

УДК 621.375.826

## Методики повышения точности измерения расстояний на основе корреляционного анализа стереоизображения

Козлов В.Л.

Белорусский государственный университет,  
пр. Независимости, 4, г. Минск 220050, Беларусь

Поступила 10.01.2018

Принята к печати 19.02.2018

Для решения задачи повышения точности восстановления трехмерной картины пространства по двумерным цифровым изображениям необходимо использовать новые эффективные методики и алгоритмы обработки и корреляционного анализа цифровых изображений. Активно разрабатываются инструменты, позволяющие снизить временные затраты на обработку стереоизображений, повысить качество построения карт глубины и автоматизировать их построение. Целью работы являлось исследование возможностей использования различных методик обработки цифровых изображений для повышения точности измерений дальномера на основе корреляционного анализа стереоизображения.

Приведены результаты исследований влияния методик смещения цветовых каналов на точность измерения расстояний для различных функций, реализующих корреляционную обработку изображений; исследования по анализу возможности использования интегрального представления изображений для снижения временных затрат при построении карты глубины; исследования возможности использования предварительной фильтрации изображений перед корреляционной обработкой при измерении расстояний по стереоизображению.

Установлено, что использование равномерного смещения каналов ведет к минимизации общего числа измерительных ошибок, а применение извлечения яркости согласно стандарту sRGB ведет к увеличению числа ошибок для любой из рассмотренных методик корреляционной обработки. Интегральное представление изображения позволяет добиться ускорения корреляционной обработки, однако данный метод целесообразно применять для вычисления карты глубины на изображениях не более 0,5 мегапикселя. Использование фильтрации изображений перед корреляционной обработкой может обеспечить в зависимости от параметров фильтра либо увеличение значения корреляционной функции, что целесообразно использовать для анализа зашумленных изображений, либо сжатие корреляционной функции.

**Ключевые слова:** цифровое изображение, стереокамера, корреляционная обработка, карта глубины.

**DOI:** 10.21122/2220-9506-2018-9-1-48-55

---

**Адрес для переписки:**

Козлов В.Л.  
Белорусский государственный университет,  
пр. Независимости, 4, г. Минск 220050, Беларусь  
e-mail: KozlovVL@bsu.by

---

**Address for correspondence:**

Kozlov V.L.  
Belarusian State University,  
Nezavisimosty Ave., 4, Minsk 220050, Belarus  
e-mail: KozlovVL@bsu.by

---

**Для цитирования:**

Козлов В.Л.  
Методики повышения точности измерения расстояний на основе корреляционного анализа стереоизображения.  
Приборы и методы измерений.  
2018. – Т. 9, № 1. С. 48–55.  
**DOI:** 10.21122/2220-9506-2018-9-1-48-55

---

**For citation:**

Kozlov V.L.  
[Methods of distance measurement's accuracy increasing based on the correlation analysis of stereo images].  
Devices and Methods of Measurements.  
2018, vol. 9, no. 1, pp. 48–55 (in Russian).  
**DOI:** 10.21122/2220-9506-2018-9-1-48-55

# Methods of distance measurement's accuracy increasing based on the correlation analysis of stereo images

Kozlov V.L.

Belarusian State University,  
Nezavisimosty Ave., 4, Minsk 220050, Belarus

Received 10.01.2018

Accepted for publication 19.02.2018

## Abstract

To solve the problem of increasing the accuracy of restoring a three-dimensional picture of space using two-dimensional digital images, it is necessary to use new effective techniques and algorithms for processing and correlation analysis of digital images. Actively developed tools that allow you to reduce the time costs for processing stereo images, improve the quality of the depth maps construction and automate their construction. The aim of the work is to investigate the possibilities of using various techniques for processing digital images to improve the measurements accuracy of the rangefinder based on the correlation analysis of the stereo image.

