

УПРАВЛЕНИЕ СОЗДАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ В МЕДИЦИНСКИХ ЗАДАЧАХ

Белобродский В.А. Туровский Я.А.

Воронежский государственный университет,
Россия, г. Воронеж, Университетская площадь, д.1

belobrodsky@yandex.ru

Аннотация: в докладе приводится описание процесса управления созданием цифровых фильтров, применяемых для решения медицинских задач. Разработанный процесс управления основывается на комплексном алгоритме, состоящем из алгоритмов пре- и постпроцессинга и основного алгоритма генерации. Данные алгоритмы используют: методы восстановления элементов сигнала с помощью анализа цепочек экстремумов локальных вейвлет-спектров, генетический алгоритм на основе канонических корреляций, подходы, связанные с минимизацией дисперсии, в задачах классификации многомерных данных биомедицинской природы. Осуществлена попытка визуализировать данный комплексный процесс управления созданием цифровых фильтров на схеме.

Ключевые слова: цифровые фильтры, генетический алгоритм, обработка данных.

Введение

В работе предпринимается попытка описать процесс управления созданием цифровых фильтров, объединяющий разнообразные математические методы и алгоритмы, компьютерные программы и технологии. В основе данного процесса лежат три компьютерные программы [1-3], разработанные авторами настоящей работы и зарегистрированные в Роспатенте. Также для реализации этого процесса применилось в общей сложности 10 подпрограмм и утилит для конструирования искусственных сигналов с известными свойствами, обучающих выборок и множеств, а также для проведения статистического анализа и анализа с использованием вейвлет- и фурье-преобразований и визуализации результатов работы.

Результатом взаимосвязанной работы всех описанных выше программ служат сгенерированные значения цифровых фильтров, которые можно применять в задачах классификации многомерных данных биомедицинской природы. Стоит отметить, что на завершающей стадии данного процесса генерации фильтров, полученные фильтры автоматически тестировались в задачах классификации многомерных данных и те из них, которые показывали неудовлетворительный результат – погибали, а на основе лучших, запускалась очередная итерация по улучшению их классифицирующих свойств.

1 Управление созданием цифровых фильтров

1.1 Алгоритм препроцессинга

Алгоритм препроцессинга предназначен для выделения отдельных пространственно-временных особенностей ЭКГ ВР путем декомпозиции исходного сигнала на отдельные составляющие с целью формирования начальной (нулевой) популяции цифровых фильтров для генетического алгоритма. Для его реализации была разработана программа [1]. Блок-схема алгоритма препроцессинга приведена на рисунке 1.

С подробным описанием данного алгоритма и результатов его применения можно ознакомиться в работах [4-7].



Рис. 1. Алгоритм преобработки

1.2 Управление генерацией цифровых значений

В качестве выбора основополагающего механизма генерации цифровых значений рассматривались разные технологии и алгоритмы [8-10]. Окончательный выбор был сделан в пользу эвристического метода на основе генетического алгоритма, так как в рассматриваемой задаче классификации биомедицинских данных зачастую сложно воссоздать точное аналитическое решение для воспроизведения сигнала. На рисунке 2 показан рост популярности генетических алгоритмов в последние десятилетия.

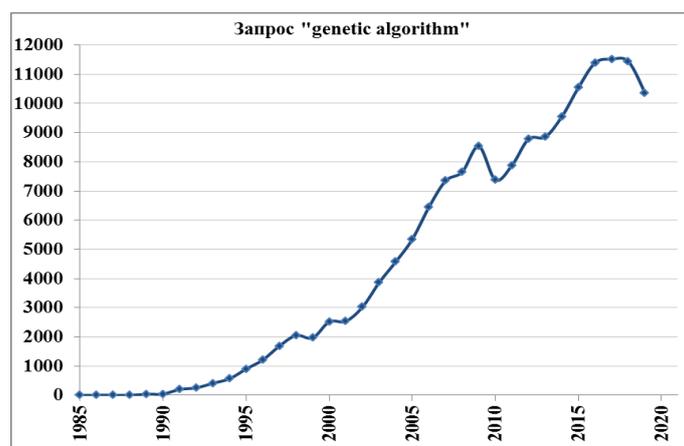


Рис. 2. Число статей, проиндексированных в базе WoS. Запрос указан в заголовке гистограммы

