



## Применение вейвлет-преобразования для получения фонокардиографического сигнала слабой интенсивности

**В.Н.Запорожан, Л.С.Годлевский, В.П.Новиков, Т.В.Татарчук,  
В.Г.Маричереда, Н.Р.Баязитов, И.В.Смирнов, Е.С.Годлевская \***

*Одесский государственный медицинский университет, Одесса, \* Городская  
клиническая больница №2, Киев, Украина*

### РЕЗЮМЕ, ABSTRACT

В исследовании приведены данные выделения фонокардиограммы плода и фонокардиограммы, регистрируемой микрофоном мобильного телефона, проведенные с применением вейвлет-анализа. Качество полученных сигналов позволяют характеризовать ритм деятельности сердца (Укр.журнал телемедицины и мед.телематики.-2010.-Т.8,№1.-С.36-40).

**Ключевые слова:** кардиология, фонокардиограмма, вейвлет-анализ, мониторинг деятельности сердца

*В.М.Запорожан, Л.С.Годлевський, В.П.Новіков, Т.В.Татарчук, В.Г.Марічереда, М.Р.Баязітов,  
І.В.Смірнов, К.С.Годлевська \**

### ЗАСТОСУВАННЯ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ФОНОКАРДІОГРАФІЧНОГО СИГНАЛУ СЛАБКОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ

*Одеський державний медичний університет, Одеса, \*Міська клінічна лікарня №2, Київ,  
Україна*

В дослідженні наведені дані виділення фонокардіограми плода і фонокардіограми, яка зареєстрована мікрофоном мобільного телефона, яке було здійснене з використанням вейвлет-аналізу. Якість отриманих сигналів дозволяє характеризувати ритм діяльності серця (Укр.журнал телемедицины та мед.телематики.-2010.-Т.8,№1.-С.36-40).

**Ключові слова:** кардіологія, фонокардіограма, вейвлет-аналіз, моніторинг діяльності серця

*V.N. Zaporozhan, L.S. Godlevsky, V.P. Novikov, T.V. Tatarchuk, V.G. Marichereda, N.R. Bayazitov,  
I.V. Smirnov, E.S. \*Godlevska*

### THE USAGE OF WAVELET-TRANSFORM FOR WEAK INTENSITY PHONOCARDIOSIGNAL DETECTION

*Odessa State Medical University, Odessa, \* Second Clinician Municipal Hospital, Kyiv, Ukraine*

The data on the extraction of fetus phonocardiogram as well as cardiogram detected in adult persons with mobile phone microphones, which was made on the basis of wavelet transform basis, are delivered. The quality of gained signals permits to characterize the rhythm of heart activity (Ukr.z.telemed.med.telemat.-2010.-Vol.8,№1.-P.36-40).

**Key words:** cardiology, phonocardiogram, wavelet-analysis, monitoring of heart activity

Сегодня проблема выделения сигнала ФКГ приобретает все большее значение в связи с возрастающими возможностями анализа, передачи данных, в том числе применения мониторингования активности сердца с дистантным консультированием пациента [2, 5, 7, 9]. Поэтому все более актуальными являются исследования по разработке алгоритмов получения качественных кардиографических сигналов.

Целью настоящего исследования явилось применение одного из подобных алгоритмов, основанного на использовании вейвлет-преобразования, для целей разделения фонокардиограммы плода и матери, а также фонокардиограммы, передаваемой с помощью мобильных телефонных аппаратов.

*Технические особенности регистрации ФКГ.* С целью регистрации ФКГ плода при-

меняли пьезодатчики - контактные микрофоны типа СМ-01В, которые располагали на передней поверхности брюшной стенки беременной женщины (20-22 недели беременности). Регистрируемый сигнал находился в полосе фильтрации 7,2- 130 Гц. При этом применяли отведения с помощью нескольких микрофонов.

