

УДК 616.12

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА КОМПЬЮТЕРНЫХ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ЭКГ

Т.Ю. Беклер

МНУЦ ИТИС

e-mail: tanja.bekler@gmail.com

Современные цифровые электрокардиографы со встроенными компьютерными алгоритмами обработки, анализа и интерпретации электрокардиограмм (ЭКГ) способны не только производить регистрацию сигнала, но и обеспечивать медицинский персонал надежной информацией для принятия диагностических решений.

Очевидно, что при создании таких алгоритмов требуется их тщательное тестирование и оценка. Для этого метрологическими службами во всем мире применяется методология, которая заключается в том, что на вход проверяемого устройства подаются тестовые сигналы с заранее известными характеристиками. После автоматической обработки такого сигнала производится сравнение результатов, которые выдает электрокардиограф, с известными параметрами тестового сигнала [1].

Существует два подхода для реализации такой проверки. Первый предполагает использование специализированных баз данных, в которых хранятся реальные ЭКГ, предварительно оцененные квалифицированными экспертами [2]. Главным недостатком такого подхода является то, что человек не всегда способен различить малейшие изменения форм отдельных фрагментов ЭКГ, несущих диагностическую информацию.

Второй подход основан на использовании специальных генераторов сигналов сложной формы, с помощью которых формируются тестовые сигналы, которые в аналоговом виде подаются на вход проверяемого устройства. В Украине на сегодняшний день отсутствует подобное оборудование собственного производства, зарубежные же аналоги имеют высокую стоимость и ограничены набором записанных сигналов.

В докладе предлагается методология оценки качества компьютерных алгоритмов обработки ЭКГ, включающая в себя оба приведенных выше подхода к формированию тестовых сигналов (рис. 1).

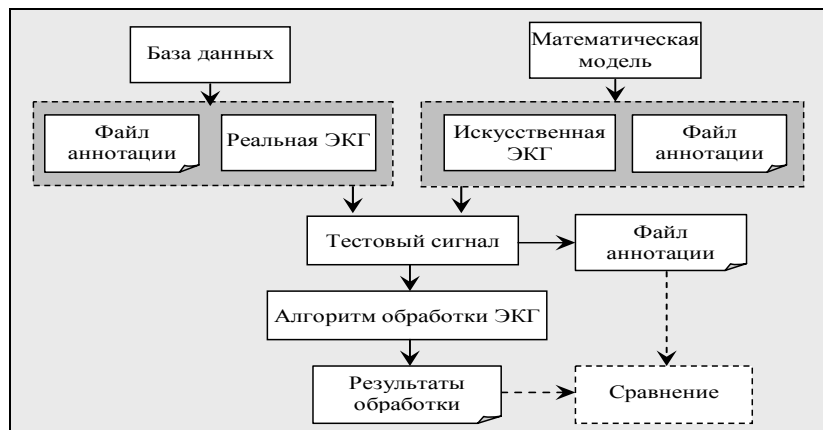


Рис. 1. Методология оценки качества алгоритмов обработки ЭКГ

Во-первых, предусматривается использование реальных ЭКГ из тестовой базы данных MIT-BIH Arrhythmia [3]. Характерные особенности записей в виде числовой информации и комментариев содержатся в файлах аннотации. Во-вторых, в качестве тестовых сигналов используются искусственные ЭКГ, которые генерируются по эталону с заданными пользователем амплитудно-временными параметрами информативных фрагментов, которые автоматически записываются в файл аннотации.

В обоих случаях проверка осуществляется на основании сравнения результатов обработки тестового сигнала, которые автоматически вычисляются компьютерным алгоритмом, с данными, хранимыми в файлах аннотаций.

В последнее время важной характеристикой компьютерных систем медицинской диагностики является анализ предикторов внезапной сердечной смерти. Одним из таких предикторов является альтернация зубца T [4]. По мнению специалистов, существующие компьютерные алгоритмы анализа альтернации зубца T не обеспечивают требуемую надежность при обработке сигнала в реальных клинических условиях. Поэтому для повышения их эффективности требуется тщательная проверка не только по ограниченному числу имеющихся реальных записей ЭКГ, но и по искусственным ЭКГ [4].

Математические модели порождения искусственных ЭКГ, положенные в основу методологии, представляют собой развитие моделей, предложенных в работе [5], которые описаны в работе [6]. Они позволяют создавать искусственные нормальные и патологические ЭКГ реалистичной формы, наблюдаемые в условиях внутренних и внешних возмущений, включая ЭКГ со сдвигом сегмента ST ниже (депрессия) или выше (элевация) изоэлектрической линии, инверсией зубца T , аритмиями, экстрасистолами и другими электрокардиографическими признаками сердечных патологий. Также они позволяют создавать ЭКГ с альтернацией зубца T по амплитуде, продолжительности и симметрии, что дает возможность применять их при оценке алгоритмов анализа альтернации зубца T .

