

Компаративный анализ основных методов фильтрации кадров для повышения спектрального разрешения видеопотока

А.Ф. Сальников¹, К.В. Иванова¹, Н.И. Меркулова²

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет,

¹14990, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29, Россия,

²Воронежский институт МВД России,

²394065, г. Воронеж, пр. Патриотов, 53, Россия

Резюме. Цель. В настоящее время актуальной является задача повышения спектральной разрешимости видеопотока с использованием современных методов фильтрации кадров. В работе рассмотрены и проанализированы различные методы фильтрации кадров, проведен их детальный сравнительный анализ. Полученные данные способствуют дальнейшей разработке различных материалов по повышению спектрального разрешения видеопотока. **Метод.** В научной литературе разработано большое количество различных подходов для повышения спектральной разрешимости видеопотока с использованием современных методов фильтрации кадров. В данной работе проанализированы самые основные: линейная пространственная фильтрация; нелинейная пространственная фильтрация; пространственно-частотная фильтрация; фильтрация с использованием Фурье-анализа; фильтрация на основе вейвлет-анализа. **Результат.** В ходе рассмотрения и сравнительного анализа методов фильтрации кадров были решены следующие задачи: проведена предварительная систематизация характеристик рассматриваемых методов с целью разработки новых алгоритмов и их реализации для улучшения качества изображения, увеличения детализации и четкости видеопотока; проанализированы различные методы фильтрации кадров, способствующие повышению спектральной разрешимости видеопотока, рассмотрено их влияние на качество видеоконтента; установлено, что для повышения спектральной разрешимости видеопотока необходимо использование комбинированного фильтра. Вышеперечисленные факты позволят в дальнейшем разработать методические рекомендации по повышению спектральной разрешимости видеопотока. **Вывод.** Рассмотренные подходы повышения спектральной разрешимости видеопотока с использованием современных методов фильтрации кадров являются предпочтительными при повышении спектральной разрешимости изображений, так как используют все положительные стороны линейной, нелинейной и пространственно-частотной фильтрации.

Ключевые слова: спектральное разрешение, моделирование, фильтрация кадров, видеопоток, процесс, анализ

Для цитирования: А.Ф. Сальников, К.В. Иванова, Н.И. Меркулова. Компаративный анализ основных методов фильтрации кадров для повышения спектрального разрешения видеопотока. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(3):145-153. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-3-145-153

Analysis of the main approaches to modeling management processes for special-purpose organizational and technical systems

A.F. Salnikov¹, K.V. Ivanova², N.I. Merkulova²

¹Perm National Research Polytechnic University,

¹114990, Perm, Komsomolsky Prospekt, 29, Russia,

²Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia,

²53 Patriotov Ave., Voronezh 394065, Russia

Abstract. Objective. Currently, the task of increasing the spectral solvability of a video stream using modern frame filtering methods is urgent. Various methods of frame filtering are

considered and analyzed in the work, and their detailed comparative analysis is carried out. The obtained data contribute to the further development of various materials to increase the spectral resolution of the video stream. **Method.** A large number of different approaches have been developed in the scientific literature to increase the spectral resolution of a video stream using modern frame filtering methods, and the most basic ones are analyzed in this paper: linear spatial filtering; nonlinear spatial filtering; spatial frequency filtering; filtering using Fourier analysis; filtering based on wavelet analysis. **Result.** A preliminary systematization of the characteristics of the methods under consideration has been carried out in order to develop new algorithms and implement them to improve image quality, increase detail and clarity of the video stream; various frame filtering methods have been analyzed, contributing to an increase in the spectral resolution of the video stream, and their impact on the quality of video content has been considered; during the analysis, it was found that in order to increase the spectral solvability of the video stream, it is necessary to use a combined filter. The above facts will allow us to further develop methodological recommendations for increasing the spectral solvability of the video stream. **Conclusion.** The considered approaches to increasing the spectral resolution of a video stream using modern frame filtering methods are preferable when increasing the spectral resolution of images, since they use all the positive aspects of linear, nonlinear and spatial frequency filtering.

