

МИКРОКОНТРОЛЛЕРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПК

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

В работе рассматривается микропроцессорное устройство для биометрического мониторинга и контроля физического состояния пользователя ПК во время его работы с различными программными продуктами и периферийными устройствами. Оценка состояния пользователя выполняется путем парных биометрических измерений. К числу поддерживаемых параметров относятся электропроводность кожи, сердечного ритма и мышечная активность. Рассматривается архитектура устройства и методика измерений.

ВВЕДЕНИЕ

Измерение физиологического состояния пользователя ПК позволяет достаточно быстро определить слабые стороны разрабатываемого продукта. В отличие от подхода, предусматривающего участие эксперта по эргономике интерфейса, опрос пользователей, выполнение тестовых заданий и др., биометрические данные, полученные в ходе эксперимента, в большей степени подходят для автоматической интерпретации, позволяющей оценить физическую и когнитивную нагрузку пользователя в процессе работы. К числу таких параметров организма можно отнести сердечный ритм, кровяное давление, электропроводность кожи, электрическую активность мышц и головного мозга. При этом для достоверной оценки состояния пользователя целесообразны комплексные измерения с установлением корреляции между несколькими параметрами [1, 2]. В настоящей работе представлена разработка устройства, предназначенного для таких измерений, и выполняющего мониторинг частоты сердечных сокращений (ЧСС), кожно-гальванической реакции (КГР) и, опционально, электромиографической активности (ЭМГ).

I. ОБЩАЯ АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ

Разработанная система схематично представлена на рисунке 1.

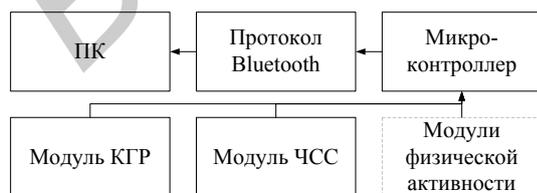


Рис. 1 – Структура системы

Измерительные модули, расположенные в нижней части схемы, представляют собой аппаратные части, выполняющие помимо измерения также фильтрацию и усиление соответствующих

электрических сигналов. Работу системы обеспечивает микроконтроллер ATmega328. Связь с ПК может осуществляться по шине USB либо по протоколу Bluetooth, что позволяет использовать модификацию устройства в носимом исполнении. Для беспроводной передачи данных выбран модуль HC-10, использующий микросхему Texas Instruments CC2541. В числе прочего данный модуль поддерживает работу в режиме Bluetooth Low Energy, т. е. выполняет передачу данных короткими пакетами с периодическим выключением передатчика.

Программное обеспечение на стороне микроконтроллера осуществляет сбор показаний с датчиков, подсчитывает значения показателей по представленному ниже алгоритму и передает информацию на ПК. Программное обеспечение на ПК осуществляет первичную обработку, визуализацию и журналирование данных.

II. ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ЧСС

Модуль измерения ЧСС использует принцип фотоплетизмографии (ФПГ), основанный на отслеживании интервалов изменения оптической плотности тканей с помощью источника света и фотодетектора (фактически детектируется изменение объема крови в тканях, которое синхронно с биением сердца и потому может использоваться для расчета ЧСС). Вид ФПГ-сигнала представлен на рисунке 2.

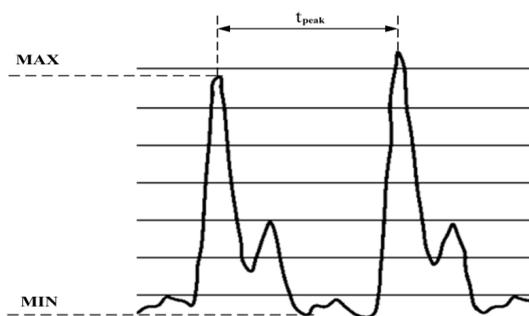


Рис. 2 – Вид фотоплетизмографического сигнала

В общем случае формула для нахождения ЧСС может быть представлена в виде:

