УДК 615.471

МЕТОД ПОПЕРЕДНЬОГО ОПРАЦЮВАННЯ ЕКГ В ПРОГРАМНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ СИСТЕМ ТЕЛЕМОНІТОРИНГУ

Соколова Є.В., к.т.н., доц.[1]; Парфьонов М.К.[2]
[1,2] Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
[1,2] Україна, Харків
[1] y.sokolova@khai.edu; [2] m.parfonov@student.khai.edu

Анотація. *В роботі удосконалено метод попереднього перегляду та передачі ЕКГ в програмному забезпеченні систем телемоніторингу, що дозволить зменшити трафік мобільних медичних пристроїв і зменшити навантаження на бездротові мережі.*
Ключові слова: *цифровий сигнальний процесор; електрокардіограма; попередня обробка сигналу; синфазний метод.*

Вступна частина. Сучасні лікарі працюють з діагностичними приладами, які оцифровують інформацію та обробляють її або відображають у цифровому вигляді. Але лише невелика частина має можливість підключення до комп'ютерних мереж. Можливість підключати до комп’ютерної мережі як сучасні, так і старі медичні прилади значно підвищить ефективність та можливості лікарів, особливо при роботі з електронною карткою. З’єднати сучасні та застарілі медичні діагностичні прилади з комп’ютерною мережею нелегко, а деякі прилади взагалі не можливо без значної переробки конструкції. Для тих пристроїв, які мають можливість посилати аналогові або цифрові сигнали на інші пристрої, необхідно розробити методи та процедури для попередньої обробки та передачі ЕКГ та реалізувати їх як блок узгодження роботи та синхронізації з комп’ютерною мережею [1].

Мета роботи полягає в удосконаленні методу попереднього перегляду та передачі ЕКГ в програмному забезпеченні систем телемоніторингу, що дозволить зменшити трафік мобільних медичних пристроїв і зменшити навантаження на бездротові мережі.

Основна частина. Використання обробки сигналів для цифрової обробки ЕКГ вимагає розробки ефективних алгоритмів і програмного забезпечення. Виконання даної задачі пов’язано з вибором типу сигнального процесора згідно параметрів: формат даних, розрядність; швидкість; організація пам’яті; енергоспоживання; зручність розробки програм [2]. Алгоритм попередньої обробки сигналів ЕКГ у системах телемоніторингу спрямовано на вирішення унікальних вимог і проблем, пов’язаних із обробкою в реальному часі та сценаріями дистанційного моніторингу. Алгоритм складається з наступних кроків:

Отримання сигналу: сигнали ЕКГ отримують за допомогою пристроїв віддаленого моніторингу (переносні датчики ЕКГ або програми на основі смартфона).

Фільтрування шуму: для цього використовуються різні методи фільтрації для видалення шуму та перешкод із сигналів ЕКГ. Це включає застосування фільтрів високих частот, низьких частот і режекторних фільтрів для усунення блукання базової лінії, м’язового шуму, перешкод у лінії електропередач та інших артефактів, які можуть вплинути на якість сигналу.

Виявлення R-зубця: визначаються піки R-зубця в сигналах ЕКГ, які представляють основну серцеву діяльність. Точне визначення піків зубця R є важливим для подальшого аналізу та інтерпретації.

Розрахунок частоти серцевих скорочень: частота серцевих скорочень обчислюється, аналізуючи часові інтервали між піками зубця R. Ця інформація важлива для аналізу серцевої діяльності пацієнта та дозволяє виявити аномалії чи порушення.

Виявлення аритмії: аналіз шаблонів ЕКГ і порівняння їх із заздалегідь визначеними критеріями або моделями машинного навчання, навченими на анотованих наборах даних для виявлення поширених аритмій, таких як фібриляція передсердь або шлуночкова тахікардія.

Оцінка якості: механізми оцінки якості надійності отриманих сигналів ЕКГ, може включати перевірку на артефакти сигналу, проблеми з контактом електродів, співвідношення сигнал/шум і постійність амплітуди сигналу.

Оцінка етапу попередньої обробки ЕКГ має вирішальне значення для визначення ефективності алгоритму для покращення якості сигналу та зменшення шумів і артефактів. Для цього зазвичай використовуються такі показники:

Відношення сигнал/шум (SNR): кількісно визначає відношення потужності сигналу до потужності шуму в попередньо обробленому сигналі ЕКГ, вимірює чіткість і силу хвилі ЕКГ, враховуючи рівень наявного шуму:

SNR = 10 * log10 (signal_power / noise_power), де signal_power — потужність попередньо обробленого сигналу ЕКГ, а noise_power — потужність залишкового шуму.

