

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.932

АЛГОРИТМ ПОДАВЛЕНИЯ ДРОЖАНИЯ ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОГО АППАРАТА ПОИСКА И ВЫДЕЛЕНИЯ СОЗВЕЗДИЙ ОСОБЫХ ТОЧЕК

С. Н. Кириллов, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой РУС РГРТУ; kirillov.lab@gmail.com;

И. В. Косткин, к.т.н., доцент кафедры РУС РГРТУ; kost_vk@mail.ru;

А. В. Елютин, магистрант кафедры РУС РГРТУ; aleksei_elyutin@mail.ru

Рассматривается задача подавления артефакта дрожания кадров видеопоследовательности программными средствами. Целью данной работы является разработка алгоритма подавления дрожания видеопоследовательности для достижения наиболее комфортных условий зрительного восприятия, а также повышения эффективности работы кодеков сжатия видеоданных с преобразованной видеопоследовательностью.

Представлен программный алгоритм подавления дрожания кадра видеоданных, полученных со стационарных видеокамер. Алгоритм основан на аппарате выделения, сопоставления и анализа созвездия особых точек на кадрах видеозаписи. Доказано, что построение созвездий особых точек уменьшают вычислительные затраты алгоритма до 5 раз по сравнению с обычным методом детектирования особых точек. Проведены экспериментальные исследования разработанного алгоритма, результаты которого показывают снижение дрожания по горизонтали с 10 % до 0,3 % (относительно горизонтального размера изображения) и по вертикали с 9 % до 0,5 % (относительно вертикального размера изображения). Кроме этого, показано, что время, необходимое для сжатия обработанной видеопоследовательности кодеком стандарта H.264, снижается в 1,5 раза.

Ключевые слова: подавление дрожания, обработка видеоданных, особые точки, созвездие особых точек.

DOI: 10.21667/1995-4565-2016-57-3-88-93

Введение

Цифровые видеокамеры в последние годы получили широкое распространение в устройствах и системах гражданского и военного назначения. Среди таких устройств и систем можно выделить: охранные системы видеонаблюдения, системы получения видеоданных с беспилотных летательных и наземных аппаратов, профессиональные и любительские видеокамеры, устройства концепции «интернет вещей» и другие [1]. Зачастую особенности эксплуатации каждой из систем связаны с воздействием мешающих факторов. Мешающие факторы могут иметь разнообразные причины возникновения и по-разному проявляться на получаемых видеоданных [1]. В рамках данной работы рассматривается такой

мешающий фактор, как дрожание видеокамеры, приводящий к появлению артефакта дрожания кадра видеопоследовательности. Причиной появления данного артефакта является высокочастотное непреднамеренное смещение устройства получения видеоданных от запланированного положения, вследствие воздействия вибраций или ветра.

Смещение является незначительным относительно размеров получаемого изображения, однако приводит к резкому повышению подвижности всей сцены. Зрительный аппарат человека хорошо воспринимает движения отдельных объектов на видеозаписях, однако высокочастотные изменения сцены целиком оказываются мешающим фактором при просмотре видеозаписи [1]. Это является сильным раздражителем для

целевых пользователей видеоданных. Так, например, для операторов систем видеонаблюдения наличие дрожания кадра вызывает усталость, снижение внимания и как следствие ухудшение эффективности работы оператора.

Проявление дрожания кадра не только ухудшает восприятие видеоизображения, но и является причиной снижения эффективности работы кодеров видеoinформации. Многие современные кодеры видеоданных используют аппарат поиска и кодирования межкадровых различий [2]. Дрожание кадра вносит дополнительные межкадровые различия, увеличивая требуемое время на их поиск и снижая коэффициент сжатия. Следствием этого является повышение требований к алгоритмам кодирования, вычислительным устройствам, на которых они исполняются, и каналам передачи видеоданных.

Целью данной работы является разработка алгоритма подавления дрожания видеопоследовательности для достижения наиболее комфортных условий зрительного восприятия, а также повышения эффективности работы кодеков сжатия видеоданных с преобразованной видеопоследовательностью.

Теоретическая часть

Для минимизации дрожания видеоданных, получаемых со стационарных видеокамер, необходимо определить и минимизировать параметры смещения сцены. Для этого определяется модель глобальной трансформации кадра [3]. Подходом, выбранным с целью решения данной задачи, является применение аппарата вычисления особых точек изображения [4] в интересах формирования созвездий. Такой подход предполагает составление набора особых точек каждого кадра, вычисление уникального идентификатора каждой точки – дескриптора и сопоставление особых точек соседних кадров по их дескрипторам [4]. По сопоставленным особым точкам определяются пути их перемещения от кадра к кадру, и на этой основе делается вывод о параметрах смещения сцены [3].

