



ента с заболеванием РМЖ. Поэтому классификатор SVM предлагается для диагностики РМЖ, так как позволяет получить результаты с высокой точностью, низким коэффициентом ошибок и высокой производительностью.

Литература

1. A. Endo, T. Shibata and H. Tanaka Comparison of seven algorithms to predict breast cancer survival, Biomedical Soft Computing and Human Sciences, vol.13, pp.11-16. (2008)
2. Asuncion A. and D.J. Newman: "UCI Machine Learning Repository", Irvine, CA: University of California, School of Information and Computer Science, 2007. [Online]. Available: <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets.html>
3. О.Б. Рўзибоев, О.Қ. Хўжаев Исследование и программная реализация метода ближайших соседей// Химическая технология. Контроль и управление. – Ташкент, 2014. – №2. – С. 84-89. ISSN 1815-4840.
4. Hastie, T. The Elements of Statistical Learning / T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman – Springer, 2001. – ISBN 0-387- 95284-5.

Е.Г. Супонев

АЛГОРИТМЫ СЖАТИЯ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММ С ПОМОЩЬЮ ВСПЛЕСКОВ ДОБЕШИ

(Воронежский государственный университет)

Введение

В настоящее время компьютерные технологии широко применяются в исследованиях биологических систем. Одной из важных областей является электрокардиография (ЭКГ), изучающая активность сердечно-сосудистой системы человека.

Разработка эффективных алгоритмов сжатия сигналов ЭКГ обычно усложняется, во-первых, значительной вариабельностью и разнообразием признаков, во-вторых, наличием шумов от которых трудно избавиться на этапе регистрации сигнала, что обусловлено сложной природой явления [1,2]. Наличие этих факторов предполагает предварительную обработку сигнала перед компрессией. Поэтому актуальной задачей становится разработка универсальных алгоритмов и математических моделей, позволяющих повысить эффективность сжатия, при этом обеспечив максимальное качество результата.

1. Всплески с компактным носителем

Одной из тенденций настоящего времени в области цифровой обработки ЭКГ является применение теории всплесков [3]. Для осуществления сжатия удобно использовать всплески с компактным носителем, называемые всплесками Добеши.

Выражения для масштабирующей функции $\varphi(x)$ и всплеска $\psi(x)$ порядка $n/2$ (n – четное) выглядят следующим образом [4]



$$\varphi(x) = \sum_{k=-\frac{n}{2}+1}^{\frac{n}{2}} C_k \varphi(2x-k), \psi(x) = \sum_{k=-\frac{n}{2}+1}^{\frac{n}{2}} (-1)^k C_{l-k} \varphi(2x-k).$$

Исследуемый сигнал $f(x)$ раскладывается по функциям $\varphi_{j,k}(x) = 2^{-j/2} \varphi(2^{-j}x - k)$ и $\psi_{j,k}(x) = 2^{-j/2} \psi(2^{-j}x - k)$, $k, j \in Z$. Процедура нахождения коэффициентов разложения называется анализом. Ее удобно осуществлять с помощью так называемого пирамидального алгоритма Малла [5]. После его реализации для исходной функции получается представление вида:

$$f(x) = \sum_j \sum_k d_{j,k} \psi_{j,k}(x).$$

Восстановление сигнала по полученным коэффициентам $d_{j,k}$ называется синтезом. Между процедурами анализа и синтеза, как правило, с коэффициентами производят дополнительные преобразования с целью осуществления сжатия и сглаживания сигнала. Часть $d_{j,k}$ обычно обнуляется, проводится округление. Подобного рода алгоритм сжатия ЭКГ с помощью всплесков Добеши рассмотрен в работе [6].

Приведенные в статье [6] расчеты показывают, что алгоритм с использованием всплесков Добеши наиболее эффективен для плавно изменяющихся сигналов. Особенности сигналов в виде пиков и другие явления малого временного масштаба, но большой амплитуды, требуют привлечения большого количества ненулевых коэффициентов $d_{j,k}$.

2. Аппроксимация пиков суммой нескольких функций Гаусса

Сигналы электрокардиограммы имеют локальные особенности в виде пиков [1,2]. Важной задачей является нахождение математической модели для их описания. Один из вариантов был рассмотрен в статье Нихада Насера [7]. В его работе предлагается новый алгоритм аппроксимации пиков суперпозицией $N=2$ или $N=3$ функций Гаусса:

$$f(x) = \sum_{p=1}^N A_p \exp\left(-\frac{(x - m_p)^2}{2\sigma^2}\right),$$

где σ – фиксированная величина.

Идея указанного алгоритма состоит в том, чтобы найти такие значения параметров модели, при которых совпадают несколько первых моментов модельного и экспериментального сигналов. Под моментом k -го порядка функции $f(x)$ понимается следующая величина

$$\nu_k = \int_{-\infty}^{\infty} x^k f(x) dx.$$

На практике используется конечномерный вариант последнего соотношения с применением квадратурных формул.