Keywords: spectral resolution, modeling, frame filtering, video stream, process, analysis

For citation: A.F. Salnikov, K.V. Ivanova, N.I. Merkulova. Comparative analysis of the main frame filtering methods to increase the spectral resolution of the video stream. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(3):145-153. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-3-145-153.

Введение. Современный мир невозможно представить без различного рода видеотрансляций, и спрос на высококачественное видео с каждым годом только растет. Одним из ключевых факторов повышения качества видеопотока является спектральная разрешимость, которая определяет способность видеосистемы отображать различные частоты входного сигнала. В данной работе представлены и проанализированы различные методы фильтрации кадров, способствующие повышению спектрального разрешения видеопотока, рассмотрено их влияние на качество изображения видеоконтента.

Постановка задачи. Целью данной работы является проведение детального сравнительного анализа различных методов фильтрации кадров для повышения спектрального разрешения видеопотока.

Для достижения поставленной цели необходимо рассмотреть и проанализировать существующие методы и технологии для разработки новых алгоритмов и их реализацию с целью улучшения качества изображения, увеличения детализации и четкости видеопотока. Кроме того необходимым является рассмотрение и анализ методов фильтрации кадров и выбор наиболее эффективного подхода. Выше перечисленное позволит в дальнейшем разработать методические рекомендации по повышению спектральной разрешимости видеопотока.

Методы исследования. На сегодняшний день существует огромное количество методов фильтрации кадров, в данном исследовании остановимся на основных [1, 2]:

1. Линейная пространственная фильтрация.
2. Нелинейная пространственная фильтрация.
3. Пространственно-частотная фильтрация.
4. Фильтрация с использованием Фурье-анализа.
5. Фильтрация на основе вейвлет-анализа.

Далее рассмотрим каждый из методов подробнее. В нашей работе мы придерживаемся следующей дефиниции пространственной фильтрации.

Пространственная фильтрация – процесс, в котором каждый пиксель выходного изображения зависит от значений пикселей входного изображения в некоторой его окрестности. Для реализации пространственной фильтрации применяются фильтры

с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтры), которые часто реализуются в виде масок.

Линейная пространственная фильтрация. Представляет собой процесс преобразования кадров путем линейной свертки входного изображения. Выделение линейных операций в отдельный класс обосновано тем, что [3, 4]:

- 1) Многие физические механизмы формирования кадров линейны по своей природе;
- 2) Для исследования свойств линейных преобразований разработан удобный аппарат частотных передаточных функций;
- 3) Линейные алгоритмы просты и удобны для реализации на ЭВМ и в специализированных устройствах обработки сигналов.

Кадры могут повреждаться самыми разными способами: шум видеодатчиков, помехи при передачах через каналы связи и другие. Учитывая данные факты, линейная фильтрация использует маски, имеющие независимые от изображения коэффициенты, а обработка осуществляется на основе матриц подавления шумов, процедура которой, не вызывает смещения яркости изображения.

Одним из явных примеров такой фильтрации, использующий численную аппроксимацию процедуры двумерного дифференцирования является преобразование Собела. Данное преобразование осуществляется с помощью следующей маски [5]:

$$\begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ -2 & 15 & -2 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Преобразование Собела является знакопеременной функцией, что означает визуализацию в виде распределения модуля производной.

Другим примером могут послужить восемь процедур оценивания пространственных градиентов вдоль различных направлений. Так, значениями одной из процедур под названием «север» являются [5]:

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Результат таких процедур аналогичен преобразованию Собела.

Нелинейная пространственная фильтрация. Линейная фильтрация представляет собой эффективный метод обработки изображений, однако в некоторых случаях могут возникать другие типы помех.

Например, при наличии импульсного шума (отдельных точек с максимальной или минимальной яркостью, расположенных хаотически на изображении), использование линейных фильтров неэффективно [6]. Такая ситуация складывается из-за того, что каждый импульс на входе вызывает импульсный отклик на выходе фильтра, и их совокупность приводит к распространению помех на всю область изображения.

