

## ПРОЕКТИВНОЕ СОВМЕЩЕНИЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ МЕТОДОМ RANSAC ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Диязитдинова А.А.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: a.miftahova@psuti.ru

Совмещение телевизионных сигналов – это актуальная задача, которая повсеместно решается в системах технического зрения при обнаружении и распознавании объектов, а также для повышения качества изображения и уменьшения объемов хранимых данных. В статье описан алгоритм проективного совмещения телевизионных сигналов с использованием метода RANSAC. Разработанный алгоритм включает в себя: вычисление реперных точек, сопоставление точек на совмещаемых изображениях методом RANSAC, расчет параметров проективного преобразования. Для улучшения результатов совмещения также предусмотрена процедура на основе алгоритма Lucas-Kanade, которая обеспечивает субпиксельную оценку совмещения фрагментов телевизионных изображений в окрестности реперных точек, что уменьшает погрешность проективного совмещения. Разработанный алгоритм предназначен для автоматического совмещения телевизионных сигналов систем технического зрения промышленного назначения, в частности для авиационной техники и систем безопасности.

**Ключевые слова:** проективное совмещение, телевизионный сигнал, RANSAC, техническое зрение, реперная точка, особая точка, Lucas-Kanade, субпиксельная оценка

### Введение

Совмещение телевизионных сигналов играет важную роль в системах технического зрения. Данная задача решается при детектировании и распознавании объектов, оценке положения в пространстве (реконструкция трехмерного изображения), повышении качества изображения, уменьшении объема хранимых данных и т. д.

Одной из задач в системах промышленного зрения является восстановление информации телевизионного изображения. Это достигается за счет совмещения сигналов, полученных от измерительных систем различного спектрального диапазона (например, тепловизионного и телевизионного сигнала); совмещения сигналов системы, полученных в разные моменты времени; совмещения сигналов, полученных от многокамерной системы и работающих под разными ракурсами [8].

Примерами подобных систем являются авиационные системы, системы обзорного видео вагонов-путеизмерителей на железной дороге, системы безопасности. Основное требование, предъявляемое к алгоритмам обработки, – это низкая вероятность ошибки совмещения, чтобы неверное совмещение не искажало реальной информации и не оказывало негативного влияния на действие оператора.

Для выполнения данного требования по возможности системы видеорегистрации жестко фиксируют друг относительно друга, после чего проводят оценку параметров совмещения.

Использование рассчитанных параметров совмещения обеспечивает приемлемый результат (совмещение с постоянными параметрами).

В статье рассматривается задача оценки параметров проективного совмещения в автоматическом режиме, позволяющая объединять изображения различных видеосистем (расчет постоянных параметров совмещения). А для повышения качества совмещения предложена процедура, уменьшающая погрешности совмещения, возникающие в ходе динамического воздействия (вибрации).

### Обзор существующих работ

Вопросом оценки параметров проективного совмещения занимались различные исследователи, также ими рассматривалась проблема, связанная с сопоставлением реперных точек совмещаемых изображений.

В [1] предлагается способ двухэтапной обработки. На первом этапе выделяются информативная область изображения и особые точки на ней. По найденным парам реперных точек оценивается «приближенное проективное преобразование», которое уточняется на втором этапе с использованием триангуляции Делонге. Недостаток данной работы заключается в сильных ограничениях, накладываемых на входные изображения: относительное смещение между реперными точками не превышает 1 % от размеров самого изображения. Данное ограничение характерно для очень ограниченного числа задач.