*Теоретические основы выделения полезного сигнала.* Основная рабочая гипотеза состояла в том, что регистрируемый сигнал представляет собой гауссовскую смесь различных источников звуковых сигналов, характеризующих деятельность сердца плода и матери, а также другие шумы, исходящие из брюшной полости матери. Внешние шумовые факторы были минимизированы. При этом в ходе проведения исследований очевидной явилась высокая степень изменения шумов плода. Наиболее важной особенностью процесса выделения сигнала сердца плода является тот факт, что звуки его сердцебиения имеют не только вполне определенный частотный диапазон, который отличается по частоте от диапазона ФКГ матери, но и диапазоны эти перекрываются, особенно в области низких частот. Кроме того, имеются явные отличия в мощности звуковых сигналов ФКГ плода. Практически во всех случаях сигнал от плода является наиболее слабым по мощности среди всех других сигналов, исходящих из брюшной полости матери. С другой стороны, ФКГ матери можно рассматривать как наиболее мощный сигнал среди тех, которые находится в ближайшем звуковом диапазоне к ФКГ матери, и при необходимости нормировать на его мощность другие сигналы при условии достаточно хорошего выделения сигнала плода.

Важнейшей предпосылкой применения вейвлет-преобразования является компактное периодическое представление звука, издаваемого сердцем плода, перемежающееся периодами отсутствия звуковых проявлений. Также существенным является тот момент, что общая энергия сигнала сердца плода является весьма незначительной по сравнению с энергией сигнала сердца матери, и поэтому идентификация или установление порога данного сигнала ( в зависимости от величины ошибки второго рода) также имеет важное значение для разрешения при отсутствии некогерентного накопления. В каждом обрабатываемом блоке информации после обнаружения оценивалась энергия сигнала, которая во всех случаях была выше условного порога. Данный прием эффектив-

но предотвращал возможность микширования сердцебиения матери и плода. Причем во всех случаях показатель мощности сигнала зависел от локализации датчика, применяемого для его регистрации, а также от изменяющегося во времени положения самого плода.

*Особенности применяемого алгоритма.* Сигналы, полученные от микрофонов, подавались на каналы частотной и вейвлет обработки. Первый этап фильтрации заключался в том, что гауссовскую смесь сигналов умножали на окно при выполнении стандартного преобразования [8]. Гауссовскую смесь затем модифицировали таким образом, чтобы значения вокруг пика смеси становились одинаковыми. Подобная процедура позволяла получать одинаковый (плоский) частотный спектр в средней части сигнала. Обоснованием для применения подобной процедуры было то, что максимальное (пиковое) значение энергии сигнала было различным у разных плодов и сигнал спонтанно мог варьироваться в ряду сердечных сокращений у одного и того же плода. Поэтому общая форма частотного распределения на выходе первого этапа фильтрации сигнала была приемлемой для последующих преобразований. После фильтрации энергия сигнала сопоставлялась с энергией сигнала до фильтрации. В результате проведения подобного сравнения исходили из того, что отфильтрованный сигнал должен соответствовать критериям заданного уровня энергии, устанавливаемым эмпирически, а в будущем и адаптивно, относительно первоначального порога энергии сигнала до начала фильтрации с тем, чтобы затем проводить анализ отдельных частей данного сигнала, содержащих информацию о сердцебиении плода. На следующем этапе применяли программу MATLAB стационарного вейвлет - преобразования с использованием дискретного вейвлета Мейера [1, 3, 4]. Число коэффициентов на каждом уровне дискретного (стационарного) вейвлет - преобразования было таким же, что и число участков принятого к анализу сигнала (до его фильтрации). Для дальнейшего анализа использовали аппроксимированные коэффициенты пятого уровня.