Поиск особых точек изображений производится с помощью детектора блоб-структур «Fast-Hessian» [5] (рус. «Быстрый Гессиан»). Данный детектор основан на поиске локальных минимумов и максимумов определителя матрицы Гессе, вычисляемого для каждой точки обрабатываемого изображения.

Обозначим точку $x = i(x_k, y_k)$ как точку, принадлежащую исходному изображению i . Тогда матрица Гессе будет иметь вид:

$$H(x, \sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx}(x, \sigma) & L_{xy}(x, \sigma) \\ L_{yx}(x, \sigma) & L_{yy}(x, \sigma) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $L_{xx}(x, \sigma)$, $L_{xy}(x, \sigma) = L_{yx}(x, \sigma)$, $L_{yy}(x, \sigma)$ – свертки лапласианов (вторых производных двумерного фильтра Гаусса $g(s)$, где s – размер ядра) в вертикальном $\frac{\partial^2}{\partial x^2} g(\sigma)$, горизонтальном

$\frac{\partial^2}{\partial y^2} g(\sigma)$ направлениях и по диагонали

$\frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial}{\partial y} g(\sigma)$ с изображением в окрестности размером σ с центром в точке x .

Для ускорения вычислений окна вторых производных двумерного фильтра Гаусса заменены бокс-фильтрами соответствующего размера (рисунок 1), а свертка производится с интегральным изображением I в точке $X = I(x_k, y_k)$.

Свертки бокс-фильтров с интегральным изображением $D_{xx}(X, s)$, $D_{yy}(X, s)$, $D_{xy}(X, s)$ соответствуют сверткам лапласианов гауссиан с исходным изображением $L_{xx}(x, \sigma)$, $L_{yy}(x, \sigma)$, $L_{xy}(x, \sigma)$.

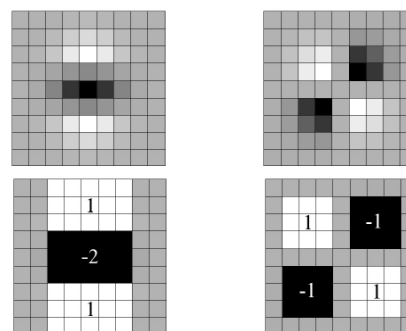


Рисунок 1 – Окна вторых производных гауссианов (сверху) и соответствующие им бокс-фильтры (снизу)

Бокс-фильтры представляют собой грубые аппроксимации окон вторых производных гауссовского фильтра, поэтому для компенсации ошибки аппроксимации вводится весовой коэффициент:

$$\omega = \frac{|L_{xy}(\sigma)|_F |D_{yy}(s)|_F}{|L_{xy}(\sigma)|_F |D_{xy}(s)|_F}, \quad (2)$$

где s – размер бокс-фильтра, соответствующего лапласиану гауссиана с ядром σ , $\|x\|_F$ – норма Фробениуса. Этот коэффициент остается неизменным для гауссианов с большими размерами ядра и соответствующих им бокс-фильтров.

Аппроксимированный определитель матрицы Гессе будет иметь следующий вид:

$$\det(H_{approx.}) = D_{xx}D_{yy} - (\omega D_{xy})^2. \quad (3)$$

Если модуль аппроксимированного определителя матрицы Гессе превосходит заданное пороговое значение, то данная точка считается особой для текущего изображения.

Для определения особенностей различного размера в детекторе Fast-Hessian используются кратно-масштабные преобразования. В отличие от LoG и DoG детекторов [6, 7], в данном случае не используется преобразование всего исходного изображения. Использование интегрального представления изображения и бокс-фильтров дает возможность, не меняя размеров изображения, применять фильтры разного размера (рисунок 2), что снижает вычислительные затраты.

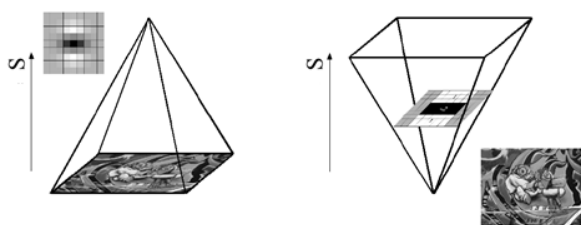


Рисунок 2 – Изменение масштаба изображения (слева) и бокс-фильтра (справа), где S – масштаб фильтра

Масштабное пространство фильтров разделяется на октавы, каждая из которых представляет собой набор фильтров увеличивающегося масштаба (рисунок 3) [7, 8].

