

УДК 004.383.5

**Разработка программно-аппаратного комплекса регистрации ЧСС на основе анализа динамической видео регистрации изображения человека в различных функциональных состояниях**

*Родыгин А. М., студент  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Медико-технический менеджмент»*

*Научный руководитель: Жуков К.Н., доцент к.м.н.  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э.Баумана  
[zhukovkn@bmstu.ru](mailto:zhukovkn@bmstu.ru)*

**Введение**

Частота сердечных сокращений (далее - ЧСС) покоя, один из важнейших сердечно-сосудистых параметров, в настоящее время наблюдение ЧСС помогает предсказать риск развития сердечно-сосудистых заболеваний [1]. Золотым стандартом технических средств измерения ЧСС является электрокардиография (далее - ЭКГ), которая требует нанесения на пациента адгезивного геля или применения грудных ремней, которые могут вызвать раздражение кожи и чувство дискомфорта. Коммерческие пульсоксиметрические датчики, которые крепятся на пальцы или мочки ушей, также неудобны для пациентов и их пружинные клипсы могут вызвать боль, если используются в течение длительного периода времени. Возможность удаленного слежения за физиологическими сигналами пациента, с помощью бесконтактных средств, является соблазнительной перспективой, которая могла бы увеличить эффективность предоставления первичной помощи. Например, идея о проведении физиологических измерений по лицу была впервые предложена Павлидисом и его коллегами [2] и позже демонстрировалась с помощью анализов лицевых термических видеоизображений. Также бесконтактные методы могут оказаться непригодными для выявления деталей, которые, например, предоставляет ЭКГ относительно измерения электропроводности сердца, последний метод применяется для длительного мониторинга за другими физиологическими сигналами, такими как ЧСС или частота дыхания (далее – ЧД), причем мониторинг осуществляется в сопутствующем, комфортном для пациента режиме.

Помимо этого такая технология минимизирует количество кабелей и других приспособлений, необходимых для неонатального мониторинга, длительного слежения за

больными эпилепсией, наблюдением за пациентом после ожога или травмы, исследованиях сновидений и других процедурах, при которых важно обеспечить проведение непрерывных измерений ЧСС. Недавно было исследовано использование фотоплетизмографии для бесконтактных физиологических измерений, дешевого и неинвазивного средства регистрации сердечнососудистого пульса (также называемого пульсом кровенаполнения) с помощью отслеживания вариаций в пропущенном или отраженном свете. Эта электро-оптическая техника может предоставить важную информацию о сердечнососудистой системе, такую как: ЧСС, насыщение артериальной крови кислородом, кровяное давление, сердечный выход и автономную функцию [3]. Обычно фотоплетизмография применялась с использованием специальных источников света (например красного и/или инфракрасного диапазона спектра), но недавние работы [4,5] показали что измерения пульса могут быть проведены с помощью цифровых камер при естественном освещении.

В Массачусетском технологическом институте были проведены исследования по определению ЧСС по видео, записанном обычной веб-камерой (разрешение 1.3 Мрх) [6]. Данные исследования показали очень хорошие результаты.

В данной работе разрабатывается система для бесконтактного измерения ЧСС на основе изображения с веб-камеры пользователя. Данная система реализована и доступна для тестирования в сети интернет по адресу <http://test14.aka-art.ru>

#### *Бесконтактное измерение ЧСС*

Кожные покровы человека пронизаны кровеносными сосудами. При каждой систоле кровеносные сосуды наполняются кровью, при диастоле кровенаполнение уменьшается. Эритроциты переносят гемоглобин, который поглощает свет. Соответственно при сокращении сердца гемоглобина в кровеносных сосудах становится больше, света поглощается больше, отраженный свет становится тусклее, и наоборот, когда гемоглобина мало, отраженный свет становится ярче. Человеческому глазу эти изменения не доступны, но их можно зафиксировать с помощью видеокамеры.

#### *Разработка алгоритма определения ЧСС по цифровому видеоизображению.*

Разрабатываемый аппаратно-программный комплекс бесконтактного измерения ЧСС включает в себя биообъект, видеокамеру, персональный компьютер, программное обеспечение, устройство ввода-вывода, базу данных.