The results of studies of the influence of color channel mixing techniques on the distance measurements accuracy for various functions realizing correlation processing of images are presented. Studies on the analysis of the possibility of using integral representation of images to reduce the time cost in constructing a depth map are proposed. The results of studies of the possibility of using images prefiltration before correlation processing when distance measuring by stereo imaging are proposed.

It is obtained that using of uniform mixing of channels leads to minimization of the total number of measurement errors, and using of brightness extraction according to the sRGB standard leads to an increase of errors number for all of the considered correlation processing techniques. Integral representation of the image makes it possible to accelerate the correlation processing, but this method is useful for depth map calculating in images no more than 0.5 megapixels. Using of image filtration before correlation processing can provide, depending on the filter parameters, either an increasing of the correlation function value, which is useful for analyzing noisy images, or compression of the correlation function.

**Keywords:** digital image, stereo camera, correlation processing, depth maps.

**DOI:** 10.21122/2220-9506-2018-9-1-48-55

---

## Адрес для переписки:

Козлов В.Л.  
Белорусский государственный университет,  
пр. Независимости, 4, г. Минск 220050, Беларусь  
e-mail: KozlovVL@bsu.by

---

## Address for correspondence:

Kozlov V.L.  
Belarusian State University,  
Nezavisimosty Ave., 4, Minsk 220050, Belarus  
e-mail: KozlovVL@bsu.by

---

## Для цитирования:

Козлов В.Л.  
Методики повышения точности измерения расстояний на основе корреляционного анализа стереоизображения.  
Приборы и методы измерений.  
2018. – Т. 9, № 1. С. 48–55.  
**DOI:** 10.21122/2220-9506-2018-9-1-48-55

---

## For citation:

Kozlov V.L.  
[Methods of distance measurement's accuracy increasing based on the correlation analysis of stereo images].  
Devices and Methods of Measurements.  
2018, vol. 9, no. 1, pp. 48–55 (in Russian).  
**DOI:** 10.21122/2220-9506-2018-9-1-48-55

## Введение

Для решения задачи повышения точности восстановления трехмерной картины пространства по двумерным цифровым изображениям необходимо использовать новые эффективные методики и алгоритмы обработки и корреляционного анализа цифровых изображений. Значительный прогресс в этой области обусловлен, во-первых, развитием методов проективной геометрии применительно к области компьютерного зрения [1] и, во-вторых, перспективными достижениями в области детектирования характеристических точек на изображениях и их сопоставлением между изображениями [2], что обусловлено разработкой теории теорий цветowych [3] и дифференциальных [4] инвариантов и созданием дескрипторов характеристических точек [2].

Задача реконструкции трехмерных сцен по стереоизображениям с учетом эпиполярных ограничений решается в работе [5]. Предложенная модель сопоставления изображений позволяет избежать процедуры ректификации, вносящей дополнительные динамические искажения, что обеспечивает возможность поиска соответствующих точек непосредственно на исходных стереоизображениях. Сравнительный анализ эффективности алгоритмов стереозрения в рамках решения задачи восстановления трехмерной картины объекта исследования представлен в [6]. В качестве критериев количественной оценки работы алгоритмов предложена мера расхождения восстановленной карты дальности и эталонной карты дальности, полученной с использованием камеры со структурированной инфракрасной подсветкой.

Для снижения временных затрат на обработку стереоизображений и повышение качества построения карт глубины активно разрабатываются инструменты, автоматизирующие их построение. Задача точного восстановления глубины по видео без дополнительной информации является в общем случае неразрешимой, поэтому для автоматического построения используются подходы, основанные на минимизации локальных критериев, такие как методы обработки карт глубины, использующие данные о цвете и движении из исходной видеопоследовательности для повышения стабильности карт глубины по времени и исправления ошибок построения. Фильтрация производится с учетом сходства пикселей исходного видео по яркости (цвету) и их пространственной близости [7]. В работе [8] предложен скоростной метод вычисления карты глубины (изображения,

каждый пиксель которого содержит информацию о расстоянии до стереокамеры) для реализации на графическом процессоре. Данное решение базируется на использовании нескольких скользящих окон адаптивной структуры с пред- и постобработкой входных и выходных изображений. Высокая производительность достигается за счет архитектуры современных графических процессоров, наиболее подходящих для решения задачи вычисления карты глубины локальными методами.