С подробным описанием данного алгоритма и результатов его применения можно ознакомиться в работах [11,12]. Стоит отметить, что разработанный алгоритм был всесторонне исследован и оптимизирован, а именно:

- исследовались различные варианты фитнес-функций, в том числе с применением аппарата канонического корреляционного анализа [13];

- найдена возможность повышения производительности за счет увеличения актов «скрещивания» [14];
- исследована устойчивость генетического алгоритма к различным возмущениям его параметров [15];
- применена технология параллельных вычислений с целью повышения производительности (уменьшение времени работы программы) [16].

Для его реализации была разработана компьютерная программа [17]. Блок-схема алгоритма генерации приведена на рисунке 3.

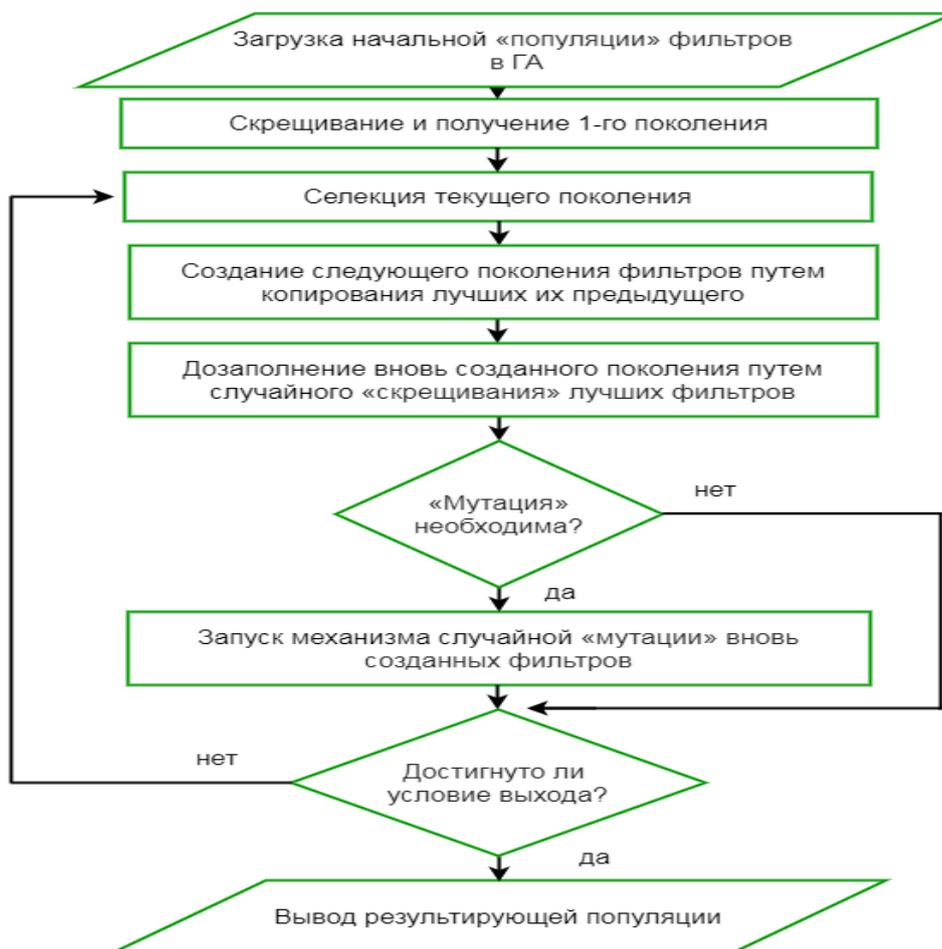


Рис. 3. Алгоритм генерации цифровых значений

1.3 Алгоритм постпроцессинга

Алгоритм постпроцессинга предназначен для классификации биомедицинских данных с использованием полученных в эволюционном процессе цифровых фильтров. Разработка данного алгоритма представляла собой адаптацию известного метода главных компонент [18]. Суть адаптации метода главных компонент заключается в поиске в n -мерном пространстве новой системы координат, дисперсия проекций данных одного из классов на ось которой будет минимальна. При этом формируется кластер, плотность вероятности нахождения наблюдений данного класса, в котором существенно выше плотности вероятности нахождения в этом кластере данных из других классов. С подробным описанием данного алгоритма и результатов его применения можно ознакомиться в работе [19, 20].