Такая проблема решается с использованием нелинейных фильтров. Возможности таких фильтров заключаются в определении позиции каждого импульса и замене их значениями фиксированной или случайной величины. В отличие от линейных фильтров в данном случае используются маски с зависимыми от изображения коэффициентами. Одним из таких примеров являются медианные фильтры, предложенные в 1971 году Джоном Тьюки. В медианной фильтрации используются эвристические методы обработки, которые основаны на математическом аппарате.

Основной идеей медианной фильтрации является использование двухмерного окна, последовательно обрабатывающего каждую точку кадра. Результатом является последовательность оценок. Конечно, обработка в различных пикселях кадра независима, однако в целях ускорения целесообразно применение преобразования Собела.

В качестве другого примера разберем преобразование Уоллиса. Данное преобразование является всего лишь обобщением статистического дифференцирования, позволяющим улучшить изображение:

$$g(i, j) = \frac{A\sigma_d}{A\sigma_d(i, j) + \sigma_d} (f(i, j) - \bar{f}(i, j)) + (am_d + (1 - a)f(i, j)), \quad (3)$$

где: $f(i, j)$, $\sigma(i, j)$ – среднее и среднеквадратичное отклонение, которые оцениваются в окне размера $(2L + 1) \times (2L + 1)$; m_d, σ_d – среднее и среднеквадратичное отклонение выходного изображения; a – коэффициент контрастирования границ из диапазона; A – коэффициент устранения выбросов.

Пространственно - частотная фильтрация. Предназначена для реставрации и улучшения кадров. Процесс записи видео не является идеальным и в результате происходит запись искаженной копии оригинала. Такое искажение возникает по многим причинам, включая размытие, нелинейность регистрирующей среды и наличие шумов [7].

Существует множество различных способов устранения данных недостатков, один из которых, пространственно-инвариантный линейный инверсный фильтр, заключающийся в ограничении полосы частот кадра:

$$h_{inv}(i, j) \oplus h(i, j) = \delta(i, j) = \begin{cases} 1, i = j \\ 0, i \neq j \end{cases} \quad (4)$$

Восстановление изображения с помощью инверсного фильтра приводит к тому, что полученное изображение содержит оригинальные данные и шум, возникающий при использовании инверсного фильтра.

Данная процедура не решает проблему краевых эффектов и пропусков в передаточной функции, которые могут возникнуть в рабочем диапазоне. Несмотря на то, что метод относительно прост в реализации, он обладает низкой помехоустойчивостью и ограниченностью классов для обработки кадров.

Фильтр Винера может эффективно решить проблему наличия нулей в передаточной функции формирующей системы в рабочем диапазоне частот. Он имеет свойство равняться нулю на частотах, где передаточная функция обращается в ноль. При снижении спектральной плотности мощности исходного изображения на высоких частотах, функция фильтра Винера также стремится к нулю, а при отсутствии шумов (на низких частотах) переходит в режим инверсного фильтрования.

Применение фильтра Винера, основанного на использовании спектральных характеристик кадра, исключает сингулярность, обусловленную наличием нулей передаточной функции. Это позволяет в разы повысить помехоустойчивость даже при наличии краевых эффектов, появляющихся в виде осциллирующей помехи.

Фильтрация Фурье. В теории сигналов и изображений широко используются энергетические характеристики. Тригонометрический ряд Фурье записывается в следующем виде [8]:

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n * \cos n\omega_1 t + b_n * \sin n\omega_1 t] \quad (5)$$

Для представления кадра в частотной области необходимо два вещественных спектра: амплитудный (c_n) и фазовый ($\phi_n = \arg c_n$).

Для получения спектрального представления кадра $x(t)$ необходимо рассмотреть предел при T , стремящемся к бесконечности.