Однако в литературных источниках отсутствуют исследования о влиянии методик смешения цветowych каналов на точность измерений расстояний для различных функций, реализующих корреляционную обработку изображений; исследования по анализу возможности использования интегрального представления изображений для снижения временных затрат при построении карты глубины; исследование возможности использования предварительной фильтрации изображений перед корреляционной обработкой при измерении расстояний по стереоизображению.

Целью работы являлось исследование возможностей использования упомянутых выше методик для повышения точности измерений дальности на основе корреляционного анализа стереоизображения.

## Методики смешения цветowych каналов при измерении расстояний по стереоизображению

Были проведены исследования влияния методик смешения цветowych каналов на точность измерения расстояний. Анализировались зависимости числа ошибок при обнаружении объекта на втором изображении стереопары для ряда функций, реализующих корреляционную обработку цифровых изображений, используемых в локальных методах восстановления сцены, от выбора метода перехода от цветного изображения к полутоновому. Исследования проводились для следующих функций:

1. Нормированная кросскорреляционная функция ( $NCC$ ) – хорошо показывает себя при перепадах яркости и смещении цвета на фрагментах поиска и определяется выражением:

$$K(d) = \frac{\sum_{u,v} (I_1(u,v) - \bar{I}_1) \cdot (I_2(u+d,v) - \bar{I}_2)}{\sqrt{\sum_{u,v} (I_1(u,v) - \bar{I}_1)^2 \cdot (I_2(u+d,v) - \bar{I}_2)^2}}, \quad (1)$$

где  $I_1, I_2$  – интенсивность точек первого и второго изображения стереопары соответственно;  $\bar{I}_1, \bar{I}_2$  – средняя интенсивность точек первого и второго изображений внутри окон сканирования соответственно;  $u, v$  – координаты объекта на фотоприемной матрице вдоль строк и столбцов соответственно;  $d$  – сдвиг между окнами сканирования.

2. Сумма квадратов разностей (*SSD*) – более простая с математической точки зрения функция:

$$K(d) = \sum_{u,v} (I_1(u,v) - I_2(u+d,v))^2. \quad (2)$$

3. Нормированная сумма квадратов разностей (*NSSD*) – вычисляется в соответствии с выражением:

$$K(d) = \sum_{u,v} \left( \frac{I_1(u,v) - \bar{I}_1}{\sum_{u,v} (I_1(u,v) - \bar{I}_1)^2} - \frac{I_2(u+d,v) - \bar{I}_2}{\sum_{u,v} (I_2(u+d,v) - \bar{I}_2)^2} \right)^2. \quad (3)$$

4. Сумма модуля разностей (*SAD*) – аналог *SSD*, часто используется для снижения вычислительных затрат и определяется выражением:

$$K(d) = \sum_{u,v} |I_1(u,v) - I_2(u+d,v)|. \quad (4)$$

5. Метод, предложенный в работе [9], использующий локальное непараметрическое преобразование изображения перед поиском соответствия (*RANK*-преобразование). Сущность *RANK*-преобразования заключается в подсчете количества пикселей в окрестности текущего, интенсивность которых меньше, чем интенсивность текущего (центрального) пикселя. *RANK*-преобразование проводилось для трех размеров окна предобработки:  $3 \times 3$ ;  $5 \times 5$ ;  $7 \times 7$  соответственно, *RANK* 3, *RANK* 5, *RANK* 7. Для устранения влияния фоновой засветки и шумов изображения результаты обработки сравниваются областями. В качестве функции соответствия обработанных областей используется функция *SAD*:

$$K(d) = \sum_{u,v} |I'_1(u,v) - I'_2(u+d,v)|, \quad (5)$$

$$I'_1(u,v) = \sum_{m,n} I_k(m,n) < I_k(u,v). \quad (6)$$

Перечисленные функции поиска стереосоответствия (1)–(6) применялись к карте яркостей, полученной из цветного изображения. Наиболее распространенным способом является равномерное смешение каналов *RGB* изображения, однако для некоторых задач целесообразно использова-