Для его реализации была разработана программа [3]. Блок-схема алгоритма постпроцессинга, а также завершение всего процесса создания цифровых фильтров приведена на рисунке 4. Из блок-схемы следует, что в случае удовлетворительных показателей чувствительности и специфичности классификации по результату ROC-анализа происходил выход из итерационного процесса генерации следующих «поколений» цифровых фильтров.

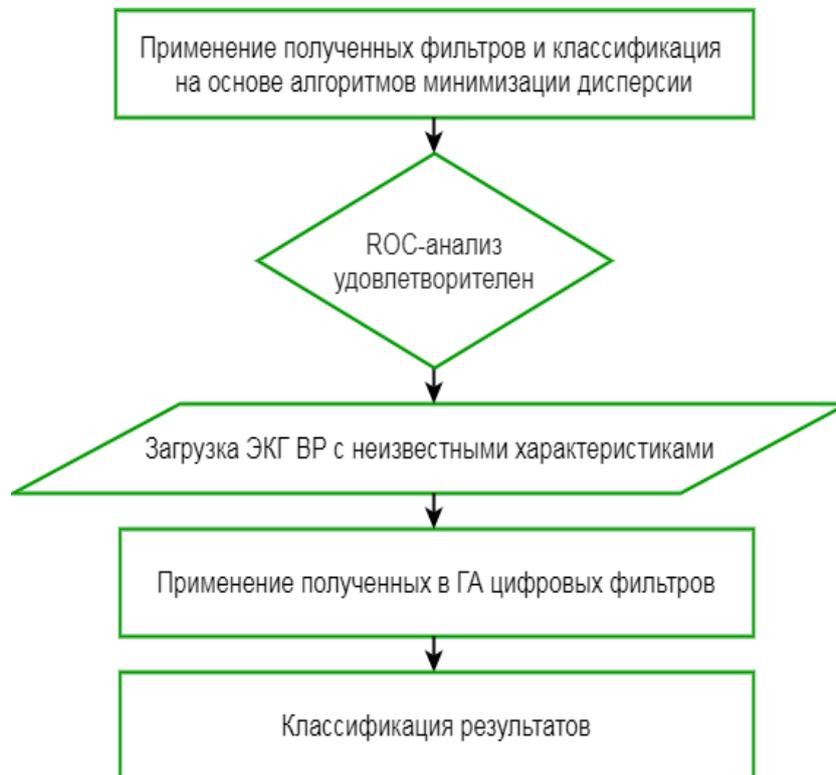


Рис. 4. Блок-схема заключительной части процесса создания цифровых фильтров

2 Взаимосвязь задействованных в создании цифровых фильтров технологий

На рисунке 5 продемонстрирована схема управления созданием цифровых фильтров в решении комплексной задачи получения их цифровых значений. Данная схема состоит из аппаратно-программных средств, реализующих известные и разработанные математические модели, а также примененные технологии для решения прикладной задачи.