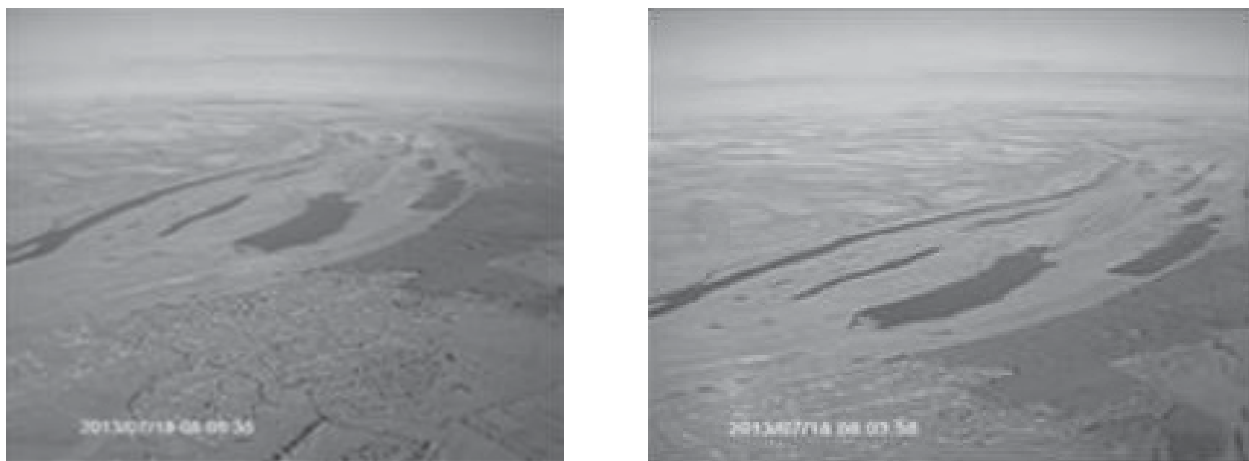


Рисунок 1. Изображение подстилающей поверхности в различные моменты времени

В [2; 4] предлагается способ совмещения на основе метода RANSAC. Суть работы заключается в предварительном выделении контура с реперными точками в ней. Перебирая различные варианты сопоставления 4 точек на обоих изображениях, вычисляется метрика – количество совпадений контурных точек. Максимум метрики будет соответствовать оценке параметров проективного преобразования. Также в данной работе предлагается процедура улучшения результатов на основании отбрасывания случайной пары реперных точек. Недостатком данного способа является сложность распознавания базового контура с реперными точками, от которого зависит последующая обработка.

Методы, основанные на сопоставлении особых точек на основании детекторов SIFT [6] и SURF [5], могут быть использованы только в случае разработки специальной процедуры валидации, которая определит правильность сопоставления точек. В противном случае параметры будут оценены неверно.

Идея предлагаемого способа заключается в следующем: предварительное распознавание реперных точек (для этой цели используется детектор Харриса [9]), удаление неинформативных точек, сопоставление точки и одновременно вычисление преобразования методом RANSAC. Эффект достигается за счет использования информативных точек. При наличии большого числа реперных точек возрастает вероятность неверной оценки параметров проективного совмещения. Удаление неинформативных точек ведет к повышению вероятности верной оценки параметров.

### Описание предлагаемого способа

Проективные преобразования [7] определяются следующей формулой:

$$\begin{aligned} x &= \frac{h_{11}x' + h_{12}y' + h_{13}}{h_{31}x' + h_{32}y' + 1}, \\ y &= \frac{h_{21}x' + h_{22}y' + h_{23}}{h_{31}x' + h_{32}y' + 1} \end{aligned} \quad (1)$$

или в матричной форме в однородных координатах:

$$\begin{pmatrix} \lambda_x \\ \lambda_y \\ \lambda \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

В (1)–(2) присутствует восемь неизвестных параметров. Соответственно, необходимо иметь четыре точки на двух изображениях, чтобы оценить эти параметры. Если количество точек более четырех, то для получения решения рекомендуется использовать метод наименьших квадратов [7]. Подробный вывод формул для оценки параметров представлен в работе [4].

Для иллюстрации работы алгоритма рассмотрим следующий пример (см. рисунок 1).

На рисунке 1 представлены кадры с изображениями подстилающей поверхности, полученные с борта летательного аппарата в различные моменты времени. Отчетливо видно, что за промежуток времени между съемками кадров значительно поменялся ракурс. Это привело к проективным изображениям.

Задачей, которая ставится в исследовании, является оценка параметров проективного преобразования для совмещения двух изображений.

