

Алгоритм выявления тревожных состояний плода

К. В. Филипенко, О. Н. Капранова, Ю. О. Боброва¹

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина),
¹Jobobrova@gmail.com

Аннотация. Активность плода является важным показателем здоровья плода и уровня его нервного развития. Чтобы выявить критическое состояние плода, важно следить за показателями его состояния в течение длительного периода времени. Долгосрочное наблюдение без негативного воздействия на здоровье плода и матери возможно с помощью пассивных методов. В работе представлен метод и алгоритм анализа динамики изменения эпизодов фетальной активности, регистрируемых носимым устройством пациента, повышающий точность выявления тревожных состояний плода.

Ключевые слова: фетальная активность; движения плода; акселерометр; гироскоп; пассивная регистрация

I. ВВЕДЕНИЕ

Во время протекания беременности организм плода и матери нуждаются в постоянном контроле. Несмотря на значительные достижения медицины и техники в области перинатальной диагностики риск младенческой смертности или развития детской инвалидности до сих пор остается высоким. Согласно данным Федеральной службы государственной статистики за 2019 год умерло 7328 младенцев, причиной смерти 3755 младенцев стали отдельные состояния, возникающие в перинатальный период, что составляет более половины от общего числа смертей [1].

Современные методы диагностики плода чаще всего являются активными, во время которых на пациента оказывается воздействие, ультразвуковым излучением (УЗИ) или электромагнитными лучами. Данные методы позволяют точно оценить состояние плода, однако не могут использоваться для длительного мониторинга, так как безопасность активных методов для диагностики плода до сих пор не доказана. В тоже время, организм плода стремительно развивается и в течение нескольких недель его состояние может значительно измениться. Активные методы не всегда позволяют вовремя заметить критическое изменение в состоянии плода, что влечет за собой развитие патологии и отсутствие своевременной медицинской помощи, способной сохранить здоровье матери и плода.

Наиболее используемым на сегодняшний день пассивным методом оценки состояния плода является восприятие активности плода самой матерью. Данный метод прост в реализации, однако он крайне субъективен и значительно зависит от физического и психоэмоционального состояния беременной женщины.

В работе [2] предложена пассивная система оценки состояния плода, которая позволит проводить необходимый длительный мониторинг без вреда для здоровья матери и плода. Кроме того, система может использоваться в домашних условиях без помощи специалистов, что значительно облегчает процесс наблюдения за изменениями в состоянии плода. Благодаря этому, женщине нет необходимости постоянно посещать лечебно-профилактическое учреждение, что является значительным преимуществом, так как любое вирусное или простудное заболевание может повлечь за собой серьезные осложнения в протекании беременности.

В данной работе рассмотрены пассивные регистраторы, применяющиеся в носимой системе мониторинга состояния плода. Для снижения субъективности и облегчения анализа полученных результатов разработан алгоритм автоматического подсчета и выделения эпизодов активности плода.

II. ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ

Предложенная в работе [2] система включает в себя матрицу абдоминальных пассивных регистраторов, чувствительных к двигательной активности плода, а также референтный датчик, расположенный вне области распространения сигнала фетальной активности для регистрации помех и артефактов. На рис. 1 представлена схема системы.



Рис. 1. Схема расположения пассивных регистраторов сигнала фетальной активности

На рис. 1 представлены регистраторы сигнала фетальной активности ($A_1 - A_3$) и референтный датчик (A_0). Используемые регистраторы совмещают в одном корпусе акселерометр и гироскоп, что позволяет использовать их как совместно, так и по отдельности. На рис. 2 представлена схема направлений осей регистрации сигнала для акселерометра и гироскопа [3].

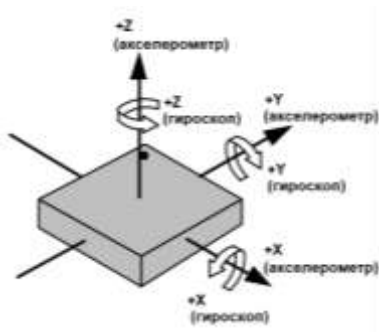


Рис. 2. Оси регистрации сигнала, используемого пассивного регистратора

Акселерометры, измеряющие проекцию кажущегося ускорения на ось регистрации, позволяют регистрировать даже самые незначительные движения плода. Однако высокая чувствительность приводит к регистрации большого количества шумов, мешающих дальнейшему анализу результата. В работе [4] мы рассматривали регистрацию сигнала фетальной активности плода с использованием исключительно акселерометров. Гироскоп позволяет измерить изменение угла ориентации тела (датчика), что также позволяет засечь движение плода. В данной работе рассматривается применимость гироскопов в качестве регистраторов фетальной активности плода.

