

Keywords: turbo-code, majority logic, efficiency, reliability

DOI: 10.18469/ikt.2017.15.3.07

Prasolov Victor Anatoljevich, Interregional public organization «Institute of Engineering Physics», Bolshoy Udamy la, Moscow reg., Serpukhov, 142210, Russian Federation; the Head of Department of Automated Control Systems and Communication, PhD in Technical Science. Tel.: +74967353193. E-mail: pravit-1@iifmail.ru.

Tokarev Dmitriy Alexandrovich, Branch of the Military Academy of the strategic missile forces; Brigadnaya st., 17, Moscow reg., Serpukhov, 142210, Russian Federation; PhD student of the Department of Automated Control Systems. Tel.: +74967353193.

References

1. Vanushin V.M., Vilkov S.V., Derkach A.M., Tsymbal V.A. Metodika nakhodeniya harakteristik processa dovedeniya soobsheniya v radioseti bez obratnoi svyazi s povtoreniami i ih majoritarnoi obrabotkoi [Methods of finding the characteristics of the delivery process of messages in radio network without feedback with repeating and their majority processing]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2011, vol. 9 no. 1, pp. 33-39.
2. MIL-STD-188-141C. Interoperability and Performance Standards for Medium and High Frequency Radio Systems. 25.07.2011.
3. Sklar B. *Digital Communications. Fundamentals and Applications. Second Edition*. PrenticeHall PTR, New Jersey, 2001. 1079 p. (Russ ed. Sklar, B. Tsyfrovaaya svyaz. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primeneniye. Moscow, Vilams Publ., 2003. 1104 p.).
4. 3GPP2 C.S0002-C, «Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems», 28.05.2002.
5. Yang S.C. *3G CDMA2000 wireless system engineering*. London, Artech house, INC., 2004. 270 p.
6. Proakis J.G., Manolakis D.G. *Digital Signal Processing*. Pearson Prentice Hall, 2007. 1084 p.
7. Berrou C. *Codes and turbo codes*. Springer Science & Business Media, 2011. 400 p.
8. Branka Vucetic, Jinhong Yuan. *Turbo Codes: Principles and Applications*. Kluwer Academic Publishers, 2000. 312 p.
9. Rajeshree Raut, Kishore Kulat. *Error Control Coding for Performance Improvement*. LAP Lambert Academic Publishing, 2012. 180 p.
10. Parvathy Sherin. *Performance Enhancement of MC-CDMA System Using Turbo Block Codes*. LAP Lambert Academic Publishing, 2014. 76 p.

Received 17.04.2017

НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 612.172

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОГО СОПРЯЖЕНИЯ ЭКГ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Пермяков С.А., Кузнецов А.А., Сушкова Л.Т., Чепенко В.В.

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир, РФ

E-mail: sapermakov@bk.ru

В работе представлен статистический подход к исследованию амплитудно-фазового сопряжения электрокардиограмм. Проведено сравнение гистограмм параметров стандартного отклонения и информационной энтропии. Предложена и описана модель параметрического сопряжения электрокардиографических данных на основе инфокоммуникационных связей и энтропийного подхода к анализу дискретных данных. По данным групповых регистраций электрокардиограмм условно-здоровых молодых людей предложена информационная модель амплитудно-фазового сопряжения. Показано, что введенный параметр угла инфокоммуникационной связи и информационная модель сопряжения имеют особую чувствительность к донологическим состояниям. По результатам анализа созданных параметрических диаграмм сопряжения представлена качественная и количественная классификация режимов амплитудно-фазового сопряжения электрокардиографических данных.

Ключевые слова: ритм сердца, сопряжение, инфокоммуникационная связь, функциональное состояние

Введение

Проблема интерпретации электрокардиографической (ЭКГ) информации, ее анализа и последующего прогнозирования функционального состояния организма (ФСО) является актуальной междисциплинарной задачей, которую невозможно решить без применения методов информационного, статистического и системного анализа. ЭКГ, генерируемая электропроводящей системой сердца, несущая в себе информацию об основных функциях сердца за исключением сократимости, состоит из моментных суммаций распространения потенциала действия в миокарде, имеющих определенный ритм и амплитуду [1]. В подобном системном процессе деятельности миокарда между ортогональными компонентами ЭКГ в работах [2-3] предполагается наличие сложного взаимодействия. Динамика изменения параметров ЭКГ лежит в основе современного метода оценки вариабельности ритма сердца (ВРС) [4-5].