Для оценки параметров будут использованы реперные точки (в англоязычной литературе их также называют interest point, feature point). В работе для этой цели применялся детектор Harris [9]. Количество реперных точек зависит от порога, устанавливаемого разработчиком. При выборе малого порога количество точек будет велико. С увеличением порога количество

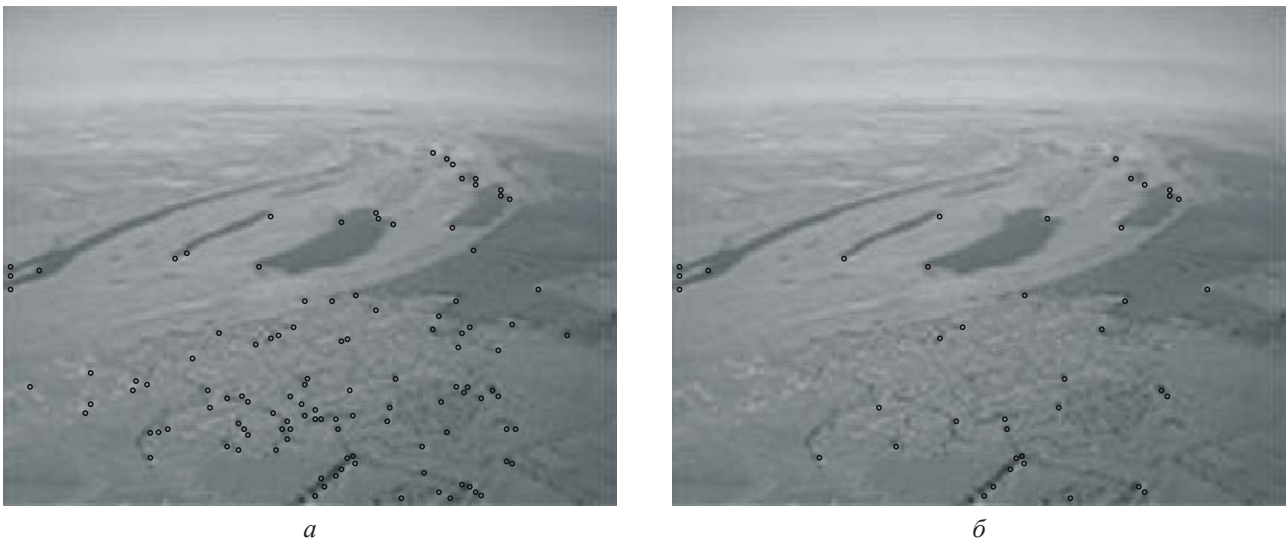


Рисунок 2. Изображение с реперными точками: *a* – до удаления неинформативных точек; *б* – после удаления неинформативных точек

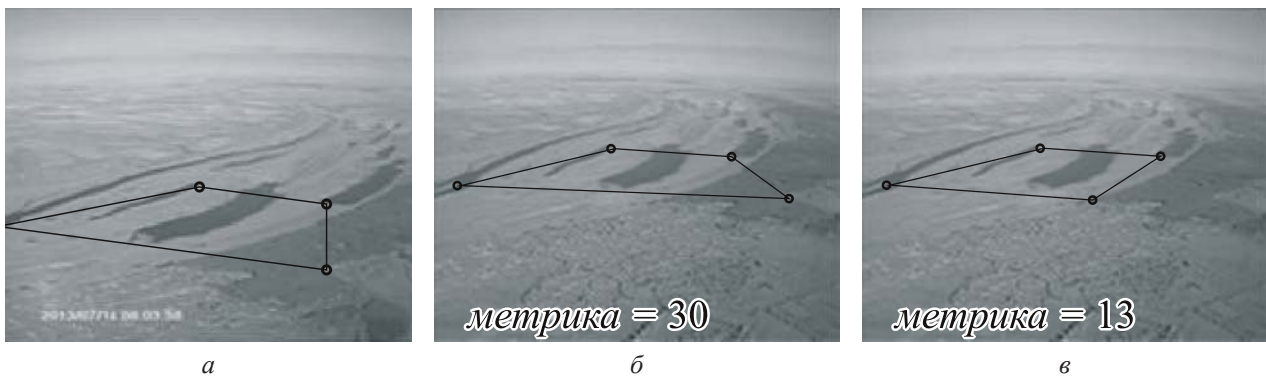


Рисунок 3. Примеры проективного совмещения: *a* – исходное изображение; *б* – верный выбор точек; *в* – неверный выбор точек на совмещаемом изображении

точек будет уменьшаться. Величина порога фактически определяет «информативность» точки – ее возможности детектируемости на фоне шума.

