

УДК 002.6; 004.3; 022.9

Разработка математической модели патологий сердечно-сосудистой системы для программного обеспечения мобильной медицинской индивидуальной электрофизиологической диагностики

В.В. Стучилин, В.А. Румянцева, Е.В. Епишина

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы создания математической модели патологий сердечно-сосудистой системы для программного обеспечения мобильной медицинской индивидуальной электрофизиологической диагностики. Представлены примеры использования математической модели для изучения нормального синусового ритма сердечно-сосудистой системы.

Ключевые слова

Электрокардиограмма, ЭКГ, базовая модель, моделирование, экстрасистолия, нормальный синусовый ритм, патология сердечного ритма, математическая модель, электрофизиологическая диагностика.

Development of mathematical models of pathologies of the cardiovascular system for software mobile medical individual electrophysiological diagnostics

Abstract

In the article the problem of cardiovascular system pathologies mathematical models creation is considered. The target is mobile medical individual

electrophysiological diagnostics. Examples of the mathematical models usage for cardiovascular system studying of the normal sinus rhythm are presented

Keywords

Electrocardiogram, ECG, basic model, modeling, arrhythmia, normal sinus rhythm, pathology heart rhythm, a mathematical model of electrophysiological diagnostics.

Введение

Большинство клинических исследований сердечно-сосудистой системы основаны на анализе электрокардиограмм (ЭКГ) и изучении ряда других регистрируемых сигналов, иллюстрирующих биоэлектрическую активность сердца. К числу несомненных преимуществ такого подхода можно отнести относительную простоту, доступность, неинвазивность и их высокую информативность.

Моделирование электрокардиограмм является актуальной научной и практической задачей. Существует ряд работ в этой области [1,2,3,4].

Базовая модель ЭКГ

Выберем базовую модель, аналогичную [2]. Она формируется по эталону $z(t)$, который описывается суммой несимметричных гауссовых функций.

$$z(t) = \sum_{i \in \{P, Q, R, S, ST, T\}} A_i \cdot \exp \left[-\frac{(t - \mu_i)^2}{2 \cdot b_i^2} \right] \quad (1)$$

В нашем случае мы будем представлять Р зубец в виде суммы двух гауссовых функций, чтобы смоделировать процессы в правом и левом предсердии по отдельности. Несимметричность Т зубца мы смоделируем также суммированием двух слагаемых (ST и T) суммы из формулы 1.

Модель нормального синусового ритма

Схема ЭКГ показана на рисунке 1. На ней обозначены все зубцы сегменты и интервалы с указанием примерной их длительности для здорового человека [5].

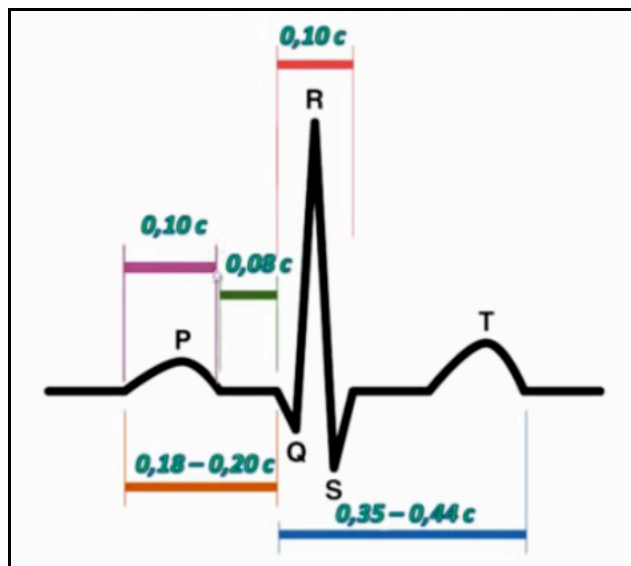


Рисунок 1 - Схема ЭКГ

На основании интервалов, указанных на схеме (см. рисунок 1), а также образцов реальных ЭКГ из базы данных [6, 7] определяются параметры для подстановки в формулу 1.

Графики базового цикла модели, совмещенные с примерами ЭКГ из базы данных MIT-BIH Normal Sinus Rhythm Database показаны на рисунке 2.