Разрабатываемая система подразумевает измерение ЧСС покоя, когда человек не совершает никаких действий. Лицо человека должно находиться примерно в 300 мм от камеры.

Принцип действия программного обеспечения основан на регистрации изменений количества отраженного света в связи с пульсовым кровенаполнением лица человека. Для регистрации ЧСС по видео необходимо кадрировать данное видео с частотой минимум пять кадров в секунду. Далее на полученных изображениях надо определить область, в которой находится лицо. Можно использовать свободную версию библиотеки OpenCV для получения координат расположения лица [7]. Встроенный в OpenCV алгоритм поиска лица основан на работе Виолы и Джонса [8] и Лиенхарта и Майдта [9]. В нашей системе распознавание лица не происходит, пользователь сам должен расположить лицо в области интересов, обозначенной красной рамкой. Для удобства эту рамку можно перемещать по области видеоизображения. Для более точной оценки ЧСС лицо наблюдаемого должно размещаться в рамке.

Видео с веб-камеры выводится в область размером 640 на 480 px, разрешение камеры также должно быть не меньше 640x480 px. Каждый пиксель из области интереса раскладывается на красный, зеленый и синий каналы, вычисляется среднее значение зеленого канала по всем пикселям из области интереса. Зеленый канал был выбран благодаря тому, что он, как сообщается, содержит наиболее выраженный плетизмографический сигнал из трех каналов [5]. Вычисленное среднее значение зеленого канала заносится в массив. Скорость обработки изображения зависит от производительности персонального компьютера и может изменяться в процессе работы, поэтому время, которое требуется на захват изображения и его последующую обработку, также записывается в массив задержек. В конечном счете, для получения спектра мощности, применяется быстрое преобразование Фурье (БПФ) к выбранному источнику сигнала. Так как алгоритм БПФ рассчитан для массива размером два степени  $n$ , то и для удобства брали количество отсчетов два в степени  $n$ . Обозначим количество отсчетов буквой  $N$ , столько снимков надо получить и обработать для оценки пульса. Первые  $N/2$  отсчетов происходит накопление значений. Последующая обработка проводилась с использованием передвигающегося окна величиной  $N/2$  с шагом в 1. Нормализация потоков данных проводилась следующим образом:

$$x_i'(t) = (x_i(t) - m_i) / \sigma_i \quad (1)$$

для каждого  $i = 1, 2, 3$ , где  $m_i$  и  $\sigma_i$  выборочное среднее и выборочное СКО сигнала  $x_i(t)$  соответственно. Нормализация преобразовывала  $x_i(t)$  к  $x_i'(t)$ , с нулевым средним и единичным СКО. Для получения спектра мощности применялось БПФ. Частота пульса распознавалась как частота наиболее мощной гармоники в рассматриваемой полосе частот. Для своих экспериментов, был задан рабочий диапазон от 0,75 до 2,5 Гц

(соответственно от 45 до 150 ударов в минуту) для регистрации ЧСС покоя. Расчет ЧСС происходил следующим образом:

$$ЧСС = n * \frac{1}{T_{набл}} * 60 \quad (2)$$

$n$  – номер наиболее мощной гармоники;

$T_{набл}$  – время наблюдения, рассчитывается, как сумма значений из массива задержек, относящихся к обрабатываемому диапазону массива средних значений зеленого канала.

Вычисление частоты пульса могли оказаться чувствительны к шуму. Чтобы решить эту проблему, использовалась общепринятая оценка частоты пульса для отбрасывания артефактов с помощью фиксации порога максимального изменения в величине пульса между последовательными измерениями. Если разница между настоящей оценкой значения пульса и последним вычисленным значением превосходит величину порога (12 ударов в минуту), алгоритм отбрасывал её и искал рабочий диапазон частот на частоте, соответствующей следующему наиболее мощному пику, отвечающему этому ограничению. Если таких пиков далее не встречалось, алгоритм сохранял текущую оценку частоты.

