
Анализ сигналов и систем

УДК 621.391.004

Применение кардиоайгеноскопии и линейных дискриминантных функций для выявления значимых отличий в электрокардиосигнале

Аббас Р.М., Аль-Кавати А.А., Косарева К.В.

На основе применения кардиоайгеноскопии предложена модификация метода выявления значимых отличий в многоканальных наблюдениях различных отклонений электрокардиосигнала (ЭКГ) от нормы. В статье приведена структурная схема сигнализатора значимых отличий в записях электрокардиограмм и дано поэтапное описание алгоритма преобразований записи ЭКГ в нескольких отведениях согласно этой схеме.

В алгоритме, реализующем предложенный метод, на основании матрицы объединенного синхронного ансамбля для всей записи ЭКГ вычисляется ковариационная матрица и её собственные векторы и собственные значения. Отбираются энергетически значимые собственные векторы и вычисляются коэффициенты разложения по этим собственным векторам. Вычисленные коэффициенты разложения преобразуются в матрицы временных сечений коэффициентов разложения.

Смежные группы временных сечений (эпохи) сравниваются с использованием линейной дискриминантной функции Фишера, характеризующей зависимость значения критерия Фишера от времени. В результате решается задача выявления значимых отличий двух связанных по времени групп PQRS-циклов электрокардиограмм при их представлении в базисе собственных векторов ковариационной матрицы объединенного синхронного ансамбля кардиоосцилляций.

Работоспособность данного метода проверена на записях ЭКГ из общедоступных баз данных. Предложенный подход может быть использован при анализе электрокардиограмм значительной длительности, в том числе полученных при исследовании нарушений сна и холтеровском мониторинге.

Ключевые слова: кардиоайгеноскопия; синхронный ансамбль; собственный вектор; PQRS-цикл; линейная дискриминантная функция.

Введение

Кардиоайгеноскопия — это инновационная технология анализа, хранения и автоматической обработки сверхбольших массивов электрокардиограмм. Эта технология решает социально- значимую проблему раннего обнаружения изменений состояния сердечно-сосудистой системы.

Кардиоайгеноскопия позволяет обрабатывать и пожизненно хранить регулярно снимаемые с использованием индивидуальных устройств электрокардиограммы (ЭКГ) с целью ранней профилактики сердечно-сосудистых заболеваний. Технология кардиоайгеноскопии направлена на организацию общедоступных телематических услуг, способствующих здоровому образу жизни.

Айгеноскопия позволяет представить (с заданной пользователем точностью) любой элемент ансамбля минимальным числом компонент (собственных векторов). Это свойство айгеноскопии было использовано в устройстве «Кардиоайгеноскоп» [1] для анализа электрокардиограмм [2]. Оказалось, что в случае формирования так называемого синхронного ансамбля (СА) кардиоосцилляций, когда каждый PQRS-цикл «привязан» к фиксированной точке конечного интервала анализа, для представления с 1% погрешностью элементов ансамбля достаточно от двух (близкие к здоровому состоянию пациенты) до четырех-пяти (пациенты с патологиями) собственных векторов (СВ).

Этот эффект был подтвержден на общедоступных базах электрокардиограмм [3]. Эффективность хранения сверхбольших массивов ЭКГ обоснована и показана в [4-6], а возможность использования сжатых ЭКГ для автоматического анализа — в [7].

Кардиоайгеноскопия позволяет:

- хранить в сжатом состоянии (без потери точности восстановления ЭКГ) до 100 миллионов ЭКГ на 1 терабайте дискового пространства и вести автоматический анализ поступающих от пользователей ЭКГ с задаваемыми пользователем порогами для вероятностей ложной тревоги и пропуска предположительно патологического состояния;
- расширить возможности диагностики за счет привлечения новых диагностических признаков [5];
- эффективно использовать такие трудоемкие методы, как вектор- и стерео-кардиография [8].

Целью настоящей работы является разработка и исследование метода автоматического выявления значимых отличий в электрокардиограмме с использованием линейной дискриминантной функции для случая, когда

она представлена в базисе собственных векторов ковариационной матрицы PQRST-циклов с использованием кардиоайгеноскопа [1-7].

