

Визуализация помех сети питания в телемедицинских системах мобильной электрокардиографии

Ю.Г. Горшков¹

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,
Москва, Россия

¹ ORCID: 0000-0003-0483-4603, y.gorshkov@npo-echelon.ru

Аннотация

В статье представлено продолжение исследований автора в области визуализации биомедицинских сигналов при разработке и эксплуатации мобильных систем кардиодиагностики. Рассмотрены одни из последних указаний разработчикам электрокардиографического оборудования и рекомендации по диапазону частот ЭКГ сигнала для стандартного клинического использования. Подчеркивается негативное воздействие на анализируемый сигнал помех промышленной частоты (помехи сети питания). Предложены аппаратно-программные решения средств съема и регистрации помех сети питания, включающие ларингофонную гарнитуру с малогабаритным конденсаторным цифровым USB-микрофоном и звуковой редактор. За период 2010-2020 годы выполнена регистрация 1092 фонограмм акустических биомедицинских сигналов сердца, сетевых помех и электромагнитных наводок в различных помещениях. Для решения задач визуализации помех сети питания выполнена оценка возможностей распространенного звукового редактора Audacity. На примерах полученных спектральных сечений участков сигнала с помехами необходимого частотно-временного разрешения достигнуто не было. Представлены разработанные программные средства WaveView и WaveView-MWA, обеспечивающие за счет многоуровневого вейвлет анализа нестационарных сигналов высокое частотно-временное разрешение и наглядную визуализацию помех малого уровня.

Экспериментальная апробация предложенной технологии визуализации подтвердила ее высокую эффективность. Впервые получен набор типичных сигналов помех сети питания при регистрации биомедицинских сигналов кардиодиагностики в реальных условиях эксплуатации мобильных систем. Приводится пример визуализации помех с использованием портала acustocard.ru в режиме on-line.

Ключевые слова: системы телемедицины, помехи сети питания, мобильная электрокардиография, многоуровневый вейвлет-анализ.

1. Введение

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются одной из основных причин всех смертей в мире. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), ежегодно около 17 млн человек умирают от ССЗ. К сердечно-сосудистым заболеваниям относят инсульты, инфаркты и ишемическую болезнь сердца. Ежегодно в России от болезней сердечно-сосудистой системы умирает около 1,3 млн человек, это около 55% от общего количества смертельных случаев [1, 2]. Среди неинвазивных методов исследования сердечно-сосудистой системы (ССС) приоритет сохраняет за собой электрокардиография (ЭКГ). ЭКГ является наиболее доступным, относительно дешевым и наименее трудоемким методом исследования. Широкое распространение получило суточное амбулаторное мониторирование ЭКГ по методу Холтера. ЭКГ покоя

и суточное мониторирование в настоящее время являются основными методами исследования на всех этапах ведения кардиологических больных. Исследования последних лет показали, что повышение достоверности и эффективности кардиодиагностики возможно за счет создания интеллектуальных систем мониторинга ЭКГ с использованием таких технологий, как глубокое обучение, искусственный интеллект, большие данные и интернет вещей [3, 4].

Вступление в нашей стране с 1 января 2018 года в силу закона о телемедицине позволило приступить к решению задач внедрения в лечебную практику телемедицинских комплексов для дистанционных электрокардиографических исследований [5]. Получило развитие направление мобильной электрокардиографии (МЭКГ) [6-8]. В то же время, при возможности применения малогабаритных приборов ЭКГ практически в любых условиях, не всегда учитывается реальная электромагнитная обстановка окружения, определяется вид и уровень электрических помех сигналов наводок сети питания 50/60 Гц промышленной частоты, что может, в конечном счете привести к погрешностям измерений и недостоверности диагностических данных.

За последние годы в нашей стране разработчики аппаратуры регистрации и обработки сигналов ЭКГ систем телемедицины учитывают влияние исключительно помехи промышленной частоты 50 Гц [9-13]. Воздействие на кардиосигнал гармоник 100 Гц и 150 Гц, как правило, не учитывается. Зарубежные специалисты в данной области предлагают решения по устранению сигналов наводок 50-60 Гц [14-23]. В одном из последних изданий [24] авторами дополнительно к помехам основной частоты 60 Гц рассматривается воздействие на ЭКГ сигнал второй и третьей гармоник (120 Гц и 180 Гц). Таким образом, решение задачи высокоточного выделения и визуализации всего набора помех, в том числе гармоник частот 50/60 Гц, находящихся в полосе частот электрокардиографического сигнала и приводящих к ошибкам в диагностике заболеваний сердечно-сосудистой системы, следует отнести к актуальной.

2. Регистрация и обработка ЭКГ сигнала

Исследованию методов регистрации ЭКГ сигнала и разработке приборов регистрации биопотенциалов сердца на поверхности тела человека посвящено значительное количество работ. В настоящее время в лечебной практике наиболее широко применяется контактный метод регистрации ЭКГ. Подразделением China Applications Support Team компании Analog Devices разработаны «Указания по разработке аппаратной части модуля для регистрации ЭКГ» [25], в которых в полном объеме содержится информация, необходимая разработчикам электрокардиографического оборудования.

На рис. 1 представлена обобщенная форма ЭКГ сигнала с указанием характерных величин измеряемых параметров [25].

