

# АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И ПРЕДОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ ВИДЕОПОТОКА ДЛЯ ЗАДАЧ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

## AUTOMATIC VIDEO STREAM IMAGES EVALUATION AND PREPROCESSING FOR MACHINE VISION TASKS

**D. Chickrin**  
**A. Malyugina**  
**D. Derjavin**  
**A. Egorchev**

*Summary.* The quality of the input image stream is one of the typical problems in computer vision problems. In this paper, we consider an algorithm for preliminary filtering of video stream images, based on the evaluation and consecutive correction of the qualitative characteristics of images. At the evaluation stage, the algorithm uses global image properties such as contrast, noise level, sharpness, and also the presence of overlighting. For the stage of processing of images based on the evaluation of these properties, the algorithm uses image processing techniques such as histogram equalization, noise reduction and sharpness correction. The proposed algorithm is intended for use in various problems of machine vision.

*Keywords:* image preprocessing, image filtering, denoising, unsharp mask, histogram correction.

**Чикрин Дмитрий Евгеньевич**

*К.т.н., доцент, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) Федеральний Университет»*

**Малюгина Александра Александровна**

*Научный сотрудник, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) Федеральний Университет»*

**Державин Дмитрий Владимирович**

*Инженер, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) Федеральний Университет»*

**Егорчев Антон Александрович**

*Мл. научный сотрудник, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) Федеральний Университет»*

*public.mail@kpfu.ru*

*Аннотация.* Качество входного потока изображений является одной из типичных проблем в задачах машинного зрения. В настоящей статье рассматривается алгоритм предварительной фильтрации изображений видеопотока, основанный на оценке и последующей коррекции качественных характеристик изображений. На этапе оценки алгоритм использует глобальные свойства изображения такие как контрастность, уровень шума, резкость, а также наличие засветки. Для последующей обработки изображений на основе оценки этих свойств в алгоритме применяются такие методы обработки изображений, как гистограммное выравнивание, шумоподавление и коррекция резкости. Предложенный алгоритм предназначен для использования в различных задачах машинного зрения.

*Ключевые слова:* предварительная обработка изображений, фильтрация изображений, шумоподавление, нерезкая маска, коррекция гистограммы.

## Введение

**И**спользование необработанных видеопотоков и изображений в алгоритмах детектирования зачастую не позволяет достигнуть достаточной точности из-за качества визуальных параметров изображения (низкий уровень резкости, контрастности, зашумленность, и пр.), а также увеличивает время обработки ввиду наличия большого количества неиспользуемых данных (например, цветовых каналов изображения или высокого разрешения изображения).

Для оценки качества входного изображения в статье будут определены критерии, соответствующие им интервалы значений признаков, а также функции для оценки каждого критерия для потока изображений. Функции для оценки критериев были протестированы на разнообразных типах видео (с различными уровнями резкости, контрастности, временем суток, разной степенью зашумленности).

В качестве входных данных используется видеопоток изображений, предварительно переведенных в режим 256 градаций серого (8bit grayscale) при помощи колориметрического преобразования с сохранением яркости [1]. Ниже описаны критерии оценки качества изображения видеопотока, функции, которые применяются к изображениям — кадрам видеопотока для оценки этих критериев и необходимые алгоритмы фильтрации.

## 1. Критерии оценки изображений видеопотока

### 1.1. Уровень шума

Оценка количества шума важна во многих алгоритмах обработки и анализа изображений. Количественная оценка шумовой составляющей делает возможной адаптацию алгоритмов предобработки к количеству шума вместо использования фиксированных пороговых значений.



Рис. 1. Исходное изображение,  $NL=1.4$



Рис. 2. Зашумленное изображение,  $NL=20.6$



Рис. 3. (а) фрагмент исходного изображения с уровнем шума  $NL=14.7$ , (б) фрагмент исходного изображения, переведенного в grayscale (с) фрагмент изображения после применения медианного шумоподавления, уровень шума  $NL=2.3$



Рис. 4. Изображение низкой резкости (SL=1.7)

Модель для зашумленных изображений выглядит следующим образом:

$$I(x, y) = f(x, y) + n(x, y)$$

где  $f$  — незашумленное «идеальное» изображение,  $n$  — шум,  $I$  — наблюдаемое изображение.

Одной из основных проблем оценки шума является измерение отклонений  $I$  от  $f$ , которые могут содержать существенную структурную информацию, такую как края и текстурные особенности.

