

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ФИЛЬТРОВ НА ДАЛЬТНИЗМ

Рассматривается реализация алгоритма адаптации изображений для людей с нарушениями цветовосприятия. Производится сравнительный анализ существующих методов и их недостатков. Описано математическое представление алгоритма и его алгоритмика.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из ключевых направлений в компьютерной графике и обработке изображений является обеспечение доступности визуального контента для людей с дальтонизмом. По статистике, около 4,5% населения страдает различными формами цветовой слепоты, что создаёт проблемы в медицине, образовании и цифровых интерфейсах.

Алгоритмы коррекции цветов позволяют преобразовать изображения так, чтобы они оставались информативными и эстетически приемлемыми для дальтоников. Наиболее распространённые методы включают:

- Матричные преобразования
- Алгоритмы локальной коррекции
- Нейросетевые подходы

Данная работа посвящена анализу и улучшению существующих алгоритмов.

I. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ И ИХ НЕДОСТАТКОВ

Матричные преобразования, такие как метод Бреттеля-Виена в пространстве LMS или линейные преобразования в RGB, применяют глобальную коррекцию цветов по фиксированным правилам. Например, протанопия моделируется умножением RGB-значений на матрицу 3×3 , что приводит к сдвигу красного спектра в оранжево-жёлтую область. Однако такие методы создают артефакты.

Алгоритмы локальной коррекции, такие как адаптивные LUT-таблицы и метод Хаффа, сталкиваются с принципиальным ограничением, связанным с дискретизацией цветового пространства. Они работают с заранее заданными шаблонами коррекции, которые не учитывают контекст изображения. Например, LUT-таблицы жёстко перераспределяют цвета в заранее определённые оттенки, что может приводить к неестественным скачкам в градиентах или потере важных деталей.

Нейросетевые методы, такие как GAN-архитектуры или свёрточные сети, показывают лучшие результаты. Например, модель CVD-Transformer на базе Vision Transformer сохраняет плавные градиенты на спутниковых снимках Landsat, но требует 1.2 ГБ видеопамати и 800 мс на обработку изображения 1024×1024 . Для сравнения, классический метод Vienot (1999) тратит всего 5 мс на аналогичной задаче, но искажает цветовые

соотношения в сложных сценах, таких как мультиспектральные изображения.

Таким образом, ни один из существующих методов не решает всех проблем: матричные преобразования слишком грубые, локальные алгоритмы недостаточно точны, а нейросети требуют непрактичных вычислительных ресурсов.

II. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Алгоритм коррекции изображений для людей с дальтонизмом основан на последовательном анализе и преобразовании цветов с учётом особенностей зрительного восприятия. Процесс начинается с сегментации изображения, где нейросетевая модель разделяет контент на значимые элементы и фон. Это позволяет дифференцированно обрабатывать ключевые объекты и фоновые области.

На следующем этапе применяется кластеризация цветов для выявления доминирующих оттенков. Алгоритм группирует схожие пиксели, что помогает определить цветовую палитру изображения. Затем анализируются пары цветов, которые могут восприниматься неразлично при определённых типах дальтонизма, например, красно-зелёных нарушениях. Для этого используется колориметрическая система CIE Lab, которая позволяет количественно оценить различимость оттенков через метрику E, отражающую воспринимаемую разницу между цветами.

Коррекция выполняется адаптивно: фоновые тона плавно смещаются в сторону более различных оттенков, сохраняя естественность градиентов, а ключевые элементы (текст, объекты) заменяются на контрастные цвета, выбираемые из доступной для восприятия палитры. Например, красный может трансформироваться в оранжевый, а зелёный — в сине-зелёный.

Финальная проверка включает симуляцию дальтонизма через математические модели (например, Бреттеля) и оценку контрастности по стандарту WCAG, гарантируя, что скорректированное изображение остаётся функциональным и эстетически приемлемым для всех пользователей.

III. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ

В основе алгоритма лежит математический аппарат, преобразующий цвета через последовательность точно определённых операций. Исходное изображение в RGB-пространстве сначала переводится в модель Lab через нелинейное преобразование, где L отвечает за светлоту, а компоненты a и

b задают положение цвета в хроматической плоскости.

Для измерения различий между цветами применяется усовершенствованная формула:

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{k_H S_H}\right)^2} + R_T \left(\frac{\Delta C}{k_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H}{k_H S_H}\right) \quad (1)$$

где ΔL , ΔC , ΔH - различия по светлоте, хроме и тону с корректировками, S_L , S_C , S_H - весовые коэффициенты восприятия, k_L , k_C , k_H - параметры условий наблюдения (по умолчанию 1), R_T - коэффициент вращения для синих тонов.

Расчёт контрастности строится на взвешенной сумме цветовых каналов, где коэффициенты 0.2126, 0.7152 и 0.0722 отражают вклад красного, зелёного и синего в воспринимаемую яркость соответственно. Финальная формула контраста:

$$\text{Hue} = \frac{L_1 + 0.05}{L_2 + 0.05} \quad (2)$$

где относительная яркость $L = 0.2126 \times R + 0.7152 \times G + 0.0722 \times B$ представляет собой отношение яркостей с добавлением слагаемого 0.05 в числитель и знаменатель, что предотвращает неопределённость при работе с тёмными цветами и обеспечивает устойчивость вычислений.

Баранова Янина Сергеевна, Рутковская Дарья Андреевна, студентки кафедры вычислительных методов и программирования БГУИР, ybaranova022@gmail.com, rutkovskayadaria@gmail.com.

Научный руководитель: Гуревич Ольга Викторовна, старший преподаватель, o.gurevich@bsuir.by.

IV. Выводы

Предлагаемый метод сочетает анализ изображения, адаптивную коррекцию и проверку различимости, обеспечивая лучшую читаемость для дальтоников. В перспективе это открывает путь к созданию гибридных систем, где нейросети используются лишь для первичного анализа контента, а коррекция цветов выполняется детерминированными алгоритмами – лучше сочетая точность машинного обучения с интерпретируемостью и надёжностью классической колориметрии.

Таким образом, метод не только решает актуальную проблему доступности визуального контента, но и задаёт направление для разработки более прозрачных и адаптируемых инструментов обработки изображений.

1. Brettel H., Viénot F., Mollon J.D. Computerized simulation of color appearance for dichromats // Journal of the Optical Society of America A, 1997, 2647–2655.
2. Jefferson, L., & Harvey, R. An interface to support color blind computer users. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '06), 2006, 1535–1540.