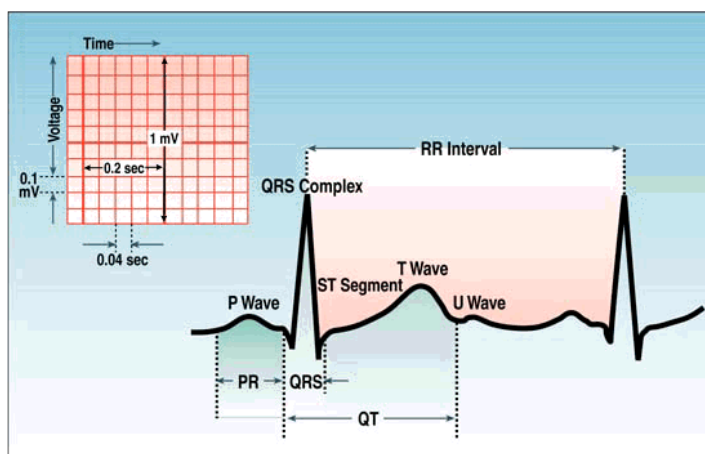


Рис. 1. Форма ЭКГ сигнала и характерные значения его параметров

Исходя из информации, представленной на рис. 1 следует, что при анализе параметров ЭКГ приходится иметь дело с сигналами величиной в несколько милливольт. Диапазон частот ЭКГ сигнала ограничен несколькими сотнями Герц, при этом для стандартного клинического использования можно ограничиться полосой от 0.05 Гц до 100 Гц. Сигнал с такой полосой частот будет испытывать негативное воздействие помехи промышленной частоты 50/60 Гц (помехи наводок сети питания).

Также в [25] обращается внимание и на другие виды помех, воздействующих на ЭКГ сигнал: - помехи электромагнитной природы от различных электронных устройств; - шум, возникающий вследствие изменения условий контакта электрода с кожей; - искажения сигнала при движении пациента, связанные с изменением импеданса контакта электрод-кожа; - мышечная активность человека.

На рис. 2 представлен внешний вид «домашнего кардиоанализатора» (ООО «ИТМ-Миокард, НИМП ЕСН и Лаборатория Искусственного Интеллекта, Россия) и пример визуализации ЭКГ сигналов [26].



Рис. 2. Внешний вид «домашнего кардиоанализатора» и пример визуализации ЭКГ сигналов

Существенное повышение достоверности диагностирования пациентов достигается инженерным и методическим обеспечением метрологической оценки состояния используемых средств. Для эффективного применения приборов ЭКГ в системах телемедицины разрабатываются автоматизированные комплексы метрологической поверки и сертификационных испытаний «на местах» [27]. Активное развитие систем кардиомониторинга на основе анализа изменчивости параметров сердечного ритма обуславливает необходимость точного детектирования QRS-комплексов ЭКГ-сигнала для минимизации погрешностей измерения длительностей R-R интервалов ЭКГ-сигнала (рис. 1) в условиях влияния перечисленных выше помех [28, 29].

3. Средства съема и обработки помех сети питания

3.1. Аппаратно-программные средства регистрации сигналов помех сети питания (ПСП)

В качестве устройства съема сигналов помех сети питания используется ларингофонная гарнитура с малогабаритным конденсаторным цифровым USB-микрофоном. Гарнитура закрепляется в области шеи, обеспечивает съем звуков сердца, помех, а также аналого-цифровое преобразование сигналов. Тракт регистрации включает гарнитуру Logitech PC Headset 960 USB («Logitech», США), диапазон частот 20-20000 Гц (рис. 3) и звуковой редактор «AD Sound Recorder» («Adrosoft») [30]. Формат записи WAV, режим mono, частота дискретизации 11025 Гц, разрядность 16 бит.



Рис. 3. Внешний вид гарнитуры Logitech PC Headset 960 USB

3. 2. Программные средства визуализации сигналов ПСП с использованием преобразования Фурье

Рассмотрим возможности одного из наиболее распространенного звукового редактора Audacity обработки аудиозаписей при частотно-временной визуализации звуков сердца с помехами сети питания. Редактор Audacity обеспечивает выполнение следующих функций: спектральный анализ с использованием преобразования Фурье с различными формами окна; удаление шума по образцу [31].

На рис. 4 представлена осциллограмма зарегистрированного сигнала с помехами.

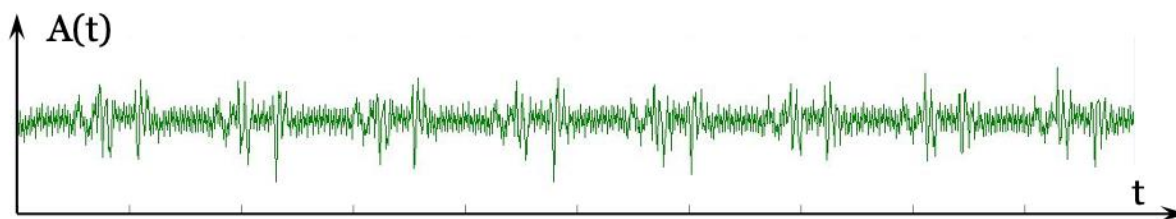


Рис. 4. Осциллограмма зарегистрированного сигнала с помехами

На рис. 5 представлено спектральное сечение участка сигнала с помехами 50 Гц и 150 Гц, полученное редактором Audacity. Уровень помехи с частотой 50 Гц составляет -20 дБ, с частотой 150 Гц -52 дБ.