Используемый в задаче метод определения шума — J. Immerkaer, «Fast Noise Variance Estimation», Computer Vision and Image Understanding, Vol. 64, No. 2, pp. 300–302, 1996 [2].

В источнике [2] представлен быстрый алгоритм оценки дисперсии шумов изображения. В предлагаемом методе используется оператор с нулевым средним значением, который почти нечувствителен к структуре изображения. Дисперсия выходных значений принимается за оценку дисперсии шума. Так как структурным элементам изображений, таким как края, соответствуют дифференциальные компоненты второго порядка, то оценка шума должна быть нечувствительной к лапласиану изображения.

Преимущество этого метода состоит в том, что он использует оператор Лапласа, который малочувствителен к структуре изображения, а его результат зависит только от уровня шума на изображении.

При применении функции ESTIMATE\_NOISE, реализующей данный метод, значения уровня шума  $NL$  на изображении принадлежат интервалам  $NL \in (0, 3) \cup [3, +\infty)$ . Значение  $NL = 3$  считается пороговым: изображения со значением  $NL$  от 3 и выше считаются зашумленными и требуют дополнительной обработки.

Изображение предварительно переводится в Grayscale. При высоких уровнях шума выше  $NL = 3$  применяется операция медианного шумоподавления, при более низких уровнях шума изображение не нуждается в дополнительной обработке.

Медианный фильтр представляет собой метод нелинейной цифровой фильтрации, который часто используется для удаления шума из изображения или сигнала.

Медианная фильтрация является одним из способов сглаживания изображения, наравне с линейной гауссовской фильтрацией. Все методы сглаживания эффективны при удалении шума в гладких участках без структурных особенностей, но неблагоприятно влияют на края. При

