

УДК 681.3:615.47

В. А. Алексеев, доктор технических наук, профессор;
К. И. Дизендорф, кандидат физико-математических наук, доцент;
С. И. Юран, доктор технических наук, доцент
Ижевский государственный технический университет

КЛАССИФИКАТОР ПУЛЬСОВЫХ КРИВЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТРИЦ ОТНОШЕНИЯ*

Рассмотрены алгоритм классификации и программа классификатора пульсовых кривых, разработанные на основе относительного описания цифрового сигнала. В качестве способа представления экспериментальных кривых выбрано использование матриц отношения, построенных по компонентам решетчатых функций, соответствующих данным кривым.

Ключевые слова: классификация сигналов, пульсовая кривая, относительное описание, база эталонных сигналов, матрица отношения

При исследовании физиологического состояния человека и животных одним из наиболее важных этапов является оценка функционирования сердечно-сосудистой системы (ССС), в том числе по параметрам пульсовой кривой, отражающей объемные изменения пульсового кровенаполнения сосудов биологической ткани организма и несущей важную диагностическую информацию о ССС [1]. При этом важно правильно интерпретировать полученные данные и выявить заболевание ССС на ранних стадиях.

Одной из задач обработки информации, содержащейся в экспериментальном сигнале пульсовой кривой, является классификация сигналов, когда важно знать только некоторые характерные признаки сигнала, по которым его можно отнести к одному из имеющихся классов. На основании результатов классификации принимается соответствующее решение, связанное с диагностикой заболевания, причем часто время на принятие решения ограничено. Следовательно, классификация сигналов должна быть разработана на основе эффективных алгоритмов обработки данных и использовать достаточно компактное представление информации.

В работе в качестве способа представления экспериментальных кривых выбрано использование матриц отношения, построенных по компонентам решетчатых функций (РФ), соответствующих данным кривым [1–3]. Одним из способов качественного описания сигналов является относительное описание. Описание составляет отношение, заданное на множестве отдельных признаков или составляющих дискретного сигнала.

В общем случае такое описание может быть построено с использованием матрицы отношения и является одним из наиболее подходящих для организации информации в компьютере представлений сигнала. Такое представление достаточно экономично и универсально. Кроме того, оно незаменимо в тех случаях, когда важно исследовать форму сигнала, независимо от конкретных численных значений составляющих сигнала, поскольку одним из свойств матрицы, отражающем поведение РФ, является то, что элементы, расположенные на главной диагонали матрицы $[R]$, отражают общий характер поведения функции: возрастание, убывание, выпуклость, вогнутость, наличие и характер расположения экстремумов и др.

Классификация кривых осуществляется путем сравнения матриц отношения, построенных по исследуемой кривой, с соответствующими матрицами отношения эта-

© Алексеев В. А., Дизендорф К. И., Юран С. И., 2010

* Работа выполнена при поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (государственный контракт № П703 от 12.08.2009).

лонных кривых. Результатом сравнения является степень близости исследуемой кривой к эталонным кривым, выраженная в процентном соотношении. На основании полученных данных эксперт может сделать вывод о состоянии исследуемого биообъекта. Для более точного описания формы кривой строятся также матрицы отношения по разностям компонентов РФ первого, второго и более высоких порядков.

Алгоритм классификации РФ по матрице отношения содержит следующие операции:

- построение разностей компонентов РФ i -го порядка;
- построение матрицы отношения $[R]$;
- сравнение $[R]$ с матрицей отношения разностей i -го порядка компонентов РФ эталонного сигнала;
- построение разности $(i+1)$ -го порядка и т.д.

Важно отметить, что разработанный алгоритм позволяет выполнять сравнение сигналов, РФ которых содержат различное количество отсчетов. В этом случае размерность входного сигнала приводится к размерности эталонного сигнала методом линейной интерполяции.

Программа позволяет не только выполнять исследование экспериментальных пульсовых кривых, но и создавать эталонные кривые с сохранением их в базе эталонных пульсовых кривых. Все элементы управления разделены на три группы, которые определяют три различных режима работы приложения: исследование сигнала, создание новых эталонных сигналов, просмотр базы эталонных сигналов.

На рис. 1 представлен пример формы исследования пульсовой кривой.

