISSN: 2278 – 1323.

3. Tymoshchuk P., Shatnyi S. Hardware implementation design of Fuzzy ART based partially parallel clustering system // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика. 2016. № 859. С. 68-71.

4. Tymoshchuk P., Shatnyi S. A hardware implementation of neural circuit of maximal/minimal value discrete-time signal identification // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика. 2015. № 828. С. 27-34.

5. Shatnyi Serhii, Shatna Anastasiia, Shablovska Alla Neural Network Hardware Implementation Using Micro- and Softprocessor Technologies for Biomedical Signal Processing // International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET). Volume 8, Issue 8, August 2019, ISSN: 2278 – 1323. - pp. 400 – 403.

6. Shatnyi S Neural Network-based Information Technology for Biomedical Signal Processing // Microwaves, Radar and Wireless Communications: Proceedings of 20th International Conference, 16-18 June 2014, Gdansk, Poland, Volume 1., P. 140-142.

7. Shatnyi S., Tymoshchuk P. Electrocardiogram Processing System Design with Parallel Computing and Memory Transferring Using Fuzzy ART Neural Network // Proceedings of the XV International Conference on The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM'2019, 26 February – 02 March 2019 Polyana, Ukraine. P.7/9-7/13.

8. Tymoshchuk P., Shatnyi S. Hardware Implementation Design of Parallelized Fuzzy Adaptive Resonance Theory Neural Network // 2019 IEEE XV-th International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design, MEMSTECH'2019, 22-26 May 2019 Polyana, Ukraine P. 61-66.

9. Shatnyi S., Tymoshchuk P. Simulation of sequential and partially parallel Fuzzy ART neural network // Proceedings of the XIV International Conference on The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM'2017, 21-25 February 2017 Lviv, Ukraine, P. 372-374.

10. Shatnyi S., Tymoshchuk P. Hardware Implemented Memory Model of Partially Parallel Fuzzy ART Clustering System // Proceedings of the XXVI-th Ukrainian-Polish Scientific and Technical Conference on "CAD in Machinery Design. Implementations and Educational Issues", CADMD'2018, 19-20 October 2018 Lviv, Ukraine, P. 42-47.

11. Тимошук П.В., Шатний С.В. Система моніторингу та керування віддаленими об'єктами регулювання // Науковий вісник НЛТУ України. 2012. Вип 22. С. 313-318.

12. Shatnyi S. Circuitry Implementation Using Altera FPGA // Proceedings of the XXII-nd Ukrainian-Polish Conference on "CAD in Machinery Design. Implementations and Educational Issues", CADMD'2014, 10-11 October 2014, Lviv, Ukraine, P. 84-90.

13. Tymoshchuk P., Shatnyi S. Neural Network for Dynamic Data Classification Based on Discrete-Time Winner-Takes-All Neural Circuits // Proceedings of the IX-th International Scientific and Technical Conference "Computer Science and Information Technologies", CSIT'2014, 18-22 November 2014 Lviv, Ukraine P. 43-46.

14. Шатний С.В. Система ідентифікації складних змінних сигналів із використанням методу на основі штучної нейронної мережі // Матеріали 2-ї Всеукраїнської конференції «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості», 6-9 жовтня 2015, Івано-Франківськ, Україна / Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 2015, С. 208-209.

15. Шатний С.В., Дубич Л.Ю. Розробка мікропроцесорної системи для забезпечення збору та обробки електрокардіографічних даних сигналів // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих науковців, аспірантів та студентів «Інформаційно-обчислювальні технології, автоматика та електротехніка. 10-11 листопада 2016. м.Рівне, Україна. – С.181-182.

16. Tymoshchuk P., Shatnyi S. Hardware Implementation Design of Analog Sorting Neural Network // Proceedings of the XXth International Seminar / Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory, DIPED'2015, 21-24 September 2015 Lviv, Ukraine, P. 168-171.

17. Tymoshchuk P., Shatnyi S. Hardware Implementation of Discrete-Time Neural Circuit of Largest Smallest Signal Identification // Proceedings of the XII International Conference on The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM'2015, 24-27 February 2015 Lviv-Polyana, Ukraine, P. 226-230.

18. Anatoliy Vlasyuk, Viktor Zhukovskyy, Nataliia Zhukovska, Serhii Shatnyi Parallel Computing Optimization of Two-Dimensional Mathematical Modeling of Contaminant Migration in Catalytic Porous Media // Proceedings of the 10-th International Conference on “Advanced Computer Information Technologies”, ACIT'2020, 16-18 September 2015, Deggendorf, Germany, P. 23-28.