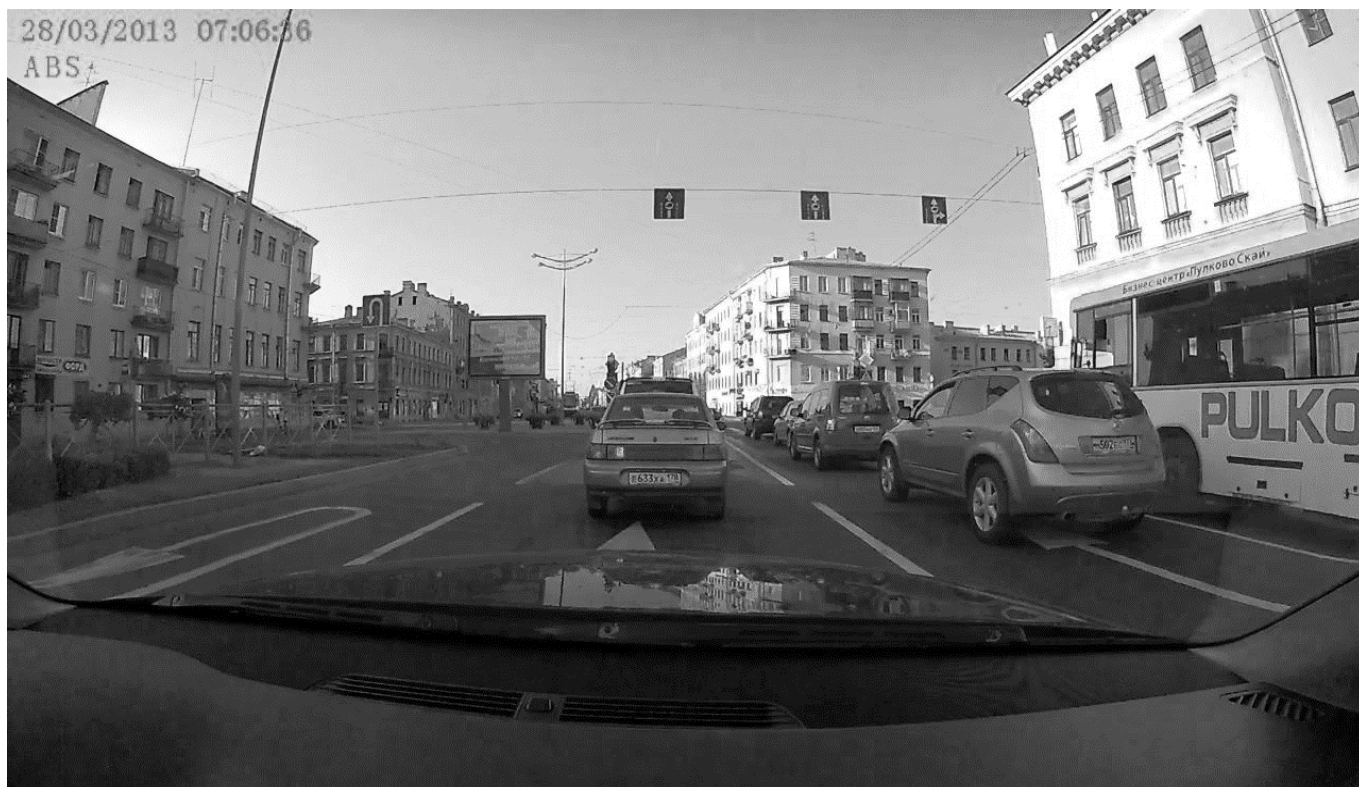


Рис. 5. Изображение высокой резкости (SL=6.3)

выборе алгоритмов сглаживающей фильтрации важно руководствоваться степенью, в которой фильтр позволяет сохранить края, которые несут существенную визуальную информацию об изображении. В этом отношении для малых или средних уровней при заданном фиксированном размере окна медианный фильтр существенно лучше гауссовского размытия.

### 1.2. Уровень резкости

Резкость изображения описывает субъективную различимость деталей, степень отчётливости границы между двумя участками фотоизображения, получившими разные экспозиции. Значение резкости связано с амплитудой производной от яркости по пространственным переменным.

В наиболее общем смысле, за резкость изображения  $S$  в произвольной точке можно принять градиент яркости  $I$

$$S = \nabla I.$$

Таким образом, резкость изображения является векторным полем.

Для входного изображения с помощью функции ESTIMATE\_SHARPNESS измеряется резкость  $SL$  (метод [3],

основанный на вычислении модуля градиента изображения). Значения  $SL$  менее 2 соответствуют изображению низкой резкости, от 2 до 4.5 — средней, более 4.5 — высокой резкости.

Изображения с высоким уровнем резкости не нуждаются в предварительной обработке. К изображениям со значениями резкости ниже 4.5 применяется фильтр нерезкого маскирования (unsharp masking).

Фильтр нерезкого маскирования применяет размытие к копии оригинального изображения. Если при сравнении маски с оригиналом отличия превышают определенный порог, изображение вычитается. Параметр порога необходим для того, чтобы избежать усиления нежелательных деталей, таких как шум на цифровой фотографии или зерно на плёнке.

Типичная схема применения фильтра нерезкого маскирования выглядит следующим образом:

$$\text{sharpened} = \text{original} + (\text{original} - \text{blurred}_{\text{radius}} \times \text{amount}),$$

где  $\text{original}$  — входное изображение,  $\text{blurred}_r$  — изображение с примененным фильтром размытия (обычно гауссовского) с радиусом  $r$ , который влияет на степень размытия копии изображения и на ширину зоны, в ко-



Рис. 6. (а) фрагмент исходного изображения низкой резкости с уровнем резкости  $SL=1.6$ , (b) фрагмент исходного изображения низкой резкости, переведенного в grayscale (с) фрагмент изображения после применения функции нерезкого маскирования, уровень резкости  $SL=2.6$





Рис. 7. (а) фрагмент исходного изображения средней резкости с уровнем резкости  $SL=3.4$ , (б) фрагмент исходного изображения средней резкости, переведенного в grayscale (с) фрагмент изображения после применения функции нерезкого маскирования, уровень резкости  $SL=4.8$



Рис. 8. Изображение с засветкой ( $FL=1$ ). Уровни яркости  $Y_{av}$  на изображении с засветкой

торой будет проявляться изменение тона, *amount* — параметр нерезкого маскирования, который определяет, насколько сильно затемняются или освещаются участки изображения, находящиеся на границах контура.

При применении фильтра нерезкого маскирования также используют параметр *threshold* (порог), который определяет минимальную разницу тона, при которой осуществляется нерезкое маскирование. При шумном или зернистом оригинале его выставляют на более высокое значение, чтобы предотвратить подчёркивание этих нежелательных деталей. Предварительное шумоподавление позволяет зафиксировать этот параметр ( $threshold=0$ ).

При значениях резкости от 4.5 и выше к изображению не применяется фильтрация. При  $SL \in (0,2)$  применяется фильтр нерезкого маскирования с параметрами  $amount=0.5$   $radius=10$ . При  $SL \in [2,4.5]$  применяется фильтр нерезкого маскирования с параметрами  $amount=0.5$   $radius=20$ .

