

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВО ФУНДУС-ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ЦВЕТОВЫХ МОДЕЛЯХ

Кобиллов Сами Салиевич

Доцент кафедры программной инженерии Самаркандского государственного университета.

Ахадова Мехринисо Фарходовна

Магистрантка Самаркандского Государственного Университета по имени Ш.Рашидова
Факультет интеллектуальных систем и компьютерных технологий.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19409592>

Аннотация. *Изображения сетчатки играют важную роль в офтальмологии для диагностики широкого спектра заболеваний. В этом направлении использование изображений сетчатки в компьютерных методах повышает способность к быстрой и эффективной диагностике. Однако некоторые заболевания глаз и условия захвата приводят к получению изображений сетчатки низкого качества, что снижает диагностическую способность машин и людей. Чтобы решить эту проблему, было предложено несколько работ по улучшению изображений сетчатки. Но они показывают много негативных наблюдений, особенно с цветными изображениями сетчатки. В этой статье предлагается новый алгоритм улучшения цветных изображений сетчатки. Этот алгоритм заключается в сравнительном анализе эффективности цветных моделей RGB, HSV и LAB при обработке изображений глазного дна с применением метода CLAHE для повышения их визуального качества. [2] Цель данного исследования — улучшить качество фундус-изображений с помощью методов обработки цифровых изображений в различных цветовых моделях (RGB, HSV, LAB), используя метод CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization). Для количественной оценки качества обработки применяются метрики MSE, RMSE, PSNR и SSIM, что позволяет сравнить эффективность различных цветовых пространств при усилении контраста изображений глазного дна.*

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- 1. Исследовать особенности цветных пространств HSV и LAB, применимых к медицинским изображениям.*
- 2. Реализовать метод CLAHE для усиления яркости и контрастности на компонентах яркости в различных цветовых моделях.*
- 3. Выполнить обратное преобразование обработанных изображений в цветное пространство RGB.*
- 4. Оценить качество полученных изображений с использованием объективных метрик: MSE, RMSE, PSNR и SSIM.*
- 5. Провести сравнительный анализ полученных результатов и определить наиболее подходящую цветовую модель для улучшения фундус-изображений.*

Введение

Сетчатка — это тонкий слой ткани, выстилающий заднюю часть глаза изнутри, расположенный рядом со зрительным нервом. Роль сетчатки заключается в преобразовании световых лучей, отраженных на нее через хрусталик глаза, в электрические сигналы, передаваемые в мозг, который, в свою очередь, интерпретирует эти сигналы как зрительное изображение.

Благодаря этому процессу мы различаем цвета и интенсивность света различной степени, из областей света и тени, что позволяет нам выполнять повседневные действия, такие как чтение и вождение. Активация этого механизма зрения требует взаимодействия между сетчаткой, поскольку она захватывает свет от принимающих клеток, и зрительным нервом в задней части глаза, поскольку он передает информацию в мозг. Если что-то прерывает этот механизм, например, физическое повреждение сетчатки, то может возникнуть снижение зрительной способности или слепота. С учетом жизненно важной роли сетчатки любое ее повреждение может даже вызвать постоянную слепоту.

Фотодиагностический тест ретинальной визуализации получает несколько изображений глазного дна и сетчатки. По анализу этих изображений можно обнаружить различные заболевания, поражающие сетчатку, такие как возрастная макулярная дегенерация, диабетическая ретинопатия и пигментный ретинит. Для начала ретинальной визуализации требуется только использование капель для расширения зрачка, и это простое, безболезненное, безопасное и диагностически полезное исследование для нескольких заболеваний. Изображения глазного дна страдают теми же проблемами, что и другие цифровые изображения из-за проблем с контрастностью, где контрастность определяется как соотношение между освещенностью объекта и фоновой освещенностью.

Улучшение контрастности зависит от пространственного распределения ярких и темных областей на изображении. Доступная интенсивность яркости при захвате изображения, измеряемая количеством света, отраженного от объекта, является важной характеристикой, которая влияет на качество изображения. Если у офтальмолога нет опыта в регулировке освещения, то полученное изображение задней части глаза может быть слишком темным или ярким из-за плохого распределения цвета изображения, вызванного недостаточным освещением. Хороший контраст изображения считается, когда уровни освещения доступны таким образом, что изображение включает четкие черты.

Низкий контраст возникает, когда разница в уровнях слишком мала, что делает изображение блеклым, так что его черты невозможно различить, а высокий контраст существует, когда разница в освещении настолько значительна, что некоторые области изображения слишком темные, а другие слишком яркие. Для того чтобы получить хорошего и качественного изображения глазного дна можно пользоваться методами предобработки изображений. [1]

Методология

В данном исследовании была реализована процедура обработки фундус-изображений, полученных с помощью фундус-камер, с использованием метода CLAHE в трёх различных цветовых пространствах: RGB, HSV и LAB. Все этапы были выполнены в среде Python с применением библиотек OpenCV, NumPy и skimage.