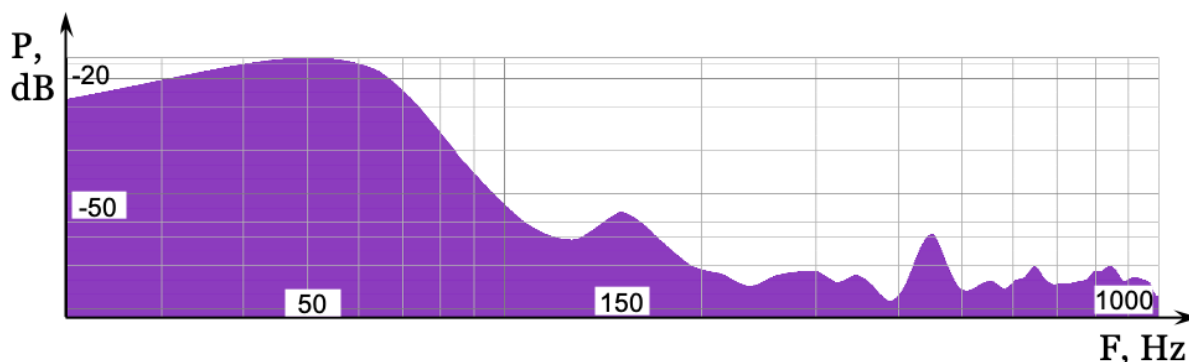


Рис. 5. Спектральное сечение участка сигнала с помехами

Анализ данных рис. 5 показывает, что использование преобразования Фурье при анализе сигналов помех не обеспечивает необходимую точность и наглядную визуализацию частотных компонент.

3. 3. Программные средства визуализации сигналов ПСП с использованием многоуровневого вейвлет-анализа (МВА)

Исследования, направленные на создание программных средств высокоточной обработки и визуализации нестационарных сигналов привели к созданию программ WaveView и WaveView-MWA [32]. Возможности WaveView: анализ участка сигнала с возможностью выбора полосы частот и частотно-временного разрешения; отображение результатов анализа в виде вейвлет-сонограммы (изображений «видимый звук»), используется материнский вейвлет Морле; получение частотного сечения в заданный момент времени; поддержка большого числа форматов звуковых файлов. Программное обеспечение (ПО) WaveView-MWA является последней версией программных средств вейвлет-анализа. При построении акустосонограмм используются материнские вейвлеты: Морле, Хаара, «Мексиканская шляпа». Тестирование ПО WaveView-MWA показало возможность выделения и визуализации нестационарных сигналов малого уровня до -60 дБ. Использование WaveView-MWA при решении задач определения подлинности фонограмм [33], акустографическом исследовании звуков сердца и легких [34-36], визуализации биомедицинских сигналов в системах телемедицины [37, 38], обеспечивает точность, недоступную цифровой обработке на основе преобразования Фурье.

4. Примеры вейвлет-сонограмм сигналов ПСП

В ходе исследований, проведенных в МГТУ им. Н.Э. Баумана за период 2009-2019 г.г. с использованием аппаратно-программных средств съема и обработки акустических биомедицинских сигналов сердца, а также воздействия на сигналы акустокардиографии (АКГ) сетевых помех и электромагнитных наводок, выполнен анализ 1092 записей, зарегистрированных в различных помещениях. Рассмотрим примеры вейвлет-сонограмм, полученных с использованием WaveView-MWA.

На рис. 6 представлены вейвлет-сонограммы типичных сигналов помех сети питания (А, В, С, D), зарегистрированных в различных помещениях.

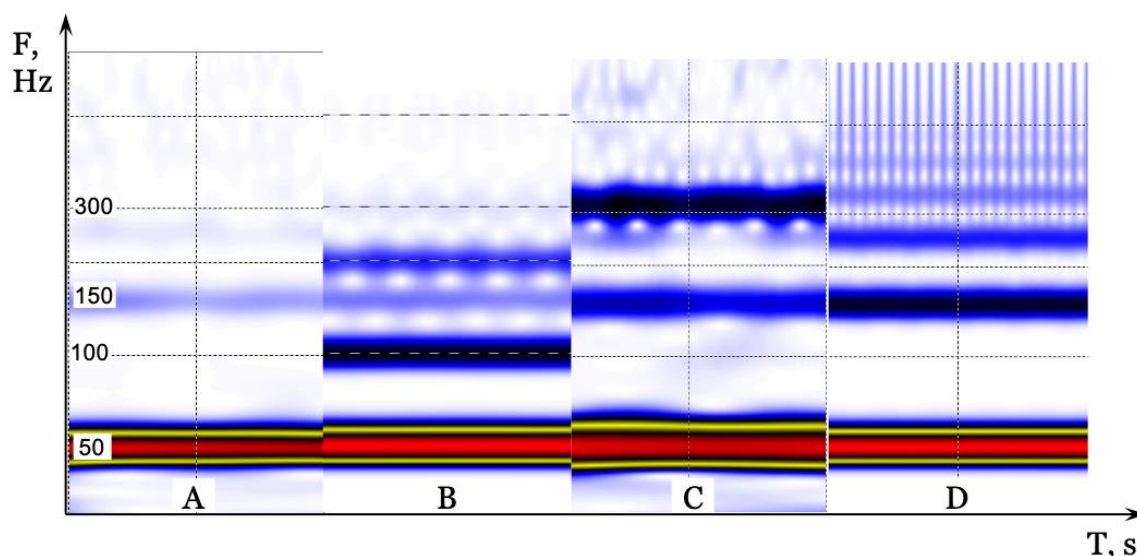


Рис. 6. Вейвлет-сонограммы типичных сигналов помех сети питания

Где А: частотные компоненты помех 50, 150 Гц (осциллограмма сигнала представлена на рис. 4. Фурье-спектрограмма – рис. 5); В: 50, 100, 150, 200 Гц; С: 50, 150, 300 Гц; D: 50, 150, 250, 350, 450 Гц.