### 1.3. Наличие засветки

Засветка на изображении характеризуется наличием переэкспонированных регионов в области избыточного попадания солнечного света на матрицу, наличия резких

теней, а также областей низкого контраста, что крайне негативно сказывается при последующем распознавании объектов изображения.

Для определения наличия засветки  $FL$  используется функция `FLASH_TEST`.

Так как перевод входного изображения в режим *grayscale* был осуществлен колориметрически, то значение каждого пикселя сохраняет параметры освещенности. Для определения наличия засвеченных частей в изображении выбираются 3 окна ( $W_1, W_2, W_3$ ), расположенных в двух углах и центре изображения. Затем измеряется среднее значение пикселей (яркость) в каждом окне:  $Y_{av}(W_1), Y_{av}(W_2), Y_{av}(W_3)$ . При превышении порога  $th=200$  в хотя бы одном из окон, сравниваются величины  $Y_{av}(W_i)$ . Если имеется различие в величинах яркости более чем на 100%, то имеется засветка и величине  $FL$  присваивается значение 1, иначе  $FL = 0$ .

При наличии засветки на изображении  $FL = 1$  к изображению применяется фильтр адаптивного гистограммного выравнивания.

Гистограммное выравнивание [8] применяется при обработке изображений для повышения уровня контрастности. Этот метод обычно увеличивает





Рис. 9. (а) Изображение с наличием засветки слева ( $FL=1$ ) в режиме grayscale (б) Изображение с примененным к нему фильтром адаптивного гистограммного выравнивания

глобальный контраст многих изображений, особенно когда попиксельные данные о контрастности изображения представлены близкими значениями. С помощью гистограммного выравнивания значения интенсивности можно лучше распределить по гистограмме. Это позволяет повысить контрастность областей низкого локального контраста. Выравнивание гистограммы позволяет эффективно распределять наиболее часто встречающиеся в изображении значения интенсивности.

Недостатком метода является его неизбирательность и то, что его применение может увеличить контраст фонового шума изображения. Поэтому, в качестве предварительной обработки для зашумленных изображений применяется шумоподавление.

Адаптивное выравнивание гистограммы (Adaptive histogram equalization, AHE) [4] — это метод обработки изображений, используемый для улучшения глобального уровня контраста. Обычное выравнивание гистограммы использует одно преобразование, полученное из гистограммы изображения. Этот метод работает хорошо в тех случаях, когда распределение значений пикселей одинаково по всему изображению. Однако, когда изображение содержит области, которые значительно светлее или темнее, чем остальная часть изображения, контраст в этих регионах при применении к изображению обычного гистограммного выравнивания будет недостаточно усилен.

Адаптивный метод вычисляет несколько гистограмм, каждая из которых соответствует отдельной части изо-



Рис. 10. Низкоконтрастное изображение (CL=32)

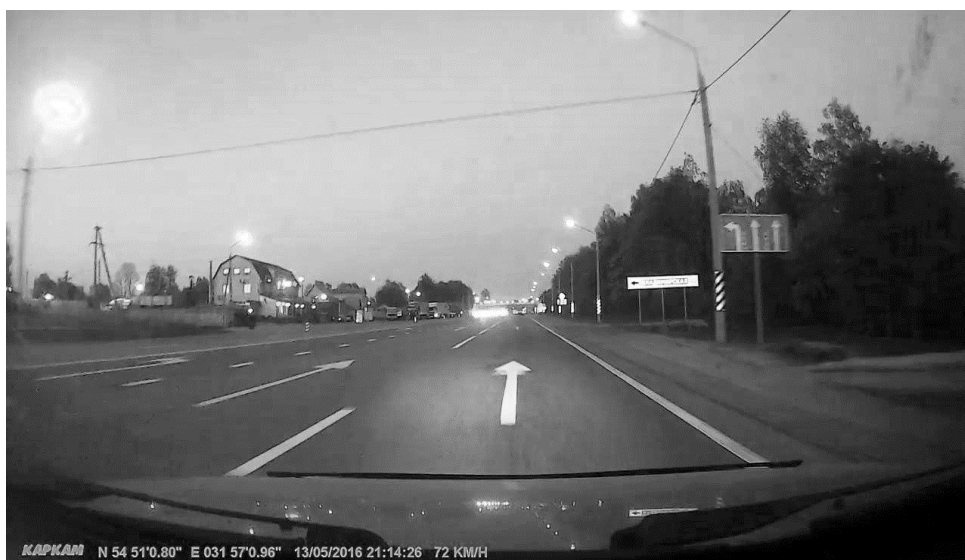


Рис. 11. Высококонтрастное изображение (CL=110)

бражения, и использует их для перераспределения значений яркости изображения. Поэтому он подходит для улучшения локального контраста и уточнения краев во всех областях изображения.