Исследования в данной области показали, что этот метод при текущем инструментарии не позволяет эффективно выявлять ранние признаки устойчивых патологических отклонений в сердечно-сосудистой системе, а следовательно, и предупреждать развитие подобных отклонений у условно-здоровых обследуемых (УЗО) [6]. Эти ограничения привели к развитию структурно-топологического подхода к анализу взаимосвязи ортогональных компонент ЭКГ [7].

Постановка задачи

Передача информации в организме осуществляется с использованием особых принципов модуляции, при которых происходит изменение параметров носителя информации в соответствии с передаваемым сообщением [8]. В единой ЭКГ можно выделить два носителя информации с различными параметрами – фазу, характеризующую длительностью RR -интервалов в мс, и амплитуду доминирующего зубца R , измеряющуюся в мВ. Ортогональные амплитудная и фазовая составляющие ЭКГ по отдельности имеют собственные ограничения применения в диагностических системах, при этом наиболее перспективным является исследование их взаимосвязи, или, иными словами, – сопряжения. Сопряжение амплитудной и фазовой составляющих ЭКГ несет качественно новую информацию о системных процессах в миокарде, которая требует создания соответствующих инструментов анализа. Дискретное представление амплитудной и фазовой составляющих ЭКГ в виде диаграмм без интерполяционных свя-

зей позволяет использовать структурный подход для обоих сигналов [9].

На первый план выходит задача выбора подхода к изучению сопряжения ортогональных компонент, то есть выбора информативных параметров и на основе их синтеза новых. Изучению вариантов взаимодействия амплитудной и фазовой составляющих ЭКГ посвящены работы [2-3; 10-11]. Из них следует, что сопряжение ортогональных компонент представляет собой функциональную связь, свойства которой целесообразно изучить, используя статистические методы.

Целью статьи является выявление и исследование статистических особенностей амплитудно-фазового сопряжения ЭКГ-компонент у условно-здоровых и больных людей.

Решение задачи

ЭКГ-сигналы регистрировались с помощью приборов «Anna Flash 3000» (производства ООО «МКС», г. Зеленоград). Для регистрации ЭКГ использовалось отведение по Небу. Полученные ЭКГ-данные конвертировались сначала в текстовые файлы, затем в два цифровых ряда – ряд амплитуд R и ряд RR -интервалов.

В ходе работы было исследовано 503 20-минутных регистраций ЭКГ [12] у 117 УЗО молодых людей, из них 417 групповых и 115 серийных регистраций. Для сопоставления с этими данными дополнительно было проведено и проанализировано более десятка регистраций больных реанимационного отделения, находящихся в условиях интенсивной терапии.

Регистрации УЗО лиц проводились среди студентов ВлГУ, не имеющих симптомов и показаний к лечению заболеваний сердечно-сосудистой системы. Регистрации осуществлялись в двух видах – групповых и серийных. Ограничение длины записи 20 мин. обуславливалось требованием стационарного состояния покоя. Данное требование выполнялось 10 мин. адаптацией обследуемого к условиям регистрации, а также созданием условий покоя в условиях учебно-научной лаборатории.

Группа исследуемых здоровых молодых людей представляла собой статистический ансамбль по следующим признакам: возраст (от 19 до 21 года); студенты одной группы, второго курса; одинаковое расписание занятий; состояние покоя во время исследования; время регистрации (13:00-16:00).

Групповые регистрации проводились в весенний период у 117 человек, после чего было выбрано 413 статистически значимых записей ЭКГ.

Серийные регистрации проводились у каждого из двух молодых людей (УЗО1 и УЗО2) в осенний период ежедневно в течение одного и двух месяцев, всего была получена 91 статистически значимая запись ЭКГ (30 для УЗО1 и 61 для УЗО2). При составлении информационной модели использовалась известная методика структурно-топологического описания ритмограмм по двум параметрам – стандартного отклонения σ и информационной энтропии I^* [13] каждого из двух цифровых рядов.

Важным моментом для совместного изучения информационной энтропии двух разнородных цифровых рядов является идентичность комбинаторных условий [13]. Для этого форма цифрового ряда RR представляется с дискретизацией 1 мс, а цифровой ряд R – с дискретизацией 3,9 мкВ.

Структурный анализ

Первым шагом при статистическом сравнении параметрических рядов является сравнение видов функции распределения. На рис. 1 для визуального анализа представлены гистограммы параметрических рядов информационной энтропии (рис. 1а) и стандартного отклонения (рис. 1б), полученных при групповых регистрациях для рядов RR и R соответственно. Гистограммы стандартного отклонения по оси абсцисс для удобства сравнения были приведены в один безразмерный диапазон.