Метод

Общий метод выявления значимых отличий в многоканальных наблюдениях с использованием айгеноскопии предложен в [9]. Структурная схема упрощенной модификации этого подхода, направленного на выявление значимых отличий в ЭКГ, снятой по нескольким отведениям, приведена на рис. 1.

При решении данной задачи запись ЭКГ по нескольким отведениям подвергалась поэтапно следующим преобразованиям (структурная схема рис. 1):

1. В отведении с ярко выраженными R-зубцами (далее именуемом синхроотведением) с использованием подхода [10], [11] определяется положение R-зубцов.

2. По известному положению R-зубцов выделялись границы цикла и в соответствии с этими границами формировались синхронные ансамбли (СА) кардиоциклов для каждого отведения.

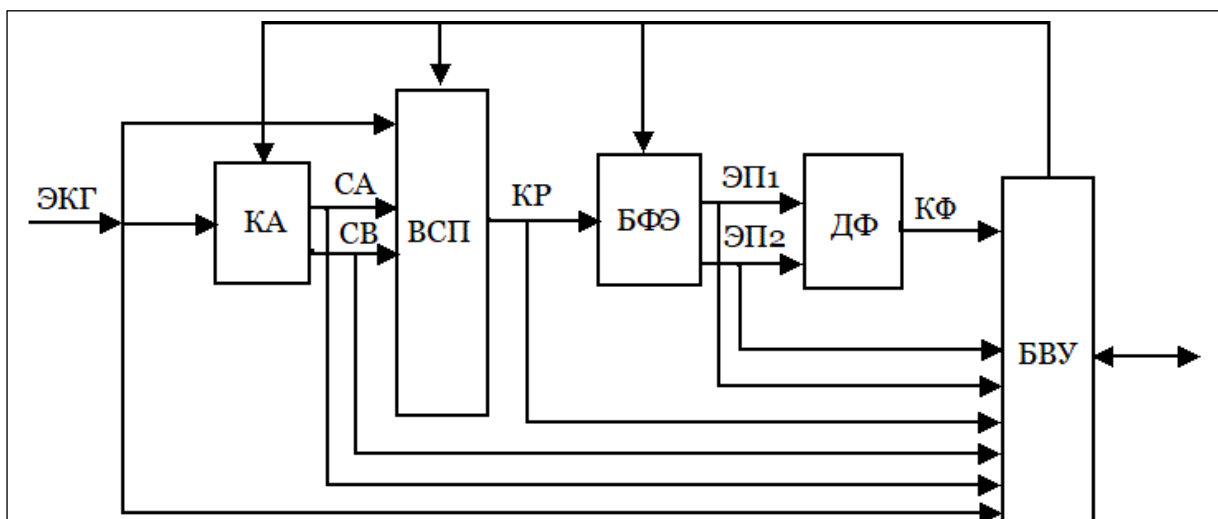


Рис. 1. – Структурная схема сигнализатора значимых отличий ЭКГ:

КА — кардиоайгеноскоп; ВСП — вычислитель скалярных произведений; БФЭ — блок формирования эпох (ЭП1, ЭП2 — первая и вторая сравниваемые эпохи, соответственно); ДФ — вычислитель дискриминантной функции; БВУ — блок визуализации и управления; СА — синхронный ансамбль; СВ — собственный вектор; КР — коэффициенты разложения; КФ — критерий Фишера