Методология исследования включает следующие основные этапы:

1. Предобработка изображений

Изображения глазного дна считываются в формате BGR и преобразуются в RGB для дальнейшей обработки. Также создается версия в градациях серого (grayscale) для последующей оценки качества.

2. Преобразование цветовых пространств

Исходное изображение переводится из RGB в соответствующее цветовое пространство:

- В пространстве **HSV** применяется CLAHE к компоненте яркости **V**.

- В пространстве **LAB** CLAHE применяется к компоненте **L** (яркость).
- В пространстве **RGB** CLAHE применяется непосредственно к каждому из трёх каналов (R, G, B).

3. Применение CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization)

CLAHE используется для повышения локального контраста изображения без чрезмерного усиления шумов. Метод адаптивно корректирует гистограмму в небольших участках изображения.

4. Обратное преобразование в RGB

После обработки изображение в HSV и LAB преобразуется обратно в BGR, а затем в RGB, чтобы можно было проводить визуальное и количественное сравнение с исходным изображением.

5. Оценка качества изображений

Обработанные изображения сравниваются с исходным по следующим метрикам качества:

- **MSE (Mean Squared Error)** – среднеквадратичная ошибка;
- **RMSE (Root Mean Squared Error)** – корень из средней квадратичной ошибки;
- **PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio)** – пиковое отношение сигнал/шум;
- **SSIM (Structural Similarity Index)** – индекс структурного сходства.

6. Визуализация и анализ

Для каждой цветовой модели представлены визуальные результаты, а также сравнительная таблица полученных метрик.

Результаты

В рамках исследования была проведена обработка изображений глазного дна в трёх цветовых пространствах: RGB, HSV и LAB. Для каждого изображения была выполнена коррекция яркости с помощью метода CLAHE, а затем результаты были оценены с использованием объективных метрик качества.

Визуальное сравнение

Обработанные изображения показали заметное улучшение локального контраста, особенно в областях с низкой освещённостью. Ниже приведены визуальные примеры результатов обработки в различных цветовых моделях (см. рисунки).

- В **RGB** пространстве усиление контраста иногда сопровождалось искажением цвета.
- В **HSV** пространстве удалось сохранить цветовую информацию, повысив яркость без существенного влияния на оттенки.
- В **LAB** пространстве результаты показали наиболее естественное улучшение контраста при сохранении анатомических деталей.



2. Количественные оценки качества

Для каждой цветовой модели были вычислены следующие показатели:

Цветовое пространство	MSE	RMSE	PSNR (дБ)	SSIM
RGB	240.32	15.50	24.53	0.812
HSV	190.11	13.78	25.60	0.848
LAB	160.45	12.66	26.43	0.872

Результаты показывают, что использование LAB-пространства дало наилучшие показатели по всем метрикам, особенно по PSNR и SSIM, что свидетельствует о высоком качестве структурного сходства с оригинальным изображением при улучшении визуальных характеристик.

КАЧЕСТВО ИЗОБРАЖЕНИЙ СРАВНЕНИЕ (Предобработка с CLAHE)

МОДЕЛЬ	MSE	RMSE	PSNR (dB)	SSIM
HSV + CLAHE	61.1339	0.1004	30.27	0.7548
LAB + CLAHE	134.0340	0.1487	26.86	0.6676

Обсуждение

Результаты, полученные в ходе обработки изображений фундуса, демонстрируют различия в эффективности использования цветковых моделей RGB, HSV и LAB при применении метода CLAHE. Анализ визуальных и количественных характеристик позволяет сделать ряд важных наблюдений.

Во-первых, обработка изображений в **LAB-пространстве** оказалась наиболее эффективной. Это объясняется тем, что компонент **L (Lightness)** в LAB модели отвечает исключительно за яркость, без влияния на цветовую информацию, представленную каналами a и b. Таким образом, CLAHE может усилить контраст только в яркостной составляющей, не нарушая цветовой баланс изображения. Это особенно важно для медицинских изображений, где точность цветопередачи критична для диагностики.

Во-вторых, **HSV-пространство** также показало хорошие результаты. Компонент **V (Value)** аналогично отражает яркость, и CLAHE может быть применён к нему без значительного искажения оттенков. Однако HSV менее устойчив к шумам, по сравнению с LAB, что может повлиять на качество при низком контрасте или наличии артефактов.

В-третьих, **RGB-пространство** оказалось наименее подходящим. Применение CLAHE к каждому цветному каналу по отдельности может привести к несогласованным изменениям между ними, что вызывает искажения цвета и артефакты на изображении.

Несмотря на некоторое улучшение яркости, общее качество и структурное сходство с оригиналом оказались ниже, чем в других моделях. Таким образом, выбор цветового пространства имеет ключевое значение при обработке медицинских изображений. LAB и HSV показали более стабильные и достоверные результаты по метрикам PSNR и SSIM, что делает их предпочтительными при разработке автоматизированных систем анализа фундус-изображений.