При таком подходе угловая частота ($\omega_1 = 2\pi / T$) сходится к бесконечно малому приращению частоты ($d\omega$), а частота n -ой составляющей ряда $n\omega_1 t$ – к текущей частоте ω [9, 10]. Вместо операции суммирования возможно использование операции интегрирования, что позволяет получить следующее выражение [9]:

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{j\omega t} \left[\int_{t_1}^{t_2} x(t) e^{-j\omega t} dt \right] d\omega \quad (6)$$

Учитывая, что значения t_1 и t_2 неизвестны, определим внутренний интеграл:

$$X(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt \quad (7)$$

Исходя из установленного в выражении (7), запишем формулу (6) в следующем виде:

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} X(j\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (8)$$

Преобразования (7) и (8) являются парой преобразований Фурье, которые обеспечивают однозначное соответствие между временным представлением $x(t)$ кадра и его спектральным представлением $X(j\omega)$ в области частот.

Формула (8) описывает прямое преобразование Фурье, где функция $X(j\omega)$ представляет собой спектральную характеристику сигнала $x(t)$.

Кроме того формула (8) позволяет выполнить обратное преобразование и вычислить мгновенное значение кадра $x(t)$, если известна его спектральная характеристика $X(j\omega)$.

Ограничение преобразования Фурье приводит к необходимости использования более сложных методов анализа сигналов, таких как анализ спектрограммы, вейвлет-преобразование и другие методы многомасштабного анализа, которые позволяют анализировать локальные изменения в спектральной характеристике сигнала во времени.

Данная характеристика важна в области обработки видео- и аудиосигналов, где часто требуется анализировать быстро изменяющиеся сигналы с высокой временной и частотной разрешающей способностью.

Вейвлет – преобразования. В данном преобразовании функция $f(t)$ представляется в виде ряда из вейвлет-образующих функций, которые заменяют тригонометрические функции. Каждая функция в базисе характеризует конкретную частоту и временную локализацию. Вейвлет-образующие функции могут быть локализованы в определенной области аргумента, а в остальных областях они равны нулю или близки к нулю.

Данный факт позволяет использовать их для усиления интересующего нас эффекта в заданной области аргумента функции.

Вейвлет-коэффициенты функции $f(t)$ определяются с помощью интегральной свертки [10]:

$$W(a,b) = \frac{1}{a^k} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (9)$$

Вейвлет-коэффициенты $W(a,b)$ зависят от трех переменных, включая время процесса. Выбор аргументов a и b может быть изменен в зависимости от конкретного приложения. Для нестационарных процессов, например, a может быть выбрано равным t , который определяет период колебаний [11].

Результаты вычислительных расчетов вейвлет-функций W могут быть представлены в виде линий уровня на различных плоскостях, таких как (a,b) , (a,t) , (b,t) и других. Такое представление позволяет визуализировать зависимость коэффициентов от выбранных параметров и проанализировать поведение процесса в различных областях.

Вейвлеты представляют собой важный инструмент для анализа, обработки сигналов и изображений различной природы на нескольких масштабах. Концепция многомасштабного анализа состоит в том, чтобы изучать сигнал на разных уровнях детализации

и использовать вейвлет-анализ для выявления особенностей, характерных для каждого уровня, и эффективной фильтрации влияния других уровней [11].

Вейвлет-преобразование может быть использовано для различных операций с изображением, таких как сглаживание или подчеркивание некоторых деталей, изменение размера изображения, выделение ключевых особенностей и улучшение его качества.

Метод вейвлет-преобразования стал эффективным и надежным инструментом в областях, где ранее применялись другие методы анализа данных, включая преобразование Фурье.

Благодаря его эффективности и устойчивости к помехам, вейвлет-преобразование представляет собой мощный инструмент для обработки результатов. Его характерные особенности в частотно-временной области и возможность использования существующих методов обработки данных позволяют расширить и дополнить возможности систем анализа за данных [12].

Обсуждение результатов. Оператор Лапласа и вейвлет-преобразования позволяют анализировать несколько кадров видеопотока одновременно, что способствует получению более точной информации о свойствах видеопотока.