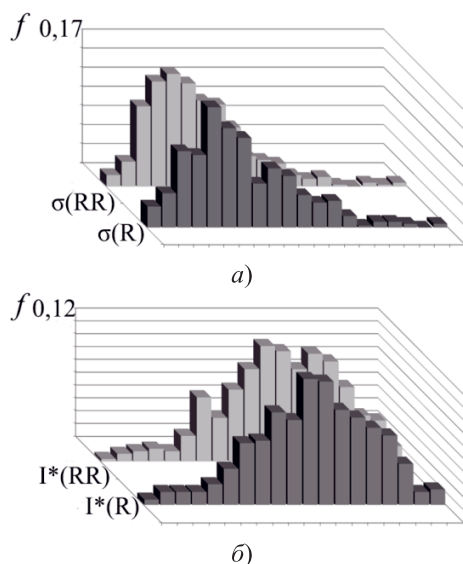


Рис. 1. Гистограммы параметров: а) σ ; б) I^* R и RR

Из рис. 1 следует, что параметры I^* и σ для R и RR у УЗО лиц имеют визуально сходные одномодальные функции распределения, приближенные к нормальному закону. При оценке закона распределения экспериментальных данных среди

известных видов по критерию логарифмического правдоподобия наиболее близким для параметров σ и I^* рядов R и RR оказалось нормальное распределение. Известно [13], что для нормального закона распределения существует функциональная зависимость между математическим ожиданием энтропии системы $H(X)$ и стандартным отклонением, которая выражается формулой:

$$H(X) = \log_2 \left(\frac{\sqrt{2\pi e} \sigma}{\Delta x} \right), \quad (1)$$

где Δx – частота дискретизации. Учитывая, что ряды параметров I^* и σ нормализованы, можно провести сравнение экспериментальных данных с теоретическими (см. рис.2 и рис. 3).

Данные на рис. 2-3 подтверждают нормализацию параметрических рядов R и RR в ансамбле групповых регистраций. Экспериментальные данные достоверно ($R^2 > 0,97$) в полулогарифмических координатах описываются уравнением линейного тренда. Экспериментальные данные в сравнении с линиями теоретического значения энтропии нормального распределения находятся на определенном расстоянии, которое увеличивается с ростом σ .

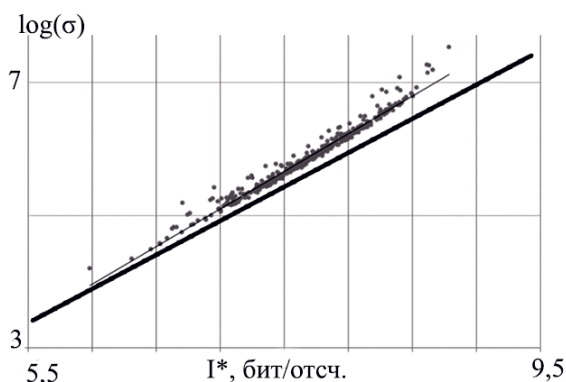


Рис. 2. Структурная диаграмма $\log \sigma (I^*)$ для данных RR -интервалов: ● – данные групповых регистраций; — линейный тренд; — нормальное распределение

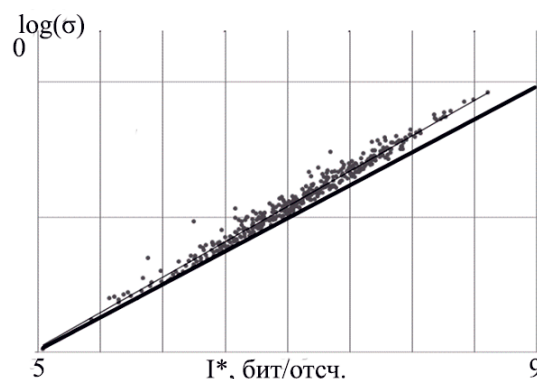


Рис. 3. Структурная диаграмма $\log \sigma (I^*)$ для данных R -амплитуд: ● – данные групповых регистраций; — линейный тренд; — нормальное распределение

Данный факт объясняется ограничением объема выборки данных R и RR . При этом для больших σ увеличивается среднее значение RR -интервала и соответственно уменьшается количество кардиоциклов при двадцатиминутной регистрации.