Помимо типичных помех сети питания с наличием частоты 50 Гц, встречаются наводки в виде гармоник, например 150, 300 Гц (рис. 7).

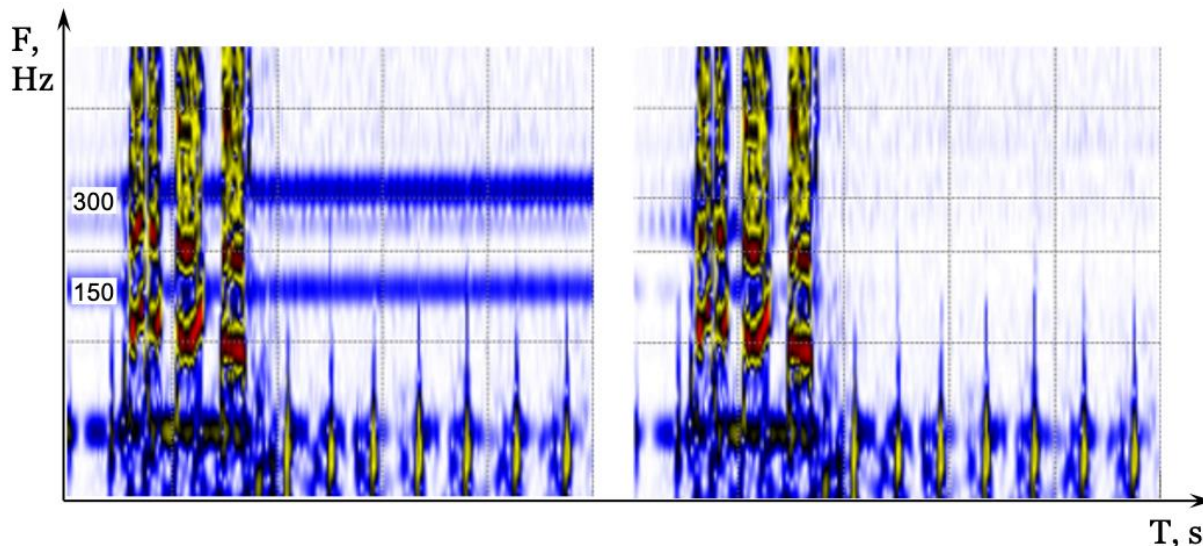


Рис. 7. Вейвлет-сонограммы акустических биомедицинских сигналов речи и тонов сердца с помехами 150, 300 Гц (слева) и после шумоочистки (справа)

Шумоочистка сигналов от помех после этапа визуализации и определения частотных характеристик также обеспечивается ПО WaveView-MWA с использованием фильтров Добеши, Койфмана и Шеннона.

Один из примеров воздействия на сигналы АКГ помехи сети питания представлен на рис. 8. Вейвлет-сонограмма сигнала с помехой 50 Гц получена с использованием портала acustocard.ru в режиме on-line.

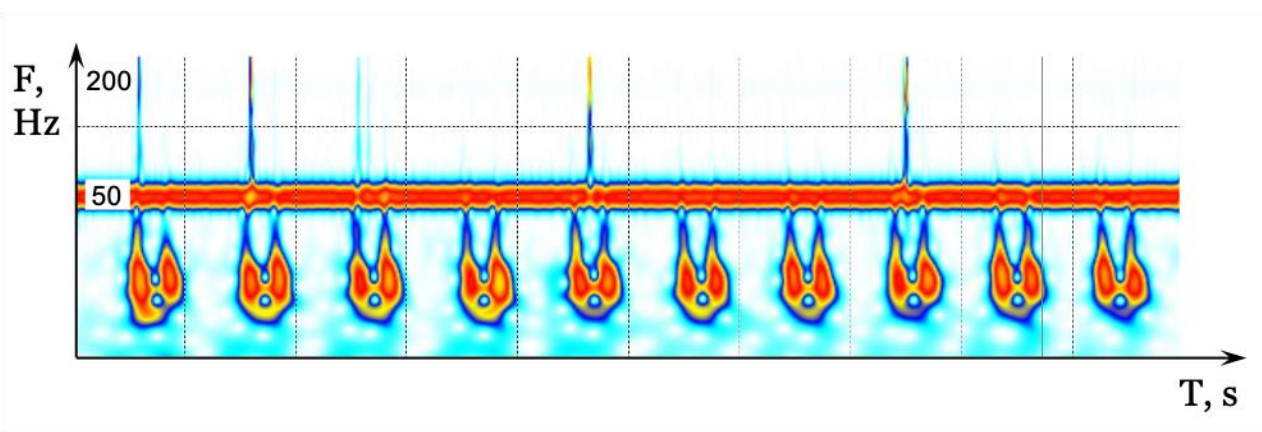


Рис. 8. Вейвлет-сонограмма тонов сердца с помехой 50 Гц, полоса анализируемых частот 10-200 Гц

На рис. 9 представлен акустографический сигнал после удаления помехи 50 Гц.