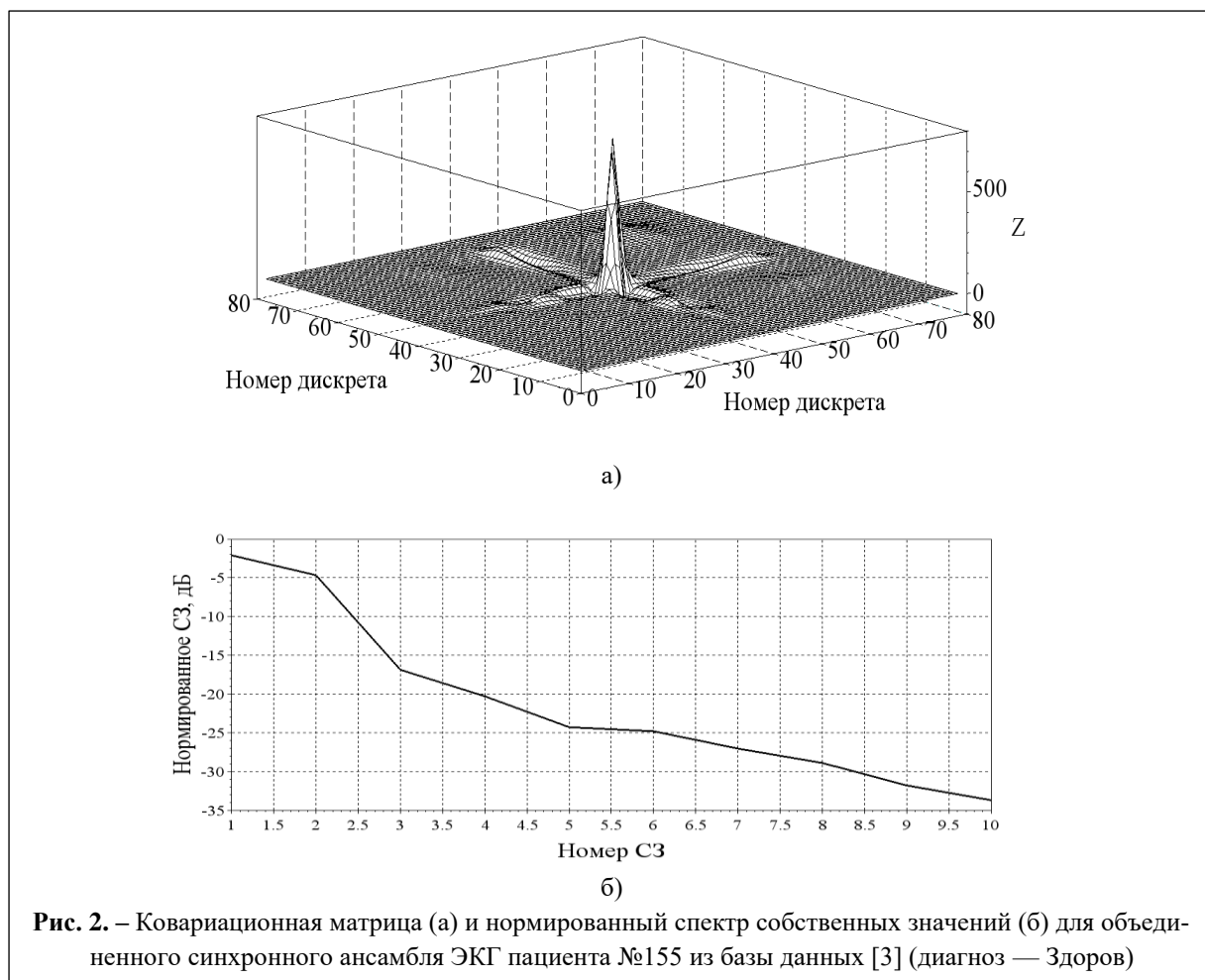


Рис. 2. – Ковариационная матрица (а) и нормированный спектр собственных значений (б) для объединенного синхронного ансамбля ЭКГ пациента №155 из базы данных [3] (диагноз — Здоров)

3. Из элементов синхронных ансамблей удалялись линейные тренды, соответствующие медленным вариациям ЭКГ в отведениях.

4. По синхронным ансамблям отведений строился объединенный синхронный ансамбль (ОСА).

5. Для ОСА вычислялась ковариационная матрица и ее собственные пары (собственные векторы (СВ) и собственные значения (СЗ)).

6. Каждый элемент каждого синхронного ансамбля был представлен в базисе собственных векторов с заданной относительной погрешностью.

Матрицы синхронного ансамбля с удаленными линейными трендами преобразуются в матрицы временных сечений коэффициентов разложения так, что каждому R-зубцу ЭКГ соответствует свой вектор коэффициентов разложения по собственным векторам. Смежные группы временных сечений заданного размера

(эпохи) сравнивались с использованием линейной дискриминантной функции Фишера [12], характеризующей зависимость значения критерия Фишера от времени.

Пункты 1 — 5 списка выполняются в кардиоайгеноскопе, пункт 6 реализуется блоком вычисления скалярных произведений (ВСП), блоком формирования эпох (БФЭ) и блоком вычисления дискриминантной функции (ДФ). Общее управление сигнализатором осуществляется блоком визуализации и управления (БВУ).