Contrast Limited Adaptive histogram equalization (CLAHE) [5] — это вариант адаптивного выравнивания гистограммы, в котором усиление контрастности ограничено во избежание возникновения или усиления шумов на изображении. В случае с засвеченным изображением адаптивное выравнивание гистограммы помогает выровнять контрастность изображения как в пере- так и недоэкспонированных областях, избавиться от резких теней.

#### 1.4. Уровень контрастности

Контрастность измеряет разницу в яркости или цвете, которая делает объекты на изображении различимыми. Уровень контрастности связан с градиентом интенсивности. Кроме того, контраст может быть определен локально или глобально. В том случае, когда изображение состоит из текстурированных областей, представляется более адекватным выполнять локальный анализ изображения и определять локальный контраст. Хорошо известно, что уровень локального контраста может быть увеличен путем вычисления различий между значением интенсивности в каждом пикселе изображения



Рис. 12. (а) Изображение низкой контрастности ( $CL=32$ ) в режиме grayscale (б) Изображение с примененным к нему фильтром гистограммного выравнивания ( $CL=67$ )

и окружающими его пикселями и последующего увеличения этих различий [6].

Для входного изображения измеряется уровень контрастности  $CL$  с применением метода A. Beghdadi and A. L. Negrate, «Contrast enhancement technique based on local detection of edges» [7].

Данный алгоритм основан на методе Гордона [8], который непосредственно определяет функцию контраста и функцию улучшения контрастности изображения без вовлечения гистограммы уровней серого входного изображения. Для улучшения работы метода в условиях высокого уровня шумов и детализации изо-

бражения в данном методе реализованы алгоритмы выделения краев.

Алгоритм реализован в функции ESTIMATE\_SHARPNESS.

Для текущего изображения контрастность измеряется и записывается в величину  $CL$ . При значениях  $CL$  от 0 до 70 изображение считается низкоконтрастным, при  $CL > 70$  — изображение высококонтрастно.

Для высококонтрастных изображений  $CL \geq 70$  фильтрация не применяется. При  $CL \in (0, 70)$  применяется фильтр CLAHE.