Точність виявлення артефакту: вимірює здатність алгоритму ідентифікувати та видаляти або зменшувати артефакти в сигналі ЕКГ, обчислюється шляхом порівняння кількості правильно виявлених артефактів із загальною кількістю артефактів: Точність_виявлення артефакту = (TP + TN) / (TP + TN + FP + FN), де TP —кількість правильно виявлених артефактів, TN — кількість істинних негативних результатів, FP — кількість хибних спрацьовувань, FN — кількість невиявлених артефактів [3].

Зменшення блукання базової лінії: пом’якшення або усунення низькочастотних коливань сигналу ЕКГ, які можуть вплинути на точність подальшого аналізу. Кількісно визначити зменшення базового дрейфу можливо за допомогою обчислення:

Середнє абсолютне відхилення (MAD): MAD = середнє(абс(сигнал - ковзне_середнє(сигнал, розмір вікна))). У цій формулі сигнал представляє попередньо оброблений сигнал ЕКГ, а ковзне_середнє (сигнал, розмір вікна) позначає ковзне середнє сигналу з указаним розміром вікна. MAD обчислює середню абсолютну різницю між сигналом і його ковзним середнім, забезпечуючи міру зменшення дрейфу базової лінії.

Стандартне відхилення (SD) компоненти блукання базової лінії:

Baseline_wander_component = сигнал - ковзне_середнє (сигнал, розмір вікна),

SD_baseline_wander = standard_deviation(baseline_wander_component), де baseline_wander_component отримано шляхом віднімання ковзного середнього сигналу від самого сигналу, а SD_baseline_wander обчислює стандартне відхилення компонента дрейфу базової лінії, що відображає мінливість або амплітуду дрейфу базової лінії.

Потужність сигналу в діапазоні низьких частот:

Power_in_low_frequency_range = integrate(power_spectrum, low_frequency_range)

У цій формулі power_spectrum представляє спектральну щільність потужності попередньо обробленого сигналу ЕКГ, а low_frequency_range позначає бажаний діапазон низьких частот. Інтегруючи спектр потужності в межах низькочастотного діапазону кількісно визначається потужність або енергію, що міститься в низькочастотних компонентах, які вказують на дрейф базової лінії.

Аналізуючи ці показники, можна ефективно оцінити якість етапу попередньої обробки ЕКГ, керуючи розробкою та оптимізацією алгоритмів для систем телемоніторингу [4].

Для оцінки точності та ефективності рекомендацій, наданих системою телемоніторингу на основі оброблених даних ЕКГ використовуються такі показники:

Чутливість: вимірює здатність системи рекомендацій правильно визначати позитивні випадки або відповідні дії: чутливість = TP / (TP + FN), де TP — це кількість істинно позитивних результатів, а FN — кількість помилково негативних.

Специфічність: вимірює здатність системи рекомендацій правильно визначати негативні випадки або нерелевантні дії: Специфічність = TN / (TN + FP), де TN – кількість істинно негативних результатів, а FP – кількість хибнопозитивних результатів.

Позитивне прогнозне значення (PPV): вимірює частку правильно рекомендованих позитивних випадків серед усіх рекомендованих позитивних випадків: PPV = TP / (TP + FP), де TP — це кількість істинно позитивних результатів, а FP — кількість хибних позитивних.

Негативне прогнозне значення (NPV): показник, який використовується для оцінки точності системи рекомендацій у правильному визначенні негативних випадків або нерелевантних дій, допомагає оцінити здатність системи уникати помилкових негативних результатів: NPV = TN / (TN + FN), де TN представляє кількість справжніх негативів, FN представляє кількість помилкових негативів.

Вибір відповідних показників для оцінки якості рекомендацій у системах телемоніторингу має вирішальне значення для оцінки точності та ефективності рекомендацій системи на основі оброблених даних ЕКГ. Чутливість, специфічність, позитивна прогностична цінність і негативна прогностична цінність дають цінну інформацію про здатність системи виявляти справжні позитивні та негативні випадки та давати точні рекомендації. Аналізуючи ці показники, можна ефективно оцінити якість рекомендацій на основі оброблених даних ЕКГ.