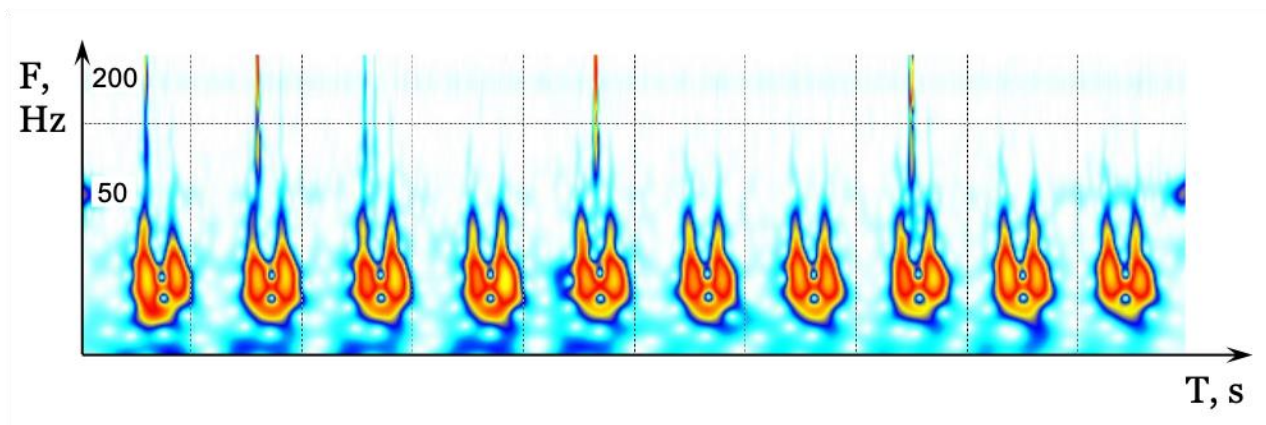


Рис. 9. Вейвлет-сонограмма тонов сердца без помехи

Анализ изображений помех, представленных на рис. 6–9 показывает, что вейвлет-сонограммы намного более информативны, чем обычные Фурье-спектрограммы и, в отличие от последних, позволяют легко выявлять тончайшие локальные особенности как акустических сигналов, так и электромагнитных сигналов помех сети питания.

5. Заключение

С внедрением в лечебную практику телемедицинских систем мобильной электрокардиографии, обеспечивающих регистрацию и обработку сигналов в различной электромагнитной обстановке, к актуальным вопросам относятся выделение и визуализация электромагнитных помех, негативно воздействующих на ЭКГ сигнал.

Предложены аппаратно-программные средства съема, регистрации и высокоточной визуализации помех сети питания и электромагнитных наводок. Выявлен набор типичных сигналов помех сети питания при регистрации биомедицинских сигналов кардиодиагностики в реальных условиях эксплуатации мобильных систем. Показана возможность визуализации помех в режиме on-line.

Получение точных параметров помех и их учет при анализе сигналов ЭКГ позволит повысить достоверность полученной информации и избежать ошибок в диагностике кардиозаболеваний.

Список литературы

1. Статистика смертности от сердечно-сосудистых заболеваний в России и в мире / Всемирная организация здравоохранения. [https://www.who.int/ru/news-room/factsheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/ru/news-room/factsheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)) (дата обращения: 03.02.2020).
2. Сердце без сбоев: как предотвратить сердечно-сосудистые заболевания? Федеральный фонд обязательного медицинского страхования. <http://www.ffoms.ru/> (дата обращения: 03.02.2020).
3. Serhani, M.A.; T. El Kassabi, H.; Ismail, H.; Nujum Navaz, A. ECG Monitoring Systems: Review, Architecture, Processes, and Key Challenges. *Sensors* 2020, 20, 1796. (<https://doi.org/10.3390/s20061796>)
4. Porumb M., Stranges S., Pescapè A., Pecchia L. Precision Medicine and Artificial Intelligence: A Pilot Study on Deep Learning for Hypoglycemic Events Detection based on ECG. *Scientific Reports*, 2020, 10(1). (DOI: 10.1038/s41598-019-56927-5)
5. Приказ Минздрава РФ от 30 ноября 2017 № 965н «Об утверждении порядка организации и оказания медицинской помощи с применением телемедицинских технологий».
6. Козловская И.Л., Лопухова В.В., Булкина О.С., Карпов Ю.А. Телемедицинские технологии в кардиологии. Часть 1. Персональный телемониторинг