19. Tymoshchuk P., Shatnyi S. Hardware Implementation Design of Partially Parallel Clustering System Based on Fuzzy ART Using LabVIEW // Proceedings of the XXIII-rd Ukrainian-Polish Conference on “CAD in Machinery Design. Implementations and Educational Issues”, CADMD'2016, 21-22 October, 2016 Lviv, Ukraine, P. 29-30.

20. Shatnyi S., Tymoshchuk P. Neural Network Digital Hardware Implementation of Standalone Control System // Proceedings of the XX-th Ukrainian-Polish Conference on “CAD in Machinery Design. Implementations and Educational Issues”, CADMD'2012, 11-13 October 2012 Lviv, Ukraine, P. 105-107.

21. Shatnyi S., Tymoshchuk P. Hardware Model Design of Artificial Neural Network Using FPGA and MCU // Proceedings of the VII-th International Scientific and Technical Conference “Computer Science and Information Technologies”, CSIT'2012, 20-24 November 2012 Lviv, Ukraine, P. 160-161.

22. Shatnyi S., Tymoshchuk P. Neural Network On-Chip Implementation Using NIOS and Softprocessor Technology // Proceedings of the XII-th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD-Systems in Microelectronics, CADSM'2013, 19-23 February 2013 Lviv-Polyana, Ukraine, P. 320-321.

АНОТАЦІЯ

Шатний С.В. Інформаційна технологія обробки та аналізу кардіосигналів з використанням нейронної мережі – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології» – Національний університет «Львівська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Львів, 2020.

Дисертацію присвячено розробці та вдосконаленні моделей, методів та засобів інформаційної технології обробки електрокардіограми, підвищенні швидкодії та точності обробки кардіосигналів, зменшенні розміру системи, призначеної для такої обробки, зниження її енергоспоживання і реалізації системи в аналоговій та цифровій елементних базах. Обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та основні задачі досліджень, визначено наукову новизну роботи і практичне значення отриманих результатів, показано зв'язок роботи з науковими темами. Подано відомості про апробацію результатів роботи, особистий внесок автора та його публікації. Виявлено, що ефективність обробки та аналізу залежить від якості попередньої обробки сигналів та природи самого сигналу. Аналіз підходів до побудови систем обробки біомедичних сигналів показав необхідність підвищення їх ефективності. Результати аналізу існуючих систем обробки кардіосигналів дали змогу стверджувати, що в більшості з них недостатньо висока точність класифікації (не вище 75 %), низька швидкодія та висока вартість обладнання, пов'язана з монополією компаній-виробників.

Представлено розроблений метод аналізу електрокардіограми шляхом визначення амплітуди та тривалості кожного з P, Q, R, S, T-сегментів. Удосконалено метод попередньої обробки кардіосигналів за рахунок використання для ідентифікації та фільтрування нейронних мереж. Покращено метод класифікації кардіосигналів за допомогою використання частково-розпаралеленої нейронної мережі.

Розроблені програмні та апаратні реалізації інформаційної технології обробки кардіосигналів, структурно-функціональні схеми обробки вхідних сигналів на основі мікроконтролерів та програмованих логічних інтегральних схем. Проведено моделювання та оптимізацію засобів обміну даними між структурними елементами системи. Розроблені спеціалізовані програмні продукти, призначені для попередньої обробки та аналізу ЕКГ. Розроблено серверні засоби для функціонування віддаленої web-системи для взаємодії логічної моделі «лікар-пацієнт».

Ключові слова: інформаційна технологія, теорія адаптивного резонансу, електрокардіограма, адаптивний фільтр, цифрова схема, нейронна мережа, класифікатор, розпаралелення, алгоритм роботи, схемотехнічна реалізація, мікроконтролер, обчислювальний пристрій, програмно-апаратний комплекс, ідентифікація.

АННОТАЦИЯ

Шатный С.В. Информационная технология обработки и анализа кардиосигналов с использованием нейронной сети - Квалификационная научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.13.06 «Информационные технологии» - Национальный университет «Львовская политехника», Министерство образования и науки Украины, Львов, 2020.

Диссертация посвящена разработке и совершенствованию моделей, методов и

средств информационной технологии обработки ЭКГ, повышению быстродействия и точности обработки кардиосигналов, уменьшению размеров системы, предназначенной для такой обработки, снижению ее энергопотребления и реализации системы в аналоговой и цифровой элементных базах. Обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и основные задачи исследований, определены научная новизна работы и практическая значимость полученных результатов, показана связь работы с научными темами. Даются сведения об апробации результатов работы, личный вклад автора и его публикации. Выявлено, что эффективность обработки и анализа зависит от качества предварительной обработки сигналов и природы самого сигнала. Анализ подходов к построению систем обработки биомедицинских сигналов показал необходимость повышения их эффективности. Результаты анализа существующих систем обработки кардиосигналов позволили утверждать, что в большинстве из них недостаточно высокая точность классификации (не выше 75%), низкое быстродействие и высокая стоимость оборудования, связанная с монополией компаний-производителей.