Особо следует отметить, что тренды параметрических рядов R и RR на рис. 2 и рис. 3 имеют отличный от нормального распределения наклон, что свидетельствует о разной степени нормализации рядов. Для ряда R коэффициент наклона составляет 1,04; для RR – 1,13 соответственно. Для сопоставления данных УЗО лиц на структурные диаграммы R и RR были нанесены данные пациентов реанимационного отделения (см. рис. 4 и рис. 5).

Отклонение данных здоровых людей в состоянии покоя от информационной энтропии нормального распределения может служить индикатором функционального состояния организма [14]. По данным рис. 4-5, у больных людей чаще всего наблюдается значительное отклонение данных R и RR от нормального распределения, что является результатом разнообразных физиологических процессов, находящихся под влиянием интенсивной терапии.

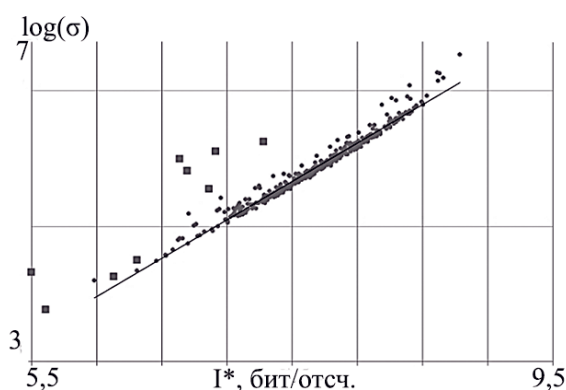


Рис. 4. Структурная диаграмма RR с данными групповых регистраций и больных: ● - данные групповых регистраций; — линейный тренд; ■ - данные пациентов реанимационного отделения

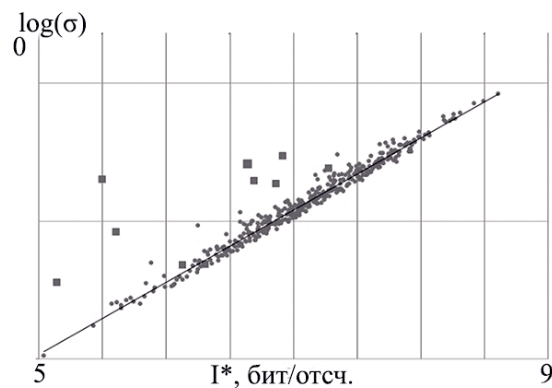


Рис. 5. Структурная диаграмма R с данными групповых регистраций и больных (● – данные групповых регистраций; — линейный тренд; ■ – данные пациентов реанимационного отделения)

В статье предложен подход, объединяющий массивы данных R и RR на одной плоскости для оценки и сопоставления структурных особенностей рядов R и RR , которые проявляются на диаграммах $\log \sigma(I^*)$.

Данный подход предусматривает, что каждая пара точек $R(I_R^*, \sigma_R)$ и $RR(I_{RR}^*, \sigma_{RR})$, соответствующая одной ЭКГ-регистрации, наносится на одну плоскость и соединяется прямой инфокоммуникационной линией (ИКЛ) связи. Подобную диаграмму, содержащую данные R и RR и их связи можно назвать параметрической диаграммой сопряжения (ПДС), показанной на рис. 6.

Угол наклона ИКЛ представляется функцией четырех переменных $-f(\sigma_R, \sigma_{RR}, I_R^*, I_{RR}^*)$ и обозначается как θ . ПДС формируется двумя логарифмическими осями ординат $OY - OY1$ для σ_R и $OY2$ для σ_{RR} , ось абсцисс OX является общей для параметров I^* рядов R и RR (см. рис. 6). В принятых логарифмических осях ординат данные RR располагаются выше данных R .

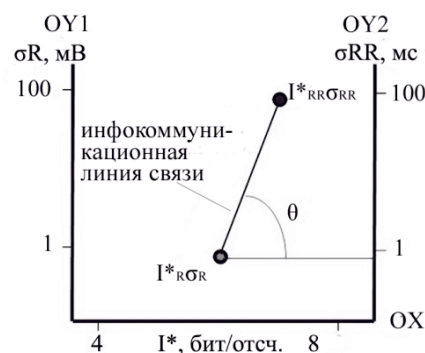


Рис. 6. Формирование параметрической диаграммы и коммуникативной связи

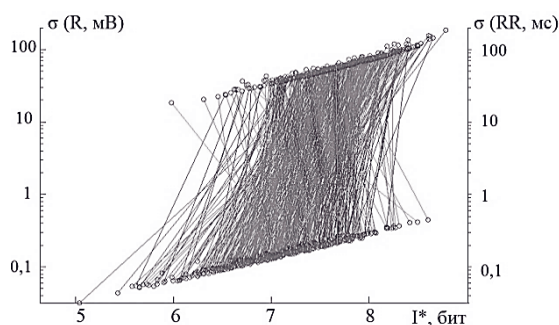


Рис. 7. Параметрическая диаграмма сопряжения групповых регистраций

При нанесении всех структурных данных групповых регистраций УЗО лиц и соответствующих им линий связи (см. рис. 7) формируется совокупность ИКЛ в ряду статистического ансамбля параметров ЭКГ, которая, в свою очередь, является графическим представлением модели