При формировании базового цикла модели были использованы следующие относительные величины:

$$A_i = [0.030, 0.03, -0.050, 0.88, -0.12, 0.070, 0.18];$$

$$b_i = [0.040, 0.04, 0.010, 0.025, 0.01, 0.10, 0.06];$$

$$m_{ui} = [0.06, 0.07, 0.27, 0.35, 0.42, 0.700, 0.82];$$

A_i вычислена по отношению к расстоянию между RS зубцами, b_i и m_{ui} – по отношению к общей длительности возбуждения (в соответствии с рисунком 2 равна 550 мс.). К какому зубцу относится каждый параметр можно определить по схеме:

Parameter_i=[P1, P2, Q, R, S, T1, T2]

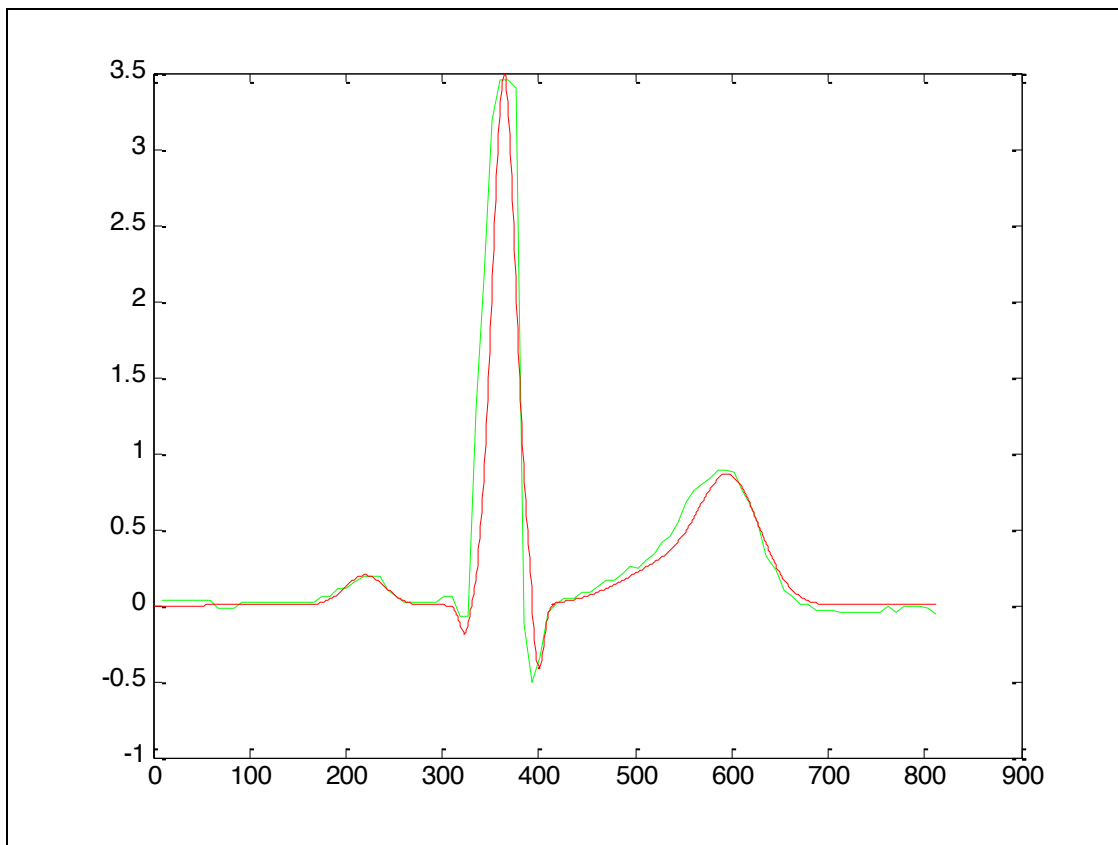
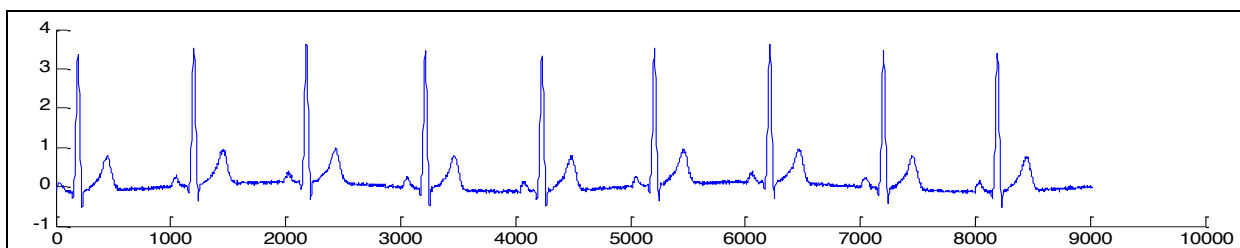


