

УДОСКОНАЛЕНИЙ АЛГОРИТМІЧНИЙ ПІДХІД ДО ВИДІЛЕННЯ ЕЛЕКТРОКАРДІОСИГНАЛУ ПЛОДА

UDC 004.93:616.12:618.3

H. Franchevska; E. Yavorska, Ph.D., Assoc. Prof

ADVANCED ALGORITHMIC APPROACH FOR FETAL ELECTROCARDIOGRAM SIGNAL EXTRACTION

Безперервний моніторинг серцевої діяльності плода є життєво важливим для покращення пренатального догляду та зниження рівня мертвонароджуваності. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), щорічно відбувається приблизно 2,6 мільйона мертвонароджень, багато з яких можна було б запобігти завдяки ефективному і безперервному моніторингу плода. Незважаючи на розвиток медичних технологій, в умовах обмежених ресурсів все ще існують проблеми із забезпеченням точного моніторингу плода в режимі реального часу. Традиційні методи, такі як доплерівське ультразвукове дослідження, пропонують лише періодичні оцінки, що обмежує їхню здатність виявляти тонкі, але критичні ознаки дистресу плода. У цьому дослідженні представлено математичну модель і надійний алгоритм для виділення електрокардіосигналів плода (фЕКС) зі змішаних записів матері і плода.

Сигнал, що спостерігається, є комбінацією ЕКС матері, ЕКС плода та шуму:

$$s_{obs}(t) = A_m s_m(t) + A_f s_f(t) + B_m S_m(t) s_f(t) + n(t),$$

Сигнали суміші ЕКС матері та плода є квазіперіодичними і можуть бути представлені за допомогою рядів Фур'є.

Алгоритм, зображений на рисунку 1 включає кілька ключових кроків:

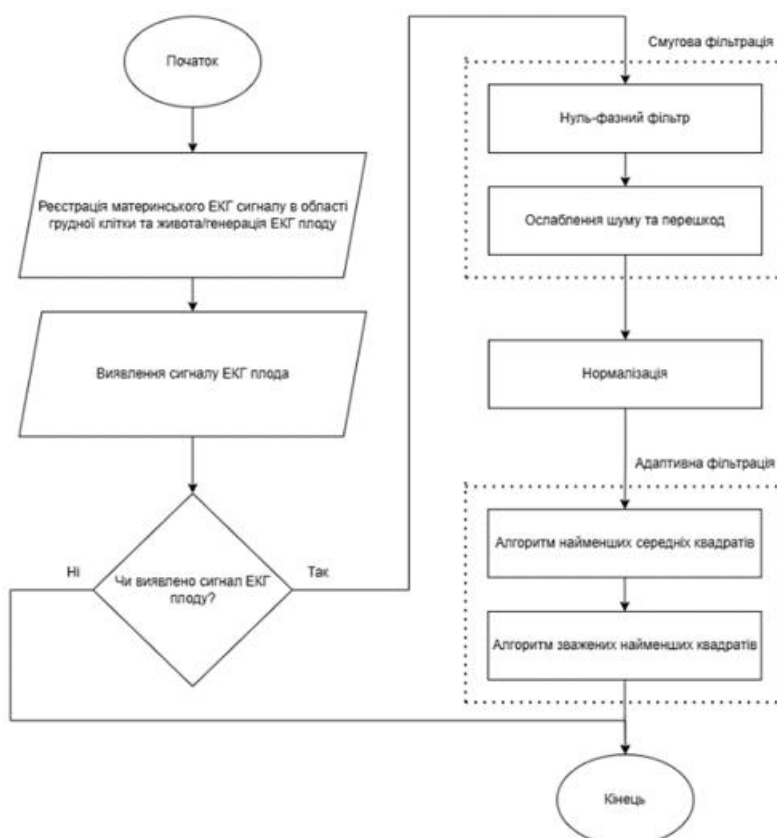


Рисунок 1. Алгоритм виділення ЕКС плода

Спочатку неінвазивні електроди фіксують абдомінальні сигнали, що містять як материнські, так і плодові компоненти. Попередня обробка зменшує високочастотний шум і підвищує чіткість материнського сигналу. Виявлення R-піків ідентифікує материнські сигнали для відокремлення. Потім частотно-специфічні фільтри низьких і високих частот ізолюють ЕКС плода в межах його характерного діапазону. Нарешті, нормалізація стандартизує амплітуди, а адаптивна фільтрація ще більше покращує виділений сигнал для точності та чіткості.

Результати, що показані на рисунку 2, демонструють, що запропонований алгоритм досягає високого співвідношення сигнал/шум (SNR), зберігаючи ключові характеристики, такі як Р-хвиля, комплекс QRS і Т-хвиля, важливі для внутрішньоутробної діагностики.

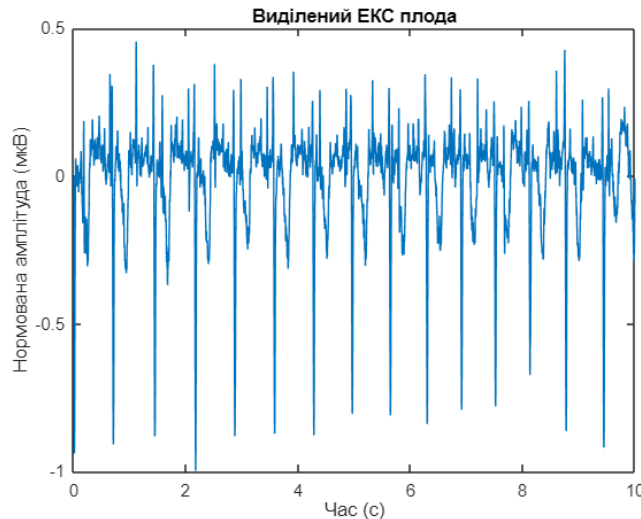


Рисунок 2. Виділений ЕКС плода

Кількісний аналіз вказує на значні покращення порівняно з традиційними методами, особливо в шумному середовищі. Представлення на основі Фур'є та адаптивна фільтрація виявилися ефективними для розділення ЕКГ плода без порушення цілісності материнського сигналу. Ці результати підтверджують потенціал алгоритму для неінвазивного моніторингу в реальному часі в клінічних умовах.

Таким чином, це дослідження представляє надійний та адаптивний алгоритм для вилучення фЕКС, який вирішує проблеми накладання сигналів та шуму навколишнього середовища. Завдяки збереженню критично важливих характеристик форми сигналу та досягненню високого SNR, метод підтримує точний моніторинг плода. Масштабованість і економічна ефективність роблять його придатним для різних медичних установ, в тому числі в умовах обмежених ресурсів. Подальша робота буде зосереджена на інтеграції та оптимізації в режимі реального часу для ширшого клінічного застосування.

Література

1. World Health Organization. Stillbirth. – 2019. URL: <https://www.who.int/health-topics/stillbirth>.
2. Н. Franchevska, М. Khvostivskyi, V. Dozorskyi, E. Yavorska, and O. Zastavnyy, «The Method and Algorithm for Detecting the Fetal ECG Signal in the Presence of Interference,» in Proc. 1st Int. Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023), Ternopil, Ukraine, 2023, pp. 263–272.
3. Patel, J. H., & Zheng, Y. An additive-multiplicative approach for improved fetal ECG extraction. Journal of Biomedical and Health Informatics.