Исходили из того, что участок записи, на котором ожидается наличие ФКГ плода, должен отличаться большей мощностью энергетической компоненты. Путем определения подобных энергетических пиков за

счет вейвлет-коэффициентов определяли участки записи, содержащие звуковую активность ударов сердца плода. Поэтому алгоритм осуществлял регистрацию (определение) пиков, соответствующих каждому удару сердца. Зачастую подобную локализацию пика определяли по изменению знака производной [7]. При этом учитывалось, что сигналы сердца плода иногда включают несколько колебательных процессов, в связи с чем изменение знака производных позволяет отсечь те осцилляции, которые не представляют существенного интереса с точки зрения информации о фетальной ФКГ. Поэтому данную процедуру с учетом изменений знака производных проводили дважды. При этом алгоритм предусматривал идентификацию первого пика как момента изменения знака производной. Этот же алгоритм затем применяли к абсолютным значениям нескольких первых пиков с целью усреднения положения оценки пика. Обнаружение пиков производили с помощью алгоритма на первой и второй стадиях. Двухстадийный метод обнаружения пиков, на наш взгляд, представляет собой альтернативу другим методам определения пиков, которые требуют четкой установки некоторого порога сигнала. Пики, полученные после второй стадии анализа, находились вблизи максимальных значений, которые можно было определить визуально. Выбранные подобным образом сигналы вокруг пиков, по всей вероятности, несли в себе информацию о сердцебиении плода. На этой стадии небольшое число пиков могло быть обусловлено помехами от сердца матери.

Следующим шагом была фиксация сигнала вокруг пиковых значений с помощью «оконной» функции. Целью ее применения было отсечение всех мешающих источников сигналов, находящихся вблизи характеристик фетального ФКГ - сигнала. Причем в нашей работе основное внимание обращалось на выделение частоты ФКГ плода в большей степени, чем на выделение правильного по форме ФКГ - сигнала, поскольку сама «оконная функция» может в существенной мере изменять форму сигнала сердца плода, не влияя на частоту появления сигнала.

В ходе преобразования нижняя граница спектра ФКГ плода перекрывалась спектром ФКГ матери. Вторым этапом была миними-

зация энергии перекрытия сигналов матери и плода и определение вклада материнской ФКГ с целью минимизации данного компонента. В процессе повторной фильтрации уточняли соответствие энергетических характеристик сигнала исходному значению установленного порога и на финальной стадии процесса сигнал с относительно большими пиками рассматривали в качестве сигналов сердца плода. Таким образом, алгоритм, применявшийся для выделения сердцебиений плода, был следующим.

1. Результаты записи звуковых сигналов подразделяли на равные по размеру (блоки) выборки, каждую из которых подвергали последовательной фильтрации. При этом мы использовали блоки размерами 11000 замеров длиной в 6 с. при частоте дискретизации записи 2200 отсчетов в секунду.

2. Проводили стандартное оконное преобразование гауссовской смеси с определением плоских участков спектра сигнала.

3. Контролировали уровни энергии в небольших блоках вейвлет-коэффициентов, включающих 1000 замеров, и проводили сравнение с общей энергией до и после фильтрации. Если блоки имели уровень энергии после и до фильтрации несколько больший, чем заданное пороговое значение, его включали для последующих процедур анализа. Небольшие блоки в 1000 замеров выбирали вместо блоков размерами в 11000 замеров таким образом, чтобы общая длительность пачки в 6 с. не нарушалась.

4. Проводили стационарное вейвлет-преобразование и определение коэффициентов аппроксимации (низкочастотная фильтрация как первая часть фильтрации) пятого уровня для дальнейшего анализа. При этом применяли дискретные вейвлеты Мейера.

5. Проводили определение пиков для каждого блока путем двойного пропускания данных каждого блока через детектор подобных пиков. Обнаружение пика осуществлялось на основе изменения знака производной сигнала. Выход с детектора пиков и дальнейший анализ осуществлялись в том случае, когда сигнал превосходил величину условного порога, а затем подсчитывали число пиков в минуту для определения частоты сердцебиения плода.