Точки с «низкой информативностью» фактически являются помехами для задачи сопоставления точек между изображениями, которые могут вести к неверному принятию решения. Чтобы удалить такие точки, предлагается использование наиболее информативных точек. Процедура их определения следующая. Первоначально выбирается малое значение порога, которое гарантирует распознавание большого числа точек. У каждой точки есть параметр, который сравнивается с порогом. Точки сортируются в соответствии с этим параметром.  $N$  точек с наибольшим значением параметра являются наиболее информативными и будут использованы на следующем этапе обработки (примечание: в представленном примере  $N = 40$ ).

На рисунке 2 показан пример обработки изображения. Первоначальное количество реперных точек равнялось 118, и многие из них были распознаны на практически однородных по яркости

областях изображения. После удаления неинформативных точек на однородных по яркости областях практически отсутствуют реперные точки.

После удаления неинформативных точек проводятся сопоставление точек и одновременное вычисление параметров проективного преобразования по методу RANSAC [3].

На первом изображении выбирается случайным образом четыре точки. На втором изображении формируются все возможные сочетания из имеющихся точек, то есть в рассматриваемом примере  $C_N^4$ . Каждому такому сочетанию будут соответствовать свои параметры проективного совмещения.

В случае если преобразование правильное, то будет наблюдаться значительное совпадение реперных точек. В случае если преобразование неверное, то число совпадений будет мало. Число совпадений реперных точек используется в качестве метрики для выбора преобразования.

На рисунке 3 представлены примеры верного и неверного преобразования с указанием метрики.



Рисунок 4. Блок-схема разработанного алгоритма

Как можно видеть из рисунка 3, наибольшее значение метрики соответствует верному совмещению изображений.

### Повышение точности совмещения с использованием алгоритма Lucas-Kanade

В ходе эксплуатации происходит динамическое воздействие (вибрация) на измерительные системы. Это приводит к небольшим искажениям, которые можно устранить прецизионным совмещением. Для этой цели на изображении распознаются реперные точки, в окрестности которых вычисляются плоскопараллельные смещения по алгоритму Lukas-Kanade [10].

Математически алгоритм Lukas-Kanade описывается следующим образом:

$$I(x_i, y_i) = S(x_i, y_i) + k(x_i, y_i),$$

$$J(x_i, y_i) = S(x_i + h, y_i + p) + m(x_i, y_i),$$

где  $I(x_i, y_i)$ ,  $J(x_i, y_i)$  – совмещаемые изображения;  $h, p$  – смещения вдоль оси  $x$  и  $y$  соответственно;  $k(x_i, y_i)$ ,  $m(x_i, y_i)$  – реализации шума;  $S(x_i, y_i)$  – эталонный сигнал.

Решение получается путем разложения функции  $I(x_i, y_i)$  в ряд Тейлора в точке  $(x_i + h, y_i + p)$ . Параметры  $h$  и  $p$  будут являться корнями системы линейных уравнений:

$$\begin{cases} A_{11}h + A_{12}p = B_1, \\ A_{12}h + A_{22}p = B_2, \end{cases}$$

где

$$A_{11} = \sum_i W^2(x_i, y_i); \quad A_{22} = \sum_i Z^2(x_i, y_i);$$

$$A_{12} = A_{21} = \sum_i W(x_i, y_i)Z(x_i, y_i),$$

$$B_1 = -\sum_i (I(x_i, y_i)W(x_i, y_i) - J(x_i, y_i)Z(x_i, y_i)),$$

$$B_2 = -\sum_i (I(x_i, y_i)Z(x_i, y_i) - W(x_i, y_i) - J(x_i, y_i)W(x_i, y_i)),$$

а также

$$W(xy) = \frac{I(x_{i+1}, y_i) - I(x_i, y_i)}{x_{i+1} - x_i},$$

$$Z(xy) = \frac{I(x_i, y_{i+1}) - I(x_i, y_i)}{y_{i+1} - y_i}.$$

После оценки смещений проводится повторный расчет параметров преобразования. Такой способ повышения точности совмещения может быть использован для многокамерных систем, получающих изображения в одном и том же спектральном диапазоне.

### Итоговый алгоритм

На рисунке 4 показана блок-схема разработанного алгоритма.