Данный подход, как показано в статье [7], является достаточно эффективным при моделировании пиков, однако, обеспечивает низкий процент сжатия для плавно изменяющихся участков ЭКГ.



3. Комбинированный алгоритм

Основной задачей при сжатии сигналов электрокардиограмм является сохранение клинически значимой части информации при минимальном количестве ненулевых коэффициентов. Однако, при использовании обычного алгоритма, применяемого в работе [6], и большом проценте сжатия, прореживание может затронуть коэффициенты, содержащие информацию о форменных элементах ЭКГ, что приведет к потере важной, с медицинской точки зрения, информации.

В данной работе предлагается алгоритм, соединяющий достоинства подходов, использованных в статьях [6] и [7]. Он позволяет с достаточной клинической точностью, восстановить сигнал при меньшем, по сравнению с [6], числе ненулевых коэффициентов.

Идея алгоритма состоит в том, что непосредственно перед сжатием происходит обработка ЭКГ, при которой форменные элементы выделяются и аппроксимируются с помощью нескольких функций Гаусса. Затем, смоделированные пики вычитаются из исходного сигнала, а к получившемуся более плавному сигналу с помехами, применяется обычный алгоритм сжатия при помощи всплесков Добеши. Чтобы восстановить исходный сигнал, остается добавить ранее удаленные элементы.

Особенность нового комбинированного алгоритма заключается в том, что получившийся после вычитания пиков сигнал представляет собой относительно плавную линию с помехами гораздо меньшей амплитуды, чем форменные элементы. Поэтому при сжатии ее на 99% получаем, в основном, эффект сглаживания без значительных искажений: визуально исходный и сжатый сигналы ЭКГ неразличимы, следовательно, это не повлияет на решение специалиста при постановке диагноза.

Для демонстрации результатов приведем таблицу 1, в которой сравним обычный [6] и предлагаемый нами комбинированный алгоритм. Количественным критерием качества сжатия в нашей работе выступает среднеквадратичная норма разности исходного $f(x)$ и сжатого $\tilde{f}(x)$ сигналов, выраженная в процентах к среднеквадратичной норме исходной ЭКГ, т. е.

$$\gamma = \sqrt{\frac{\sum_k (f(x_k) - \tilde{f}(x_k))^2}{\sum_k f(x_k)^2}} \times 100\%.$$

Как видно из таблицы 1, комбинированный алгоритм обеспечивает лучшее качество восстановления сигнала ЭКГ (параметр γ меньше) при большем проценте сжатия (до 99%). Таким образом, использование комбинированного алгоритма позволяет повысить процент сжатия и произвести сглаживание помех без потери важной медицинской информации, которая позволяет специалисту правильно расшифровать сигнал, а затем поставить диагноз.



Таблица 1. Сравнение эффективности алгоритмов сжатия ЭКГ на основе всплесков Добеши 8-го порядка

№ ЭКГ	Алгоритм	Процент сжатия, %	Отклонение γ , %
1	Обычный	98%	17%
	Комбинированный	99%	3%
2	Обычный	97%	11%
	Комбинированный	99%	3,5%
3	Обычный	98%	8%
	Комбинированный	99%	2%

Литература

1. Зудбинов Ю.И. Азбука ЭКГ / Ю.И. Зудбинов. – Ростов-на-Дону: «Феникс», 2003. – 160 с.
2. Орлов В.Н. Руководство по электрокардиографии / В.Н. Орлов. – М.: «Медицинское информационное агентство», 2012. – 560 с.
3. Addison P.S. Wavelet transforms and the ECG: a review / P.S. Addison // *Physiological Measurement*. – 2005. – V. 26, № 5. – P. 155–199.
4. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам / И. Добеши. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 464 с.
5. Воробьев В.И. Теория и практика вейвлет-преобразования / В.И. Воробьев, В.Г. Грибунин. – СПб.: «ВУС». – 1999. – 204 с.
6. Сравнительный анализ эффективности сжатия сигнала ЭКГ с помощью всплесков Добеши и дискретного косинусного преобразования / Л.А. Минин [и др.] // *Системы управления и информационные технологии*. – 2011. – № 3(45). – С. 177–180.
7. Насер Нихад Аппроксимация пиков в электрокардиограммах комбинацией сдвигов функций Гаусса / Нихад Насер // *Системы управления и информационные технологии*. – 2015. – № 1(59). – С. 77–80.

М.В. Телегина, Д.С. Карелин

О РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕДИКО-САНИТАРНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ХИМИЧЕСКИХ АВАРИЙ

(Ижевский государственный технический университет
имени М.Т. Калашникова)

Риск возникновения опасной ситуации присутствует практически на любом промышленном предприятии. Однако на крупных химических производствах аварии могут наносить огромный ущерб, как самому предприятию, так и городу, в котором оно находится. Помимо материального ущерба, в таких слу-