Таким чином, на продуктивність попередньої обробки ЕКГ у системах телемоніторингу можуть впливати різні фактори. Рівень шуму, розміщення електродів, рух пацієнта, вибір параметрів фільтрації та мінливість якості сигналу є одними з факторів, які потребують ретельної уваги. Враховуючи ці фактори та впроваджуючи відповідні методи та алгоритми, вплив цих факторів можна мінімізувати, що призведе до більш надійної та точної попередньої обробки ЕКГ-сигналів у системах телемоніторингу [5].

Критерії оцінки ефективності визначені та обґрунтовані для оцінки ефективності методу:

Точність: означає здатність методу попередньої обробки правильно обробляти сигнали ЕКГ і витягувати відповідну інформацію, мінімізуючи спотворення, шум і артефакти. Вимірює точність оброблених сигналів у порівнянні з наземними правдивими або опорними сигналами.

Обчислювальна ефективність: оцінює швидкість і ефективність методу попередньої обробки, враховує необхідні обчислювальні ресурси, такі як час обробки та використання пам’яті, для виконання необхідних операцій із сигналами ЕКГ. Обчислювально ефективний метод гарантує, що попередня обробка може виконуватися в режимі реального або майже реального часу, що робить його практичним для використання в системах телемоніторингу, які часто вимагають швидкого аналізу та відповіді.

Надійність: оцінює здатність методу попередньої обробки впоратися з варіаціями та проблемами, які зазвичай виникають у сценаріях телемоніторингу, розглядає ефективність методу за наявності різних рівнів шуму, варіацій розміщення електродів, рухів пацієнта та інших потенційних джерел погіршення сигналу. Надійний метод демонструє послідовну та

надійну роботу в різноманітних умовах, забезпечуючи точний та значущий аналіз даних ЕКГ у програмах телемоніторингу.

Масштабованість: означає здатність методу попередньої обробки обробляти зростаючі обсяги даних або адаптуватися до змінних системних вимог. Він оцінює ефективність методу при застосуванні до більших наборів даних або розгортанні в системах телемоніторингу, які обслуговують зростаючу кількість користувачів. Масштабований метод може ефективно обробляти дані ЕКГ незалежно від обсягу даних, забезпечуючи його придатність для впровадження в реальному світі та майбутнього розширення.

Враховуючи ці критерії оцінки, дослідження мало на меті комплексно оцінити продуктивність методу попередньої обробки ЕКГ, надаючи цінну інформацію про його придатність та ефективність для програм телемоніторингу. Поєднання критеріїв точності, обчислювальної ефективності, надійності та масштабованості забезпечило цілісну оцінку, яка враховувала як якість оброблених сигналів, так і практичні аспекти реалізації в реальному світі.

Висновки. Розробка методу попереднього опрацювання ЕКГ в програмному забезпеченні систем телемоніторингу є актуальним завданням, його використання дозволить зменшити трафік від мобільних медичних пристроїв і зменшити навантаження на бездротові мережі. Враховуючи різні фактори, вибираючи відповідні алгоритми та використовуючи відповідні показники, можна оцінити та оптимізувати попередній метод обробки для точного аналізу та надійних рекомендацій. Цей комплексний підхід підвищує ефективність і ефективність систем телемоніторингу в обробці та інтерпретації сигналів ЕКГ, що в кінцевому підсумку призводить до покращення догляду за пацієнтами та діагностики в сценаріях дистанційного моніторингу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Shatnyi, S., & Tymoshchuk, P. (2018). 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"*, 42-47.

[2] Ganguly, S. (2021). *Quantum Machine Learning: An Applied Approach*.

[3] Hlukhov, V., & Havano, B. (2018). FPGA-based Digital Quantum Coprocessor. *Advances in Cyber-Physical Systems*, 12–31.

[4] Hlukhov, V., & Havano, B. (2019). Principles of Digital Quantum Coprocessor Based on a FPGA, which Operates under the Control of a Classical Computer. *International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*, 191-194.

[5] Melnyk, A., Morozov, Y., Havano, B., & Hupalo, P. (2021). HealthSupervisor: Mobile Application for Round the-Clock Remote Monitoring of the Human Functional State. *The 2nd International Workshop on Intelligent Information Technologies & Systems of Information Security*, 24-37.

Sokolova Y.V., Parfyonov M.K.

The method of preliminary processing of the ECG in the software of telemonitoring systems

Abstract. *The work improved the method of previewing and transmitting the ECG in the software of telemonitoring systems, which will reduce the traffic of mobile medical devices and reduce the load on wireless networks.*

Keywords: *digital signal processor; electrocardiogram; signal pre-processing; in-phase method.*