### Результаты апробации

На рисунке 5 представлены результаты совмещения изображений телевизионной камеры и телевизионной камеры, установленной на

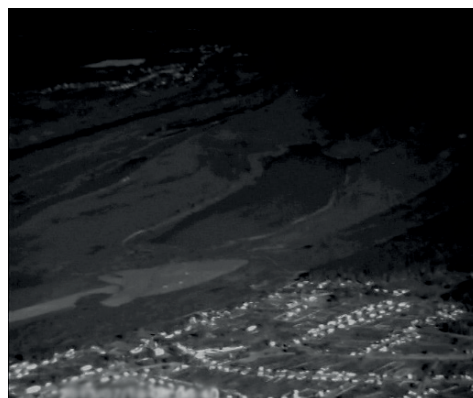
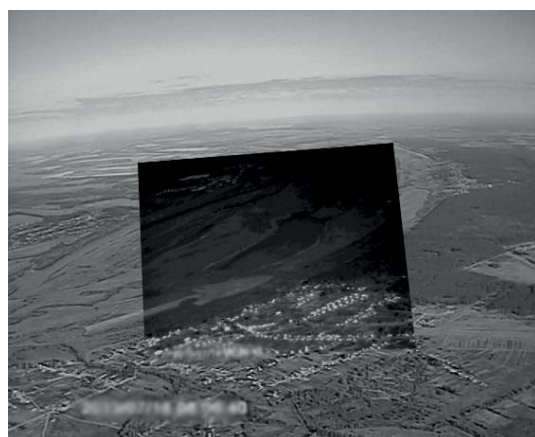
*a**б**в*

Рисунок 5. Совмещение изображений подстилающей поверхности: *a* – изображение телевизионной системы; *б* – изображение тепловизионной системы; *в* – результаты совмещения

*a**б**в*

Рисунок 6. Совмещение изображений многокамерной системы: *a* – изображение телевизионной системы с первой камеры; *б* – изображение телевизионной системы со второй камеры; *в* – результат совмещения

летательном аппарате. Такое совмещение данных позволяет восстановить информацию в том случае, если телевизионная камера не может фиксировать изображение из-за тумана или облачности.

На рисунке 6 представлены результаты совмещения изображений многокамерной системы видеонаблюдения для обеспечения безопасности охраняемого периметра. Такое совмещение позволяет формировать изображение в одном окне оператора и уменьшить объем сохраняемых данных за счет удаления дублирующей информации, содержащейся в одинаковых фрагментах совмещаемых изображений.

### Заключение

В статье представлен алгоритм проективного совмещения телевизионных сигналов методом RANSAC для промышленных систем технического зрения.

По сравнению с существующими алгоритмами проективного совмещения разработанный алгоритм обладает следующими достоинствами:

- ограничение на искажение совмещаемых изображений в значительной степени меньше, чем в алгоритме [1];
- нет необходимости распознавания замкнутого базового контура с реперными точками, как в алгоритме [2; 4];
- использование алгоритма RANSAC позволяет валидировать сопоставление реперных точек без использования специальных процедур проверки, как в алгоритмах [5; 6].

### Литература

1. Гошин Е.В., Котов А.П., Фурсов В.А. Двухэтапное формирование пространственного преобразования для совмещения изображений // Компьютерная оптика. 2014. Т. 38, № 4. С. 886–891.
2. The contour analysis and image superimposition problem in computer vision systems / A.I. Novikov [et al.] // Pattern Recognition

- and Image Analysis. 2015. Vol. 25, no. 1. P. 73–80. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1054661815020194>
3. Hast A., Nysjö J., Marchetti A. Optimal RANSAC – Towards a repeatable algorithm for finding the optimal set // Journal of WSCG. 2013. Vol. 21, no. 1. P. 21–30.
4. Ефимов А.И., Новиков А.И. Алгоритм поэтапного уточнения проективного преобразования для совмещения изображений // Компьютерная оптика. 2016. Т. 40, № 2. С. 258–265. DOI: <https://doi.org/10.18287/2412-6179-2016-40-2-258-265>
5. Nonrigid image registration using free-form deformations with a local rigidity constraint / D. Loeckx [et al.] // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention–MICCAI 2004, Springer Berlin Heidelberg. 2004. P. 639–646.
6. Ke Y., Sukthankar R. PCA-SIFT: A more distinctive representation for local image descriptors // Computer Vision and Pattern Recognition. 2004. Vol. 2. P. 506–513.
7. Цифровая обработка изображений в информационных системах / И.С. Грузман [и др.]. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. 351 с.
8. Измерение характеристик и оценка возможностей видеокамер со сверхширокоугольной оптикой / О.Л. Куляс [и др.] // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2020. Т. 23, № 1. С. 89–99. DOI: <https://doi.org/10.18469/1810-3189.2020.23.1.89-99>
9. Harris C., Stephens M. A combined corner and edge detector // Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference. 1988. P. 147–151.
10. Lucas B., Kanade T. An iterative image registration technique with an application // Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'81). 1981. Vol. 2. P. 674–679.