Рисунок 2 - Базовый цикл модели нормальной ЭКГ. Сравнение базового цикла модели с циклом записи №16272



а) ЭКГ мужчины, 26 лет



б) модель ЭКГ

Рисунок 3 - Моделирование нормального синусового ритма

На рисунке 3 показана теоретическая ЭКГ, рассчитанная по вышеприведенным формулам (см. рисунок 3б) в сравнении с записью № 16272 базы данных MIT-BIH Normal Sinus Rhythm Database (см. рисунок 3а). На этом и последующих рисунках по горизонтальной оси показано время в мсек, а по вертикальной напряжению в мВ.

В модели учитываются изменения длительности RR интервала. Они считаются нормально распределенными. Математическое ожидание их соответствует ЧСС=60 1/мин (средний период RR=1000 мс), СКО = 20 мс. Частота дискретизации 500 Гц. На моделируемый сигнал накладывается шум, распределенный по нормальному закону с параметрами ($\mu=0$ мВ, $\sigma=0.02$ мВ).

Кроме того, учитывается дрейф изолинии. Изолиния считается изменяющейся по синусоидальному закону с частотой 15 1/мин (частота дыхания) и амплитудой 0.12 мВ.

Моделирование ЭКГ с патологиями на примере желудочковой экстрасистолии

Явление экстрасистолии заключается в том, что возникает патологический очаг возбуждения, и он вызывает сердечное сокращение раньше, чем оно должно было бы быть сгенерировано в синоартериальном узле. Эти сокращения проходят среди обычных «правильных» сокращений.

При желудочковой экстрасистолии очаг возбуждения находится в желудочке, возбуждение проходит не по обычным путям. Поэтому QRS-комплекс сильно изменен. Экстрасистолы могут возникать несколько раз подряд, могут возникать из разных очагов.

Пример ЭКГ, на основании которого были получены данные, взят из [5].

Модель экстрасистолического возбуждения определяется следующими параметрами с представлена на рисунке 4:

$A_i=[0.00, 0.00, -0.050, 0.88, -0.10, -0.18, 0.19];$

$b_i=[0.060, 0.06, 0.010, 0.08, 0.3, 0.10, 0.08];$

$\mu_i=[0.12, 0.14, 0.27, 0.35, 0.50, 0.800, 0.95];$

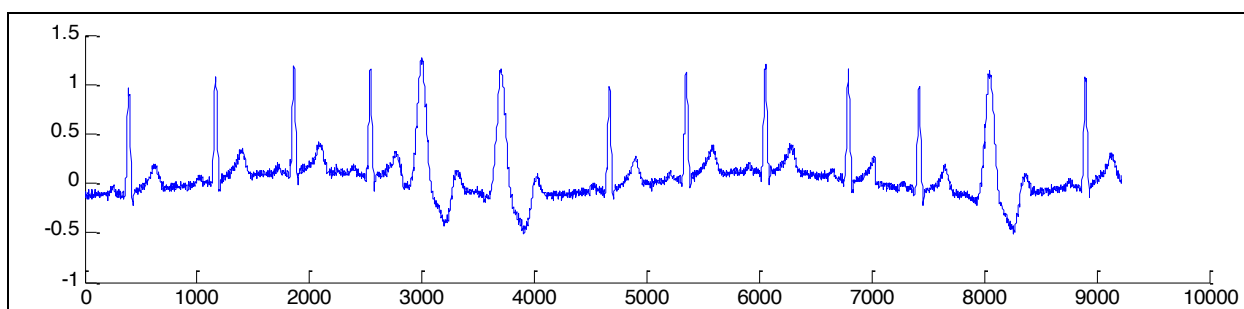


Рисунок 4 - Модель желудочковой экстрасистолии

В модели было задано, что экстрасистолическое сокращение возникает с вероятностью 20%.

Заключение

В ходе проведенных исследований была разработана методика анализа и нормировки электрокардиограммы. Были разработаны модели ЭКГ нормальной сердечно сосудистой системы и различных патологий. Результаты работы планируется использовать при создании программного обеспечения для системы мобильной медицинской индивидуальной электрофизиологической диагностики.