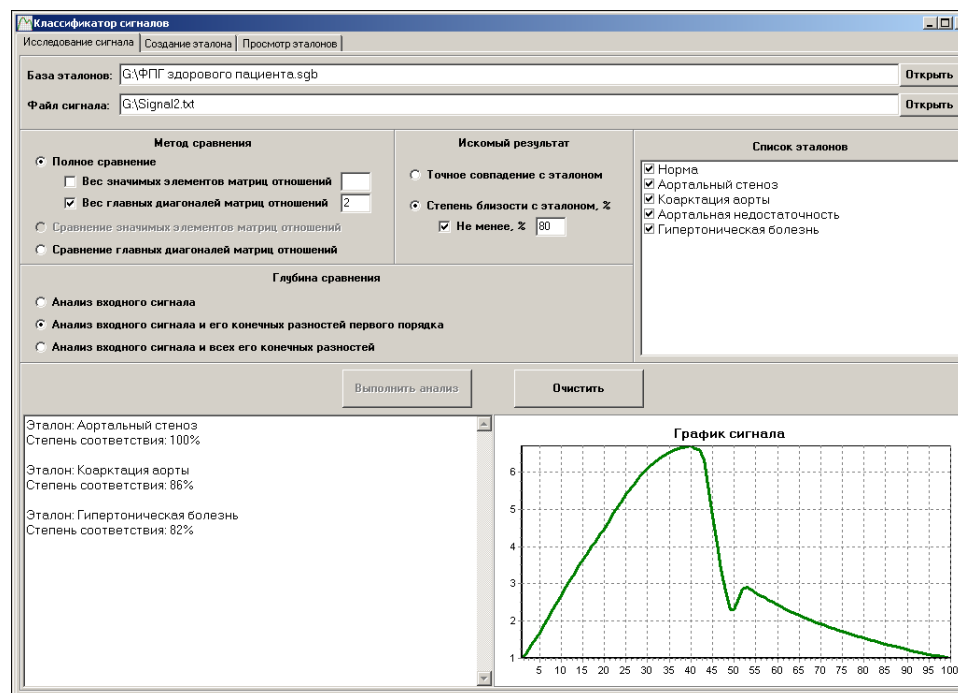


Рис. 1. Форма исследования сигнала

В верхней части формы расположена панель выбора файлов: базы эталонных сигналов и файла исследуемого сигнала. В средней части формы справа расположен список эталонных сигналов, содержащихся в выбранной базе. Пользователь имеет возможность отметить те сигналы, которые необходимо включить в исследование, а остальные исключить из рассмотрения. Слева находятся панели настройки схемы исследования, где пользователь задает способ сравнения сигналов (сравнение всех элементов матриц отношения, только значимых или только диагональных элементов), нужный тип результата (точное совпадение либо степень соответствия) и глубину сравнения (выполняется сравнение только самих сигналов, сигналов и их разностей первого порядка или сравнение разностей всех возможных порядков). При выборе некоторых конфигураций сравнения можно дополнительно задействовать задание весовых коэффициентов некоторым элементам матриц отношения и ограничение на степень соответствия сравниваемых сигналов. Нижняя панель содержит область вывода результатов и график исследуемого сигнала.

На рис. 2 представлен пример формы создания эталонных пульсовых кривых.

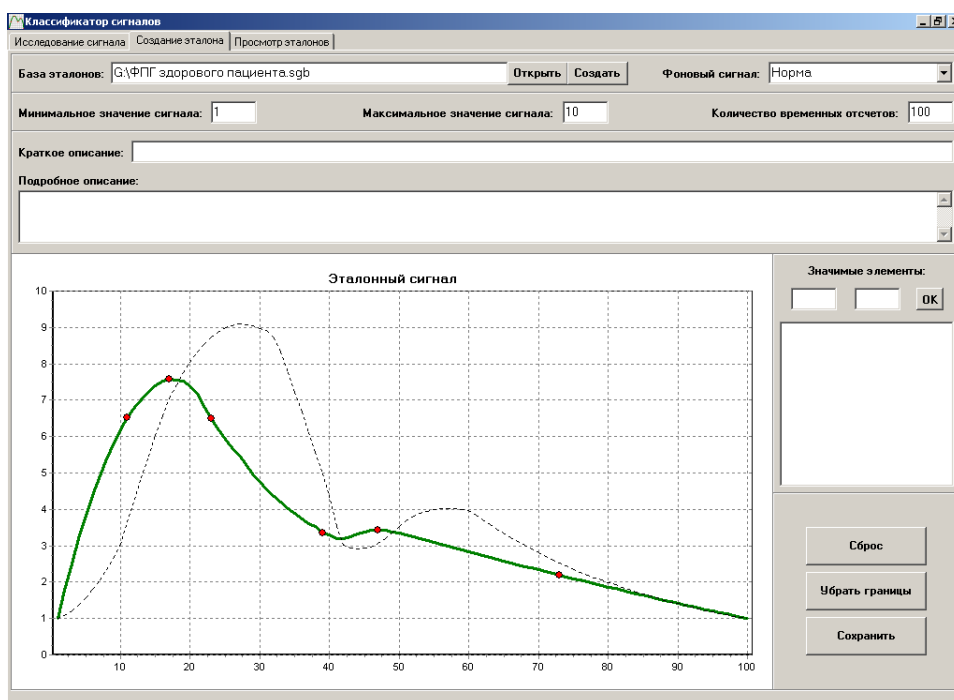


Рис. 2. Форма создания эталонных сигналов

Вверху формы располагается панель выбора базы эталонных сигналов, в которую будет сохранен новый эталонный сигнал. Ниже находятся поля ввода наибольшего и наименьшего значений амплитуды нового сигнала, количества временных отсчетов. В правой части расположены поля для ввода индексов значимых элементов матрицы отношения эталонного сигнала, список уже введенных значимых элементов, а также управляющие кнопки «Сброс», «Убрать границы», которые

используются при создании графика эталона, а также кнопка «Сохранить», при нажатии на которую происходит сохранение эталонного сигнала в базе.