В силу особенности регистрации сигнал гироскопа менее подвержен влиянию шума, который присутствует в сигнале акселерометра, что позволяет снизить затраты на первичную обработку сигнала. Далее представлены результаты регистрации сигнала одного датчика (рис. 3) и проведено сравнение между сигналами, полученными в ходе работы акселерометра и гироскопа.

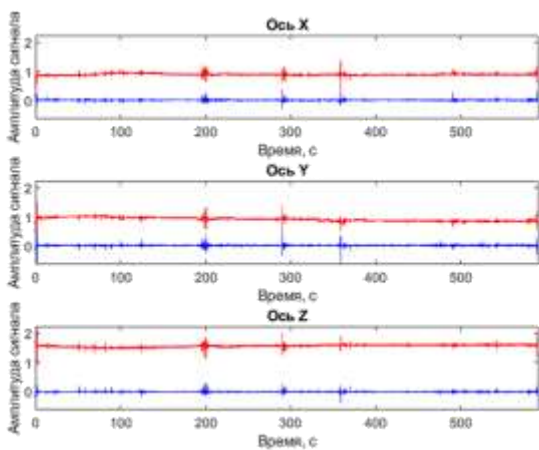


Рис. 3. Зарегистрированный сигнал гироскопа (синим) и акселерометра (красным)

Несмотря на различную методику регистрации сигналов акселерометра и гироскопа, результаты регистрации схожи, так как природа регистрируемого сигнала одна. На графиках видны зарегистрированные движения плода, синхронно зарегистрированные и акселерометром и гироскопом.

III. АНАЛИЗ СИГНАЛОВ

Для обработки сигнала фетальной активности необходимо из зарегистрированных сигналов выделить эпизоды движений плода. Подвижность плода является важным диагностическим показателем. Далее будет рассмотрен разработанный алгоритм, а также приведены примеры анализа записи с использованием данного алгоритма на сигналах, полученных с акселерометра и с гироскопа.

A. Описание алгоритма

На рис. 4 приведена блок-схема разработанного алгоритма выявления эпизодов фетальной активности. Данный алгоритм идентичен для случаев анализа сигналов с акселерометра и с гироскопа. В общем случае на вход алгоритма подаются сигналы с трех осей датчика x, y, z . В случае анализа данных с акселерометра это значения проекции кажущегося ускорения на три оси – A_x, A_y, A_z . В случае анализа данных с гироскопа – значения угловой скорости объекта G_x, G_y, G_z .

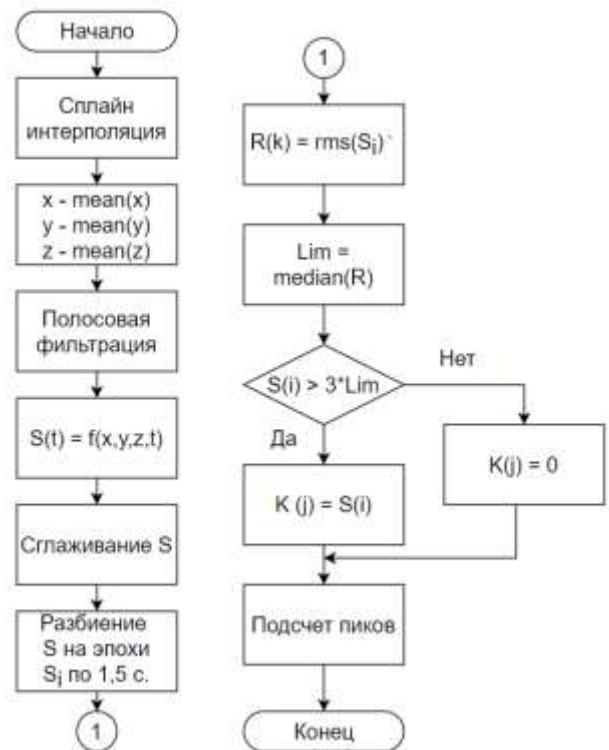


Рис. 4. Блок-схема алгоритма обработки

В общем случае полученные данные характеризуются большим количеством присутствующих в них шумов. Возможно наличие пропущенных значений при неплотном прилегании датчика. Для дальнейшего анализа

необходимо восполнить пропущенные данные. Целесообразно это сделать с помощью сплайн интерполяции для сигнала с каждой оси. Затем вычитаем из сигналов постоянную составляющую, т. е. среднее.