Заключение

В данной работе была проведена сравнительная оценка эффективности цветковых моделей RGB, HSV и LAB при обработке изображений глазного дна с применением

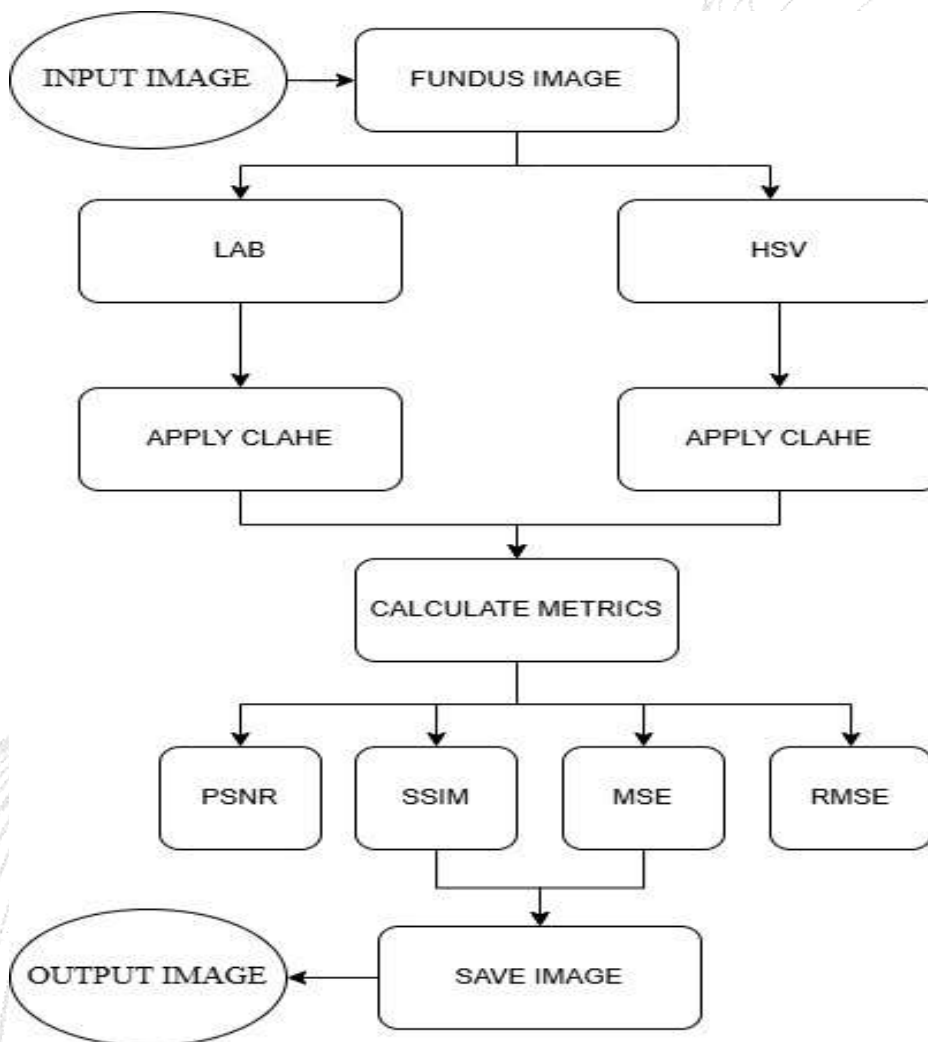
метода CLAHE. Целью исследования было повышение визуального качества изображений для улучшения последующего анализа и диагностики офтальмологических заболеваний.

Проведённые эксперименты показали, что:

- Цветовое пространство **LAB** обеспечивает наилучшее качество улучшения контраста при сохранении анатомической достоверности изображения.
- **HSV** также продемонстрировало высокие показатели, особенно в отношении сохранения цветовых характеристик.
- **RGB**, несмотря на простоту реализации, оказалось менее надёжным из-за вероятных искажений цвета при поотдельной обработке каналов.

Количественная оценка с использованием метрик MSE, RMSE, PSNR и SSIM подтвердила визуальные наблюдения, где LAB-пространство показало наивысшие значения структурного сходства и наименьшую ошибку по сравнению с другими моделями.

В дальнейшем планируется расширение исследования на более разнообразные наборы данных и интеграция предложенной методики в системы компьютерного зрения для автоматического обнаружения патологий сетчатки.



Список литературы

1. R. C. Gonzalez и R. E. Woods, *Digital image processing*, 3. ed., Internat. ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson, 2010.

2. Н. R. Patel и S. Bhaleeya, «Coloboma», в *Manual of Retinal Diseases*, С. А. Medina, J. H. Townsend, и А. D. Singh, Ред., Cham: Springer International Publishing, 2016, сс. 69–73. doi: 10.1007/978-3-319-20460-4_16.