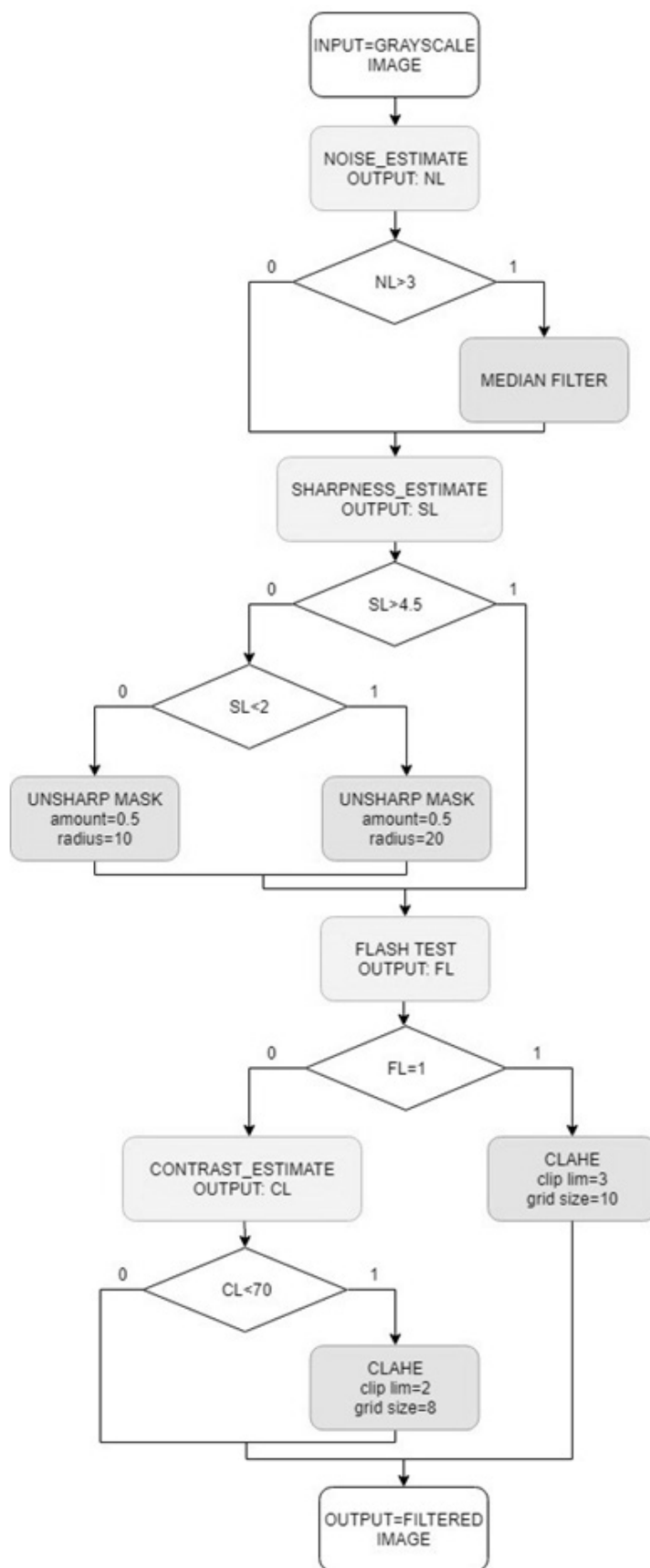


Рис. 13. Алгоритм автоматической оценки и фильтрации

Таблица 1. Порядок и частота применения функций

Функция	Частота применения (количество применений в секунду)
ESTIMATE_NOISE	10
ESTIMATE_SHARPNESS	10
FLASH_TEST	60
ESTIMATE_CONTRAST	1

## 2. Схема автоматической оценки и фильтрации изображений

На рисунке 13 представлена схема автоматической фильтрации изображения в видеопотоке. Во избежание избыточных вычислительных затрат, а также для оптимизации времени работы алгоритма для каждой функции оценки критериев определена частота применения, исходя из характера изменения свойств изображения в видеопотоке, а также потребностей алгоритмов последующего распознавания. В Таблице 1 указан порядок и частота применения функций оценки критериев.

## Заключение

Одной из насущных проблем в задачах машинного зрения является качество входных изображений. В частности, в задачах детектирования и классификации объектов с помощью нейронных сетей может возникнуть необходимость в предварительной обработке изображения с целью улучшения различных характеристик, таких как контрастность, резкость и уровень шума. Рассмотренный алгоритм автоматической фильтрации изображений видеопотока использует оценку этих характеристик для изображений видеопотока и может быть применен для улучшения качества обнаружения и классификации различных типов объектов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Poyton Charles A. Rehabilitation of gamma [Электронный документ] / Human Vision and Electronic Imaging III. Spie digital library (<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/3299/1/Rehabilitation-of-gamma/10.1117/12.320126.short?tab=ArticleLink>). doi: 10.1117/12.320126. Проверено 09.04.2018.
2. Immerkaer J. Fast Noise Variance Estimation // Computer Vision and Image Understanding. — 1996. — 2 т. № 2. С. 300–302.
3. Оценка резкости по градиентам изображения MATLAB, URL: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/32397-sharpness-estimation-from-image-gradients>
4. Hummel R. Image Enhancement by Histogram Transformation // Computer Vision, Graphics and Image Processing. — 1977. — 6 т. С. 184–195.
5. Pizer S. M. Adaptive Histogram Equalization and Its Variations / S. M. Pizer, E. P. Amburn, J. D. Austin // Computer Vision, Graphics and Image Processing. — 1987. — 6 т. С. 355–368
6. Kim. V. Rank algorithms for picture processing / Kim V. Yaroslavsky L. P. // Computer Vision, Graphics and Image Processing. — 1986. — 6 т. С. 234–258.
7. Beghdadi A. Contrast enhancement technique based on local detection of edges / Beghdadi A. Negrata A. L. // Computer Vision, Graphics and Image Processing. — 1989. — 46 т. № 2. С. 162–174.
8. Gordon R. Feature enhancement of film mammograms using fixed and adaptive neighborhoods / Gordon R. Rangayyan R. M. // Applied Optics. — 1984. — 23 т. № 4. С. 560–564.
9. Acharya T. Image Processing Principles and Applications / Acharya T. Ray A. K. — Н.Й.: Wiley Interscience, 2005. 452 с. ISBN0–471–71998–6