амплитудно-фазового сопряжения ЭКГ-данных (рис. 7).

Анализ информационной модели

На рис. 7 на ПДС нанесены данные и ИКЛ для 413 регистраций групповых условно-здоровых молодых людей. На графическом представлении модели могут быть выделены определенные закономерности изменчивости угла сопряжения.

Необходимо отметить наличие в ансамбле групповых регистраций двух видов ИКЛ связи: $\theta > 90^\circ$ и $\theta < 90^\circ$. На рис. 8 представлена гистограмма значений угла сопряжения θ в ансамбле групповых регистраций. Значение θ в групповых регистрациях варьируется от $50,32^\circ$ до $132,68^\circ$, среднее значение составляет $79,15^\circ$. Полученные данные были сопоставлены с данными для серийных регистраций двух УЗО и с данными пациентов реанимационного отделения, результаты сравнения представлены в таблице 1.

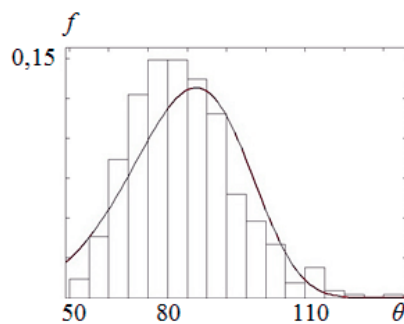


Рис. 8. Гистограмма распределения угла сопряжения в ансамбле групповых регистраций

Таблица 1. Статистические данные угла сопряжения для различных групп регистраций

Данные	Число регистраций	$\langle \theta \rangle, ^\circ$	$\min \theta ^\circ$	$\max \theta ^\circ$
Групповые	413	79,1	50,3	132,7
УЗО1	31	89,9	80,9	112,6
УЗО2	60	68,3	55,2	97,6
Больные	14	117,6	83,3	150,0

Анализ таблицы 1 показал, что у пациентов реанимационного отделения среднее значение угла сопряжения значительно выше, чем для условно-здоровых обследуемых. Для УЗО1 и УЗО2 также характерны собственные средние значения угла сопряжения, отличающиеся от среднegrupпового как в большую (для УЗО1), так и в меньшую (УЗО2) сторону.

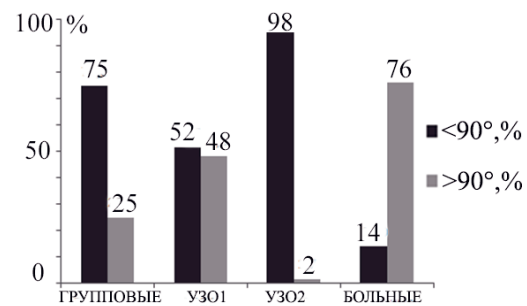


Рис. 9. Диаграмма представительства инфокоммуникационных линий с $\theta > 90^\circ$ и $\theta < 90^\circ$ в различных ансамблях

Вариационный размах угла сопряжения УЗО1 и УЗО2 укладывается в диапазон групповых регистраций, в отличие от данных больных людей, у которых минимальное и максимальное значение угла сопряжения значительно выше. Для оценки представительности двух видов связи была построена диаграмма количественного соотношения двух видов сопряжений (связей с $\theta > 90^\circ$ и $\theta < 90^\circ$) для четырех обследуемых групп (см. рис. 9). Из рис. 9 также следует, что у больных людей преобладают связи с $\theta > 90^\circ$, у УЗО лиц соотношение таких связей в групповых регистрациях 25%, у УЗО1 – 48,4%, у УЗО2 – 1,7%.

Заключение

Структурно-параметрический анализ по параметрам I^* и σ позволил сделать вывод о нормализованности цифровых рядов RR и R . По отклонению от теоретического значения энтропии было показано, что R -амплитуды более приближены к нормальному распределению, чем RR -интервалы. Предложена информационная параметрическая модель сопряжения амплитудной и фазовой составляющих ЭКГ, являющаяся результатом объединения структурных диаграмм ортогональных ЭКГ-компонент. Для описания сопряжения используется инфокоммуникационная линия и значение ее угла наклона. Совокупность ИКЛ в статистическом ансамбле позволила представить графически информационную модель сопряжения ЭКГ-данных.

