

Шкаруппа Валерий Евгеньевич, Шпаковская Оксана Юрьевна,
Леонова Антонина Валерьевна

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ МЭМС-ТЕХНОЛОГИЙ ПОРТАТИВНОГО КАРДИОАНАЛИЗАТОРА ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Статья посвящена описанию разработки блока оценки положения позвоночника человека в пространстве, используемого в кардиоанализаторе движений. Блок оценки положения позвоночника в пространстве выполнен на основе инерциальных МЭМС-датчиков MPU6050. Данная разработка войдет в аппаратно-программный комплекс кардиоанализатор физической активности и поможет определить степень физической активности человека, благодаря выделению шагов человека на основе колебательных движений корпуса. Анализ углов отклонения корпуса человека от состояния условной нормы, поможет определить движется человек по ровной или наклонной плоскости. В статье рассмотрена проблема зашумленности сигнала, поступающего с датчика и возможности сглаживания помех.

МЭМС-датчик MPU6050, наклон корпуса, гироскоп, акселерометр, комбинированный фильтр, артефакт.

Shkaruppa Valery Evgenievich, Spakovskaya Oksana Yuryevna
Leonova Antonina Valeryevna

THE POSSIBILITY OF IMPLEMENTING A PORTABLE CARDIOANALYZER OF HUMAN PHYSICAL ACTIVITY BASED ON MEMS TECHNOLOGIES IS BEING INVESTIGATED

The article describes the development of a unit for assessing the position of the human spine in space, used in a cardioanalyzer of movements. The unit for assessing the position of the spine in space is based on the MPU6050 inertial MEMS sensors. This development will be included in the hardware and software complex cardioanalyzer of physical activity and will help determine the degree of physical activity of a person, thanks to the allocation of human steps based on the oscillatory movements of the body. The analysis of the angles of deviation of the human body from the condition of the conditional norm will help to determine whether a person is moving along a flat or inclined plane. The article considers the problem of the noise level of the signal coming from the sensor and the possibility of smoothing interference.

MPU6050 MEMS sensor, body tilt, gyroscope, accelerometer, complementary filter, artifact.

Согласно статистике ВОЗ болезни сердечно-сосудистой системы занимают первое место среди болезней, приводящих к летальному исходу. Людям страдающим нарушением ритма сердца врачи рекомендуют умеренные физические нагрузки, которые позволят тренировать устойчивость сердечно-сосудистой системы к физическим нагрузкам. Человеку, которому рекомендовали врачи умеренные физические нагрузки трудно определить предел индивидуальной допустимой нагрузки и вовремя принять меры в случае ухудшения состояния. Решить проблему с определением оптимального уровня нагрузки возможно с помощью разрабатываемого аппаратно-программного комплекса, состоящего из двух модулей: 1) модуль сбора параметров движения; 2) модуль сбора показателей сердечно-сосудистой системы. Разрабатываемый АПК способен анализировать параметры движения человека (отклонение положения позвоночника в пространстве по трем осям от положения условной нормы, подсчет шагов) и следить за изменениями сердечно-сосудистой системы (ЧСС). Система не позволит превысить пользователю допустимый предел нагрузки, подав предупреждающий вибросигнал, о том, что необходимо сменить режим тренировки и сделать отдых.

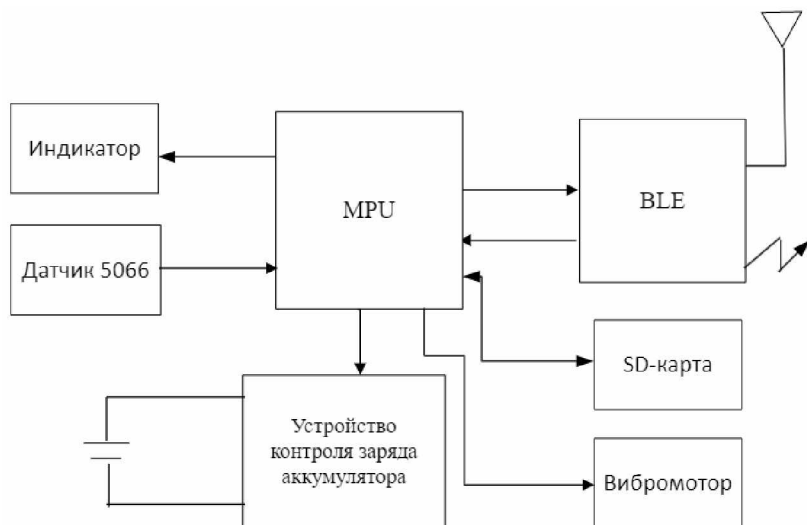


Рис. 2. Структурная схема модуля сбора параметров движения человека на основе МЭМС-датчиков MPU6050