ние одного из цветных *RGB*-каналов, *Y*-канала из пространства цветов *YCbCr* или извлечение яркости согласно стандарту *sRGB*.

Использование одного из цветных *RGB*-каналов целесообразно в случаях, когда на изображении преобладает один из основных цветов *RGB*-модели: красный, зеленый либо синий. В таком случае вся информация о перепадах яркости будет сосредоточена в одном из каналов, а остальные будут добавлять шум при смешении. Использование такой методики оправдано при заранее известных параметрах съемки.

Применение равномерного смешения каналов является стандартной предкорреляционной обработкой при анализе изображений. Интенсивности итоговой карты яркости получаются усреднением суммы значений каналов:

$$I = (R + G + B) / 3, \quad (7)$$

где  $I$  – массив интенсивностей, поступающий на вход алгоритма поиска стереосоответствия;  $R, G, B$  – массивы, содержащие интенсивности красного, зеленого и голубого каналов исходного изображения соответственно.

Модель *YCbCr* широко используется в алгоритмах сжатия изображений и видео [10]. Канал  $Y$  этой модели несет информацию о яркости объектов на изображении, а каналы  $Cb$  и  $Cr$  – о распределении цвета. Использование  $Y$ -канала модели *YCbCr* позволяет начинать обработку алгоритмом поиска стереосоответствия еще до полной расшифровки изображения или кадра видеопотока. Получение  $Y$ -канала пространства *YCbCr* из *RGB*-изображения производится по формуле [11]:

$$I = 0,299R + 0,587G + 0,114B. \quad (8)$$

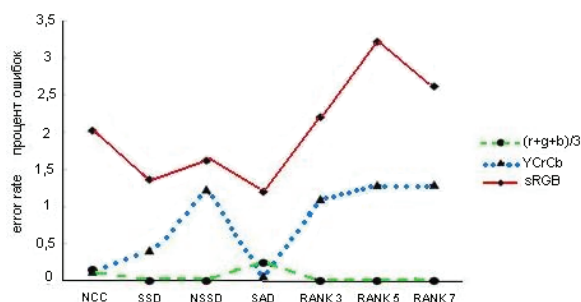
Стандарт *sRGB* применяется в большинстве современных мониторов. Использование данного стандарта позволяет получить карту яркостей такой, какой видит ее человеческий глаз. Извлечение яркости согласно стандарту *sRGB* производится по формуле [12]:

$$I = 0,21R + 0,72G + 0,07B. \quad (9)$$

Для определения влияния выбора цветового пространства на количество ошибок при построении карты диспаратностей набор тестовых цветных изображений был переведен в градации серого каждой из формул (7)–(9). Для каждого из полученных наборов изображений строилась карта диспаратностей с использованием всех приве-

денных выше методов поиска стереосоответствия (1)–(6). В процессе обработки варьировались размеры окна сканирования, а для метода Забиха и Вудфилла [9] так же варьировался размер окрестности непараметрического преобразования.

Вклад ошибок, связанных с выбором того или иного метода получения карты яркости, представлен на графике (рисунок 1). Данные были получены для окон сканирования размером от  $5 \times 5$  до  $11 \times 11$  пикселей; дальнейшее увеличение размера окон сканирования ведет к росту ошибок вблизи границ объектов на изображении.