Сопоставительный статистический анализ данных групповых и серийных регистраций и регистраций больных показал качественные групповые и индивидуальные особенности сопряжения, которые могут использоваться в диагностике функционального состояния организма. Визуальный анализ параметрических диаграмм сопряжения показывает, что необходимо отдельно исследовать топологию полученной статистической структуры статистического ансамбля групповых регистраций.

Литература

1. Шмидт Р., Тевс Г. Физиология человека. Т.3. М.: Мир, 1996. – 330 с.
2. Кузнецов А.А., Пермяков С.А. Энтропийный подход к исследованию амплитудно-фазового сопряжения электрокардиосигнала // ИКТ. Т. 11, № 3, 2013. – С. 50-55.
3. Permyakov S.A., Sushkova L.T., Kuznetsov A.A. Topological approaches to simultaneous analysis of ECG orthogonal components // Proceedings of the 11-th German-Russian-Conference on Biomedical Engineering. Germany, Aachen, June 2015. – P. 123-126.
4. Баевский Р. М. Научно-теоретические основы использования анализа вариабельности сердечного ритма для степени напряжения регуляторных систем организма // Компьютерная электрокардиография на рубеже столетий. СПб: СПбГУ. 1999. – С. 116-119.
5. Вариабельность сердечного ритма. Стандарты измерения, физиологической интерпретации и клинического использования. СПб: АОЗТ Институт кардиологической техники, 2000. – 64 с.
6. Кузнецов А.А. Системный анализ и обработка электрокардиографической информации. Дис. д.т.н. Нижний Новгород, 2012. – 300 с.
7. Кузнецов А.А. Количество информации и энтропия ярусной диаграммы ритма сердца // Информационно-управляющие системы. №4 (47), 2010. – С. 57-62.
8. Кузнецов А.А. Биофизика. Биологическое действие ультрафиолетовых лучей и ионизирующей радиации. Биофизика сложных систем. Биофизика сердца. Владимир, Изд. ВлГУ, 2002. – 108 с.
9. Кузнецов А.А. Структурно-топологические особенности диаграмм ритма сердца // ИКТ. Т. 7, № 3, 2009. – С. 80-85.
10. Кузнецов А.А., Пермяков С.А., Сушкова Л.Т. Изучение взаимосвязи показателей вариабельности диаграмм ритма сердца и диаграмм амплитуд систолического потенциала ритма сердца у здоровых людей // Докл. XII МНТК «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии». Кн. 1. Владимир, 2016. – С. 294-297.
11. Пермяков С.А., Кузнецов А.А., Сушкова Л.Т. Исследование механизма сопряжения генерации систолического потенциала и ритма сердца // Материалы IV МНТК «Высокие технологии, фундаментальные и прикладные исследования в физиологии и медицине». СПб, ноябрь 2012. – С. 86-88.
12. Кузнецов А.А., Пермяков С.А. О естественной нормализации диаграммы ритма сердца // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Т. 78, №4 (97), 2012. – С. 363-368.
13. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Высшая школа, 1999. – 576 с.
14. Анализатор функционального состояния организма. Патент РФ 165751 на полезную №2015120326/14, заявл. 29.05.15, опубл. 11.10.16, бюл. №31.

Получено 10.09.2017

Пермяков Сергей Александрович, магистр Кафедры биотехнических и электронных средств и технологий (БЭСТ) Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых (ВлГУ). Тел. 8-958-510-93-27. E-mail: sapermakov@bk.ru

Кузнецов Артемий Артемьевич, д.т.н., профессор Кафедры общей и прикладной физики ВлГУ. Тел. 8-492-232-33-84. E-mail: artemi-k@mail.ru

Сушкова Людмила Тихоновна, д.т.н., профессор, зав. Кафедрой БЭСТ ВлГУ. Тел. 8-915-756-48-02. E-mail: ludm.sushkova@mail.ru

Чепенко Владимир Владимирович, врач-реаниматолог Суздальской районной больницы. Тел. 8-906-151-296. E-mail: chepenko.vladimir.49@mail.ru

INFORMATION MODEL OF ECG AMPLITUDE-PHASE COUPLING BASED ON STATISTICAL APPROACH

Permyakov S.A., Kuznetsov A.A., Sushkova L.T., Chepenko V.V.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russian Federation

