

УДК 616-7(045)

К. С. Строканев, магистрант
 А. В. Коробейников, кандидат технических наук
 В. А. Степанов, кандидат технических наук
 ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

СИСТЕМА ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФИИ ПО ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЮ ЛИЦА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЙЛЕРОВА УСИЛЕНИЯ

Рассматривается система фотоплетизмографии по видеоизображению лица человека. Обосновывается актуальность развития средств медтехники на основе фотоплетизмографии. Описана разработанная система, состоящая из подсистем: выделения области на видеоизображении, предобработки видеоизображения и регистрации сигнала пульсограммы. Для предобработки видео используется Эйлерово усиление, что существенно повышает качество регистрируемого сигнала пульсограммы.

Ключевые слова: фотоплетизмография, видеоизображение лица, Эйлерово усиление видео, пульсограмма.

Введение

Национальная технологическая инициатива (НТИ) – долгосрочная программа частно-государственного партнерства по развитию новых перспективных рынков на базе высокотехнологичных решений, которые будут определять развитие мировой и российской экономики в ближайшие 20 лет. НТИ строится как широкое коалиционное взаимодействие проектных групп из технологических предпринимателей, ведущих университетов и исследовательских центров, крупных деловых объединений страны, институтов развития, экспертных и профессиональных сообществ, профильных государственных ведомств [1].

HealthNet 2035 – рынок персонализированной медицины, включающий в себя сегменты устройств и платформ поддержки здоровья и лечения, спортивного здоровья, превентивной медицины, новых медицинских материалов, биопротезов, искусственных органов. Для рынка *HealthNet* в числе прочего необходимо развитие новых способов регистрации физиологических сигналов, а также использование информационных технологий для персонализированного круглосуточного мониторинга состояния здоровья человека.

Плетизмография – учение о колебаниях объема различных органов в зависимости от целого ряда самых разнообразных условий. Наиболее известна методика пальцевой фотоплетизмографии. Плетизмография активно использовалась в отечественной медицине до начала 1970-х годов и была незаслуженно забыта в немалой степени за счет технического несовершенства применяемых устройств. Использование в настоящее время цифровых технологий, большая распространенность и относительно невысокая стоимость персональных компьютеров открывает новые перспективы в использовании этой методики [2].

Одной из новых методик является фотоплетизмография по видеоизображению лица человека. Подобные системы рассматриваются в работах [3, 4].

Система фотоплетизмографии по видеоизображению лица

В данной работе рассматривается разработка системы регистрации пульсограммы на основе методики

фотоплетизмографии по видеоизображению лица человека. На основе данной системы станет возможной разработка различных средств медтехники, соответствующих требованиям *HealthNet*. Состав системы:

- 1) подсистема выделения области на видеоизображении;
- 2) подсистема предобработки видеоизображения;
- 3) подсистема регистрации сигнала пульсограммы.

Подсистема выделения области на видеоизображении. Подсистема предназначена для непрерывного слежения за областью видеоизображения и экономии ресурсов при вычислениях. Координаты прямоугольной области определяются по формулам (1)–(4), где a – высота, а b – ширина области на лице; n_i – точка выбранной области, x_i – координата точки по оси x , y_i – координата точки по оси y .

$$n_1(x_1) = 0,4 \cdot a; \quad n_1(y_1) = 0,4 \cdot b; \quad (1)$$

$$n_2(x_2) = 0,4 \cdot a; \quad n_2(y_2) = 0,6 \cdot b; \quad (2)$$

$$n_3(x_3) = 0,6 \cdot a; \quad n_3(y_3) = 0,6 \cdot b; \quad (3)$$

$$n_4(x_4) = 0,6 \cdot a; \quad n_4(y_4) = 0,4 \cdot b. \quad (4)$$

В область размером $a \times b$ следует включать поверхность кожи на лице человека. Корректный результат может быть получен при выборе области лба, щек, носа. Схематичное изображение прямоугольной области носа приведено на рис. 1.

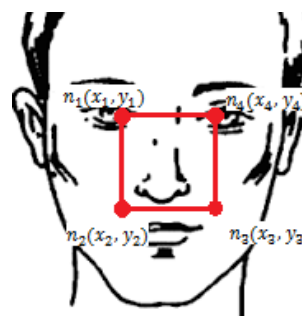


Рис. 1. Схематичное изображение области носа

В данной работе рассматривался простой случай регистрации видеоизображения, при котором человек работает за компьютером, оснащенным веб-камерой.

Для выделения лица на видеоизображении использовались два варианта:

1) положение лица фиксировано по центру видеоизображения;

2) положение лица изменялось, при этом координаты области с лицом определялись с помощью программы [5], на основе алгоритма Виолы – Джонса.