**Рисунок 1** – Процент измерительных ошибок, связанных с выбором методики получения карты яркостей из *RGB* изображения

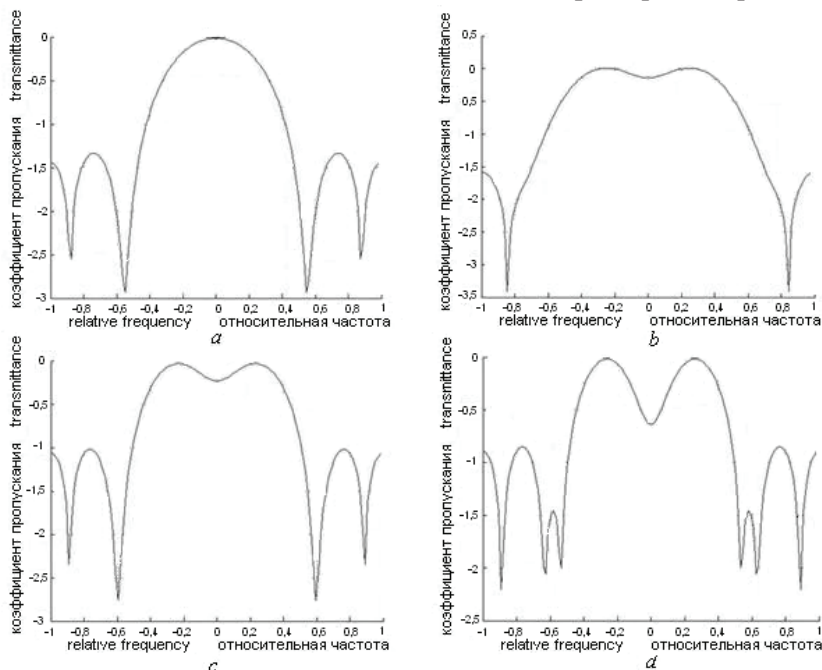
**Figure 1** – Percentage of measurement errors depending of method of obtaining a brightness map from an *RGB* image

Проведенные исследования показали, что в задачах измерения расстояний для большинства рассмотренных видов корреляционных функций использование равномерного смещения каналов

ведет к минимизации общего числа измерительных ошибок. Однако использование *Y*-канала из пространства *YCbCr* будет оправдано при построении карты глубины совместно с функцией *SAD*. Наиболее популярная функция *NCC* показывает одинаковые результаты как при использовании равномерного смещения, так и при извлечении *Y*-канала. Попытка извлечения яркости согласно стандарту *sRGB* ведет к увеличению числа ошибок для любого из рассмотренных методов корреляционной обработки.

### Анализ влияния предварительной фильтрации изображений на вид корреляционной функции

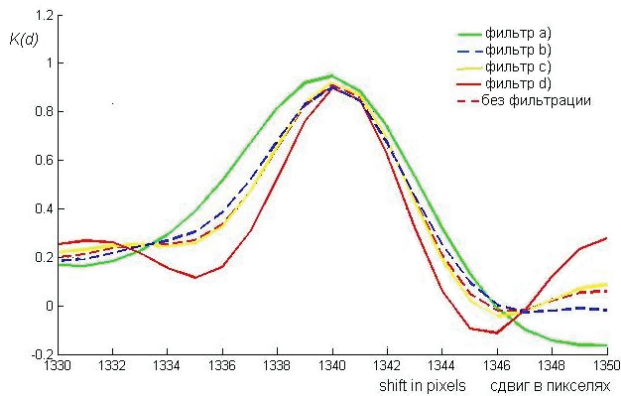
Были проведены исследования влияния предварительной фильтрации изображений на поведение корреляционной функции. Для целей исследования в программном комплексе *MATLAB* был сформирован ряд фильтров с конечной импульсной характеристикой при помощи алгоритма обмена Ремеза. На рисунке 2 представлены передаточные характеристики фильтров в логарифмическом масштабе. На графиках частоты задаются в относительных единицах, т.е. в диапазоне  $[0, 1]$ , где 1 соответствует частоте Найквиста. Зависимости значения корреляционной функции *NCC* от сдвига между изображениями в области точки корректного обнаружения после различной предварительной фильтрации представлены на рисунке 3.