E-mail: sapermakov@bk.ru

The paper presents statistical approach to studying of amplitude-phase coupling shown by electrocardiograms (ECG) of healthy and sick people. ECG data were collected from a group of over 500 pre-sumably healthy young

people and from over 10 sick people. The article demonstrates the results of a detailed structural analysis of digital rows of systolic potential diagrams and cardiointervalogramms using histograms and standard deviation – information entropy charts. The authors pay a lot of attention to statistical data comparison. As a result, a parametric electrocardiogram coupling approach is proposed based on evident infocommunication links between structural parameters of amplitude and phase. Each infocommunication link is set to correspond to one experimental registration and is assigned an angle parameter. The set of such links represents the information model. It is shown that both the angle parameter and the information model have a specific sensitivity to prenosologic conditions. The qualitative and quantitative classification of the amplitude-phase coupling modes of the ECG data is presented, which is based on analyzing parametric coupling diagrams. The article will be of interest to physiologists and specialist in the field of information data analysis.

Keywords: heart rate, coupling, infocommunication link, functional state

DOI: 10.18469/ikt.2017.15.3.08

Permyakov Sergei Alexandrovich, Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Yubileinaya str. 32-146, Vladimir, 600031, Russian Federation; graduate student of the Department of Biotechnical and Electronical Systems and Technologies; «Rentgen-Laboratoria» Ltd., Engineer-technician. Tel.: +79209341101. E-mail: sapermyakov@bk.ru

Kuznetsov Artemy Artemievich, Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, B. Nizhegoroskaja str. 34-30, Vladimir, 600031, Russian Federation; Professor of the Department of General and Applied Physics, Doctor of Technical Science. Tel.: +7492232384. E-mail: artemi-k@mail.ru.

Sushkova Lyudmila Tikhonovna, Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Bolshie Remenniki str. 2a-8, Vladimir, 600031, Russian Federation; the Head of Department of Biotechnical and Electronical Systems and Technologies, Doctor of Technical Science, Professor. Tel.: +74922479979. E-mail: ludm.sushkova@mail.ru.

Chepenko Vladimir Vladimirovich, Suzdal District Hospital, Sudogodskoe roadway 25a, Suzdal, 601293, Russian Federation; Emergency physician. E-mail: chepenko.vladimir.49@mail.ru.

References

1. Schmidt R., Tevs G. *Fiziologija cheloveka. Tom. 3* [Human physiology. Vol. 3]. Moscow, Mir Publ., 1996. 313 p.
2. Kuznetsov A.A., Permyakov S.A. Entropijnyj podhod k issledovaniju amplitudno-fazovogo soprazhenija elektrokardiosignala [The entropy approach to investigation of amplitude-phase coupling in electrocardiosignal]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2013, vol. 11, no. 3, 2013, pp. 50-55.
3. Permyakov S.A., Sushkova L.T., Kuznetsov A.A. Topological approaches to simultaneous analysis of ECG orthogonal components. *Proceedings of the 11th German-Russian-Conference on Biomedical Engineering*, Aachen, 2015, pp.123-126.
4. Baevskij R. M. Nauchno-teoreticheskie osnovy ispol'zovanija analiza variabel'nosti serdechnogo ritma dlja stepeni naprjazhenija reguljatornyh sistem organizma [Scientific-theoretical basis of heart rate variability application for estimation of stress level]. *Kompyuternaja elektrokardiografija na rubezhe stoletij*. Saint Petersburg, SPGU, 1999, pp. 116-119.
5. Variabel'nost' serdechnogo ritma. Standarty izmerenija, fiziologicheskoy interpretacii i klinicheskogo ispol'zovanija [Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use]. Saint Petersburg, AOZT Institut kardiologicheskoy tehniki, 2000. 64 p.
6. Kuznetsov A.A. *Sistemnyj analiz i obrabotka elektrokardiograficheskoy informacii*. Dokt. Diss. [System analysis of electrocardiography information. Doct. Diss.]. Nizhnij Novgorod, 2012. 300 p.
7. Kuznetsov A.A. Kolichestvo informacii i entropija yarusnoj diagrammy ritma serdca [Information quantity and entropy of heart rate diagram structure]. *Informacionno-upravljajushhie sistemy*, 2010, no. 4, pp. 57-62.
8. Kuznecov, A. A. *Biofizika. Biologicheskoe dejstvie ul'traioletovyh luchej i ioniziruyushchej radiacii. Biofizika slozhnyh sistem. Biofizika serdca: ucheb. posobie* [Biophysics, Biological effects of ultraviolet and radiation. Biophysics of complex systems. Heart biophysics]. Vladimir, VSU Publ., 2002, 108 p.
9. Kuznecov A.A. Strukturno-topologicheskie osobennosti diagramm ritma serdca [Structural and topological features of heart rate diagrams]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2009, vol. 7, no. 3, pp. 80–85.