Результаты

Из базы данных [3] (диагноз — Здоров) были выбраны записи для пациентов под номерами 150 и 155. В качестве синхроотведения выбрано отведение II. С помощью подхода [11] определялось положение R-зубцов и был получен объединенный синхронный ансамбль (ОСА) для всех отведений электрокардиограммы.

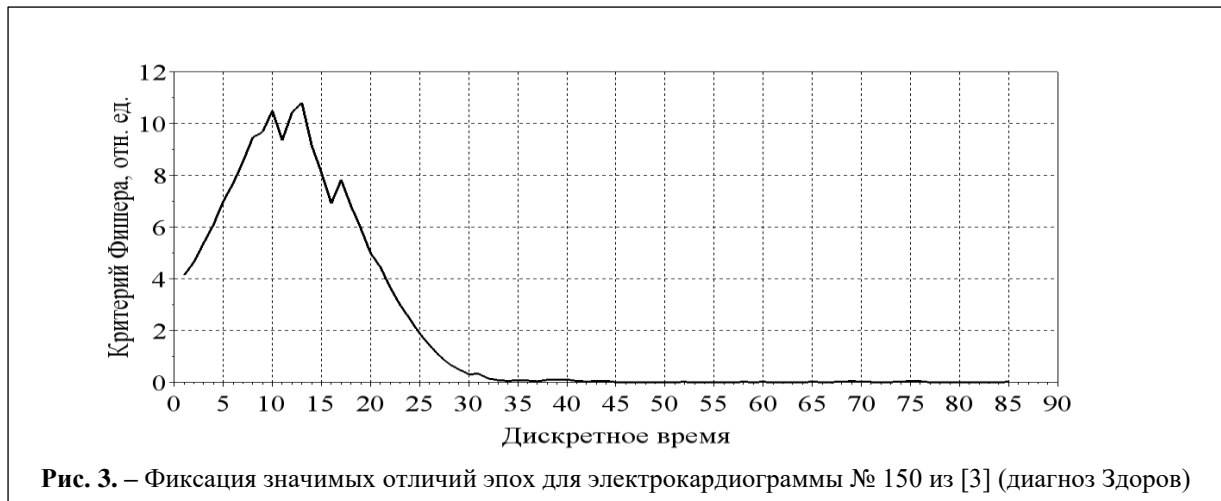


Рис. 3. – Фиксация значимых отличий эпох для электрокардиограммы № 150 из [3] (диагноз Здоров)

На рис. 2 показана ковариационная матрица (а) и нормированный спектр собственных значений (б) для ЭКГ пациента номер 155 из базы данных [3].

На рис. 3 и 4 представлены зависимости дискриминантной функции от положения эпохи для двух случаев: когда фиксируется значимое отличие эпох (рис. 3) и когда этих отличий нет (рис. 4). Первый случай соответ-

Заключение

Показано, что кардиоайгеноскопия с использованием объединенного синхронного ансамбля и линейной дискриминантной функции Фишера позволяет автоматически выявлять моменты значимых изменений при обработке электрокардиограмм значительной длительности, в том числе при исследовании нарушений сна и холтеровском мониторинге.

Сжатие, хранение и автоматический ана-



Рис. 4. – Фиксация отсутствия отличий эпох для электрокардиограммы № 155 из [3] (диагноз — Здоров). Максимум критерия Фишера = 0.075

ствует электрокардиограмме пациента под номером 150 из [3], а второй — пациента под номером 155 из [3].

На основе приведенной на рис. 1 структурной схемы и вышеизложенного подхода на базе [13] была реализована демонстрационная версия сигнализатора значимых отличий и эпох ЭКГ, показавшая удовлетворительные результаты на записях ЭКГ из базы данных [3].

лиз регулярно поступающих электрокардиограмм позволяет хранить не менее 100 миллионов записей ЭКГ на 1 Тбайт памяти. При этом время реакции с момента получения записи не более 5-10 секунд. Вероятность пропуска значимых изменений в ЭКГ и вероятность ложной реакции не более 0,01 (полезная модель N -128724).