- электрокардиограммы в амбулаторной практике: выбор оптимального подхода. Доктор.Ру, 2020, 19(5). С. 35–41. (DOI: 10.31550/1727-2378-2020-19-5-35-41)
7. И.А. Лежнина, А.А. Уваров, К.В. Оверчук, А.А. Бояхчян, С.Н. Торгаев, Г.С. Евтушенко. Портативный беспроводной кардиоанализатор индивидуального применения. Медицинская техника, 2019, № 6(318). С. 14-17.
 8. ТЕЛЕЭКГ – мобильная телемедицинская сеть для ЭКГ исследований ИБП РАН. <https://www.ibp-ran.ru/> (дата обращения: 03.02.2020).
 9. Д.Н. Катасонов. О системе мобильного мониторинга сердечной деятельности человека: получение и фильтрация сигналов ЭКГ. Сборник научных трудов НГТУ, 2012, № 4(70). С. 119-130.
 10. А.А. Гонтаренко, В.П. Корнев. Адаптивная фильтрация сетевой помехи 50 Гц в системах регистрации электрокардиограмм. Биомедицинские приборы и системы, 2013, № 4. С. 45-52.
 11. Л.Ю.Кривоногов, А.Е. Клебнева. Система тестирования алгоритмов подавления помех в электрокардиосигналах. Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль, 2013, № 2(4). С. 51-57.
 12. И.А. Лежнина, А.А. Уваров, К.В. Оверчук, А.А. Бояхчян, С.Н. Торгаев, Г.С. Евтушенко. Портативный беспроводной кардиоанализатор индивидуального применения. Медицинская техника, 2019, № 6. С. 14-17.
 13. Е.А. Алтай, А.С. Кремлев. Формирование комплексного подхода для анализа обработки измерительной электрокардиографической информации. Сборник тезисов XIV Международного Конгресса «КАРДИОСТИМ». Санкт-Петербург, 27-29 февраля 2020. С. 155.
 14. R. Huamani R., J.R. Talavera, E.A.S. Mendoza, N.M. Dávila, E. Supo. Implementation of a real-time 60 Hz interference cancellation algorithm for ECG signals based on ARM cortex M4 and ADS1298. 2017 IEEE XXIV International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON), Cusco, 2017, pp. 1-4. (DOI: 10.1109/INTERCON.2017.8079725)
 15. B. Singh, P. Singh, S. Budhiraja. Various approaches to minimise noises in ECG signal: A survey, in Proc. 5th Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Technol., Feb. 2015, pp. 131–137.
 16. Mallaparapu K., Krishna B.A., Masthan S. et al.: Analysis of denoising on different signals using new thresholding function. IEEE Conf. Signal Processing Communication Engineering Systems (SPACES 2018), Vijaywada, 2018, pp. 154–162.
 17. Liu S., Hsieh C.H., Chen W., Tan T.H. ECG Noise Cancellation Based on Grey Spectral Noise Estimation. Sensors (Basel). 2019 Feb 15, 19(4):798. (DOI: 10.3390/s19040798)
 18. Mourad N. ECG denoising algorithm based on group sparsity and singular spectrum analysis, Biomed. Signal Process. Control, 2019, 50, pp. 62–71.
 19. Devi R., Tyagi H.K., Kumar D. Performance comparison and applications of sparsity based techniques for denoising of ECG signal. 2019 6th Int. Conf. on Signal Processing and Integrated Networks, SPIN 2019, Noida, India, 2019, pp. 346–351.
 20. S. Nurmaini, A. Darmawahyuni, A.N. Sakti Mukti, M.N. Rachmatullah, F. Firdaus, B. Tutuko. Deep learning-based stacked denoising and autoencoder for ECG heartbeat classification, Electronics, vol. 9, № 1, p. 135, Jan. 2020.
 21. Vargas R.N., Veiga A.C.P. Electrocardiogram signal denoising by a new noise variation estimate. Res. Biomed. Eng. 36, 13–20 (2020). (<https://doi.org/10.1007/s42600-019-00033-y>)
 22. Singh P., Pradhan G. A new ECG denoising framework using generative adversarial network, IEEE/ACM Trans. Comput. Biol. Bioinf., 2020. (DOI: 10.1109/TCBB.2020.2976981)
 23. M. Wasimuddin, K. Elleithy, A.-S. Abuzneid, M. Faezipour, O. Abuzagheh. Stages-Based ECG Signal Analysis From Traditional Signal Processing to Machine Learning Approaches: A Survey, in IEEE Access, vol. 8, pp. 177782-177803, 2020. (DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3026968)

24. Lizhe Tan, Jean Jiang. Digital Signal Processing (Third Edition). Fundamentals and Applications. Chapter 8 - Infinite Impulse Response Filter Design. 2019, 903 p.
25. Fountain M., Wenshuai L. Hardware Design Specifications. Project: ECG Monitoring Module. Analog Devices, China Applications Support Team, 2007, 23 p.
26. <http://myocard.ru/>(дата обращения: 03.02.2020).
27. Брико А.Н., Давыдов Д.В., Егоров А.И., Филимонов П.В. Устройство имитации биосигналов человека для испытаний электрокардиографов. Патент RU 184385 U1. 04.06.2018.
28. А.А. Федотов. Робастная методика обнаружения QRS-комплексов ЭКГ-сигнала. Медицинская техника, 2016, № 1(295). С. 28-31.
29. Е.А. Алтай, А.С. Кремлев, К.А. Зименко, А.А. Маргун. Влияние параметров фильтра на точность измерения электрокардиографического сигнала. Медицинская техника, 2019, №3(315). С. 19-22.
30. <http://www.adrosoft.com/>(дата обращения: 03.02.2020).
31. <https://audacity.ru.uptodown.com/windows> (дата обращения: 03.02.2020).
32. Горшков Ю.Г. Обработка речевых и акустических биомедицинских сигналов на основе вейвлетов / Научное издание. М.: Радиотехника, 2017, 240 с.
33. Горшков Ю.Г. Визуализация многоуровневого вейвлет-анализа фонограмм // Научная визуализация, 2015, том 7, № 2. С. 96-111.
34. Горшков Ю.Г. Разработка комплекса аппаратно-программных средств для ранней диагностики заболеваний сердца «Акустокардиограф» / Материалы, представленные на конкурс «Пурпурное сердце». Ежегодная национальная премия в области кардиологии, номинация «Научный проект года». Москва, 2009, 10 с.
35. Горшков Ю.Г. Акустографическое исследование звуков сердца и легких // Биомедицинская радиоэлектроника, 2016, № 2. С. 16-21.
36. Горшков Ю.Г. Визуализация звуков сердца // Научная визуализация, 2017, том 9, № 1. С. 97-111.
37. Горшков Ю.Г. Новые решения визуализации биомедицинских сигналов в системах телемедицины // Научная визуализация, 2019, том 11, № 2. С. 56-72. (DOI: 10.26583/sv.11.2.05)
38. Gorshkov, Y.G., Volkov, A.K., Voinova, N.A. et al. Acoustocardiography with Assessment of Emotional Tension from the Voice. Biomed Eng 53, 383–387 (2020). (<https://doi.org/10.1007/s10527-020-09948-8>)

Visualization of power supply network interference in telemedicine systems of mobile electrocardiography

