

Система NOISE Мониторинга Изменений в Сердце и Результаты Экспериментов на Ноутбуке

Нармин Рзаева

Институт Систем Управления, Баку, Азербайджан
nikanel1@gmail.com

Аннотация– В статье предлагаются Noise технологии анализа характеристик шума сердца, при помощи которых проводится мониторинг скрытого периода изменений в функционировании сердца. Представлены результаты экспериментов над людьми различных возрастных групп. Также приложена концепция системы мониторинга.

Ключевые слова– помеха, шум сердца, корреляционная функция, сердечно-сосудистая система, заболевания сердца, система мониторинга.

I. ВВЕДЕНИЕ

Количество случаев заболевания сердца в наше время прогрессивно увеличивается и охватывает широкие слои населения. Трудность своевременной диагностики этих заболеваний усугубляется в связи с большой загруженностью врачей и высокой стоимостью большинства медицинских методов диагностики. По этим причинам во многих случаях больная обращается к врачу на стадии, когда болезнь приобретает явно выраженную форму [1–3]. В связи с вышеуказанными факторами большой интерес представляют системы, которые позволяли бы оценить состояние сердечно-сосудистой системы (ССС) в режиме онлайн. К сожалению, ни одно из существующих на сегодняшний день мобильных средств мониторинга [4–6] с этой задачей не справляется.

В связи с вышеуказанным большой интерес представляет система, способная проводить идентификацию скрытого периода изменений в функционировании сердца по характеристикам его шума при помощи ноутбуков и смартфонов в режиме онлайн.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Известно [7, 8], что одним из наиболее доступных для измерения параметров человеческого организма при мониторинге изменения состояния функционирования сердца является его шум. Шум сердца (ШС) $g(t)$ состоит из смеси полезного сигнала $X(t)$ и помехи $\varepsilon(t)$, сопровождающей полезный сигнал.

Вследствие этого в процессе прослушивания сердца на вход прослушивающего устройства вместо полезного сигнала $X(t)$ поступает сигнал, зашумленный помехой $\varepsilon(t)$, который имеет вид

$$g(i\Delta t) = X(i\Delta t) + \varepsilon(i\Delta t) . \quad (1)$$

На практике вычисление оценок автокорреляционных функций $R_{XX}(\mu)$ полезного сигнала $X(i\Delta t)$, зашумленного помехой $\varepsilon(i\Delta t)$, невозможно, и имеет место очевидное неравенство

$$R_{XX}(\mu) \neq R_{gg}(\mu) . \quad (2)$$

Таким образом, обеспечение адекватности результатов мониторинга по оценке $R_{gg}(\mu)$ на практике во многих случаях не удается.

Таким образом, для обеспечения адекватности результатов мониторинга изменений в функционировании сердца требуется выполнение условия робастности

$$R_{XX}(\mu) \approx R_{gg}(\mu) , \quad (3)$$

т.е. устранение влияния помехи на оценку $R_{gg}(i\Delta t)$.

III. ТЕХНОЛОГИИ ВЫЧИСЛЕНИЯ РОБАСТНЫХ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ ШС

Проведенные экспериментальные исследования показали, что для мониторинга изменений в сердце необходимо вычисление оценок $R_{gg}^R(\mu = 0)$ и $R_{gg}^R(\mu \neq 0)$ по следующим формулам:

$$\begin{cases} R_{gg}^R(\mu = 0) \approx R_{gg}(0) - 2R_{X\varepsilon}(0) - D_{\varepsilon\varepsilon} \approx \\ \approx R_{gg}(0) - D_{\varepsilon} \approx R_{XX}(\mu = 0) \\ R_{gg}^R(\mu \neq 0) \approx R_{gg}(\mu) - 2R_{X\varepsilon}(\mu) \approx R_{XX}(\mu \neq 0) \end{cases} . \quad (4)$$

Экспериментально было установлено, что для определения оценки дисперсии помехи D_{ε} зашумленного сигнала $g(i\Delta t)$ целесообразно применение выражения [1,2]

$$D_{\varepsilon} \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [g(i\Delta t)g(i\Delta t) - 2g(i\Delta t)g((i+1)\Delta t) + g(i\Delta t)g((i+2)\Delta t)] . \quad (5)$$

Однако для устранения влияния погрешности на оценки автокорреляционных функций ШС наряду с определением оценки D_{ε} также необходима разработка технологий определения оценки $R_{X\varepsilon}(\mu)$, $\mu = 1, 2, 3, \dots$

Ниже предлагается выражение для вычисления указанных оценок:

$$R_{X\varepsilon}(m\Delta t) \approx \frac{1}{2} R'_{X\varepsilon} \approx \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [g(i\Delta t)g((i+m)\Delta t) - 2g(i\Delta t)g((i+(m+1))\Delta t) + g(i\Delta t)g((i+(m+2))\Delta t)], \text{ где } m = 0, 1, 2, \dots \quad (6)$$