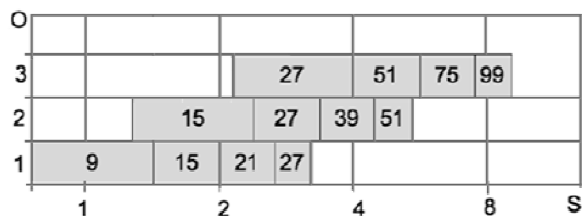


Рисунок 3 – Графическое представление размеров фильтров трех октав, где O – номер октавы, S – масштаб фильтра

Увеличение масштаба фильтров происходит в два раза больше, чем в предыдущей октаве (рисунок 4).

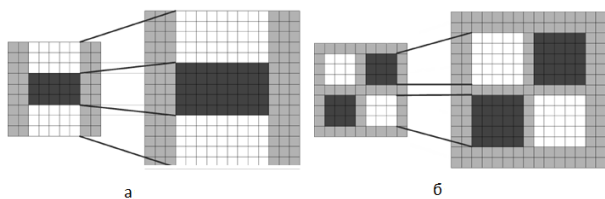


Рисунок 4 – Фильтры, соответствующие вторым производным гауссиан в вертикальном (а) и диагональном (б) направлениях с размерами 9x9 и 15x15

Каждая октава разделена на фиксированное количество фильтров. Чтобы сохранить центральную точку фильтра, необходимо увеличивать каждую его сторону как минимум на 2.

Ускорение алгоритма поиска особых точек с использованием аппарата созвездий

Видеоданные содержат большое количество избыточной информации, так как от кадра к кадру происходят незначительные изменения сцены (за исключением полной смены сцены). При наличии дрожания видеопоследовательности происходит быстрое изменение сцены, которое, как правило, имеет небольшую амплитуду смещения относительно ширины и высоты кадра. На основе этого имеется возможность использовать информацию о точечных особенностях из ранее обработанной последовательности кадров. Среди априорно известных параметров при применении процедуры детектирования к поступившему в обработку кадру следует выделить:

- координаты центра области поиска точечных особенностей изображения;
- размер фильтра, с помощью которого, возможно, будет найдена особая точка в области поиска;
- размер области поиска с учётом размера фильтра.

В интересах экономии вычислительных ресурсов в разработанном алгоритме подавления дрожания применяется метод детектирования особых точек, основанный на описанных выше априорных сведениях. Для этого используется процедура построения созвездий особых точек.

1. Производится выбор некоторого количества из всего набора обнаруженных особых точек i -го кадра, образующих созвездие.

2. Осуществляется поиск особой точки кадра $(i+1)$, соответствующей первой точке имеющегося созвездия вблизи координат этой точки.

3. Уточняются координаты для всех последующих точек созвездия, каждая вершина которого будет являться центром области поиска соответствующих особенностей на кадре $(i+1)$.

4. Вводятся повышенные пороговые значения при вычислении гессианов, так как в сопоставлении участвует ограниченное число особых точек. Это позволяет повысить надежность детектирования особых точек с точки зрения критерия повторяемости [6]. Детектирование особенностей, претендующих на соответствие, производится локально и с известным размером бокс-фильтров, то есть без применения в детекторе кратно-масштабных преобразований.

5. Производится проверка на соответствие

особых точек, принадлежащих созвездию i -го кадра и особых точек, обнаруженных внутри областей поиска $(i+1)$ -го кадра.

Проверка на соответствие выполняется с использованием дескрипторов SURF (Speeded-Up Robust Features) [5]. Построение SURF дескрипторов особых точек изображения осуществляется на выделенном регионе, имеющем размер $20s$, где s – размер бокс-фильтра, с помощью которого получена особая точка.

Дескриптор каждой особой точки представляет собой сумму откликов горизонтального и вертикального вейвлетов Хаара. Также для учета информации об изменении интенсивности рассчитываются суммы абсолютных значений откликов в каждом направлении (рисунок 5). Таким образом, для каждого региона дескриптор будет представляться 64-мя значениями.