**Рисунок 2** – Передаточные характеристики исследуемых фильтров

**Figure 2** – Transmission characteristics of the filters under study





**Рисунок 3** – Вид корреляционной функции  $NCC$  для изображений с различной предварительной фильтрацией  
**Figure 3** – The form of the  $NCC$  correlation function for images with different prefiltration

Как видно из рисунка 3, фильтры  $b$  и  $c$  незначительно изменяют вид функции корреляции; фильтр  $a$ , агрессивно убирающий высокочастотный шум, дает более пологие экстремумы корреляции с лучшим абсолютным значением; а фильтр  $d$ , гасящий не только высокочастотный шум, но и низкочастотный цветовой фон, дает большую крутизну кривой корреляции. Таким образом, для зашумленных изображений целесообразно использовать фильтр  $a$ , обеспечивающий максимальное значение корреляционной функции, а для повышения точности измерения сдвига между изображениями следует использовать фильтр  $d$ , обеспечивающий максимальное сжатие корреляционной функции.

### Оптимизация вычислений путем использования интегрального представления изображений

Вычисление нормированной кросскорреляционной функции ( $NCC$ ) можно ускорить, используя интегральное представление изображений [13]. Такое представление уменьшает время расчета суммарной яркости пикселей, попадающих в прямоугольник произвольных размеров.

Интегральное представление изображения – это матрица, совпадающая по размерам с исходным изображением. Значением каждого ее элемента является сумма интенсивностей всех пикселей исходного изображения, попадающих в прямоугольную область от верхнего левого угла изображения до координат текущего элемента. Формула, связывающая значения элементов матрицы и интенсивности пикселей исходного изображения, имеет вид:

$$M(x, y) = \sum_{i=0, j=0}^{i \leq x, j \leq y} I(i, j), \quad (10)$$

где  $I(i, j)$  – яркость пикселя исходного изображения.

Элемент матрицы  $M$  с координатами  $(x, y)$  представляет собой сумму пикселей в прямоугольнике от  $(0, 0)$  до  $(x, y)$  исходного изображения. Чтобы найти значение средней интенсивности пикселей исходного изображения в этом прямоугольнике, необходимо только разделить значение элемента матрицы  $M$  с координатами  $(x, y)$  на площадь прямоугольника.

Значения элементов матрицы  $M$  целесообразно вычислять по рекуррентной формуле:

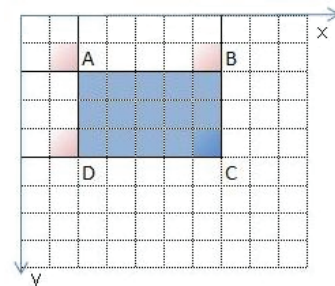
$$M(x, y) = I(x, y) - M(x-1, y-1) + M(x, y-1) + M(x-1, y). \quad (11)$$

При таком подходе расчет производится с левого верхнего угла вправо и вниз и занимает время, пропорциональное числу пикселей в изображении.

Рассмотрим задачу вычисления суммы интенсивностей пикселей произвольного прямоугольника произвольной площади. Выберем на изображении прямоугольник произвольных размеров и обозначим координаты его верхнего левого угла как  $(x_1, y_1)$ , а координаты нижнего правого угла как  $(x_2, y_2)$ . Для вычисления суммы интенсивностей пикселей, попадающих в прямоугольник, обозначим на изображении точки  $A(x_1-1, y_1-1)$ ,  $B(x_2, y_1-1)$ ,  $C(x_2, y_2)$ ,  $D(x_1-1, y_2)$ . В таком случае интересующая нас сумма будет вычисляться по формуле:

$$Sum = II(A) + II(C) - II(B) - II(D). \quad (12)$$

На рисунке 4 представлена графическая схема, иллюстрирующая расчет суммы интенсивностей пикселей произвольного прямоугольника с использованием интегральных изображений.