Очевидно, что при помощи выражений (4)–(6) оценки автокорреляционных функций зашумленных и полезных сигналов будут удовлетворять условиям

$$R_{gg}^R(\mu) \approx R_{XX}(\mu).$$

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА НОУТБУКЕ

Эксперименты проводились с привлечением людей из различных возрастных групп в течение 10 дней. Измерение ШС проводилось до и после физических нагрузок, которым подвергались испытуемые. Результаты некоторых экспериментов приведены в таблицах 1–3 (учитывая ограниченный объем статьи, в работе приведены таблицы испытуемых, сокращенные до трех дней испытаний).

Таблица 1. Испытуемый №1, возрастная группа до 20 лет

	$R_{X\varepsilon}(0)$	$R_{X\varepsilon}(\Delta t)$	$R_{X\varepsilon}(2\Delta t)$	$R_{X\varepsilon}(3\Delta t)$	$R_{X\varepsilon}(4\Delta t)$	$R_{X\varepsilon}(5\Delta t)$	$R_{X\varepsilon}(6\Delta t)$
До нагрузки	6,5142	5,3775	3,9323	2,3089	0,7045	0,6129	1,5891
После нагрузки	4,6777	3,9204	2,8626	1,7111	0,6433	0,2343	0,8971
До нагрузки	7,9239	6,8350	5,2422	3,3668	1,4330	0,3613	1,8813
После нагрузки	5,8960	4,6635	3,0295	1,3900	0,0346	0,9273	1,5631
До нагрузки	8,6551	6,9732	4,8258	2,3383	0,1667	2,1887	3,6278
После нагрузки	4,6401	3,6382	2,2527	0,7851	0,4919	1,4008	1,8946

Таблица 2. Испытуемый №2, возрастная группа до 30 лет

	$R_{X\varepsilon}(0)$	$R_{X\varepsilon}(\Delta t)$	$R_{X\varepsilon}(2\Delta t)$	$R_{X\varepsilon}(3\Delta t)$	$R_{X\varepsilon}(4\Delta t)$	$R_{X\varepsilon}(5\Delta t)$	$R_{X\varepsilon}(6\Delta t)$
До нагрузки	9,1756	7,7717	5,7362	3,3486	0,9204	1,2518	2,9971
После нагрузки	5,9002	4,6832	2,9158	0,9099	1,0009	2,5268	3,4838
До нагрузки	11,9962	9,9429	6,9150	3,2919	0,4557	3,8396	6,5209
После нагрузки	6,6708	5,0483	2,7551	0,2256	2,0814	3,7691	4,6172
До нагрузки	10,4187	8,5111	5,7446	2,5521	0,5991	3,2955	5,2848
После нагрузки	7,1513	5,5861	3,3297	0,7838	1,6163	3,4837	4,5798

Таблица 3. Испытуемый №3, возрастная группа после 60 лет

	$R_{X\varepsilon}(0)$	$R_{X\varepsilon}(\Delta t)$	$R_{X\varepsilon}(2\Delta t)$	$R_{X\varepsilon}(3\Delta t)$	$R_{X\varepsilon}(4\Delta t)$	$R_{X\varepsilon}(5\Delta t)$	$R_{X\varepsilon}(6\Delta t)$
До нагрузки	5,5377	4,4529	2,9457	1,2954	0,2351	1,4400	2,2272
После нагрузки	4,7961	6,0065	2,9245	1,7036	0,5167	0,4641	1,1697
До нагрузки	10,0330	7,9891	5,2187	2,2902	0,2448	1,9675	2,7774
После нагрузки	7,5663	6,4809	4,9661	3,1791	1,3237	0,3519	1,7139
До нагрузки	7,6900	6,5160	4,8511	2,9769	1,1590	0,3992	1,6079
После нагрузки	6,8076	5,7682	4,3408	2,6944	1,0237	0,4531	1,6345

Как видно из таблиц, на основе характеристик шума сердца, определяемых из выражений (4)–(6), можно сформировать базу эталонных оценок, индивидуальную для каждого человека.

При помощи этой базы станет возможным проводить надежный мониторинг скрытого периода изменений в функционировании сердца.

V. МОБИЛЬНАЯ СИСТЕМА NOISE МОНИТОРИНГА СКРЫТОГО ПЕРИОДА ИЗМЕНЕНИЙ В ФУНКЦИОНИРОВАНИИ СЕРДЦА

Предлагается реализация системы в двух вариантах. В первом варианте мониторинг осуществляется при помощи электронного стетоскопа Lithmann 3200, подключенного посредством Bluetooth к ноутбуку (рис. 3).