Литература

1. Исакевич В.В., Исакевич Д.В., Батин А.С. Патент на полезную модель № 128470. Кардиоайгеноскоп. 09 августа 2012 г.
2. Айгеноскопия в задачах обработки электрокардиосигналов. Аль-Барати Б.С., Исакевич В.В., Исакевич Д.В., Сушкова Л.Т. Нелинейный мир. 2015. Т. 13. № 6. с. 68-75.
3. The PTB Diagnostic ECG Database-The PTB Diagnostic ECG Database- [Электронный ресурс].URL: <http://www.physionet.org/physiobank/database/ptbdb/>
4. Исакевич В.В., Исакевич Д.В., Сушкова Л.Т., Аль-Барати Б.С. Патент РФ на полезную модель № 162110. Устройство хранения и анализа ЭКГ. 23 июля 2015 г.
5. Кардиоайгеноскопия в задачах сжатия и анализа ЭКГ. Исакевич В.В., Исакевич Д.В., Сушкова Л.Т., Аль-Барати Б.С. Биотехносфера. 2017. № 5 (53). с. 17-22.
6. Исакевич В.В., Исакевич Д.В. Способ сжатия и воспроизведения ЭКГ. Патент РФ № 2746844. 8 ноября 2017 г.
7. Исакевич В.В., Исакевич Д.В., Быстрицкий А.О. Патент РФ на полезную модель № 180638.

Поступила 15 мая 2023 г.

Устройство хранения и автоматического анализа ЭКГ. 28 июня 2018 г.

8. Исакевич В.В., Исакевич Д.В. Патент РФ на полезную модель № 180637. Векторкардиограф. 9 августа 2017 г.

9. Исакевич В.В., Исакевич Д.В. Патент на полезную модель № 133642. Сигнализатор значимых отличий. 5 апреля 2013 г.

10. Формирование синхронного ансамбля кардиоосцилляций при синусовом ритме. Аль-Барати Б.С., Исакевич В.В., Исакевич Д.В., Аль-Хайдри В.А., Сушкова Л.Т. Биотехносфера. 2016. № 6 (48). с. 28-32.

11. Исакевич В.В., Исакевич Д.В., Аль-Хайдри В.А. Патент на полезную модель № 178010. Устройство формирования ансамбля кардиоциклов. 28 июня 2017 г.

12. Кендалл М., Стьюарт А. Статистические выводы и связи. Главная редакция физико-математической литературы изд-ва "Наука", 1973.- 899 с.

13. Исакевич В.В., Исакевич Д.В. Кардиоайгеноскоп: Демонстрационная версия на Scilab. – М. Издательство Перо, 2016. - 133с. [Электронное издание] ISBN 978-5-906851-75-8.

Based on the use of cardioaigenoscopy, a modification of the method for detecting significant differences in multichannel observations of various deviations of the electrocardiosignal (ECG) from the norm is proposed. The article presents a block diagram of the signaling device for significant differences in electrocardiogram recordings and provides a step-by-step description of the algorithm for converting ECG recordings in several responses according to this scheme. In the algorithm implementing the proposed method, the covariance matrix and its eigenvectors and eigenvalues are calculated based on the matrix of the combined synchronous ensemble for the entire ECG recording. The energetically significant eigenvectors are selected and the expansion coefficients for these eigenvectors are calculated. The calculated decomposition coefficients are converted into matrices of time sections of the decomposition coefficients. Adjacent groups of time sections (epochs) are compared using the linear Fischer discretionary function, which characterizes the dependence of the value of the Fischer criterion on time. As a result, the problem of identifying significant differences between two time-related groups of PQRST cycles of electrocardiograms is solved when they are represented in the basis of the eigenvectors of the covariance matrix of the combined synchronous ensemble of cardiac oscillations. The efficiency of this method has been tested on ECG recordings from publicly available databases. The proposed approach can be used in the analysis of electrocardiograms of significant duration, including those obtained in the study of sleep disorders and Holter monitoring.

Key words: cardioaigenoscopy; synchronous ensemble; eigenvector; PQRST cycle; linear discriminant function.

Р.М. Аббас – аспирант кафедры «Электроника, приборостроение и биотехнические системы» ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

E-mail: riadabbas88@gmail.com

Ахмед Абдо Аль-Кавати – аспирант кафедры «Электроника, приборостроение и биотехнические системы» ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

E-mail: ahmedalqawati@gmail.com

Косарева Ксения Валерьевна – ведущий инженер ООО «Собственный вектор».

E-mail: ksenia108@mail.ru

Адрес: 600005, г. Владимир, ул. Горького, 50.