Подсистема предобработки видеоизображения. На исходной видеозаписи присутствуют как пульсации, связанные с кровенаполнением тканей, так и микродвижения головы и лица. Подсистема предназначена для усиления пульсаций на видеоизображении. Для этого применялся алгоритм Эйлера усиления видео, предложенный в работе [6], выполняющий усиление цвета или движения на видео. Для выделения пульсаций использовалось усиление цвета.

Пусть $I(x, t)$ обозначает интенсивность (яркость) видеоизображения с позицией x и временем t . Для того чтобы понять, что такое усиление движения, используем одномерный приемник. На этом приемнике видим сигнал

$$I(x, t) = f(x). \quad (5)$$

В следующий момент времени получаем сигнал

$$I(x, t+1) = f(x+\delta). \quad (6)$$

Главная задача алгоритма усиления – это получить сигнал для некоторого коэффициента усиления α [7]:

$$I'(x, t) = f(x + (1 + \alpha)\delta(t)). \quad (7)$$

Разложив сигнал в ряд Тейлора, получим:

$$I(x, t) \approx f(x) + \delta(t) \frac{\partial f(x)}{\partial x}. \quad (8)$$

Пусть $B(x, t)$ – результат применения широкополосного временного полосового фильтра к $I(x, t)$ в любой позиции x . Допустим, что сигнал движения, $\delta(t)$, находится в полосе пропускания временного полосового фильтра. Тогда получим

$$B(x, t) = \delta(t) \frac{\partial f(x)}{\partial x}. \quad (9)$$

Усилим данный сигнал коэффициентом усиления α и вернемся к $I(x, t)$, получив:

$$I'(x, t) = I(x, t) + \alpha B(x, t). \quad (10)$$

Комбинируя формулы, получим:

$$I'(x, t) \approx f(x) + (1 + \alpha)\delta(t) \frac{\partial f(x)}{\partial x}. \quad (11)$$

Процесс усиления движения – смещение в пространстве $\delta(t)$ изображения $f(x)$ за время t было усилено в $(1 + \alpha)$ раз.

Эйлерово усиление видео производилось только по координате x для видеоизображений. Использовался коэффициент усиления $\alpha = 50$.

Подсистема регистрации сигнала пульсограммы. Подсистема предназначена для получения сигнала пульсограммы по яркости области видеоизображения и записи пульсограммы в файл. Итоговое значение пульсограммы рассчитывается, как среднее значение яркости по области после Эйлерова усиления видео:

$$I'(t) = \sum_{0,6-b}^{y=0,4-b} \sum_{0,6-b}^{x=0,4-a} I'(x, y, t). \quad (12)$$

Результаты экспериментов

В результате работы система была программно реализована на языке *C#* в среде *VisualStudio*. Внешний вид экранной формы программы представлен на рис. 2.

В ходе экспериментов использовались видеозаписи, полученные с помощью веб-камеры разрешением 640×480 пикселей и частотой кадров 30 fps .

Проводились эксперименты по обработке как отдельных составляющих цвета растровых изображений в формате *RGB*, так и изображений при переводе в градации серого цвета по стандарту *BT709*:

$$\text{Gray} = 0,2126 \cdot \text{Red} + 0,7152 \cdot \text{Green} + 0,0722 \cdot \text{Blue}, \quad (13)$$

где *Red*, *Green*, *Blue* – отдельные составляющие цвета изображений *RGB*.

Более устойчивые результаты получены при переводе в градации серого цвета.

В ходе экспериментов обрабатывались различные области лица: лба, щек, носа. Наиболее устойчивый результат был получен при выделении области носа. Частичное попадание глаз в область не влияло на результат.

Пример результатов работы разработанной системы показан на рис. 3 (без Эйлерова усиления видео) и рис. 4 (с Эйлеровым усилением видео). На рис. 4 приведены примеры пульсограмм при обработке области носа и области лба.

Результаты экспериментов показывают эффективность фотоплетизмографии по видеоизображению лица человека с использованием Эйлерова усиления видео.

Для практического использования системы необходимо выделять лицо человека при различных вариантах регистрации видеоизображения и устранять различные артефакты, например изменение освещенности лица при видеосъемке.

Результаты работы данной системы могут быть использованы в качестве входных данных для различных средств медицинской техники, соответствующих требованиям *HealthNet*.