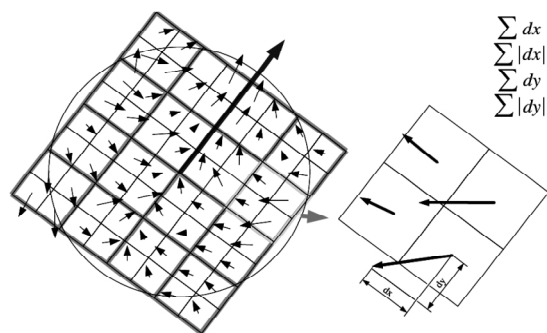


Рисунок 5 – Суммы откликов вейвлетов Хаара для региона (слева) и для субрегиона (справа)

6. По сопоставленным парам особых точек i -го и $(i+1)$ -го кадров определяется модель трансформации кадра для четырех степеней свободы: масштабирование, поворот и смещение в вертикальном и горизонтальном направлениях (модель SRT – scaling, rotation, translation) [9] в виде матрицы:

$$T_{SRT} = \begin{bmatrix} s \cdot \cos(\Theta) & -s \cdot \sin(\Theta) & \Delta_x \\ s \cdot \sin(\Theta) & s \cdot \cos(\Theta) & \Delta_y \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где s – масштаб, Θ – угол поворота, Δ_x – смещение по горизонтальной оси, Δ_y – смещение по вертикальной оси. Полученная матрица преобразования используется для трансформации кадра.

7. Набор точек $(i+1)$ -го кадра, соответствующих особым точкам созвездия i -го кадра, заменяет собой набор точек, составляющих созвездие i -го кадра.

Если данного количества сопоставленных точек недостаточно для обновления созвездия, производится детектирование особых точек на

всем кадре, поступившем в обработку, и из их числа составляется новое созвездие.

Экспериментальная часть

Экспериментальные исследования производились на цифровых видеоданных с сильно заметным эффектом дрожания, в градации серого [0...255] с разрешением 640x480 точек.

Результат обнаружения особых точек с использованием построения созвездий особых точек иллюстрирует рисунок 6.

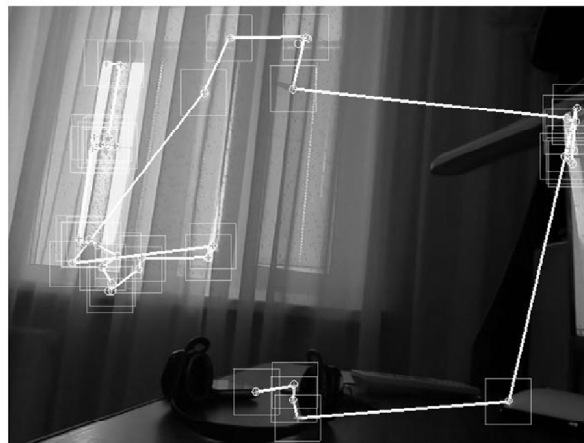


Рисунок 6 – Результат обнаружения особых точек с использованием построения созвездий особых точек

Эффективность применения алгоритма построения созвездий оценивалась исходя из числа вычислений Гессияна на кадре, полученном из тестовой видеопоследовательности с дрожанием. При одинаковом числе сопоставленных особых точек число вычислений Гессияна сократилось в 3 раза по сравнению с прямым детектированием на всем изображении.

Результат работы алгоритма устранения дрожания [10, 11] иллюстрируют зависимости суммарных смещений кадра S от номера текущего кадра N в горизонтальном (рисунок 7) и вертикальном направлениях (рисунок 8), относительно горизонтального и вертикального размеров изображения соответственно.

Экспериментальные исследования показывают, что после работы предложенного программного алгоритма устранения дрожания суммарное смещение кадров исследуемых видеозаписей значительно снизилось. По горизонтали с 10 % до 0,3 % (относительно горизонтального размера изображения) и по вертикали с 9 % до 0,5 % (относительно вертикального размера изображения) [8].

Оценка повышения эффективности сжатия видеозаписей при применении алгоритма подавления дрожания кадра производилась для набора

тестовых видеозаписей. В качестве кодека был использован MPEG-4 Part 10 (H.264), базирующийся на использовании векторов перемещения областей кадра для предсказания изменений в изображении [2]. Кодеки стандарта H.264 обеспечивают значительный коэффициент сжатия, поэтому не следовало ожидать заметного его приращения при использовании алгоритма подавления дрожания. Однако скорость работы кодека значительно увеличивается. Снижение времени, затрачиваемого на кодирование и декодирование видеозаписей, снизилось в среднем в 1,5 раза.

