

БИОМЕТРИЧЕСКАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПК

Костюк Д. А., Латий О. О., Маркина А. А.
Кафедра электронных вычислительных машин и систем,
Брестский государственный технический университет
Брест, Республика Беларусь
E-mail: dmitriykostiuk@gmail.com

В работе рассматривается микропроцессорная система для биометрического мониторинга и контроля физического состояния пользователя ПК во время его работы с различными программными продуктами и периферийными устройствами. К числу измеряемых параметров относятся сердечный ритм, электрическая активность кожи, кинематическая активность. Рассматривается архитектура устройства и методика измерений.

ВВЕДЕНИЕ

Измерение физиологического состояния пользователя ПК во время работы с программным обеспечением позволяет выполнять экспресс-оценку эффективности человеко-машинного взаимодействия (ЭЧМВ): биометрические данные, полученные в ходе эксперимента, допускают автоматическую интерпретацию, на основе которой в свою очередь может быть выполнена оценка физической и когнитивной нагрузки пользователя. К числу информативных параметров организма можно отнести сердечный ритм, кровяное давление, электропроводность кожи, активность мышц и головного мозга, причем достоверная оценка предполагает одновременное измерение нескольких параметров [1, 2] с отслеживанием их корреляции.

I. ОБЩАЯ АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ

Разработанная система схематично представлена на рисунке 1.



Рис. 1 – Структура системы

Аппаратные измерительные модули – в зависимости от конфигурации датчиков, это модули частоты сердечных сокращений (ЧСС), кинематической активности (КА) и электрической активности кожи (ЭАК) – выполняют помимо измерения также фильтрацию и усиление электрических сигналов. Микроконтроллер осуществляет сбор показаний с датчиков и передаёт поток данных через USB либо Bluetooth-соединение [3] в ПК, выполняющий первичную обработку, визуализацию и журналирование. Программное обеспечение ПК рассчитано как на автономное использование, так и на работу в составе распределенной системы тестирования ЭЧМВ [2], выполняющей параллельный

сбор, централизованное хранение и оценку биометрических данных в ходе эксперимента.

II. ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ЧСС

ЧСС измеряется по принципу рефлекторной фотоплетизмографии (ФПП), за счет отслеживания интервалов изменения оптической плотности тканей с помощью источника света и фотодетектора [3] по следующей формуле:

$$p = 60000/t_{peak}, \quad (1)$$

где 60000 – количество миллисекунд в одной минуте, t_{peak} – время между ударами пульса, мс.

ЧСС определяется по следующему алгоритму. Значение базовой линии B_l приравнивается к текущему значению ФПП-сигнала с добавкой, равной 1/10 максимально возможного значения. Значения опорного уровня Ref , а также минимальное Min и максимальное Max значения ФПП-сигнала в пределах одного удара в момент времени $t = 0$ приравниваются B_l и сбрасывается флаг, соответствующий наличию детектированного удара ($Beat = 0$).

На каждой итерации осуществляется поиск реальных значений Min и Max , при условии выполнения следующего неравенства:

$$t_{min} < t_{prev} < t_{max}, \quad (2)$$

где t_{prev} – время, прошедшее после последнего обнаруженного удара пульса, а t_{min} и t_{max} – физиологически-обусловленные минимальный и максимальный интервалы между пиками пульса.

Если текущий уровень ФПП-сигнала $Cur < Ref$ и $Cur < Min$, а также выполняется условие (2), к Cur приравнивается значение Min , а если $Cur > Ref$ и $Cur > Max$, к нему приравнивается значение Max . Если $Cur > Ref$, выполняется условие (2), а флаг удара пульса не установлен, то детектируется удар ($Beat = 1$), и рассчитывается значение ЧСС по формуле (1).

Далее, если $Cur < Ref$ и $Beat = 1$, рассчитывается размах импульса $A = Max - Min$, опорный уровень $(A/2 + Min)$, а Max и Min приравниваются к Ref . Если время с последнего удара

больше t_{max} , значения Ref , Min и Max приравниваются к значению Bl . На каждой итерации рассчитывается Bl , а также t_{prev} .

III. ИЗМЕРЕНИЕ КА

КА измеряется датчиками линейного ускорения (акселерометры) в составе инерциальной измерительной системы InvenSense MPU6050 [4]. Расчёт перемещений выполняется методом интегрирования ускорения [5]:

$$x_n = x_{n-1} + \frac{(v_{n-1} + v_n) \cdot \Delta t}{2}$$

К сигналу применяется низкочастотный фильтр (ФНЧ), исключающий из показаний акселерометра высокочастотные шумы, а также, для устранения составляющей гравитационного притяжения, высокочастотный фильтр (ФВЧ):

$$g_{xyz}^{lpf} = \alpha \cdot g_{xyz} + (1 - \alpha) \cdot a_{xyz}; a_{xyz}^{hpf} = a_{xyz} - g_{xyz}$$

Коэффициент фильтра α рассчитывается по формуле $\alpha = \frac{t}{t+dT}$, где t – временная константа фильтра, dT – период дискретизации сигнала.