На рисунке 2 приведены примеры, иллюстрирующие качество используемых математических моделей. Амплитудно-временные параметры искусственных ЭКГ приведены в работе [7].



Рис. 2. Реальные и модельные ЭКГ

На рисунке 2, а) представлена реальная запись ЭКГ № 201 базы MIT-BIH Arrhythmia Database, зарегистрированная у мужчины 68 лет с диагнозом «Мерцательная аритмия». В нижней части рисунка приведена искусственная ЭКГ.

В верхней части рисунка 2, б) показана реальная ЭКГ с депрессией сегмента ST (по материалам работы [8]), внизу – искусственная ЭКГ.

На рисунке 2, в) вверху приведена ЭКГ с альтернацией зубца T (по материалам работы [9]), внизу – искусственная ЭКГ.

Как видно из рисунка 2, форма искусственных ЭКГ достаточно близка к форме реальных сигналов. Преимущество же искусственных сигналов заключается в том, что пользователю точно известны их амплитудно-временные характеристики, что позволяет проводить более тщательную проверку компьютерных алгоритмов.

Кроме того, предложенные модели позволяют генерировать сигналы самой разнообразной формы, в том числе такие, которые редко встречаются в реальной жизни, что позволяет существенно расширить базу тестовых сигналов. Благодаря этому повышается качество тестирования и обеспечивается возможность более полного исследования свойств оригинальных алгоритмов.

Предложенная методология и математические модели реализованы в программно-техническом комплексе (ПТК), который построен на базе портативного микропроцессорного имитатора сигналов¹ и программного обеспечения, реализованного на персональном компьютере.

На рисунке 3 представлена последовательность действий в ПТК, соответствующая методологии, в виде диаграммы активности на языке UML.

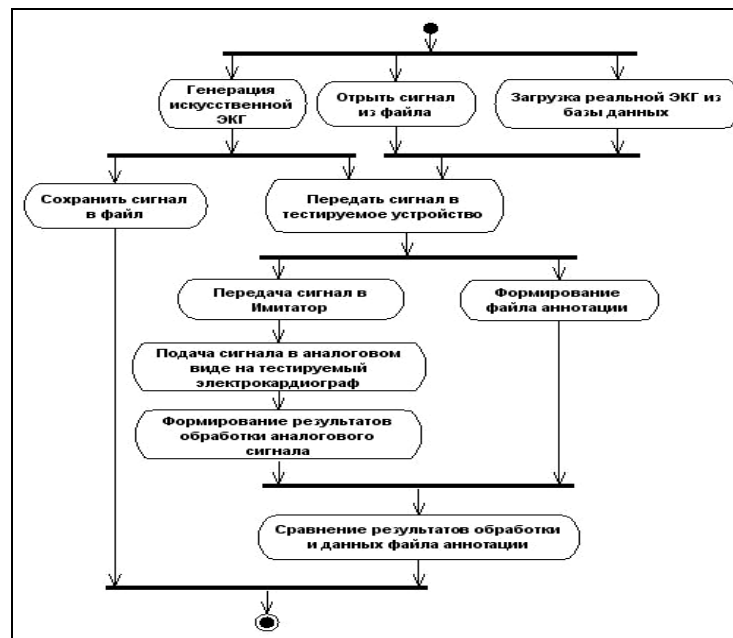


Рис. 3. Диаграмма активности «Оценка качества алгоритмов обработки ЭКГ»

Сценарий «Генерация искусственной ЭКГ» включает формирование искусственных сигналов различной формы, в том числе ЭКГ с альтернативой зубца T . В качестве примера, на рисунке 4 приведена диаграмма активности сценария «Генерация искусственной ЭКГ с альтернативой зубца T по амплитуде», которая иллюстрирует последовательность действий в ПТК при моделировании кардиосигнала с альтернативой зубца T , в том числе, со сменой фазы чередования зубцов различной амплитуды.

Предложенная методология обеспечивает более полную оценку компьютерных алгоритмов обработки ЭКГ благодаря реализации различных подходов к формированию тестовых сигналов. С ее использованием подтверждены высокие метрологические характеристики портативного электрокардиографа ФАЗАГРАФ[®], эффективность встроенных в это устройство новых вычислительных алгоритмов, а также установлены статистические зависимости между традиционными диагностическими признаками ЭКГ

¹ Разработан АОЗТ «Сольвейг» (г. Киев) по заказу МНУЦ ИТИС

во временной области и оригинальными диагностическими признаками ЭКГ в фазовом пространстве.