### **Оценка точности бесконтактного измерения ЧСС**

Референсные измерения ЧСС производились при помощи сертифицированного средства измерения ЧСС – пальцевого пульсоксиметра Choicemmed MD300C318, заявленная точность которого составляет +- 2 удара в минуту при измерении ЧСС в диапазоне от 30 до 90 ударов в минуту и +-2% в диапазоне от 100 до 235 ударов в минуту. Данный прибор сохраняет результаты измерений каждые 4 секунды. В разработанной системе добиться такого же интервала сохранения результатов не представляется возможным, поэтому измеренные значения записывались в базу данных вместе с временем регистрации. Для каждого бесконтактно измеренного значения ЧСС подбиралось наиболее близкое по времени из референсных измерений. Также в ходе проверки точности была проведена оценка влияния разрешения камеры на достоверность результатов.

В первом эксперименте снимались 100 показаний с помощью камеры с разрешением 0.3 Мрх, одновременно с этим регистрировались показания пальцевого пульсоксиметра. Во втором эксперименте использовали камеру с разрешением 3 Мрх. В предыдущих экспериментах измерения проводились на одном человеке. В третьем эксперименте было проведено 50 измерений у другого человека, используя камеру с

разрешением 0.3 Мрх. Сведем полученные результаты в трех экспериментах в одну таблицу.

	Эксперимент 1	Эксперимент 2	Эксперимент 3
Среднее	3,44	1,44	0,39
СКО	5,55	4,84	7,36
Коэффициент корреляции	0,22	0,23	0,42

1. Выборочное среднее, характеризующее систематическую погрешность измерений, не превышает 4-х ударов в минуту;
2. Выборочное СКО, характеризующее случайную погрешность, не превышает 8-ми ударов в минуту;
3. В исследуемом диапазоне частот выборочные оценки среднего и СКО статистически значимо не различаются для разных значений ЧСС;
4. При использовании камеры с большим разрешением точность измерений увеличивается.

### **Выводы**

В проделанной работе было проанализировано современное состояние проблемы бесконтактного измерения ЧСС. Проведен обзор существующих в настоящее время способов бесконтактного измерения ЧСС по цифровому видеоизображению, выявлены недостатки этих способов и обоснована целесообразность в разработке нового метода. В результате была разработана система бесконтактного измерения ЧСС по цифровому видеоизображению, которая в данный момент доступна для тестирования в сети интернет по адресу <http://test14.aka-art.ru>. Проверка точности измерений разработанной системы показала, что погрешность измерений составляет  $\pm 10$  ударов в минуту. В статье [6], которая легла в основу данной работы, точность измерений составила  $\pm 2,29$  ударов в минуту. Это можно объяснить тем, что методики захвата изображения из записанного видео и в режиме реального времени абсолютно разные. Авторы статьи [6] обрабатывали записанное видео, что позволяет установить требуемую частоту фиксации изображения. В нашем случае период захвата изображения постоянно меняется, это обусловлено техническими особенностями системы. Вторая отличительная черта в методике, в статье использовался метод слепого разделения источников, который сильно повысил точность

измерений. В данной работе метод МНК не применялся. Это дает основания полагать, что если добавить в алгоритм метод слепого разделения источников, то точность повысится. Если доработать алгоритм, то можно добиться приемлимой точности. Основное назначение методологии, которая описана в настоящей работе – работа в условиях домашнего окружения (т.н. телемедицина), благодаря простоте организации измерения частоты сердцебиения с помощью персональных компьютеров.

#### Список литературы

1. Cook S., Togni M., Schaub M. C., Wenaweser P., Hess O.M. High heart rate: a cardiovascular risk factor? // *Eur. Heart J.* 2006 № 27(20). P. 2387–2393.
2. Pavlidis I., Dowdall J., Sun N., Puri C., Fei J., Garbey M. Interacting with human physiology // *Comput. Vis. Image Underst.* 2007. № 108(1-2). P. 150–170.
3. Allen J. Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement // *Physiol. Meas.* 2007. № 28(3). P. R1–R39.
4. Takano C., Ohta Y. Heart rate measurement based on a time-lapse image // *Med. Eng. Phys.* 2007. № 29(8). P. 853–857.
5. Verkruysse W., Svaasand L.O., Nelson J.S. Remote plethysmographic imaging using ambient light // *Opt. Express.* 2008. № 16(26). P. 21434–21445.
6. Ming-Zher Poh, Daniel J. McDuff, Rosalind W. Picard, Non-contact, automated cardiac pulse measurements using video imaging and blind source separation // *Optics Express.* 2010 №18(10). P. 10762-10774.