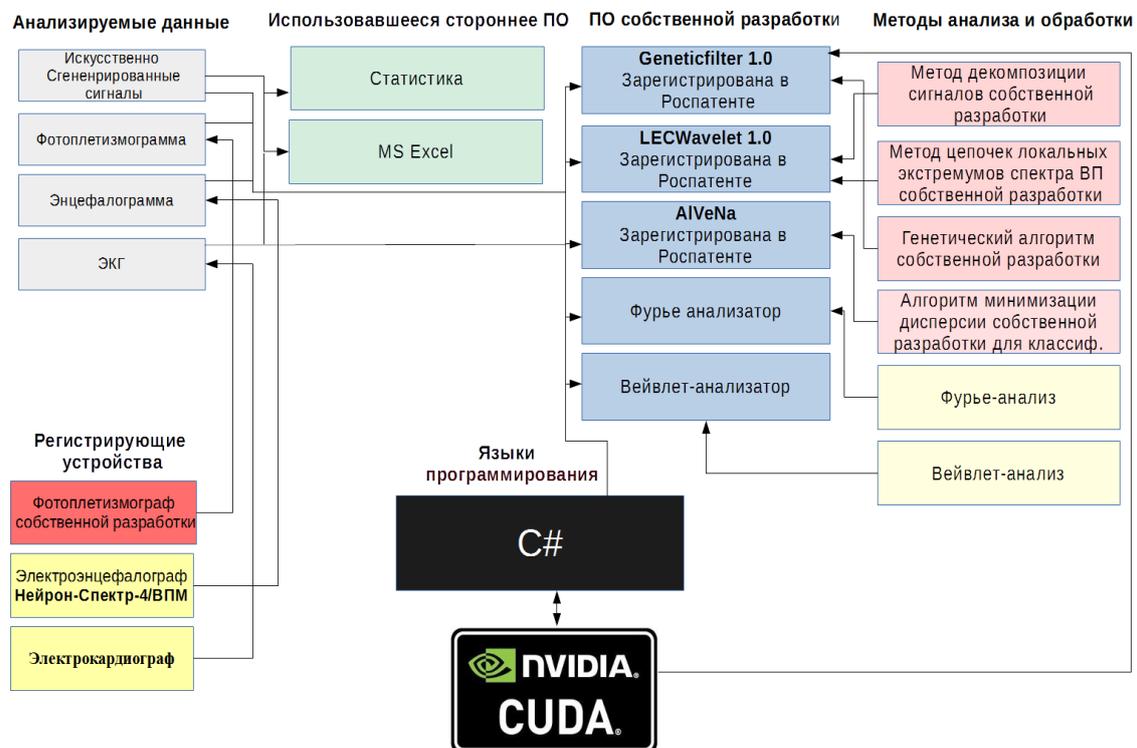


Рис. 5. Схема управления созданием цифровых фильтров

Заключение

Приведено описание и показана на структурной схеме работа взаимосвязанных алгоритмов и технологий (как известных, так и разработанных) с целью получения цифровых фильтров, обладающих проверенными классифицирующими свойствами.

Практическая значимость полученных с помощью такой схемы результатов определяется в том числе наличием возможности выявления так называемых поздних потенциалов желудочков (ППЖ) и поздних потенциалов предсердий (ППП) на электрокардиограмме высокого разрешения (ЭКГ ВР). Их амплитуда как минимум на два порядка меньше стандартных ЭКГ-компонент и, как правило, они ниже уровня шума, производимого стандартным регистрирующим оборудованием, используемым в медицинской практике.

Стоит отметить, что разработанные алгоритмы пре- и постпроцессинга могут быть использованы в различных задачах выделения пространственно-временных особенностей сигналов различной природы, и классификации результатов в различных областях (не применительно к теме настоящей работы).

Работа поддержана грантом РФФИ № 19-29-01156 мк.