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

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

Для экономии вычислительных ресурсов микропроцессора, отвечающего за одновременную обработку данных со всех измерительных каналов, для вычисления частоты был применен алгоритм, оперирующий следующими переменными: значением базовой линии BL , опорного уровня REF , а также минимальным и максимальным значениями ФПГ-сигнала в пределах одного удара MIN и MAX . По умолчанию BL приравнивается к текущему значению ФПГ-сигнала с добавкой, равной максимально возможному значению ФПГ-сигнала (которое пропорционально разрядности АЦП микроконтроллера), деленному на 10. Значения опорного REF , MIN и MAX в начальный момент времени приравниваются BL и сбрасывается флаг, соответствующий наличию детектированного удара.

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_{min} — минимально возможный временный интервал между пиками пульса, t_{prev} — значение временного интервала с последнего обнаруженного удара пульса, t_{max} — максимально возможный временной интервал между пиками пульса.

Выбор t_{min} и t_{max} на начальном уровне обуславливается физиологическими показателями человека. Если текущий уровень ФПГ-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, детектируется удар, и рассчитывается значение ЧСС по формуле (1).

Далее проверяются следующие два условия. Если $CUR < REF$ и установлен флаг удара, рассчитывается полная амплитуда 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} (текущее время – время крайнего удара).

III. ИЗМЕРЕНИЕ КГР и ЭМГ

Электропроводность кожи, точнее КГР, рассматривается как компонент оборонительных, эмоциональных и др. реакций организма, и представляет собой результат активности потовых желез [3]. По этой причине КГР часто ис-

пользуется как дополнительный показатель психологического или физиологического возбуждения, измеряемый в паре с другим параметром физической нагрузки (например, ЧСС) [4].

В составе КГР-сигнала выделяют две компоненты: высокочастотную фазическую и низкочастотную тоническую. Фазическая КГР имеет вид кратковременных импульсов малой длительности, возникающих в ответ на внешние стимулы, тревогу, напряжение, мыслительную деятельность. Тоническая КГР служит показателем функционального состояния человека; это медленно изменяющаяся составляющая, а ее учет требует калибровки для каждого пользователя [4]. Поэтому данные с датчиков электропроводности проходят через частотный фильтр для выделения фазической составляющей, после чего выполняется подсчет количества пиков в минуту.

ЭМГ позволяет регистрировать с помощью накожных датчиков электрические потенциалы, возникающие при возбуждении мышечных волокон. В зависимости от расположения датчиков, ЭМГ-сигнал позволяет оценивать активность различных групп мышц, а также, при использовании программного классификатора, распознавать движение конечностей и отдельных пальцев руки человека. Для задач настоящего исследования представляет интерес в первую очередь оценка нагрузки на запястья и регистрация движений пальцев, что предполагает закрепление электродов в зоне предплечья [5].

Модули, измеряющие физическую активность, являются опциональными, т. к. возвращают в ПК необработанные ЭМГ-сигналы для их использования с классификатором, предварительно обученным регистрировать активность заданных групп мышц (в идеале, откалиброванным под конкретного пользователя).

IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Латий, О.О. Программно-аппаратная система для сравнительных исследований эргономики программного обеспечения / В.И. Журавский, Д.А. Костюк, О.О. Латий, А.А. Маркина // Информационные технологии и системы 2015 (ИТС 2015): материалы международной научной конференции. Минск, БГУИР, 29 октября 2015 г. – С. 252–253.
2. 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.
3. Martini, F. Essentials of Anatomy & Physiology / F. Martini, E. Bartholomew // San Francisco: Benjamin Cummings, 2003. – P. 267.
4. 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.
5. Шамонін, В.П. Система вимірювання і аналізу електрографічних сигналів чалавека на базі платформи Arduino / В.П. Шамонін // Сьома науково-практична конференція FOSS Lviv 2017: Збірник наукових праць. Львів, 27–30 квітня 2017 р. – С. 80–82.