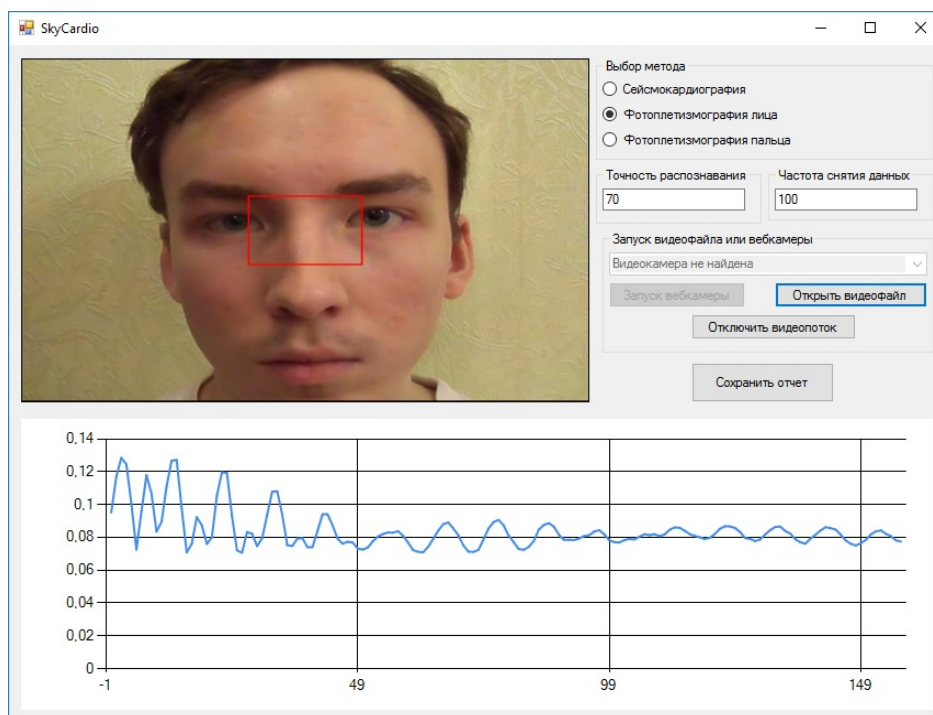


Рис. 2. Экранная форма программы

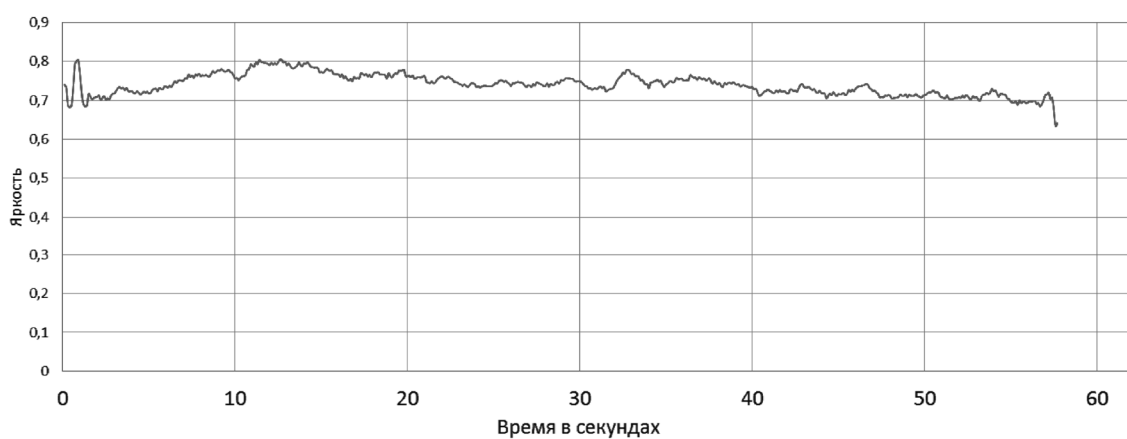


Рис. 3. Сигнал пульсограммы, полученный без Эйлерова усиления видео области носа

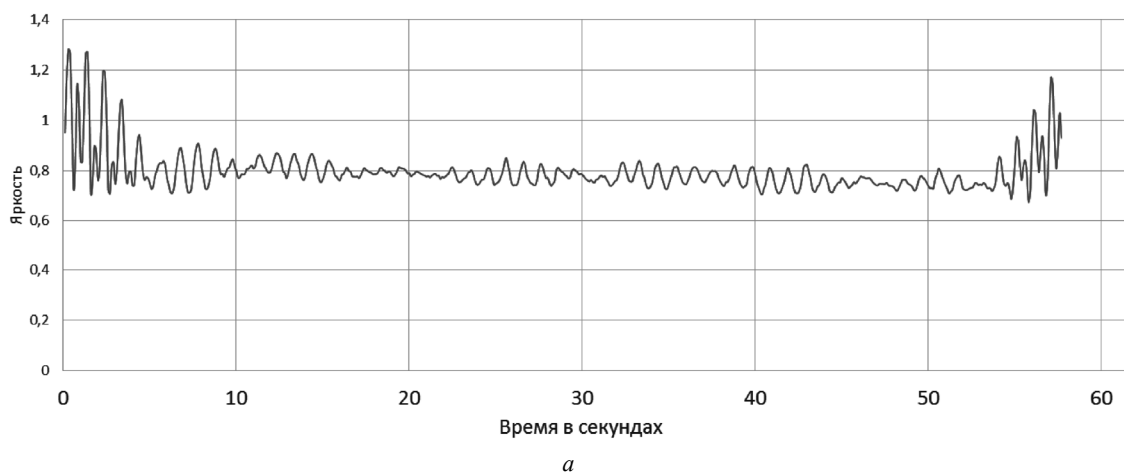
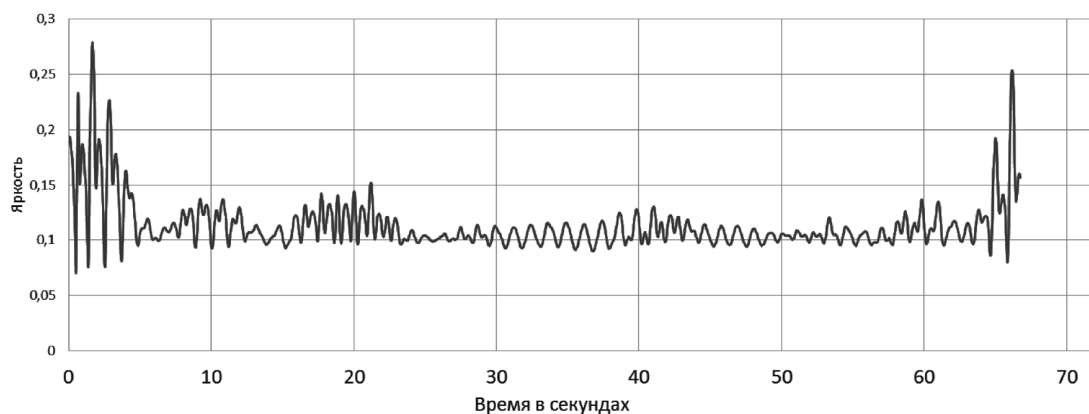


Рис. 4. Сигналы пульсограммы, полученный с Эйлеровым усилением видео: а – область носа. Окончание на с. 59



б

Рис. 4. Окончание: б – область лба. Начало на с. 58

Библиографические ссылки

1. Агентство стратегических исследований [Электронный ресурс]. – URL: <http://asi.ru/nti> (дата обращения: 07.05.2016).

2. Малиновский Е. Л. Учебно-методическое пособие по использованию пальцевой фотоплетизмографии [Электронный ресурс]. – URL: www.tokranmed.ru/metod/fpg_clinik_1.htm (дата обращения: 07.05.2016).

3. Аппаратно-программный комплекс бесконтактной фотоплетизмографии по видеоизображению лица. – URL: <http://biometric.bmstu.ru> (дата обращения: 11.04.2016).

4. Eulerian Video Magnification for Revealing Subtle Changes in the World. – URL: <http://people.csail.mit.edu/mrub/papers/vidmag.pdf> (дата обращения: 11.04.2016).

5. Зыкин С. И., Сенилов М. А. Реализация алгоритма Виолы – Джонса на основе технологии CUDA для обна. – № 3. – С. 128–130.

6. Eulerian Video Magnification for Revealing Subtle Changes in the World. – URL: <http://people.csail.mit.edu/mrub/papers/vidmag.pdf> (дата обращения: 11.04.2016).

7. Там же.

K. S. Strokanev, Master's Degree Student, Kalashnikov ISTU

A. V. Korobeynikov, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU

V. A. Stepanov, PhD in Engineering, Head of Laboratory of the Department “Devices and methods of measurement, control and diagnosis”, Kalashnikov ISTU

System of photoplethysmography by face video image with applying the Euler magnification

The system of photoplethysmography by human face video image is considered. The urgent matter of developing the means of medical apparatus based on photoplethysmography is substantiated. The developed system is described, which consists of sub-systems: selection of the area of the video image, preliminary processing of the video image and registration of the signal by a pulsogram. For preliminary processing of the video image the Euler magnification is applied, that increases significantly the quality of the registered signal of the pulsogram.

Keywords: photoplethysmography, face video image, Euler magnification of video image, pulsogram.

Получено: 18.08.16