

УДК 616.12-073.97:519.87

Кондратюк А. – ст. гр. СНа-31

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ОГЛЯД МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ АРТЕФАКТІВ ЕЛЕКТРОКАРДІОСИГНАЛУ

Науковий керівник: д.т.н., професор Литвиненко Я.В.

Kondratiuk A.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

REVIEW OF MATHEMATICAL MODELS FOR MODELING ELECTROCARDIO SIGNAL ARTIFACTS

Supervisor: Dr., Prof.; I.V. Lytvynenko

Ключові слова: математична модель, електрокардіосигнал, методи опрацювання, артефакт

Keywords: mathematical model, electrocardiosignal, processing methods, artifact

Електрокардіосигнал (ЕКС) є чутливим біомедичним сигналом, який часто зазнає впливу різноманітних артефактів, що ускладнює його аналіз та інтерпретацію. Артефакти можуть виникати внаслідок рухів пацієнта, електромагнітних завад, контакту електродів із шкірою, дихальних процесів або роботи інших фізіологічних систем. У зв'язку з цим важливим завданням є побудова математичних моделей, які дозволяють адекватно відтворювати ці спотворення для тестування алгоритмів обробки сигналів.

Дана теза стосується огляду математичних моделей для задачі комп'ютерного моделювання артефактів які можуть бути присутні в ЕКС.

Одним із базових підходів є адитивна модель шуму, у якій реальний ЕКГ-сигнал представляється як сума корисного сигналу та шумової складової. Такий підхід дозволяє моделювати білий гаусівський шум, що часто використовується для імітації електронних завад. Більш складні варіанти включають кольоровий шум ($1/f$ шум), який краще відображає природні процеси у біологічних системах.

Інший клас моделей базується на рухових артефактах, які описуються як низькочастотні коливання з випадковими або квазіперіодичними характеристиками. Такі моделі часто реалізуються через синусоїдальні компоненти з випадковою амплітудою та фазою або через стохастичні процеси, зокрема марковські моделі.

Окремо виділяються фізіологічно обґрунтовані моделі, які враховують взаємодію серцевої діяльності з диханням та іншими системами організму. У таких моделях артефакти можуть бути представлені як модуляція амплітуди або частоти основного ЕКС. Це дозволяє більш точно відтворювати реальні умови реєстрації сигналу.

Важливим напрямом є використання стохастичних процесів, зокрема авторегресійних (AR), ковзного середнього (MA) та ARMA-моделей для опису структурованого шуму в ЕКС. Такі підходи дозволяють моделювати корельовані завади та оцінювати їх вплив на точність детекції QRS-комплексів.

У сучасних дослідженнях все більшого поширення набувають генеративні моделі на основі машинного навчання, зокрема генеративно-змагальні мережі (GAN) та

дифузійні моделі, які здатні відтворювати складні нелінійні артефакти та реалістичні варіації сигналу.

Оглянуті математичні моделі які дозволяють врахувати артефакти ЕКС охоплюють широкий спектр підходів - від простих адитивних шумових моделей до складних стохастичних і нейромережових структур. Їх використання є критично важливим для розробки та тестування алгоритмів очищення сигналів і підвищення точності автоматизованої діагностики.

Список використаних джерел

1. Sörnmo L., Laguna P. *Bioelectrical Signal Processing in Cardiac and Neurological Applications*. Amsterdam : Elsevier, 2005. 672 p.
2. Sameni R., Clifford G. D. A Review of Fetal ECG Signal Processing; Issues and Promising Directions. *Open Pacing, Electrophysiology & Therapy Journal*. 2010. Vol. 3. P. 4–20.
3. Mitra S. K., Kaiser J. F. *Handbook for Digital Signal Processing*. New York : Wiley, 1993. 1152 p.
4. Haykin S. *Adaptive Filter Theory*. Upper Saddle River : Prentice Hall, 2002. 900 p.
5. Richman J. S., Moorman J. R. Physiological Time-Series Analysis Using Approximate Entropy and Sample Entropy. *American Journal of Physiology*. 2000. Vol. 278, No. 6. P. H2039–H2049.
6. Bashar S. K. et al. Noise Reduction in ECG Signals Using Adaptive Filtering Techniques. *Biomedical Signal Processing and Control*. 2018. Vol. 40. P. 137–145.
7. Wang J. et al. ECG Signal Denoising Using Wavelet Transform and Neural Networks. *IEEE Access*. 2019. Vol. 7. P. 420–430.
8. Li Q., Rajagopalan C., Clifford G. D. A Machine Learning Approach to ECG Noise Detection and Suppression. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 2014. Vol. 61, No. 6. P. 1694–1702.
9. Sharma L. et al. ECG Noise Removal Techniques: A Survey. *Biomedical Signal Processing and Control*. 2020. Vol. 58. 101862.
10. Литвиненко Я. В. Методи ідентифікації сегментної та ритмічної структур циклічних сигналів в системах цифрової обробки даних : дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 / Ярослав Володимирович Литвиненко. – Тернопіль : ТНТУ, 2019. – 663 с.
11. Addison P. S. *Wavelet Transforms and the ECG: A Review*. *Physiological Measurement*. 2005. Vol. 26, No. 5. P. R155–R199.