Таким образом, упрощенный алгоритм определения перемещения сводится к следующим шагам: считывание показаний акселерометра; устранение высокочастотных помех и удаление составляющей гравитационного ускорения; расчет скорости интегрированием и устранение неточности интегрирования; расчет перемещения посредством интегрирования.

IV. ИЗМЕРЕНИЕ ЭАК

ЭАК как параметр тесно связана с автономной эмоциональной и когнитивной обработкой и широко используется как показатель для анализа симпатической активности [6].

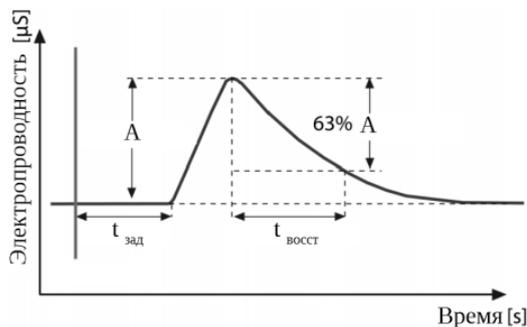


Рис. 2 – Реакция проводимости кожи на раздражитель

Две основные составляющие ЭАК – тоническая и фазическая. Тонический уровень связан с более медленными компонентами и фоновыми характеристиками сигнала (общий уровень, медленное изменение с течением времени). Наиболее распространенной мерой этого компонента является уровень проводимости кожи (УПК), и изменения в УПК, которые отражают общие измене-

ния в вегетативном возбуждении. Фазическая составляющая относится к быстро изменяющимся элементам сигнала, т.е. отражает реакцию проводимости кожи (РПК). При этом фазовый РПК часто получает наибольший интерес, но составляет лишь небольшую часть ЭАК.

Для выделения эмоциональных всплесков из сигнала ЭАК в системе применён следующий алгоритм. Флуктуации сигнала уменьшаются цифровым ФНЧ с частотой среза 2 Гц с конечной импульсной характеристикой [7]:

$$y[n] = b_0x[n] + b_1x[n-1] + \dots + b_Nx[N]$$

где N – порядок фильтра. Далее вычисляется первая производная для выделения пиков сигнала [8], по которым выявляются эмоциональные всплески пользователя и их длительность:

$$y'[n] = y[n] - y[n-1]$$

Для оценки ЭЧМВ применяется нормализованный параметр L – общая длительность эмоциональных всплесков относительно длительности эксперимента t :

$$SCR_t = \sum_{i=0}^N SCR_{ti}; L = SCR_t/t$$

V. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Schall, A. (2015). The Future of UX Research: Uncovering the True Emotions of Our Users / A. Shall // User Experience Magazine. – 2015. – Vol. 15(2). – Mode of access: <http://uxpamagazine.org/the-future-of-ux-research/>. – Date of access: 30.06.2017.
- Латий, О.О. Подход к биометрической оценке эргономики графического интерфейса пользователя / Д.А. Костюк, О.О. Латий, А.А. Маркина // Вестник БрГТУ: физика, математика, информатика, №5 (101), 2016. – Брест, 2016. – С. 46–49.
- Латий, О.О. Микроконтроллерная система для биометрической оценки состояния пользователя ПК / Д.А. Костюк, О.О. Латий, В.П. Шамолин // Информационные технологии и системы 2017 (ИТС 2017): материалы МНК. Минск, БГУИР, 25 октября 2017 г. – С. 238–239.
- MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4 [Electronic resource] – Mode of access: <https://goo.gl/gmQ36i>. – Date of access: 10.09.2017.
- Латий, О. О. Подход к оценке кинематической активности для анализа эффективности человеко-машинного взаимодействия / О. О. Латий, Д. А. Костюк // Современные проблемы математики и вычислительной техники: сборник материалов X РНК молодых ученых и студентов, Брест, БрГТУ, 23–24 ноября 2017 г. – Брест, 2017. – С. 47–50.
- Martini, F. Essentials of Anatomy & Physiology / F. Martini, E. Bartholomew // San Francisco: Benjamin Cummings, 2003. – P. 267.
- FIR Filter Design by Windowing: Concepts and the Rectangular Window [Electronic resource] – Mode of access: <https://goo.gl/emSJJQz/>. – Date of access: 14.09.2018.
- Differentiation [Electronic resource] – Mode of access: <https://goo.gl/cjPDyS>. – Date of access: 14.09.2018.