Благодаря высокой чувствительности стетоскоп с легкостью прослушивает шум сердца. Во втором варианте мониторинг проводится посредством смартфона, микрофоном которого прослушивается шум сердца (рис. 3).

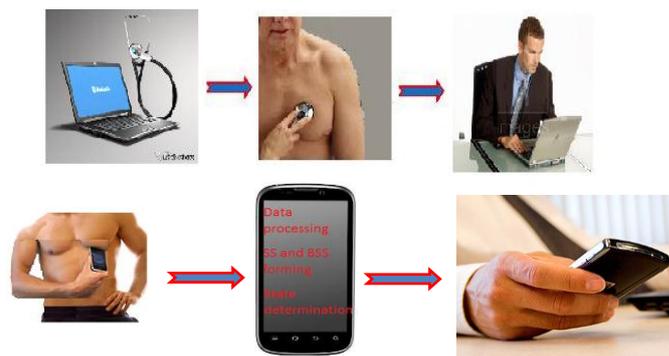


Рис.3. Концепция двух вариантов системы онлайн мониторинга изменений в ССС.

На начальном этапе процесса мониторинга состояния ССС происходит обучение. Пользователь ноутбука или смартфона каждый день устанавливает диафрагму стетоскопа или микрофон смартфона на определенную точку в области сердца.

Таким образом, в период обучения из вышеуказанных оценок составляется комбинация информативных признаков, соответствующая текущему состоянию пользователя, и они в виде эталонов заносятся в базу знаний (БЗ). В последующие дни процедура повторяется.

При этом, если какая-либо комбинация информативных признаков совпадает с уже имеющейся в базе, то отмечается факт совпадения. Если же текущая комбинация отличается от всех уже имеющихся в БЗ, то в соответствующее множество заносится как новый эталон. Со временем наступает момент, когда вновь полученные текущие оценки неоднократно оказываются равными или близкими по значению к уже имеющимся в БЗ комбинациям из соответствующего множества.

Этим процесс обучения считается завершенным. После этого пользователь аппаратуры в повседневной жизни продолжает прослушивать свое сердце в соответствующие времена суток. При этом, если полученная комбинация оценок совпадает с уже имеющимися в базе оценками из соответствующего множества, то на экране появляется сообщение «В состоянии Вашего сердца нет никаких изменений». Если же в какой-то период времени текущая комбинация будет отличаться от всех соответствующих данному состоянию и уже имеющихся в БЗ, то на экране устройства появится сообщение «В состоянии Вашего сердца произошли изменения».

Тогда на экране появятся перечень всех соответствующих данному состоянию комбинаций оценок из базы, а также значение оценок текущей комбинации. В случае, когда разность этих комбинаций велика, тогда пользователю дается рекомендация обратиться к врачу-кардиологу. Если после обследования врач приходит к выводу, что поводов для беспокойства нет, то текущая комбинация также вносится в соответствующее множество эталонных комбинаций и запоминается в базе эталонов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложены Noise технологии мониторинга изменений в функционировании сердца и представлены результаты вычислительных экспериментов на базе данных технологий.

Анализ полученных результатов позволяет прийти к выводу, что любое изменение в функционировании сердца приводит к изменению информативных признаков, определяемых по выражениям (4)–(6). В работе также предложена мобильная система Noise мониторинга сердца при помощи ноутбуков и смартфонов, позволяющая проводить постоянный онлайн контроль сердца без посещения медицинских учреждений.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] T. A. Aliev, T. A. Alizade, N. E. Rzayeva. Noise control of heart by means of a smartphone, Lambert Academic Publishing, 2012, p.152.
- [2] Н. Э. Рзаева, «Разработка мобильной системы робастного noise мониторинга изменений в функционировании сердца», Восточно-европейский журнал передовых технологий, 2015, №6/9(78), стр.28–36.
- [3] Т. А. Алиев, А. К. Забирова, И. Д. Мамедов, Устройство для диагностики заболеваний. Авторское свидетельство №999064, 1982.
- [4] www.en.wikipedia.org/wiki/Holter_monitor
- [5] Easy ECG Pocket
- [6] www.ebneuro.biz/en/cardiology/ecg-rest/easy-ecg-pocket
- [7] Innovative examination method in cardiology that radically changes diagnostics of the cardiovascular system performance. <http://cardiocode.co.uk/>
- [8] А. Г. Дембо, Э. В. Земцовский, Спортивная кардиология. Издательство «Медицина», 1989, стр.459.
- [9] C. Böhm, S. Khuri, L. Lhotská, N. Pisanti. Information Technology in Bio-and Medical Informatics, Second International Conference, ITBAM, Toulouse, France, Springer, 2011, p.188.