**Рисунок 4** – Схема вычисления суммы яркостей пикселей через интегральное представление изображения  
**Figure 4** – A scheme for calculating the sum of the pixels brightnesses through an integral image presentation

Интегральное представление изображения позволяет найти сумму значений интенсивности пикселей любого прямоугольника в первоначальном изображении с помощью трех целочисленных операций, что позволяет добиться ускорения расчета корреляционной функции  $NCC$  за счет отсутствия необходимости пересчета сумм. Данный метод целесообразно применять при необходимости быстрого вычисления карты глубины на изображениях небольшого размера. При обработке изображений размером более 0,5 мегапикселя может произойти переполнение целочисленных переменных из-за накопления значений в нижней правой части массива. Увеличение размера переменных позволяет избежать ошибки переполнения при обработке изображений до 17 мегапикселей, но существенно повышает затраты оперативной памяти, используемой для работы.

## Заключение

Предложены и обоснованы методики повышения точности измерения расстояний в пассивных дальномерах на основе корреляционного анализа стереоизображения:

- проведены исследования методик смещения цветовых каналов при измерении расстояний по стереоизображению. Установлено, что для рассмотренных видов функций, реализующих корреляционную обработку изображений, использование равномерного смещения каналов ведет к минимизации общего числа измерительных ошибок. Использование  $Y$ -канала из пространства  $YC_bCr$  будет оправдано при построении карты глубины совместно с функцией  $SAD$ . Функция  $NCC$  показывает одинаковые результаты как при использовании равномерного смещения, так и при извлечении  $Y$ -канала. Использование извлечения яркости согласно стандарту  $sRGB$  ведет к увеличению числа ошибок для любой из рассмотренных методик корреляционной обработки;

- исследована возможность использования интегрального представления изображений при измерении расстояний по стереоизображению. Получено, что интегральное представление изображения позволяет добиться ускорения корреляционной обработки, однако данный метод целесообразно применять для вычисления карты глубины на изображениях небольшого размера. Для обработки изображений размером более 0,5 мегапикселя необходимо увеличивать размер целочисленных переменных (из-за появления оши-

бок переполнения), что существенно повышает затраты оперативной памяти, используемой для работы;

- предложена методика использования фильтрации изображений перед корреляционной обработкой с использованием фильтров с конечной импульсной характеристикой, обеспечивающая в зависимости от параметров фильтра либо увеличение значения корреляционной функции, что целесообразно использовать для анализа зашумленных изображений, либо сжатие корреляционной функции, что может быть использовано для повышения точности измерений.

## Список использованных источников

1. Hartley, R. Multiple view geometry in computer vision / R. Hartley, A. Zisserman // Cambridge : Cambridge University Press, 2004. – 672 p.
2. Tuytelaars, T. Local invariant feature detectors: A survey / T. Tuytelaars, K. Mikolajczyk // Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision. – 2008. – Vol. 3, no. 3. – P. 177–280. doi: 10.1561/06000000017
3. Color invariance / J.M. Geusebroek [et al.] // IEEE Transactions on PAMI. – 2001. – Vol. 23, no. 12. – P. 1338–1350.
4. Lindeberg, T. Scale-space theory in computer vision / T. Lindeberg. – Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 1994. – 69 p.
5. Гошин, Е.В. Модель реконструкции 3D-сцен с учетом эпиполярных ограничений / Е.В. Гошин // Молодой ученый. – 2014. – № 12. – С. 71–73. doi: 10.18287/0134-2452-2015-39-5-770-776
6. Пономарев, С.В. Методика сравнения алгоритмов стереозрения при восстановлении трехмерной модели лица человека / С.В. Пономарев // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – Т. 88, № 6. – С. 40–45.
7. Simonyan, K. Confidence measure for block-based motion vector field / K. Simonyan, S. Grishin, D. Vatolin // Computer Graphics and Vision (GraphiCon'2008) : Proc. of 18th International Conference, Moscow, 23–27 June 2008. – Moscow, 2008. – P. 110–113.
8. Котюжанский, Л.А. Вычисление карты глубины стереоизображения на графическом процессоре в реальном времени / Л.А. Котюжанский // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 6. – С. 444–449.
9. Zabih, R. Non-parametric local transforms for computing visual correspondence / R. Zabih, J. Woodfill // Computer Vision – ECCV '94 : Proc of Third European Conference on Computer Vision, Stockholm, 2–6 May 1994. – Springer, 1994. – P. 150–158.
10. Стандарт сжатия JPEG / Лекции по курсу «Методы кодирования информации» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://sernam.ru/lect\\_cod.php](http://sernam.ru/lect_cod.php). – Дата доступа: 26.05.2014.