Данное обстоятельство делает их лучшими методами для работы с группой кадров, что обеспечивает высокую точность и эффективность распознавания объектов на видеопотоке.

Для повышения спектральной разрешимости видеопотока рассмотрим возможность комбинированной фильтрации в два этапа.

1. Фильтрация оператором Лапласа. На первом этапе кадр подвергается алгоритму оператора Лапласа. Задачей является обнаружение краёв и выделение границ объектов. Данный оператор отлично подходит для работы с группой изображений, так как расчет не требует наличия высокой производительности аппаратных средств. Необходимо отметить, что фильтрация на данном этапе не предусматривает устранение шума.

Фильтрация кадра оператором Лапласа происходит за счет использования вторых производных [13]:

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (10)$$

2. Вейвлет – преобразование с использованием признаков Коэна – Добеши – Фово. На втором этапе в качестве исследуемого материала для обработки будем использовать кадры видеопотока с камеры беспилотного воздушного судна.

Рассмотрим алгоритм комбинированного фильтра для видеопотока: на вход покадрово поступает видеопоток, далее подвергается фильтрации оператором Лапласа с вейвлет – преобразованиями, затем на выходе все кадры поочередно собираются в единый видеопоток [14].

Ввиду того, что вышеперечисленный алгоритм занимает минимальное количество времени, это позволит использовать комбинированный фильтр не только в стационарном видео, но и в режиме реального времени.

Процедура многоуровневой идентификации включает в себя идентификацию исходного кадра на разных уровнях его разрешения, которая осуществляется путем пошагового восстановления изображения в соответствии с представленным алгоритмом [15].

Для этого производится контурное описание и расфокусировка объектов кадра на каждом уровне разрешения, а затем выставляется оценка идентичности, которая формируется при свертке полученного контура в исходном кадре с эталонным. Данная процедура является важным инструментом в идентификации кадров. Кадры видеопотока с применением комбинированного фильтра показаны на рис. 1.

Как видно из рис. 1 применение комбинированного фильтра значительно повышает спектральную разрешимость видеопотока за счет последовательного решения задач выделения краев и сглаживания шумов.