Литература

1. *Белобродский В.А., Туровский Я.А., Кургалин С.Д.* Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (№2014614968 от 14 мая 2014 г.) «GENETIC-FILTER 1.0».
2. *Белобродский В.А., Туровский Я.А., Кургалин С.Д.* Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (№2015619690 от 10 сентября 2015 г.) «LEC Wavelet 1.0».
3. *Белобродский В.А., Туровский Я.А., Борзунов С.В.* Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (№2019666985 от 17 декабря 2019 г.) «ALVENA».
4. *Кургалин С.Д., Туровский Я.А., Максимов А.В., Семенов А.Г.* Анализ электроэнцефалограмм на основе исследования изменяющейся во времени структуры локальных максимумов матрицы вейвлет-коэффициентов // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Системный анализ и информационные технологии. 2012, № 2. – С. 69-73.
5. *Белобродский В.А., Туровский Я.А., Вахтин А.А., Борзунов С.В., Кургалин С.Д.* Обобщение метода цепочек локальных экстремумов для анализа сигналов различной природы // Цифровая обработка сигналов. 2015, №1. – С. 35-38.
6. *Белобродский В.А., Туровский Я.А., Кургалин С.Д., Вахтин А.А.* Новые направления применения метода цепочек локальных экстремумов // Физико-математическое моделирование систем: материалы XIII Междунар. семинара. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». 2015, Ч.2. – С.50-58.
7. *Белобродский В.А., Туровский Я.А.* Восстановление элементов сигнала ЭЭГ на основе анализа цепочек экстремумов локальных вейвлет-спектров // Цифровая обработка сигналов и ее применение – DSPA-2014: материалы 16-ой Международ. конф. – Москва. 2014. – С.189-193.
8. *Кургалин С.Д., Туровский Я.А., Максимов А.В., Насер Нихад.* Вейвлет-анализ энцефалограмм // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2010, № 1. – С. 89-95.
9. *Туровский Я.А., Кургалин С.Д., Вахтин А.А.* Обработка сигнала электроэнцефалограммы на основе анализа частотных зависимостей и вейвлет-преобразования // Биомедицинская радиоэлектроника. 2012, № 12. – С.39-45.
10. *Туровский Я.А., Кургалин С.Д., Максимов А.В.* Выбор анализирующих вейвлетов для системы с параллельной обработкой биомедицинских данных // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Системный анализ и информационные технологии. 2011, № 2. – С.74-79.
11. *Белобродский В.А., Туровский Я.А., Кургалин С.Д.* Создание цифровых фильтров для классификации биомедицинских сигналов на основе генетических алгоритмов // Телематика: труды XXI Всероссийской науч.-метод. конф. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО. 2014. – С.183-184.
12. *Белобродский В.А., Кургалин С.Д., Вахтин А.А., Туровский Я.А.* Конструирование цифровых фильтров на основе генетических алгоритмов, классифицирующих биомедицинские сигналы // Цифровая обработка сигналов и ее применение – DSPA-2015: сборник материалов 17-ой Международной конференции. – Москва. 2015. – С.217-221.
13. *Белобродский В.А., Туровский Я.А.* Генетические алгоритмы на основе канонических корреляций в детекции паттернов биомедицинских сигналов // Цифровая обработка сигналов и ее применение – DSPA-2019. - М.: Московское НТО радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова. 2019. – С. 103-107.
14. *Белобродский В.А., Кургалин С.Д., Туровский Я.А.* Повышение эффективности генетического алгоритма для классификации сигналов за счёт увеличения количества особей в начальной популяции путем клонирования // Информатизация процессов формирования открытых систем на основе СУБД, САПР, АСНИ и систем искусственного интеллекта: материалы восьмой Международ. науч.-техн. конф. – Вологда. 2015. – С.22-25.
15. *Белобродский В.А., Кургалин С.Д., Туровский Я.А.* Проверка устойчивости генетического алгоритма к

- различным возмущениям его параметров // Физико-математическое моделирование систем: материалы XV Междунар. семинара. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет». 2016, Ч.2. – С.83-89.
16. *Белобродский В.А.* Повышение производительности генетического алгоритма, конструирующего цифровые фильтры с использованием технологии CUDA // Цифровая обработка сигналов. 2014, №4. – С.58-61.
17. *Brunelli R.* Template Matching Techniques in Computer Vision: Theory and Practice. – Chichester, UK: Wiley. 2009. – 348 с.
18. *Jolliffe I.T.* Principal Component Analysis, Series: Springer Series in Statistics, 2nd ed., Springer, NY, 2002, XXIX, 487 p. 28 illus. ISBN 978-0-387-95442-4.
19. *Туровский Я.А., Борзунов С.В., Белобродский В.А.* Применение подходов, связанных с минимизацией дисперсии, в задачах классификации многомерных данных биомедицинской природы // Цифровая обработка сигналов. 2020, №1. – С.43-46.
20. *Белобродский В.А., Туровский Я.А., Борзунов С.В.* Выделение групп биомедицинских данных в процессе классификации на основе алгоритмов минимизации дисперсии // Информатика: проблемы, методы, технологии: материалы XX Международной науч.-метод. конф. – Воронеж. 2020. – С.293-301.