## Результаты и обсуждение

Алгоритм применяли к четырем различным массивам данных. Так, два массива получали у беременных женщин и два - у небеременных. При этом последние служили в качестве контрольной выборки с целью выявления ложнорегистрируемой фетальной ФКГ. Частота дискретизации составляла 2400 отсчетов в секунду. Было определено, что во всех случаях наибольшая четкость ФКГ была получена только на одном сенсорном датчике (микрофоне).

Было проведено сравнение для двух выборок сердцебиения плода в течение 40 и 5 секунд соответственно. Причем на 40-секундной записи были отмечены пропуски отдельных ударов сердца плода, однако достаточно четко выделялась частота в 150 ударов в минуту (рис. 1), что соответствовало частоте сердцебиений, которую контролировали с помощью ультразвукового исследования.

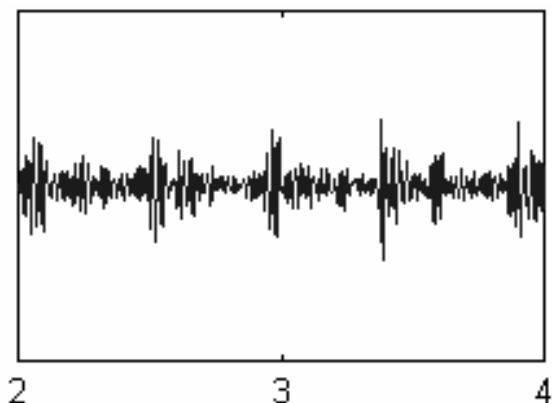
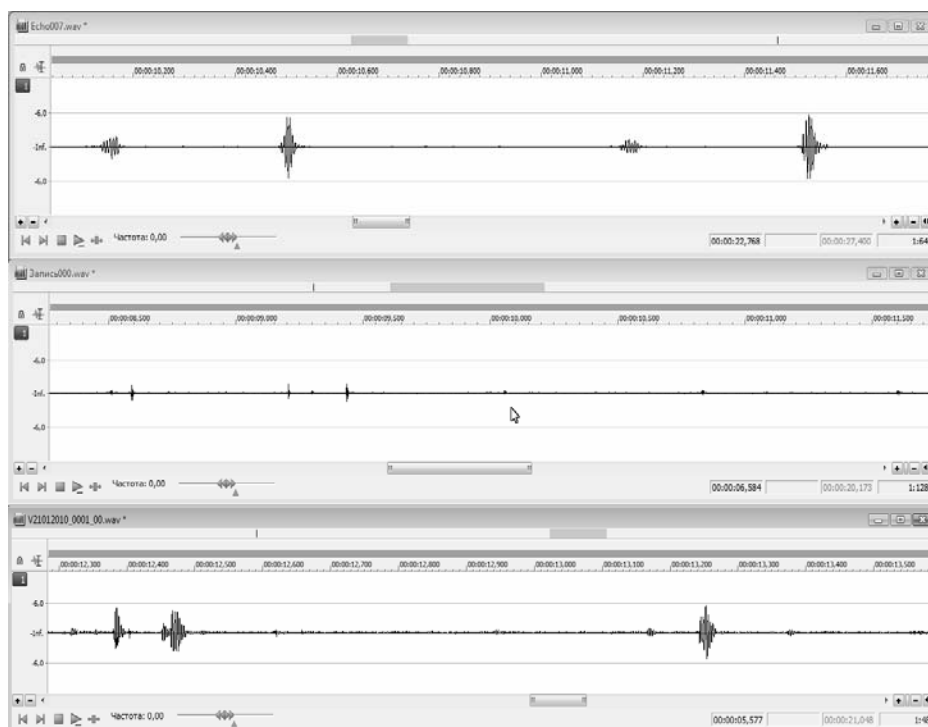


Рисунок 1. ЭКГ плода (период регистрации 2,0 с.). По оси ординат – величина сигнала (высота рамки - 250 мкВ). Использовано некогерентное накопление

Выделение сигналов, записываемых у взрослого испытуемого путем плотного прижатия микрофона мобильных телефонов различных характеристик к точке проекции митрального клапана на переднюю грудную стенку с последующим анализом,

проводимым в соответствии с разработанным алгоритмом, позволило записать качественные ФКГ в случае применения мобильных телефонов определенных характеристик (рис. 2).