В зарегистрированном сигнале присутствуют шумы, обусловленные жизнедеятельностью матери. К ним относятся сигналы дыхательной, сердечной, мышечной активности. Согласно имеющимся исследованиям [5, 6], частотный диапазон сигнала фетальной активности находится в интервале от 0,5 до 10 Гц. Для выделения желаемых составляющих используем полосовой фильтр Баттерворта второго порядка с частотами среза 0,5 Гц и 10 Гц. Фильтр Баттерворта характеризуется максимально гладкой амплитудно-частотной характеристикой в полосе пропускания. После фильтрации сигнала по каждой оси, найдем результирующий сигнал фетальной активности по формуле:

$$S(t) = \sqrt{x(t)^2 + y(t)^2 + z(t)^2}$$

Полученный сигнал сглаживаем. Это необходимо для того, чтобы объединить последовательности пиков, которые характеризуют один эпизод движения плода. Следующий этап анализа заключается в применении порогового метода для подсчета количества фетальных движений. Для этого предварительно сглаженный сигнал S разбиваем на эпохи S_i , продолжительностью по 1,5 с. Полторасекундный интервал соответствует средней продолжительности единичного движения плода [7]. Затем для каждой i -ой эпохи рассчитываем значение среднеквадратичного $R(k)$ по формуле:

$$R(k) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{S_i^2}{n}}$$

где n – количество значений в эпохе.

Значение Lim определяется равным медиане среднеквадратичных значений R по всем эпохам. Затем сравниваем каждое значение сигнала с пороговым уровнем, установленным как $3 \times Lim$. Если значение сигнала превышает значение порога, то данное значение дублируется в новый массив данных K . Если значение меньше установленного порога, то соответствующее значение $K(j)$ приравнивается к нулю.

Последним шагом обработки сигнала является подсчет пиков, полученных в результате формирования массива данных K .

В. Выделение эпизодов фетальной активности

Рассмотрим работу алгоритма на примере одной записи, длительностью 10 минут. Результаты обработки сигнала, полученного гироскопом, приведены на рис. 5. На верхнем графике приведен сигнал, полученный с датчика. Второй график отражает сигнал, полученный после предварительной обработки (после полосовой фильтрации). На нижнем графике приведены результаты работы алгоритма по выявлению эпизодов фетальной

активности. По результатам анализа записи с гироскопа было найдено 5 движений плода.

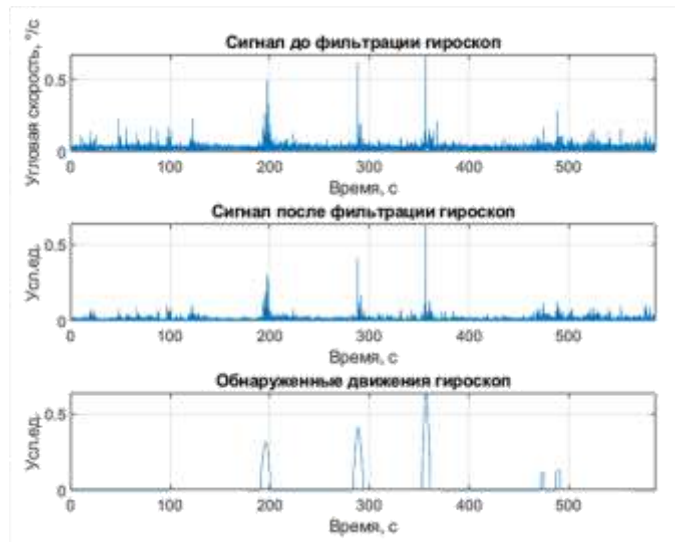


Рис. 5. Выделение движений плода с данных гироскопа

Результаты обработки сигнала, полученного акселерометром, приведены на рис. 6. В данном случае алгоритмом было зафиксировано 7 эпизодов фетальной подвижности.

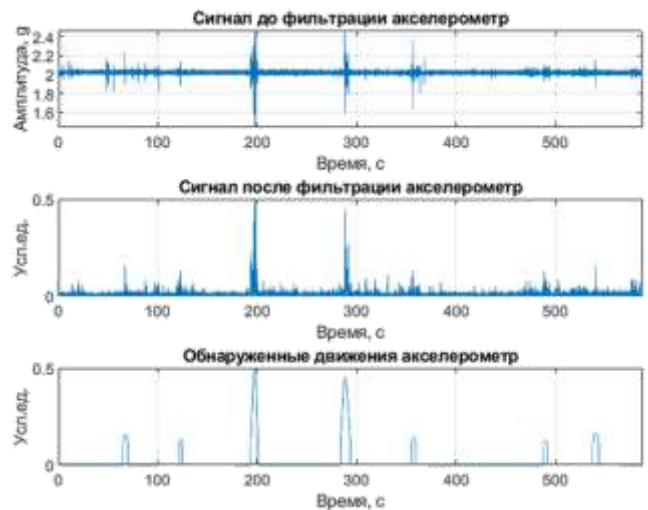


Рис. 6. Выделение движений плода с данных акселерометра

На рис. 7 показаны обнаруженные движения с двух типов датчика. Четыре эпизода были зафиксированы одновременно гироскопом и акселерометром.