Принцип работы модуля сбора и обработки движений человека, организован следующим образом: датчик МЭМС MPU6050 фиксирует угол наклона корпуса, затем данные передаются на микроконтроллер. Микроконтроллер запускает вибромотор в случае, если угол наклона достигает недопустимых значений; одновременно микроконтроллер отправляет сигнал на смартфон человека, давая инструкцию о необходимости сменить режим тренировки. Запись показателей отклонения корпуса сохраняется на SD-карту, пользователь имеет возможность просматривать результат своей физической активности в пост реальном времени.

Рассмотрение работы инерциального датчика МЭМС на основе платы MPU-6050. Датчик позволяет измерить угловое ускорение и угловую скорость относительно осей X, Y, Z. В состав микросхемы MPU-6050 входят три измерителя ускорения – акселерометра, каждый из них расположен на своей оси X, Y, Z. Если наклонить датчик и взять $\arctg \frac{ax}{az}$, то получим угол поворота относительно оси Y; если взять $\arctg \frac{ay}{az}$, то получим угол наклона по оси X. Недостатком измерений с помощью акселерометра является то, что данный тип измерения сопровождается шумами и помехами. Достоинством

измерений, выполненных с помощью акселерометра, является независимость от времени.

Микросхема MPU-6050 позволяет также измерить угловую скорость ω . Если интегрировать скорость, возможно получить углы. Данные углы не подвержены шумам. Но у данного вида измерений есть недостаток: если в начале измерения есть ошибки, то они «дрейфуют» во времени и усиливаются. Для того чтобы правильно измерить углы отклонения корпуса всадника необходимо объединить оба представленных метода измерения с помощью комплементарного фильтра или фильтра Калмана. Недостатком фильтра Калмана является его сложность настройки и длительное вычислительное время. Комплементарный фильтр использует выходы двух или нескольких датчиков. Комплементарный фильтр представляет собой упрощенную модель фильтра Калмана для одномерного случая, в котором звено интерполяции представляет первое слагаемое. Поскольку угловая оценка с использованием одного датчика акселерометра или гироскопа имеет недостаточную точность, основная идея комплементарного фильтра заключается в объединении выходов гироскопа и акселерометра [3]. Оценка угла составляет полученные данные из суммы их измерений. Интегрирование выхода сигнала гироскопа подается в фильтр высоких частот и выходной сигнал подается в фильтр низких частот. Функция фильтра нижних частот состоит в том, чтобы изменения происходили, отфильтровывая краткосрочные колебания [1].

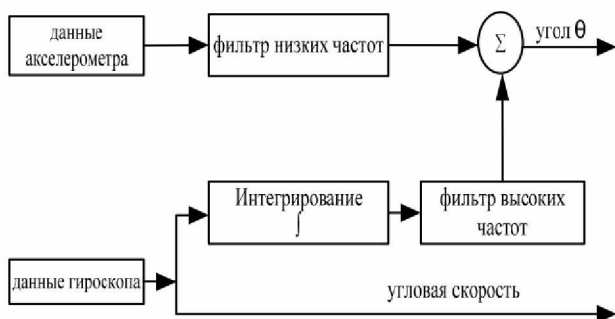


Рис.3. Структурная схема цифрового комплементарного фильтра для МЭМС гироскопа и акселерометра [1]

Математическая модель комплементарного фильтра может быть представлена, как:

$$\theta_{\text{углол}} = \alpha * (\theta_{\text{углол}} + \omega_{\text{гироско}} * dt) + (1 - \alpha_{\text{аксес}}), \quad (1)$$

$\theta_{\text{углол}}$ - угол наклона (тангаж или крен). ω – фильтр коэффициент.

