

УДК 004.383.5

Разработка программно-аппаратного комплекса регистрации ЧСС на основе анализа динамической видео регистрации изображения человека

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,
кафедра «Медико-технический менеджмент»*

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.

Ранее была разработана система определения ЧСС [6] по видеоизображению в режиме реального времени, которая доступна для тестирования в сети интернет по адресу <http://test14.aka-art.ru>. Проверка точности измерений разработанной системы показала, что погрешность измерений составляет ± 10 ударов в минуту.

Данная работа направлена на повышение точности измерений, удобства использования программного обеспечения и перенос его на платформу Windows.

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.

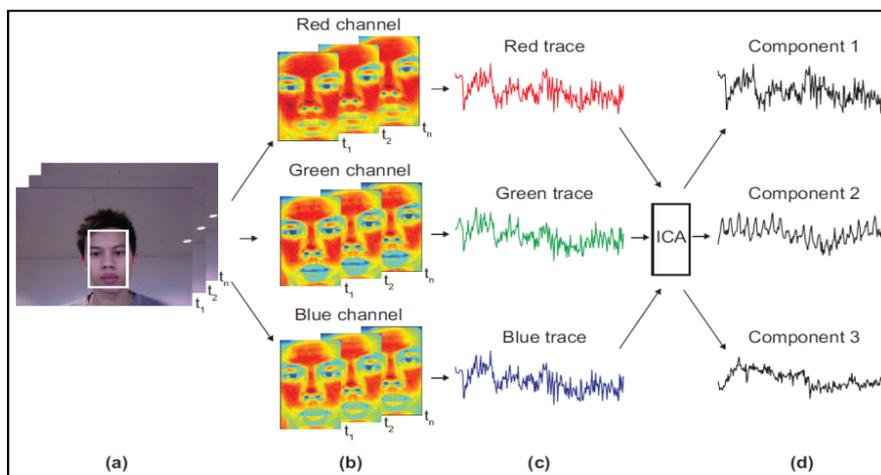
Разработка алгоритма определения ЧСС по цифровому видеоизображению.

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. В старой версии 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. В новую версию добавлена свободная версия библиотеки OpenCV для получения координат расположения лица. Встроенный в OpenCV алгоритм поиска лица основан на работе Виолы и Джонса и Лиенхарта и Майдта. С помощью OpenCV выявляется область интереса, та область изображения, в которую попадает лицо.

Область интереса разделяется на три цветовых канала и пространственно усредняется по всем пикселям области интереса для получения красной, синей и зеленой точки измерения для каждого кадра. В старой версии используется только зеленый канал, так как он содержит наиболее выраженный плетизмографический сигнал из трех каналов [5]. В новой версии использовались все потоки RGB данных. Они подвергаются нормализации. Нормализованные потоки данных затем раскладываются на три независимых сигнала при помощи метода независимых компонент (МНК). Вторая компонента МНК обычно содержит отчетливый плетизмографический сигнал. С целью упрощения и автоматизации всегда выбиралась она в качестве нужного сигнала. Схема алгоритма представлена на рисунке.



- (a) - Область интереса автоматически детектируется при помощи поиска лиц.
- (b-c) - Область интереса раскладывается на RGB каналы и пространственно усредняется для получения исходных потоков RGB данных.
- (d) - МНК применяется к нормализованным RGB данным для восстановления трех независимых источников сигналов

Вычисленное среднее 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 .

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:

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

где n – номер наиболее мощной гармоники;

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

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 $\pm 2\%$ в диапазоне от 100 до 235 ударов в минуту. Данный прибор сохраняет результаты измерений каждые 4 секунды.

Проведены исследования точности измерений на выборке из 10 человек по 100 измерений на человека

В диапазоне измерений от 42 до 99 ударов в минуту абсолютная погрешность метода составляет ± 7 ударов в минуту

В диапазоне измерений от 100 до 235 ударов в минуту относительная погрешность метода составляет $\pm 18\%$.

Выводы

В проделанной работе было полностью обновлено программное обеспечение. Старая версия написана на языке программирования ActionScript, новая на C++, что увеличило скорость обработки изображений. Для автоматизации определения области интереса добавлена функция распознавания лица. Алгоритм обработки изображения также был существенно доработан. В результате проделанной работы увеличилась точность измерений с ± 10 до ± 7 ударов в минуту, таким образом подтвердился вывод, сделанный прошлой работе [6]. 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. P. 87–93.

2. Pavlidis I., Dowdall J., Sun N., Puri C., Fei J., Garbey M. Interacting with human physiology // *Comput. Vis. Image Underst.* 2007. № 108. P. 150–170.
3. Allen J. Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement // *Physiol. Meas.* 2007. № 28. P.30–39.
4. C. Takano, Y. Ohta. Heart rate measurement based on a time-lapse image // *Med. Eng. Phys.* 2007. № 29. P. 53–57.
5. W. Verkruysse, L. O. Svaasand, J. S. Nelson. Remote plethysmographic imaging using ambient light // *Opt. Express.* 2008. № 16. P. 34–45.
6. Родыгин А.М. Разработка программно-аппаратного комплекса регистрации ЧСС на основе анализа динамической видео регистрации изображения человека в различных функциональных состояниях // *Молодежный научно-технический вестник. Электрон. журн.* 2014. № 10. Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/734021.html> (дата обращения 14.05.2015).