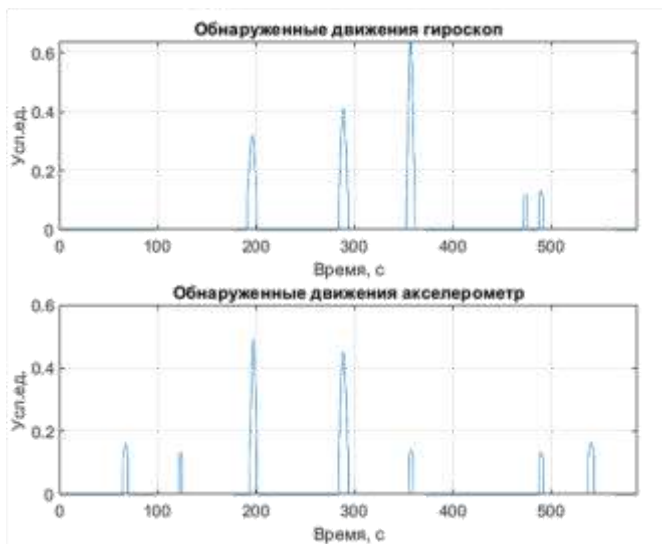


Рис. 7. Сравнение обнаруженных движений для одной записи

С. Результаты обработки сигналов

Для оценки работы алгоритма использовалось 13 записей. В процессе регистрации женщины находились в спокойном состоянии, в положении лежа. Результаты, полученные в ходе применения алгоритма для сигналов гироскопических и акселерометрических датчиков, представлены в таблице.

ТАБЛИЦА I ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ДАННЫХ

№ записи	Характеристики сигнала			
	Возраст женщины, лет	Возраст плода, недель	Движений с гироскопа	Движений с акселерометра
1	28	38	15	14
2	28	38	15	10
3	38	32	8	10
4	25	39	6	7
5	27	38	10	11
6	34	32	3	2
7	25	38	23	17
8	28	40	28	22
9	29	40	15	12
10	36	29	6	4
11	25	40	8	5
12	25	40	5	7
13	36	38	6	3

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ полученных результатов показал, что выявление эпизодов фетальных движений с применением гироскопических датчиков происходит с более высокой точностью по сравнению с акселерометрическими. Однако стоит отметить, что в обоих случаях имеют место незначительный процент ложноположительных и ложноотрицательных значений. Для повышения эффективности системы мониторинга тревожных состояний дальнейшее исследование будет направлено на разработку алгоритма анализа динамики движений плода при синхронной регистрации сигналов матрицы гироскопических и акселерометрических датчиков, основанного на оценке корреляционной составляющей между ними.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Российский статистический ежегодник: статистический сборник/ Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Москва, 2020. С 105.
- [2] Bobrova Y.O., Kapranova O.N., Filipenko K.V. "Features of Synchronous Registration of Fetal Movements Episodes" IEEE Conference of russian young researchers in electrical and electronic engineering (EIConRus 2021), St. Petersburg, 2021. (In press).
- [3] MPU-9250 Product Specification. InvenSense. Document Number: PS-MPU-9250A-01. Release Date: 06/20/2016.
- [4] Bobrova Y.O., Kapranova O.N., Filipenko K.V. "The Algorithm for Fetal Activity Signal Processing" IEEE Conference of russian young researchers in electrical and electronic engineering (EIConRus 2021), St. Petersburg, 2021. (In press).
- [5] M. S. H. Khlif, B. Boashash, S. Layeghy, T. Ben-Jabeur, P. B. Colditz and C. East, "A passive DSP approach to fetal movement detection for monitoring fetal health," 2012 11th International Conference on Information Science, Signal Processing and their Applications (ISSPA), Montreal, QC, Canada, 2012, pp. 71-76, doi: 10.1109/ISSPA.2012.6310647.
- [6] S. Layeghy, G. Azemi, P. Colditz, and B. Boashash, "Non-invasive monitoring of fetal movements using time-frequency features of accelerometry," in Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2014 IEEE International Conference on. IEEE, 2014, pp.4379-4383
- [7] Khlif M.S., Boashash B., Layeghy S., Ben-Jabeur T., Mesbah M., East C., Colditz P., "Time-frequency characterization of tri-axial accelerometer data for fetal movement detection," IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology (ISSPIT) 2011, pp. 466-471. DOI: 10.1109/ISSPIT.2011.6151607