10. Kuznecov A.A., Permyakov S.A., Sushkova L.T. Izuchenie vzaimosvyazi pokazatelej variabel'nosti diagramm ritma serdca i diagramm amplitud sistolicheskogo potentsiala ritma serdca u zdorovykh lyudej [Study of heart rate diagram and systolic amplitude diagram parameters in healthy persons]. *Fizika i radioelektronika v medicine i ehkologii: Doklady 12-j mezhd. nauchn.-tekhn. koefn., book 1*. [Proc. 12th Int. Conf. "Physics and radioelectronics in medicine and ecology", book 1]. Vladimir, 2016, pp. 294-297.
11. Permyakov S.A., Kuznecov A.A., Sushkova L.T. Issledovanie mexanizma sopryazheniya generacii sistolicheskogo potentsiala i ritma serdca [Investigation of coupling mechanism of systolic potential generation and heart rate] *Fiziologiya, medicina, farmakologiya. Vysokie tekhnologii, teoriya, praktika. Sb. statej IV mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Vysokie tekhnologii, fundamental'nye i prikladnye issledovaniya v fiziologii i medicine»* [Physiology, medicine, pharmacology. High technologies, theory, practice, Proc. 4th Int. Sc.-pract. Conf. «High technologies, fundamental and applied researches in physiology and medicine»]. Saint Petersburg, 2012, pp. 86-88.
12. Kuznecov A.A., Permyakov S.A. O estestvennoj normalizacii diagrammy ritma serdca [About the natural normalization of heart rate diagram]. *Trudy Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. R.E. Alekseeva*, 2012, vol. 78, no. 4, pp. 363-368.
13. Ventcel' E. S. *Teoriya veroyatnostej: ucheb. dlya vuzov* [Probability theory. Textbook for universities]. Moscow, Vyssh. shkola Publ., 1999. 576 p.
14. Permyakov S.A. e.a. *Analizator funkcional'nogo sostoyaniya organizma* [Analysing tool for organism functional state]. Patent RF, no.165751, 2015.

Received 10.09.2017

УДК 004.057.4

МЕТОД АУТЕНТИФИКАЦИИ УСТРОЙСТВ В СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ

Васин Н.Н., Чигурь Р.В.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: rwch63@mail.com

Сенсорные сети (peer-to-peer) предназначены для автоматизации производственных процессов и процессов мониторинга. Поэтому элементы сенсорных сетей характеризуются как наличием централизованного управления, так и возможностью взаимодействия между собой напрямую. Важным критерием работы сенсорной сети является оперативность её реагирования на изменение внешних факторов. Время выполнения служебных операций при взаимодействии сенсоров должно быть минимальным. В настоящей статье рассматриваются известные методы аутентификации, используемые для обеспечения защищенности протекающих процессов обмена сообщениями по сети. Представлен анализ их эффективности, указаны тенденции современного развития протоколов. Определена проблема сравнительно длительного времени аутентификации при использовании существующих методов, а также предложен метод сокращения времени выполнения процедуры аутентификации. Проведен эксперимент и сравнительный анализ быстродействия существующих и предложенного алгоритмов аутентификации, в ходе которого выявлено преимущество предложенного метода, позволившего сократить время аутентификации более чем в семь раз.

Ключевые слова: аутентификация; сенсорные сети; алгоритм

Введение

Современные сенсорные сети (peer-to-peer) строятся, как правило, на принципе централизованного управления, с элементами самоорганизации, когда сетевые элементы могут взаимодействовать между собой напрямую без обращения к серверам управления. Для корректной работы всей сети требуется обеспечить минимальное время установления сеанса связи между ее структурными элементами. Таким образом, необходима система аутентификации, которая позволяет участникам сети проводить как прямое

взаимодействие друг с другом, так и оставаться под контролем централизованного управления с сохранением равной степени защищенности. Для этого требуется и соответствующая процедура аутентификации элементов.

Методы аутентификации на сенсорных сетях

На практике используются несколько типов аутентификации на сенсорных сетях [1]: ACL (Access Control List), динамическая аутентификация пользователей на основе легковесного