Y.G. Gorshkov¹

Bauman Moscow State Technical University, Russian Federation

¹ ORCID: 0000-0003-0483-4603, y.gorshkov@npo-echelon.ru

Abstract

The article presents the continuation of the author's research in the field of visualization of biomedical signals in the development and operation of mobile cardiodiagnostic systems. Some of the latest guidelines for developers of electrocardiographic equipment and recommendations for the frequency range of the ECG signal for standard clinical use are considered. The negative impact of industrial frequency interference (power supply network interference) on the analyzed signal is emphasized. The hardware and software solutions of means of removal and registration of interference of the power supply network are offered, including a laryngophone headset with a small-sized condenser digital USB microphone and a sound editor. During the period 2010-2020, 1092 phonograms of acoustic biomedical heart signals, network interference and electromagnetic interference in various rooms were recorded. To solve the problems of visualization of power supply network interference, the capabilities of the common audio editor Audacity were evaluated. The necessary time-frequency resolution was not achieved using the examples of the obtained spectral sections of the signal sections with interference. The developed software tools WaveView and WaveView-MWA are presented, which provide high frequency-time resolution and visual visualization of small-level interference due to multi-level wavelet analysis of non-stationary signals.

Experimental testing of the proposed visualization technology has confirmed its high efficiency. For the first time, a set of typical power supply network interference signals was obtained when registering biomedical cardiodiagnostic signals under real operating conditions of mobile systems. An example of noise visualization using the portal is given acustocard.ru in on-line mode.

Keywords: telemedicine systems, power supply network interference, mobile electrocardiography, multi-level wavelet analysis.

References

1. Statistika smernosti ot serdechno-sosudistykh zabolevaniy v Rossii i v mire / Vsemirnaya organizatsiya zdravookhraneniya. [https://www.who.int/ru/news-room/factsheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/ru/news-room/factsheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)) (Access date: 03.02.2020). [in Russian].
2. Serdtse bez sbojev: kak predotvratit' serdechno-sosudistyye zabolevaniya? Federal'nyy fond obyazatel'nogo meditsinskogo strakhovaniya. <http://www.ffoms.ru/> (Access date: 03.02.2020). [in Russian].
3. Serhani, M.A.; T. El Kassabi, H.; Ismail, H.; Nujum Navaz, A. ECG Monitoring Systems: Review, Architecture, Processes, and Key Challenges. *Sensors* 2020, 20, 1796. (<https://doi.org/10.3390/s20061796>)
4. Porumb M., Stranges S., Pescapè A., Pecchia L. Precision Medicine and Artificial Intelligence: A Pilot Study on Deep Learning for Hypoglycemic Events Detection based on ECG. *Scientific Reports*, 2020; 10(1). (DOI: 10.1038/s41598-019-56927-5)

5. Prikaz Minzdrava RF ot 30 noyabrya 2017 № 965n «Ob utverzhdenii poryadka organizatsii i okazaniya meditsinskoy pomoshchi s primeneniym teleditsinskikh tekhnologiy». [in Russian].
6. Kozlovskaya I.L., Lopukhova V.V., Bulkina O.S., Karpov YU.A. Teleditsinskie tekhnologii v kardiologii. Chast' 1. Personal'nyy telemonitoring ehlektrokardiogrammy v ambulatornoy praktike: vybor optimal'nogo podkhoda. Doktor.Ru, 2020, 19(5), pp. 35–41. (DOI: 10.31550/1727-2378-2020-19-5-35-41). [in Russian].
7. I.A. Lezhnina, A.A. Uvarov, K.V. Overchuk, A.A. Boyakhchyan, S.N. Torgayev, G.S. Yevtushenko. Portativnyy besprovodnoy kardioanalizator individual'nogo primeneniya. Meditsinskaya tekhnika, 2019, №6(318), pp. 14-17. [in Russian].
8. TELEEHKG – mobil'naya teleditsinskaya set'dlya EHKG issledovaniy IBP RAN. <https://www.ibp-ran.ru/> (Access date: 03.02.2020). [in Russian].
9. D.N. Katasonov. O sisteme mobil'nogo monitoringa serdechnoy deyatel'nosti cheloveka: poluchenie i fil'tratsiya signalov EHKG. Sbornik nauchnykh trudov NGTU, 2012, No 4(70), pp. 119-130. [in Russian].
10. A.A. Gontarenko, V.P. Kornev. Adaptivnaya fil'tratsiya setevoy pomekhi 50 Gts v sistemakh registratsii ehlektrokardiogramm. Biomeditsinskie pribory i sistemy, 2013, № 4, pp. 45-52. [in Russian].
11. L.YU.Krивonogov, A.E. Klebneva. Sistema testirovaniya algoritmov podavleniya pomekh v ehlektrokardiosignalakh. Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol', 2013, № 2(4), pp. 51-57. [in Russian].
12. I.A. Lezhnina, A.A. Uvarov, K.V. Overchuk, A.A. Boyakhchyan, S.N. Torgayev, G.S. Yevtushenko. Portativnyy besprovodnoy kardioanalizator individual'nogo primeneniya. Meditsinskaya tekhnika, 2019, № 6, pp. 14-17. [in Russian].
13. E.A. Altay, A.S. Kremlev. Formirovanie kompleksnogo podkhoda dlya analiza obrabotki izmeritel'noy ehlektrokardiograficheskoy informatsii. Sbornik tezisov XIV Mezhdunarodnogo Kongressa «KARDIOSTIM». Sankt-Peterburg, 27-29 fevralya 2020, p. 155. [in Russian].
14. R. Huamani R., J.R. Talavera, E.A.S. Mendoza, N.M. Dávila, E. Supo. Implementation of a real-time 60 Hz interference cancellation algorithm for ECG signals based on ARM cortex M4 and ADS1298. 2017 IEEE XXIV International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON), Cusco, 2017, pp. 1-4. (DOI: 10.1109/INTERCON.2017.8079725)
15. B. Singh, P. Singh, S. Budhiraja. Various approaches to minimise noises in ECG signal: A survey, in Proc. 5th Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Technol., Feb. 2015, pp. 131–137.
16. Mallaparapu K., Krishna B.A., Masthan S. et al.: Analysis of denoising on different signals using new thresholding function. IEEE Conf. Signal Processing Communication Engineering Systems (SPACES 2018), Vijaywada, 2018, pp. 154–162.
17. Liu S., Hsieh C.H., Chen W., Tan T.H. ECG Noise Cancellation Based on Grey Spectral Noise Estimation. Sensors (Basel). 2019 Feb 15, 19(4):798. (DOI: 10.3390/s19040798)
18. Mourad N. ECG denoising algorithm based on group sparsity and singular spectrum analysis, Biomed. Signal Process. Control, 2019, 50, pp. 62–71.
19. Devi R., Tyagi H.K., Kumar D. Performance comparison and applications of sparsity based techniques for denoising of ECG signal. 2019 6th Int. Conf. on Signal Processing and Integrated Networks, SPIN 2019, Noida, India, 2019, pp. 346–351.
20. S. Nurmaini, A. Darmawahyuni, A.N. Sakti Mukti, M.N. Rachmatullah, F. Firdaus, B. Tutuko. Deep learning-based stacked denoising and autoencoder for ECG heartbeat classification, Electronics, vol. 9, № 1, p. 135, Jan. 2020.
21. Vargas R.N., Veiga A.C.P. Electrocardiogram signal denoising by a new noise variation estimate. Res. Biomed. Eng. 36, 13–20 (2020). (<https://doi.org/10.1007/s42600-019-00033-y>)