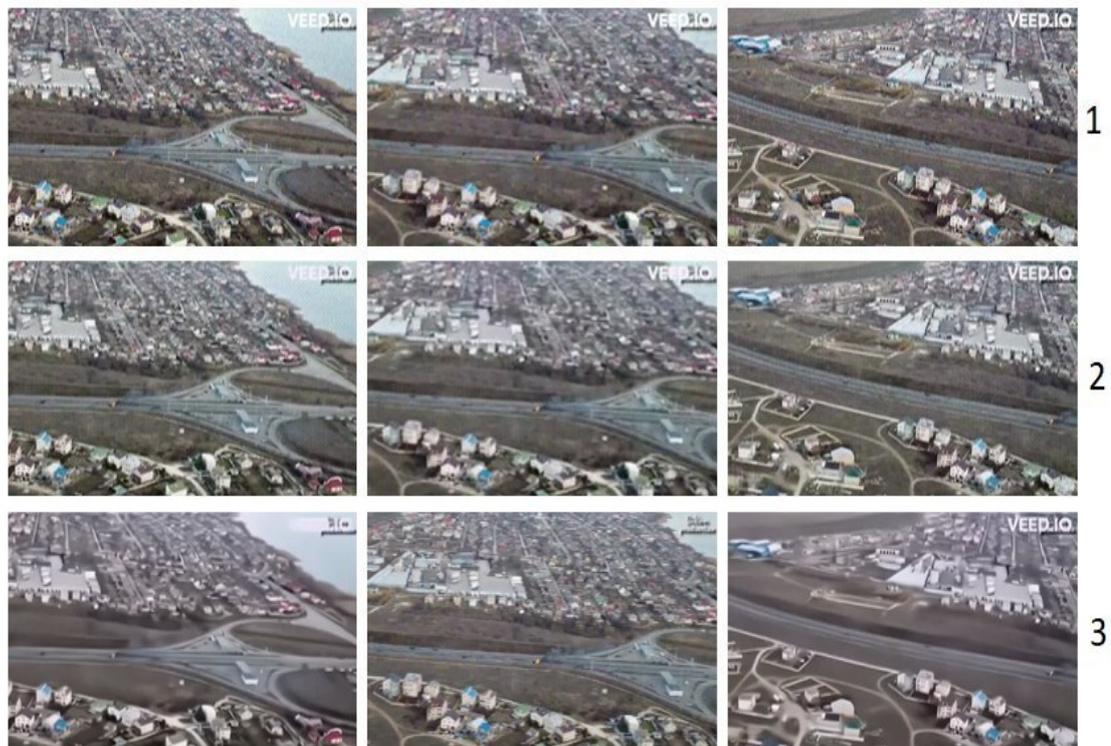


Рис. 1. Применение комбинированного фильтра на видеопоток с беспилотного воздушного судна

Fig. 1. Application of a combined filter to a video stream from an unmanned aerial vehicle

1 – исходные кадры. 2 – кадры, полученные после применения оператора Лапласа.
3 – кадры, полученные после применения вейвлет – признаков Коэна-Добеша-Фово.

Фильтрации на основе преобразования Фурье и вейвлет-анализа являются предпочтительными при повышении спектральной разрешимости изображений, так как используют все положительные стороны линейной, нелинейной и пространственно-частотной фильтрации.

Вывод. В ходе рассмотрения и сравнительного анализа методов фильтрации кадров были решены следующие задачи:

1. Проведена предварительная систематизация характеристик рассматриваемых методов с целью разработки новых алгоритмов и их реализации для улучшения качества изображения, увеличения детализации и четкости видеопотока.

2. Проанализированы различные методы фильтрации кадров, способствующие повышению спектральной разрешимости видеопотока, рассмотрено их влияние на качество видеоконтента.

3. В ходе анализа установлено, что для повышения спектральной разрешимости видеопотока необходимо использование комбинированного фильтра.

4. Вышеперечисленные факты позволят в дальнейшем разработать методические рекомендации по повышению спектральной разрешимости видеопотока.

Библиографический список:

1. Ярышев, С. Н. Видеоанализ в цифровых видеоинформационных системах безопасности : Учебное пособие / С. Н. Ярышев, В. А. Рыжова, В. В. Коротаев. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2021. – 110 с.
2. Прэтт, У. Цифровая обработка изображений / У. Прэтт. - Москва : Мир, 1982. – 790 с.
3. Обработка изображений [Электронный ресурс]: учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 2. Цифровая обработка изображений / [сост.: Б.Н. Грудин, В.С. Плотников, С.В. Полищук]; Дальневосточный федеральный университет. – Электрон. дан. – Владивосток: Издательский дом Дальневост. федерал. ун-та, 2013.
4. Akhlyustin, S. B. Prediction of the Integrated Indicator of Quality of a New Object Under the Conditions of Multicollinearity of Reference Data / S. B. Akhlyustin, A. V. Melnikov, R. A. Zhilin // Bulletin of the