График рисуется при помощи мыши, что позволяет удобным и наглядным способом изобразить необходимую форму кривой, при этом отсутствует необходимость вычисления значений решетчатой функции, соответствующей графику.

Для оценки работы созданной программы проведено ее тестирование (таблица). В качестве эталонных сигналов были выбраны четыре типа пульсовых кривых, характерных для таких заболеваний, как аортальный стеноз, коарктация аорты, аортальная недостаточность, гипертоническая болезнь, а в качестве входного сигнала – пульсовая кривая, характерная для здорового человека.

Было выполнено несколько тестовых исследований при различных параметрах алгоритма. В первом случае в качестве метода сравнения был выбран полный просмотр матрицы отношения без задания дополнительных весов ее элементов, классификация сигнала только по его матрице отношения (без учета разностей), а в качестве порогового значения степени соответствия задавалось 0 %. Второй и третий тесты проводились при том же методе и пороговом значении, но при других параметрах глубины (с учетом разностей первого порядка и с учетом разностей всех порядков соответственно). В четвертом случае сравнение проводилось по элементам главной диагонали матрицы отношения, при использовании только матрицы отношения самого сигнала и также при нулевом пороге. Этот пример должен был показать правильность работы алгоритма классификации, а также дать понятие о близости эталонных сигналов, соответствующих различным отклонениям, к нормальному сигналу пульсовой кривой.

Таблица. Результаты тестирования программы классификатора

Вид теста Эталон	Полный просмотр (сравнение всех элементов матрицы отношения)	Сравнение всех элементов мат- рицы отноше- ния и разностей только первого порядка	Сравнение всех элементов мат- рицы отноше- ния и разностей всех порядков	Сравнение элементов главной диа- гонали мат- рицы отно- шения
1. Фотоплетизмограмма здорового биообъекта	100 %	100 %	96 %	100 %
2. Аортальный стеноз	88 %	79 %	49 %	78 %
3. Сужение аорты	86 %	79 %	55 %	80 %
4. Аортальная недоста- точность	88 %	72 %	50 %	71 %
5. Гипертоническая бо- лезнь	78 %	81 %	65 %	75 %

В результате в первом, втором и четвертом тестах получено полное совпадение входного сигнала с эталоном, что говорит об адекватности соответствующих методик исследования. При этом степени соответствия с другими эталонами отличаются от эталона в зависимости от способа исследования на 12–25 %. Эти данные позволяют исследователю определить, какого различия степеней соответствия для эталонных сигналов достаточно для принятия решения. В третьем тесте не было получено полное соответствие с эталоном. Этот результат объясняется тем, что задание максимальной глубины сравнения позволяет учитывать даже самые незначительные различия в форме кривых, а в данном случае на форме входного сигнала сказались по-

грешности округления его компонентов. Таким образом, можно высказать предположение о том, что использование максимальной глубины сравнения непригодно при исследовании пульсовых кривых, для которых столь точная оценка формы не помогает, а наоборот, мешает исследователю принять правильное решение.

Таким образом, разработанный алгоритм классификатора, основанный на сравнении матриц отношения компонентов РФ сигналов и реализованный в виде приложения, дает возможность производить классификацию входного сигнала относительно заданного набора эталонных сигналов, а также создавать представления эталонных сигналов, объединять их в наборы (базы) и управлять этими наборами. Это позволяет оперативно и точно оценивать состояние ССС биообъектов и выявлять различные отклонения в ее работе.

Следует отметить, что предложенный алгоритм классификации сигналов и разработанное приложение могут быть использованы и в других случаях, когда основным критерием анализа является форма сигнала, независимо от конкретных численных значений его составляющих.

Список литературы

1. *Алексеев В. А., Юран С. И.* Проектирование устройств регистрации гемодинамических показателей животных на основе метода фотоплетизмографии : монография. – Ижевск : Ижев. ГСХА, 2006. – 246 с.
2. *Алексеев В. А.* Классификаторы с использованием матрицы отношений составляющих решетчатой функции // Дискретные системы обработки информации : межвуз. сб. / Удмурт. гос. ун-т, Ижев. мех. ин-т. – Ижевск : [б. и.], 1978. – Вып. 1. – С. 17–21.
3. *Браверман Э. М., Мучник И. Б.* Структурные методы обработки эмпирических данных. – М. : Наука, Глав. ред. физ.-мат. лит., 1983. – 464 с.

* * *

V. A. Alekseev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University

K. I. Dizendorf, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Izhevsk State Technical University

S. I. Yuran, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Izhevsk State Technical University

Qualifier of Pulse Curves with Usage of Relational Matrices

The algorithm of classification and the qualifier program of pulse curves, developed on the basis of relative exposition of a digital signal are observed. As the means of representation of experimental curves the usage of relational matrices built on components of trellis functions matching to the given curves was chosen.

Keywords: classification of signals, pulse curve, relative exposition, base of standard signals, relational matrix

Получено 14.05.10