

АЛГОРИТМ ЛОКАЛЬНОГО ПОВЫШЕНИЯ КОНТРАСТНОСТИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CLANE И ВЕСОВОЙ МАСКИ

Аннотация. В статье рассматривается алгоритм локального повышения контрастности цифровых изображений, основанный на применении CLANE и весовой маски низкоконтрастных областей. Актуальность задачи связана с тем, что при неравномерном освещении и ограниченном динамическом диапазоне камеры часть деталей изображения становится плохо различимой. Глобальные методы обработки изменяют весь кадр одинаково и могут усиливать шумы. Предложенный алгоритм выполняет преобразование изображения в цветовое пространство Lab и обрабатывает канал яркости L. На основе локального среднего значения и среднеквадратичного отклонения рассчитывается карта контраста, по которой формируется весовая маска. Усиленный канал яркости получается методом CLANE, а итоговый кадр формируется путем смешивания исходного и обработанного каналов с учетом маски. Такой подход позволяет избирательно усиливать слабоконтрастные области и уменьшать переобработку участков, уже имеющих достаточную контрастность.

Ключевые слова: цифровая обработка изображений, повышение контрастности, локальный контраст, CLANE, весовая маска, Lab, OpenCV.

Annotation. The article considers a local contrast enhancement algorithm for digital images based on CLANE and a weight mask of low-contrast areas. The relevance of the task is related to the fact that under non-uniform illumination and a limited dynamic range of a camera, some image details become poorly visible. Global processing methods change the whole frame uniformly and may amplify noise. The proposed algorithm converts an image into the Lab color space and processes the L luminance channel. A local contrast map is calculated using the local mean brightness and standard deviation; then a weight mask is formed. The enhanced luminance

channel is obtained by CLAHE, and the output frame is produced by blending the original and processed channels according to the mask. This approach makes it possible to selectively enhance low-contrast areas and reduce overprocessing of image regions with sufficient contrast.

Key words: digital image processing, contrast enhancement, local contrast, CLAHE, weight mask, Lab, OpenCV.

Введение. Повышение контрастности является одной из базовых задач цифровой обработки изображений. От выраженности яркостных перепадов зависит различимость границ объектов, мелких деталей и общий уровень информативности кадра. На практике изображение часто содержит одновременно затемненные, пересвеченные и нормально освещенные области, поэтому равномерная обработка всего кадра не всегда дает устойчивый результат.

При глобальном усилении вместе с полезными деталями могут усиливаться шумы, артефакты сжатия и уже контрастные границы. Для изображений с неоднородной яркостью более целесообразно применять локальный анализ, при котором свойства отдельных участков учитываются отдельно [1, 2]. Целью работы является разработка алгоритма, который повышает контрастность преимущественно в слабоконтрастных областях и минимально изменяет участки с достаточной различимостью деталей.

Анализ методов повышения контрастности. Методы повышения контрастности можно разделить на глобальные и локальные. Глобальные методы изменяют распределение яркости сразу во всем изображении. К ним относятся линейное растяжение диапазона, гистограммное выравнивание и гамма-коррекция [3, 4].

Линейное растяжение приводит минимальное и максимальное значения яркости к границам доступного диапазона, а остальные уровни пересчитывает пропорционально. Метод имеет небольшую вычислительную сложность, но слабо учитывает неравномерное освещение. Гистограммное выравнивание перераспределяет уровни яркости по накопленной гистограмме. Общая

контрастность повышается, однако шумы и яркие участки кадра также могут усиливаться [5, 6]. Гамма-коррекция выполняет нелинейное преобразование яркости, но требует подбора коэффициента для конкретных условий.

Локальные методы анализируют не весь кадр сразу, а отдельные области изображения. Одним из наиболее известных методов является CLANE — адаптивное выравнивание гистограммы с ограничением усиления контрастности [7, 8]. Алгоритм делит изображение на локальные области и выполняет выравнивание гистограммы отдельно для каждой из них. Ограничение усиления уменьшает риск чрезмерного роста шумов [9].

Несмотря на преимущества CLANE, его применение ко всему изображению может затрагивать участки, которые не требуют дополнительной коррекции. В результате возможно переусиление границ и появление более заметных шумовых артефактов. Поэтому в предлагаемом алгоритме CLANE используется совместно с предварительной оценкой локального контраста.

Методика разработки алгоритма. Входное изображение сначала преобразуется из RGB в цветовое пространство Lab. Это позволяет работать с каналом яркости L отдельно от цветоразностных каналов a и b. Такой подход уменьшает риск искажения цвета, поскольку основная коррекция выполняется только по яркостной составляющей.

Для каждого пикселя рассматривается локальная окрестность фиксированного размера. В ней вычисляются среднее значение яркости и среднеквадратичное отклонение. Локальная контрастность определяется выражением $C = \sigma / (\mu + \varepsilon)$, где C — локальная контрастность, σ — среднеквадратичное отклонение яркости, μ — среднее значение яркости, ε — малое положительное число, исключающее деление на ноль. Чем меньше значение C , тем слабее выражены перепады яркости в данной области.

После построения карты локального контраста определяется порог по процентиллю. На его основе формируется весовая маска w со значениями от 0 до 1. Малоконтрастные участки получают больший вес, а области с достаточной

контрастностью — меньший. Для устранения резких переходов маска сглаживается.

Затем канал яркости обрабатывается методом CLAHE. Усиленный канал обозначается L_{enh} . Итоговая яркость формируется смешиванием исходного и обработанного каналов: $L_{out} = (1 - w) \cdot L + w \cdot L_{enh}$. Если значение маски близко к нулю, участок почти не изменяется. Если значение маски близко к единице, в результат сильнее входит CLAHE-обработанное значение. За счет этого усиление применяется избирательно.