$\omega_{\text{углол}}$ представляет угловую скорость от гироскопа. и $\alpha_{\text{аксес}}$ - угол. полученный с помощью данных от акселерометра [1].

Данные от гироскопа и акселерометра должны быть обнулены и масштабированы перед использованием уравнения (1) для вычисления угла. Коэффициент фильтра α определяется уравнением (2).

$$\alpha = \frac{\tau}{\tau + dt} \quad (2)$$

где τ - постоянное время фильтра [1].

На рис.3 представлены сигналы, записанные во время движения человека.

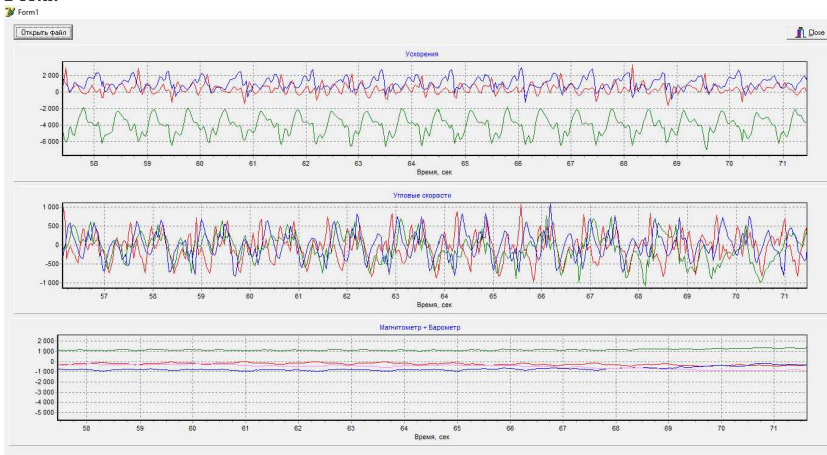


Рис. 4. Сигналы, записанные монитором без обработки

Оценка углов красная линия – по акселерометру, зеленая линия – интеграл от показаний датчика угловой скорости.

На рис.5 видно, что сигнал с акселерометров сильно зашумлен.

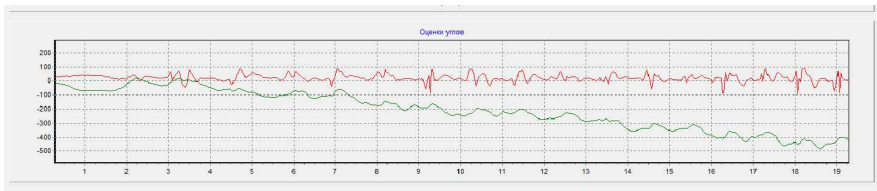


Рис.5. Оценка углов

Сигнал от ДУС более гладкий, но имеется дрейф (уход линии вниз).

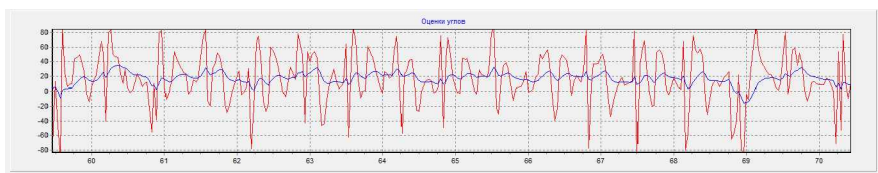


Рис. 6. Оценка углов с помощью комплементарного фильтра

Красной линией обозначена оценка углов по акселерометру, синяя линия – сигнал после комплементарного фильтра с параметром сглаживания 0.1.

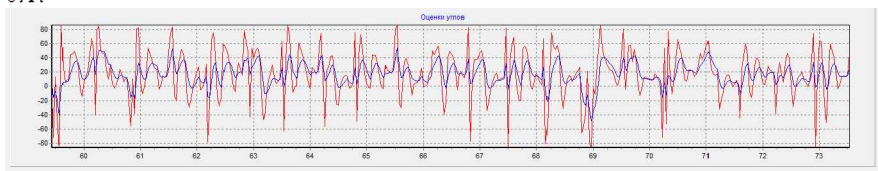


Рис. 7. Оценка углов с помощью комплементарного фильтра

Красной линией обозначена оценка углов по акселерометру, синяя линия – сигнал после комплементарного фильтра с параметром сглаживания 0.03. Сигнал после фильтра более шумен, но более точно отслеживает угол.