11. Фисенко, В.Т. Компьютерная обработка и распознавание изображений / В.Т. Фисенко, Т.Ю. Фисенко. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.

12. Мalykhina, М.П. Аспекты практического применения цветового различия для распознавания и выделения границ изображений / М.П. Мalykhina, Д.А. Шичкин // Научный журнал КубГАУ. – 2013. – Т. 89, № 5. – С. 623–634.

13. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.

## References

1. Hartley R., Zisserman A. Multiple view geometry in computer vision. Cambridge, Cambridge University Press, 2004, 672 p.

2. Tuytelaars T., Mikolajczyk K. Local invariant feature detectors: A survey. *Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision*, 2008, vol. 3, no. 3, pp. 177–280. doi: 10.1561/06000000017

3. Geusebroek J.M. [et al.] Color invariance. *IEEE Transactions on PAMI*, 2001, vol. 23, no. 12, pp. 1338–1350.

4. Lindeberg T. Scale-space theory in computer vision. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1994, 69 p.

5. Goshin E.V. A model for the reconstruction of 3D scenes with epipolar constraints taken into account. *The young scientist*, 2014, no. 12, pp. 71–73 (in Russian). doi: 10.18287/0134-2452-2015-39-5-770-776

6. Ponomarev S.V. A method for comparing stereoscopic algorithms for restoring a three-dimensional model of a person's face. *Scientific and Technical Herald of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2013, vol. 88, no. 6, pp. 40–45 (in Russian).

7. Simonyan K., Grishin S., Vatolin D. Confidence measure for block-based motion vector field. *Computer Graphics and Vision (GraphiCon'2008), Proc. of 18th International Conference, Moscow, 23–27 June 2008, Moscow*, 2008, pp. 110–113.

8. Kotyuzhansky L.A. Calculation of the depth map of the stereo image on a graphical processor in real time. *Fundamental research*, 2012, no. 6, pp. 444–449 (in Russian).

9. Zabih R., Woodfill J. Non-parametric local transforms for computing visual correspondence. *Computer Vision - ECCV '94: Proc of Third European Conference on Computer Vision, Stockholm, 2–6 May 1994*, Springer, 1994, pp. 150–158.

10. JPEG compression standard. Lectures on the course «Methods of information coding». Available at: [http://sernam.ru/lect\\_cod.php](http://sernam.ru/lect_cod.php) (access: 26.05. 2014).

11. Fisenko V.T., Fisenko T.Yu. Computer processing and image recognition. St. Petersburg, St. Petersburg State University ITMO, 2008, 192 p. (in Russian).

12. Malykhina M.P., Shichkin D.A. Aspects of practical application of color difference for recognition and allocation of image boundaries. *Scientific Journal of KubSU*, 2013, vol. 89, no. 5, pp. 623–634 (in Russian).

13. Gonzalez R., Woods R. Digital image processing. Moscow, Technosphere Publ., 2005, 1072 p. (in Russian).