Программная реализация. Алгоритм реализован на языке Python с использованием библиотек OpenCV и NumPy. OpenCV используется для преобразования цветовых пространств, получения кадров и отображения результата. NumPy применяется для операций над массивами пикселей, что снижает количество циклов на уровне Python и ускоряет обработку [10, 11].

В программе задаются параметры локального окна, проценты для выделения низкоконтрастных областей, размер сетки CLAHE, ограничение усиления гистограммы и параметры сглаживания маски. Подбор этих параметров выполнялся экспериментально, с учетом качества изображения и частоты обработки кадров.

Для проверки применимости алгоритма к видеопотоку использовался захват кадров средствами OpenCV. Передача обработанного изображения может выполняться с применением FFmpeg и RTSP-сервера [12, 13]. Основной акцент при этом делался не на канале передачи, а на устойчивости алгоритма при последовательной обработке кадров.

Экспериментальная проверка. Проверка выполнялась на кадрах с пониженной локальной контрастностью. Оценивалось изменение различимости деталей в затемненных и слабо выраженных областях. После обработки контуры объектов и перепады между соседними участками становились более заметными, тогда как исходно контрастные области изменялись менее выражено.

Для оценки производительности использовался режим обработки видеопотока с разрешением 320×240 пикселей. При захвате и отображении исходного кадра частота составляла около 30 кадров в секунду. При локальном повышении контрастности без передачи видеопотока средняя частота была около 26 кадров в секунду. При одновременной передаче обработанного видеопотока она составляла около 24 кадров в секунду, а при выводе диагностических панелей — около 22 кадров в секунду.

Полученные результаты показывают, что локальный анализ и CLANE-обработка увеличивают вычислительную нагрузку, но не делают алгоритм непригодным для обработки видеопотока. При выбранном разрешении программа сохраняет работоспособность в режиме реального времени. Наибольшее влияние на скорость оказывают размер кадра, размер локального окна и параметры CLANE.

Обсуждение результатов. Главное отличие разработанного алгоритма заключается в избирательности обработки. Глобальные методы изменяют весь кадр одинаково, а стандартный CLANE может затрагивать даже те зоны, где усиление не требуется. В предложенном варианте степень коррекции определяется весовой маской, сформированной по карте локального контраста.

Работа с каналом яркости L в пространстве Lab позволяет повысить контрастность без прямого изменения цветовых компонентов. Это делает результат визуально более естественным. Ограничением алгоритма остается необходимость подбора параметров. При слишком агрессивных настройках возможно усиление шумов, а при слишком мягких эффект обработки становится слабым. Поэтому дальнейшее развитие связано с автоматическим выбором параметров по характеристикам кадра.

Выводы. Разработан алгоритм локального повышения контрастности цифровых изображений с использованием CLANE и весовой маски. Алгоритм анализирует канал яркости L , строит карту локального контраста, выделяет слабоконтрастные области и усиливает их преимущественно за счет смешивания исходного и CLANE-обработанного каналов.

Предложенный подход снижает влияние обработки на участки с достаточной контрастностью и уменьшает риск переусиления шумов. Экспериментальная проверка показала возможность обработки видеопотока при умеренном разрешении в режиме реального времени. В дальнейшем алгоритм может быть дополнен автоматическим подбором параметров, оптимизацией вычислений и интеграцией с методами обнаружения объектов.

Список литературы:

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2012. 1104 с.
2. Грузман И. С., Киричук В. С., Косых В. П., Перетягин Г. И., Спектор А. А. Цифровая обработка изображений в информационных системах. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. 168 с.
3. Методы компьютерной обработки изображений / под ред. В. А. Сойфера. М.: Физматлит, 2003. 784 с.
4. Фисенко В. Т., Фисенко Т. Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений: учебное пособие. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. 192 с.
5. Корчагин П. А. Цифровая обработка изображений: учебное пособие. Казань: Казанский федеральный университет, 2016. URL: https://kpfu.ru/staff_files/F1371249401/Cifrovaya_obrabotka_izobrazhenij_ch.1.pdf (дата обращения: 11.04.2026).
6. OpenCV. Histograms — 2: Histogram Equalization. URL: https://docs.opencv.org/4.x/d5/daf/tutorial_py_histogram_equalization.html (дата обращения: 06.05.2026).
7. Pizer S. M., Amburn E. P., Austin J. D. et al. Adaptive histogram equalization and its variations // Computer Vision, Graphics, and Image Processing. 1987. Vol. 39, No. 3. P. 355-368.
8. Zuiderveld K. Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization // Graphics Gems IV / ed. by P. S. Heckbert. San Diego: Academic Press Professional, 1994. P. 474-485.

9. OpenCV. CLAHE Class Reference. URL: https://docs.opencv.org/4.x/d6/db6/classcv_1_1CLAHE.html (дата обращения: 12.05.2026).
10. OpenCV. VideoCapture Class Reference. URL: https://docs.opencv.org/4.x/d8/dfc/classcv_1_1VideoCapture.html (дата обращения: 09.05.2026).
11. NumPy. The N-dimensional array. URL: <https://numpy.org/doc/stable/reference/arrays.ndarray.html> (дата обращения: 15.05.2026).
12. FFmpeg. ffmpeg Documentation. URL: <https://ffmpeg.org/ffmpeg.html> (дата обращения: 22.05.2026).
13. MediaMTX. Ready-to-use RTSP / RTMP / WebRTC / SRT media server and media proxy. URL: <https://github.com/bluenviron/mediamtx> (дата обращения: 25.05.2026).