а) Samsung GT-S 5230

б) Nokia 6500

в) Fly LX800 Sapphire

Рисунок 2. ФКГ зарегистрированная с помощью различных мобильных телефонов

Таким образом, представленные результаты свидетельствуют о возможности выделения слабых звуковых сигналов, возникающих в процессе работы сердца, из шума, превосходящего по амплитуде полезный сигнал в 10-20 раз [6]. Качественные характеристики регистрируемых сигналов позволяют количественно учитывать параметры деятельности мышцы сердца как у плода, так и у взрослого. Учитывая возможность применения микрофонов мобильных теле-

фонов для регистрации фонокардиофеноменов, возможно полагать о перспективе существенной модификации системы быстрого телеметрического контроля состояния сердца в соответствующих случаях, в том числе контроля состояния плода. При этом возможным эффектом применения подобных систем является увеличение доступности кардиологической консультативной помощи населению.

### Выводы

1. Вейвлет-преобразование позволяет осуществить выделение фонкардиосигналов из гауссовской смеси шумов с помощью одного микрофона.

2. Данная технология позволяет проводить диагностику состояния плода и матери, а также мониторинг активности сердца с помощью бытовых звуковоспринимающих устройств.

### Литература и веб-библиография

1. Дьяконов В.П. Вейвлеты: От теории к практике.- М. Солон-Р 2002.- 440 с.  
2. An advanced method in fetal phonocardiography/ P.Varady, L.Wildt, Z.Benyo, A. Hein // Computer Methods and Programs in Biomedicine.- 2003.- Vol.71.- P. 283-296.  
3. A new mother wavelet for fetal electrocardiography, to achieve optimal denoising and compressing results/ S. Almagro, M.M. Elena, M.J. Bastiaans, J.M. Quero// Computers in Cardiology.- 2006.- Vol.33.- P.157-160.  
4. Automatic extraction of physiological features from vibro-acoustic heart signals: correlation with echo-doppler/ G. Amit, N. Gavriely, J. Lessick, N. Intrator// Computers in Cardiology.- 2005.- Vol.32.- P.299-302.  
5. Finlay M. The "mobile-phonocardiogram", a new tool in the arrhythmia clinic/ M. Finlay, A. Porter, K. Fox// Heart.- 2006.- Vol.92.- P.898.

6. Internet digital phonocardiography in clinical settings and in population screening/ E.Kail, S.Khoor, B.Kail et al.// Computers in Cardiology.- 2004.- Vol.31.- P.501-504.  
7. Jiménez-González A. Extracting sources from noisy abdominal phonograms: a single-channel blind source separation method/ A .Jiménez-González, C.J.James // Med. Biol. Eng. Comput.- 2009.- 2009.- Vol.47, N6.- P.655-664.  
8. Muniraj N.J.R. A new technique to implement filtered X-LMS algorithm for active noise control applications using reconfigurable logic/ N.J.M.Muniraj, R.S.D.Wahidhabanu// J.of Engineering and Applied Sciences.- 2007.- Vol. 2,N5.- P.864- 869.  
9. Nigam V. Generalized blind delayed source separation model for online non-invasive twin-fetal sound separation: a phantom study/ V.Nigam, R.Priemer// J. of Medical Systems.- 2007.- Vol. 32, N2.- P. 123-135.

Надійшла до редакції: 05.10.2009.

© В.Н.Запорожан, Л.С.Годлевский, В.П.Новиков, Т.В.Татарчук, В.Г.Маричереда, Н.Р. Баязитов, И.В.Смирнов, Е.С.Годлевская

Кореспонденція: Запорожан В.М. ,  
вул. Пастера, 9, 65100, Одеса, Україна  
E-mail: godlevsky@odmu.od.ua