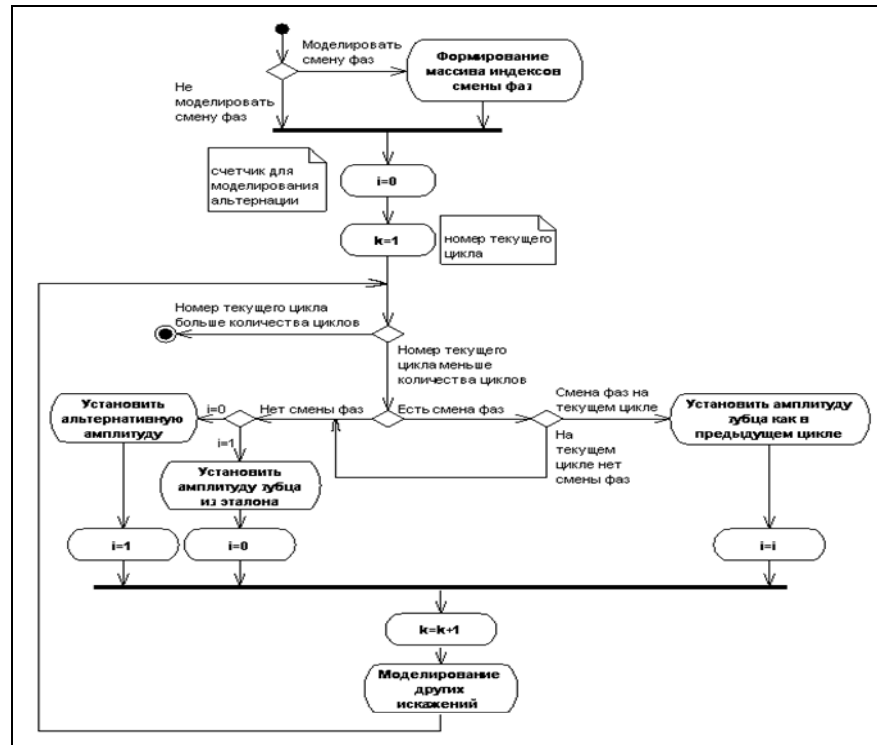


Рис. 4. Диаграмма активности
«Генерация искусственной ЭКГ с альтернативой зубца T по амплитуде»

Литература

1. Подмастерьев К.Д., Кузюра К.В. Проблемы метрологического обеспечения электрокардиографической техники и пути их решения // Биотехносфера. – 2010. – № 1. – С. 34-39.
2. Augustyniak P., Miszczak D. Testing quality of the algorithms for automated electrocardiogram Analysis // 10-th Congress of the Polish Society of Medical Physics (Sept. 15-18 1995, Krakow). – Krakow. – 1995. – P. 73-75.
3. Moody G.B., Mark R.G. The impact of the MIT-BIH Arrhythmia Database // IEEE Engineering in Medicine and Biology. – 2001. – № 20(3). – P. 45-50.
4. Nearing B.D., Verrier R.L. Modified moving average analysis of T-wave alternans to predict ventricular fibrillation with high accuracy // Journal of Applied Physiology. – 2002. – Vol. 92. – P. 541-549.
5. Беклер Т.Ю., Файнзильберг Л.С. Исследование диагностических признаков фазового портрета ЭКГ на основе модели порождения искусственного сигнала // Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика. – Збірник доповідей науково-практичної конференції з міжнародною участю. – К.: ПІММС НАНУ. – 2011. – С. 76-79.
6. Файнзильберг Л.С., Беклер Т.Ю. Моделирование альтернции зубца Т на искусственной электрокардиограмме в условиях внутренних и внешних возмущений // Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики». – 2012. – № 4 (в печати).
7. Беклер Т.Ю., Файнзильберг Л.С. Информационная технология тестирования цифровых электрокардиографов с встроенными алгоритмами обработки данных // «Управляющие системы и машины» (в печати).
8. Лутай М.И., Голикова И.П., Немчина Е.А. Стабильная стенокардия напряжения и методы ее диагностики // «Здоровье Украины». – 2008. – № 11-1. – С. 18-21.
9. Small animal Cardiology. ECG Tutorial. Abnormal ECGs. Electrical alternans. – <http://research.vet.upenn.edu/smallanimalcardiology/ECGTutorial/AbnormalECGs/tabid/4960/Default.aspx>