Получено 28.10.2020

**Диязитдинова Альфия Асхатовна**, начальник научно-исследовательского отдела Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. 443010, Российская Федерация, г. Самара, ул. Л. Толстого, 23. Тел. +7 846 339-11-09. E-mail: [a.miftahova@psuti.ru](mailto:a.miftahova@psuti.ru)

## HOMOGRAPHY SUPERPOSITION OF TELEVISION SIGNALS BY RANSAC FOR COMMERCIAL MACHINE VISION

*Diyazitdinova A.A.*

*Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation  
E-mail: [a.miftahova@psuti.ru](mailto:a.miftahova@psuti.ru)*

The superposition of television signals is a topical issue that is considered in the computer vision systems when locating and recognizing objects, as well as to increase the image quality and decrease the volume of stored data. The article shows the algorithm of the homography superposition of television signals by RANSAC. The developed algorithm includes the following: interest point recognition, a point's matching between input images by RANSAC and estimation of homography parameters. The optimal additional step is the superposition by the Lucas-Kanade method. This method allows us to estimate subpixel offset in the neighborhood area of interest point and decrease the error of superposition. The developed algorithm is intended to automate television signals superposition of computer vision systems, especially for the aviation equipment and security systems.

**Keywords:** *homography, superposition, television, RANSAC, machine vision, feature point, interest point, Lukas-Kanade, subpixel*

**DOI:** 10.18469/ikt.2020.18.4.08

**Diyazitdinova Alfiya Askhatovna**, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23, L. Tolstoy Street, Samara, 443090, Russian Federation; Head of the Research Department. Tel. +7 846 339-11-09. E-mail: a.miftahova@psuti.ru

## References

1. Goshin E.V., Kotov A.P., Fursov V.A. Two-step spatial transform shaping to align images. *Komp'yuternaya optika*, 2014, vol. 38, no. 4, pp. 886–891. (In Russ.)
2. Novikov A.I. et al. The contour analysis and image superimposition problem in computer vision systems. *Pattern Recognition and Image Analysis*, 2015, vol. 25, no. 1, pp. 73–80. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1054661815020194>
3. Hast A., Nysjö J., Marchetti A. Optimal RANSAC – Towards a repeatable algorithm for finding the optimal set. *Journal of WSCG*, 2013, vol. 21, no. 1, pp. 21–30.
4. Efimov A.I., Novikov A.I. Algorithm for the step-by-step refinement of the projective transformation for aligning images. *Komp'yuternaya optika*, 2016, vol. 40, no. 2, pp. 258–265. DOI: <https://doi.org/10.18287/2412-6179-2016-40-2-258-265> (In Russ.)
5. Nonrigid image registration using free-form deformations with a local rigidity constraint / D. Loeckx [et al]. *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention–MICCAI 2004*, Springer Berlin Heidelberg, 2004, pp. 639–646.
6. Ke Y., Sukthankar R. PCA-SIFT: A more distinctive representation for local image descriptors. *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2004, vol. 2, pp. 506–513.
7. Gruzman I.S. et al. *Digital Image Processing in Information Systems*. Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2002, 351 p. (In Russ.)
8. Kulyas O.L. et al. Measurement of characteristics and assessment of the capabilities of cameras with ultra-wide angle optics. *Physics of Wave Processes and Radio Systems*, 2020, vol. 23, no. 1, pp. 89–99. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.18469/1810-3189.2020.23.1.89-99>
9. Harris C., Stephens M. A combined corner and edge detector. *Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference*, 1988, pp. 147–151.
10. Lucas B., Kanade T. An iterative image registration technique with an application. *Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'81)*, 1981, vol. 2, pp. 674–679.

*Received 28.10.2020*