Представлен разработанный метод анализа электрокардиограммы путем определения амплитуды и продолжительности каждого из P, Q, R, S, T-сегментов. Усовершенствован метод предварительной обработки кардиосигналов за счет использования для идентификации и фильтрации нейронных сетей. Улучшен метод классификации кардиосигналов посредством использования частично-распараллеленных нечеткой нейронной сети.

Разработанные программные и аппаратные реализации информационной технологии обработки кардиосигналов, структурно-функциональные и принципиальные схемы обработки входных сигналов на основе микроконтроллеров и программируемых логических интегральных схем. Проведено моделирование и оптимизацию средств обмена данными между структурными элементами системы. Разработаны специализированные программные продукты, предназначенные для предварительной обработки и анализа ЭКГ. Разработаны серверные средства для функционирования удаленной web-системы для взаимодействия логической модели «врач-пациент».

Ключевые слова: информационная технология, теория адаптивного резонанса, электрокардиограмма, адаптивный фильтр, цифровая схема, нейронная сеть, классификатор, распараллеливание, алгоритм работы, схемотехническая реализация, микроконтроллер, вычислительное устройство, программно-аппаратный комплекс, идентификация.

SUMMARY

Shatnyi S.V. Information technology cardio signals processing and analysis using a neural network - Qualified scientific work in manuscript.

Thesis for a Candidate Degree in Technical Sciences (Doctor of Philosophy), specialty 05.13.06 "Information Technologies" – National University "Lviv Polytechnic", Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2020.

The dissertation is devoted to development and improvement of models, methods and means of information technology of electrocardiogram processing, increase of speed and accuracy of processing of cardio signals, reduction of the size of the system intended

for such processing, reduction of its power consumption and realization of system in analog and digital element bases. The relevance of the topic of the dissertation is substantiated, the purpose and main tasks of research are formulated, the scientific novelty of the work and the practical significance of the obtained results are determined, the connection of the work with scientific topics is shown. Information on approbation of work results, personal contribution of the author and his publication is given. It was found that the efficiency of processing and analysis depends on the quality of signal pre-processing and the nature of the signal itself. Analysis of approaches to the construction of biomedical signal processing systems has shown the need to increase their efficiency. The results of the analysis of the existing cardio signal processing systems allowed to state that in most of them the classification accuracy is not high enough (not higher than 75%), low speed and high cost of equipment due to the monopoly of the manufacturing companies.

The developed method of analysis of the electrocardiogram by determination of amplitude and duration of each of P, Q, R, S, T-segments is presented. The method of pre-processing of cardiac signals has been improved due to the use of neural networks for identification and filtering of cardiac signals. The method of classification of cardio signals by means of use of a partially-parallel fuzzy neural network is improved.

Software and hardware implementations of information technology of cardiac signal processing, structural-functional and basic schemes of input signal processing on the basis of microcontrollers and programmable logic integrated circuits are developed. Modeling and optimization of means of data exchange between structural elements of the system are carried out.

The system of processing and analysis of cardio signals is developed with use of open, free and conditionally free software, in particular programming language and environment of development of GCC, system of visual programming and carrying out of simulations of NI Labview. Means based on programmable logic integrated circuits and programmable valve arrays were selected as the hardware platform. The NIO RIO platform was used to conduct the software and hardware simulation, and a platform based on microchip microcontrollers and Altera programmable valve arrays was selected to create, design and implement the layout.

Developed specialized software products for ECG pre-processing and analysis. Server tools have been developed for the operation of a remote web-system for the interaction of the logical model "doctor-patient".

Comparative analyzes were performed with existing software and hardware platforms for cardiac signal processing, in particular with the Holter device. The data show a decrease in energy consumption, increase the accuracy of cardio signal analysis, reduce the infraction of readings and increase the compactness of the system. In general, the proposed and used tools allow for a full range of medical research and implement the developed system in medical and scientific institutions.

Keywords: information technology, adaptive resonance theory, electrocardiogram, adaptive filter, digital circuit, neural network, classifier, parallelization, algorithm of work, circuit implementation, microcontroller, computing device, software and hardware complex, identification.

Підп. до друку 26.02.2021 р. Формат 60x84 1/16. Папір офсетний.
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 0,9. Зам. 321. Наклад 100.

Видавець і виготовлювач

ФОП Донцов І.В.
33028, м. Рівне, вул.Пушкіна 5,
Тел. (068) 033-09-00