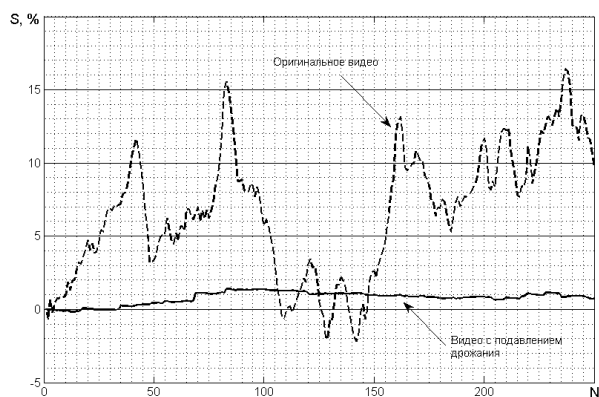


Рисунок 7 – Суммарное смещение кадра до и после работы алгоритма подавления дрожания в горизонтальном направлении

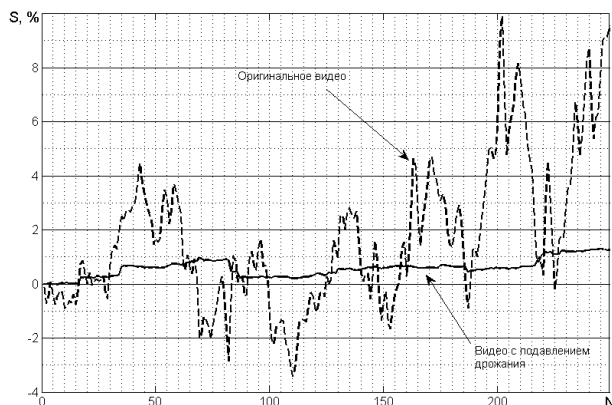


Рисунок 8 – Суммарное смещение кадра до и после работы алгоритма подавления дрожания в вертикальном направлении

Заключение

Представлен программный алгоритм подавления дрожания кадра видеоданных, полученных со стационарных видеокамер. Алгоритм основан на аппарате выделения и сопоставления особых точек кадров видеозаписи, а также по-

строения созвездий особых точек для ускорения поиска соответствий на последующих кадрах. Проведены экспериментальные исследования работы алгоритма, результаты показывают снижение дрожания в горизонтальной плоскости – с 10 % до 0,3 %, в вертикальной плоскости – с 9 % до 0,5 %, снижение времени работы кодека стандарта H.264 до 1,5 раз.

Библиографический список

1. Стрельников К. Методы подавления дрожания кадра в видео. Компьютерная графика и мультимедиа // Выпуск № 4(1) / 2006.
2. Компания Security Focus (Секьюрити Фокус) Суэта вокруг кодека. Правда и домыслы о "чудесном" H.264 [Электронный ресурс] // URL: <http://www.secnews.ru/articles/13219.htm#axzz469P0MtxL> (дата обращения: 01.03.2016).
3. Конушин А. Слежение за точечными особенностями сцены (Point feature tracking) // Компьютерная графика и мультимедиа. Выпуск № 1(5). 2003.
4. Стротов В. В. Сравнение двух структурных алгоритмов оценки параметров геометрических преобразований изображений // Цифровая Обработка Сигналов. 2013. № 3. С. 21-25.
5. Bay H., Tuytelaars T., van Gool L. SURF: Speeded Up Robust Features // Proceedings of the 9th European Conference on Computer Vision, Springer LNCS vol 3951, part 1. 2006. pp. 404–417.
6. Mikolajczyk K., Schmid C. An affine invariant interest point detector // In Proceedings of the 8th International Conference on Computer Vision, Vancouver, Canada. 2002.
7. Lindeberg T. Scale-space. // In Wah, Benjamin. Encyclopedia of Computer Science and Engineering IV. John Wiley and Sons (2008). pp. 2495–2504.
8. Lindeberg T. Scale invariant feature transform // Scholarpedia, 7(5):10491. 2012.
9. Aguilar W.G., Angulo C. Real-time video stabilization without phantom movements for micro aerial vehicles // EURASIP Journal on Image and Video Processing. 2014.
10. Косткин И. В., Елютин А. В. Метод математической обработки видеоданных с целью устранения дрожания кадра // 3. XXVII Международная научно-техническая конференция «Математические методы в технике и технологиях» (ММТТ-28) г. Рязань, РГРТУ, 2015, материалы конференции. С. 113-115.
11. Елютин А. В. Программный алгоритм устранения дрожания видеоизображения // XX Всероссийская научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов (НИТ-2015) г. Рязань, РГРТУ, 2015 г., материалы конференции. С. 123-124.