Список использованной литературы

1. Д.С. Григорьев, В.Г. Спицын Применение нейронной сети дискретного вейвлет-преобразования для анализа и классификации электрокардиограмм, Известия Томского политехнического университета, 2012, Т.321 №5
2. Т.Ю. Беклер МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММ НОРМАЛЬНОЙ И ПАТОЛОГИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ISSN0452-9910. Кибернетика и вычисл. техника.2012. Вып.169
3. Л.С. Файнзильберг Технология построения телемедицинской системы на основе генеративной модели порождения искусственной ЭКГ реалистической формы — «Клиническая информатика и телемедицина». –2012. –Т.8. –Вып. 9. –С. 89-98.
4. McSharry, Clifford G, Tarasenko L, Smith LA.A dynamical model for generating synthetic electrocardiogram signals // IEEE Transaction on Biomedical engineering. –2003. –Vol. 50 (3). –P. 289-294
5. А. Щучко, А.Щучко «ЭКГ под силу каждому» <http://medfors.ru/videokurs-ekg> дата обращения (24.03.2015)
6. Archive of digital recordings of physiologic signals and related data <http://www.beecardia.com/physiobank> дата обращения (27.02.2015)
7. Goldberger AL, Amaral LAN, Glass L, Hausdorff JM, Ivanov PCh, Mark RG, Mietus JE, Moody GB, Peng C-K, Stanley HE. PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals. Circulation 101(23):e215-e220 [Circulation Electronic Pages; <http://circ.ahajournals.org/cgi/content/full/101/23/e215>]; 2000 (June 13).

Appendix

1. D. S. Grigoriev, V. G. Spitsyn Application of neural network discrete wavelet transform for the analysis and classification of electrocardiograms, Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, 2012, T.321 №5
2. T. Bekler MODELING ARTIFICIAL ELECTROCARDIOGRAMS of NORMAL AND PATHOLOGICAL FORMS ISSN0452-9910. Cybernetics and computing technique, 2012, issue 169
3. L. S. Fainzilberg Technology build a telemedicine system based on the generative model of generation of artificial ECG realistic forms - Clinical Informatics and telemedicine". -2012. -8. -Vol. 9. Pp. 89-98.
4. McSharry, Clifford G, Tarasenko L, Smith LA.A dynamical model for generating synthetic electrocardiogram signals // IEEE Transaction on Biomedical engineering. –2003. –Vol. 50 (3). –P. 289-294
5. A. Chucko, A. Chucko «The power of each ECG» <http://medfors.ru/videokurs-ekg> date of access (24.03.2015)
6. Archive of digital recordings of physiologic signals and related data <http://www.beecardia.com/physiobank> date of access (27.02.2015)
7. Goldberger AL, Amaral LAN, Glass L, Hausdorff JM, Ivanov PCh, Mark RG, Mietus JE, Moody GB, Peng C-K, Stanley HE. PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals. Circulation 101(23):e215-e220 [Circulation Electronic Pages; <http://circ.ahajournals.org/cgi/content/full/101/23/e215>]; 2000 (June 13).

Сведения об авторах:

1. Стучилин Владимир Валерьевич, доц. каф. ИС ИТАСУ, ФГАОУ ВПО НИТУ «МИСиС, к.т.н., доц., 119049 г. Москва, Ленинский пр-т, д.6, ауд. 231, тел. +7 (499) 230-2531, эл. почта: vladimir@stuchilin.com
2. Румянцева Валентина Анатольевна, доц. каф. ИС ИТАСУ, ФГАОУ ВПО НИТУ «МИСиС, к.т.н., доц., 119991 г. Москва, Ленинский пр-т, д.6, ауд. 231, тел. +7 (499) 230-2531, эл. почта: rumyanceva_v@mail.ru
3. Епишина Екатерина Викторовна, ведущий аналитик, ООО "Нордавинд-Дубна", 141980, Московская область, г.Дубна, ул. Программистов, д.4 тел. +74996080188, эл. почта: e.epishina@nordavind.ru.

About the authors:

1. Vladimir Stuchilin, associate professor, Department of Information Systems, National University of Science and Technology "MISIS". Ph.D, associate professor 119049, Moscow, Leninskiy ave., 6, +7 (499) 230-2531, vladimir@stuchilin.com
2. Valentina Rumyantseva, associate professor, Department of Information Systems, National University of Science and Technology "MISIS". Ph.D, associate professor 119991, Moscow, Leninskiy ave., 6, +7 (499) 230-2531, rumyanceva_v@mail.ru
3. Ekaterina Epishina, senior analyst, LLC "Nordavind-Dubna", 141980, Moscow region, Dubna, Programmistov 4, +74996080188, e.epishina@nordavind.ru