- South Ural State University. Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software. – 2020. – Vol. 13, No. 4. – P. 66-80. – DOI 10.14529/mmp200406.
5. Перспективы разработки и внедрения технологий искусственного интеллекта в войсках национальной гвардии Российской Федерации. Успенко В.Б., Миromanов Д.В., Греков А.В., Жуков Д.С., Суворов А.О., Бибик А.В., Тарутин А.В., Горячев С.Н., Минченко Д.А., Костарев С.Н., Мормуль Р.В.: Пермь: ПВИ ВНГ РФ, 2021. – 333 с.
 6. Жилин, Р. А. Обоснование критерия корректности исходных данных при моделировании оценки эффективности слабоструктурированных альтернатив систем безопасности объектов органов внутренних дел / Р. А. Жилин, А. В. Мельников, Ю. Н. Гарусов // Вестник Воронежского института МВД России. – 2022. – № 2. – С. 28-36.
 7. Моделирование оценки эффективности функционирования систем безопасности объектов органов внутренних дел / Р. А. Жилин, А. В. Мельников, С. Б. Ахлюстин, В. В. Горлов. – Воронеж : Воронежский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации, 2023. – 104 с.
 8. Мормуль, Р. В. Вейвлет-анализ - современный подход цифровой обработки сигналов и изображений применительно к новейшим образцам военной техники / Р. В. Мормуль, С. Н. Горячев, В. В. Михалев // Генерал от инфантерии Е.Ф. Комаровский - первый командир отдельного корпуса внутренней стражи России : Межвузовская научно-практическая конференция, Пермь, 23 октября 2019 года / под общ. ред. В.Ф. Купавского. – Пермь: Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации, 2019. – С. 200-208.
 9. Воскобойников, Ю. Е. Фильтрации сигналов и изображений: фурье и вейвлет алгоритмы (с примерами в Mathcad): монография / Ю. Е. Воскобойников, А. В. Гочаков, А. Б. Колкер ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2010. – 188 с.
 10. Жилин, Р. А. Анализ различных подходов к количественной и качественной оценке эффективности функционирования систем безопасности объектов органов внутренних дел / Р. А. Жилин, Ю. А. Дудкин // Охрана, безопасность, связь. – 2023. – № 8-3. – С. 96-100.
 11. Буй, Т.Т.Ч. Разложение цифровых изображений с помощью двумерного дискретного вейвлет-преобразования Хаара / Буй Т.Т.Ч., Спицын В.Г. // Известия Томского политехнического университета, 2011. – Т. 318. – № 5. – С. 73–76.
 12. Буй, Т.Т.Ч. Алгоритмическое и программное обеспечение для классификации цифровых изображений с помощью вейвлет-преобразования Хаара и нейронных сетей / Буй Т.Т.Ч., Фан Н.Х., В.Г. Спицын // Известия Томского политехнического университета, 2011. – Т. 319. – № 5. – С. 103–106.
 13. Обработка изображений [Электронный ресурс]: учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 2. Цифровая обработка изображений / [сост.: Б.Н. Грудин, В.С. Плотников, С.В. Полищук]; Дальневосточный федеральный университет. – Электрон. дан. – Владивосток: Издательский дом Дальневост. федерал. ун-та, 2013. – Режим доступа: Computer university network. – Загл. с экрана.
 14. Мормуль, Р. В. Повышение спектральной разрешимости видеопотока с использованием оператора Лапласа и вейвлет- преобразований кадров / Р. В. Мормуль, Р. Х. Ханмагомедов // Альманах Пермского военного института войск национальной гвардии. – 2023. – № 2(10). – С. 95-99.
 15. Жилин, Р. А. О некоторых аспектах обеспечения безопасности охраняемого объекта / Р. А. Жилин // Охрана, безопасность, связь. – 2022. – № 7-1. – С. 27-32.

References:

1. Yaryshev S. N., V. A. Ryzhova, V. V. Korotaev Video analysis in digital video information security systems. St. Petersburg : St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, 2021;110. (In Russ)
2. Pratt, W. Digital image processing. Moscow : Mir, 1982; 790. (In Russ)
3. Image processing [Electronic resource]: textbook. stipend. At 2 p.m. 2. Digital image processing. Far Eastern Federal University. Vladivostok: Publishing House of the Far Eastern Federal. Unita, 2013. (In Russ)
4. Akhlyustin, S. B., A. V. Melnikov, R. A. Zhilin Prediction of the Integrated Indicator of Quality of a New Object Under the Conditions of Multicollinearity of Reference Data. Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software, 2020; 13 (4): 66-80. – DOI 10.14529/mmp200406. (In Russ)
5. Prospects for the development and implementation of artificial intelligence technologies in the troops of the National Guard of the Russian Federation. Uspalenko V.B., Miromanov D.V., Grekov A.V., Zhukov D.S., Suvorov A.O., Bibik A.V., Tarutin A.V., Goryachev S.N., Minchenko D.A., Kostarev S.N., Mormul R.V.: Perm: PVI VNG RF, 2021;333. (In Russ)
6. Zhilin R. A., Melnikov A.V., Yu. N. Garusov Substantiation of the criterion of correctness of the initial data in modeling the evaluation of the effectiveness of weakly structured alternatives to security systems for objects of internal affairs bodies. Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 2022; (2): 28-36. (In Russ)