UDC 004.932

THE ALGORITHM OF VIDEO SEQUENCE SHAKE SUPPRESSION USING MODIFIED TOOL FOR SEARCH AND EXTRACTION OF FEATURE POINTS CONSTELLATIONS

S. N. Kirillov, PhD (technical sciences), Full Professor. Head of radio control and communications department, RSREU, Ryazan, kirillov.lab@gmail.com;

I. V. Kostkin, PhD (technical sciences), Associate Professor of radio control and communications department, RSREU, Ryazan, kost_vk@mail.ru;

A. V. Elyutin, Undergraduate student of radio control and communications department, RSREU, Ryazan, aleksei_elyutin@mail.ru

The problem of video frame shake suppression using software resources is considered in this paper. The purpose of this paper is to develop software algorithm of video sequence shake suppression to achieve the most comfortable conditions of visual perception, and to improve the efficiency of video compression codec-converted video sequence.

Software algorithm for video frame sequence from static cameras is presented. The algorithm is based on the tool of selection, comparison and analysis feature points of video frames. It's proved that construction of feature points constellations decreases computing costs to 5 times in comparison with common feature points detection method.

Experimental researches of developed algorithm are presented. They show results of frame shaking decrease by 10% to 0.3% horizontally (relative to the horizontal size of the image) and by 9% to 0.5% vertically (relative to the vertical size of the image). Moreover it is presented that time used for enhanced video compression by H.264 video codecs 1.5 times decreases.

Key words: video shake suppression, video processing, feature points, constellation of feature points.

DOI: 10.21667/1995-4565-2016-57-3-88-93

References

1. **Strel'nikov K.** Metody podavleniya drozhaniya kadra v video. *Komp'yuternaya grafika i mul'timedia*. issue 4(1) / 2006 (in Russian).
2. **Security Focus Company** Sueta vokrug kodeka. Pravda i domysly o "chudesnom" H.264 (Fuss about the codec. The truth and speculation about the "miraculous" H. 264) // the web-resource : <http://www.secnews.ru/articles/13219.htm#axzz469P0MtxL>, usage date: 01.03.1. (in Russian).
3. **Konushin A.** Slezhenie za tochechnymi osobennostyami sceny. *Komp'yuternaya grafika i mul'timedia*. Issue 1(5) / 2003 (in Russian).
4. **Strotov V. V.** Sravnenie dvukh strukturnykh algoritmov otsenki parametrov geometricheskikh preobrazovaniy izobrazheniy. *Cifrovaya Obrabotka Signalov*. 2013, no. 3, pp. 21-25 (in Russian).
5. **Bay H., Tuytelaars T., van Gool L.** SURF: Speeded Up Robust Features // Proceedings of the 9th European Conference on Computer Vision, Springer LNCS. 2006, vol. 3951, part 1, pp. 404-417.
6. **Mikolajczyk K., Schmid C.** An affine invariant interest point detector // In Proceedings of the 8th International Conference on Computer Vision, Vancouver, Canada, 2002.
7. **Lindeberg T.** Scale-space // In Wah, Benjamin. Encyclopedia of Computer Science and Engineering IV. John Wiley and Sons (2008), pp. 2495-2504.
8. **Lindeberg T.** Scale invariant feature transform // Scholarpedia, 7(5):10491, 2012.
9. **Aguilar W. G., Angulo C.** Real-time video stabilization without phantom movements for micro aerial vehicles // EURASIP Journal on Image and Video Processing, 2014.
10. **Kostkin I. V., Elyutin A. V.** Metod matematicheskoy obrabotki videodannykh s cel'yu ustraneniya drozhaniya kadra (The mathematical method of processing video data in order to eliminate the frame shaking) // XXVII International scientific and technical Conference « Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyah » (MMTT-28) Ryazan, RSREU, 2015, conference materials, pp. 113-115 (in Russian).
11. **Elyutin A. V.** Programmnyj algoritm ustraneniya drozhaniya videoizobrazheniya (The software algorithm to eliminate video shaking) // XX All-Russia scientific-technical conference of students, young scientists and specialists «Novie informacionnye tekhnologii v nauchnykh issledovaniyakh» (NIT-2015) Ryazan, RSREU, 2015, conference materials, pp. 123-124 (in Russian).