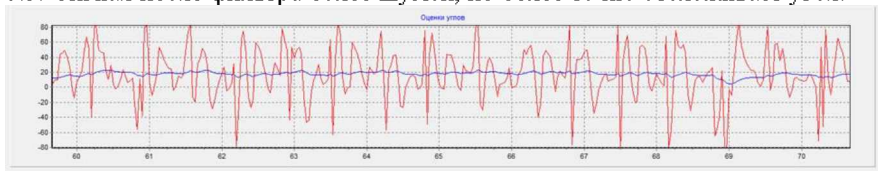


Рис. 8. Оценка углов с помощью комплементарного фильтра

Красной линией обозначена оценка углов по акселерометру, синяя линия – сигнал после комплементарного фильтра с параметром сглаживания 0.03. Сигнал после фильтра сильно сглажен, динамики изменения на шаге почти не видно.

В результате подбора параметра сглаживания комплементарного фильтра, очевидно, что наиболее гладкий не зашумленный сигнал, который наиболее четко показал угол изменения динамики в шаге, проявляется при коэффициенте сглаживания 0.1 ([см рис. 5](#)).

Таким образом, комплементарный фильтр позволил избавиться от шума и дрейфа и осуществлять регулируемую фильтрацию оценки угла от помех. Комплементарный фильтр может быть использован для определения фактического угла, сглаживая помех, возникающих при работе акселерометра и гироскопа; позволяет точно определить фактический угол наклона всадника.

Использование блока для оценки параметров движения в комплексе кардиорегистратора физической активности, позволит получить мониторинг ЧСС непосредственно в движении человека, и определить какие именно движения совершал человек в момент изменения ЧСС на основе оценки отклонения корпуса человека в трех плоскостях и оценке колебательных движений на основе которых планируется сделать выделение количества шагов и анализ шагов человека.

БИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Зо Мью Наин, Щагин А.В., Ле Винь Тханг, Хтин Линн У.* Комплементарный фильтр для оценки угла с использованием микроэлектромеханической системы гироскопа и акселерометра. // Инженерный вестник Дона, №3 (2020) ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2020/6380.

2. Дистанционное холтеровское мониторирование как одно из перспективных направлений в развитии телемедицины / Ю. Н. Горожанцев, С. Г. Сергиенко, Е. А. Воротынцева, Ю. В. Емельяненко // Российский кардиологический журнал. – 2019. – Т. 24, № S2. – С. 39a-39b. – EDN ZDVIVN.

3. *Euston M, Coote P, Mahony R, Kim J, Hamel.* A Complementary Filter for Attitude Estimation of a Fixed wing UAV. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, France, September, 22-26, 2008, pp.340- 345.

4. *Князюк О.О., Лукьянова М.В.* Возможность оценки толерантности к физической нагрузке во время холтеровского мониторирования ЭКГ // CardioСоматика. 2013. №S1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnost-otsenki-tolerantnosti-k-fizicheskoy-nagruzke-vo-vremya-holterovskogo-monitorirovaniya-ekg> (дата обращения: 26.05.2024).

Шпаковская Оксана Юрьевна, аспирант, Россия, город Таганрог, Институт радиотехнических систем и управления, телефон: +7 961 292-85-15, почта: oshpakovskaya@sfedu.ru.

Леонова Антонина Валерьевна, доцент, Россия, город Таганрог, Институт радиотехнических систем и управления, почта: leonova@sfedu.ru.

Шкаруппа Валерий Евгеньевич, студент, Россия, город Таганрог, Институт радиотехнических систем и управления, телефон: +7 908 170-60-96, почта: shkaruppa@sfedu.ru.

Spakovskaya Oksana Yuryevna, graduate student, Russia, city Taganrog, Institute of Radio Engineering Systems and Management, phone: +7 961 292-85-15, email: oshpakovskaya@sfedu.ru.

Leonova Antonina Valeryevna, docent, Russia, city Taganrog, Institute of Radio Engineering Systems and Management, email: leonova@sfedu.ru.

Shkaruppa Valery Evgenievich, student, Russia, city Taganrog, Institute of Radio Engineering Systems and Management, phone: +7 908 170-60-96, email: shkaruppa@sfedu.ru.