7. Modeling of the assessment of the effectiveness of the functioning of security systems of objects of internal affairs bodies / R. A. Zhilin, A.V. Melnikov, S. B. Akhlyustin, V. V. Gorlov. Voronezh : Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, 2023; 104. (In Russ)
8. Mormul, R. V., S. N. Goryachev, V. V. Mikhalev Wavelet analysis - a modern approach to digital signal and image processing in relation to the latest models of military equipment. Infantry General E.F. Komarovskiy - the first commander of a separate corps of the internal guard of Russia : Interuniversity scientific and practical conference, Perm, October 23, 2019. under the general editorship of V.F. Kupavskiy. – Perm: Perm Military Institute of the National Guard Troops of the Russian Federation, 2019; 200-208. (In Russ)
9. Voskoboinikov, Yu. E. Filtering of signals and images: Fourier and wavelet algorithms (with examples in Mathcad): monograph. Novosibirsk : NGASU (Sibstrin), 2010:188. (In Russ)
10. Zhilin, R. A. Analysis of various approaches to quantitative and qualitative assessment of the effectiveness of the functioning of security systems of objects of internal affairs bodies. Protection, security, communications, 2023; (8-3): 96-100. (In Russ)
11. Buoy, T. Decomposition of digital images using a two-dimensional discrete Haar wavelet transform. Izvestiya Tomsk Polytechnic University, 2011; 318(5):73–76. (In Russ)
12. Buoy, T., Fan N.H., V.G. Spitsyn Algorithmic and software for classification of digital images using the Haar wavelet transform and neural networks. Izvestiya Tomsk Polytechnic University. 2011;319(5): 103–106. (In Russ)
13. Image processing [Electronic resource]: textbook. stipend. At 2 p.m. 2. Digital image processing / [comp.: B.N. Grudin, V.S. Plotnikov, S.V. Polishchuk]; Far Eastern Federal University. Electron. dan. – Vladivostok: Publishing House of the Far Eastern Federal. unita, 2013. (In Russ)
14. Mormul, R. V. Increasing the spectral resolution of a video stream using the Laplace operator and wavelet transformations of frames / R. V. Mormul, R. H. Khanmagomedov. Almanac of the Perm Military Institute of the National Guard Troops, 2023; 2(10): 95-99. (In Russ)
15. Zhilin, R. A. On some aspects of ensuring the safety of a protected object. Protection, security, communications. 2022; 7-1:27-32. (In Russ)

Сведения об авторах:

Сальников Алексей Федорович, доктор технических наук, профессор кафедры ракетно-космической техники и энергетических систем; afsalnikov_1@mail.ru

Иванова Ксения Вячеславовна, аспирант; ksgorbunova@yandex.ru

Меркулова Наталья Ивановна, кандидат технических наук, доцент кафедры радиотехнических систем и комплексов охранного мониторинга; gomova.nata2008@mail.ru

Information about authors:

Alexey F. Salnikov, Dr. Sci. (Eng.), Prof.; afsalnikov_1@mail.ru

Ksenia V. Ivanova, Graduate student; ksgorbunova@yandex.ru

Natalia A. Merkulova, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.; gomova.nata2008@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 18.03.2024.

Одобрена после рецензирования/ Reviced 26.04.2024.

Принята в печать/ Accepted for publication 26.04.2024.