22. Singh P., Pradhan G. A new ECG denoising framework using generative adversarial network, *IEEE/ACM Trans. Comput. Biol. Bioinf.*, 2020. (DOI: 10.1109/TCBB.2020.2976981)
23. M. Wasimuddin, K. Elleithy, A.-S. Abuzneid, M. Faezipour, O. Abuzagheh. Stages-Based ECG Signal Analysis From Traditional Signal Processing to Machine Learning Approaches: A Survey, in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 177782-177803, 2020. (DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3026968)
24. Lizhe Tan, Jean Jiang. *Digital Signal Processing (Third Edition). Fundamentals and Applications. Chapter 8 - Infinite Impulse Response Filter Design.* 2019, 903 p.
25. Fountain M., Wenshuai L. *Hardware Design Specifications. Project: ECG Monitoring Module.* Analog Devices, China Applications Support Team, 2007, 23 p.
26. <http://myocard.ru/> (Access date: 03.02.2020).
27. Briko A.N., Davydov D.V., Yegorov A.I., Filimonov P.V. *Ustroystvo imitatsii biosignalov cheloveka dlya ispytaniy elektrokardiografov.* Patent RU 184385 U1. 04.06.2018. [in Russian].
28. A.A. Fedotov. *Robastnaya metodika obnaruzheniya QRS-kompleksov EKG-signal.* *Meditinskaya tekhnika*, 2016, №1(295), pp. 28-31. [in Russian].
29. Ye.A. Altay, A.S. Kremlev, K.A. Zimenko, A.A. Margun. *Vliyaniye parametrov fil'tra na tochnost' izmereniya elektrokardiograficheskogo signala.* *Meditinskaya tekhnika*, 2019, №3(315), pp. 19-22. [in Russian].
30. <http://www.adrosoft.com/> (Access date: 03.02.2020).
31. <https://audacity.ru.uptodown.com/windows> (Access date: 03.02.2020).
32. Gorshkov Y.G. *Processing of Speech and Acoustic Biomedical Signals Based on Wavelets.* *Radiotekhnika*, Moscow, 2017, 240 p. [in Russian].
33. Gorshkov Y.G. *Visualization of multi level wavelet analysis of phonograms // Scientific visualization*, 2015, vol. 7, № 2, pp. 96-111.
34. Gorshkov Y.G. *Razrabotka kompleksa apparatno-programmnykh sredstv dlya ranney diagnostiki zabolevaniy serdtsa «Akustokardiograf» / Materialy, predstavlenkiye na konkurs «Purpurnoye serdtse».* *Yezhegodnaya natsional'naya premiya v oblasti kardiologii, nominatsiya «Nauchnyy proyekt goda».* Moskva, 2009, 10 p. [in Russian].
35. Gorshkov Y.G. *Akustograficheskoye issledovaniye zvukov serdtsa i legkikh // Biomeditsinskaya radioelektronika*, 2016, № 2, pp. 16-21. [in Russian].
36. Gorshkov Y.G. *Visualization of the heart sounds // Scientific visualization*, 2017, vol. 9, № 1, pp. 97-111.
37. Gorshkov Y.G. *New solutions for visualization of biomedical signals in telemedicine systems // Scientific visualization*, 2019, vol. 11, № 2, pp. 56-72. (DOI: 10.26583/sv.11.2.05)
38. Gorshkov Y.G., Volkov A.K., Voinova N.A. et al. *Acoustocardiography with Assessment of Emotional Tension from the Voice.* *Biomed Eng* 53, 383-387 (2020). (<https://doi.org/10.1007/s10527-020-09948-8>)